



## Simulation de la prise de décision des éleveurs pour la réduction d'usage d'antibiotiques : approche par la modélisation bioéconomique

Bouzid I.\*, Ferchiou A.\*, Lhermie G.\*, and Raboisson D.\*

\*IHAP, Université de Toulouse, INRA, ENVT, Toulouse, France

Résumé : 1927/2000 char

L'usage des antibiotiques joue un rôle important dans l'économie des exploitations agricoles d'élevage notamment pour maîtriser les risques sanitaires et ainsi sécuriser le revenu des éleveurs. En France, un quart des antibiotiques vétérinaires sont consommés en élevage bovin. A cause de la surconsommation et l'usage des antibiotiques à des fins non thérapeutiques ni prophylactique ; ces substances ont été tournées en conducteurs de résistance aux traitements. Les infections mammaires demeurent la principale cause de recours aux antibiotiques. Encore, c'est la maladie la plus couteuse dans les fermes laitières dans le monde entier.

La réduction d'usage des antibiotiques dans une exploitation d'élevage bovin laitier tout en maintenant ses performances économiques passe éventuellement par la bonne maîtrise des infections mammaires. L'objectif de ce travail est de développer un modèle bioéconomique qui simule la prise de décision d'éleveurs bovins laitiers pour les stratégies de conduite liées à la gestion des mammites en vue de réduire l'exposition des vaches aux antibiotiques.

A partir des résultats du simulateur DairyHealth Sim, 3 approches ont été mises en place qui permettent un (i) choix de la stratégie optimale pour une année moyenne, (ii) choix de la stratégie optimale par année et (iii) choix d'un ensemble de 3 stratégies (optimale et sous optimales) ayant un niveau d'utilité comparable.

Les simulations montrent que l'amélioration du niveau d'hygiène permet de réduire l'exposition du cheptel aux antibiotiques tout en maintenant stable le niveau du revenu de l'éleveur. Cependant, le changement de pratiques d'élevage implique une surcharge de travail pour l'éleveur.

Les 3 approches d'optimisation montrent qu'une stratégie optimale sur une année moyenne ne l'est pas forcément tous les ans et que souvent, les solutions optimales et sous optimales offrent des niveaux d'utilité très proches (-5%).

### *Mots clés*

Economie de la santé animale, modélisation bioéconomique, système d'élevage, optimisation sous contraintes, usage des antibiotiques.

# Introduction

Alarmée par le risque de passage dans une impasse thérapeutique, la France, comme beaucoup d'autres pays du monde, se soucie de l'ampleur que prend la résistance des bactéries aux antibiotiques. Autant en santé humaine que vétérinaire, la réduction de l'usage des antibiotiques fait objet d'actions de la part des autorités des secteurs concernés.

Un antibiotique est une substance, d'origine naturelle ou synthétique, utilisée contre les infections causées par les bactéries<sup>1</sup>. La découverte des antibiotiques a permis de réduire puissamment les mortalités humaines liées aux maladies infectieuses pendant le 20<sup>ème</sup> siècle. Cet aboutissement a favorisé l'expansion de l'usage des antibiotiques en santé animale, qui augmente massivement depuis le début des années 50 (Andremont, 2016). Cela a accompagné l'agrandissement des élevages des animaux de rente.

En effet, l'intensification des élevages a impliqué des traitements individuels ou de masse de groupes d'animaux, curatifs ou préventifs, qui ont pour visée de protéger les exploitations d'élevage d'éventuels dégâts économiques en sécurisant certains niveaux de production. Ils sont devenus une pratique répandue en médecine vétérinaire par difficulté d'inspecter tous les individus d'un élevage, notamment quand il s'agit d'élevages industriels. Par ailleurs, les antibiotiques ont été utilisés à d'autres fins que thérapeutiques. Administrés à des doses sub-thérapeutiques dans l'alimentation animale, ils ont été utilisés comme des facteurs de croissance et d'engraissement pour augmenter la productivité de l'élevage. Néanmoins, cette pratique est interdite en Europe depuis 2006 et les antibiotiques sont soumis à des règles de prescriptions par les vétérinaires (Sanders et al., 2011).

Les antibiotiques deviennent de moins en moins efficaces en raison de leur généralisation en médecine humaine et vétérinaire et dans les milieux agricoles. Ils sont tournés en conducteurs de résistance aux traitements (Jones et al., 2015). Les bactéries ont développé une capacité à survivre et se multiplier en présence d'antibiotiques et leur éventuelle propagation pourrait remettre la planète dans l'ère avant antibiotique. Des mortalités humaines importantes sont ainsi attendues. Des conséquences troublantes en élevages des animaux de rente sont également attendues, elles peuvent prendre une tendance préoccupante pour la sécurité alimentaire des pays et du monde entier (pénurie des productions animales).

Il est à noter que le développement de mécanismes de résistance est un processus évolutif naturel pour les micro-organismes (OMS, 2018). Cependant, ce processus s'est accentué en raison de la surconsommation des antibiotiques et il évolue à un rythme plus rapide que celui de la génération de nouveaux médicaments (Andremont, 2016).

Aujourd'hui, dans un grand nombre des pays du monde, les antibiotiques sont majoritairement consommés par les animaux et non pas par les humains. Santé Canada a annoncé en 2018 que « Toutes proportions gardées, au Canada, les animaux d'élevage consomment 1,7 fois plus d'antibiotiques que les humains. Ainsi, 80 % des antibiotiques utilisés au pays sont pris non pas par des humains, mais par des animaux »<sup>2</sup>.

Dans ce contexte, les organisations internationales (OIE, OMS, FAO...) ont encouragé l'engagement des états dans des prospections afin de réduire l'usage des antibiotiques. La France, Danemark, Pays-

---

<sup>1</sup> Dictionnaire Larousse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/antibiotique/3959>

<sup>2</sup> <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/medicaments-et-produits-sante/lutter-contre-resistance-antimicrobiens-optimiser-utilisation-cadre-action-pancanadien.html#a1.1>

Bas et le Royaume-Uni ont par exemple commencé par développer des stratégies de suivi des incidences de résistance bactérienne chez les animaux d'élevage pour élaborer des mesures visant à réduire l'usage des antibiotiques (Jones et al., 2015).

L'Agence Nationale de la Médecine Vétérinaire en France (ANMV) a mis en place en 1999 un programme de suivi des ventes des médicaments, dont les antibiotiques. Ce suivi avait pour objectif de recueillir le nombre d'unités d'antibiotique vendus annuellement qui, avec des études pharmaco-épidémiologiques, pourrait permettre d'évaluer quantitativement et qualitativement l'usage des antibiotiques chez les animaux (David et al., 2018).

En 2011, le ministère en charge de l'agriculture en France a mis en place un plan national de réduction des risques d'antibiorésistance en médecine vétérinaire, le plan Ecoantibio1, avec un objectif de réduction d'usage des antibiotiques de 25 % chez les animaux pour la période 2012-2017. Ceci a été même dépassé en atteignant les 37 % (ANSES, 2018) et le plan connaît une continuité avec le deuxième plan Ecoantibio2 mis en œuvre sur la période 2017 à 2021. Il compte de nombreuses actions (communication, formation, amélioration de la prévention des maladies animales, etc.) et il a pour objectif de maintenir dans la durée la tendance à la baisse de l'exposition des animaux aux antibiotiques, avec par exemple un objectif de réduction de 50 % spécifique à l'usage de la colistine en élevage bovin, porcin et avicole (David et al., 2018).

En France, l'élevage bovin laitier consomme plus de 26% du tonnage des ventes des antibiotiques vétérinaires estimé en 2017 (Anses, 2018). L'évolution du nombre de traitements intra-mammaires attribués par vache et par période de production (lactation ou tarissement) reflète des fluctuations de l'usage des antibiotiques dans cette filière qui tendent vers la baisse depuis 1999, mais sans que cette décroissance soit très importante (annexe 01). Ainsi, 40% du poids vif des animaux traités avec des médicaments contenant des antibiotiques appartient à l'espèce bovine (toutes filières comprises), suivie par l'espèce porcine avec 30% et la volaille avec 19% (annexe 02).

En effet, dans un atelier d'élevage bovin laitier, le traitement et la prévention des mammites demeurent l'usage principale des antibiotiques, les mammites représentent la première cause de recours à ces traitements dans les cheptels (Heikkilä et al., 2018). Les infections mammaires sont responsables de 34% des coûts de contrôle des maladies en élevage (Fourichon et al., 2001).

C'est une maladie de production décrite comme la maladie la plus coûteuse dans les fermes laitières dans le monde entier (Hogeveen et al., 2011). Plusieurs études ont évaluées les pertes occasionnées par les mammites (Halasa et al., 2007, Hogeveen et al., 2011, Cha et al., 2011, Bar et al., 2008). La comparaison des résultats de ces études fait ressortir une disparité des estimations. Ces différences sont liées à l'étiologie (la cause) de la mammité évaluée, le contexte de l'étude économique mais surtout aux rubriques de coûts pris en considération. En effet, les infections mammaires provoquent plusieurs types de pertes au sein d'un élevage. D'une part, les conséquences économiques directes des mammites liées à l'écartement du lait produit (quantité de lait jeté) et aux charges d'interventions vétérinaires en vue d'atténuer la maladie (consultation, traitements, prévention et suivi). D'autre part, les conséquences économiques indirectes entraînées par l'effet de la maladie, à terme, sur les performances de la vache et du cheptel. Ils résultent par exemple de la perte de productivité laitière des vaches infectées (Hogeveen et al., 2011), la dégradation des performances de reproduction (perturbation des niveaux d'hormones, ovulation retardée, avortements possibles, etc.) (Dolecheck et al., 2019. Dahl et al., 2018), de l'amplification du risque de nouveaux cas de mammites dans le troupeau ou d'autres maladies en conséquence (Hogeveen et Østerås, 2005) et le renforcement des besoins de la réforme précoce des productrices (Hagnestam-Nielsen et Østergaard, 2009). En outre, il

y a également le coût de l'utilisation supplémentaire des antibiotiques en termes d'antibiorésistance qui n'est estimable.

De ce fait, **la sécurisation du revenu ainsi que la réduction d'usage des antibiotiques dans une exploitation d'élevage bovin laitier passe éventuellement par la bonne maîtrise des infections mammaires.** Un large éventail d'actions au regard de cette maladie s'insère dans les plans d'intervention pour la réduction des risques de l'antibiorésistance chez les animaux d'élevage (David et al., 2018) notamment le bovin laitier. Ainsi, un appui au changement de pratiques en élevage se développe depuis l'engagement national à réduire les risques de l'antibiorésistance. Ceci s'articule principalement autour de trois leviers (David et al., 2018) :

- La prévention de l'apparition et de la dissémination des mammites : les axes de progrès de ce levier se basent principalement sur l'ajustement des stratégies de conduite (stratégies de réformes par exemple (Gussmann et al., 2019)) et l'amélioration des pratiques d'élevage qui constitue une action nécessaire pour réduire la prévalence des mammites (David et al., 2018).
- La rationalisation de l'usage des antibiotiques en cas d'infection : par une rationalisation des prescriptions par rapport à la nécessité de généralisation du traitement, afin de mettre en évidence la portée positive du traitement sélectif des mammites sur la réduction d'usage des antibiotiques, qui permet par ailleurs de réduire les dépenses de maîtrise (la maladie pourrait ne pas se déclarer chez toutes les vaches).
- L'adoption de moyens alternatifs : tel que la phytothérapie qui s'est "imposée" dans d'autres élevages par obligation du cahier des charges auquel adhère certains éleveurs comme ceux biologiques (Poizat et al., 2017).

Toutefois, le changement de pratiques d'élevage dans une exploitation de production animale aura inévitablement des conséquences sur la fonction de production du système d'élevage, et donc ses performances économiques et sur l'organisation du travail de l'éleveur (Seegers et al., 2006). Cependant, la charge de travail présente généralement pour les exploitants un facteur limitant du choix de changement des pratiques.

Néanmoins, une évaluation du rapport coût-efficacité des différentes mesures pour réduire ou prévenir la mammite dans une ferme a montré que les dépenses de prévention des mammites et les pertes causées par cette maladie sont en relation de corrélation négative (Hogeveen et al., 2011). Cela veut dire que si aucune mesure de contrôle n'est prise, les pertes dues aux mammites sont maximales, en revanche, avec des dépenses de prévention et contrôle maximales, les pertes dues à la mammite seront minimales.

