



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25661

To cite this version:

Sauvage, Pierre . *Impact économique d'une réduction d'usage des antibiotiques en feedlot*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2019, 122 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

IMPACT ECONOMIQUE D'UNE REDUCTION D'USAGE DES ANTIBIOTIQUES EN FEEDLOT

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Pierre SAUVAGE

Né, le 24 février 1995 à Strasbourg (67)

Directeur de thèse : Mr Didier RABOISSON

JURY

PRESIDENT :

Mr Laurent MOLINIER

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mr Didier RABOISSON

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Mr Guillaume LHERMIE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur par intérim : Frédéric Bousquet

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophtalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **JOURDAN Geraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
- Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophtalmologie*
- M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*

Remerciements

À Monsieur le Professeur Laurent Molinier,

Professeur à la faculté de médecine de Rangueil,

Qui nous fait l'honneur de présider ce jury de thèse,

Hommages respectueux.

À Monsieur le Docteur Guillaume Lhermie,

Maître de conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Productions animales – Économie,

Pour son encadrement, son aide et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail,

Sincères remerciements.

À Monsieur le Professeur Didier Raboisson,

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Productions animales – Économie,

Pour son encadrement, son regard critique sur ce travail et sa participation à ce jury de thèse

Qu'il reçoive mes profonds remerciements.

À Leslie Verteramo Chiu, Harvey Morgan Scott, Loren William Tauer et Yrjo Tapio Gröhn,

Pour leur regard critique sur ce travail,

Sincères remerciements.

Table des matières

<i>Table des figures</i>	10
<i>Table des tableaux</i>	11
<i>Table des équations</i>	12
1. Introduction	13
1.1. Antibiorésistance et santé publique	13
1.2. Consommation des antibiotiques dans le monde.....	14
1.3. Importance des productions animales dans la problématique de l’antibiorésistance. 15	
1.4. Politiques publiques et antibiorésistance.....	17
1.5. Dimension économique des antibiotiques en productions animales	18
1.6. La production bovine états-unienne	18
1.6.1. Importance, systèmes de production et consommation générale d’antibiotiques	18
1.6.2. Feedlots : principales maladies infectieuses et consommation d’antibiotiques	20
1.7. Problématique	21
2. Matériel et méthodes	22
2.1. Définitions des scénarios	22
2.1. Modélisation du feedlot.....	23
2.2. Définition des maladies infectieuses et incidences	26
2.3. Impacts des maladies.....	28
2.4. Calcul des coûts.....	34
2.5. Comparaison des scénarios.....	35
2.6. Analyse de sensibilité.....	36
3. Résultats	37
4. Discussion	44
4.1. Validité du modèle.....	44
4.2. Interprétations économiques.....	46
4.3. Limites du modèle	49
4.4. Moyens de prévention alternatifs aux antibiotiques.....	52

4.4.1. Une nécessité.....	52
4.4.2. Exemples.....	53
4.5. Suivre l'exemple européen ?	55
5. Conclusion.....	57
<i>Bibliographie.....</i>	59
<i>Annexe 1 : International Society of Economics and Social Sciences for Animal Health annual conference, juillet 2019, Atlanta, USA.</i>	76
<i>Annexe 2 : Guillaume Lhermie, Pierre Sauvage, Leslie Verteramo Chiu, Didier Raboisson, Harvey Morgan Scott, Loren William Tauer, Yrjo Pario Gröhn. 2019. Economic effects of regulating antimicrobial use in U.S. feedlot – Article à soumettre.</i>	83

Table des figures

Figure 1. Perte de revenu net par animal entrant en feedlot dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, en fonction du niveau d'incidences des maladies (faible, modéré, fort).....	38
Figure 2. Graphiques tornades représentant les effets des variables utilisées dans l'analyse de sensibilité sur la perte de revenu net dans les scénarios No-Pro (graphique A) et No-AM (graphique B)..	39
Figure 3. Répartition de la différence de revenu net par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées	40
Figure 4. Répartition de la différence de coût net des maladies, par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées, en fonction des maladies étudiées.	41
Figure 5. Répartition de la différence de coût net des maladies par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées, en fonction des postes de coûts.	42

Table des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques de production utilisées pour le paramétrage du modèle.	24
Tableau 2. Effet de l'antibioprophylaxie sur le GMQ des animaux, les risques relatifs de morbidité (RR_{MORB}), de létalité (RR_{LET}) et d'abattage anticipé (RR_{AA}).	25
Tableau 3. Coûts de production individuels utilisés pour le paramétrage du modèle.	26
Tableau 4. Incidences des maladies utilisées pour le paramétrage du modèle.	28
Tableau 5. Jours de déclenchement des maladies, de mort et d'abattage anticipé associés maladies, utilisés pour les calculs des impacts et des coûts associés.	32
Tableau 6. Impacts des maladies utilisés pour le paramétrage du modèle.	33
Tableau 7. Équations utilisées pour le calcul des coûts des impacts des maladies, dans chaque scénario.	35
Tableau 8. Revenus nets (\$) moyens obtenus par animal entrant en feedlot, dans les différents scénarios en fonction du niveau d'incidences des maladies (faible, modéré, fort).	37
Tableau 9. Variations du prix d'achat des bovins maigres et du prix de vente des bovins engraisés nécessaires, toute chose égale par ailleurs, pour obtenir un revenu net égal à celui obtenu dans le scénario BAU pour des prix de vente et d'achat moyens, dans les scénarios No-Pro et No-AM, en fonction du niveau d'incidences des maladies.	43

Table des équations

Équation 1.....	27
Équation 2.....	29
Équation 3.....	29
Équation 4.....	35
Équation 5.....	36

1. Introduction

1.1. Antibiorésistance et santé publique

Le 21 septembre 2016, la résistance aux antimicrobiens, et particulièrement aux antibiotiques, a fait l'objet de la quatrième Assemblée Générale des Nations Unies sur un thème de santé, après le virus d'immunodéficience humaine, les maladies non transmissibles et la maladie due au virus Ébola (WHO, 2016). Aujourd'hui, environ 700 000 décès par an (nombre probablement sous-estimé) sont imputables à l'antibiorésistance à l'échelle de la planète. En 2050, il est estimé que le nombre de décès imputables à l'antibiorésistance serait de 10 millions par an, devant les cancers (8,2 millions), les diabètes (1,5 million), les maladies diarrhéiques (1,4 million), ou les accidents de la route (1,2 million) (Review on Antimicrobial Resistance, 2016). Ainsi, il s'agit d'une problématique planétaire dont la prise en charge requiert une approche pluridisciplinaire (WHO, 2015 ; FAO, OIE, WHO, 2003).

On définit cliniquement la résistance aux antibiotiques comme étant la capacité d'une bactérie à survivre à des concentrations d'antibiotiques qui tuent, ou inhibent la prolifération, des bactéries sensibles de la même souche. C'est un phénomène évolutif inévitable qui répond à la théorie darwinienne. La résistance, spontanée ou acquise, de bactéries face aux antibiotiques leur procure un avantage évolutif vis-à-vis des bactéries sensibles en présence d'antibiotiques. Ainsi, tout usage des antibiotiques augmente la pression de sélection en faveur des bactéries résistantes (Acar, Davies, 2009).

Les conséquences de l'antibiorésistance sur la santé humaine peuvent être regroupées en deux catégories (FAO, OIE, WHO, 2003). La première conséquence citée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est « l'augmentation du risque de développer des infections qui n'auraient pas dû se déclarer ». En effet, lorsqu'un antibiotique est consommé, les bactéries qui y sont résistantes prolifèrent plus facilement que les bactéries sensibles. Par exemple, le risque de déclarer une salmonellose à *Salmonella* résistante à un antibiotique est multiplié par plus de trois lorsque cet antibiotique est consommé concomitamment à la contamination par *Salmonella*, pour une toute autre raison, par rapport à la situation où il n'est pas consommé (Barza, Travers, 2002). Ainsi, sur plus d'un million de salmonelloses humaines recensées aux États-Unis, plus de 36 000 d'entre elles peuvent être attribuées à la résistance des salmonelles aux antibiotiques, causant plus de 400 hospitalisations et environ 15 décès. La deuxième grande conséquence de l'antibiorésistance sur la santé humaine est « l'augmentation de la fréquence

d'échec des traitements antibiotiques et l'augmentation de la sévérité des infections » (allongement de la durée des maladies, augmentation de la fréquence de développer une bactériémie ou une septicémie, augmentation de la fréquence des hospitalisations et de leurs durées, augmentation de la mortalité).

Par son impact sur la santé, l'antibiorésistance a des conséquences économiques globales. Elle augmente les coûts de santé, diminue la main-d'œuvre et la productivité et abaisse le revenu des ménages et national (WHO, 2015). En Europe, l'impact économique dû aux bactéries résistantes est actuellement estimé à plus d'1,5 milliard d'euros (Commission Européenne, 2017). Une équipe américaine a évalué l'impact économique d'infections à germes résistants aux antibiotiques dans un centre hospitalier universitaire au cours de l'année 2 000 (Roberts et al., 2009). Les résultats sont surprenants. Dans une cohorte d'environ 1 400 patients, 138 présentaient une infection à un ou plusieurs germes résistants. En moyenne, les infections à germes résistants coûtaient 21 018 \$ de plus par patient que lorsque les germes n'étaient pas résistants. En tenant compte des coûts hospitaliers, de la mortalité et de la perte de productivité, le coût sociétal des infections à germes résistants de la cohorte étudiée s'étalait de 10,7 à 15 millions de dollars.

1.2. Consommation des antibiotiques dans le monde

En parallèle, la consommation d'antibiotiques ne cesse d'augmenter dans le monde. Entre 2000 et 2015, la consommation humaine d'antibiotiques a augmenté de 65 % (Klein et al., 2018). Ce phénomène est particulièrement notable dans les pays à revenus intermédiaires inférieurs : on note par exemple une augmentation de 103 % en Inde. Si les taux de consommation par habitant restent constants entre 2015 et 2030, la consommation mondiale d'antibiotiques n'augmenterait que de 15 % pendant cette période. En revanche, dans le cas où l'augmentation des taux de consommation serait aussi nette entre 2015 et 2030 qu'entre 2000 et 2015, on noterait une augmentation de 202 % de la consommation mondiale d'antibiotiques chez l'Homme. Parallèlement, en tenant le plus possible compte de l'évolution des systèmes d'élevage, la consommation mondiale d'antibiotiques chez les animaux passerait de 63 151 tonnes en 2010 à 105 596 tonnes en 2030 (Van Boeckel et al., 2015), soit une augmentation de 67 %. Les deux-tiers de cette augmentation seraient liés à l'augmentation du nombre d'animaux élevés à travers le monde.

1.3. Importance des productions animales dans la problématique de l'antibiorésistance

Ainsi, l'utilisation des antibiotiques dans les productions animales est au cœur du problème. L'alimentation est en effet reconnue comme la première voie de transmission de la résistance aux antibiotiques de l'animal à l'Homme (FAO, OIE, WHO, 2003). Une étude s'est intéressée à l'influence de l'utilisation d'antibiotiques comme promoteurs de croissance sur la contamination des carcasses des bovins abattus et de leur viande hachée par des bactéries résistantes (Alexander et al., 2010). Dans le groupe traité aux antibiotiques et le groupe non-traité, des *Escherichia coli* résistantes à l'ampicilline (Amp^r) et aux tétracyclines (Tet^r) ont été retrouvées dans les fèces, le contenu intestinal, sur la peau, la carcasse immédiatement après l'éviscération et après 24 heures de réfrigération, dans la viande hachée réfrigérée à 5 °C pendant un à huit jours, ainsi que sur le matériel de l'abattoir. Seule l'analyse des fèces a mis en évidence une prévalence supérieure de bactéries résistantes dans le groupe traité par rapport au groupe contrôle (Amp^r : 26,5 % vs. 7,9 % ; Tet^r : 50,9 % vs. 12,6 %). Ainsi, la contamination des denrées alimentaires par des *E. coli* résistantes aux antibiotiques peut avoir lieu que les animaux aient été traités ou non aux antibiotiques. Par ailleurs, une enquête rétrospective (Dechet et al., 2006) a fait le lien entre une épidémie de salmonelloses à *Salmonella enteritica* sérotype Typhimurium DT104, résistante à plus de cinq antibiotiques, dans le nord-est des États-Unis en décembre 2003, et la consommation de bœuf haché cru ou insuffisamment cuit. La viande avait été préparée dans un abattoir où *Salmonella enteritica* Typhimurium avait été isolée auparavant. De même, en 1999, une épidémie de salmonellose à *Salmonella enteritica* sérotype Typhimurium DT104 résistante aux fluoroquinolones, qui s'était déroulée en 1998, a été investiguée (Mølbak et al., 1999). L'enquête a permis de remonter jusqu'à deux élevages de porcs charcutiers où des salmonelles qui présentaient le même profil de résistance que celles responsables de l'épidémie, ont été isolées. Aucune fluoroquinolone n'avait été administrée dans ces élevages en 1998 ; l'acquisition de la résistance à ces antibiotiques était certainement liée à une utilisation plus ancienne.

On considère donc que l'utilisation des antibiotiques en productions animales, bien que souvent nécessaire pour le traitement des maladies infectieuses, favorise la transmission de bactéries résistantes des animaux à l'Homme et peut donc être néfaste pour la santé humaine. Tout particulièrement, l'usage des antibiotiques par voie orale, et notamment à des doses sous-thérapeutiques pour favoriser la croissance des animaux, est décrié. L'équipe de Zhang *et al.* (2013) s'est intéressée à l'influence de la voie d'administration des antibiotiques sur la

résistance aux antibiotiques des bactéries du tube digestif de souris. Avant l'administration par voie orale ou intraveineuse de tétracycline ou d'ampicilline aux souris, des *Enterococcus spp.* résistants aux tétracyclines (Tet^r) et des *E. coli* portant un gène codant pour une bêta-lactamase (bla_{CMY2}) leur ont été inoculés. Les pools de gènes Tet^r et bla_{CMY2} ont été mesurés après l'administration de tétracycline et d'ampicilline, respectivement. Dans les deux cas, l'augmentation de la population bactérienne antibiorésistante était plus rapide et plus forte lors de l'administration des antibiotiques par voie orale que par voie intraveineuse. L'administration d'antibiotiques a également favorisé l'émergence de résistances chez des souris à qui aucune bactérie résistante n'avait été inoculée. Ce phénomène était plus prononcé lorsque les antibiotiques étaient administrés par voie orale. En effet, lorsque les concentrations en antibiotiques sont insuffisantes pour tuer les bactéries, leur ADN est plus souvent réparé et la fréquence de réparation de l'ADN, et donc le nombre d'erreurs de synthèse, augmente (Acar, Davies, 2009). C'est ainsi que les concentrations sous-thérapeutiques d'antibiotiques favorisent l'émergence de gènes de résistance. Ce phénomène est plus important lorsque les antibiotiques utilisés ciblent l'ADN des bactéries ou sa synthèse. En 2015, une équipe canadienne s'est intéressée à l'effet de l'administration continue de tylosine par voie orale, à dose sous-thérapeutique, sur la résistance aux macrolides des entérocoques fécaux de jeunes bovins engraisés en feedlot (nom donné aux ateliers d'engraissement de bovins en Amérique du Nord) (Beukers et al., 2015). Le groupe d'animaux traités à la tylosine a été comparé à un groupe contrôle non-traité. Avant toute ingestion de tylosine, environ un quart des animaux (tous groupes expérimentaux confondus) présentaient dans leurs fèces des entérocoques résistants à l'érythromycine et un tiers à la moitié des animaux présentaient des entérocoques résistants à la tylosine. La proportion de jeunes bovins présentant des entérocoques résistants à au moins un macrolide a augmenté au cours de l'expérimentation dans les deux groupes. Toutefois, la proportion d'entérocoques résistants était significativement supérieure dans les fèces des animaux traités à la tylosine que dans le groupe contrôle. Ainsi, l'administration d'antibiotiques par l'alimentation sélectionne des bactéries résistantes chez une grande proportion des animaux d'un atelier, et le transfert de bactéries résistantes entre les individus est facile lorsque la proximité entre les animaux est grande. La population de bactéries résistantes peut donc augmenter chez des individus non-traités. Par ailleurs, le personnel d'élevage est exposé au microbiote des animaux élevés et des bactéries résistantes peuvent être transférées des animaux d'élevage à l'Homme. Le portage humain de Staphylocoques dorés Résistants à la Méthicilline (SARM) est supérieur chez les éleveurs de veaux de boucherie que chez les personnes qui ne sont pas en contact d'animaux d'élevage, et est d'autant plus important que le nombre de veaux

dans l'élevage est grand (Graveland et al., 2010). En connaissant le risque que constitue le transfert de germes pathogènes résistants entre hommes, qui peut générer des infections nosocomiales à bactéries résistantes aux antibiotiques (Mølbak et al., 1999), il est logique de s'intéresser au développement de l'antibiorésistance à grande échelle dans les élevages.

1.4. Politiques publiques et antibiorésistance

Afin de « maintenir le plus longtemps possible et sans discontinuer la capacité de traiter et de prévenir les maladies infectieuses au moyen de médicaments sûrs et efficaces » (WHO, 2015) des politiques publiques internationales, communautaires et nationales sont mises en place. Selon l'OMS, les politiques mondiales et nationales devraient suivre cinq objectifs. D'abord, l'antibiorésistance devrait être connue et comprise par l'ensemble de la population. Ensuite, les connaissances sur l'antibiorésistance (écologie microbienne, mécanismes d'acquisition et de transmission de l'antibiorésistance, etc.) devraient être renforcées grâce à la recherche fondamentale. De plus, la prévention devrait être le premier moyen de gestion des maladies infectieuses. L'utilisation des médicaments antibiotiques devrait être optimisée en santé humaine et animale, en incitant les professionnels de santé à obtenir des diagnostics de certitude, et la consommation des antibiotiques devrait être parfaitement connue pour faciliter sa régulation. Enfin, les investissements dans la lutte contre l'antibiorésistance devraient être incités par des arguments économiques de poids.

En médecine vétérinaire, l'application de ces grands principes passe par la régulation de l'utilisation des antibiotiques à des doses sous-thérapeutiques pendant de longues durées pour la prévention des maladies ou pour favoriser la croissance des animaux. Comme dans les pays européens (Commission Européenne, 2017), cette pratique a été jugée « inappropriée » par l'Agence Nationale de l'Alimentation et du Médicament états-unienne dans sa « Guidance for Industry #213 » (Food and Drug Administration, 2013). La régulation de l'utilisation des antibiotiques s'axe autour de la classification des antibiotiques selon leur importance en médecine humaine : ce sont les antibiotiques d'importance médicale (WHO Advisory Group on Integrated Surveillance of Antimicrobial Resistance, 2017). La réglementation états-unienne vis-à-vis de l'usage des antibiotiques d'importance médicale en productions animales s'articule autour de deux points (Food and Drug Administration, 2012). D'abord, ces antibiotiques ne doivent être utilisés que si cela est nécessaire ; l'utilisation à des fins de production est donc jugée inappropriée et l'usage préventif de ces antibiotiques doit être fait seulement si un vétérinaire identifie des facteurs de risque de développement d'une maladie infectieuse dans

l'élevage et qu'aucun autre antibiotique n'est efficace dans ce but-ci. Ensuite, l'utilisation des antibiotiques d'importance médicale doit se faire sous la supervision d'un vétérinaire, par le biais d'une consultation ou d'un protocole de soins. À l'échelle nationale ou communautaire, les recommandations internationales sont appliquées sous la forme de mesures réglementaires ou incitatives (Food and Drug Administration, 2013 ; Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2019).

1.5. Dimension économique des antibiotiques en productions animales

Le traitement des maladies des animaux de production, infectieuses ou non, est nécessaire pour optimiser le bien-être animal, pour lutter contre les maladies infectieuses transmissibles à l'Homme et pour limiter leur impact économique à toutes les échelles (Lhermie et al., 2015). En effet, l'activité de production consiste à transformer une ressource en produit dont la quantité conditionne le revenu. Ce processus dépend de facteurs de productions. Dans le cadre des productions animales, l'apparition d'une maladie diminue la productivité des facteurs de production. La quantité de produit diminue donc, et ce d'autant plus que l'intensité (p. ex. : mortalité) de la maladie est forte (Chi et al., 2002 ; Lhermie et al., 2015). Or, le traitement des maladies bactériennes passe par l'administration d'antibiotiques. Ainsi, la dimension économique de l'usage des antibiotiques pour gérer les maladies animales bactériennes ne doit pas être délaissée lors de la construction de plans de régulation de l'utilisation de ces médicaments en productions animales.

1.6. La production bovine états-unienne

1.6.1. Importance, systèmes de production et consommation générale d'antibiotiques

La production de viande bovine, qui s'est élevée en 2018 à 72,1 millions de tonnes dans le monde, est la troisième production mondiale de viande après la viande de volaille (122,5 millions de tonnes) et la viande de porc (121,1 millions de tonnes) (FAO, 2018). Avec 12,2 millions de tonnes produites en 2018 et une probable augmentation de 4 % en 2019, les États-Unis sont les premiers producteurs mondiaux de viande bovine (USDA, Foreign Agricultural Service, 2018). Trois systèmes d'élevage principaux composent la production de viande bovine

aux États-Unis (Sneeringer et al., 2017 ; Field, 2018). D'abord, des veaux sevrés entre 5 et 10 mois sont produits par des élevages naisseurs. La plupart de ces ateliers sont composés de moins de 50 vaches reproductrices, mais ce nombre peut aller jusqu'à plus de 1 000. Dans les élevages naisseurs, la production est majoritairement extensive : dans certaines régions, chaque vache peut disposer de 150 hectares. Les veaux sevrés sont ensuite dirigés vers les ateliers de croissance (*backgrounding* en anglais), où ils sont nourris pendant 3 à 8 mois au pâturage à la belle saison et avec des fourrages conservés en hiver. Les veaux sevrés les plus lourds sont souvent engraisés directement après le sevrage, sans passer par la phase de croissance. L'engraissement constitue le troisième système et a lieu dans des ateliers nommés feedlots. Les bovins y sont confinés et leur nombre peut aller de moins de 1 000, pour la majorité des ateliers, à plus de 32 000 pour les gros. Les ateliers de plus de 1 000 bovins regroupent plus de 80 % de la production de viande bovine aux États-Unis. La période de finition, ou d'engraissement proprement dite, dure de 100 à 300 jours, pour atteindre un poids d'abattage compris entre 450 et 700 kilogrammes. Les veaux mâles castrés représentent entre 60 et 70 % des bovins engraisés, les animaux restants sont principalement des génisses ; les vaches de réforme sont minoritaires.

Dans les feedlots, des bovins de plusieurs origines sont regroupés et confinés après un transport qui peut être de plusieurs centaines de kilomètres. Dans ces conditions, les facteurs de risque de développement de maladies s'accumulent. Ainsi, en 2011, dans plus de 50 % des feedlots de plus de 1 000 animaux, des antibiotiques ont été injectés à des groupes de bovins pour prévenir l'apparition de maladies, lors de leur introduction dans les ateliers. Vingt-six pourcents des bovins qui sont entrés dans les feedlots ont ainsi reçu une injection d'antibiotiques à ce moment-là. De plus, 73,4 % des feedlots de plus de 1 000 animaux ont administré des antibiotiques dans l'alimentation pendant des durées qui pouvaient dépasser 30 jours. Par ailleurs, dans environ 90 % des feedlots de plus de 1 000 animaux, les bovins ont reçu des ionophores¹ *per os* pour améliorer leur croissance. *A contrario*, moins de 20 % des ateliers naisseurs états-uniens ont utilisé des antibiotiques pour la prévention des maladies ou comme promoteurs de croissance.

En moyenne, si l'on rapporte la consommation d'antibiotiques au kilogramme de poids vif, l'ensemble des productions bovines consomment plus de trois fois moins d'antibiotiques

¹ Ionophore : substance qui perméabilise les membranes cellulaires vis-à-vis du passage des ions (Heller, 2019). Les ionophores sont considérés comme étant des antibiotiques aux États-Unis (Food and Drug Administration, 2017), sans importance médicale, et comme des coccidiostatiques dans l'Union européenne (Commission des Communautés Européennes, 2008).

que les productions de viandes de volaille et de porc (Van Boeckel et al., 2015). Toutefois, cette estimation ne tient pas compte de la diversité des systèmes d'élevage bovin, propre à cette production (*cf. ante*). Dans les ateliers d'engraissement états-uniens, où le risque de développer des maladies infectieuses est important, la consommation d'antibiotiques y est supérieure que dans les autres systèmes d'élevage.

1.6.2. Feedlots : principales maladies infectieuses et consommation d'antibiotiques

Les maladies infectieuses qui touchent les bovins en feedlots sont nombreuses mais seules quelques maladies constituent des dominantes pathologiques. Le complexe des maladies respiratoires bovin représente près de 60 % de la morbidité totale dans les feedlots nord-américains et le même pourcentage pour la mortalité (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013 ; Church, Radostits, 1981). L'impact économique annuel des maladies respiratoires a été évalué à presque un milliard de dollars dans la filière bouchère états-unienne (Griffin, 1997). Plusieurs virus et bactéries participent au développement de cette maladie chez les bovins et le stress, qui affecte les bovins à l'entrée en feedlots, en est un facteur de risque majeur (Constable et al., 2017). En l'absence d'examen complémentaires pratiqués en routine, les antibiotiques sont souvent utilisés pour traiter les cas cliniques de maladie respiratoire et prévenir les épizooties par la prophylaxie ou la métaphylaxie (DeDonder, Apley, 2015). Ainsi, presque tous les jeunes bovins (JB) affectés cliniquement par ces maladies reçoivent un traitement antibiotique par la voie parentérale et, en moyenne, 59,8 % des ateliers d'engraissement états-uniens préviennent les troubles respiratoires cliniques et subcliniques avec des antibiotiques (45,3 % des ateliers de moins de 8 000 JB et 92,6 % des ateliers de plus de 8 000 JB) (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013).

Les abcès hépatiques sont des troubles subcliniques fréquents chez les bovins à l'engraissement (Nagaraja, Lechtenberg, 2007). *Fusobacterium necrophorum* et *Trueperella pyogenes* peuvent former des abcès hépatiques à la faveur d'une acidose ruminale et d'une ruminite chroniques. En plus de la saisie des foies abcédés à l'abattoir, les abcès hépatiques affectent les performances de croissance des animaux et dévalorisent les carcasses. Ils sont généralement gérés par l'utilisation prophylactique de tylosine par voie orale : 71,2 % des JB en ateliers d'engraissement reçoivent de la tylosine à cette fin (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013).

Selon les données issues de cinq grands ateliers d'engraissement de l'ouest des États-Unis, les boiteries représentent 16 % de la morbidité totale et 5 % de la mortalité (Griffin et al., 1993). Elles diminuent la capacité des animaux à se déplacer et donc à accéder à leur ration. Ainsi, elles affectent leurs performances de croissance et dévalorisent les carcasses à l'abattoir (Terrell et al., 2017). Les boiteries peuvent être infectieuses ou non-infectieuses. Le premier groupe, composé principalement de la dermatite digitale (ou maladie de Mortellaro), des phlegmons interdigitaux et des arthrites infectieuses (Constable et al., 2017), représente la quasi-totalité des troubles locomoteurs (Davis-Unger et al., 2017). Ces trois affections sont causées par des bactéries mais seuls les phlegmons interdigitaux et les arthrites infectieuses nécessitent l'administration d'antibiotiques par voie générale (Constable et al., 2017). En 2011, plus de 95 % des animaux boiteux, soit 1,4 % des JB (sains et malades) en engraissement, ont été traités à l'aide d'antibiotiques administrés par la voie parentérale (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013).

1.7. Problématique

La fréquence des maladies infectieuses en engraissement bovin aux États-Unis et leur impact économique expliquent que les antibiotiques soient utilisés dans ce système de production. La gestion de l'antibiorésistance passe, entre autres, par la mise en place de mesures dont l'objectif est de diminuer l'utilisation des antibiotiques en productions animales (WHO, 2015), dont l'engraissement bovin fait partie. Ces mesures sont potentiellement coûteuses pour les producteurs, et l'évaluation économique d'une diminution de l'utilisation des antibiotiques est un préalable nécessaire (Seegers et al., 2011). Bien que beaucoup d'études se soient intéressées à l'impact économique des maladies qui touchent les bovins en engraissement dans la situation actuelle, où ils sont traités aux antibiotiques (Faber et al., 2000 ; Nautrup et al., 2013 ; Engler et al., 2014 ; Schneider et al., 2009 ; Brown, Lawrence, 2010 ; Griffin, 1997 ; Davis-Unger et al., 2017), les conséquences économiques d'une réduction, voire d'une suppression, de l'utilisation thérapeutique ou préventive des antibiotiques n'ont jamais été évaluées en engraissement bovin, contrairement à la production laitière (Lhermie et al., 2018).