Dans un contexte où il devient urgent de réduire l'usage des antibiotiques en élevage bovin laitier, notamment à travers une meilleure gestion des infections mammaires, les éleveurs se doivent de préserver les performances économiques de leurs exploitations, d'où la problématique de notre travail :

### **Quelles stratégies de gestion optimale des exploitations d'élevage bovin laitier pour réduire l'usage des antibiotiques ?**

Le système d'élevage est un système de production complexe, dynamique et en permanentes interactions avec son environnement économique, environnemental, social, etc., un milieu qui est régulièrement risqué. L'incertitude de cet environnement influence le choix de la stratégie de gestion appropriée à la conduite de l'élevage, et les contraintes que peut connaître ce système dirigent également ce choix.

Par ailleurs, ce système est composé en lui-même d'un ensemble de sous-systèmes reliés par leur fonctionnement ainsi que leurs produits interdépendants. Le processus de production en élevage bovin laitier dépend énormément de la dynamique des maladies dans ce système et de la gestion de ces troubles de santé.

L'étude du système de production « atelier d'élevage bovin laitier » dans la multiplicité de ses critères, sa dépendance de son environnement et l'inter-agissement de ses processus nécessite une approche intégrée afin d'accomplir son analyse de manière complète. Cette analyse requiert la simulation du système dans un modèle qui combine ses aspects biologique, technique et économique et permet également de tenir compte de l'incertitude de son environnement. Le développement des modèles qui représentent l'unité de production et les problèmes de décision a un rôle important dans l'analyse des troupeaux (Kristensen et al., 2010 et, Kristensen, 2015), ces modèles reflètent la conduite de l'élevage ainsi que les choix des éleveurs. Ils permettent d'anticiper les décisions des exploitants et servent ainsi pour un outil d'aide à la décision.

Dans ce contexte, le présent travail consiste à développer un modèle bioéconomique de gestion d'atelier d'élevage bovin laitier, il joint les approches économiques du système d'élevage à sa conduite technique et ses comportements biologiques. On essaye par cette conception d'adhérer correctement l'approche holistique dans le développement d'un modèle bioéconomique de stratégies de gestion d'une exploitation d'élevage bovin laitier qui pourra servir à terme pour un outil d'aide à la décision dans les domaines impliqués.

## **I - Matériels et méthodes**

Ce travail a reposé sur un simulateur de cheptel bovin laitier « DairyHealth Sim » (DHS) présenté succinctement ci-dessous. Ce simulateur a été calibré grâce à une collecte d'information de la littérature et auprès d'experts.

Plusieurs stratégies de gestion sanitaire sont en cours de développement pour ce travail. Il s'agit de scénarios de gestion de l'hygiène dans l'élevage, le comportement de l'éleveur pour la réforme et les seuils d'écartement de lait et le traitement des vaches au tarissement. Ils seront simulés par le biais de DHS.

Seuls les scénarios d'hygiène globale de l'élevage et le choix du traitement des vaches au tarissement sont présentés à ce jour pour ce travail. La formulation finale et simulation de l'ensemble des scénarios de gestion sanitaire est en cours.

Notre travail s'est articulé autour de 3 étapes :

La première étape consiste à conceptualiser le système de production au sein de la problématique de réduction d'usage des antibiotiques. Il s'agit de représenter l'atelier d'élevage bovin laitier dans sa structure, ses processus et la dépendance des performances économiques de ceux biologiques et techniques.

Puis une deuxième étape de formulation de stratégies et simulation durant laquelle nous formulons les stratégies de gestion susceptibles d'avoir un impact sur l'usage des antibiotiques. Elles sont simulées à l'aide de DHS. Les sorties font l'objet d'une analyse comparative et confrontés aux dires d'experts vétérinaires.

La troisième étape consiste à développer sous le langage GAMS un modèle d'optimisation multicritère sous contraintes quia pour objectif d'identifier la stratégie optimale qui favorise la réduction d'usage d'antibiotiques.

### **1. Le modèle conceptuel**

L'approche par l'analyse structure-fonction a été adoptée pour conceptualiser notre problématique de réduction d'usage d'antibiotiques dans un système de production complexe et dynamique, en l'occurrence l'élevage bovin laitier. Tel qu'illustré par la Figure 01, cette approche consiste à distinguer le système analysé en trois compartiments (Walliser, 1977):

- L'environnement passif : il regroupe les variables d'état du système. C'est l'ensemble d'éléments d'entrée qui modifient le fonctionnement du système.
- Le cœur du système : il correspond à l'interaction des éléments d'entrée en activités corrélées afin de fournir des produits.
- L'environnement actif : il regroupe les variables de flux exogènes du système. C'est l'ensemble des éléments résultants des processus de production et sur quoi on peut évaluer les changements subits par -opéré dans- le système.

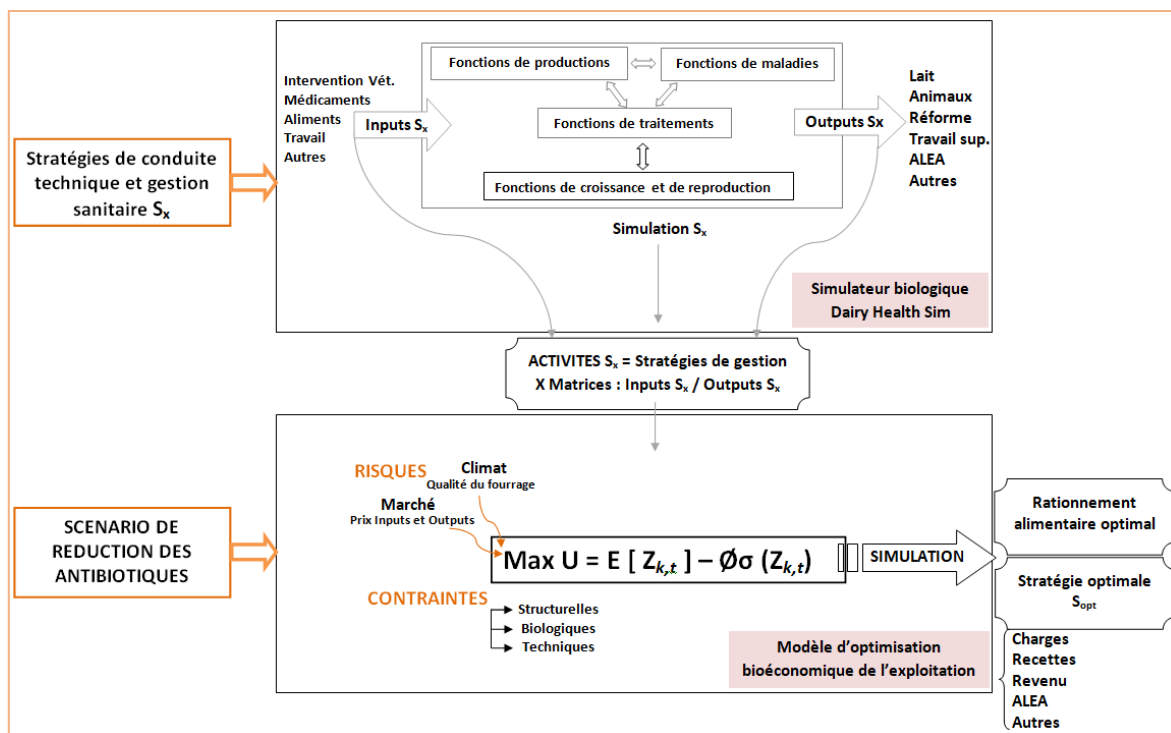


Figure 01 : schéma conceptuel du modèle bioéconomique.

L'environnement passif de notre système est composé d'un ensemble de stratégies de gestion de l'élevage simulées par le biais du simulateur DHS, et du scénario de réduction d'usage des antibiotiques dans l'élevage, qu'on simule dans le modèle bioéconomique.

Le cœur de notre système est composé à son tour de deux entités liées à savoir ; le simulateur biologique DHS et le modèle d'optimisation. Dans le système, l'éleveur gère son exploitation de manière à optimiser son revenu avec minimisation de la variation de ce dernier qui résulte des risques possibles (marché et climat). Il est par ailleurs soumis à des contraintes structurelles (taille de l'atelier), biologiques (équilibre de la ration alimentaire) et techniques (charge de travail).

La simulation du modèle d'optimisation, dans un scénario de réduction d'usage des antibiotiques, permet d'optimiser la ration alimentaire du cheptel et de choisir la stratégie de gestion optimale, parmi les activités d'entrée, qui favorise la baisse de l'exposition du troupeau aux antibiotiques sous contraintes et risques les plus répondus en gestion des élevages (temps de travail, climat et marché). Ces décisions de l'éleveur en sortie du modèle représentent le milieu actif de notre système.

## 2. DairyHealth Sim: le simulateur de l'atelier bovin laitier

DHS est un simulateur de gestion de troupeau bovin laitier développé sous Python. C'est un modèle dynamique, mécaniste et stochastique qui simule, par semaine, les fonctions de production, de dommage et de contrôle de dommage de manière intégrée à l'échelle individuelle et populationnelle. Les principales fonctions qui composent le modèle sont présentés ci-dessous.

L'atelier simulé est de type français intensif moyen. Il est composé uniquement de vaches laitières (100 têtes) de la même race Holstein Friesian.

### A. Production et reproduction

Le simulateur biologique estime la production laitière pour chaque vache et la teneur du lait en matière grasse et en protéines à la base de l'équation de la fonction de Wood (1967). Le comptage de cellules

somatique (CCS) est simulé en relation avec les infections mammaires pour déterminer la qualité du lait produit. Selon le CCS on classe le lait en 4 types, de L1 qui est d'une bonne qualité à L4 de mauvaise qualité (tableau 01).

**Tableau 01 : classification du lait dans le simulateur biologique selon le comptage de cellules somatiques (CCS).**

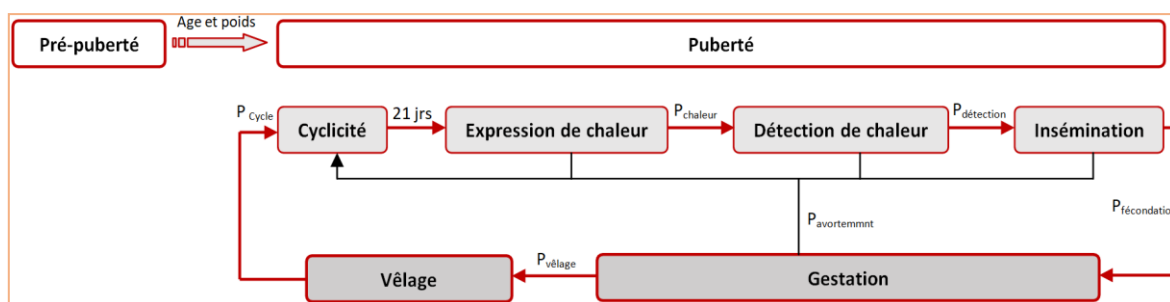
CCS * 10 <sup>3</sup>	Type de lait
< 250	L1
250 – 300	L2
300 – 350	L3
350 – 400	L4

Les estimations par vache, en quantité et en qualité, sont basées sur l'interaction du potentiel théorique de la production du lait avec les facteurs de variation résultant des autres processus (croissance, besoins alimentaires, maladies, traitement, etc.) ainsi que l'historique de la vache.

Lors d'une simulation, à chaque vache créée, le simulateur attribue aléatoirement un potentiel de production théorique. La durée de la période de lactation dépend du statut de reproduction de la vache.

Quand la vache est en gestation et en lactation, elle est tarie 7 semaines avant la date prévue de mise-bas jusqu'à la date du vêlage.

La simulation de la reproduction des vaches est basée sur la transition entre les stades de reproduction (figure 02). Le passage d'un stade au suivant est conditionné par un ensemble de facteurs. Les génisses doivent atteindre l'âge de mise à la reproduction et répondre à la condition de poids minimal (2/3 poids adulte) pour commencer leur 1<sup>er</sup> cycle de reproduction. Pour les vaches, c'est l'expression et la détection des chaleurs avec les probabilités de réussite de l'insémination ( $P_{\text{fécondation}}$ ) qui déterminent le début d'une période de gestation. Cette dernière dure 280 +/- 6 jours, pendant lesquels les probabilités d'avortement ( $P_{\text{avortement}}$ ) sont appliquées chaque semaine. A la fin de la période de gestation, la mise-bas dépend à son tour de la probabilité de sa réussite ( $P_{\text{vêlage}}$ ). Après le vêlage, la cyclicité d'une vache pourrait recommencer après 21 jours de l'involution utérine et 28 jours de la période d'attente volontaire, selon la probabilité de cycle ( $P_{\text{cycle}}$ ).



**Figure 02 : la simulation du cycle de reproduction des vaches dans le simulateur biologique.**

A chaque vêlage, un nouveau bovin est inséré dans le troupeau. Les veaux mâles sont vendus à 4 semaines d'âge. Les génisses prêtes à vêler peuvent être vendues à 2 semaines de la date de vêlage en cas de surdensité (figure 03).



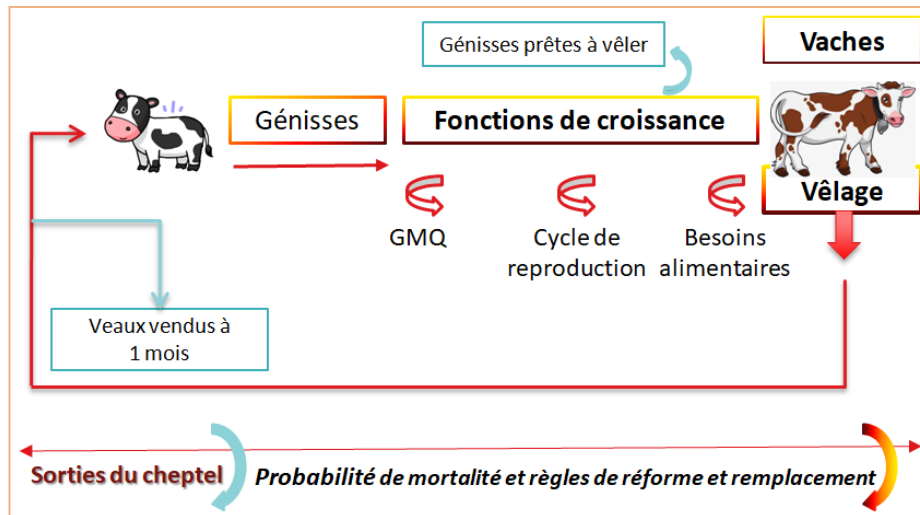


Figure 03 : la conduite des animaux dans le simulateur biologique.

### B. Maladies et traitements

Une grande flexibilité est accordée à la simulation des aspects vétérinaires afin de représenter correctement l'interdépendance des maladies, leurs interactions avec les autres processus de production et afin de considérer les effets de l'efficacité des traitements simulés.

Les troubles de la santé sont simulés pour chaque vache de manière aléatoire. Ils dépendent du risque de base de chaque maladie, des facteurs de risque spécifiques à chaque vache (historique de la vache) et des pratiques de l'éleveur. Il en résulte, selon l'efficacité des traitements, des effets sur les produits de l'exploitation (figure 04).

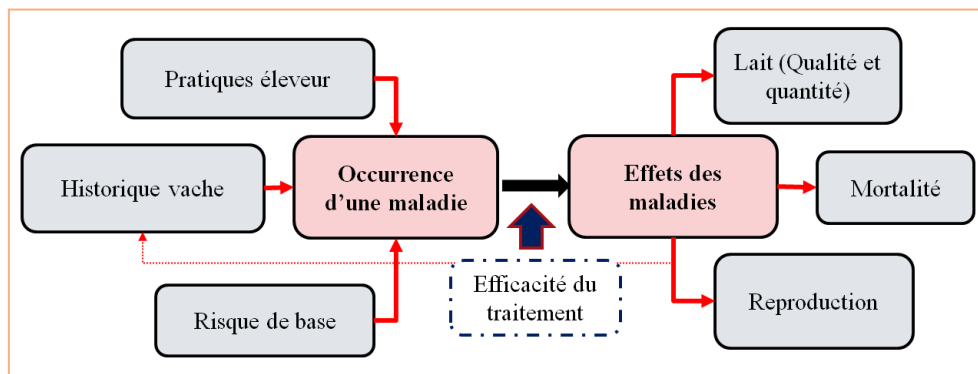


Figure 04 : la modélisation des maladies du cheptel dans le simulateur biologique.

La simulation des maladies et des traitements inclut la grande majorité des troubles observés dans les troupeaux laitiers, principalement les boiteries, la dystocie, la fièvre du lait, la rétention placentaire, la métrite puerpéral, métrite, l'endométrite subclinique, les déplacements de caillette, les cétooses clinique et subclinique, et les mammites cliniques (avec 6 différents agents pathogènes). Le modèle prend en compte également les maladies des veaux tels que la diarrhée, la septicémie, l'omphalite et les défauts de prise colostrale.

Ensuite, plusieurs traitements sont possibles en fonction de la détection de la maladie par l'éleveur et le contexte du traitement.

### C. La réforme du troupeau

Une politique de réforme résulte dans le simulateur biologique de l'application d'un certain nombre de règles qui prévoient la pré-réforme ou la réforme directe des vaches (figure 05). Ces règles ont été construites sur la base des observations faites sur le terrain afin de reproduire le comportement habituel d'un éleveur. Cependant, leur application reste fonction de la densité du troupeau. Une vache est décidée pré-réformée si elle répond à une des règles de reproduction, inséminations ratées ou longue période de jours ouverts, avec considération de sa parité. Une vache pré-réformée est une vache retenue dans l'atelier jusqu'à achèvement de son cycle de production sans être remise en reproduction. Elle s'expose inévitablement par la suite aux règles qui impliquent sa réforme.

Le modèle simule la sortie d'une vache du troupeau par réforme si y s'applique les règles de réforme qui concernent des règles de production (quantité et qualité du lait produit) et/ou des règles de maladies (mammites, boiteries, CCS, etc.).

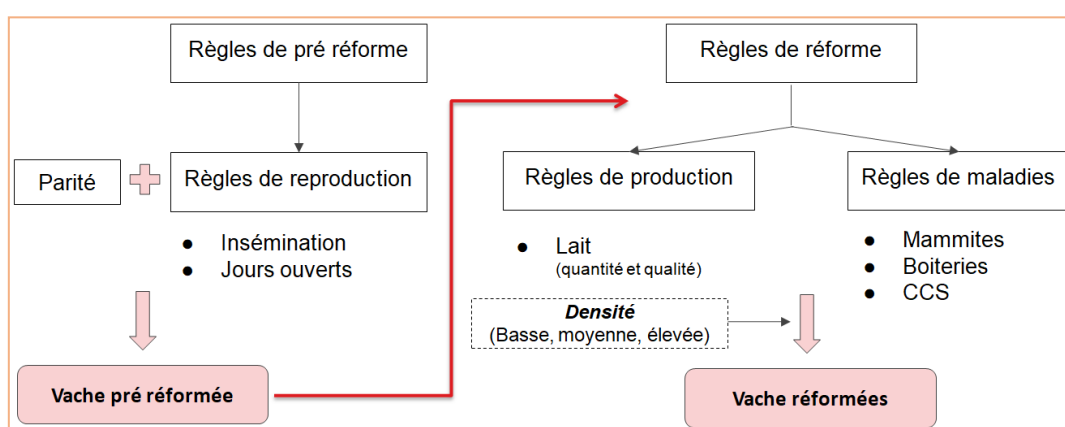


Figure 05 : la simulation de la réforme dans le simulateur biologique.

### D. La formulation des stratégies de gestion [Provisoires]

Pour la formulation de stratégies de gestion sanitaire en vue de réduire l'usage des antibiotiques, nous considérons deux axes de réduction. Un axe qui correspond à l'alternative aux traitements antibiotiques systémiques au tarissement. Et un second axe qui correspond au levier préventif à travers le niveau d'hygiène globale de l'élevage.

⇒ Le traitement des mammites au tarissement : représenté par des stratégies de gestion technique qui se déclinent en trois types de conduite de la maladie (Tableau 02). De chaque type de traitement découle un risque de l'occurrence de la maladie chez la vache.

Tableau 02 : la formulation des stratégies de gestion technique du cheptel.

Stratégies de gestion	Description	Risque
Technique 01	Traitement systématique au tarissement de tout le troupeau	Risque de référence = 1
Technique 02	Traitement sélectif au tarissement des vaches malades ayant un CCS* > 150 000	Risque cumulé (RC) = 2 de mammites cliniques
Technique 03	Traitement sélectif au tarissement des vaches malades ayant un CCS* > 150 000 + obturateur interne des trayons pour le reste du troupeau	Risque cumulé (RC) = 1.05 de mammites cliniques

(\*) Comptage des Cellules Somatiques.

Le traitement systématique de l'ensemble du troupeau est la technique la plus répandue dans les élevages du bovin laitier, elle est considérée dans notre étude comme la gestion technique de référence.

⇒ L'hygiène : représentée par des stratégies de gestion sanitaire de l'atelier. Le niveau de l'hygiène de l'atelier se rattache à la propreté du bâtiment (renouvellement quotidien de la litière), la propreté des vaches (en lactation et au tarissement), les pratiques de collecte de lait (temps y escompté et coût) et les pratiques alimentaires (temps y escompté et coût). On décline également trois niveaux d'hygiène (Tableau 03).

**Tableau 03 : la formulation des stratégies de gestion sanitaire du cheptel.**

Stratégies de gestion sanitaire	Hygiène au tarissement	Hygiène pendant la lactation	Pratiques liées à la traite	Pratiques alimentaires
H1 : hygiène satisfaisante	5kg de paille/vache/jr	4 à 6kg de paille/vache/jr. +0.20sec Ts/vache. RC = 0.5 effet multiplicateur sur la probabilité de mammites cliniques pendant le 1 <sup>er</sup> mois de lactation. RC = 0.5 effet multiplicateur sur la probabilité de mammites cliniques pour la 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> infection pendant les 2 premiers mois de lactation.	+1min Ts/vache/jr  +0.0452€ de Cs/vache/jr	5% des vaches avec facteur de risque de cétose subclinique
H2 : hygiène moyenne	3kg de paille/vache/jr	3 à 5kg de paille/vache/jr.	Pratique de référence T temps de travail et C coût	15% des vaches avec facteur de risque de cétose subclinique
H3 : hygiène détériorée	Sans paille	1.5 à 3 kg de paille/vache/jr. RC = 2 effet multiplicateur sur la probabilité de mammites cliniques pendant le 1 <sup>er</sup> mois de lactation. RC = 0.5 effet multiplicateur sur la probabilité de mammites cliniques pour la 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> infection pendant les 2 premiers mois de lactation. -0.20min Te/vache/jr	-0.5min Te/vache/jr	50% des vaches avec facteur de risque de cétose  -30min Te/vache/jr

Rc : risque cumulé. Ts : Temps de travail supplémentaire. Te : Temps de travail épargné. Cs : Coût supplémentaire.

Un niveau d'hygiène moyen est considéré dans notre étude comme étant la gestion sanitaire de base ou de référence.

C'est à partir des combinaisons possibles des deux axes, techniques et sanitaires, qu'on dégage les stratégies de conduite de l'atelier (Tableau 04). La stratégie de gestion « traitement systématique avec hygiène moyenne » représente la stratégie de gestion de référence.

**Tableau 04 : la formulation des stratégies de conduite simulées dans le simulateur biologique.**

Gestion sanitaire Traitement au tarissement	H1	H2	H3
<b>T1</b>	T.Syst - H.Satisf	T.Syst - H.Myn	T.Syst - H.Détér
<b>T2</b>	T.Selectf - H.Satisf	T.Selectf - H.Myn	T.Selectf - H.Détér
<b>T3</b>	T.Selectf+Obtu - H.Satisf	T.Selectf+Obtu - H.Myn	T.Selectf+Obtu - H.Détér

Les sorties sont spécifiques à chaque stratégie de gestion, elles constituent des matrices entrées/sorties qui renseignent les intrants de production à assurer au cheptel et son niveau d'extrants (production et production jointe).