Cet impact a été évalué en suivant de principe du budget partiel dans les feedlots états-uniens (Dijkhuizen et al., 1995). À l'aide d'un modèle stochastique calibré à partir de données de la littérature, nous avons comparé des situations fictives, où l'utilisation des antibiotiques était restreinte, à la situation actuelle où les antibiotiques sont utilisés pour prévenir les maladies infectieuses et soigner les animaux malades.

2. Matériel et méthodes

Pour évaluer l'impact de la réduction de l'utilisation des antibiotiques en engraissement bovin aux États-Unis, nous avons simulé, à l'aide du logiciel Microsoft Excel (Microsoft, Edmond, WA), un lot de 100 JB dans un atelier d'engraissement (feedlot). Nous en avons modélisé les paramètres biologiques et économiques afin de calculer les coûts nets de la réduction de l'utilisation des antibiotiques, en utilisant la méthode du budget partiel.

2.1. Définitions des scénarios

Scénario Business As Usual (BAU)

Le scénario BAU correspond à la situation actuelle dans les feedlots états-uniens. Les antibiotiques sont utilisés à des fins curatives et préventives, sous le contrôle des vétérinaires. Dans notre modèle, nous avons considéré que les traitements utilisés étaient propres à chaque maladie.

Les traitements curatifs ont pour but de limiter la mortalité et de réduire l'impact des maladies sur les performances zootechniques des malades. Le premier objectif de l'antibioprophylaxie est de diminuer la fréquence d'apparition des maladies contre lesquelles les antibiotiques sont administrés. Toutefois, les animaux qui reçoivent ce type de traitement voient théoriquement leur Gain Moyen Quotidien (GMQ) augmenter et la durée de leur engraissement diminuer. Les coûts de production (alimentation, travail, etc.) en engraissement sont donc théoriquement inférieurs lorsque les bovins reçoivent des antibiotiques en prophylaxie que dans le cas contraire. Ainsi, bien que l'antibioprophylaxie ait un coût, nous pouvons supposer qu'elle augmente le revenu net des feedlots qui l'utilisent.

Scénario No-Pro

Le scénario No-Pro correspond à la situation où l'usage préventif des antibiotiques est interdit. Les antibiotiques ne peuvent être utilisés qu'à visée curative.

Scénario No-AM

Le scénario No-AM correspond à la situation où tout usage des antibiotiques est interdit. Les maladies peuvent être traitées avec des traitements substitutifs aux antibiotiques à condition

qu'ils soient disponibles et que leur efficacité ait été démontrée. Dans le cas contraire, les animaux ne sont pas traités.

2.1. Modélisation du feedlot

Toutes les caractéristiques de production des bovins engraisés ont été fixées à partir de données de la littérature (Babcock et al., 2009 ; Schneider et al., 2009 ; USDA, National Agriculture Statistics Service, 2016b ; 2018b ; 2018c ; Thompson et al., 2006).

Dans tous les scénarios, les poids d'entrée en feedlot et d'abattage ont été fixés à 295 kg et 590 kg respectivement.

Dans le scénario BAU, la durée d'engraissement a été fixée à 197 jours. Elle a été divisée en deux phases successives, la phase 1 (P1) et la phase 2 (P2), de 37 jours et 160 jours respectivement. Le passage de P1 à P2 était déterminé par un poids ; P1 se terminait lorsque les animaux atteignaient 331 kg. Le gain moyen quotidien (GMQ) était de 0,97 kg/j pendant P1 et de 1,63 kg/j pendant P2 ; le GMQ était donc de 1,50 kg/j pendant toute la durée d'engraissement. Dans les scénarios No-Pro et No-AM, les antibiotiques n'étaient pas utilisés en prophylaxie. En accord avec les données de la littérature, nous avons considéré que l'utilisation prophylactique des antibiotiques augmentait le GMQ de 7,30 % (Wileman et al., 2009). Dans les scénarios No-Pro et No-AM, les GMQ étaient donc plus faibles et les durées plus longues que dans le scénario BAU. Les GMQ et les durées d'engraissement étaient identiques dans les scénarios No-Pro et No-AM. Les caractéristiques de production des animaux dans les différents scénarios sont recensées dans les Tableau 1 et Tableau 2.

Paramètre	Scénario(s)	Valeur	Unité
Poids d'entrée	Tous	295	kg
Poids d'abattage	Tous	590	kg
GMQ moyen	BAU	1,50	kg/j
	Autres	1,40	kg/j
GMQ P1	BAU	0,97	kg/j
	Autres	0,90	kg/j
GMQ P2	BAU	1,63	kg/j
	Autres	1,52	kg/j
Durée de P1	BAU	37	j
	Autres	40	j
Durée de P2	BAU	159	j
	Autres	171	j
Durée d'engraissement	BAU	197	j
	Autres	211	j

Tableau 1. Caractéristiques de production utilisées pour le paramétrage du modèle. GMQ : gain moyen quotidien ; P1 : phase 1 ; P2 ; phase 2 ; BAU : Business As Usual ; Autres : scénarios No-Pro et No-AM.

	Moyenne	IC 95 %	
		Min	Max
Augmentation du GMQ, %	7,30	6,60	8,60
RR_{MORB} MR	0,52	0,47	0,57
RR_{MORB} AH	0,27	0,24	0,31
RR_{MORB} boiteries	1		
RR_{LET} MR	0,62	0,54	0,72
RR_{LET} AH	1		
RR_{LET} boiteries	1		
RR_{AA} toute maladie	1		

Tableau 2. Effet de l'antibioprophylaxie sur le Gain Moyen Quotidien (GMQ) des animaux, les risques relatifs de morbidité (RR_{MORB}), de létalité (RR_{LET}) et d'abattage anticipé (RR_{AA}). MR : maladies respiratoires ; AH : abcès hépatiques tous grades ; boiteries : phlegmons interdigitaux et arthrites infectieuses ; IC 95 % : intervalle de confiance à 95 %.

Les coûts de production individuels ont été calculés à partir de la méthode décrite par Lawrence et Ellis (Lawrence, Ellis, 2008). À partir de la moyenne des coûts des aliments (maïs, foin de luzerne et grains distillés modifiés à 50 % de matière sèche) entre janvier 2016 et décembre 2018 (USDA, Economic Research Service, 2019a ; Johanns, 2019) et des charges opérationnelles (travail, frais liés à l'équipement, frais de gestion du lisier et du fumier, amortissements, etc.), les coûts de production journaliers ont été calculés. Le feedlot dépensait 12 \$/animal pour les implants hormonaux et les antiparasitaires et le transport (arrivée dans l'atelier puis départ pour l'abattoir) coûtait 13,99 \$/animal. Le coût d'achat des JB a été fixé à partir de la moyenne des prix d'achat de mâles castrés non-engraissés de 295 kg de janvier 2016 à décembre 2018 (USDA, Economic Research Service, 2019b).

Paramètre	Moyenne	Écart-type	Min	Max	Unité
Prix d'un JB maigre	3,44	0,3	2,69	4,04	\$/kg
Coûts alimentaires	1,63		1,17	2,73	\$/j
Charges opérationnelles	0,38				\$/j
Frais de transport	13,99				\$
Implant, AP	12				\$
Vaccination vs. MR	7,44				\$
Antibioprophylaxie	20				\$
Prix de vente d'un JB engraisé	2,62	0,20	2,23	3,00	\$/kg

Tableau 3. Coûts de production individuels utilisés pour le paramétrage du modèle. JB : jeune bovin ; AP : antiparasitaires ; Vaccination vs. MR : vaccination contre les maladies respiratoires ; JB : jeune bovin.

Dans tous les scénarios, le feedlot pratiquait la vaccination contre les maladies respiratoires. Les frais de vaccination s'élevaient à 7,44 \$ par animal entrant en feedlot (Wang et al., 2018 ; Wildman et al., 2008). L'antibioprophylaxie était utilisée pour lutter contre les maladies respiratoires et les abcès hépatiques dans le scénario BAU uniquement. Les frais d'antibioprophylaxie s'élevaient à 20 \$ par animal entrant en feedlot : 10 \$ déboursés pour lutter contre les maladies respiratoires (Nickell, White, 2010) et 10 \$ pour lutter contre les abcès hépatiques (valeur estimée).

Les frais vétérinaires (implants, antiparasitaires, vaccination, antibioprophylaxie) et de transport, ainsi que l'achat des JB maigres étaient des coûts de production non-journaliers, déboursés quelle que soit la durée d'engraissement. L'ensemble des coûts de production est décrit dans le Tableau 3.

2.2. Définition des maladies infectieuses et incidences

Trois grandes entités pathologiques, divisées en sous-catégories ont été considérées dans le modèle. Les maladies respiratoires, qui constituaient la première entité, pouvaient affecter cliniquement les JB pendant P1 (MR-P1) et pendant P2 (MR-P2). Elles pouvaient également être subcliniques (MR-Sub). La deuxième entité regroupait les trois grades d'abcès

hépatiques habituellement observés à l'abattoir : AH-, AH et AH+², dans un ordre de sévérité croissant (Nagaraja, Lechtenberg, 2007). La troisième entité regroupait deux causes infectieuses de boiteries : les phlegmon interdigitaux (PI) et les arthrites infectieuses (AI).

Des incidences ont été attribuées à chaque maladie, dans chaque scénario. Dans le scénario BAU, les incidences de MR-P1, MR-P2, MR-Sub, AH-, AH, AH+, PI et AI ont été fixées à 12 %, 3 %, 20 %, 8,5 %, 6 %, 10 %, 1,5 %, 0,5 % respectivement, en accord avec les incidences moyennes de plusieurs études (Schneider et al., 2009 ; Tennant et al., 2014 ; Thompson et al., 2006 ; Faber et al., 2000 ; Babcock et al., 2009 ; Amachawadi, Nagaraja, 2016 ; Brown, Lawrence, 2010 ; Checkley et al., 2005 ; Davis-Unger et al., 2017 ; Faber et al., 2000 ; Fulton et al., 2009 ; Terrell et al., 2017). Nous avons également créé deux autres niveaux d'incidences, l'un représentait un feedlot avec un bon niveau sanitaire (incidences faibles), l'autre un feedlot avec un niveau sanitaire médiocre (incidences fortes) (Tableau 4).

L'utilisation prophylactique des antibiotiques diminue l'incidence des maladies contre lesquelles ils sont utilisés. Dans les scénarios No-Pro et No-AM, où l'antibioprophylaxie était interdite, les incidences des maladies ont été calculées à partir des risques relatifs de morbidité (RR_{MORB} , Tableau 2) recensés dans la littérature (Baptiste, Kyvsgaard, 2017 ; Wileman et al., 2009). Un RR est égal à la probabilité l'apparition d'un événement (p. ex. : morbidité, létalité) dans un groupe traité, divisée par la probabilité d'apparition de ce même événement dans un groupe contrôle. L'équation suivante a été utilisée :

Équation 1.

$$INCIDENCE_{TEST} = INCIDENCE_{BAU} / RR_{MORB}$$

Où, $INCIDENCE_{TEST}$ est l'incidence d'une maladie donnée dans un scénario test (No-Pro ou No-AM) ; $INCIDENCE_{BAU}$ est l'incidence de cette même maladie dans le scénario BAU et RR_{MORB} est le risque relatif de morbidité de la maladie associé à l'antibioprophylaxie permettant de lutter contre elle.

Les risques relatifs de morbidité, liés à l'antibioprophylaxie, étaient égaux à 0,52 pour les maladies respiratoires (Baptiste, Kyvsgaard, 2017) et 0,27 pour les abcès hépatiques (Wileman et al., 2009). Nous n'avons trouvé aucune donnée concernant l'efficacité de

² Le grade des abcès hépatiques dépend de leur nombre et de leur taille. AH- : un ou deux petits abcès ou présence de cicatrices d'abcès ; AH : deux à quatre abcès bien organisés ; AH+ : un ou plusieurs gros abcès ou multiples petits abcès actifs.

l'antibioprophylaxie pour lutter contre les phlegmons interdigitaux et les arthrites infectieuses ; les risques relatifs de morbidité ont donc été fixés égaux à 1 pour ces maladies.

Maladie	Incidences faibles, %		Incidences modérées, %		Incidences fortes, %	
	BAU	Autres	BAU	Autres	BAU	Autres
MR-P1	6,4	12,3	12	23,1	18,4	35,4
MR-P2	1,6	3,1	3	5,8	4,6	8,8
MR-Sub	10	19,2	20	38,5	30	57,7
AH-	4,5	16,7	8,5	31,5	12	44,4
AH	2,3	8,5	6	22,2	9	33,3
AH+	4,5	16,7	10	37	22	81,5
PI	0,1	0,1	1,5	1,5	13	13
AI	0,1	0,1	0,5	0,5	7	7

Tableau 4. Incidences des maladies utilisées pour le paramétrage du modèle. BAU : scénario Business As Usual ; Autres : scénarios No-Pro et No-AM ; MR-P1 : maladies respiratoires cliniques pendant P1 ; MR-P2 : maladies respiratoires cliniques pendant P2 ; MR-Sub : maladies respiratoires subcliniques ; AH-, AH, AH+ : grades des abcès hépatiques ; PI : phlegmons interdigitaux ; AI : arthrites infectieuses.

2.3. Impacts des maladies

Les impacts individuels des maladies ont été estimés pour chaque maladie dans chaque scénario. Ils regroupaient l'augmentation de la durée d'engraissement (A-DE), la létalité (LET), les abattages anticipés (AA), la diminution du grade de qualité des animaux malades atteignant le poids d'abattage optimal (D-GQ), le coût des traitements curatifs (\$) et le coût du travail supplémentaire (\$). Un abattage anticipé est l'abattage d'un animal qui n'a pas atteint le poids d'abattage optimal.

Pour le scénario BAU, les valeurs moyennes des impacts ont été extraites de travaux publiés dans lesquels les antibiotiques étaient utilisés pour lutter contre les maladies infectieuses. Ces valeurs ont été directement utilisées dans le scénario BAU.

Pour le scénario No-Pro, la létalité et la probabilité d'abattage anticipé ont été calculées à l'aide de risques relatifs de létalité (RR_{LET}) et d'abattage anticipé (RR_{AA}) liés à l'antibioprophylaxie (Tableau 2) (Baptiste, Kyvsgaard, 2017), selon les équations suivantes :

Équation 2.

$$LET_{\text{No-Pro}} = LET_{\text{BAU}} / RR_{\text{LET}}$$

Où, $LET_{\text{No-Pro}}$ est la létalité d'une maladie donnée dans le scénario No-Pro ; LET_{BAU} est la létalité de cette même maladie dans le scénario BAU et RR_{LET} est le risque relatif de létalité de la maladie associé à l'antibioprophylaxie permettant de lutter contre elle.

Équation 3.

$$AA_{\text{No-Pro}} = AA_{\text{BAU}} / RR_{\text{AA}}$$

Où, $AA_{\text{No-Pro}}$ est la probabilité d'abattage anticipé associée à une maladie donnée dans le scénario No-Pro ; AA_{BAU} est la probabilité d'abattage anticipé associée à cette même maladie dans le scénario BAU et RR_{AA} est le risque relatif d'abattage anticipé associé à la maladie lorsque l'antibioprophylaxie est utilisée pour lutter contre elle.

Les RR de létalité et d'abattage anticipé ont été fixés égaux à 1 pour les maladies subcliniques et lorsqu'aucune donnée bibliographique n'était disponible.

Dans le scénario No-AM, pour chaque maladie, nous avons fixé des létalités et des probabilités d'abattage anticipé intermédiaires entre celles utilisées dans le scénario No-Pro et les valeurs maximales trouvées dans la littérature.

Dans un souci de simplification du modèle, nous avons fixé le poids d'abattage à 590 kg. Ainsi, les animaux malades qui ne mourraient pas et qui n'étaient pas abattus de manière anticipée voyaient leur durée d'engraissement augmenter. L'augmentation de la durée d'engraissement a été calculée à partir d'un pourcentage de réduction du GMQ induit par les maladies. Le pourcentage de réduction du GMQ a été appliqué au GMQ théorique d'un animal sain (Tableau 1). Pour chaque maladie, nous avons supposé que cette baisse de GMQ était identique pour les scénarios BAU et No-Pro car les animaux malades étaient traités avec des antibiotiques dans les deux cas. Dans le scénario No-AM, pour chaque maladie, nous avons utilisé un pourcentage de baisse de GMQ intermédiaire entre les valeurs utilisées dans le scénario No-Pro et les valeurs maximales trouvées dans la littérature. En accord avec les données des articles utilisés, la réduction du GMQ induite par les maladies respiratoires cliniques a été appliquée sur l'ensemble de la phase d'engraissement (P1 ou P2) concernée par

la maladie (Thompson et al., 2006 ; Babcock et al., 2009 ; Schneider et al., 2009 ; Faber et al., 2000 ; Tennant et al., 2014). En revanche, la réduction du GMQ induite par les phlegmons interdigitaux et les arthrites infectieuses a été appliquée à partir du déclenchement de la maladie (Tableau 5 ; Davis-Unger et al., 2017). Les maladies respiratoires subcliniques et les abcès hépatiques ne s'exprimant pas cliniquement, la réduction de GMQ a été appliquée sur l'ensemble de la durée d'engraissement pour ces maladies.

Aux États-Unis, le prix de vente des bovins engraisés est calculé à partir d'un prix de base auquel des primes sont ajoutées, ou des pénalités appliquées. Les primes et les pénalités sont déterminées à l'aide d'un grade de qualité (Quality Grade) et d'un grade de production (Yield Grade) (Gerken, 1996). Le même système est utilisé pour déterminer le prix des bovins sur pieds et de leur carcasse. La détermination des grades est toutefois plus précise pour les carcasses car elle nécessite des mesures qui ne sont pas réalisables avant l'habillage³ du bovin. Du vivant de l'animal, les grades sont donc estimés à partir de critères externes. On trouve huit grades de qualité, classés en suivant du plus valorisant au plus pénalisant : Prime, Choice, Select, Standard, Commercial, Utility, Cutter et Canner. Les grades de production sont des nombres entiers qui s'étalent de 1 à 5 ; 1 représente le grade le plus valorisant. Les prix de base sont généralement établis pour le grade de qualité Choice et le grade de production 3. Dans notre modèle, nous avons considéré que les animaux atteignaient cette notation. Les maladies pouvaient modifier les grades et entraîner une baisse du prix de vente. Seul un certain pourcentage des animaux malades abattus à 590 kg voyait son prix être pénalisé. Dans le modèle, les pourcentages d'animaux malades abattus à 590 kg dont le grade de qualité était abaissé étaient de 10 % pour les maladies cliniques (Schneider et al., 2009 ; Garcia et al., 2010) et 2 % pour les maladies subcliniques (Brown, Lawrence, 2010). Les pourcentages étaient constants d'un scénario à l'autre. Nous ne disposions de données concernant la diminution du grade de qualité que pour les maladies respiratoires et les abcès hépatiques. Nous ne disposions pas de ce type de données pour les causes de boiteries. Cependant, compte tenu du fort impact de ces maladies sur la croissance des animaux, nous avons jugé judicieux de poser, *a priori*, la valeur de 10 % pour les causes de boiteries. Les pourcentages d'animaux malades abattus à 590 kg dont le grade de qualité était pénalisé étaient donc de 10 % pour MR-P1, MR-P2, PI et AI, et de 2 % pour MR-Sub et les abcès hépatiques. Les maladies n'entraînent généralement pas une variation du grade de production suffisante pour conduire à une pénalité financière

³ Habillage (n. m.) : Ensemble des opérations qui consistent à apprêter, à préparer en vue d'un certain usage (Académie française, 2019). Ici, une carcasse habillée est dépourvue de peau, de pieds, de tête et de viscères.

(Schneider et al., 2009 ; Garcia et al., 2010 ; Gardner et al., 2000 ; Brown, Lawrence, 2010 ; Gerken, 1996). Nous n'avons donc pas tenu compte du grade de production dans le modèle.

Pour chaque scénario et chaque maladie, les coûts individuels des traitements (Babcock et al., 2009 ; Gifford et al., 2012 ; Faber et al., 2000 ; USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013) et du travail supplémentaire (Gifford et al., 2012 ; Davis-Unger et al., 2017 ; Davis-Unger, 2018) étaient fixes et variaient uniquement en fonction de l'incidence des maladies.

Pour simplifier le modèle, nous avons considéré que les maladies étaient indépendantes et que chaque animal ne pouvait être affecté qu'une seule fois. L'ensemble des impacts des maladies est recensé dans le Tableau 6.

Maladie	Jour du déclenchement de la maladie	Jour de la mort	Jour de l'abattage anticipé
MR-P1	20	50	50
MR-P2	83	113	113
MR-Sub	SO	SO	SO
AH-	SO	SO	SO
AH	SO	SO	SO
AH+	SO	SO	SO
PI	85	101	118
AI	32	48	65

Tableau 5. Jours de déclenchement des maladies, de mort et d'abattage anticipé associés aux maladies, utilisés pour les calculs des impacts et des coûts associés. Ces jours correspondent au nombre de jours passés depuis l'arrivée en feedlot. MR-P1 : maladies respiratoires cliniques pendant P1 ; MR-P2 : maladies respiratoires cliniques pendant P2 ; MR-Sub : maladies respiratoires subcliniques ; AH-, AH, AH+ : grades des abcès hépatiques ; PI : phlegmons interdigitaux ; AI : arthrites infectieuses ; SO : sans objet (maladies subcliniques).

Maladie	A-DE _{i, j}			LET, %			pAA, %			pD-GQ, %			TRT _i (\$/animal malade)			TRAV _i (\$/animal malade)		
	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM
MR-CI1	3	3	6	4,7	7,6	14,7	5	5	5	10	10	10	20	20	0	1,2	1,2	0
MR-CI2	0	0	0	4,7	7,6	14,7	5	5	5	10	10	10	20	20	0	1,2	1,2	0
MR-Sub	10	11	14	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
AH-	4	4	7	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
AH	11	12	16	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
AH+	19	21	23	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
PI	2	3	13	7,2	7,2	12,1	3,1	3,1	4,2	10	10	10	12	12	0	2	2	0
AI	165	179	179	22	22	30,8	4,5	4,5	5,8	10	10	10	17	17	0	2	2	0

Tableau 6. Impacts des maladies utilisés pour le paramétrage du modèle. BAU : scénario Business As Usual ; Autres : scénarios No-Pro et No-AM ; MR-P1 : maladies respiratoires cliniques pendant P1 ; MR-P2 : maladies respiratoires cliniques pendant P2 ; MR-Sub : maladies respiratoires subcliniques ; AH-, AH, AH+ : grades des abcès hépatiques ; PI : phlegmons interdigitaux ; AI : arthrites infectieuses ; A-DE_i : augmentation individuelle de la durée d'engraissement ; LET : létalité ; pAA : probabilité d'abattage anticipé ; pD-GQ : probabilité de réduction du grade de qualité d'un animal anciennement malade abattu à 590 kg ; TRT_i : coût d'un traitement individuel ; TRAV_i : coût individuel du travail supplémentaire.

2.4. Calcul des coûts

Les coûts des maladies ont été estimés pour un lot de 100 JB. Les équations utilisées pour le calcul des coûts sont regroupées dans le Tableau 7.

Revenus en moins et dépenses en plus

Le coût des JB morts a été calculé à partir du nombre de morts et du revenu brut obtenu par animal sain. Pour estimer le revenu brut, nous avons utilisé une moyenne des prix de vente des bovins sur pieds, engraisés, de janvier 2016 à décembre 2018 (USDA, National Agriculture Statistics Service, 2016a ; 2018a ; 2019). Le prix de vente est indiqué dans le Tableau 3). Nous avons calculé le coût des abattages anticipés à partir du nombre d'abattages anticipés, du revenu brut procuré par les abattages anticipés et du revenu brut procuré par les animaux sains. Le revenu brut procuré par les abattages anticipés dépendait du poids des animaux au moment de l'abattage et du prix de vente de ces animaux, égal à 53 % du prix de vente des JB qui atteignaient le poids d'abattage optimal (Davis-Unger et al., 2017 ; Griffin et al., 1993). Le poids des JB abattus prématurément a été calculé à partir du GMQ des animaux malades sur le principe décrit plus haut (section *Impact des maladies*). Le coût des jours d'engraissement supplémentaires dépendait de l'augmentation de la durée d'engraissement et des coûts de production journaliers.

Le passage du grade Choice à un grade inférieur (Select, Standard, etc.) entraîne une pénalité d'environ 10 % par rapport au prix de base (USDA, Agricultural Marketing Service, 2019b, section LM_CT155) Nous avons utilisé cette valeur pour le calcul du coût de la baisse de grade de qualité.

Tous les animaux cliniquement malades étaient traités. Seuls les animaux traités généraient du travail supplémentaire.

Charges en moins

Les charges en moins correspondaient aux coûts de production journaliers économisés lors de mort ou d'abattage anticipé. Pour chaque maladie, des jours de mort et d'abattage anticipé ont été fixés selon les données de la littérature (Fulton et al., 2009 ; Terrell et al., 2017) (Tableau 5). Lorsqu'aucune donnée sur le jour d'abattage anticipé n'était disponible dans la littérature, nous l'avons fixé égal au jour de mort. Lors de mort ou d'abattage anticipé,

l'engraissement entre le jour de mort ou d'abattage anticipé et l'abattage théorique à 590 kg n'avait pas lieu. Des frais de production étaient donc économisés. En connaissant les coûts de production journaliers, le nombre de morts et d'abattages anticipés pour chaque maladie, nous avons pu calculer les charges totales en moins.

Coût A-DE	$100 * I * A-DE_i * CP_j * (1-LET) * (1-pAA)$
Coût des morts	$100 * I * LET * 590 * PV$
Coût des AA	$100 * I * pAA * (590 * PV - P_{AA} * PV * 0,53)$
Coût des D-GQ	$100 * I * (1 - LET) * (1-pAA) * pD-GQ * 0,1 * PV * 590$
Coût de traitements	$100 * I * TRT_i$
Coût du travail sup.	$100 * I * TRAV_i$
Dépenses en moins	$100 * I * [(pAA * (DE - J_{AA}) + LET * (DE - J_m)] * CP_j$

Tableau 7. Équations utilisées pour le calcul des coûts des impacts des maladies, dans chaque scénario. A-DE : augmentation de la durée d'engraissement totale ; AA : abattages anticipés ; sup. : supplémentaire ; I : incidence ; A-DE_i : augmentation individuelle de la durée d'engraissement ; CP_j : coûts de production journaliers ; LET : létalité ; pAA : probabilité d'abattage anticipé ; PV : prix de vente des bovins sur pieds (\$/kg de poids vif) ; P_{AA} : poids des animaux lors de l'abattage anticipé ; pD-GQ : probabilité de réduction du grade de qualité d'un animal anciennement malade abattu à 590 kg ; TRT_i : coût d'un traitement individuel ; TRAV_i : coût individuel du travail supplémentaire ; DE : durée d'engraissement des animaux sains ; J_{AA} : jour de l'abattage anticipé ; J_m : jour de la mort.

2.5. Comparaison des scénarios

Nous avons calculé les coûts des maladies dans tous les scénarios à partir des calculs décrits ci-dessus. L'objectif du budget partiel est de déterminer l'impact économique d'une situation test par rapport à une situation de référence. Ici, le scénario BAU est la référence. L'antibioprophylaxie modifie les performances des animaux et les coûts de production ; connaître l'impact économique de la réduction (scénario No-Pro), voire de l'arrêt (scénario No-AM), de l'utilisation des antibiotiques dans les feedlots a donc consisté à comparer le revenu net obtenu dans le scénario BAU avec les revenus nets obtenus dans les scénarios No-Pro et No-AM (Équation 4 et Équation 5).

Équation 4.

$$RN = RB - (DE * CP_j + CP_{nj}) - CM$$

Équation 5.

$$\text{Coût net} = \text{RN}_{\text{BAU}} - \text{RN}_{\text{TEST}}$$

Avec, RN le revenu net, RB le revenu brut, DE la durée d'engraissement théorique, CP_j les coûts de production journaliers, CP_{nj} les coûts de production non-journaliers, CM le coût des maladies, RN_{BAU} le revenu net dans le scénario BAU et RN_{TEST} le revenu net dans les scénarios tests (No-Pro ou No-AM).