Les données des matrices ont été exploitées pour le développement du modèle d'optimisation économique (Tableau 05). Chaque matrice est considérée comme une « activité » d'élevage et elle est proposée parmi les choix d'optimisation dans le modèle bioéconomique.

**Tableau 05 : les flux de l'atelier en matrices de sortie du simulateur biologique utilisés pour le développement du modèle d'optimisation.**

Inputs			Outputs		
Paramètres	Entité	Unité	Sorties	Type	Unité
Besoins alimentaires des vaches	MS	kg	Lait	Quantité et qualité	Litre/type
	UFL	UFL	Animaux	Génisse prêtes à vêler	tête
	MAT	MAT		Veaux 1 mois	Tête
Alimentation des naissances	Lait en poudre	Kg lait liquide	Vache à réformer	Viande	Kg
	Concentré de veaux	kg	Indicateur d'exposition	ALEA	Indicateur
Santé	Intervention véto.	Nombre	Travail	Travail supplémentaire ou épargné	seconde
	Médicaments	Quantité/catégorie	Charges liés à la stratégie de gestion	Coût supplémentaire ou épargné	€
	Chirurgies	€			
Conduite	Travail lié à la stratégie	Temps			
	Charges liés à la stratégie	€			

### 3. Le modèle bioéconomique

Le modèle d'optimisation développé simule l'arbitrage des éleveurs pour l'allocation des intrants sous scénario de réduction d'antibiotiques. L'éleveur choisit la stratégie de conduite optimale qui permet de réduire le niveau d'utilisation des antibiotiques dans l'exploitation, dans un environnement dynamique, tout en maximisant son utilité espérée.

### A. Le modèle de décision avec la considération des risques

L'activité agricole est généralement risquée. Les agriculteurs font face à différents risques qui déstabilisent leurs revenus. Ils doivent prendre leurs décisions dans un environnement risqué. Ce risque pourrait provenir de la volatilité des prix, des changements climatiques, de la variation des ressources, des risques naturels, etc. Dans un tel milieu, la décision de production n'a pas un revenu connu unique, mais un ensemble de revenus possibles pour chaque état de l'environnement, en l'occurrence climatique et économique. Concrètement, un état de la nature ou de marché correspond à une année type (année sèche, année de prix élevé d'un intrant et/ou extrant, une mauvaise année climatique affectant les rendements et la qualité du fourrage, etc.).

De nombreuses études ont démontré que les agriculteurs sont généralement averses aux risques (Hardaker et al., 2004) et que l'incertitude des prix ou du revenu a une influence significative sur les décisions de production (Chavas et Holt, 1996). Négliger le comportement d'aversion au risque dans les modèles de programmation mathématique agricoles conduit à des résultats qui ont peu ou pas de rapport avec la décision que l'agriculteur prend effectivement (Hazell et Norton, 1987).

Pour une analyse économique d'une activité agricole, de nombreuses approches et méthodes ont été formulées pour la considération du risque dans les modèles de programmation mathématique (Hazell et Norton, 1987, Hardaker et al., 2004).

Pour simuler le processus décisionnel des producteurs laitiers dans un milieu d'incertitude économique nous avons utilisé le cadre d'analyse de l'utilité espérée développé initialement par Von Neuman et Morgenstern (1944). Il implique que les décideurs rationnels maximisent l'utilité attendue par rapport à un ensemble de contraintes. En effet, ils choisissent entre des alternatives risquées en comparant leurs valeurs d'utilité attendues.

Dans ce modèle, nous supposons que les producteurs laitiers sont averses au risque. Cela signifie qu'ils sont prêts à sacrifier une partie de leur revenu pour éviter de faire face au risque prévisible. Dans une ferme laitière française type, les ventes de lait représentent plus de 80% du revenus de l'éleveur et les coûts d'alimentation représentent entre 40% et 60% des coûts variables de l'exploitation. Avec une production relativement stable, l'incertitude des prix du lait et des aliments est la principale source de risque d'une exploitation laitière (Valvekar et al., 2010).

Le risque pris en compte dans notre modèle est principalement un risque de marché lié à la volatilité des prix du lait et des aliments ainsi que les animaux d'élevage (veaux et génisses). En outre, le risque climatique est aussi compris, il est supposé affecter la qualité du fourrage produit par l'éleveur à l'exploitation.

Pour intégrer le comportement d'aversion au risque dans la prise de décision des éleveurs, nous utilisons la fonction objectif moyenne-variance de Markowitz-Freund (Hardaker, Huirne, Anderson, et Lien, 2004). L'utilité espérée par le décideur peut être représentée par l'équation 01.

Équation 01 : la fonction objectif

$$\max U = E[Z_{e,t}] - \frac{1}{2} \phi \sigma(Z_{e,t})$$

Avec :  $\max U$  est la fonction objectif qui représente l'utilité espérée de l'éleveur,

$Z_{e,t}$  est le revenu généré par l'état de la nature et de marché  $e$  à l'année  $t$ ,

$\phi$  est le coefficient d'aversion au risque et,

$\sigma(Z_{e,t})$  est l'écart type du revenu généré par l'état de la nature et de marché  $e$  à l'année  $t$ ,  
 $e$  représente l'état de la nature et de marché et,  
 $t$  représente le temps (années).

Sur la base de cette fonction d'utilité espérée, les éleveurs ayant une préférence au risque sont représentés par la courbure de la fonction d'utilité. En effet, les individus neutres au risque ont une fonctions d'utilité linéaires, tandis que les individus averses au risque se représentent par une fonction d'utilité concave, et les personnes non averses au risques ont une fonctions d'utilité convexes (Hardaker et al., 2004). Pour représenter le comportement d'aversion au risque des éleveurs dans le présent travail, seuls les coefficients d'aversion au risque positifs ont été utilisés (éleveurs averses au risque).

### **B. Le revenu**

Le revenu  $Z$  correspond à la différence entre les recettes et les charges de l'exploitation (équation 02). Par contre, il aura un ensemble de valeurs possibles suite à la multitude de valeurs des recettes et des charges par effet de climat et de marché.

#### Équation 02 :équation du revenu

$$Z = R - C$$

Avec :  $Z$  est le revenu de l'éleveur,  
 $R$  est les recettes de l'exploitation,  
 $C$  est les charges de conduite.

Dans la déclaration de l'équation des charges (équation 03), on additionne les charges vétérinaires (consultations, chirurgies et médicaments), les charges supplémentaires (coût de la paille et des coûts monétaires supplémentaires liés à l'hygiène) et les charges alimentaires. Ces dernières regroupent les aliments des vaches et les aliments des veaux.

#### Équation 03 :les charges de conduite

$$C = CVet + CALim + CSup$$

Dont :  $C$  est les charges de conduite de l'exploitation,  
 $CVet$  est les charges vétérinaires du cheptel,  
 $CALim$  est les charges alimentaires du cheptel,  
 $CSup$  est les charges supplémentaires de chaque stratégie.

Avec :

#### Équation 04 :les charges vétérinaires de l'atelier

$$CVet = \sum_V QVet(V) * PxVet(V) + CChirV * X + CMedV * X$$

$QVet(V)$  est la quantité des interventions vétérinaires par type d'intervention  $V$ ,  
 $PxVet(V)$  est le prix des interventions vétérinaires selon type d'intervention  $V$ ,  
 $CChirV$  est le coût des chirurgies vétérinaires dans le cheptel,  
 $CMedV$  est le coût des médicaments vétérinaires utilisés pour les traitements,  
 $X$  est le nombre de place dans l'atelier.

Et :

**Équation 05 : les charges supplémentaires de l'exploitation**

$$CSup = Cs * X$$

$Cs$  est le coût supplémentaire pour chaque stratégie de conduite,  
 $X$  est le nombre de place dans l'atelier.

Aussi :

**Équation 06 : les charges alimentaires du cheptel**

$$CALim = \sum_{Al} QAlim(Al) * PxAlim(Al) + \sum_{Alvx} QAlimV(Alvx) * PxAlimV(Alvx)$$

Avec :  $QAlim(Al)$  est la quantité de chaque aliment  $Al$  dans la ration alimentaire des vaches,  
 $PxAlim(Al)$  est le prix des aliments de vaches par type d'aliment  $Al$ ,  
 $QAlimV(Alvx)$  est la quantité de chaque aliment  $Alvx$  dans la ration alimentaire des veaux,  
 $PxAlimV(Alvx)$  est le prix des aliments de veaux par type d'aliment  $Alvx$ ,

Cependant, le modèle va simuler pour les charges alimentaires un ensemble de coûts possible pour chaque état de marché et de la nature. Ces charges sont fonction des prix possibles des aliments achetés (poudre de lait, concentré de veaux, blé et tourteau de soja), et des quantités du blé et du tourteau de soja décidées (qui dépendent de la qualité du fourrage par chaque état de la nature). Ainsi, les charges totales n'auront pas une valeur unique, mais un ensemble de valeurs possibles pour chaque état de marché et de la nature.

En ce qui concerne les recettes de l'exploitation, elles résultent de l'addition des recettes de chaque produit vendu, à savoir le lait, les veaux d'un mois, les génisses prêtes à vêler et la viande de réforme (équation 07).

**Équation 07 : les recettes de l'exploitation**

$$R = \sum_L QLait(L) * PxLait(L) + \sum_A QAx(A) * PxAx(A) + QV * PxV$$

Avec :  $R$  est les recettes de l'exploitation,  
 $QLait(L)$  est la quantité de lait produit par qualité de lait  $L$ ,  
 $PxLait(L)$  est le prix de chaque qualité  $L$  du lait produit,

$Q_{Ax}(A)$	est la quantité des animaux de vente par catégorie d'animaux $A$ ,
$P_{xAx}(A)$	est le prix de vente des animaux par catégorie $A$ .
$Q_V$	est la quantité de viande des carcasses des vaches de réforme,
$P_{xV}$	est le prix de viande au marché.

Le modèle simule pour les recettes également un ensemble de recettes totales possible pour chaque état de marché suivant les possibilités des recettes de chaque produit vendu (variation des prix en fonction du marché).

#### *a] Le risque du marché*

Le secteur agricole dépend considérablement de son marché, il a toujours été exposé à la fluctuation des prix des intrants et des produits qui peuvent entraîner des fluctuations du revenu des producteurs agricoles. En effet, l'instabilité des prix est une caractéristique majeure des marchés de produits agricoles (Gérard et al., 2008).

Pour notre étude, on n'analyse pas des scénarios de variabilité des prix du marché, mais on la considère comme un risque possible et on réalise une analyse de sensibilité de l'éleveur à cette variation des prix au marché des intrants et des extrants.

Les prix sont déterminés dans le modèle de manière exogène, c'est une donnée renseignée en valeur moyenne (prix moyen) avec un taux de variation (déviations du prix) (annexe 03).

Le prix des concentrés (blé et tourteau de soja) provient du cours des prix des céréales de la bourse de commerce de Chicago<sup>3</sup>. Il s'agit du prix annuel de chaque aliment sur 10 ans et sa déviation.

Le prix et la déviation de prix des médicaments proviennent d'une base de données disponible dans l'équipe et qui est encore confidentielle. Il s'agit de prix de vente pratiqués sur les 5 dernières années par des cabinets et cliniques vétérinaires en France.

Les prix et déviations des prix du lait par qualité proviennent de la grille de paiement du lait en France pour les 10 dernières années.

La réforme est valorisée au prix de la carcasse en France sur les 10 dernières années et le prix des animaux vifs (veaux et génisses) et sa déviation ont été fixés à dire d'experts.

#### *b] Le risque du climat*

L'importance et l'impact des risques climatiques en agriculture est universelle (gèle, grêle, sécheresse...). Un changement des conditions climatiques est susceptible d'entraîner la perte partielle ou totale d'une récolte. Encore, le climat peut avoir un effet direct sur la physiologie et le comportement des animaux et sur la qualité des rendements.

On suppose pour ce travail que le risque climatique a un effet sur la qualité du fourrage produit dans l'exploitation, à savoir l'ensilage de maïs. L'apport alimentaire des aliments consommés est renseigné au modèle en termes de MS, UFL et MAT, avec facteur de variation fixé à 20% pour chacun des éléments (MS, UFL et MAT) (annexe 04).

L'information sur les valeurs alimentaires des aliments provient des tables de calcul des rations de l'Institut National de la Recherche Agricole.

---

<sup>3</sup><https://investir.lesechos.fr/cours/matiere-premiere-tourteaux-de-soja-chicago-futures,wmpcb,sm,sm,opid.html>



### C. Les équations du modèle

#### a] Contrainte de structure du troupeau

Équation 08 : contrainte de structure du troupeau

$$\sum_{t,s} X(t,s) \leq 100$$

L'équation ci-dessus représente la contrainte de structure d'un élevage. L'atelier a un nombre de place défini. Toute la dynamique du cheptel étant simulée dans le modèle biologique, l'éleveur ne peut exploiter que 100 places.

#### b] Contrainte de travail relatif

Chaque activité d'élevage délivrée par le simulateur biologique renseigne l'information sur le temps de travail supplémentaire que nécessite la stratégie de gestion qui lui correspond.

On considère la charge de travail comme contrainte de gestion dans l'exploitation d'élevage bovin laitier. On limite le temps de travail supplémentaire à escompter par place dans l'atelier à un certain seuil  $TS_{seuil}$ . La prise de décision de gestion doit répondre par ailleurs à la contrainte

Équation 09 : contrainte de travail relatif

$$\sum_{t,s} TS(t,s) * X(t,s) \leq TS_{seuil}$$

Avec :  $TS(t,s)$  est le temps supplémentaire en année  $t$  sous la stratégie  $s$  et,

$X(t,s)$  est le nombre de places dans l'atelier en année  $t$  sous la stratégie  $s$ .

#### c] Equation d'alimentation

A partir des besoins alimentaires déterminés dans le simulateur biologique, la distribution de la ration alimentaire se simule dans le modèle de décision économique. Le modèle optimise le rationnement alimentaire à travers les contraintes d'équilibre alimentaire et en prenant en compte les conditions du marché.

On suppose dans le modèle un affouragement des vaches laitières en ensilage de maïs produit au niveau de l'exploitation, et un approvisionnement du marché en aliment concentré (blé et tourteau de soja). Les besoins alimentaires sont exprimés en termes de matière sèche (MS), unité fourragère lait (UFL) et matière azotée totale (MAT).

#### ➤ Matière sèche

Pour la composition de la ration, l'ensilage de maïs doit satisfaire  $66\% \pm 10\%$  des besoins des vaches en matière sèche et les  $33\% \pm 10\%$  restant sont à assurer par le concentré blé et tourteau de soja.

Équation 10 :équation d'alimentation, contrainte de matière sèche

$$0.9 * \frac{2}{3} * \sum_{t,s} MS\ besoin(t, s) * X(t, s) \leq Q\ Maïs * MS\ Maïs \leq 1.1 * \frac{2}{3} * \sum_s MS\ besoin(t, s) * X(t, s)$$

$$0.9 * \frac{1}{3} * \sum_s MS\ besoin(t, s) * X(t, s) \leq \sum_{Concentré} Q\ Concentré * MS\ Concentré$$

$$\leq 1.1 * \frac{1}{3} * \sum_s MS\ besoin(t, s) * X(t, s)$$

Avec : *MS besoin* est le besoin en matière sèche par place,  
*X* est le nombre de place dans l'atelier,  
*Q Maïs* est la quantité de maïs à apporter,  
*MS Maïs* est l'apport en matière sèche de l'ensilage de maïs,  
*Q Concentré* est la quantité de concentré à apporter (blé et soja),  
*MS Concentré* est la quantité de matière sèche assurée par 1 kg de concentré,  
*t* est le temps (année) et,  
*s* est la stratégie de gestion technique et sanitaire.

➤ Autres besoins alimentaires (UFL, MAT)

Cependant, afin de garantir l'équilibre de la ration alimentaire à distribuer, les quantités définies pour chaque aliment doivent également assurer les besoins des vaches en UFL et MAT. On impose pour cela un taux minimal de 95% à assurer par l'ensemble de la ration (ensilage de maïs, blé et tourteau de soja).

Équation 11 :équation d'alimentation, contrainte de MAT et UFL

$$0.90 * \sum_{t,s} Nutri\ besoin(t, s) * X(t, s) \leq \sum_{AlimV} Q\ ration\ (AlimV) * Nutri\ (AlimV)$$

Avec : *Nutri besoin* est le besoin de la vache en nutriments (UFL ou MAT),  
*X* est le nombre de place dans l'atelier,  
*Q ration (AlimV)* est la quantité de chaque aliment dans la ration (ensilage de maïs, blé et tourteau de soja),  
*Nutri (alim)* est l'apport de chaque aliment dans la ration en nutriments,  
*t* est le temps (année) et,  
*s* est la stratégie de gestion technique et sanitaire.

d] Contrainte d'exposition aux antibiotiques

Chaque activité d'élevage délivrée par le simulateur biologique renseigne l'information sur l'indicateur d'exposition aux antibiotiques ALEA qui lui correspond.

On a défini dans le modèle un indicateur de référence  $ALEA_{seuil}$ , qui correspond au niveau d'exposition aux antibiotiques de la stratégie de conduite de référence.

On impose une certaine baisse d'usage des antibiotiques par rapport à l'indicateur d'exposition de référence  $ALEA_{seuil}$ .

**Équation 12 : contrainte d'exposition aux antibiotiques**

$$\sum_{t,s} ALEA(t,s) * X(t,s) \leq \left(1 - \frac{Ratb}{100}\right) * \sum_{t,s} ALEA_{seuil}(t,s)$$

- Avec :  $ALEA$  est l'indicateur d'exposition aux antibiotiques,
- $X$  est le nombre de place dans l'atelier,
- $Ratb$  est le taux de réduction que l'on souhaite imposer au système,
- $ALEA_{seuil}$  est l'indicateur d'exposition aux antibiotiques de référence,
- $t$  est le temps (année) et,
- $s$  est la stratégie de gestion technique et sanitaire.

**D. Les versions du modèle**

Pour mieux analyser le processus décisionnel de l'éleveur, on a développé trois versions du modèle bioéconomique : « année moyenne », « par année » et le « ad hoc » (tableau 06).

L'élevage reste considéré dans chacune des versions comme étant un nombre de place dans l'atelier. L'éleveur est exposé aux deux risques climat et marché et affronté à la contrainte alimentaire sur les trois versions du modèle.

**Tableau 06 : la structure d'extension des trois versions du modèle bioéconomique.**

Versions	Données	Risques	Optimisation	Résultats
<b>V1 : Année moyenne</b>	/place /année moyenne /scénario	Climat et marché	Alimentation et scénario par année moyenne	Décision /année moyenne
<b>V2 : Par année</b>	/place /année /scénario	Climat et marché	Alimentation et scénario /année	Décision /année
<b>V3 : Ad hoc</b>	/place /année /scénario	Climat et marché	Alimentation /année	Ad hoc,

La première version « année moyenne » prend en entrée la moyenne par année des résultats de simulation des stratégies de gestion. C'est une version statique et annuelle qui permet d'optimiser la ration alimentaire du troupeau mais de décider également en sortie la stratégie de gestion optimale. Une seule stratégie est choisie par le modèle pour la moyenne des 10 ans.

La deuxième version « par année », prend en entrée les données de simulation par année. Elle permet d'optimiser annuellement parmi toutes les stratégies et de choisir une stratégie optimale pour chaque année de simulation.

La troisième version « ad hoc » prend en entrée la moyenne par année des résultats de simulation des stratégies de gestion. Elle permet de procéder à une optimisation à deux niveaux. La ration alimentaire

est optimisée par année pour l'ensemble des stratégies, ensuite le choix de ou des stratégies optimales est effectué. C'est une version avec une approche pluriannuelle à deux niveaux de résolution qui nous permet de proposer un classement des stratégies optimales pour chaque contexte de simulation (travail, usage des antibiotiques, etc.).

### ***E. Scénarios***

La simulation de la réduction d'usage d'antibiotiques se décline au niveau des équations (équations 09 et 12). Nous avons formulé deux scénarios de réduction (tableau 07). Le premier scénario représente un scénario de réduction de l'usage des antibiotiques sans aucune contrainte sur le temps de travail, tandis que le second représente la même réduction avec la condition que l'éleveur n'aie pas à subir aucune charge de travail supplémentaire (TSseuil = 0).

**Tableau 07 : scénarios de réduction d'usage des antibiotiques simulés dans le modèle bioéconomique.**

<b>Libellé</b>	<b>Définition</b>	<b>Déclinaison</b>
<b>S initial</b>	Aucune contrainte ni de réduction ni de surcharge de travail	Ratb = -100 TSseuil = 100
<b>S réduction</b>	Réduction de 5% l'exposition des vaches aux antibiotiques	Ratb = 5 TSseuil = 100
<b>S réduction sans Ts</b>	Réduction de 5% l'exposition des vaches aux antibiotiques sans surcharge de travail supplémentaire pour l'éleveur.	Ratb = 5 TSseuil = 0

## **II - Résultats [Provisoires]**

### **1. Les « activités » simulées**

Les matrices (Inputs/Outputs) en sortie du modèle forment une base de données qui fournit les informations sur les flux du système d'élevage sous chaque stratégie de conduite. Les données exploitées pour le développement du modèle bioéconomique sont représentées en annexe. Il s'agit des besoins alimentaires des vaches (annexe 05), les besoins alimentaires des veaux (annexes 06), les interventions vétérinaires par type d'intervention (selon le temps d'intervention) (annexe 07), le coût des médicaments calculé à partir des quantités décidées par le simulateur (annexe 08), le coût des chirurgies vétérinaires (annexe 09), le temps de travail supplémentaire (annexe 10), le coût supplémentaires (annexe 11), le lait vendu en quantité et qualité (annexe 12), le nombre d'animaux vendus (annexe 13), la quantité de viande de réforme (annexe 14) et en fin, l'indicateur d'exposition des vaches laitières aux antibiotiques (annexe 15).

### **2. Résultats des versions du modèle bioéconomique**

Les trois versions du modèle bioéconomique développé fournissent les choix de la stratégie de gestion optimale de l'éleveur pour une année moyenne, par année ou encore un classement des scénarios (solution optimale + solutions sous optimales) ainsi que le rationnement alimentaire optimal. Chaque stratégie choisie en tant qu'activité est définie par les intrants utilisés, les charges, les extrants produits, les recettes, le revenu de l'éleveur, l'utilité espérée, l'indicateur d'exposition aux antibiotiques (ALEA) et la charge de travail supplémentaire engagée par l'éleveur.

**Tableau 08 : résultats des simulations des trois versions du modèle bioéconomique.**

Version	« Année Moyenne »	« Par Année »	« Ad hoc »
<b>S initial</b>	S7	S1, S7, S8, S2, S1, S7, S1, S1, S7, S7	Les mêmes résultats que sur les deux versions
<b>S réduction</b>	S7	S1, S7, S1, S4,S1, S7, S1, S1, S7, S7	Les mêmes résultats que sur les deux versions
<b>S réduction sans Ts</b>	Infaisable	Infaisable	idem

**A. Décisions de la version « année moyenne » du modèle bioéconomique**

La simulation de cette version sous le scénario « S réduction sans Ts » donne une infaisabilité de la solution. Cela veut dire que toutes les stratégies de conduites qui favorisent la réduction d’usage des antibiotiques exigent un temps de travail supplémentaire.

Après simulation du scénario « S réduction » le modèle choisi sur la base d’une année moyenne la stratégie S7 comme décision optimale (stratégie de conduite avec traitement sélectif et obturateur interne des trayons dans une hygiène satisfaisante).

La ration alimentaire optimisée ainsi que le détail des intrants et extrants de la stratégie décidée par le modèle sont résumés ci-suit (tableau 09).