Nous nous sommes également intéressés aux variations du prix d'achat ou de vente nécessaires pour compenser la perte de revenu dans les scénarios No-Pro et No-AM. Nous avons modélisé les revenus nets de ces scénarios en fonction des prix d'achat ou de vente, toute chose égale par ailleurs. Nous avons ensuite calculé les prix d'achat ou de vente permettant d'aboutir au même revenu net que celui obtenu dans le scénario BAU lorsque les prix d'achat et de vente étaient moyens (*i.e.* égaux aux prix indiqués dans le Tableau 3). Des pourcentages de variation des prix ont donc pu être calculés.

2.6. Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été conduite, afin de déterminer les effets de variations des paramètres biologiques et économiques retenus. Les variables « prix d'achat des bovins maigres » et « prix de vente des bovins engraisés », ainsi que les coûts alimentaires et les effets de l'antibioprophylaxie sur les performances des animaux, la morbidité des maladies respiratoires et des abcès hépatiques et la létalité des maladies des respiratoires (Tableau 2 et Tableau 3) ont été modélisées de manière stochastique. Le logiciel @Risk® (Palisade, Ithaca, NY) a été utilisé pour l'analyse de sensibilité.

3. Résultats

Les revenus nets moyens obtenus dans chaque scénario et chaque niveau d'incidence sont recensés dans le Tableau 8.

	Faible	Modéré	Fort
BAU	62	42	-33
No-Pro	27	-20	-132
No-AM	13	-49	-189

Tableau 8. Revenus nets (\$) moyens obtenus par animal entrant en feedlot, dans les différents scénarios en fonction du niveau d'incidences (faible, modéré, fort). BAU : scénario Business as Usual ; No-Pro : scénario dans lequel l'antibioprophylaxie est interdite ; No-AM : scénario dans lequel toute utilisation des antibiotiques est interdite.

Cinq milles itérations du modèle ont été réalisées à l'aide du logiciel @Risk[®]. Les pertes de revenu net liées à l'interdiction de l'antibioprophylaxie (scénario No-Pro) ou de toute utilisation des antibiotiques (scénario No-AM) sont représentées sur la Figure 1. Lorsque le niveau d'incidence était modéré, ce qui correspond aux incidences que l'on observe aujourd'hui dans les feedlots américains, la perte de revenu était en moyenne de 62 \$ par bovin entrant en feedlot (écart-type : 9 ; min. : 43 ; max. : 102) dans le scénario No-Pro et en moyenne de 91 \$ (écart-type : 11 ; min. : 63 ; max. : 139) dans le scénario No-AM. Dans chaque scénario, la perte de revenu augmentait avec le niveau d'incidences.

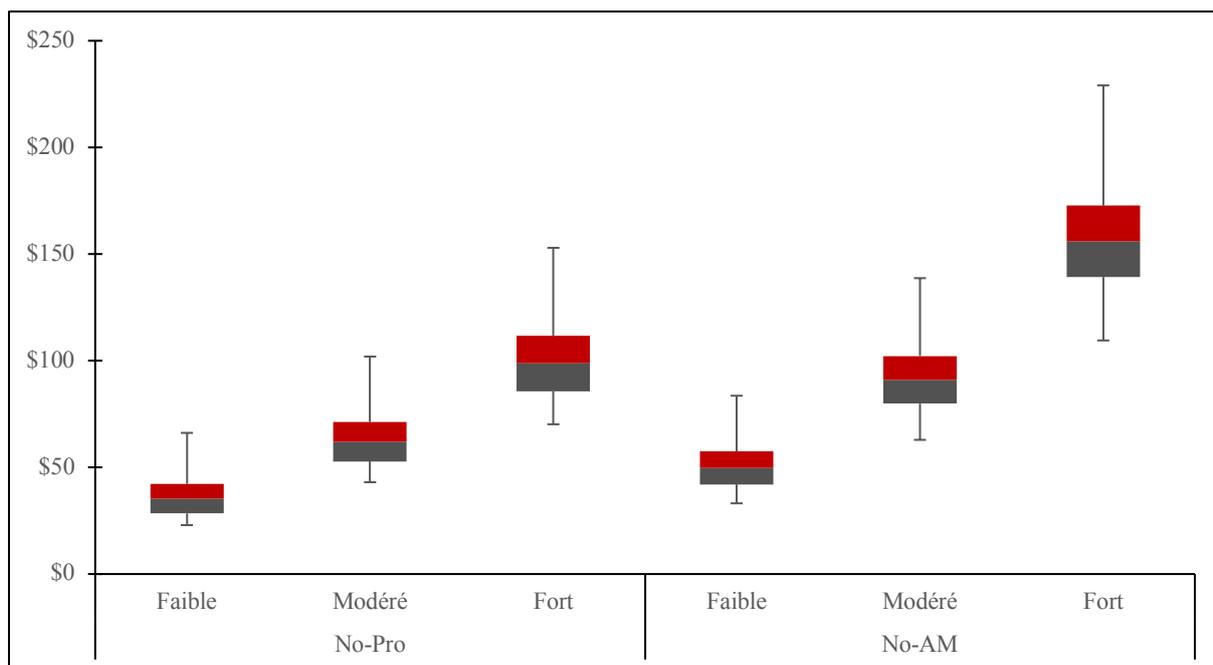
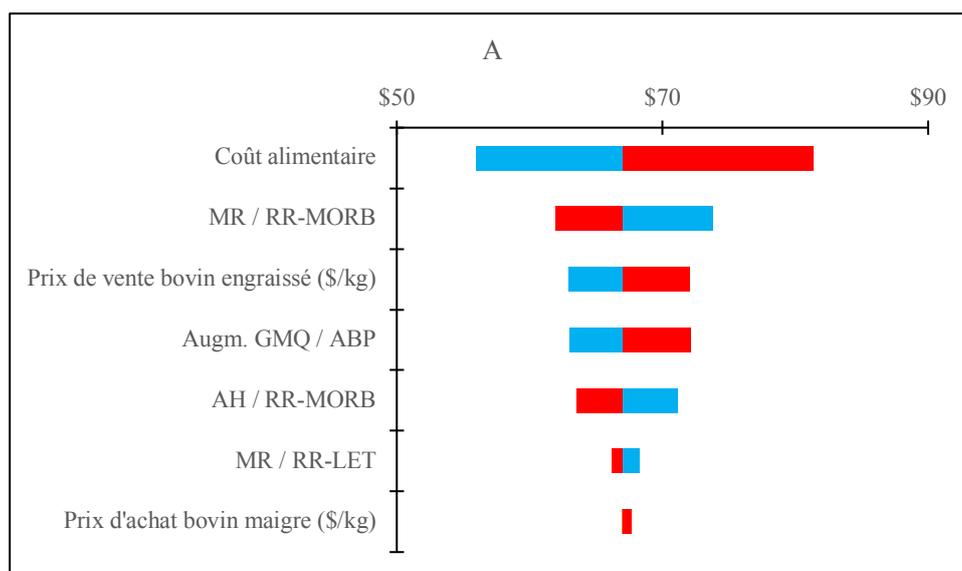


Figure 1. Perte de revenu net par animal entrant en feedlot dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, en fonction du niveau d'incidences (faible, modéré, fort). Les boîtes représentent les moyennes \pm écart type et les barres s'étalent du minimum au maximum. La simulation a compris 5000 itérations.

L'analyse de sensibilité a montré que les trois variables qui influençaient le plus la perte de revenu étaient le coût de l'alimentation, l'efficacité de l'antibioprophylaxie vis-à-vis de la morbidité des maladies respiratoires et le prix de vente des bovins engraisés (Figure 2). Les effets de l'antibioprophylaxie et du prix de vente étaient semblables.



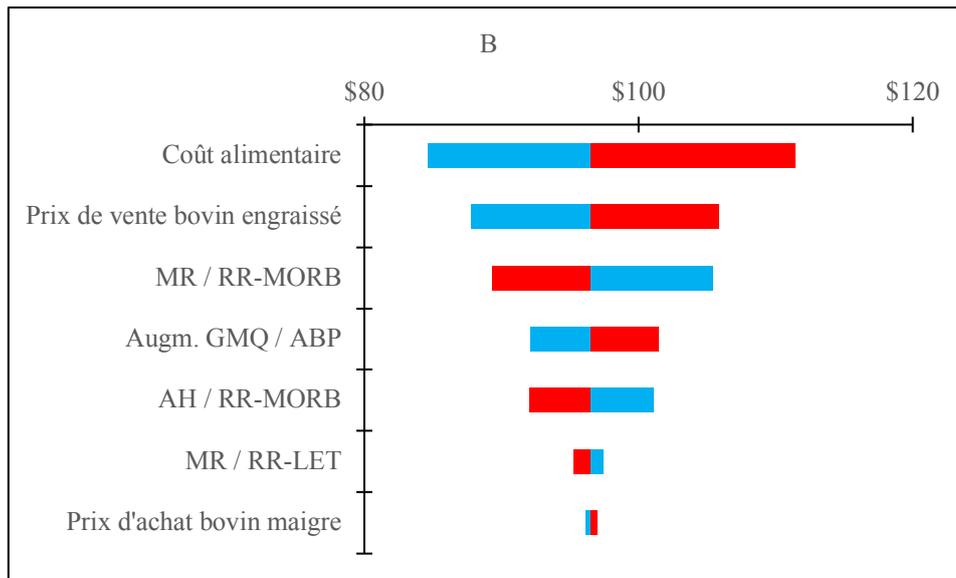


Figure 2. Graphiques tornades représentant les effets des variables utilisées dans l'analyse de sensibilité sur la perte de revenu net dans les scénarios No-Pro (graphique A) et No-AM (graphique B). MR / RR-MORB : risque relatif de morbidité associé à l'antibioprophylaxie contre les maladies respiratoires ; AH / RR-MORB : risque relatif de morbidité associé à l'antibioprophylaxie contre les abcès hépatiques ; MR / RR-LET : risque relatif de létalité associé à l'antibioprophylaxie contre les maladies respiratoires ; Augm. GMQ / ABP : augmentation du gain moyen quotidien des animaux induit par l'antibioprophylaxie. Couleur rouge : entrées élevées des variables ; couleur bleue : entrées faibles des variables.

Le calcul de la perte de revenu dépendait fortement de la différence de coût net des maladies (Figure 3). Nous avons réparti la différence de coût net des maladies entre les scénarios tests (No-Pro et No-AM) et le scénario BAU, d'abord en fonction des maladies étudiées (Figure 4), puis en fonction des postes de coûts inclus dans le calcul de leur coût (Figure 5). Les maladies respiratoires, cliniques et subcliniques, étaient les troubles de santé les plus prépondérants dans le calcul de la différence de coût des maladies. Elles représentaient en moyenne environ 65 % de la différence de coût entre les scénarios tests et le scénario BAU, alors que les abcès hépatiques et les causes de boiteries représentaient respectivement 34 % et 2 % de cette différence. Les parts de chacune des maladies dans la différence de coût des maladies étaient assez stables d'un scénario test à l'autre. La mortalité et l'augmentation de la durée d'engraissement étaient les deux postes de coûts majeurs impactant la différence de coût net des maladies entre les scénarios tests et le scénario de référence. Dans le niveau d'incidence modéré, la part de la mortalité dans la différence de coût augmentait de 43 % à 68 % en passant du scénario No-Pro au scénario No-AM. Les parts représentées par les autres postes étaient relativement stables.

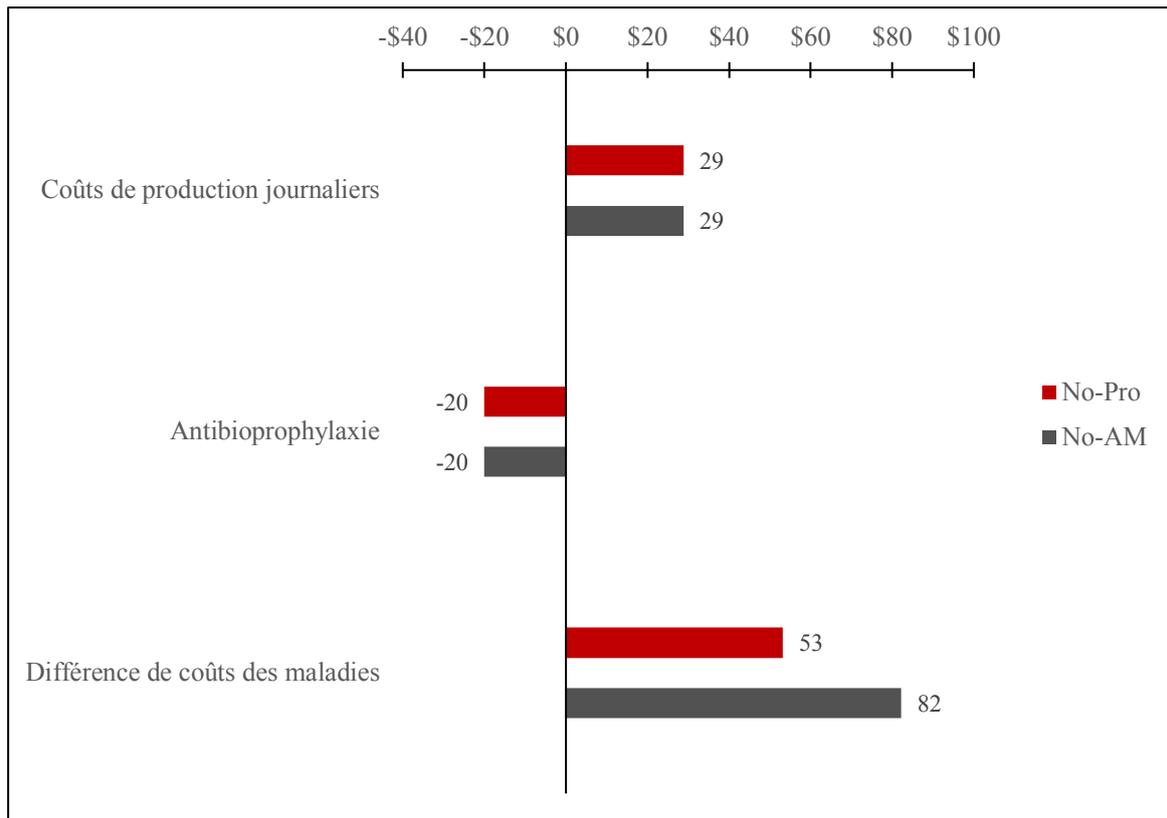


Figure 3. Répartition de la différence de revenu net par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées.

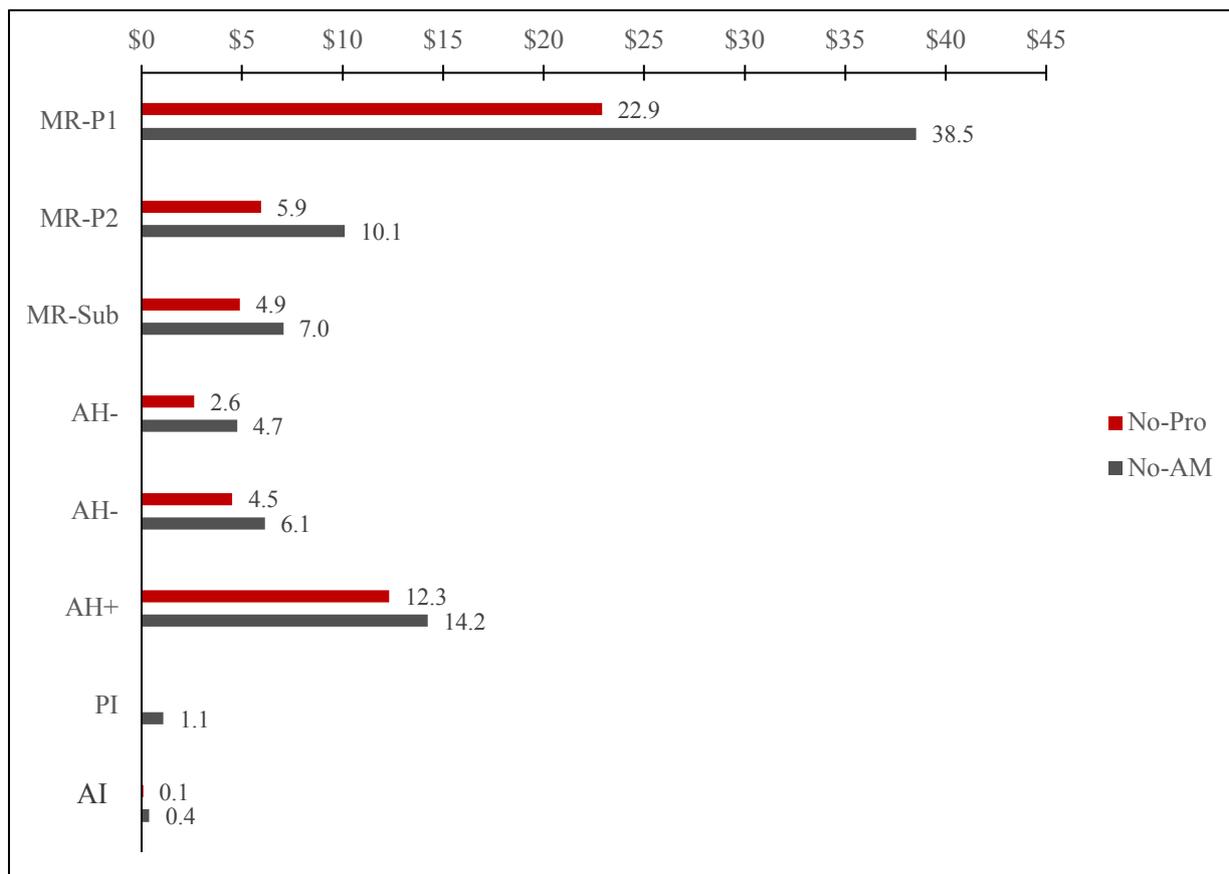


Figure 4. Répartition de la différence de coût net des maladies, par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées, en fonction des maladies étudiées. MR-P1 : maladies respiratoires cliniques pendant P1 ; MR-P2 : maladies respiratoires cliniques pendant P2 ; MR-Sub : maladies respiratoires subcliniques ; AH-, AH, AH+ : grades des abcès hépatiques ; PI : phlegmons interdigitaux ; AI : arthrites infectieuses.

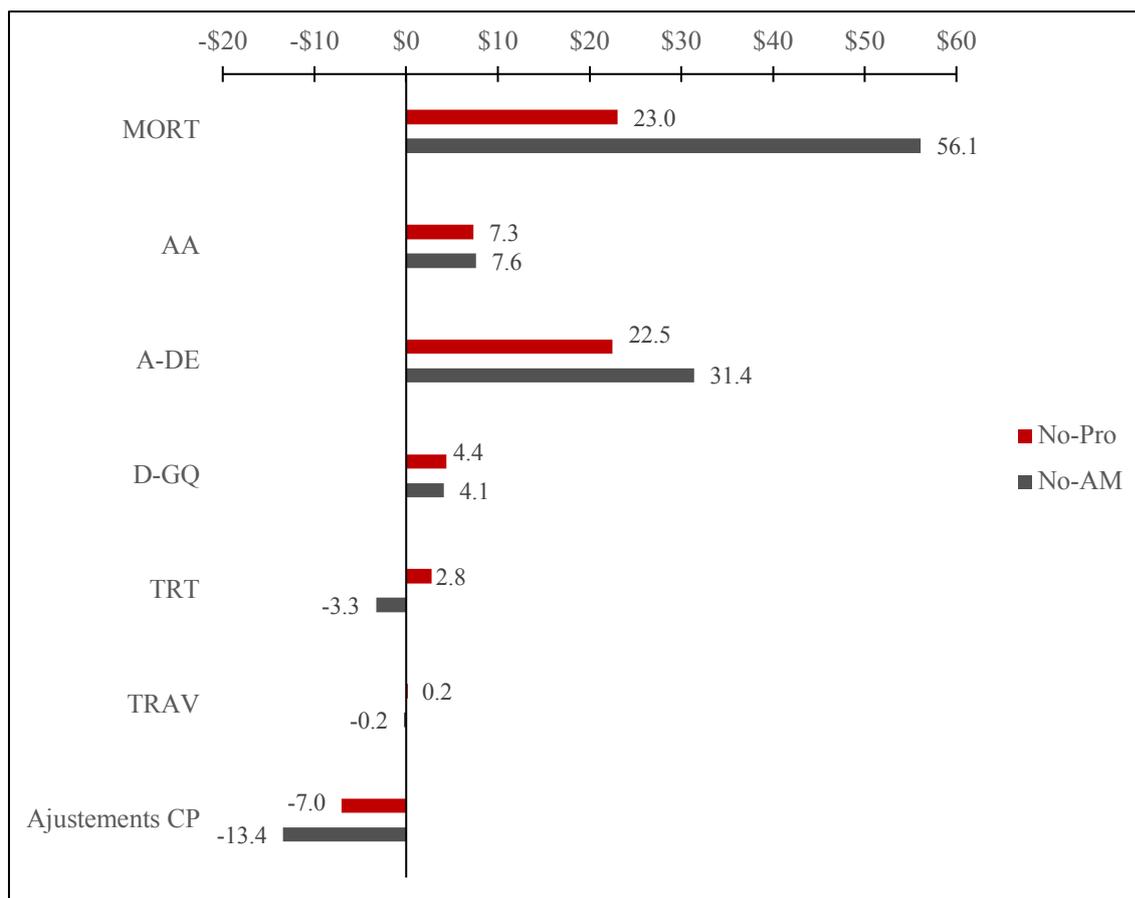


Figure 5. Répartition de la différence de coût net des maladies par animal entrant en feedlot, dans les scénarios No-Pro et No-AM, par rapport au scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées, en fonction des postes de coûts. MORT : mortalité ; AA : abattages anticipés ; A-DE : augmentation de la durée d’engraissement ; D-GQ : diminution du grade de qualité ; TRT : traitements ; TRAV : travail supplémentaire ; Ajustements CP : coûts de production économisés.

Le Tableau 9 recense les variations des prix d’achat et de vente, toute chose égale par ailleurs, dans les scénarios No-Pro et No-AM, nécessaires pour atteindre un revenu net égal à celui obtenu dans le scénario BAU avec des prix d’achat et de vente moyens. Par exemple, dans le scénario No-AM, à un niveau d’incidence modéré, une diminution de 9 % du prix d’achat des bovins (*i.e.* passer de 3,44 \$/kg à 3,13 \$/kg) permettrait d’obtenir un revenu net égal à celui obtenu dans le scénario BAU lorsque le prix d’achat est égal à 3,44 \$/kg ; c’est-à-dire de passer d’un revenu net de -49 \$ à 42 \$ par animal entrant en feedlot.

	No-Pro			No-AM		
	Faible	Modéré	Fort	Faible	Modéré	Fort
Prix d'achat	-3.5%	-6.1%	-9.7%	-4.9%	-9.0%	-15.4%
Prix de vente	2.3%	4.2%	7.0%	3.3%	6.3%	11.6%

Tableau 9. Variations du prix d'achat des bovins maigres et du prix de vente des bovins engraisés nécessaires, toute chose égale par ailleurs, pour obtenir un revenu net égal à celui obtenu dans le scénario BAU pour des prix de vente et d'achat moyens, dans les scénarios No-Pro et No-AM, en fonction du niveau d'incidences des maladies.

4. Discussion

4.1. Validité du modèle

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'impact économique de mesures plus ou moins restrictives sur l'utilisation des antibiotiques en engraissement bovin aux États-Unis. Cet impact a été calculé à l'échelle d'un atelier d'engraissement modélisé par informatique. Il s'agissait de quantifier les conséquences économiques d'un changement dans la gestion des maladies infectieuses sans inclure de dimension temporelle. La méthode du budget partiel a donc été choisie pour répondre à notre problématique (Dijkhuizen et al., 1995).

Aujourd'hui, les antibiotiques sont utilisés en feedlot pour prévenir les maladies infectieuses et traiter les animaux malades (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013). Dans le scénario de référence (BAU), une prophylaxie antibiotique était donc administrée aux jeunes bovins pour prévenir les maladies contre lesquelles l'efficacité de ce type de traitement avait été démontrée. Cela concernait les maladies respiratoires et les abcès hépatiques (Baptiste, Kyvsgaard, 2017 ; Wileman et al., 2009). Dans ce scénario, les animaux cliniquement malades étaient également traités avec des antibiotiques. Nous avons modélisé deux scénarios fictifs, No-Pro et No-AM, qui représentaient deux niveaux de restriction différents. Dans le scénario No-Pro, seule l'antibioprophylaxie était interdite. En revanche, tout usage des antibiotiques était interdit dans le scénario No-AM. L'antibioprophylaxie permet de diminuer l'incidence des maladies infectieuses contre lesquelles elle est utilisée, améliore les performances de croissance des animaux, mais nécessite un investissement. Il nous a fallu tenir compte de ces propriétés pour déterminer quel résultat du modèle nous permettrait de déterminer le coût de la réduction de l'utilisation des antibiotiques. En effet, lorsque les performances de croissance sont meilleures, la durée de l'engraissement est diminuée, ainsi que les coûts de production. L'impact économique des mesures restrictives appliquées dans les scénarios No-Pro et No-AM était donc la baisse de revenu net obtenu dans ces scénarios-ci par rapport au scénario BAU.

Dans le scénario de référence, le revenu net par JB entrant en feedlot était de 42,3 \$. La valeur du revenu net varie considérablement en fonction du coût des intrants (aliments, carburant, prix d'achat des bovins maigres, etc.) et du prix de vente de bovins engraisés. Ainsi, dans l'état du Kansas, le revenu net par bovin entrant en feedlot entre janvier 2016 et octobre 2018 a oscillé entre -500 \$ et 350 \$ (Langemeier, 2019). Durant cette période, le revenu moyen

était d'environ -40 \$ par bovin. Le revenu moyen au cours de l'année 2017 a atteint une valeur exceptionnellement haute de 236 \$ par bovin (Henderson, 2018). Ce montant n'avait pas été aussi important depuis 1993.

Dans le scénario BAU, lorsque les incidences étaient modérées, un cas de maladies respiratoires cliniques dans les phases d'engraissement 1 et 2 coûtait en moyenne 138 \$, et le revenu procuré par un bovin malade était de -58 \$. Dans le scénario No-Pro, le coût d'un cas clinique de maladies respiratoires était de 171 \$ et 174 \$ dans les phases 1 et 2, respectivement. Poulsen Nautrup *et al.* (2013) se sont intéressés, *a posteriori*, à l'impact économique du complexe des maladies respiratoires bovin en feedlots dans plusieurs essais cliniques qui comparaient différents antibiotiques. Deux modèles économiques ont été développés. L'un s'intéressait à l'utilisation prophylactique des antibiotiques ; l'autre à leur utilisation thérapeutique. Dans le premier modèle, le coût des maladies respiratoires était compris entre 27,89 \$ et 122,25 \$ par cas clinique. Dans le second, l'impact allait de 34,68 \$ à 306,57 \$ par cas clinique. Dans une deuxième étude (Brooks et al., 2011), la perte de revenu par animal malade était comprise entre 60 et 143 \$ en phase de finition de l'engraissement. Le revenu d'un animal traité était alors compris entre -60,99 \$ -77,60 \$. Ainsi, dans notre modèle le coût des maladies respiratoires et le revenu procuré par les animaux atteints sont en accord avec les résultats que l'on peut trouver dans la littérature.

Lorsque que les incidences des maladies étaient modérées, la suppression de l'utilisation des antibiotiques en prophylaxie a entraîné une perte de revenu net de 62 \$ par animal entrant en feedlot. Ce résultat est en accord avec ceux de Dennis (2019), qui a étudié l'intérêt économique de la métaphylaxie, généralement dirigée contre les maladies respiratoires, dans les feedlots états-uniens ente 1989 et 2008, ainsi qu'entre 2014 et 2015. La métaphylaxie à l'aide d'antibiotiques classés « upper tier »⁴ procurait, en fonction du poids des animaux à l'introduction dans l'atelier et de la saison, un revenu net supplémentaire de 58,47 \$ à 118,85 \$ par animal entrant en feedlot par rapport à la situation où aucune métaphylaxie antibiotique n'était pratiquée. Avec des antibiotiques classés « lower tier », le supplément de revenu était de 13,73 \$ à 41,74 \$ par animal entrant en feedlot, en fonction des mêmes critères.