**Tableau 09 : les flux de la stratégie optimale décidée par le modèle.**

Intrants		Valeur	Extrants	Valeur
<b>Consultations vétérinaires</b>		24, 27 interventions	<b>Lait (L1)</b>	1014620,85
<b>Chirurgies</b>		691,50 €		
<b>Médicaments</b>		6765,43 €		
<b>Travail supplémentaire</b>		442,31 hr/an	<b>Viande de réforme</b>	9,643 tonnes
<b>Aliments de vaches</b>	<b>E. Maïs</b>	2258,22 tonnes	<b>Génisse pleines</b>	9 têtes
	<b>Blé</b>	231,20 tonnes		
	<b>T. Soja</b>	140,80 tonnes		
<b>Aliments de veaux</b>	<b>Poudre de lait</b>	6,53 tonnes	<b>Veaux d’un mois</b>	51 têtes
	<b>Concentré</b>	3,03 tonnes	<b>ALEA</b>	1,09

Le modèle délivre aussi les charges et les recettes estimés qui ont permis de décider cette stratégie pour optimale (tableau 10).

**Tableau 10 : les coûts délivrés par le modèle bioéconomique en euro, version « Année moyenne ».**

<b>Charges alimentaires</b>	91732,71
<b>Charges vétérinaires</b>	8266,58
<b>Charges supplémentaires</b>	1012,98
<b>Charges totales</b>	101012,28
<b>Recettes du lait</b>	347428,08
<b>Recettes des animaux</b>	16362,95
<b>Recettes de la viande</b>	24108,14
<b>Recettes totales</b>	387899,17

### ***B. Décisions de la version « par année » du modèle bioéconomique***

Dans la structure de cette version, on suppose que l'éleveur fait chaque année un choix de stratégie de conduite. La variation de la décision de l'éleveur entre les années représente son adaptation au changement de son environnement (risques et contraintes).

Le modèle décide la stratégie optimale par année (tableau 11). Comme pour les autres versions, la simulation du modèle avec les deux contraintes usage des antibiotiques et travail est infaisable. L'éleveur doit impérativement sacrifier un temps de travail supplémentaire pour l'adoption d'une des stratégies qui favorisent la réduction de l'ALEA. L'attribution d'un temps supplémentaire à l'éleveur permet de simuler cette version qui décide en sortie une succession de stratégies sur les 10 ans de simulation avec l'ensemble des flux (annexe 16) et le rationnement alimentaire optimal de chaque stratégie choisie (annexe 17).

Cette version du modèle simule chaque année l'ensemble de stratégies pour décider celle optimale

**Tableau 11 : alternance des stratégies de conduite optimales décidées par le modèle bioéconomique version « par année ».**

<b>Année</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>
<b>Stratégie optimale</b>	S1	S7	S1	S4	S1	S7	S1	S1	S7	S7

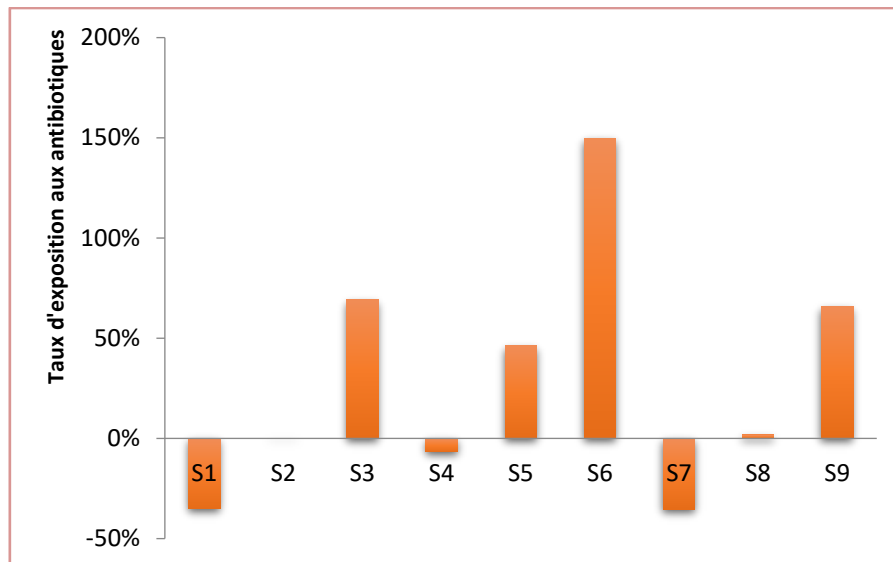
### ***C. Décisions de la version « Ad hoc » du modèle bioéconomique***

La version « Ad hoc » permet d'avoir en sortie une synthèse de l'ensemble des flux de toutes les stratégies sur les 10 ans de simulation. Le modèle optimise le rationnement du cheptel par scénario et par an dans un premier temps (annexe 18). Ensuite, ces sorties nécessitent un 2<sup>ème</sup> traitement afin de décider la stratégie optimale dans un contexte spécifique.

L'ensemble de rationnements optimaux des 9 scénarios sur les 10 ans de simulation montre une certaine stabilité des quantités décidées pour le rationnement du cheptel.

L'analyse du reste des sorties de cette version du modèle (ALEA, temps travail, revenu, utilité, etc.) nous permet de décider la stratégie optimale mais aussi de classer les stratégies, vu qu'on a une vision sur l'ensemble des flux de toutes les stratégies sur toutes les années de simulation.

La possibilité de réduction d'usage des antibiotiques étant liée de manière directe à la gestion des mammites peut être illustrée par l'analyse des indicateurs annuels de l'exposition des vaches en lactation aux antibiotiques. Cette information est délivrée par la version « Ad hoc » par année et par stratégie de conduite. La comparaison de la moyenne des 10 ans de simulation des indicateurs par rapport à la stratégie de référence (ALEA S2) est représentée par la figure ci-suit (figure 06).



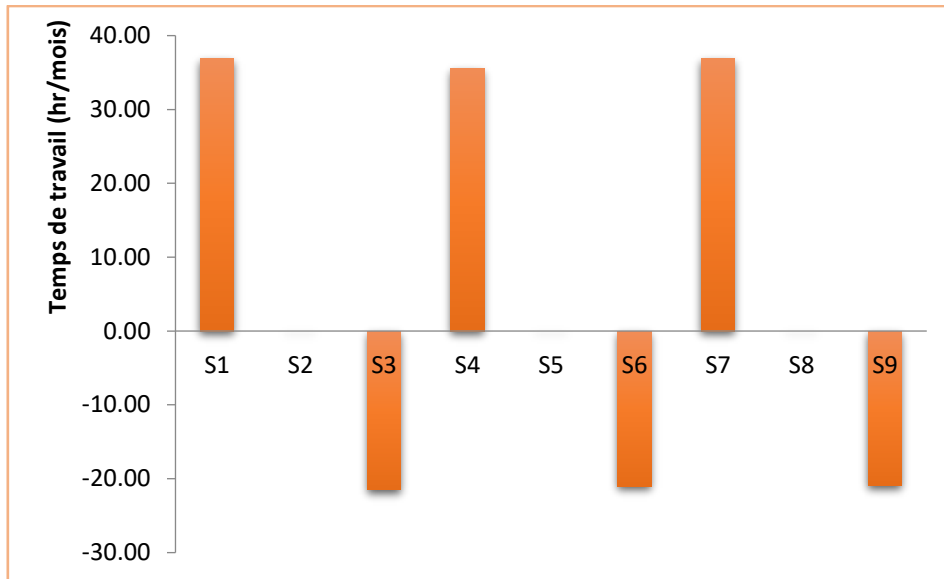
**Figure 06 : comparaison de l'indicateur moyen de l'exposition des vaches en lactation aux antibiotiques de chaque stratégie de conduite par rapport à la Baseline ALEA S2.**

L'analyse de l'ALEA des trois stratégies de la même gestion technique de référence « traitement systématique » montre qu'avec la même technique de traitement, les conditions d'hygiène jouent un rôle important dans la réduction d'usages des antibiotiques. La comparaison des stratégies S1 et S3 à la stratégie de conduite de référence S2 montre bien que l'amélioration des conditions d'hygiène (S1) permet de réduire jusqu'à 35% de l'exposition des vaches en lactation aux antibiotiques, en revanche, la détérioration du niveau d'hygiène dans l'atelier (S3) favorise l'intensification d'usage des antibiotiques (69%).

En outre, la comparaison entre l'ensemble des stratégies de conduite confirme l'effet de l'hygiène sur la possibilité de réduction de l'usage des antibiotiques. En effet, seules les stratégies de conduite avec hygiène satisfaisante (S1, S4 et S7) permettent de réduire l'usage des antibiotiques.

Cependant, à un même niveau d'hygiène, hygiène moyenne (S2, S5 et S7), la négligence des vaches non affectées par les mammites dans le cheptel (mais qui restent y exposées par contamination) augmente l'exposition des vaches au antibiotiques de 46% (en S5), alors que la prise en charge de ces vaches par l'utilisation des obturateurs internes des trayons (S7) permet de baisser l'ALEA jusqu'à 35%.

Le changement des stratégies de gestion technique implique un changement dans l'organisation de travail, notamment le temps de travail à escompter pour la nouvelle stratégie. La comparaison des moyennes du temps de travail délivrées, par stratégie et par année, par la version « Ad hoc » par rapport au temps de travail de la stratégie de conduite de référence S2 est illustrée par la figure suivante :



**Figure 07 : comparaison du temps de travail à escompter à chaque stratégie par rapport à la stratégie de conduite de référence traitement systématique-hygiène moyenne (S2).**

Il en résulte que le changement des stratégies de gestion technique (mode de prise en charge des mammites) ne modifie pas le temps de travail de l'éleveur (S5 et S8). Néanmoins, le changement de la stratégie de gestion sanitaire implique des changements sur ce paramètre. En effet, l'amélioration du niveau d'hygiène (S1, S4 et S7) nécessite de l'éleveur 36hr/mois de temps de travail supplémentaire sur l'exploitation et la dégradation du niveau d'hygiène (S3, S6 et S9) permet à l'éleveur d'épargner 21hr de temps de travail par mois. De ce fait, si l'éleveur est soumis à la contrainte de temps de travail, il ne peut adopter des stratégies de conduite avec gestion d'hygiène satisfaisante. Il choisira la stratégie de conduite qui optimise son revenu parmi les stratégies qui maintiennent le même niveau de travail (S2, S5 et S8) ou celles qui le réduisent (S3, S6 et S9).

La combinaison des deux contextes : réduction d'usage des antibiotiques et contrainte de travail, pour décider une unique stratégie de conduite optimale semble à ce niveau intraitable. Toutes les stratégies de conduite qui favorisent la réduction d'usage des antibiotiques sont des stratégies ayant une gestion sanitaire avec niveau d'hygiène satisfaisant, ce qui nécessite de l'éleveur un travail supplémentaire sur l'exploitation (S1, S4 et S7). Cela rejoint l'infaisabilité des deux versions « année moyenne » et « par année » sous le scénario « S réduction sans Ts ».

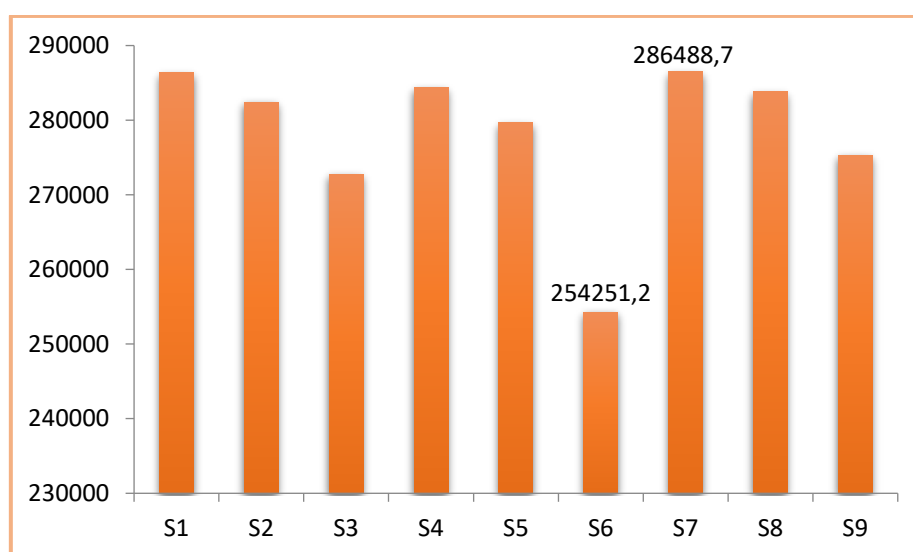
Etant donné que la version « Ad hoc » du modèle délivre une petite base de donnée sur l'ensemble des flux de toutes des stratégies sur toutes les années de simulation, le calcul du revenu moyens des stratégies nous permet de classer ces dernières en terme de bénéfice (tableau 12) (revenus annuels en annexe 19).