Dans notre modèle, les abcès hépatiques étaient responsables d'une perte de revenu de 10 \$, 25 \$, 41 \$ par animal atteint pour les grades AH-, AH et AH+ respectivement, lorsque le niveau d'incidences était modéré. Il existe peu de données concernant l'impact économique des abcès hépatiques pour l'atelier d'engraissement. Ces conséquences ont souvent été évaluées sur

⁴ Abell *et al.* (2017) ont classé les antibiotiques utilisés en métaphylaxie en « upper », « middle » et « lower tiers » en fonction de leur Odd Ratios vis-à-vis du développement de maladies respiratoires.

la valeur des carcasses des animaux au foie abcédé. Par exemple, une carcasse concernée par les abcès hépatiques vaut 4,98 \$ à 10,74 \$ moins cher qu'une carcasse saine (Brown, Lawrence, 2010). Toutefois, la présence d'abcès hépatiques peut engendrer une diminution de plus de 11 % de GMQ et jusqu'à presque 10 % l'efficacité alimentaire (Nagaraja, Lechtenberg, 2007). Ceci entraîne nécessairement une augmentation de la durée d'engraissement ou une diminution du poids des animaux à l'abattage, ainsi qu'une dévaluation du prix de vente par l'abaissement du grade de qualité (Brown, Lawrence, 2010).

Dans la situation de référence, lorsque le niveau d'incidence était modéré, chaque individu atteint de phlegmon interdigital coûtait en moyenne 152 \$. Le revenu net associé était de -73 \$. L'impact des arthrites infectieuses était bien supérieur : les cas coûtaient en moyenne 585 \$ et le revenu net associé était de -505 \$. À notre connaissance, seuls Davis-Unger *et al.* (2017) se sont spécifiquement intéressés à l'impact économique des différentes causes de boiterie dans les feedlots. En appliquant les fréquences de mortalité, d'abattage anticipé et de guérison respectivement sur les coûts des morts, des animaux abattus prématurément et des animaux ayant guéri, le coût des phlegmons interdigitaux s'est élevé à environ 110 \$ par cas et celui des arthrites infectieuses à environ 727 \$ par cas. Les revenus nets de cette étude ne tenaient pas compte du prix d'achat des bovins non-engraissés, nous n'avons donc pas pu comparer la perte de revenu net associée aux bovins malades calculée dans cette étude avec nos résultats. Toutefois, les coûts des causes de boiterie calculés dans notre modèle sont du même ordre de grandeur que ceux de Davis-Unger *et al.* (2017).

À l'origine d'un coût annuel de près d'un milliard de dollars à l'échelle nationale, le complexe des maladies respiratoires bovin est le problème de santé qui engendre le plus de pertes économiques dans les feedlots états-uniens (Griffin, 1997 ; Engler et al., 2014). Les résultats de notre modèle sont en accord avec ces précédents résultats. Le coût des maladies respiratoires était deux à trois fois supérieur à celui des abcès hépatiques, et le coût des boiteries était négligeable face à celui des maladies respiratoires. Par ailleurs, en accord avec les données de la littérature (Radostits, 2001), la mortalité représentait le premier poste dans le coût des maladies dans notre modèle.

4.2. Interprétations économiques

Lorsque les incidences des maladies étaient modérées, le revenu net obtenu dans le scénario BAU est passé de 42 \$ à -20 \$ après l'interdiction de l'antibioprophylaxie. Cette perte de revenu net était encore plus importante lors de l'interdiction de toute utilisation des

antibiotiques : le revenu net était alors de -49 \$, ce qui correspondait à une perte de 91 \$ par animal entrant en feedlot. Les deux mesures fictives modélisées ici ne permettraient donc pas aux ateliers d'élevage d'atteindre l'équilibre financier. Ce résultat soulève la question suivante : est-il économiquement viable d'élever des bovins sans antibiotiques ? Lorsque les incidences des maladies étaient faibles, le revenu net par bovin entrant en feedlot était de 62 \$ dans le scénario de référence, ce qui est supérieur au revenu obtenu dans le cas d'incidences modérées. De plus, dans ce cas de figure, la perte de revenu engendrée par l'arrêt de l'antibioprophylaxie ou de toute utilisation des antibiotiques était presque deux fois inférieure à la perte entraînée par ces mesures lors d'incidences modérées. Les revenus nets étaient alors de 27 \$ et 13 \$ par animal entrant en feedlot, pour les scénarios No-Pro et No-AM, respectivement. Ainsi, il semble possible d'obtenir un revenu net positif lors de l'application de mesures plus ou moins drastiques vis-à-vis de l'utilisation des antibiotiques en feedlot, à condition que les incidences des principales maladies infectieuses soient faibles. Cette condition serait probablement remplie grâce à la mise en place de nouvelles pratiques dans l'élevage des bovins, qui seraient moins favorables aux maladies étudiées.

L'analyse de sensibilité montre que le coût de l'alimentation est le facteur qui influe le plus sur la perte de revenu. L'alimentation est en effet le premier poste de dépenses nécessaire à l'élevage d'un bovin (Field, 2018). Une augmentation de la durée normale de l'élevage, comme c'est le cas en l'absence d'antibioprophylaxie, entraîne une augmentation des coûts de production, donc une différence de revenu net théorique, qui est d'autant plus importante que le prix des aliments est haut. De même, l'augmentation pathologique de la durée d'élevage, liée à une baisse de GMQ, coûte d'autant plus cher que le prix des aliments est haut.

L'efficacité de l'antibioprophylaxie vis-à-vis de la morbidité des maladies respiratoires était le deuxième ou le troisième facteur qui influait le plus le calcul de la perte de revenu, en fonction des paramètres d'analyse (Figure 2). Une baisse de l'efficacité, ou une augmentation du risque relatif de morbidité, entraînait une diminution de la perte de revenu. Nous ne disposons pas de données précises sur l'efficacité des antibiotiques pour le traitement des cas cliniques de maladies respiratoires. Il est cependant tout à fait imaginable qu'une diminution de l'efficacité des antibiotiques dans le traitement des cas cliniques aurait eu une influence similaire sur le calcul de la perte de revenu net par l'augmentation de la létalité et des récurrences de maladies respiratoires. Or, dans les mesures qui visent à limiter l'usage des antibiotiques en productions animales, le premier objectif n'est pas d'interdire les traitements antibiotiques curatifs mais de réduire drastiquement leur utilisation prophylactique (WHO, 2017). Les

antibiotiques utilisés pour le traitement des cas cliniques étant les mêmes que ceux utilisés en prophylaxie (DeDonder, Apley, 2015 ; Baptiste, Kyvsgaard, 2017), attendre une diminution de l'efficacité de l'antibioprophylaxie pour en diminuer sa pratique ne serait donc, *a priori*, pas judicieux, dans la mesure où elle traduirait également une diminution de l'efficacité curative des antibiotiques.

Lors de l'application de mesures restrictives, des compensations financières peuvent être mises en place pour que le revenu de l'exploitation ne soit pas impacté. Ici, nous avons calculé la variation des prix d'achat des bovins maigres et de vente des bovins engraisés nécessaire pour compenser la perte de revenu liée à la gestion des maladies et à la modification des performances de croissances des animaux. Lorsque que les incidences étaient modérées, une baisse du prix d'achat de 6,1 % par rapport au prix d'achat moyen était nécessaire pour compenser la perte de revenu dans le scénario No-Pro. Logiquement, une diminution supérieure (9 %), permettait de compenser cette perte dans le scénario No-AM. La diminution du prix d'achat pour compenser la perte de revenu était d'autant plus grande que le niveau d'incidences augmentait et que la restriction dans l'usage des antibiotiques était importante. Diminuer le prix d'achat des bovins pour l'engraisier traduirait une diminution du prix de vente pour le naisseur ou l'atelier de *backgrounding*. Une telle mesure ne serait pas tolérable au sein d'une filière. Ceci explique que les modifications des prix concernent généralement les maillons en lien direct avec les consommateurs. Nous nous sommes donc intéressés à l'augmentation du prix de vente du bovin engraisé nécessaire pour la même compensation de la perte de revenu. À un niveau d'incidences modéré, cette variation du prix de vente s'élevait à +4,2 % et +6,3 % pour les scénarios No-Pro et No-AM, respectivement. Dans l'étude de Dutton *et al.* (2007), les consommateurs de grandes agglomérations états-uniennes étaient prêts à dépenser en moyenne 1,45 \$ de plus par livre de bœuf haché et 5,87 \$ de plus par livre de steak de bœuf produit sans antibiotiques et sans hormones artificielles. Le prix moyen de vente de la viande de bœuf est compris entre 5,5 et 6 \$ par livre aux États-Unis (USDA, Economic Research Service, 2018). Les consommateurs nord-américains sont donc prêts à payer leur viande bovine produite sans antibiotiques et sans implants hormonaux deux fois plus chère que la viande issue des élevages conventionnels. D'ailleurs, les primes attribuées à l'alimentation biologique (*organic* en anglais) représentent de 25 à 100 % du prix des produits alimentaires conventionnels et sont en moyenne de 57 % (Roberts et al., 2007).

4.3. Limites du modèle

Pour simplifier la modélisation, nous avons fixé le poids d'abattage à 590 kg. Seuls les animaux abattus prématurément avaient un poids d'abattage inférieur. Ainsi, la diminution du GMQ des animaux malades se traduisait uniquement par une augmentation de la durée d'engraissement, et donc, par une augmentation des coûts de production devant être investis pour obtenir un revenu brut identique. Cette démarche partait de l'hypothèse suivante : le coût représenté par l'augmentation de la durée d'engraissement est égal au coût, ou au manque à gagner, représenté par la diminution du poids d'abattage. Nous aurions tout à fait pu émettre l'hypothèse inverse et rendre constante la durée de l'engraissement plutôt que le poids d'abattage. Cette hypothèse alternative aurait été, comme la première, modélisable mais simplificatrice. Dans notre modèle, pour les maladies qui impactent le plus le GMQ des animaux, l'augmentation de la durée d'engraissement étaient très importante. Elle était par exemple de plus de 165 jours dans le cas des arthrites infectieuses. Bien que certains ateliers engrassent des bovins de race laitière pendant presque 420 jours (Asem-Hiablie et al., 2016), une durée totale d'engraissement de $197 + 165 = 362$ jours est difficilement réalisable dans un objectif d'optimisation économique d'un atelier, dont le taux de renouvellement annuel des animaux peut atteindre 1,86 (Field, 2018). Ce dernier point était l'une des limites du modèle. Nous avons donc comparé les manques à gagner lorsque l'une ou l'autre des hypothèses citées plus haut était émise. Lors d'abattage à un poids inférieur à 590 kg (*i.e.* lorsque la durée d'engraissement est constante) le manque à gagner est de 1,05 à 2,1 fois supérieur aux coûts de production supplémentaires induits par l'augmentation de la durée d'engraissement (*i.e.* lorsque le poids d'abattage est constant). La réalité ne se situe donc certainement pas à l'un de ces deux extrêmes. En effet, en pratique, ni le poids d'abattage, ni la durée d'engraissement ne sont constants. Les animaux sont scorés selon un « score de charpente » (*frame score* en anglais) afin de déterminer le poids d'abattage idéal (Dhuyvetter, 1995). Comme pour les porcs charcutiers, l'échographie peut également être utilisée pour déterminer l'épaisseur de gras au-dessus du muscle *longissimus* ou la surface de ce muscle (Williams, 2002), deux critères qui interviennent dans le calcul du grade de production (Gerken, 1996). Il semble cependant difficile d'inclure ces critères individuels dans un modèle mathématique ; dans l'objectif de répondre à une problématique large et complexe par la modélisation, émettre une hypothèse de simplification nous a semblé adapté.

Le poids des animaux abattus prématurément était compris entre 347 kg dans le cas des maladies respiratoires pendant la première phase d'engraissement et 461 kg pour dans le cas

des phlegmons interdigitaux. Or, Davis-Unger *et al.* (2017) ont considéré dans leur modèle qu'il est difficile d'abattre des animaux qui pèsent moins de 453 kg. Cependant, les grilles de paiement des carcasses incluent des poids de carcasses compris 180 et 227 kg pour les plus légères (USDA, Agricultural Marketing Service, 2019a). En appliquant un rendement de carcasse habituel de 63 %, les bovins les plus légers pouvant être abattus pèsent $180/0,63 = 286$ kg. Nous n'avons donc pas appliqué la même règle que Davis-Unger *et al.* concernant le poids minimal d'abattage. Nous avons en effet admis que les bovins les plus légers de notre modèle (347 kg) pouvaient être abattus, le poids des carcasses étant bien supérieur à 286 kg. Nous avons toutefois appliqué une réduction de 47 % du prix de vente (Griffin *et al.*, 1993).

Le feedlot que nous avons modélisé n'était pas autonome pour l'alimentation des bovins à l'engraissement : il achetait l'ensemble des aliments qui constituaient la ration des animaux. Ce choix ne représente pas l'ensemble des ateliers d'engraissement états-uniens. En effet, dans l'ouest des États-Unis, 50 % des feedlots produisent une partie de leur alimentation (Asem-Hiablíe *et al.*, 2017). Par exemple, 17 % d'entre eux produisent de la luzerne et 58 % produisent du maïs, les deux aliments principaux de la ration des bovins dans notre modèle. Dans les plaines du nord des États-Unis, 71 % des ateliers produisent du maïs grain, et cette proportion peut monter jusqu'à 97 % des feedlots dans le Midwest du pays (Asem-Hiablíe *et al.*, 2016). Ainsi, il aurait été intéressant de générer un feedlot partiellement autonome pour l'alimentation de ses animaux. Dans un tel atelier, bien que les coûts alimentaires représentent la plus grande partie des coûts de production d'un bovin en engraissement (Wagner *et al.*, 2014) on pourrait par exemple penser que le coût de l'augmentation de la durée d'engraissement des animaux malades, qui représentent le deuxième poste de coûts après la mortalité dans le calcul de l'impact des maladies dans notre modèle, serait inférieur à celui que nous avons calculé.

Pour tenir compte de la diversité des feedlots états-uniens, nous avons calculé le coût des maladies dans deux niveaux d'incidences extrêmes, en plus du niveau moyen. Des incidences faibles pour l'ensemble des maladies étudiées représentaient les ateliers ayant un bon niveau sanitaire. Les feedlots au niveau sanitaire le plus mauvais étaient représentés par le niveau d'incidences fort, appliqué à l'ensemble des maladies étudiées en même temps. Il s'agissait d'une construction simplifiée de phénomènes biologiques complexes. En effet, les facteurs de risque d'apparition des maladies étudiées sont différents. En feedlot, les maladies respiratoires apparaissent généralement au début de l'engraissement, lorsque de nombreux bovins, issus de nombreux élevages différents, sont confinés dans des enclos où la densité est alors forte, après un transport plus ou moins long (Constable *et al.*, 2017). Les abcès hépatiques, eux, se développent à la faveur d'une acidose ruminale et d'une ruminite liées à des fortes

fluctuations du pH ruminal. Ainsi, la prévalence et la sévérité des abcès hépatiques sont corrélées négativement avec la quantité de fourrages dans la ration, et augmentent lorsque les céréales données aux animaux contiennent de l'amidon rapidement dégradable, et ce d'autant plus que leur mouture est fine et qu'elles sont ingérées rapidement en grande quantité (Nagaraja, Lechtenberg, 2007). Causés par la même bactérie, présente dans le tube digestif des bovins, les phlegmons interdigitaux se développent préférentiellement lorsque le climat est chaud et humide (p. ex. : au printemps) (Davis-Unger, 2018) et que le sol est abrasif, humide et fortement souillé de matières fécales (Constable et al., 2017). À la lumière de ces facteurs de risque, on peut tout à fait imaginer qu'un atelier qui introduit de nombreux bovins d'âges différents et de différentes origines mais qui gère parfaitement le caractère acidogène de leur ration, traite beaucoup d'animaux contre les maladies respiratoires, mais que peu d'abcès hépatique soient découverts à l'abattoir.

Par ailleurs, nous avons émis l'hypothèse que les maladies étaient indépendantes les unes des autres et ne touchaient les animaux qu'une seule fois. Une fois de plus, l'objectif de cette hypothèse était de simplifier la modélisation. Certaines maladies peuvent en effet favoriser le développement d'autres maladies. Par exemple, dans une étude épidémiologique sur les boiteries dans les feedlots canadiens en Alberta (Davis-Unger, 2018), un bovin ayant présenté une arthrite infectieuse avait 3,37 fois plus de chance de développer une maladie respiratoire en suivant, qu'un individu n'ayant pas déclaré d'arthrite. Dans cette étude, les agents pathogènes n'ont pas été isolés, il est donc difficile d'expliquer le lien entre ces deux maladies dans ce cas particulier. Cependant, *Mycoplasma bovis*, dont la prévalence peut être élevée dans les feedlots (Maunsell et al., 2011), peut, entre autres, causer des pneumonies et des arthrites (Gagea et al., 2006 ; Maunsell et al., 2011). Si ce mycoplasme circule dans un atelier d'engraissement, les incidences des maladies respiratoires et des arthrites infectieuses peuvent tout à fait évoluer dans le même sens. Notre étude s'intéressait surtout à la situation sanitaire « moyenne » aux États-Unis et les niveaux d'incidences extrêmes ont été inclus pour tenir compte grossièrement de la diversité des niveaux sanitaires globaux dans le pays. Il ne s'agissait pas de modéliser précisément les interactions entre les maladies. C'est un aspect intéressant, complexe, qui pourrait être inclus dans un modèle qui répondrait à une question plus précise.

4.4. Moyens de prévention alternatifs aux antibiotiques

4.4.1. Une nécessité

Selon notre modèle, la diminution de l'utilisation des antibiotiques en engraissement bovin aux États-Unis aurait des conséquences économiques importantes à l'échelle de l'atelier. Il serait déjà difficile d'atteindre l'équilibre financier dans les conditions sanitaires que l'on trouve aujourd'hui dans le pays. Ceci pourrait freiner les producteurs de viande bovine à mettre en place suivre des mesures non-obligatoires, comme c'est souvent le cas aux États-Unis (Food and Drug Administration, 2013), pour réduire l'utilisation des antibiotiques. L'argument économique est en effet de poids dans la prise de décisions par les producteurs. La majeure partie des producteurs de bovins du Tennessee utilisent les antibiotiques pour maintenir un niveau de santé et de productivité suffisant dans le troupeau pour que leur revenu soit viable (Ekakoro et al., 2019). De plus, dans une étude publiée en 2019 (Singer et al., 2019), les auteurs ont interrogé des producteurs de viande (plusieurs espèces animales dont les bovins) sur les raisons pour lesquelles ils n'adhéraient pas au label « raised without antibiotics » (pour plus de détails, se référer à : NSF International, 2019). Presque 30 % des répondants ont répondu que cette démarche n'est pas économiquement intéressante, et 56,2 % d'entre eux considèrent qu'élever avec des antibiotiques (*i.e.* utiliser les antibiotiques à des fins de production et pour prévenir certaines maladies) est déjà un usage responsable de ces médicaments. Parallèlement, des producteurs qui adhèrent au label « raised without antibiotics » ont été interrogés sur leurs motivations à produire sans antibiotiques en prophylaxie ou comme promoteurs de croissance : 40 % d'entre eux y ont adhéré parce que les prix de vente sont plus intéressants. Du point de vue purement économique, certaines études sont en défaveur de l'abandon des antibiotiques, et d'autres technologies, en engraissement bovin. Par exemple, Wileman *et al.* (2009) se sont intéressés à la morbidité, à la mortalité et aux performances de bovins engraisés en feedlot, selon si les technologies traditionnellement utilisées en engraissement bovin aux États-Unis (implants hormonaux, antibioprophyllaxie, métaphylaxie antibiotiques, etc.) l'étaient ou non. Leur méta-analyse des données de la littérature et leur analyse économique ont conduit à la conclusion suivante. La morbidité générale passerait de 29 % à 55 % en supprimant les antibiotiques (prophyllaxie et métaphylaxie), et le risque de développement d'abcès hépatiques passerait de 8 % à 30 % dans les mêmes circonstances. Dans notre modèle, en supprimant la prophylaxie, la morbidité clinique est passée de 17 % à 31 % et l'incidence des abcès hépatiques, tous grades confondus, est passée de 24,5 % à 90 %. Parmi les maladies infectieuses

cliniques que l'on peut trouver dans les feedlots, seules les maladies respiratoires et les boiteries infectieuses ont été incluses dans notre modèle. Il est donc logique que la morbidité clinique de notre modèle soit inférieure à la morbidité générale indiquée par Wileman et collaborateurs. Toutefois, la morbidité de notre étude représente environ 60 % de la morbidité de l'étude citée, ce qui est en accord avec le fait que les maladies respiratoires et boiteries représentent entre 60 % et 70 % de la morbidité dans les feedlots états-uniens (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013 ; Griffin et al., 1993 ; Constable et al., 2017). Nos résultats semblent donc en accord avec l'étude de Wileman *et al.* En revanche, l'incidence des abcès hépatiques est bien supérieure dans notre étude par rapport à celle indiquée par Wileman *et al.* Nagaraja et Lechtenberg (2007) indiquent toutefois que la prévalence des abcès hépatiques s'étale de 1 % à 95 % et que la moyenne est comprise entre 12 % et 32 %, valeurs supérieures à celles de Wileman *et al.*, comme dans notre modèle. Il semble donc difficile de comparer nos données avec celles de Wileman *et al.* en ce qui concerne les abcès hépatiques.

L'étude de Wileman *et al.* (2009) indique également que répondre au cahier des charges de l'engraissement biologique (suppression des implants hormonaux, de l'antibioprophylaxie, de la métaphylaxie antibiotique et mise en place d'une alimentation biologique) augmenterait les coûts de production de 349 \$ par bovin. Cependant, les études incluses dans cette méta-analyse comparaient les performances et la santé des animaux entre des groupes de bovins engraisés à l'aide des technologies traditionnelles et des groupes contrôles placés dans les mêmes conditions d'élevage et sans la mise en place d'autres moyens de prévention des maladies, habituellement pratiqués dans les systèmes d'engraissement non-conventionnels. Ainsi, il semble absolument nécessaire de trouver des alternatives aux antibiotiques économiquement viables et d'instaurer de nouvelles mesures de prévention des maladies lors de la mise en place de restrictions de l'utilisation de ces médicaments.

4.4.2. Exemples

D'autres moyens de prévention des principales maladies infectieuses que les antibiotiques sont utilisés dans les feedlots états-uniens : 85 % à 96 %, en fonction des valences vaccinales, des feedlots vaccinent par exemple les bovins qui entrent en engraissement contre les virus faisant partie du complexe des maladies respiratoires bovin (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013). Ces vaccins, et d'autres interventions (autres vaccins, pose d'implants hormonaux, induction de l'avortement des génisses gravides, administration d'antiparasitaires, etc.), sont généralement réalisés à l'introduction des bovins dans le feedlot,

pendant une phase nommée *processing*, qui a pour but de préparer les bovins à l'engraissement (Taylor et al., 2010b). Cette étape, sensée participer à la prévention des certaines maladies, est souvent considérée comme néfaste, parce que stressante, pour la santé des animaux. Elle favoriserait notamment le développement de maladies respiratoires. La prévention médicale des maladies, notamment respiratoires, autrement que par l'utilisation d'antibiotiques, semble donc difficile dès que les animaux sont entrés dans l'atelier d'engraissement. Le *preconditioning* peut donc être mis en place. Il s'agit de la réalisation des étapes du *processing* avant l'introduction des animaux en feedlot. Il permet donc d'étaler les événements stressants dans l'élevage naisseur et/ou pendant la phase de *backgrounding*. Les résultats des études qui s'intéressent à l'intérêt du *preconditioning* sont souvent équivoques. Toutefois, pratiquer le *preconditioning*, et notamment sevrer les veaux bien avant leur départ pour l'engraissement et ne pas les vendre dans une foire aux bestiaux, peut diminuer l'incidence des maladies respiratoires, diviser la probabilité de traitement des animaux par environ 4,5 et en diminuer la mortalité (Macartney et al., 2003 ; Roeber et al., 2001 ; Step et al., 2008). De plus, lorsque les veaux sont sevrés plusieurs semaines avant leur départ de l'atelier naisseur, leur poids à l'entrée en feedlot est supérieur au poids des veaux sevrés au moment du départ, ce qui diminue le risque de développement de maladies respiratoires (Taylor et al., 2010a ; 2010b). Dissocier les événements stressants (sevrage, *processing*, introduction en feedlot) pourrait donc être utile pour une meilleure prévention des maladies infectieuses, notamment respiratoires. Bien que la densité animale soit également un facteur de risque important d'apparition et de diffusion de certaines maladies infectieuses (Constable et al., 2017), l'intérêt de sa diminution dans les feedlots a très rarement été exploré pour lutter contre les maladies respiratoires, alors qu'il pourrait être un levier d'action majeur pour diminuer les pertes liées à ces maladies.

Les abcès hépatiques ont été une cause importante de perte de revenu dans notre modèle et la tylosine *per os* est presque systématiquement utilisée dans les feedlots états-uniens pour en diminuer la fréquence (USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, 2013). Dans l'étude de Checkley *et al.* (2005), les animaux nourris avec des fourrages à volonté avaient 5,71 fois moins de chance de développer des abcès hépatiques que les animaux nourris avec une ration constituée principalement de grains de céréales. Dans cette même étude, l'administration d'un vaccin contre *Fusobacterium necrophorum* a permis une diminution significative (Odds Ratio : 0,27, $p = 0,05$) de la fréquence des abcès hépatiques, dans le premier régime uniquement. Un mélange d'huiles essentielles (thymol, eugénol, vanilline, guaïacol et limonène) a permis une assez forte diminution, mais non-significative, de la prévalence des abcès hépatiques dans l'étude de Meyer *et al.* (2009), chez des bovins engraisés avec une ration classique. Comme

pour les maladies respiratoires, il existe des moyens de lutte contre les abcès hépatiques alternatifs aux antibiotiques. Certains, comme le passage à une alimentation entièrement ou principalement fourragère, entraîneraient toutefois une diminution des performances des animaux. Mais quel serait le plus rentable ? produire rapidement des animaux lourds en luttant contre les abcès hépatiques ou engraisser des animaux plus longtemps en diminuant la fréquence de ces lésions ?

4.5. Suivre l'exemple européen ?

Les pays d'Europe du nord ont été les précurseurs dans la lutte contre l'antibiorésistance. En Suède, l'abolition de l'utilisation des antibiotiques comme promoteurs de croissance des animaux en 1986 a permis une diminution de 55 % de la consommation d'antibiotiques nationale entre 1986 et 2001 (Wierup, 2001). Cette mesure n'a pas eu de conséquences économiques ou sanitaires dans la production bovine. En revanche, les éleveurs de poulets de chair ont subi une augmentation de la fréquence des cas d'entérite nécrotique dans leurs élevages. L'utilisation des antibiotiques pour prévenir cette maladie est rapidement devenue négligeable grâce à des moyens alimentaires et la mise en place de mesures qui ont amélioré l'ambiance dans les bâtiments d'élevage. La réglementation sur l'usage des antibiotiques en productions animales s'est rapidement étendue à l'ensemble de l'Union Européenne. Dans les pays du nord et de l'ouest de l'Europe principalement, l'incitation à de meilleures pratiques d'élevage, l'action des vétérinaires à l'échelle des exploitations et l'éducation des jeunes agriculteurs, ont amélioré le bien-être animal, la biosécurité et la santé dans les élevages (Ryan, 2019). Or, l'atteinte subjective du bien-être animal entraînée par l'arrêt de l'utilisation des antibiotiques comme promoteurs de croissance et pour prévenir les maladies est ce qui décourage 65,3 % des producteurs conventionnels états-unis à adhérer au label « raised without antibiotics » (Singer et al., 2019). De plus, selon des éleveurs de bovins du Tennessee « 85-90 % des bovins ne sont pas élevés dans de bonnes conditions » (Ekakoro et al., 2019). Les éleveurs nord-américains semblent donc très sensibles à la santé de leurs animaux et à la qualité de leur logement. Face à cette importante considération du bien-être animal aux États-Unis, ne faudrait-il pas, à l'image des pays d'Europe du nord et de l'ouest, inciter entre autres les feedlots américains à lutter contre les maladies infectieuses par de meilleures conditions d'élevage ? Des axes de recherches novateurs sont d'ores et déjà proposés à ce sujet (Proudfoot, Habing, 2015) et les méthodes d'engraissement non-conventionnelles sont en expansion aux États-Unis (Mathews, 2013). Les performances des animaux engraisés

dans ces systèmes et la qualité de leur viande ont à plusieurs reprises été comparées avec celles des bovins engraisés dans le feedlots traditionnels (Faucitano et al., 2008 ; Berthiaume et al., 2006). Toutefois, les comparaisons d'ordre sanitaire sont rares et seraient importantes pour examiner la durabilité de ces systèmes et inciter les éleveurs à y adhérer.

5. Conclusion

L'objectif de notre étude a été d'évaluer les conséquences économiques de la réduction, voire de l'arrêt, de l'utilisation des antibiotiques à l'échelle des ateliers d'engraissement bovin aux États-Unis. Avec la méthode du budget partiel, nous avons comparé les revenus nets dans deux scénarios, l'un dans lequel l'antibioprophylaxie était interdite et un autre dans lequel tout usage des antibiotiques était interdit, avec la situation actuelle où les antibiotiques sont utilisés pour prévenir et traiter les maladies infectieuses. À un niveau d'incidence modéré, l'interdiction de l'antibioprophylaxie a entraîné une perte de revenu de 62 \$ par animal entrant en feedlot. La perte s'élevait à 91 \$ lorsque tout usage des antibiotiques était interdit. Elle était principalement due à l'augmentation du coût des maladies respiratoires et de la mortalité. Les conséquences des mesures restrictives que nous avons établies ne permettaient pas à l'atelier d'engraissement d'atteindre l'équilibre financier, sauf lorsque les incidences des maladies étaient faibles. La mise en place de mesures très restrictives concernant l'usage des antibiotiques en feedlot nécessiterait donc de développer préalablement des moyens préventifs efficaces, à l'image des pays d'Europe du Nord et de l'Ouest, afin d'assurer la viabilité économique de ce système de production.

À notre connaissance, il n'existe pas d'étude similaire à celle que nous avons menée concernant les ateliers d'engraissement européens, alors que l'utilisation prophylactique collective des antibiotiques sera interdite dès 2022 dans l'Union Européenne (Chatain, Jakubov, 2018). Par ailleurs, il serait intéressant de connaître la faisabilité économique de l'application de mesures plus ou moins restrictives vis-à-vis de l'utilisation des antibiotiques dans les systèmes bovins naisseurs, généralement moins intensifs et moins consommateurs d'antibiotiques que l'engraissement.

Bibliographie

ABELL, K. M., THEURER, M. E., LARSON, R. L., WHITE, B. J. et APLEY, M., 2017. A mixed treatment comparison meta-analysis of metaphylaxis treatments for bovine respiratory disease in beef cattle,2. In : *Journal of Animal Science*. 1 février 2017. Vol. 95, n° 2, p. 626-635. DOI 10.2527/jas.2016.1062.

ACADÉMIE FRANÇAISE, 2019. Dictionnaire de l'Académie française. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 1 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.dictionnaire-academie.fr/>.

ACAR, Jacques et DAVIES, Julian E, 2009. Résistance aux antibiotiques : une perspective écologique à un vieux problème. In : American Society for Microbiology.

ALEXANDER, T. W., INGLIS, G. D., YANKE, L. J., TOPP, E., READ, R. R., REUTER, T. et MCALLISTER, T. A., 2010. Farm-to-fork characterization of *Escherichia coli* associated with feedlot cattle with a known history of antimicrobial use. In : *International Journal of Food Microbiology*. 31 janvier 2010. Vol. 137, n° 1, p. 40-48. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.008.

AMACHAWADI, R. G. et NAGARAJA, T. G., 2016. Liver abscesses in cattle: A review of incidence in Holsteins and of bacteriology and vaccine approaches to control in feedlot cattle. In : *Journal of Animal Science*. 1 avril 2016. Vol. 94, n° 4, p. 1620-1632. DOI 10.2527/jas.2015-0261.

ASEM-HIABLIÉ, Senorpe, ROTZ, C. Alan, STOUT, Robert et FISHER, Kathleen, 2017. Management characteristics of beef cattle production in the western United States. In : *The Professional Animal Scientist*. août 2017. Vol. 33, n° 4, p. 461-471. DOI 10.15232/pas.2017-01618.

ASEM-HIABLIÉ, Senorpe, ROTZ, C. Alan, STOUT, Robert et STACKHOUSE-LAWSON, Kim, 2016. Management characteristics of beef cattle production in the Northern Plains and Midwest regions of the United States. In : *The Professional Animal Scientist*. décembre 2016. Vol. 32, n° 6, p. 736-749. DOI 10.15232/pas.2016-01539.

BABCOCK, A. H., WHITE, B. J., DRITZ, S. S., THOMSON, D. U. et RENTER, D. G., 2009. Feedlot health and performance effects associated with the timing of respiratory disease treatment¹. In : *Journal of Animal Science*. 1 janvier 2009. Vol. 87, n° 1, p. 314-327. DOI 10.2527/jas.2008-1201.

BAPTISTE, Keith Edward et KYVSGAARD, Niels Christian, 2017. Do antimicrobial mass medications work? A systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials investigating antimicrobial prophylaxis or metaphylaxis against naturally occurring bovine respiratory disease. In : *Pathogens and Disease* [en ligne]. 29 septembre 2017. Vol. 75, n° 7. [Consulté le 8 mai 2018]. DOI 10.1093/femspd/ftx083. Disponible à l'adresse : <http://academic.oup.com/femspd/article/doi/10.1093/femspd/ftx083/3983177/Do-antimicrobial-mass-medications-work-A>.

BARZA, Michael et TRAVERS, Karin, 2002. Excess infections due to antimicrobial resistance: the « Attributable Fraction ». In : *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*. 1 juin 2002. Vol. 34 Suppl 3, p. S126-130. DOI 10.1086/340250.

BERTHIAUME, R., MANDELL, I., FAUCITANO, L. et LAFRENIÈRE, C., 2006. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 1. Feedlot performance, carcass quality, and production costs. In : *Journal of Animal Science*. août 2006. Vol. 84, n° 8, p. 2168-2177. DOI 10.2527/jas.2005-328.

BEUKERS, Alicia G., ZAHEER, Rahat, COOK, Shaun R., STANFORD, Kim, CHAVES, Alexandre V., WARD, Michael P. et MCALLISTER, Tim A., 2015. Effect of in-feed administration and withdrawal of tylosin phosphate on antibiotic resistance in enterococci isolated from feedlot steers. In : *Frontiers in Microbiology* [en ligne]. 27 mai 2015. Vol. 6. DOI 10.3389/fmicb.2015.00483. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4444845/>.

BROOKS, K. R., RAPER, K. C., WARD, C. E., HOLLAND, B. P., KREHBIEL, C. R. et STEP, D. L., 2011. Economic effects of bovine respiratory disease on feedlot cattle during

backgrounding and finishing phases. In : *The Professional Animal Scientist*. 1 juin 2011. Vol. 27, n° 3, p. 195-203. DOI 10.15232/S1080-7446(15)30474-5.

BROWN, T. R. et LAWRENCE, T. E., 2010. Association of liver abnormalities with carcass grading performance and value. In : *Journal of Animal Science*. 1 décembre 2010. Vol. 88, n° 12, p. 4037-4043. DOI 10.2527/jas.2010-3219.

CHATAIN, Baptiste et JAKUBOV, Jàn, 2018. 20181018IPR16526 : *Ralentir la propagation de la résistance médicamenteuse des animaux aux humains* [en ligne]. Communiqué de presse. S.l. Parlement Européen. [Consulté le 25 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.europarl.europa.eu/news/fr/press-room/20181018IPR16526/ralentir-la-propagation-de-la-resistance-medicamenteuse-des-animaux-aux-humains>.

CHECKLEY, Sylvia L., JANZEN, Eugene D., CAMPBELL, John R. et MCKINNON, John J., 2005. Efficacy of vaccination against *Fusobacterium necrophorum* infection for control of liver abscesses and footrot in feedlot cattle in western Canada. In : *The Canadian Veterinary Journal*. novembre 2005. Vol. 46, n° 11, p. 1002-1007.

CHI, Junwook, WEERSINK, Alfons, VANLEEUEWEN, John A. et KEEFFE, Gregory P., 2002. The Economics of Controlling Infectious Diseases on Dairy Farms. In : *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*. 2002. Vol. 50, n° 3, p. 237-256. DOI 10.1111/j.1744-7976.2002.tb00335.x.

CHURCH, T. L. et RADOSTITS, O. M., 1981. A Retrospective Survey of Diseases of Feedlot Cattle in Alberta. In : *The Canadian Veterinary Journal*. février 1981. Vol. 22, n° 2, p. 27-30.

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, 2008. COM(2008) 233 final : *Rapport de la Commission au Conseil et au Parlement européen relatif à l'utilisation de coccidiostatiques et d'histomonostatiques en tant qu'additifs pour l'alimentation animale* [en ligne]. Bruxelles. Commission des Communautés Européennes. [Consulté le 19 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52008DC0233>.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2017. *EU Action on Antimicrobial Resistance* -

Antimicrobial Resistance - European Commission [en ligne]. S.l. [Consulté le 5 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : [/health/amr/antimicrobial-resistance_en](#).

CONSTABLE, Peter D., BLOOD, D. C. et RADOSTITS, O. M., 2017. *Veterinary medicine: a textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs, and goats*. 11th edition. St. Louis, Missouri : Elsevier. ISBN 978-0-7020-7057-0. SF745 .B65 2017

DAVIS-UNGER, J., PAJOR, E. A., SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K., MARTI, S., DORIN, C., SPACKMAN, E. et ORSEL, K., 2017. Economic impacts of lameness in feedlot cattle. In : *Translational Animal Science*. 1 décembre 2017. Vol. 1, n° 4, p. 467-479. DOI 10.2527/tas2017.0052.

DAVIS-UNGER, Jessica, 2018. Prevalence, risk factors, and economic costs of beef cattle lameness in southern Alberta feedlots. In : [en ligne]. 25 janvier 2018. [Consulté le 30 juillet 2018]. DOI <http://dx.doi.org/10.5072/PRISM/5448>. Disponible à l'adresse : <https://prism.ucalgary.ca/handle/1880/106367>.

DECHET, Amy M., SCALLAN, Elaine, GENSHEIMER, Kathleen, HOEKSTRA, Robert, GUNDERMAN-KING, Jennifer, LOCKETT, Jana, WRIGLEY, Donna, CHEGE, Wairimu et SOBEL, Jeremy, 2006. Outbreak of Multidrug-Resistant Salmonella enterica Serotype Typhimurium Definitive Type 104 Infection Linked to Commercial Ground Beef, Northeastern United States, 2003–2004. In : *Clinical Infectious Diseases*. 15 mars 2006. Vol. 42, n° 6, p. 747-752. DOI 10.1086/500320.

DEDONDER, Keith D. et APLEY, Michael D., 2015. A Review of the Expected Effects of Antimicrobials in Bovine Respiratory Disease Treatment and Control Using Outcomes from Published Randomized Clinical Trials with Negative Controls. In : *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2015. Vol. 31, n° 1, p. 97-111. DOI 10.1016/j.cvfa.2014.11.003.

DENNIS, Elliott J., 2019. *Economic impacts of metaphylaxis use in U.S. feedlots: producer decisions, policy, and insurance* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 17 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://krex.k-state.edu/dspace/handle/2097/39670>.

DHUYVETTER, John, 1995. *Beef Cattle Frame Scores* [en ligne]. mai 1995. S.l. : North Dakota State University. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/9229/AS1091_1995.pdf?sequence=1.

DIJKHUIZEN, A. A., HUIRNE, R. B. M. et JALVINGH, A. W., 1995. Economic analysis of animal diseases and their control. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1995. Vol. 25, n° 2, p. 135–149.

DUTTON, Jennifer M., WARD, Clement et LUSK, Jayson, 2007. Implicit Value of Retail Beef Brands and Retail Meat Product Attributes. In : NCCC-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management. Chicago, IL. Disponible à l'adresse : <http://www.farmdoc.uiuc.edu/nccc134>.

EKAKORO, John E., CALDWELL, Marc, STRAND, Elizabeth B. et OKAFOR, Chika C., 2019. Drivers, alternatives, knowledge, and perceptions towards antimicrobial use among Tennessee beef cattle producers: a qualitative study. In : *BMC Veterinary Research*. 7 janvier 2019. Vol. 15, n° 1, p. 16. DOI 10.1186/s12917-018-1731-6.

ENGLER, Michael, DEFOOR, Paul, KING, Carter et GLEGHORN, Justin, 2014. The impact of bovine respiratory disease: the current feedlot experience. In : *Animal Health Research Reviews*. décembre 2014. Vol. 15, n° 2, p. 126-129. DOI 10.1017/S1466252314000139.

FABER, Rick, HARTWIG, Nolan, BUSBY, Darrell et BREDAHL, Russ, 2000. The costs and predictive factors of bovine respiratory disease in standardized steer tests. In : . 2000.

FAO, 2018. *Food Outlook : Biannual Report on Global Food Markets* [en ligne]. Rome, Italy : FAO. [Consulté le 6 novembre 2018]. Food Outlook. ISBN 978-92-5-130768-7. Disponible à l'adresse : www.fao.org/3/ca0239en/CA0239EN.pdf.

FAO, OIE, WHO, 2003. WHO | FAO/OIE/WHO Tripartite Collaboration on AMR. In : *WHO* [en ligne]. 2003. [Consulté le 5 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/foodsafety/areas_work/antimicrobial-resistance/tripartite/en/.

FAUCITANO, L., CHOUINARD, P. Y., FORTIN, J., MANDELL, I. B., LAFRENIÈRE, C., GIRARD, C. L. et BERTHIAUME, R., 2008. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 2. Meat quality, fatty acid composition, and overall palatability. In : *Journal of Animal Science*. juillet 2008. Vol. 86, n° 7, p. 1678-1689. DOI 10.2527/jas.2007-0756.

FIELD, Thomas G., 2018. *Beef Production and Management Decisions, 6th Edition* [en ligne]. 6th Edition. S.l. : Pearson. [Consulté le 11 juillet 2019]. ISBN 978-0-13-460269-1. Disponible à l'adresse : <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Field-Beef-Production-and-Management-Decisions-6th-Edition/PGM1103748.html>.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2012. *Guidance for Industry #209* [en ligne]. S.l. U.S. Department of Health and Human Services - Food and Drug Administration - Center for Veterinary Medicine. Disponible à l'adresse : <http://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/cvm-gfi-209-judicious-use-medically-important-antimicrobial-drugs-food-producing-animals>.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2013. *Guidance for Industry #213* [en ligne]. WebContent. S.l. U.S. Department of Health and Human Services - Food and Drug Administration - Center for Veterinary Medicine. [Consulté le 2 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.fda.gov/AnimalVeterinary/GuidanceComplianceEnforcement/GuidanceforIndustry/ucm042450.htm>.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2017. *2016 Summary Report on Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food-Producing Animals*. S.l. Food and Drug Administration.

FULTON, Robert W., BLOOD, K. Shawn, PANCIERA, Roger J., PAYTON, Mark E., RIDPATH, Julia F., CONFER, Anthony W., SALIKI, Jeremiah T., BURGE, Lurinda T., WELSH, Ronald D. et JOHNSON, Bill J., 2009. Lung pathology and infectious agents in fatal feedlot pneumonias and relationship with mortality, disease onset, and treatments. In : *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2009. Vol. 21, n° 4, p. 464-477.

GAGEA, Mihai I., BATEMAN, Kenneth G., SHANAHAN, Rachel A., VAN DREUMEL,

Tony, MCEWEN, Beverly J., CARMAN, Susy, ARCHAMBAULT, Marie et CASWELL, Jeff L., 2006. Naturally occurring Mycoplasma bovis-associated pneumonia and polyarthritis in feedlot beef calves. In : *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc.* janvier 2006. Vol. 18, n° 1, p. 29-40. DOI 10.1177/104063870601800105.

GARCIA, M, M THALLMAN, R, L WHEELER, T, D SHACKELFORD, S et CASAS, Eduardo, 2010. Effect of bovine respiratory disease and overall pathogenic disease incidence on carcass traits. In : *Journal of animal science.* 2010. Vol. 88, p. 491-6. DOI 10.2527/jas.2009-1874.

GARDNER, B.A., DOLEZAL, H.G., BRYANT, Lonty, OWENS, Fred et SMITH, R.A., 2000. Health of finishing steers: Effects on performance, carcass traits, and meat tenderness. In : *Journal of animal science.* 1 janvier 2000. Vol. 77, p. 3168-75. DOI 10.2527/1999.77123168x.

GERKEN, Cara, 1996. *Standards for Grades of Slaughter Cattle.* 1 juillet 1996. S.l. : United States Department of Agriculture - Agricultural Marketing Service - Livestock and Seed Division.

GIFFORD, C. A., HOLLAND, B. P., MILLS, R. L., MAXWELL, C. L., FARNEY, J. K., TERRILL, S. J., STEP, D. L., RICHARDS, C. J., ROBLES, Burciaga, O, L. et KREHBIEL, C. R., 2012. GROWTH AND DEVELOPMENT SYMPOSIUM: Impacts of inflammation on cattle growth and carcass merit,. In : *Journal of Animal Science.* 1 mai 2012. Vol. 90, n° 5, p. 1438-1451. DOI 10.2527/jas.2011-4846.

GRAVELAND, Haitske, WAGENAAR, Jaap A., HEESTERBEEK, Hans, MEVIUS, Dik, VAN DUIJKEREN, Engeline et HEEDERIK, Dick, 2010. Methicillin Resistant Staphylococcus aureus ST398 in Veal Calf Farming: Human MRSA Carriage Related with Animal Antimicrobial Usage and Farm Hygiene. In : *PLoS ONE* [en ligne]. 8 juin 2010. Vol. 5, n° 6. DOI 10.1371/journal.pone.0010990. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2882326/>.

GRIFFIN, D., 1997. Economic impact associated with respiratory disease in beef cattle. In : *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice.* novembre 1997. Vol. 13, n° 3,

p. 367-377.

GRIFFIN, D., PERINO, L. et HUDSON, D., 1993. *G93-1159 Feedlot Lameness* [en ligne]. 1993. S.l. : Historical Materials from University of Nebraska- Lincoln Extension. [Consulté le 24 août 2018]. Disponible à l'adresse : <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/196>.

HELLER, René, 2019. *IONOPHORES* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/ionophores/>.

HENDERSON, Greg, 2018. Profit Tracker: Feedyard Margins Top \$260. In : *Drovers* [en ligne]. 30 janvier 2018. [Consulté le 15 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.drovers.com/article/profit-tracker-feedyard-margins-top-260>.

JOHANNIS, Ann, 2019. Prices and Profitability Models | Agricultural Marketing Resource Center. In : *Agricultural Marketing Resource Center* [en ligne]. 2019. [Consulté le 13 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.agmrc.org/renewable-energy/prices-and-profitability-models>.

KLEIN, Eili Y., BOECKEL, Thomas P. Van, MARTINEZ, Elena M., PANT, Suraj, GANDRA, Sumanth, LEVIN, Simon A., GOOSSENS, Herman et LAXMINARAYAN, Ramanan, 2018. Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 10 avril 2018. Vol. 115, n° 15, p. E3463-E3470. DOI 10.1073/pnas.1717295115.

LANGEMEIER, Michael, 2019. Net Return Prospects for Cattle Finishing in 2019. In : *farmdoc daily*. 6 février 2019. Vol. 9, n° 21.

LAWRENCE, John D. et ELLIS, Shane, 2008. Monthly Returns from Cattle Feeding. In : [en ligne]. Septembre 2008. [Consulté le 26 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.extension.iastate.edu/agdm/livestock/html/b1-35.html>.

LHERMIE, Guillaume, RABOISSON, Didier, KREBS, Stéphane et DUPRAZ, Pierre, 2015. Facteurs déterminants et leviers de réduction de l'usage des antibiotiques en production

animale. In : *Économie rurale*. août 2015. n° 348.

LHERMIE, Guillaume, TAUER, Loren William et GRÖHN, Yrjo Tapio, 2018. The farm cost of decreasing antimicrobial use in dairy production. In : LOOR, Juan J. (éd.), *PLOS ONE*. 22 mars 2018. Vol. 13, n° 3, p. e0194832. DOI 10.1371/journal.pone.0194832.

MACARTNEY, Joanne E., BATEMAN, Kenneth G. et RIBBLE, Carl S., 2003. Health performance of feeder calves sold at conventional auctions versus special auctions of vaccinated or conditioned calves in Ontario. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 septembre 2003. Vol. 223, n° 5, p. 677-683.

MATHEWS, Kenneth H, 2013. LDPM-218-01 : *Alternative Beef Production Systems: Issues and Implications*. S.I. USDA, Economic Research Service.

MAUNSELL, F.P., WOOLUMS, A.R., FRANCOZ, D., ROSENBUSCH, R.F., STEP, D.L., WILSON, D.J. et JANZEN, E.D., 2011. Mycoplasma bovis Infections in Cattle: Mycoplasma bovis. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. juillet 2011. Vol. 25, n° 4, p. 772-783. DOI 10.1111/j.1939-1676.2011.0750.x.

MEYER, N. F., ERICKSON, G. E., KLOPFENSTEIN, T. J., GREENQUIST, M. A., LUEBBE, M. K., WILLIAMS, P. et ENGSTROM, M. A., 2009. Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation, and digestibility. In : *Journal of Animal Science*. juillet 2009. Vol. 87, n° 7, p. 2346-2354. DOI 10.2527/jas.2008-1493.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION, 2019. Écoantibio 2 : plan national de réduction des risques d'antibiorésistance en médecine vétérinaire (2017 - 2021) | Alim'agri. In : *Alim'Agri* [en ligne]. 2019. [Consulté le 10 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecoantibio-2-2017-2021>.

MØLBAK, Kåre, BAGGESEN, Dorte Lau, AARESTRUP, Frank Møller, EBBESEN, Jens Munk, ENGBERG, Jørgen, FRYDENDAHL, Kai, GERNER-SMIDT, Peter, PETERSEN, Andreas Munk et WEGENER, Henrik C., 1999. An Outbreak of Multidrug-Resistant, Quinolone-Resistant *Salmonella enterica* Serotype Typhimurium DT104. In : *New England*

Journal of Medicine. 4 novembre 1999. Vol. 341, n° 19, p. 1420-1425.
DOI 10.1056/NEJM199911043411902.

NAGARAJA, T. G. et LECHTENBERG, Kelly F., 2007. Liver Abscesses in Feedlot Cattle. In : *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 juillet 2007. Vol. 23, n° 2, p. 351-369. DOI 10.1016/j.cvfa.2007.05.002.

NAUTRUP, B. P., VAN VLAENDEREN, I., GASPER, S. M. et HOLLAND, R. E., 2013. Estimating the comparative clinical and economic consequences of tulathromycin for treatment of present or anticipated outbreaks of bovine respiratory disease in feedlot cattle in the United States. In : *Journal of Animal Science*. 1 décembre 2013. Vol. 91, n° 12, p. 5868-5877. DOI 10.2527/jas.2013-6709.

NICKELL, Jason S. et WHITE, Brad J., 2010. Metaphylactic Antimicrobial Therapy for Bovine Respiratory Disease in Stocker and Feedlot Cattle. In : *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. juillet 2010. Vol. 26, n° 2, p. 285-301. DOI 10.1016/j.cvfa.2010.04.006.

NSF INTERNATIONAL, 2019. Raised Without Antibiotics - NSF International. In : *NSF International* [en ligne]. 2019. [Consulté le 22 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.nsf.org/services/by-industry/food-safety-quality/label-claims/raised-without-antibiotics>.

POULSEN NAUTRUP, B., VAN VLAENDEREN, I., GASPER, S. M. et HOLLAND, R. E., 2013. Estimating the comparative clinical and economic consequences of tulathromycin for treatment of present or anticipated outbreaks of bovine respiratory disease in feedlot cattle in the United States¹. In : *Journal of Animal Science*. 1 décembre 2013. Vol. 91, n° 12, p. 5868-5877. DOI 10.2527/jas.2013-6709.

PROUDFOOT, Kathryn et HABING, Gregory, 2015. Social stress as a cause of diseases in farm animals: Current knowledge and future directions. In : *The Veterinary Journal*. 1 octobre 2015. Vol. 206, n° 1, p. 15-21. DOI 10.1016/j.tvjl.2015.05.024.

RADOSTITS, O. M, 2001. *Herd health: food animal production medicine*. Philadelphia :

Saunders. ISBN 978-0-7216-7694-4.

REVIEW ON ANTIMICROBIAL RESISTANCE, 2016. *Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations* [en ligne]. S.I. Review on Antimicrobial Resistance - Tackling drug-resistant infections globally. [Consulté le 28 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://amrreview.org/sites/default/files/160525_Final%20paper_with%20cover.pdf.

ROBERTS, C., SPURGEON, C. et FOWLER, J., 2007. Range Improvement Task Force Report No. 67 : *Characteristics of the United States Organic Beef Industry*. S.I. New Mexico State University, Cooperative Extension Service, Agricultural Experiment Station, and College of Agriculture and Home Economics.

ROBERTS, Rebecca R., HOTA, Bala, AHMAD, Ibrar, SCOTT, R. Douglas, FOSTER, Susan D., ABBASI, Fauzia, SCHABOWSKI, Shari, KAMPE, Linda M., CIAVARELLA, Ginevra G., SUPINO, Mark, NAPLES, Jeremy, CORDELL, Ralph, LEVY, Stuart B. et WEINSTEIN, Robert A., 2009. Hospital and Societal Costs of Antimicrobial-Resistant Infections in a Chicago Teaching Hospital: Implications for Antibiotic Stewardship. In : *Clinical Infectious Diseases*. 15 octobre 2009. Vol. 49, n° 8, p. 1175-1184. DOI 10.1086/605630.

ROEBER, D. L., SPEER, N. C., GENTRY, J. G., TATUM, J. D., SMITH, C. D., WHITTIER, J. C., JONES, G. F., BELK, K. E. et SMITH, G. C., 2001. Feeder Cattle Health Management: Effects on Morbidity Rates, Feedlot Performance, Carcass Characteristics, and Beef Palatability. In : *The Professional Animal Scientist*. 1 juin 2001. Vol. 17, n° 2, p. 39-44. DOI 10.15232/S1080-7446(15)31594-1.

RYAN, Michael, 2019. 132 : *Evaluating the economic benefits and costs of antimicrobial use in food-producing animals* [en ligne]. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. S.I. [Consulté le 17 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/evaluating-the-economic-benefits-and-costs-of-antimicrobial-use-in-food-producing-animals_f859f644-en.

SCHNEIDER, M. J., TAIT, R. G., BUSBY, W. D. et REECY, J. M., 2009. An evaluation of bovine respiratory disease complex in feedlot cattle: Impact on performance and carcass traits

using treatment records and lung lesion scores. In : *Journal of Animal Science*. mai 2009. Vol. 87, n° 5, p. 1821-1827. DOI 10.2527/jas.2008-1283.

SEEGERS, H., EZANNO, P., KREBS, S., RAT-ASPERT, O., VIET, A. F., BELLOC, C., CHARRON, M., MALHER, X. et FOURICHON, C., 2011. Modélisation et aide aux décisions en gestion de la santé animale. In : *Rencontres Recherche Ruminants*. 2011. Vol. 18, p. 4–10.

SINGER, Randall S., PORTER, Leah J., THOMSON, Daniel U., GAGE, Mallory, BEAUDOIN, Amanda et WISHNIE, Jennifer K., 2019. Potential impacts on animal health and welfare of raising animals without antibiotics. In : *bioRxiv*. 12 avril 2019. p. 600965. DOI 10.1101/600965.

SNEERINGER, Stacy, MACDONALD, James M., KEY, Nigel, MCBRIDE, William D. et MATHEWS, Kenneth, 2017. ID 2981692 : *Economics of Antibiotic Use in U.S. Livestock Production* [en ligne]. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. [Consulté le 13 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : <https://papers.ssrn.com/abstract=2981692>.

STEP, D. L., KREHBIEL, C. R., DEPRA, H. A., CRANSTON, J. J., FULTON, R. W., KIRKPATRICK, J. G., GILL, D. R., PAYTON, M. E., MONTELONGO, M. A. et CONFER, A. W., 2008. Effects of commingling beef calves from different sources and weaning protocols during a forty-two-day receiving period on performance and bovine respiratory disease. In : *Journal of Animal Science*. novembre 2008. Vol. 86, n° 11, p. 3146-3158. DOI 10.2527/jas.2008-0883.

TAYLOR, Jared D., FULTON, Robert W., LEHENBAUER, Terry W., STEP, Douglas L. et CONFER, Anthony W., 2010a. The epidemiology of bovine respiratory disease: What is the evidence for predisposing factors? In : *The Canadian Veterinary Journal*. octobre 2010. Vol. 51, n° 10, p. 1095-1102.

TAYLOR, Jared D., FULTON, Robert W., LEHENBAUER, Terry W., STEP, Douglas L. et CONFER, Anthony W., 2010b. The epidemiology of bovine respiratory disease: What is the evidence for preventive measures? In : *The Canadian Veterinary Journal*. décembre 2010. Vol. 51, n° 12, p. 1351-1359.