**Tableau 12 : classement des stratégies de conduite de l'atelier suivant leur revenu moyen traité à partir des sorties de la version « Ad hoc ».**

Code	La stratégie de conduite	Revenu moyen des 10 ans de simulation (€)
<b>S7</b>	T.Selectf+Obtu - H.Satisf	287049,02
<b>S1</b>	T.Syst - H.Satisf	286901,289
<b>S4</b>	T.Selectf - H.Satisf	284883,824
<b>S8</b>	T.Selectf+Obtu - H.Myn	284333,207
<b>S2</b>	T.Syst - H.Myn	282947,071
<b>S5</b>	T.Selectf - H.Myn	280085,962
<b>S9</b>	T.Selectf+Obtu - H.Détér	275683,119
<b>S3</b>	T.Syst - H.Détér	273215,896
<b>S6</b>	T.Selectf - H.Détér	254512,108

Les stratégies avec meilleure gestion sanitaire sont les plus profitables pour l'éleveur (S7, S1 puis S4) suivies par les stratégies avec hygiène moyenne, et celles avec hygiène détériorée sont les moins rentables. Ainsi, la gestion technique par traitement sélectif avec obturateur interne des trayons assure le meilleur revenu pour l'éleveur, suivi par la gestion avec traitement systématique puis celle avec traitement sélectif. Ce qui se confirme encore avec le traitement de l'utilité espérée moyenne de chaque stratégie de conduite (figure 08).



**Figure 08 : l'utilité espérée moyenne des stratégies de conduite.**

Si on suppose à partir des sorties de cette version « Ad hoc » que l'éleveur prenne sa décision sur la base du revenu d'une année moyenne, il choisira ainsi la stratégie de conduite S7 sur la base du revenu d'une année moyenne, comme décidé dans la version « Année moyenne ».

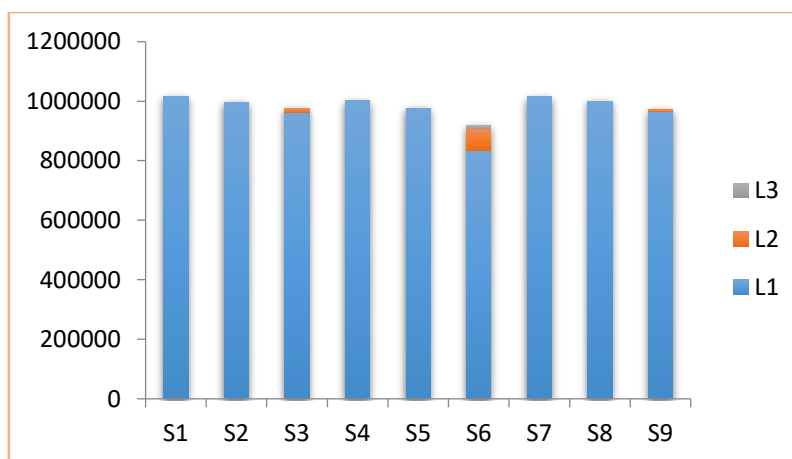
Sur la base des données de sortie de la version « Ad hoc », notamment le revenu, on peut également analyser les choix de l'éleveur en une même année et entre les années (tableau 13)

**Tableau 13 : alternance des stratégies de gestion entre les années sur la base de l'utilité du revenu de l'éleveur par année (données détaillées en annexe 20).**

Année	Alternance des stratégies de gestion		
	Choix1	Choix2	Choix3
01	S1	S8	S4
02	S7	S8	S4
03	S1	S8	S4
04	S2	S4	S1
05	S1	S4	S2
06	S7	S1	S8
07	S1	S7	S8
08	S1	S4	S7
09	S7	S4	S1
10	S7	S1	S2

L'éleveur décide sa stratégie de conduite parmi les 5 premières stratégies ayant le meilleur revenu. Son 1<sup>er</sup> choix pour toutes les années alterne principalement entre les stratégies de conduite avec hygiène satisfaisante et gestion technique par traitement sélectif avec obturateur interne (S7) ou par traitement systématique (S1), c'est les stratégies qui optimisent le mieux le revenu de l'éleveur même avec la prise de temps supplémentaire en vue de réduire l'usage des antibiotiques dans son cheptel.

En ce qui concerne la production laitière, les résultats de simulation ne montrent pas une grande différence de production (figure 09). Toutes les stratégies de conduite avec bonne et moyenne hygiène produisent que du lait de première qualité (L1). La quantité la plus importante est enregistrée en S1 et S7, elle reste très proche des quantités produites en S2, S4, S5 et S8. Ce résultat ne fait pas sortir l'impact des mammites sur la production laitière, tant en quantité qu'en qualité.



**Figure 09 : la production laitière du cheptel en quantité et en qualité par stratégie de conduite.**

En fin, la structure de la première version du modèle « Ad hoc » permet d'avoir une vision sur l'ensemble des flux de toutes les stratégies sur les 10 ans de simulation. Cette base de données peut faire objet de multiples traitements selon le contexte envisagé et décider en fin la/les stratégie(s) optimale dans le contexte déterminé.

### III - Discussion [Provisoire]

Les versions du modèle développé reflètent la variation du choix de l'éleveur suivant la base sur laquelle il prend sa décision. La version « année moyenne » fournit un unique choix optimal décidé par l'éleveur sur la base d'une année moyenne de conduite de son exploitation, alors que la version « par année » montre que la décision optimale sur 10 ans de simulation n'est pas forcément la pour toutes les années de conduite, ce qui peut être interprété comme une adaptation "annuelle" de l'éleveur à la dynamique de son environnement sous l'effet des risques considérés dans le modèle. Cependant, nous avons constaté que la différence de revenus entre la solution optimale et les solutions sous optimales sont souvent très faibles. La version « Ad hoc » nous permet de classer les stratégies dans le scénario souhaité et comparer leurs revenus. La différence entre le scénario de référence S2 et le scénario optimal S7 (4102€) semble faible pour motiver un éleveur au changement de ses pratiques. Néanmoins, l'adoption de la stratégie de conduite S7 permet de réduire de 5% l'exposition du cheptel aux antibiotiques, réduisant ainsi les coûts d'usage des antibiotiques, notamment en termes d'externalité (l'antibiorésistance), bien qu'on n'a pas trouvé dans la littérature des études qui ont travaillé sur l'évaluation de ces coûts.

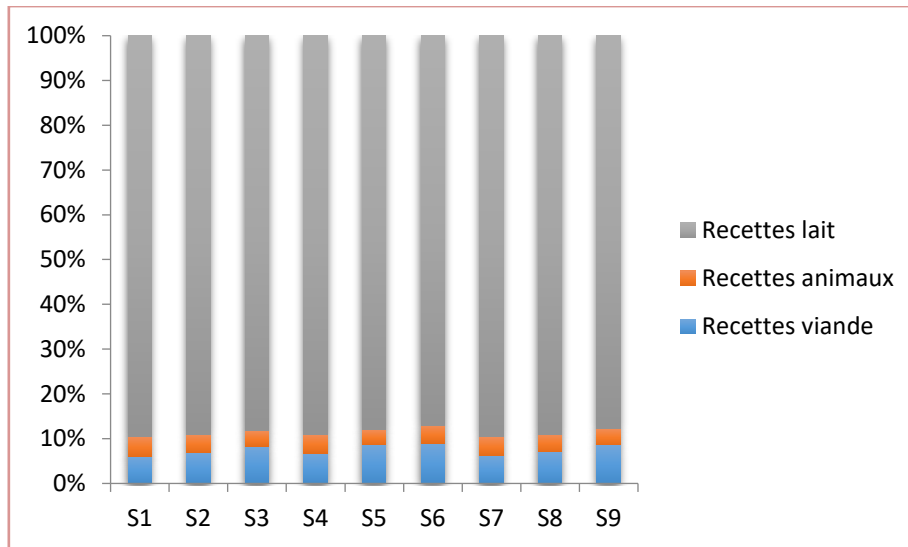
2 scénarios simples ont été simulés avec ces 3 versions du modèle d'optimisation, « S réduction » et « S réduction sans Ts ». Cependant, une scénarisation plus riche et plus nuancée telle que prévue aurait permis de simuler une réduction graduelle de l'usage des antibiotiques et de la surcharge de travail.

La comparaison des revenus moyens de l'éleveur derrière chaque stratégie par rapport au revenu de la stratégie de référence S2 confirme les résultats obtenus par (Hogeveen et al., 2011) qui montrent que plus les dépenses pour les mesures préventives des mammites sont faibles plus les pertes dues aux mammites sont importantes (vice versa). Si l'éleveur change sa conduite en stratégie S6 qui lui permet d'épargner les coûts liés à l'hygiène ainsi que le temps de travail supplémentaire, les pertes en revenu moyen peuvent dépasser les 28000€ (tableau 14). Cependant, nos résultats restent relatifs et le modèle développé reste à compléter. En effet, le coût de production du fourrage cultivé dans l'exploitation n'a pas été considéré dans les charges. On avait choisi de ne pas traiter les aspects liés à la production végétale dans le développement du modèle bioéconomique, en revanche, on peut estimer le prix de production d'une unité d'ensilage de maïs afin d'estimer les dépenses de l'éleveur pour produire la quantité que décidera le modèle. Encore, par oubli, les frais de l'insémination artificielle n'ont pas été considérés dans l'estimation des charges. Il suffit d'exploiter la donnée sur le nombre d'insémination décidé par le simulateur biologique pour pouvoir simuler son coût parmi les charges de l'éleveur dans le modèle bioéconomique. En outre, dans la formulation des stratégies de conduite, la gestion sanitaire été liée au niveau d'hygiène (temps de travail supplémentaire, coût de paille pour la litière et coûts liés à l'hygiène de la traite), mais on a négligé les coûts liés à la gestion technique, les coûts "épargnés" suite au traitement sélectif des vaches et les charges d'introduction des obturateurs internes des trayons. La considération de ces coûts peut changer ou donner plus de précisions sur les résultats en termes d'optimisation du revenu dans un scénario de réduction d'usage des antibiotiques.

**Tableau 14 : comparaison des revenus moyens de chaque stratégie de conduite par rapport à celui de la stratégie de référence S2.**

Stratégie de conduite	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Différence du revenu	+3954	0	-9731	+1936	-2861	-28434	+4101	+1386	-7263

Pour l'ensemble des stratégies, les recettes du lait représentent plus de 85% des recettes de l'exploitation (figure 10). En revanche, les scénarios développés ne font pas ressortir l'impact de la stratégie de conduite sur la qualité du lait pour distinguer la différence des recettes suivant la différence des recettes du lait. Le lait produit par chacune des stratégies est classé, suivant le CCS déterminé dans le modèle, comme lait de meilleure qualité (L1). Pour distinguer l'impact des mammites sur le revenu suite à l'écartement du lait de mauvaise qualité, des scénarios plus "strictes" en comptage de cellules somatiques ont été développés sur le simulateur biologique mais par contre temps n'ont pas été simulés pour faire partie de ce travail. L'objectif est de faire ressortir la répercussion de la stratégie de conduite adoptée sur la qualité de lait, ses recettes et le revenu de l'éleveur en conséquence.



**Figure 10 : Les recettes de l'éleveur par produit de l'exploitation.**

En ce qui concerne le rationnement alimentaire des vaches, une légère variation dans les quantités décidées entre les années ressort pour un même scénario. On considère que cette variation représente l'adaptation de l'éleveur aux risques (climat et marché) sous la contrainte de l'équilibre alimentaire. Encore, les quantités décidées varient également entre les stratégies, elles tendent vers la baisse à chaque dégradation du niveau d'hygiène (annexe 18). Pour expliquer cette variation, on est revenu sur les besoins du cheptel décidés par le simulateur biologique (annexe 05). On observe généralement la même tendance de variation, à chaque fois l'hygiène est dégradée, les besoins du cheptel diminuent. On peut expliquer cette relation niveau d'hygiène-besoins alimentaires (quantités alimentaire en conséquence) par le fait que moins l'hygiène est bonne, plus les conditions sont favorables pour le développement des mammites. La propagation de cette infection augmente la probabilité de la pré-réforme voire la réforme des vaches et l'éleveur aura moins de vache en production dans l'atelier. La baisse des besoins de lactation réduit les besoins totaux du cheptel. Ce constat confirme l'interaction des processus de production dans le simulateur biologique.