TENNANT, T. C., IVES, S. E., HARPER, L. B., RENTER, D. G. et LAWRENCE, T. E., 2014. Comparison of tulathromycin and tilmicosin on the prevalence and severity of bovine respiratory disease in feedlot cattle in association with feedlot performance, carcass characteristics, and economic factors. In : *Journal of Animal Science*. 1 novembre 2014. Vol. 92, n° 11, p. 5203-5213. DOI 10.2527/jas.2014-7814.

TERRELL, Shane P., REINHARDT, Christopher D., LARSON, Connie K., VAHL, Christopher I. et THOMSON, Daniel U., 2017. Incidence of lameness and association of cause and severity of lameness on the outcome for cattle on six commercial beef feedlots. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 6 février 2017. Vol. 250, n° 4, p. 437-445. DOI 10.2460/javma.250.4.437.

THOMPSON, P. N., STONE, A. et SCHULTHEISS, W. A., 2006. Use of treatment records and lung lesion scoring to estimate the effect of respiratory disease on growth during early and late finishing periods in South African feedlot cattle. In : *Journal of animal science*. 2006. Vol. 84, n° 2, p. 488–498.

USDA, AGRICULTURAL MARKETING SERVICE, 2019a. Daily Beef Reports | Agricultural Marketing Service. In : *United States Department of Agriculture, Agriculture Marketing Service* [en ligne]. 2019. [Consulté le 2 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ams.usda.gov/market-news/daily-beef-reports>.

USDA, AGRICULTURAL MARKETING SERVICE, 2019b. MPR Data Mart. In : *United States Department of Agriculture - Agriculture Marketing Service* [en ligne]. 2019. [Consulté le 26 juin 2019]. Disponible à l'adresse : <https://mpr.datamart.ams.usda.gov/menu.do?path=Products\Cattle\Weekly%20Cattle>.

USDA, ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE, 2013. *USDA APHIS | NAHMS Feedlot Studies* [en ligne]. S.l. U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, National Animal Health Monitoring System. [Consulté le 16 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/animalhealth/monitoring-and-surveillance/nahms/nahms_feedlot_studies.

USDA, ECONOMIC RESEARCH SERVICE, 2018. USDA ERS - Meat Price Spreads. In : *United States Department of Agriculture, Economic Research Service* [en ligne]. 2018. [Consulté le 10 août 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.ers.usda.gov/data-products/meat-price-spreads/meat-price-spreads/>.

USDA, ECONOMIC RESEARCH SERVICE, 2019a. USDA ERS - Feed Grains: Yearbook Tables. In : *United States Department of Agriculture, Economic Research Service* [en ligne]. 2019. [Consulté le 10 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ers.usda.gov/data-products/feed-grains-database/feed-grains-yearbook-tables.aspx>.

USDA, ECONOMIC RESEARCH SERVICE, 2019b. USDA ERS - Livestock & Meat Domestic Data. In : *United States Department of Agriculture, Economic Research Service* [en ligne]. 2019. [Consulté le 10 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ers.usda.gov/data-products/livestock-meat-domestic-data/livestock-meat-domestic-data/#Livestock%20Prices>.

USDA, FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE, 2018. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. [Consulté le 6 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2016a. *Agricultural Prices* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. [Consulté le 10 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/c821gj76b?locale=en>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2016b. *Overview of the U. S. Cattle Industry* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. [Consulté le 16 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1648>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2018a. *Agricultural Prices 11/29/2018* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. Disponible à l'adresse : <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/c821gj76b?locale=en>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2018b. *Cattle on Feed* [en ligne]. S.l. U.S. Department of Agriculture. [Consulté le 16 octobre 2018]. Disponible à l'adresse :

<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1020>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2018c. *Livestock Slaughter* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. [Consulté le 16 octobre 2018]. Disponible à l'adresse :

<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1096>.

USDA, NATIONAL AGRICULTURE STATISTICS SERVICE, 2019. *Agricultural Prices 04/30/2019* [en ligne]. S.l. United States Department of Agriculture. Disponible à l'adresse : <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/c821gj76b?locale=en>.

VAN BOECKEL, Thomas P., BROWER, Charles, GILBERT, Marius, GRENFELL, Bryan T., LEVIN, Simon A., ROBINSON, Timothy P., TEILLANT, Aude et LAXMINARAYAN, Ramanan, 2015. Global trends in antimicrobial use in food animals. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 5 mai 2015. Vol. 112, n° 18, p. 5649-5654. DOI 10.1073/pnas.1503141112.

WAGNER, John J., ARCHIBEQUE, Shawn L. et FEUZ, Dillon M., 2014. The Modern Feedlot for Finishing Cattle. In : *Annual Review of Animal Biosciences*. février 2014. Vol. 2, n° 1, p. 535-554. DOI 10.1146/annurev-animal-022513-114239.

WANG, Min, SCHNEIDER, Liesel G., HUBBARD, Kristina J., GROTELUESCHEN, Dale M., DALY, Russell F., STOKKA, Gerald S. et SMITH, David R., 2018. Beef producer survey of the cost to prevent and treat bovine respiratory disease in preweaned calves. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 août 2018. Vol. 253, n° 5, p. 617-623. DOI 10.2460/javma.253.5.617.

WHO, 2015. *WHO | Global action plan on antimicrobial resistance* [en ligne]. S.l. World Health Organisation. [Consulté le 7 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.who.int/antimicrobial-resistance/publications/global-action-plan/en/>.

WHO, 2016. WHO | United Nations high-level meeting on antimicrobial resistance. In : *World Health Organization* [en ligne]. 21 septembre 2016. [Consulté le 7 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.who.int/antimicrobial-resistance/events/UNGA-meeting-amr-sept2016/en/>.

WHO, 2017. CC BY-NC-SA 3.0 IGO : WHO | WHO guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals [en ligne]. Geneva. World Health Organization. [Consulté le 5 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/foodsafety/publications/cia_guidelines/en/.

WHO ADVISORY GROUP ON INTEGRATED SURVEILLANCE OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE, 2017. *Critically important antimicrobials for human medicine: ranking of antimicrobial agents for risk management of antimicrobial resistance due to non-human use* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 9 juillet 2019]. ISBN 978-92-4-151222-0. Disponible à l'adresse : <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/255027/1/9789241512220-eng.pdf>.

WIERUP, M., 2001. The Swedish experience of the 1986 year ban of antimicrobial growth promoters, with special reference to animal health, disease prevention, productivity, and usage of antimicrobials. In : *Microbial Drug Resistance (Larchmont, N.Y.)*. 2001. Vol. 7, n° 2, p. 183-190. DOI 10.1089/10766290152045066.

WILDMAN, Brian K., PERRETT, Tye, ABUTARBUSH, Sameeh M., GUICHON, P. Timothy, PITTMAN, Tom J., BOOKER, Calvin W., SCHUNICHT, Oliver C., FENTON, R. Kent et JIM, G. Kee, 2008. A comparison of 2 vaccination programs in feedlot calves at ultra-high risk of developing undifferentiated fever/bovine respiratory disease. In : *The Canadian Veterinary Journal*. mai 2008. Vol. 49, n° 5, p. 463-472.

WILEMAN, B. W., THOMSON, D. U., REINHARDT, C. D. et RENTER, D. G., 2009. Analysis of modern technologies commonly used in beef cattle production: Conventional beef production versus nonconventional production using meta-analysis. In : *Journal of Animal Science*. 1 octobre 2009. Vol. 87, n° 10, p. 3418-3426. DOI 10.2527/jas.2009-1778.

WILLIAMS, A. R., 2002. Ultrasound applications in beef cattle carcass research and management. In : *Journal of Animal Science*. 1 janvier 2002. Vol. 80, n° E-suppl_2,

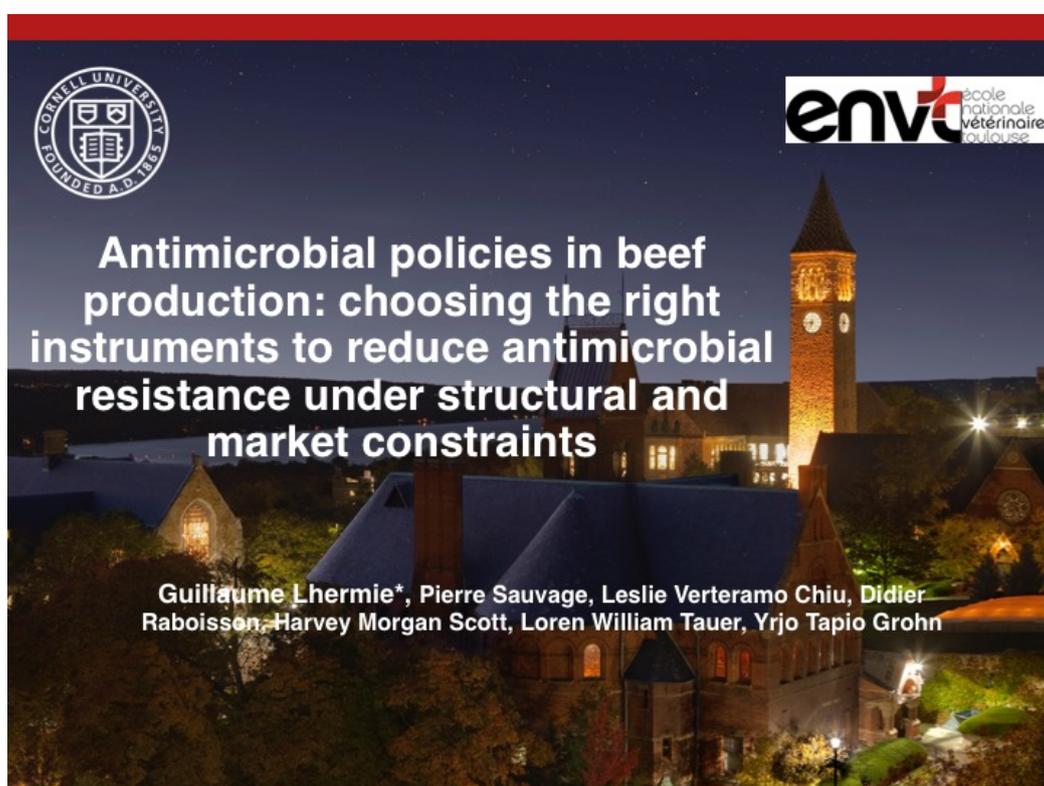
p. E183-E188. DOI 10.2527/animalsci2002.80E-Suppl_2E183x.

ZHANG, Lu, HUANG, Ying, ZHOU, Yang, BUCKLEY, Timothy et WANG, Hua H., 2013. Antibiotic Administration Routes Significantly Influence the Levels of Antibiotic Resistance in Gut Microbiota. In : *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. août 2013. Vol. 57, n° 8, p. 3659-3666. DOI 10.1128/AAC.00670-13.

Annexes

Annexe 1 : International Society of Economics and Social Sciences for Animal Health annual conference, juillet 2019, Atlanta, USA.

Antimicrobial policies in beef production: choosing the right instruments to reduce antimicrobial resistance under structural and market constraints; Guillaume Lhermie, Pierre Sauvage, Leslie Verteramo Chiu, Didier Raboisson, Harvey Morgan Scott, Loren William Tauer, Yrjo Tapio Grohn.

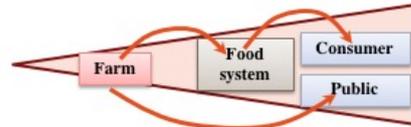




*AMU: antimicrobial use
AMR: antimicrobial resistance

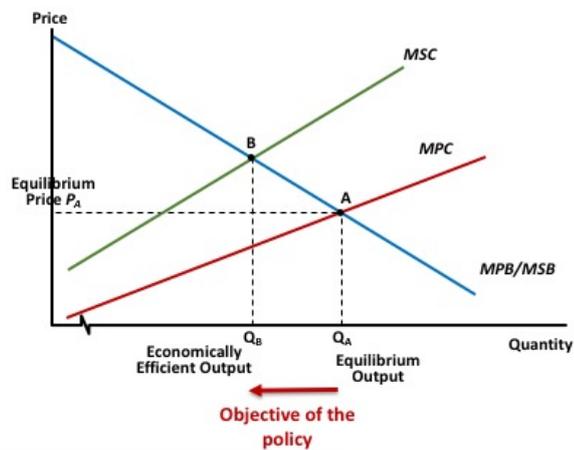
AMU/AMR* : an economic challenge

- AMU in agriculture
 - Damage control tool
 - Selection of resistant bacteria
 - Pathogenic for animals
 - Pathogenic for humans
- AMR as an externality of AMU in Agriculture



Externality and public policy design

- Unknown
 - Attempts to estimate public health costs
 - \$[2-17] per AM course treatment
 - \$20,000 for MRSA
 - Contribution of AMU in agriculture?
 - [Naylor et al, ARIC, 2018](#)
 - [Michaelidis et al, BMC Inf Dis, 2016](#)
- Yet, need to act
 - Numerous countries have set measures
 - Restrictions
 - Taxes

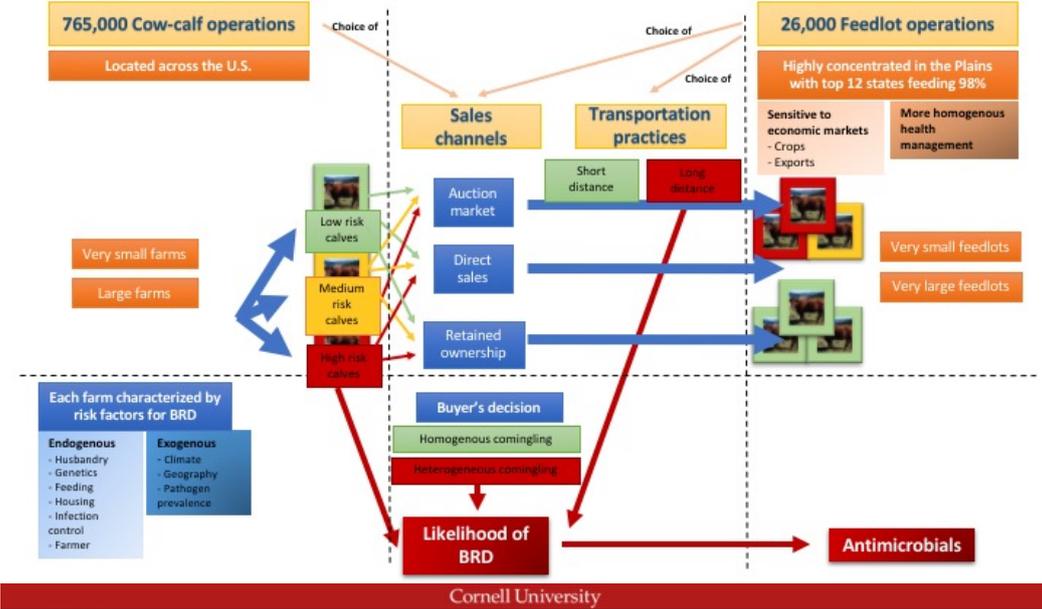


OBJECTIVE: investigate the performance of policy instruments in U.S. beef production



***BRD: Bovine respiratory Disease**

First step: description of the beef system



Second step: performance of policy instruments

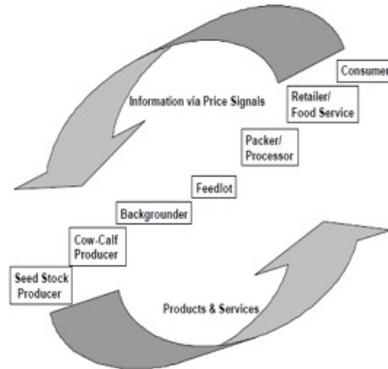
Instrument	Objective	Pros	Cons	Requirements
Regulation	Direct reduction	Quick (set by regulator)	Less control on how No optimality	Monitoring of AMU
Tax	++ costs of treatment	Requires little information on marginal private costs	Unadapted if . Inelastic demand . Hobby farming	Societal costs of AMR
Subsidy	Favors alternatives	No penalties	Extra costs	Specific budget
Voluntary agreement	-- occurrence of diseases	++ animal welfare/health	Extra expenses borne by farmers	Correction of imperfect information



- Policies efficacy depends on
 - Structure of the beef system
 - Information symmetry
 - Resilience capability
 - People’s behaviors
- Consumers’ and retailers’ influence
- Need of empirical research
 - Information systems
 - Impact of policies

ENCOURAGE TRUST

ENCOURAGE CHANGE



frontiers
in Veterinary Science

Antimicrobial policies in United States beef production: choosing the right instruments to reduce antimicrobial use and resistance under structural and market constraints
Guillaume Lhermie, Karun Kanjyammattam, Leslie Verteramo, Loren William Tauer, Harvey Morgan Scott and Yijia Grohn
Conceptual Analysis Antimicrobial use (AMU) in animal



Ex ante evaluation of AMU restrictions in feedlot

- 2017: Veterinary feed directive – FDA guidance #213
 - Ban of AM as growth promoters
 - Prescription required before AM delivery
- 2018: Mc Donald’s commitment
- Literature :
 - Initially focusing on growth promotion
 - Dairy sector
 - Metaphylaxis in beef

FDA, 2016

Mc Donald's corp., 2018

Matthews et al., 2002

Sneeringer et al., 2015

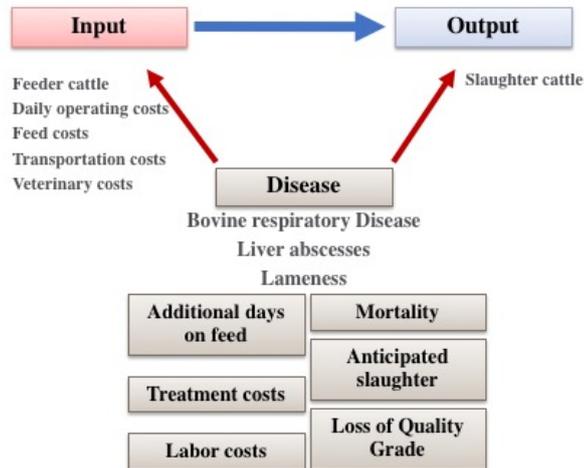
Lhermie et al., 2018 a, b

Elliott et al., 2018



Materials and methods

- U.S. Feedlot model
 - Based on literature review
 - Production costs and sale prices
 - Performance
 - Diseases incidence
 - Diseases impact



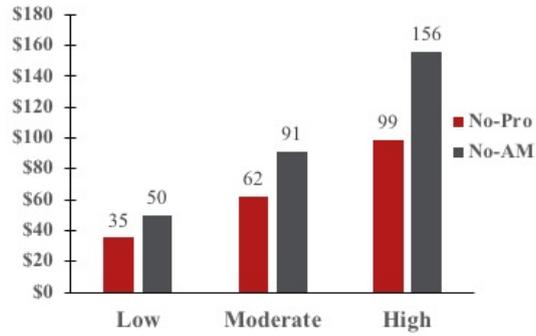
Material and methods

- Comparison of scenario to a Business As Usual scenario
 - BAU: Current situation, no restrictions
 - No-Pro: Ban of prophylaxis/metaphylaxis
 - No-AM: total ban of AMU
- Assessment of net revenue per animal present on day 0
- Indifference between scenarios

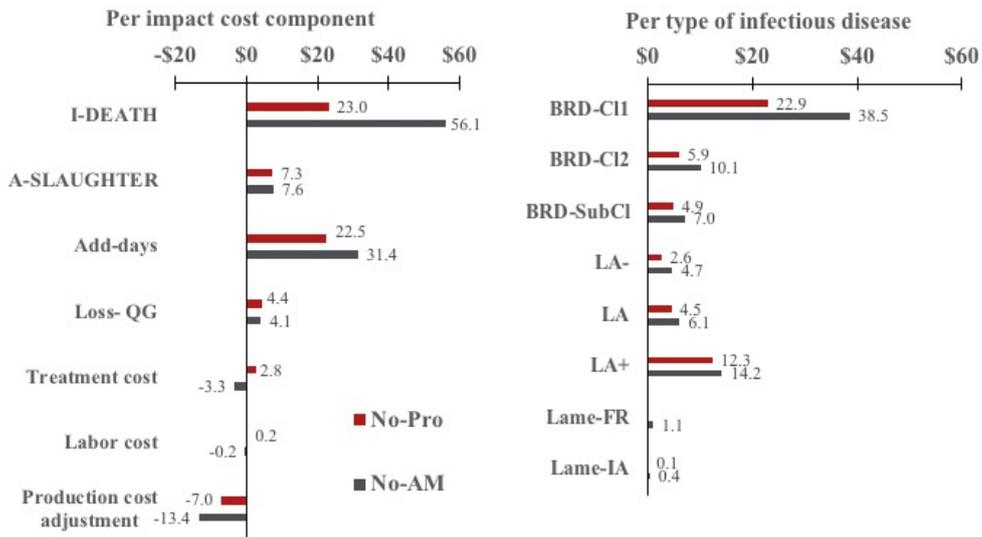


Loss of net revenue

- Per steer present on day 0
 - USD 35-99 in No-pro
 - USD 50-156 in No-AM



Distribution of the diseases net cost difference per animal





Indifference between scenarios

- Reducing purchase prices [3.5%-15.4%]
- Increasing slaughter prices [2.3%-11.6%]

Incidence level	No-Pro scenario			No-AM scenario		
	Low	Moderate	High	Low	Moderate	High
Feeder price ($\Delta\%$ from BAU)	-3.5	-6.1	-9.7	-4.9	-9.0	-15.4
Slaughter cattle price ($\Delta\%$ from BAU)	2.3	4.2	7.0	3.3	6.3	11.6



Discussion

- Banning AM
 - A costly approach (2-4% of revenue)
 - Animal welfare issue
 - Encouraging in-between scenarios
- Voluntary approaches targeting prevention
 - Require coordination among the actors of the beef supply chain
 - Transparency of information

Applied questions and
research needs

Acknowledgments

Cornell University: Y. Grohn, J. Hertl, L. Tauer, L. Verteramo

Texas A&M: H.M. Scott

Toulouse Veterinary School: D. Raboisson, P. Sauvage

Contact :

g1467@cornell.edu

g.lhermie@envt.fr

Annexe 2 : Guillaume Lhermie, Pierre Sauvage, Leslie Verteramo Chiu, Didier Raboisson, Harvey Morgan Scott, Loren William Tauer, Yrjo Pario Gröhn. 2019. Economic effects of regulating antimicrobial use in U.S. feedlot – Article à soumettre.

Economic effects of regulating antimicrobial use in U.S. feedlot

Guillaume Lhermie^{1,2*}, Pierre Sauvage², Leslie Verteramo Chiu¹, Didier Raboisson², Harvey Morgan Scott³, Loren William Tauer⁴, Yrjo Tapio Grohn¹

¹ : Department of Population Medicine and Diagnostic Sciences, College of Veterinary Medicine, Cornell University, Ithaca, USA

² : IHAP, Université de Toulouse, INRA, ENVT, Toulouse, France

³ : Department of Veterinary Pathobiology, College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences, Texas A&M University, College Station, USA

⁴ : Dyson School of Applied Economics and Management, Cornell SC Johnson College of Business, Cornell University, Ithaca, USA

* Corresponding authors: guillaume.lhermie@gmail.com

Abstract

Consumers and governments are increasingly pressuring farmers towards a reduction of antimicrobial use (AMU) in farming activities. In the future, policies may affect current practices of AMU in beef production, a prominent user of antimicrobials in animal agriculture, but also the most important agricultural industry in the U.S. Our objective was to estimate the cost effect from AMU restrictions in feedlot: the ban of metaphylaxis, and the ban of antimicrobials. We modelled a typical U.S. feedlot, where steers are afflicted by bovine respiratory disease, liver abscesses, and lameness. Using a stochastic partial budget, we calculated the net revenue loss under each scenario of restriction, when compared to a business as usual scenario where antimicrobials are used to prevent and treat diseases. Sensitivity analyses were performed to assess the effects of diseases incidences, productions costs, and animals' purchase and sale prices.

With moderate incidences, the average net revenue loss was \$62 and \$91 per animal entering the feedlot, for not using metaphylaxis and not using antimicrobials, respectively. This net revenue loss increased with diseases' incidences. Bovine respiratory disease was the costliest group of diseases. In both scenarios, increase of mortality accounted for the major chunk of revenue loss, followed by the increase of the feeding duration. In case of AMU prohibition, decreasing the average feeder cattle price by 9%, or alternatively increasing the slaughter cattle price by 6.3%, would counterbalance the loss of net revenue for the feedlot operator. If no alternative for control and treatments of current infectious diseases are implemented, our results suggest that reducing drastically AMU in feedlot would incur heavy economic losses for the producers, and lead to a rise in animal mortality. Policies encouraging adoptions of prevention of diseases have to be encouraged, to maintain the profitability of beef production while simultaneously curb AMU.

Introduction

Cattle production is the most important agricultural industry in the U.S., accounting in 2015 for \$79 billion of the \$377 billion of U.S. agricultural commodity cash receipts (USDA 2016). Approximately 12 millions of tons of beef meat are harvested every year, comprising culled dairy and beef cows and bulls, and calves finished on grass or in feedlots. (USDA:NASS 2018). Feedlots consist of feeding operations, where weaned steers and bulls are grouped and finished with high-energy ration, for a period of 100 to 300 days, depending on weight at placement, and feeding conditions. In a context of growing demand for meat, feedlot operators must maintain or even improve their productivity. Stress generated by transport from cow-calf or backgrounding operations to feedlots, commingling, as well as transition to high-grain feeding constitute risk factors for infectious diseases, occurring mainly in the first weeks after arrival. Diseases afflicting cattle diminish the efficiency of the production process (McInerney 1996). First, diseases may decrease the output sold, by increasing animal losses due to involuntary culling or mortality. Second, diseases may decrease the efficiency of production factors, leading for example to an increase in the feeding period, or a decrease in feed conversion. Third, disease generates additional expenditures for treatments.

Beef operators commonly use AM, to limit the damages associated with diseases. Quantitative data reporting AMU in feedlot are sparse; yet aggregate data from the U.S. Food and Drug Administration (FDA) have shown that dairy and beef cattle accounted for approximately 50% of non-medically and medically important AMU in food animal production (FDA 2017). It is noteworthy that macrolides and ceftiofur, which are used routinely in feedlot, are classified as highest-priority critically important antimicrobials in human medicine by the World Health Organization (WHO 2017). As the therapeutic efficacy of AM is high, their use clearly enhances

overall animal productivity; as such, they remain a widely used tool, highly resistant to producers' budget constraints (Lhermie, Gröhn, and Raboisson 2017). However, the increasing evidence of the contribution of AMU in animal agriculture to the public health threat of antimicrobial resistance has pointed out to policy-makers the paramount importance of prudent AMU in food animal production. Indeed, AMU in cattle production may lead to select resistant bacteria from commensal floras of animals, potentially transmitted to humans. To our knowledge, the quantitative impact of AMU in cattle production on AMR in humans has not been measured. Yet consumers, businesses and public organizations have demanded a reduction of AMU in animal agriculture. In an international context where initiatives aiming at curbing AMR are flourishing, it is possible that restrictions of AMU will affect U.S. beef production. Our objective is therefore to evaluate the costs of potential restrictions of AMU in feedlot, under various situations possibly observed in the field.

Material and Methods

We used a simulation model built in Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA), representative of a 100 head feedlot pen to evaluate the economic impact of AMU restrictions in beef production. We modelled the biological and economic parameters of an average feedlot system, and estimated the net costs and benefits, using a partial budgeting approach.

Scenario Definitions

Business as usual (BAU) scenario

The BAU scenario corresponds to the current situation of AMU in U.S. feedlot. In the BAU scenario, AM are used without restriction, under the control of veterinarians. We assumed that a specific AMT was implemented for each disease included in our model.

Producing without antimicrobials: No-AM scenario

Under the No-AM scenario, recourse to AM is prohibited, either in preventive or curative use.

Limiting the use of antimicrobials to curative treatments: No-Pro scenario

Under the No-Pro scenario, AM are solely used to treat animals presenting clinical signs of diseases i.e., prophylaxis is banned.

Feedlot model parameters

Production process characteristics of healthy animals

In each scenario, we modeled a generic pen of 100 steers weighing 295 kg at arrival and slaughtered at 590kg (table 1). In the BAU scenario, the feeding period was assumed to be 197 days, divided into two successive first (P1) and second (P2) periods: a P1 of 37 days and a P2 of 160 days. The average daily gain (ADG) was 0.97 kg/d and 1.63 kg/d in P1 and P2, respectively; therefore, the ADG was 1.50 kg/d during the whole feeding period. Because the steers did not receive prophylactic AM in No-Meta and No-AM scenarios, we assumed, based on estimates found in the literature, that the ADG were lower in those scenarios (P1: 0.90 kg/d; P2: 1.52 kg/d; whole feeding period: 1.40 kg/d) and that the feeding period was longer (P1: 40 d; P2: 171 d; whole feeding period: 211 d). (USDA:NASS 2019; USDA 2016; Thompson, Stone, and Schultheiss 2006)

Consistent with Wileman et al. ADG of animals that received antimicrobials in prophylaxis was 7.3% greater than ADG of animals that did not receive prophylaxis (Wileman et al. 2009)

Daily production costs were calculated according to Lawrence and Ellis (Lawrence and Ellis 2008). They reported feeding and operating costs (labor, manure handling, equipment, and interests). We calculated the feeding costs according to the feeding ration described by Lawrence and Ellis (Lawrence and Ellis 2008) and the 3 years (2016-2018) average prices of corn, alfalfa hay and 50 % dry-matter distillers' grains (USDA ERS 2019a). We assumed veterinary costs (for implants, pest control and vaccination) of \$19.44 per animal for the entire feeding period.

(Lawrence and Ellis 2008; B.K. et al. 2008; Wang et al. 2018). Transportation costs were also included. Production costs are reported in table 2.

In the BAU scenario, antimicrobials were used as prophylactic treatment for BRD and LA. Costs of antimicrobial prophylaxis were set at \$20.

The average feeder cattle price was set at \$3.44 per kg. (average of the 295 kg-non-fed steers' price from January 2016 to December 2018) (USDA ERS 2019b).

Diseases

Three main categories of diseases were included in our model, each of them subdivided in subcategories.

Bovine Respiratory Diseases (BRD) consist of the first category. We assumed that BRD could be observed (steers present clinical signs of disease) during P1, or during P2. In addition, BRD affect steers subclinically. Liver abscesses consist of the second category. Consistent with literature, we assumed that three grades of liver abscesses could be observed at slaughter (LA-, LA, and LA+).

The third category, lameness, was divided into two subcategories: foot rot and arthritis.

We assumed an average incidence for each disease and each scenario.

In the BAU scenario, the default incidences of BRD-P1, BRD-P2, BRD-Sub, LA-, LA, LA+, Lam-FR, and Lam-A were set at 12%, 3%, 20%, 8.5%, 6%, 10%, 1.5%, and 0.5%, respectively, in accordance with the mean incidences reported in several studies (Thompson, Stone, and Schultheiss 2006; Babcock et al. 2009; Schneider et al. 2009; Faber et al. 1999; Tennant et al.

2014; Fulton 2009; Amachawadi and Nagaraja 2016; Brown and Lawrence 2010; Terrell et al. 2017; J Davis-Unger et al. 2017; Checkley et al. 2005).

In addition, we determined two additional sets of values for disease incidences, one representing a feedlot with a low level of disease, and a second with a high level of disease (table 3).

Prophylactic AMU decreases the incidences of the diseases against which the antimicrobials are administered. The diseases' incidences in No-Pro and No-AM were similar, and were calculated with the following formula, where RR_{MORB} is the relative risk of morbidity when antimicrobials are used in prophylaxis.

$$INCIDENCE_{No-Pro} = INCIDENCE_{BAU} / RR_{MORB}.$$

The relative risks of morbidity were equal to 0.52 (Baptiste and Kyvsgaard 2017) for respiratory diseases and 0.27 (Wileman et al. 2009) for livers abscesses. We did not find any information concerning the efficacy of prophylactic treatments against foot rot and infectious arthritis. Thus, we set these relative risks to 1. The effects of prophylactic AMU are reported in table 4.

Evaluation of the impacts of ID

The impact of each disease was estimated per sick animal, according to the following components: **proportion of anticipated slaughter (A-SLAUGHTER), increased mortality (I-DEATH), additional days of processing until slaughter (Add-days) (d), the loss of quality grade of sick animals (Loss-QG) (% of sick animals having a grade loss), additional treatments costs (\$), and additional labor costs (\$).** An anticipated slaughter consists of a sick animal slaughtered before having reached the optimal slaughter weight; i.e. in case of anticipated slaughter, the animal weight is lower than 590 kg.

For the BAU scenario, estimates of impacts provided by previous research were generally extracted from studies in which AM were used to manage infectious diseases. Therefore, we used an average value from the literature for each cost impact component, assuming that AM were performed to achieve these values.

For the No-Pro scenario, we calculated A-SLAUGHTER and I-DEATH using the relative risks or odd ratios found in the literature (Baptiste and Kyvsgaard 2017) according to the following formulas:

$$A-SLAUGHTER_{No-Pro} = RR_{A-SLAUGHTER} * A-SLAUGHTER_{BAU}$$

$$I-DEATH_{No-Pro} = RR_{I-DEATH} * I-DEATH_{BAU}$$

These relative risks were set equal to one for subclinical diseases and when no data was found in the literature (table 4).

In the No-AM scenario, for each disease, we set intermediate values for I-DEATH and A-SLAUGHTER, between those used in the No-Pro scenario and the highest ones found in the literature.

For modeling purpose, we held constant the slaughter weight of 590 kg, and therefore assumed that diseases would decrease the ADG, and consequently increase the number of days of feeding. We set an average value of ADG in each scenario, and allowed ADG to vary in a range of $\pm 15\%$ of average in the model. We assumed that the impacts of each disease on ADG were consistent between BAU and No-Pro scenarios. In the No-AM scenario, for each disease, the disease impact on ADG was intermediate between the value used in No-Pro scenario and the highest value found in the literature. Consistent with the literature, the loss of ADG in case of BRD was applied to all the duration of the feeding phase concerned (Babcock et al. 2009; Faber et al. 1999; Tennant et al.

2014). On the other hand, the loss of ADG in case of lameness (foot rot and infectious arthritis) was applied from the onset of the disease (J Davis-Unger et al. 2017). The average onset days of the diseases are reported in table 5. For BRD-P1 and BRD-P2, we set the day of anticipated slaughter equal to the average day of death. For subclinical BRD and LA, the loss of ADG was accounted for the whole feeding period.

Slaughter cattle selling price depends on Yield and Quality Grades of the carcass. The base price is generally defined for the Quality Grade “Choice” and the Yield Grade “3”. In our model, we assumed that healthy animals reached this level. Diseases can affect the grades of a certain percentage of animal that are slaughtered at a regular slaughter weight. We assumed that 10% of steers presenting clinical diseases and 2 % of steers affected by subclinical diseases had a loss of quality grade (Garcia et al. 2010; Schneider et al. 2009) As several studies reported that diseases did not impact the Yield Grade enough to induce a penalty, we did not include the Yield Grade in the model. (Schneider et al. 2009; Gardner et al. 1999; Brown and Lawrence 2010; Garcia et al. 2010).

Additional treatments costs and additional labor costs per head were set at constant values for each scenario, and their total costs vary only according to the incidences of diseases. We assumed that 100% of sick animals were treated. Only treated animals required additional labor.

For simplification purposes, diseases were modeled as only occurring once and were independent from each other. All the impact estimates extracted from available literature are shown in table 6.

Costs and revenues calculation

Cost and revenue estimates

Total costs were estimated for a pen of 100 steers with average incidences of diseases.

First, an average cost was estimated for each cost component (table 6). The calculation method of each cost component was similar for each disease. The cost of a dead animal was set as the gross revenue of a healthy animal at slaughter. The cost of an anticipated slaughter was calculated by subtracting the gross revenue of an anticipated slaughtered steer to the gross revenue of a healthy steer. The gross revenue was calculated as the product of weight at slaughter by the selling price/kg. To calculate the gross revenue, we used a 3-years average of the selling price of live fed animals (Nagaraja and Lechtenberg 2007; USDA ERS 2019a; USDA:NASS 2019; USDA National Agricultural Statistics Service 2016). The selling price of live anticipated slaughtered steers was equal to 53% of the price of animals that reach the optimal slaughter weight (590 kg) (Griffin et al. 1993; J Davis-Unger et al. 2017). The weight of anticipated slaughtered steers and the number of additional days on feed were calculated according to the loss of ADG described above. Add-days only concerned animals that were slaughtered at optimal weight (590 kg).

The loss of Quality Grade, from Choice to Select or Standard for example, induces about 10% of price penalty (USDA Agricultural Marketing Service 2019). We used this value to calculate the impact of loss of Quality Grade.

Cost Adjustments

We calculated the daily production costs (sum of feed and daily operating costs) saved in the case of death and anticipated slaughter. For each clinical disease, we set an average day of death or anticipated slaughter according to published data (Fulton 2009; Terrell et al. 2017), and we

calculated the number of days for which the steers should have been fed until slaughter (table 5). We then multiplied this number by the daily production costs and the incidence, to obtain the value of cost adjustments. The value of the adjustments was then subtracted from the crude cost to obtain the net cost for each scenario.

Net revenue calculation

The net revenue was calculated by subtracting the net cost to the gross revenue, in each scenario.

Comparison of scenarios

We computed the net costs under each scenario. Then, we measured a cost difference by subtracting the net cost for the BAU scenario from the net cost of each scenario tested. As using antimicrobials in prophylaxis modify the production characteristics of healthy animals, we also compared the net revenues of the different scenarios by subtracting the net revenues of the tested scenarios from the net revenue of the BAU scenario.

Indifference between scenarios

From the net revenue losses and the prices of purchase and sale of steers, we calculated the variations of feeder cattle prices and slaughter prices, all other things being equal, required by the feedlot to be indifferent between the BAU scenario and the alternative scenarios. To do so, we modelled the net revenue as a function of the feeder price or the slaughter cattle price, for each scenario and each level of incidence. Then, we calculated required feeder and slaughter cattle prices, equalizing the net revenue in each scenario.

Sensitivity analysis

The @Risk (Palisade, Ithaca, NY) add-in was used to perform sensitivity analysis of the influence of stochastic and deterministic input parameters on outcome values. Input and output prices, and the effects of prophylactic AMU on ADG, morbidity and lethality were modeled stochastically (table 2 and 4).

Results

Loss of net revenue under AMU prohibition and under restriction of AMU for curative treatments only

Estimates of loss of net revenue under the No-AM scenario and under the No-PRO scenario are presented in figure 1. In a situation of moderate incidence of diseases, the loss of net revenue per steer entering the feedlot over BAU scenario was $\$91 \pm 11$, and $\$62 \pm 9$, in the No-AM and No-Pro scenarios, respectively. The loss of net revenue increased with the incidence of diseases.

Diseases Net Cost difference under AMU prohibition and under restriction of AMU for curative treatments only

Estimates of costs difference under the No-AM scenario and under the No-Pro scenario are presented in figure 2. In a situation of moderate incidence of diseases, the diseases costs per 100 steers over BAU scenario increased by $\$8,223 \pm 807$, and $\$5,323 \pm 550$, in the No-AM and No-Pro scenarios, respectively.

The breakdown of costs by cost components shows that additional days of processing and mortality were the largest costs components (figure 3). In the No-AM scenario with a moderate incidence, the cost increases for Add-Days and I-DEATH were $\$31.4$ and $\$56.1$ per steer present, respectively, In the No-Pro scenario with a moderate incidence, the cost increases for Add-Days and I-DEATH were $\$22.5$ and $\$23$.

The breakdown of the net costs per infectious disease shows that the quantitative contribution to the total costs varied significantly among diseases (figure 4). Clinical BRD affecting steers occurring during P1 accounted for the greatest costs.

Indifference between scenarios

To reach an equal revenue under the No-Pro scenario and No-AM, feedlot operators would have to purchase steers between 3.5 % and 9.7 % and 4.9 % and 15.4 % respectively, lower than the average current price, depending on the incidence of diseases. Alternatively, if feedlot sell between 2.3 % and 7 % and 3.3 % and 11.6 % respectively, higher than the average current slaughter price, they would be indifferent to a change of scenario. The results are depicted in table 7.

Discussion

The objective of our study was to evaluate the economic impact of different measures on AM consumption at feedlot scale in the U.S., using partial budgeting method. Because using AM in prophylaxis is an investment at the beginning of the fattening period and because it decreases production costs due to an increase of ADG, we compared the net revenue to reach the objective of our study.

In the BAU scenario, the net revenue per steer entering the feedlot was \$42.3. In real life, this revenue is very fluctuant: from January 2016 to October 2018, it varied from \$-500 to \$350 in Kansas and averaged \$-40 (Langemeier 2019). In 2017, the average reached an exceptional value of \$236 (Henderson 2018) that had not been met since 1993.

In the BAU scenario and moderate incidences, the average cost of a clinical case of BRD (BRD-P1 and BRD-P2) was \$138 and the net revenue got from a sick steer was \$-58. These results are consistent with those of (Brooks et al. 2011) who found that the loss of net revenue per sick animal ranged from \$60 and \$143 and the net revenue provided by a sick animal ranged from \$-60.99 to \$-77.60. Moreover, (Poulsen Nautrup et al. 2013) calculated that the cost per case of BRD ranged from \$27.89 and \$306.57 as a function of the AM used and if prophylaxis was conducted or not.

In our model, the loss of net revenue induced by the liver abscesses was \$10, \$25, \$41 per steer entering the feedlot for the grades LA-, LA and LA+, respectively. These consequences of liver abscesses are generally calculated at the carcass scale (Brown and Lawrence 2010). However, liver abscesses induce by 11% of loss of ADG and up to 10% of feed efficacy (Nagaraja and Lechtenberg 2007) that unavoidably increase the fattening duration and/or decrease the slaughter weight and devalue the quality grade (Brown and Lawrence 2010).

To our knowledge, only (J Davis-Unger et al. 2017) have calculated the economic impact of the different causes of lameness in beef feedlots. They calculated that each foot rot case costed \$110 and each infectious arthritis case costed \$727. These results are in the same order of magnitude that ours (\$152 for foot rot and \$585 for infectious arthritis).

In moderate incidences, the ban of antibioprohylaxis induced a loss of \$62 per steer entering the feedlot. Dennis (2019) found that the use “upper tier” AM in metaphylaxis allowed to get a net revenue from \$58.47 to \$118.85 higher than if no metaphylaxis was performed. This additional net revenue ranged from \$13.73 to \$41.74 when “lower tier” antibiotics were used.

After banning antibioprohylaxis and then any use of AM, the net revenue got in the BAU scenario in moderate and high incidences were negative. These results raise an important question: is fattening cattle without antibiotics economically feasible? When incidences were low, the net revenues were \$27 and \$12 per animal entering the feedlot, in the No-Pro and No-AM scenarios, respectively. Thus, it seems to be feasible to get a positive net revenue when drastic measures are taken concerning the use of antibiotics in feedlots, but only if the incidence of major infectious diseases are low.

Feeding cost was the first variable that influenced the variations of the loss of net revenue. Feeding is indeed the first production cost in cattle fattening (Field 2018). Increasing the fattening duration of healthy animals, e.g. when antibioprohylaxis is not used, induces an increase of the production costs and, thus, a decrease of the theoretical net revenue. Moreover, higher feed is expensive, costlier is the pathological increase of the fattening duration, due to a loss of ADG.

The RR of morbidity associated to the antibioprohylaxis against BRD was the second or the third parameter that influence the most the variation of the loss of net revenue in the sensitivity analysis. An increase of the RR, *i.e.* a loss of efficiency, induced a decrease of the loss of net

revenue. We did not find any data about the efficiency of antibiotics in treatment of clinical cases that we could use in the model. Nevertheless, antibiotics that are used for treatments of BRD clinical cases are the same that those used in prophylaxis against BRD (DeDonder and Apley 2015; Baptiste and Kyvsgaard 2017). Thus, we could imagine that a loss of efficiency of antibiotics used to treat BRD clinical cases may have a similar influence on the loss of net revenue, that the one observed for the efficiency of antibioprophyllaxis.

We calculated the decrease of purchase price necessary to counterbalance the loss of net revenue in the No-Pro and No-AM scenario. A purchase price 6.1% and 9%, for the No-Pro and the No-AM scenario respectively, lower than the average purchase price, enabled the feedlot to get the same net revenue than in the BAU scenario, when incidences were moderate. However, decreasing the revenue of the cow-calf or backgrounding system is not tolerable. Thus, we also calculated the increase of selling price necessary to achieve the same objective. In moderate incidences, a rise of 4.2% and 6.3% of the selling price, in the No-Pro and No-AM scenario, respectively, enabled the feedlot operator to get the same net revenue than in the BAU scenario. This variation of the selling price is lower than the average prime given for organic products (Roberts, Spurgeon, and Fowler 2007) and lower than the twice of the price of conventional beef meat that American consumers are ready to spend for beef meat raised without AM and hormones (Dutton, Ward, and Lusk 2007).

For modeling purpose, we fixed the slaughter weight at 590 kg: the consequence was very long fattening durations (362 days for steers recovered from infectious arthritis) that could be thought to be unrealistic (Field 2018). Nevertheless, it would have been very difficult to include precise individual parameters in the model, such as frame score (Dhuyvetter 1995) or ultrasonography (Williams 2002) in order to determine the best moment to slaughter steers.

For modelling purpose, we assumed that diseases were independent. This hypothesis simplifies a very complex issue. Indeed, some diseases, such as pneumonias and arthritis can be epidemiologically linked (Davis-Unger 2018; Gagea et al. 2006; Maunsell et al. 2011). Our study cared about the global health situation in the American feedlots and not precisely the interactions between diseases. This interesting complex aspect could, however, be included in a model that aims to answer a more precise question.

In agreement with Wileman et al. (2009), our results suggest that producing beef without antibiotics would be economically feasible only if efficient alternatives to antibiotics are available to prevent and/or treat infectious diseases. Non-AM BRD prevention can be improved practicing preconditioning (Macartney, Bateman, and Ribble 2003; Roeber et al. 2001; Step et al. 2008; Taylor et al. 2010a; 2010b) and liver abscesses could be managed increasing the level of forages in steers' diet and vaccinating against *Fusobacterium necrophorum* while the level of forages is high in the diet (Checkley et al. 2005).

The ban of the use of AM as growth promoters in Sweden in 1986, and then in Europe, was very efficient in decreasing the global use of AM (-55% from 1986 to 2001) (Wierup 2001). It had health and economic impacts only in the chicken industry that were counterbalanced improving animal welfare and biosecurity (Ryan 2019). Sixty-five percent of the conventional American animal producers consider that raising animals without antibiotics is a threat to animal welfare (Singer et al. 2019) and, according to bovine breeders of Tennessee, "85-90% of the cattle are mismanaged" (Ekakoro et al. 2019). Considering the important consideration of animal welfare within the U.S. beef industry, would it be possible to prevent infectious diseases by improving the farming practices rather than using antibiotics? Unfortunately, there are no study comparing the

animals' health in conventional systems to non-conventional systems where better practices may be applied.

References

Amachawadi, R G, and T G Nagaraja. 2016. "Liver Abscesses in Cattle: A Review of Incidence in Holsteins and of Bacteriology and Vaccine Approaches to Control in Feedlot Cattle." *Journal of Animal Science* 94 (4): 1620–32. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0261>.

Babcock, A. H., B. J. White, S. S. Dritz, D. U. Thomson, and D. G. Renter. 2009. "Feedlot Health and Performance Effects Associated with the Timing of Respiratory Disease Treatment." *Journal of Animal Science* 87 (1): 314–27. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1201>.

Baptiste, Keith Edward, and Niels Christian Kyvsgaard. 2017. "Do Antimicrobial Mass Medications Work? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Clinical Trials Investigating Antimicrobial Prophylaxis or Metaphylaxis against Naturally Occurring Bovine Respiratory Disease." *Pathogens and Disease* 75 (7): 1–12. <https://doi.org/10.1093/femspd/ftx083>.

B.K., Wildman, Perrett T., Abutarbush S.M., Guichon P.T., Pittman T.J., Booker C.W., Schunicht O.C., and Fenton R.K. 2008. "A Comparison of 2 Vaccination Programs in Feedlot Calves at Ultra-High Risk of Developing Undifferentiated Fever/Bovine Respiratory Disease." *Canadian Veterinary Journal* 49 (5): 463–72.

Brooks, K. R., K. C. Raper, C. E. Ward, B. P. Holland, C. R. Krehbiel, and D. L. Step. 2011. "Economic Effects of Bovine Respiratory Disease on Feedlot Cattle during Backgrounding and

Finishing Phases.” *The Professional Animal Scientist* 27 (3): 195–203.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30474-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30474-5).

Brown, T. R., and T. E. Lawrence. 2010. “Association of Liver Abnormalities with Carcass Grading Performance and Value.” *Journal of Animal Science* 88 (12): 4037–43.
<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3219>.

Checkley, Sylvia L., Eugene D. Janzen, John R. Campbell, and John J. McKinnon. 2005. “Efficacy of Vaccination Against *Fusobacterium Necrophorum* Infection for Control of Liver Abscesses and Footrot in Feedlot Cattle in Western Canada.” *Canadian Veterinary Journal* 46 (11): 1002–7.

Davis-Unger, J, E.A. Pajor, K Schwartzkopf-Genswein, T. Marti, C. Dorin, E. Spackman, and K. Orsel. 2017. “Economic Impacts of Lameness in Feedlot Cattle.” *Translational Animal Science*, no. July: 467–79. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0052>.

Davis-Unger, Jessica. 2018. “Prevalence, Risk Factors, and Economic Costs of Beef Cattle Lameness in Southern Alberta Feedlots,” January. <http://dx.doi.org/10.5072/PRISM/5448>.

DeDonder, Keith D., and Michael D. Apley. 2015. “A Review of the Expected Effects of Antimicrobials in Bovine Respiratory Disease Treatment and Control Using Outcomes from Published Randomized Clinical Trials with Negative Controls.” *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 31 (1): 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.11.003>.

Dennis, Elliott J. 2019. “Economic Impacts of Metaphylaxis Use in U.S. Feedlots: Producer Decisions, Policy, and Insurance.” <https://krex.k-state.edu/dspace/handle/2097/39670>.

Dhuyvetter, John. 1995. "Beef Cattle Frame Scores." North Dakota State University. https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/9229/AS1091_1995.pdf?sequence=1.

Dutton, Jennifer M., Clement Ward, and Jayson Lusk. 2007. "Implicit Value of Retail Beef Brands and Retail Meat Product Attributes." *NCCC-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management*. Chicago, IL., May. <http://www.farmdoc.uiuc.edu/nccc134>.

Ekakoro, John E., Marc Caldwell, Elizabeth B. Strand, and Chika C. Okafor. 2019. "Drivers, Alternatives, Knowledge, and Perceptions towards Antimicrobial Use among Tennessee Beef Cattle Producers: A Qualitative Study." *BMC Veterinary Research* 15 (1): 16. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1731-6>.

Faber, R, N Hartwig, D Busby, and R BreDahl. 1999. "The Costs and Predictive Factors of Bovine Respiratory Disease in Standardized Steer Tests." *Beef Research Report — Iowa State University*.

FDA. 2017. "2016 Summary Report On Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food-Producing Animals."

Field, Thomas G. 2018. *Beef Production and Management Decisions, 6th Edition*. 6th Edition. Pearson. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Field-Beef-Production-and-Management-Decisions-6th-Edition/PGM1103748.html>.

Fulton, R. W. 2009. "Bovine Respiratory Disease Research (1983-2009)." *Animal Health Research Reviews* 10 (2): 131–39.

Gagea, Mihai I., Kenneth G. Bateman, Rachel A. Shanahan, Tony van Dreumel, Beverly J. McEwen, Susy Carman, Marie Archambault, and Jeff L. Caswell. 2006. "Naturally Occurring Mycoplasma Bovis-Associated Pneumonia and Polyarthritits in Feedlot Beef Calves." *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc* 18 (1): 29–40. <https://doi.org/10.1177/104063870601800105>.

Garcia, M. D., R. M. Thallman, T. L. Wheeler, S. D. Shackelford, and E. Casas. 2010. "Effect of Bovine Respiratory Disease and Overall Pathogenic Disease Incidence on Carcass Traits." *Journal of Animal Science* 88 (2): 491–96. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1874>.

Gardner, B A, H G Dolezal, L K Bryant, F N Owens, and R A Smith. 1999. "Health of Finishing Steers: Effects on Performance, Carcass Traits, and Meat Tenderness." *Journal of Animal Science* 77 (12): 3168–75. <https://doi.org/10.2527/1999.77123168x>.

Griffin, Dee, Louis Perino, Don Hudson, Nebraska-Lincoln Griffin, Dee ; Perino, and Louis Hudson. 1993. "G93-1159 Feedlot Lameness Feedlot Lameness."

Henderson, Greg. 2018. "Profit Tracker: Feedyard Margins Top \$260." *Drovers*. January 30, 2018. <https://www.drovers.com/article/profit-tracker-feedyard-margins-top-260>.

Langemeier, Michael. 2019. "Net Return Prospects for Cattle Finishing in 2019." *Farmdoc Daily*, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, 9 (21).

Lawrence, J., and S. Ellis. 2008. "Monthly Returns from Cattle Feeding." 2008. <https://www.extension.iastate.edu/agdm/livestock/html/b1-35.html>.

Lhermie, Guillaume, Yrjö T. Gröhn, and Didier Raboisson. 2017. “Addressing Antimicrobial Resistance: An Overview of Priority Actions to Prevent Suboptimal Antimicrobial Use in Food-Animal Production.” *Frontiers in Microbiology* 7 (January): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02114>.

Macartney, Joanne E., Kenneth G. Bateman, and Carl S. Ribble. 2003. “Health Performance of Feeder Calves Sold at Conventional Auctions versus Special Auctions of Vaccinated or Conditioned Calves in Ontario.” *Journal of the American Veterinary Medical Association* 223 (5): 677–83.

Maunsell, F.P., A.R. Woolums, D. Francoz, R.F. Rosenbusch, D.L. Step, D.J. Wilson, and E.D. Janzen. 2011. “Mycoplasma Bovis Infections in Cattle: Mycoplasma Bovis.” *Journal of Veterinary Internal Medicine* 25 (4): 772–83. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2011.0750.x>.

McInerney, John. 1996. “Old Economics for New Problems -Livestock Disease: Presidential Address.” *Journal of Agricultural Economics* 47 (1–4): 295–314. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.1996.tb00695.x>.

Nagaraja, T. G., and Kelly F. Lechtenberg. 2007. “Liver Abscesses in Feedlot Cattle.” *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice* 23 (2): 351–69. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.05.002>.

Poulsen Nautrup, B., I. Van Vlaenderen, S. M. Gasper, and R. E. Holland. 2013. “Estimating the Comparative Clinical and Economic Consequences of Tulathromycin for Treatment of Present or Anticipated Outbreaks of Bovine Respiratory Disease in Feedlot Cattle in the United States¹.” *Journal of Animal Science* 91 (12): 5868–77. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6709>.

Roberts, C., C. Spurgeon, and J. Fowler. 2007. "Characteristics of the United States Organic Beef Industry." Range Improvement Task Force Report No. 67. New Mexico State University, Cooperative Extension Service, Agricultural Experiment Station, and College of Agriculture and Home Economics.

Roeber, D. L., N. C. Speer, J. G. Gentry, J. D. Tatum, C. D. Smith, J. C. Whittier, G. F. Jones, K. E. Belk, and G. C. Smith. 2001. "Feeder Cattle Health Management: Effects on Morbidity Rates, Feedlot Performance, Carcass Characteristics, and Beef Palatability." *The Professional Animal Scientist* 17 (2): 39–44. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31594-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31594-1).

Ryan, Michael. 2019. "Evaluating the Economic Benefits and Costs of Antimicrobial Use in Food-Producing Animals." OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers 132. <https://doi.org/10.1787/f859f644-en>.

Schneider, M. J., R. G. Tait, W. D. Busby, and J. M. Reecy. 2009. "An Evaluation of Bovine Respiratory Disease Complex in Feedlot Cattle: Impact on Performance and Carcass Traits Using Treatment Records and Lung Lesion Scores." *Journal of Animal Science* 87 (5): 1821–27. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1283>.

Singer, Randall S., Leah J. Porter, Daniel U. Thomson, Mallory Gage, Amanda Beaudoin, and Jennifer K. Wishnie. 2019. "Potential Impacts on Animal Health and Welfare of Raising Animals without Antibiotics." *BioRxiv*, April, 600965. <https://doi.org/10.1101/600965>.

Step, D. L., C. R. Krehbiel, H. A. DePra, J. J. Cranston, R. W. Fulton, J. G. Kirkpatrick, D. R. Gill, M. E. Payton, M. A. Montelongo, and A. W. Confer. 2008. "Effects of Commingling Beef Calves from Different Sources and Weaning Protocols during a Forty-Two-Day Receiving Period on

Performance and Bovine Respiratory Disease.” *Journal of Animal Science* 86 (11): 3146–58. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-0883>.

Taylor, Jared D., Robert W. Fulton, Terry W. Lehenbauer, Douglas L. Step, and Anthony W. Confer. 2010a. “The Epidemiology of Bovine Respiratory Disease: What Is the Evidence for Predisposing Factors?” *The Canadian Veterinary Journal* 51 (10): 1095–1102.

Taylor, Jared D., Robert W. Fulton, Terry W. Lehenbauer, Douglas L. Step, and Anthony W. Confer. 2010b. “The Epidemiology of Bovine Respiratory Disease: What Is the Evidence for Preventive Measures?” *The Canadian Veterinary Journal* 51 (12): 1351–59.

Tennant, T. C., S. E. Ives, L. B. Harper, D. G. Renter, and T. E. Lawrence. 2014. “Comparison of Tulathromycin and Tilmicosin on the Prevalence and Severity of Bovine Respiratory Disease in Feedlot Cattle in Association with Feedlot Performance, Carcass Characteristics, and Economic Factors.” *Journal of Animal Science* 92 (11): 5203–13. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7814>.

Terrell, Shane P., Christopher D. Reinhardt, Connie K. Larson, Christopher I. Vahl, and Daniel U. Thomson. 2017. “Incidence of Lameness and Association of Cause and Severity of Lameness on the Outcome for Cattle on Six Commercial Beef Feedlots.” *Journal of the American Veterinary Medical Association* 250 (4): 437–45. <https://doi.org/10.2460/javma.250.4.437>.

Thompson, P N, A Stone, and W A Schultheiss. 2006. “Use of Treatment Records and Lung Lesion Scoring to Estimate the Effect of Respiratory Disease on Growth during Early and Late Finishing Periods in South African Feedlot Cattle The Online Version of This Article , along with Updated Information and Servic.” *Journal of Animal Science*, no. 1999: 488–98.

USDA. 2016. “Overview of the United States Cattle Industry.” *Economics, Statistics and Market Information System*.

USDA Agricultural Marketing Service. 2019. “DataMart.” 2019. <https://mpr.datamart.ams.usda.gov/subReport.do>.

USDA ERS. 2019a. “Feed Grains: Yearbook Tables.” Prices and Profitability Models | Agricultural Marketing Resource Center. 2019. <https://www.ers.usda.gov/data-products/feed-grains-database/feed-grains-yearbook-tables/>.

USDA ERS. 2019b. “Livestock & Meat Domestic Data.” Red Meat and Poultry Production. 2019. <https://www.ers.usda.gov/data-products/livestock-meat-domestic-data/>.

USDA National Agricultural Statistics Service. 2016. “Agricultural Prices Monthly” 2019 (January 2016): 61.

USDA:NASS. 2018. “Beef, Slaughter - Production.” Quick Stats. 2018.

USDA:NASS. 2019. “Cattle on Feed.” Surveys. 2019. https://www.nass.usda.gov/Surveys/Guide_to_NASS_Surveys/Cattle_On_Feed/index.php.

Wang, Min, Liesel G. Schneider, Kristina J. Hubbard, Dale M. Grotelueschen, Russell F. Daly, Gerald S. Stokka, and David R. Smith. 2018. “Beef Producer Survey of the Cost to Prevent and Treat Bovine Respiratory Disease in Preweaned Calves.” *Journal of the American Veterinary Medical Association* 253 (5): 617–23. <https://doi.org/10.2460/javma.253.5.617>.

WHO. 2017. *List of Critically Important Antimicrobials for Human Medicine*. World Health Organization.

Wierup, M. 2001. "The Swedish Experience of the 1986 Year Ban of Antimicrobial Growth Promoters, with Special Reference to Animal Health, Disease Prevention, Productivity, and Usage of Antimicrobials." *Microbial Drug Resistance (Larchmont, N.Y.)* 7 (2): 183–90. <https://doi.org/10.1089/10766290152045066>.

Wileman, B. W., D. U. Thomson, C. D. Reinhardt, and D. G. Renter. 2009. "Analysis of Modern Technologies Commonly Used in Beef Cattle Production: Conventional Beef Production versus Nonconventional Production Using Meta-Analysis." *Journal of Animal Science* 87 (10): 3418–26. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1778>.

Williams, A. R. 2002. "Ultrasound Applications in Beef Cattle Carcass Research and Management." *Journal of Animal Science* 80 (E-suppl_2): E183–88. https://doi.org/10.2527/animalsci2002.80E-Suppl_2E183x.

Parameter	Scenario	Value	Unit
Entering weight	All	295	kg
Slaughter weight	All	590	kg
Average ADG, BAU	BAU	1.50	kg/d
	Others	1.40	kg/d
ADG, P1	BAU	0.97	kg/d
	Others	0.90	kg/d
ADG, P2	BAU	1.63	kg/d
	Others	1.52	kg/d
P1 duration	BAU	37	d
	Others	40	d
P2 duration	BAU	159	d
	Others	171	d
Feeding period duration	BAU	197	d
	Others	211	d

Table 1. Production characteristics for model parametrization. ADG: Average Daily Gain; P1: phase 1 of the feeding period; P2: phase 2 of the feeding period; BAU: Business As Usual scenario.

Parameter	Mean	SD	Min	Max	Unit
Feeder cattle price	3.44	0.3	2.69	4.04	\$/kg
Slaughter cattle price	2.62	0.20	2.23	3.00	
Feed cost	1.63		1.17	2.73	\$/d
Daily operating costs	0.38				\$/d
Transportation cost	13.99				\$
Veterinary costs	19.44				\$

Table 2. Production costs for model parametrization. SD: standard deviation.

Disease	Low incidence		Moderate incidence		High incidence	
	BAU	Others	BAU	Others	BAU	Others
BRD-CI1	6.4%	12.3%	12.0%	23.1%	18.4%	35.4%
BRD-CI2	1.6%	3.1%	3.0%	5.8%	4.6%	8.8%
BRD-SubC1	10%	19%	20%	38%	30%	58%
LA-	4.5%	16.7%	8.5%	31.5%	12.0%	44.4%
LA	2.3%	8.5%	6.0%	22.2%	9.0%	33.3%
LA+	4.5%	16.7%	10.0%	37.0%	22.0%	81.5%
Lame-FR	0.1%	0.1%	1.5%	1.5%	13.0%	13.0%
Lame-IA	0.1%	0.1%	0.5%	0.5%	7.0%	7.0%

Table 3. Incidence estimates of diseases for model parametrization. BAU: Business As Usual scenario; Others: No-Pro (antibioprophylaxis banned) and No-AM (any use of antimicrobial banned) scenarios; BRD-CI1: clinical bovine respiratory diseases in the first phase of the feeding period; BRD-CI2: clinical bovine respiratory diseases in the second phase of the feeding period; BRD-Sub: subclinical bovine respiratory diseases; LA-, LA, LA+: three grades of liver abscesses; Lame-FR: foot rot; Lame-IA: infectious arthritis.

	Mean	95 % IC	
		Min	Max
Increase of ADG, %	7,30	6,60	8,60
RR_{MORB} BRD	0,52	0,47	0,57
RR_{MORB} LA	0,27	0,24	0,31
RR_{MORB} lame	1		
RR_{LET} BRD	0,62	0,54	0,72
RR_{LET} LA	1		
RR_{LET} lame	1		
RR_{AA} any disease	1		

Table 4. Effect of antimicrobials in prophylaxis on Average Daily Gain (ADG), morbidity, lethality and the probability of anticipated slaughter, compared to the situation where antimicrobials are not used in prophylaxis. RR_{MORB}: relative risk of morbidity associated with bovine respiratory disease (RR_{MORB} BRD), liver abscesses (RR_{MORB} LA) or the causes of lameness (RR_{MORB} lame); RR_{LET}: relative risk of lethality associated with bovine respiratory disease (RR_{LET} BRD), liver abscesses (RR_{LET} LA) or the causes of lameness (RR_{LET} lame); RR_{AA}: relative risk associated with anticipated slaughter associated with all the diseases.

Disease	Onset of disease (day)	Average day of death after entering feedlot	Average day of anticipated slaughter after entering feedlot
BRD-CI1	20	50	50
BRD-CI2	83	113	113
Lame-FR	85	101	118
Lame-IA	32	48	65

Table 5. Average day of onset, day of death and day of anticipated slaughter, for each infectious disease. BRD-CI1: clinical bovine respiratory diseases in the first phase of the feeding period; BRD-CI2: clinical bovine respiratory diseases in the second phase of the feeding period; Lame-FR: foot rot; Lame-IA: infectious arthritis.

Disease	Add-days (d)			Loss - QG (% of sick animals)			I-DEATH (%)			A-SLAUGHTER (%)			Cost of treatment / sick animal (\$)			Labor cost / sick animal (\$)		
	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM	BAU	No-Pro	No-AM
BRD-CI1	3	3	6	10	10	10	4.7	7.6	14.7	5	5	5	20	20	0	1.18	1.18	0
BRD-CI2	0	0	0	10	10	10	4.7	7.6	14.7	5	5	5	20	20	0	1.18	1.18	0
BRD-SubCl	10	11	14	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA-	4	4	7	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA	11	12	16	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LA+	19	21	23	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lame-FR	2	3	13	10	10	10	7.2	7.2	12.1	3.1	3.1	4.2	12	12	0	2	2	0
Lame-IA	165	179	179	10	10	10	22	22	30.8	4.5	4.5	5.8	17	17	0	2	2	0

Table 6. Default diseases impacts for model parametrization. BAU: Business As Usual scenario; No-Pro: scenario where antibioprophyllaxis is banned; No-AM: scenario where any use of antimicrobials is banned; BRD-CI1: clinical bovine respiratory diseases in the first phase of the feeding period; BRD-CI2: clinical bovine respiratory diseases in the second phase of the feeding period; BRD-Sub: subclinical bovine respiratory diseases; LA-, LA, LA+: three grades of liver abscesses; Lame-FR: foot rot; Lame-IA: infectious arthritis; Add-days: additional days in the feeding period; Loss-QG: percentage of sick animals with a loss

of quality grade; I-DEATH: lethality of each disease; A-SLAUGHTER: probability for a sick animal to be slaughtered prematurely; Labor cost/sick animal: additional labor cost per sick animal.

Incidence level	No-Pro scenario			No-AM scenario		
	Low	Moderate	High	Low	Moderate	High
Feeder price ($\Delta\%$ from BAU)	-3.5	-6.1	-9.7	-4.9	-9.0	-15.4
Slaughter cattle price ($\Delta\%$ from BAU)	2.3	4.2	7.0	3.3	6.3	11.6

Table 7. Variations in feeder cattle prices and slaughter prices required for indifference between BAU, No-AM and No-Pro scenarios, as a function of the level of incidences (low, moderate, high).

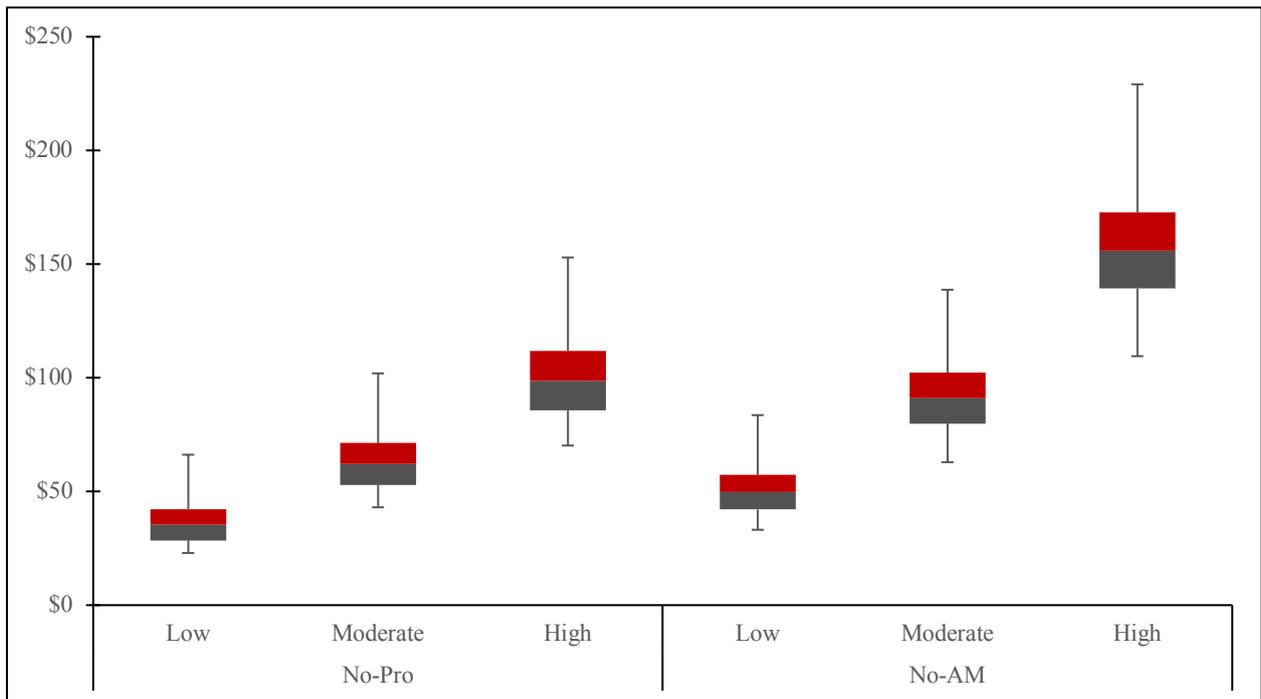


Figure 1: Loss of net revenue, per steer present in the feedlot at day 0, for the No-Pro and No-AM scenarios, compared to the BAU scenario, as a function of the level of disease incidence (low, moderate, high). The boxes represent mean \pm SD, and the bars extend from the minimum to the maximum. The simulation was ran with 5000 iterations.

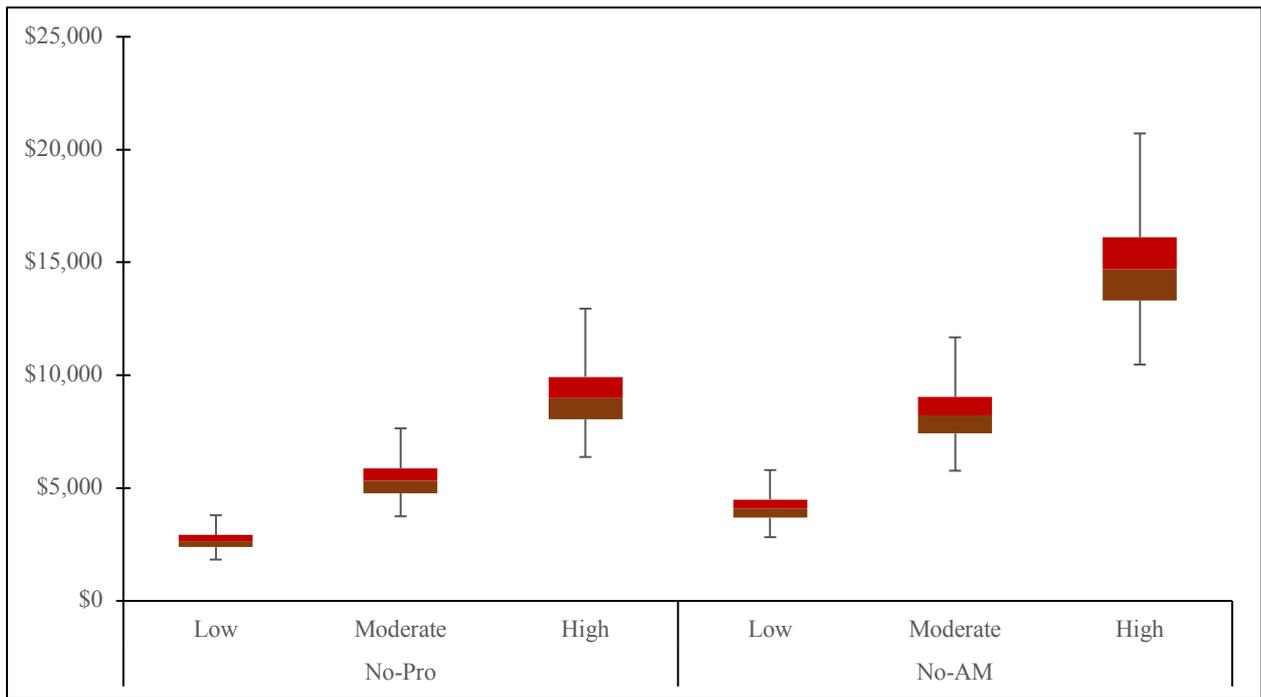


Figure 2: Total diseases net costs per feeding process, per 100 steers, for the No-Pro and No-AM scenarios, compared the BAU scenario, as a function of the level of disease incidence (low, moderate, high). The boxes represent mean \pm SD, and the bars extend from the minimum to the maximum. The simulation was run with 5000 iterations.

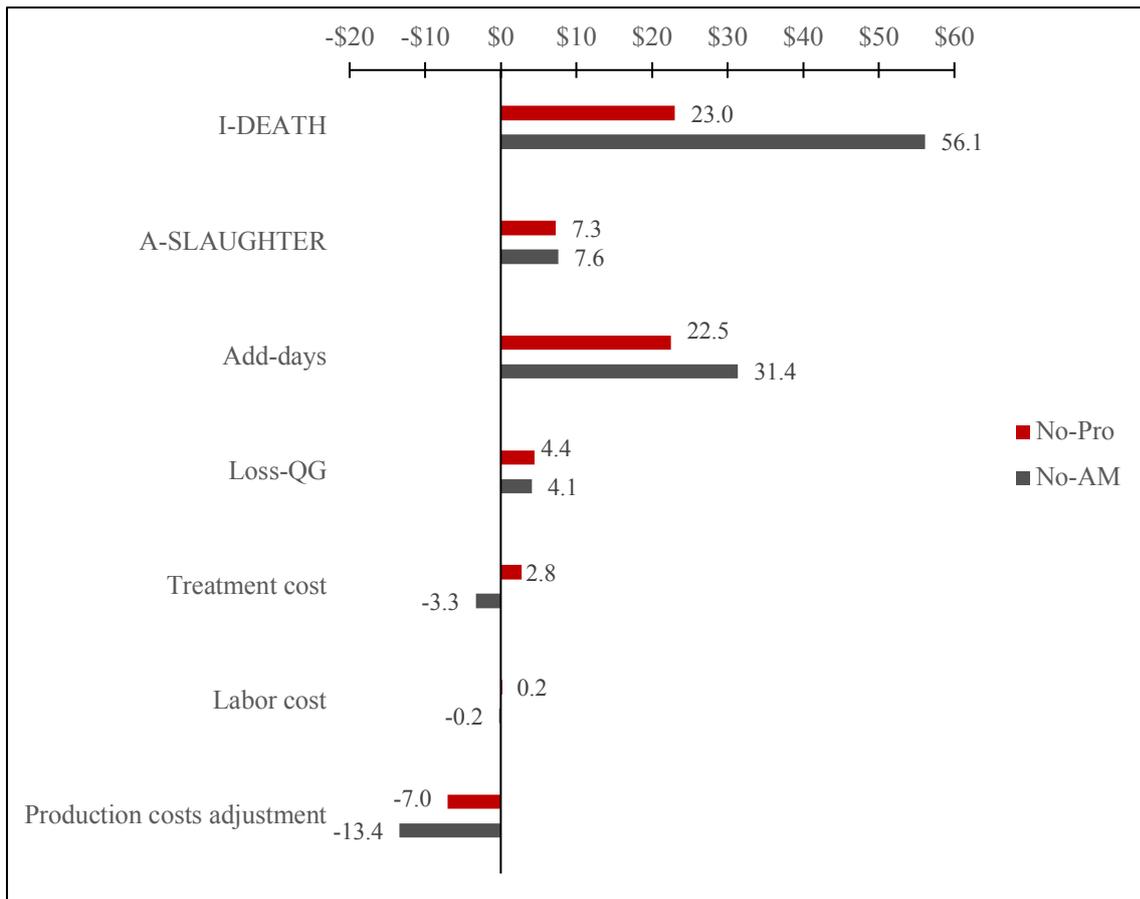


Figure 3: Repartition of the cost difference per steer in the No-Pro and No-AM scenarios, compared to the BAU scenario, per impact component. I-DEATH: increased mortality; A-SLAUGHTER: increased probability of anticipated slaughter; Add-days: additional days in the feeding period; Loss-QG: loss of quality grade.

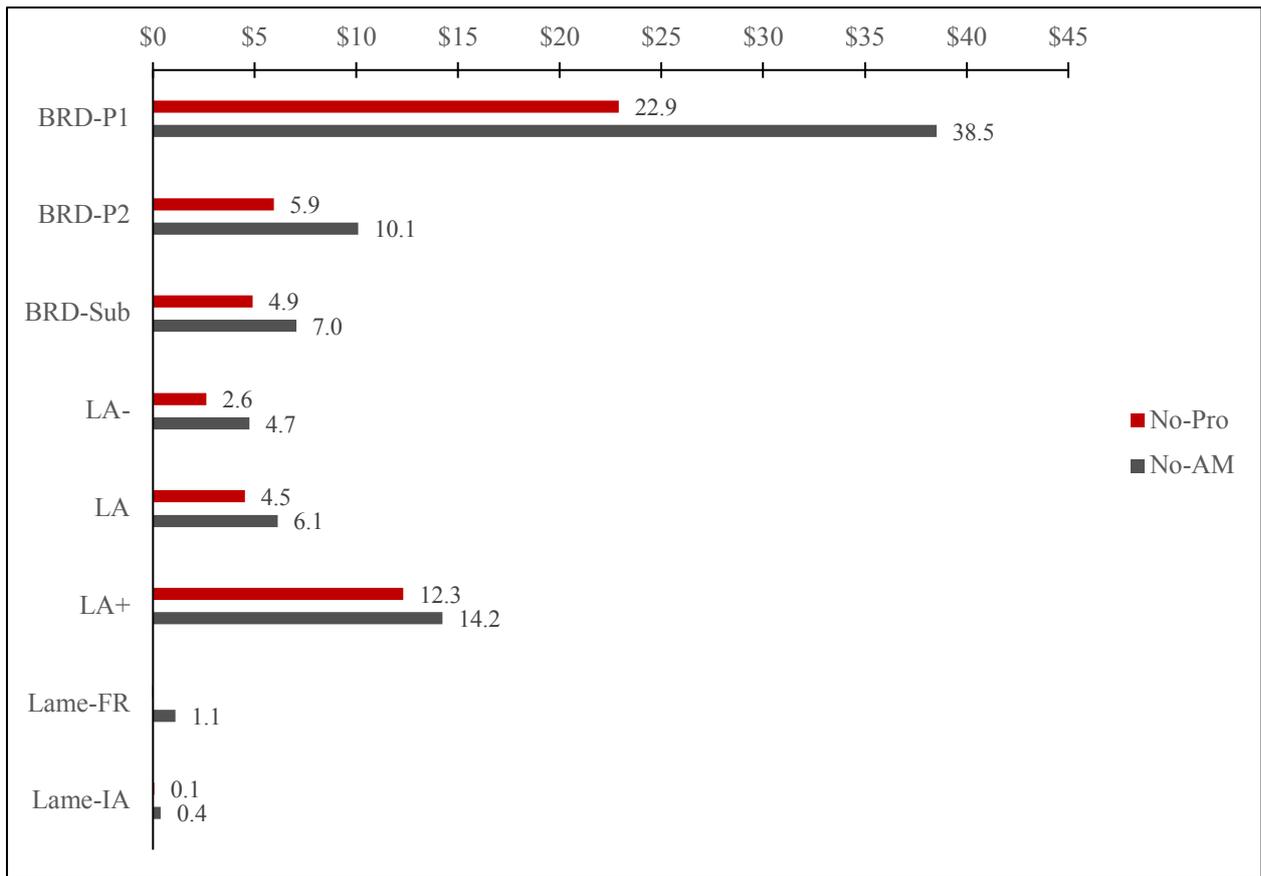


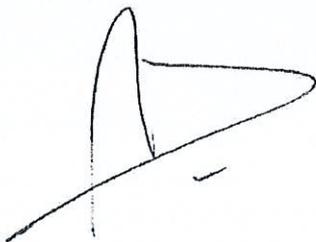
Figure 4: Repartition of the cost difference per steer in the No-Pro and No-AM scenarios, compared to the BAU scenario, per disease. BRD-C11: clinical bovine respiratory diseases in the first phase of the feeding period; BRD-C12: clinical bovine respiratory diseases in the second phase of the feeding period; BRD-Sub: subclinical bovine respiratory diseases; LA-, LA, LA+: three grades of liver abscesses; Lamé-FR: foot rot; Lamé-IA: infectious arthritis.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

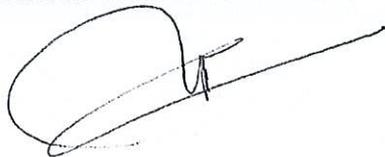
En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Didier RABOISSON, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Pierre SAUVAGE** intitulée « **Impact économique d'une réduction d'usage des antibiotiques en feedlot** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 25/09/2019
Professeur Didier RABOISSON
Enseignant-chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



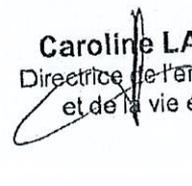
Vu :
Le Président du jury :
Professeur Laurent MOLINIER



Vu :
Le Directeur par intérim de l'Ecole
Nationale Vétérinaire de Toulouse
Frédéric BOUSQUET

En déléguant,

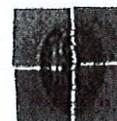
Caroline LACROUX
Directrice de l'enseignement
et de la vie étudiante



Vu et autorisation de l'impression :
Présidente de l'Université Paul Sabatier
Madame Régine ANDRE-OBRECHT



Mr Pierre SAUVAGE
a été admis(e) sur concours en : 2014
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 18/07/2018
a validé son année d'approfondissement le : 16/07/2019
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



Toulouse, 2019

PRÉNOM : PIERRE

NOM : SAUVAGE

TITRE : IMPACT ÉCONOMIQUE D'UNE RÉDUCTION D'USAGE DES ANTIBIOTIQUES EN FEEDLOT

RÉSUMÉ :

Par la méthode du budget partiel, nous avons évalué l'impact économique associé à l'interdiction (1) de l'antibioprophylaxie et (2) de tout usage des antibiotiques dans un atelier d'engraissement états-unien classique modélisé par informatique, par rapport à la situation actuelle, où les antibiotiques sont couramment utilisés. À un niveau modéré d'incidences de maladies, la perte moyenne de revenu net était de 62 \$ et 91 \$ par animal entrant en feedlot dans les scénarios (1) et (2), respectivement. La perte de revenu augmentait avec les incidences des maladies. Les maladies respiratoires étaient les plus coûteuses. La mortalité était le poste le plus coûteux. Dans le scénario (2), diminuer de 9 % le prix d'achat des bovins ou augmenter de 6,3 % leur prix de vente, compenserait la perte de revenu de l'atelier. Sans alternatives zootechniques ou médicales aux antibiotiques, une réduction drastique de leur usage entraînerait des pertes économiques importantes pour les producteurs.

MOTS-CLÉS : ÉCONOMIE, BOVIN, VIANDE, ENGRAISSEMENT, FEEDLOT, ANTIBIOTIQUES, ÉTATS-UNIS

TITLE: ECONOMIC IMPACT OF RESTRICTIONS IN ANTIMICROBIAL USAGE IN FEEDLOT

ABSTRACT:

Using a stochastic partial budget, we investigated the economic impact, for a modelled typical U.S. beef feedlot, if (1) using antimicrobials in prophylaxis or (2) any antimicrobial use were banned, compared to the current situation. With moderate diseases' incidences, the average net revenue loss was \$62 and \$91 per animal entering the feedlot for scenarios (1) and (2), respectively. This net revenue loss increased with diseases' incidences. Bovine respiratory diseases were the costliest diseases. Increase of mortality was the major chunk of revenue loss. In scenario (2), decreasing the average feeder cattle price by 9%, or increasing the slaughter cattle price by 6.3%, would counterbalance the loss of net revenue for the feedlot operator. Without any change in farming practice or medical alternatives to control and treat infectious diseases, our results suggest that reducing drastically antimicrobial use in feedlot would incur heavy economic losses for the producers.

KEYWORDS: ECONOMICS, BEEF CATTLE, FEEDLOT, ANTIMICROBIALS, UNITED STATES