Les données utilisées pour ce travail, sont des résultats intermédiaires du simulateur biologique DHS ce qui explique la non faisabilité de certaines stratégies.

Pour la production laitière on a constaté très peu de dégradation de la qualité du lait. Ceci est dû au choix d'écartement de lait dans le simulateur, qui écarte le lait du tank quand une vache produit plus

800 000 cellules. Deux autres choix ont été conçus<sup>4</sup>, les tests ont montré que ; pour les stratégies les moins performantes sur le plan sanitaire ; la qualité du lait livré est plus dégradée tandis les quantités livrées (non écartées) sont plus élevées.

Pour la réduction d'usage d'antibiotiques, les stratégies S1 et S7 sont équivalentes en termes d'exposition aux antibiotiques (-35%). Ceci est contre intuitif sachant que dans S7 est une stratégie où on traite les vaches de manière sélective au tarissement. On est donc sensés moins exposer les vaches sous cette stratégie de gestion. Ceci s'explique par le fait que l'indicateur ALEA sur lequel se base cette analyse est calculé pour les vaches en lactation. La réduction de l'exposition des vaches au tarissement n'y est donc pas considérée. C'est ce qui explique un niveau d'exposition égal entre ces deux stratégies.

Ainsi, le modèle bioéconomique développé reste à compléter pour pouvoir évaluer correctement le système de production simulé, et à calibrer afin d'avoir en résultats plus lisses et cohérents. C'est la première semence de conception d'un outil d'aide à la décision par une approche holistique de la santé animale dans le domaine agricole et vétérinaire.

---

<sup>4</sup> Un seuil d'écartement à 10 millions et un niveau d'écartement en fonction du niveau de cellules dans le tank.

# Bibliographie

Andremont A. 2016. Antibiotiques et antibiorésistance, un avatar singulier de l'histoire planétaire, *Questions de communication*, 2016/1, n. 29, p. 15-27.

<https://www.cairn.info/revue-questions-de-communication-2016-1-page-15.htm>

Bar D.Tauer L.W., Bennett G., González R.N., Hertl J.A., Schukken Y.H., Schulte H.F., Welcome F.L. et Gröhn Y.T.(2008).The cost of generic clinical mastitis in dairy cows as estimated by using dynamic programming.*Journal of dairy science*,vol.91, n. 6, p.2205-2214.

<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0573>

Cha E. et al. 2011. The cost and management of different types of clinical mastitis in dairy cows estimated by dynamic programming.*Journal of dairy science*, vol.94, n. 9, p. 4476-4487.

<https://doi.org/10.3168/jds.2010-4123>

Chavas J.P. et Holt M.T. 1996. Economic behavior under uncertainty: a joint analysis of risk preferences and technology. *The review of economics and statistics*, vol.78, n. 2, p. 329-335.

<https://doi.org/10.2307/2109935>

Dahl M.O., De Vries A., Maunsell F.P., Galvao K.N., Risco C.A. etHernandez J.A. 2018. Epidemiologic and economic analyses of pregnancy loss attributable to mastitis in primiparous Holstein cows.*Journal of dairy science*, vol.101, n. 11, p. 10142-10150.

<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14619>

DAVID V., BEAUGRAND F., GAY E., BASTIEN J. et DUCROT C. (2018). Evolution de l'usage des antibiotiques en filières bovins lait et bovins viande : état d'avancement et perspective. *Renc. Rech. Ruminants*, n. 24, p. 286-296.

[http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/texte\\_1\\_reduction\\_intrants\\_c-ducrot-2.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/texte_1_reduction_intrants_c-ducrot-2.pdf)

Dolecheck K.A., García-Guerra A. et Moraes L.E. 2019.Quantifying the effects of mastitis on the reproductive performance of dairy cows: a meta-analysis. *Journal of dairy science*, vol.102, n. 9, p. 8454-8477.

<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15127>

Fourichon et al. 2001. Health-control costs in dairy farming systems in western France. *Livestockproduction science*, vol.68, n. 2-3, p. 141-56.

[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00248-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00248-7)

Gérard F., Piketty M.G. et Boussard J.M., 2008. L'instabilité des prix agricoles : réflexion sur les causes et les implications de la flambée des prix. *Oléagineux, corps gras, lipides*, vol.15, n. 6, p. 378-384.

<https://doi.org/10.1051/ocl.2008.0231>

Gussmann M., Denwood M., Kirkeby C., Farre M. etHalasa T.2019.Associations between udder health and culling in dairy cows.*Preventive veterinary medicine*, vol.171,104751 p.

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104751>

Gussmann M., Steeneveld W., Kirkeby C., Hogeveen H., Nielen M., Farre M. etHalasa T. 2019.Economic and epidemiological impact of different intervention strategies for clinical contagious mastitis.*Journal of dairy science*, vol.102, n. 2, p. 1483-1493.

<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14939>

Hagnestam N., et Østergaard S. 2009. Economic impact of clinical mastitis in a dairy herd assessed by stochastic simulation using different methods to model yield losses. *Animal*, vol.3, n. 2, p. 315-328.  
<https://doi.org/10.1017/S1751731108003352>

Halasa T., Huijps K., Osterds O. et Hogeveen H. 2007. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: veterinary quarterly, vol.29, n. 1, p.18-31.  
[10.1080/01652176.2007.9695224](https://doi.org/10.1080/01652176.2007.9695224)

Hardaker J., Huirne R. B. M., Anderson J., et Lien G. 2004. Coping with risk in agriculture.  
<https://doi.org/10.1079/9780851998312.0000>

Hazell P., Norton R. et Preckel P. 1987. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. *American journal of agricultural economics*, vol.69, n. 3, 715 p.  
<https://doi.org/10.2307/1241712>.

Hogeveen H., Huijps K. et Lam T.J.G.M. 2011. Economic aspects of mastitis: new developments. *New Zealand veterinary journal*, vol.59, n. 1, p. 16-23.  
<https://doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>

Hogeveen H, Østerås O. 2005. Mastitis management in an economic framework. In: Hogeveen H (ed). 4th IDF International Mastitis Conference. p. 41–52. Wageningen academic publishers, Wageningen, the Netherlands.

Jones P.J., Marier E.A., Tranter R.B., Watson G.Wu.E. et Teale C.J. 2015. Factors affecting dairy farmers' attitudes towards antimicrobial medicine usage in cattle in England and Wales. *Preventive veterinary medicine*, vol. 121, n. 1-2, p. 30-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.05.010>

Kristensen A.R. 2015. From biological models to economic optimization. *Preventive veterinary medicine*, vol.118, n. 2-3, p. 226-37.  
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.11.019>

Kristensen A.R., Jørgensen E. et Toft N. 2010. Herd management science. I. Basic concepts.  
[https://www.researchgate.net/publication/266938538\\_Herd\\_Management\\_Science\\_I\\_Basic\\_concepts](https://www.researchgate.net/publication/266938538_Herd_Management_Science_I_Basic_concepts)

OMS. 2018. WHO report on surveillance of antibiotic consumption 2016-2018. Early implementation, 127p.  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/277359/9789241514880-eng.pdf>

Poizat A., Bonnet-Beaugrand F., Rault A., Fourichon C., Bareille N. 2017. Antibiotic use by farmers to control mastitis as influenced by health advice and dairy farming systems. *Prev. Vet. Med.*, vol.146, p. 61-72.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587717300442>

Seegers J., Moreau J.C., Beguin E., Guillaumin A., et Frappat B. (2006). Attente des éleveurs laitiers vis-à-vis de leurs conditions de travail et évolution de leur système d'exploitation. *Fourrage* vol.185, p. 3-16.  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjKvIyKr8bkAhWPIRQKHTVbARQQFjABegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fafpf-asso.fr%2Findex.php%3Fsecured\\_download%3D1706%26token%3Dc16b0ba6e27c1efb0d74a94026afe433&usq=AOvVaw0YKnINbT8O7xqipgQZ2Jw0](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjKvIyKr8bkAhWPIRQKHTVbARQQFjABegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fafpf-asso.fr%2Findex.php%3Fsecured_download%3D1706%26token%3Dc16b0ba6e27c1efb0d74a94026afe433&usq=AOvVaw0YKnINbT8O7xqipgQZ2Jw0)

Valvekar M., Cabrera V. E. et Gould B.W. Identifying cost-minimizing strategies for guaranteeing target dairy income over feed cost via use of the livestock gross margin dairy insurance program. *Journal of dairy science*, vol.93, n. 7, p. 3350-3357.

<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2815>

Sanders P., Bousquet-Melou A., Chauvin C. et Toutain P.L. 2011. Utilisation des antibiotiques en élevage et enjeux de santé publique. 24 p.

[https://www.researchgate.net/publication/278619707\\_Utilisation\\_des\\_antibiotiques\\_en\\_elevage\\_et\\_en\\_jeux\\_de\\_sante\\_publicue](https://www.researchgate.net/publication/278619707_Utilisation_des_antibiotiques_en_elevage_et_en_jeux_de_sante_publicue)

Walliser B. 1977. Systèmes et modèles: introduction critique à l'analyse de systèmes. Paris: Editions du Seuil. 249 p.

## Webographie

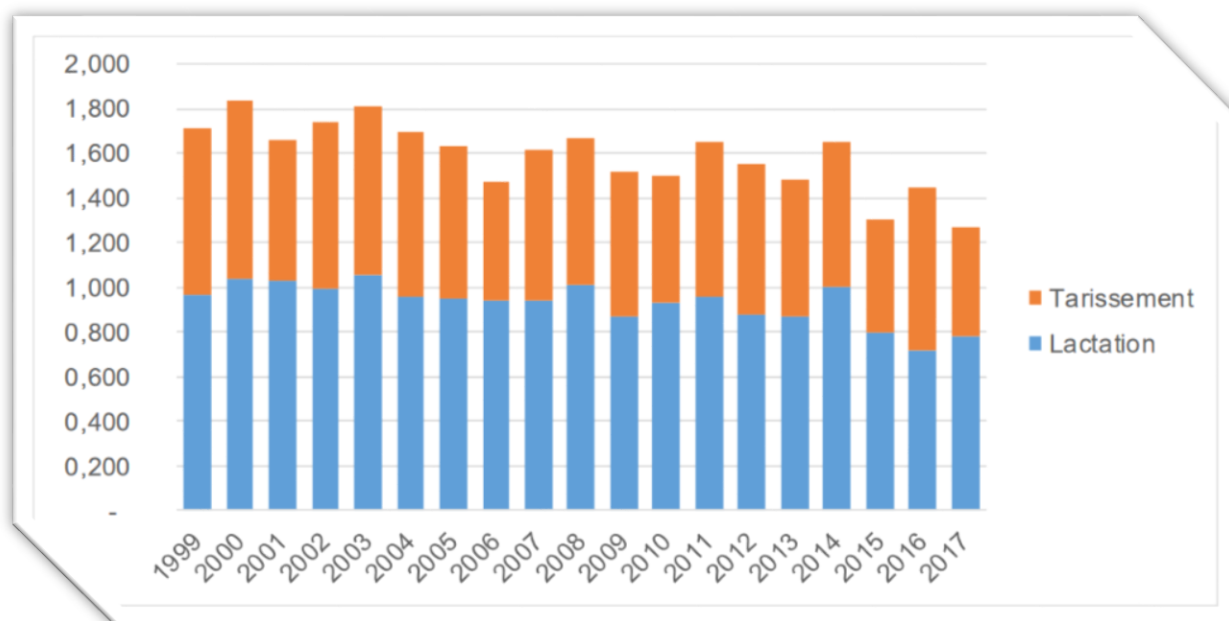
ANSES. 2018. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2017. Rapport annuel, 104p.

<https://www.anses.fr/fr/content/suivi-des-ventes-dantibiotiques-v%C3%A9t%C3%A9rinaires>



## Annexes

**Annexe 01 : évolution du nombre de traitements intra-mammaires par vache laitière en période de lactation et en période de tarissement depuis 1999.**



Sources : ANSES, 2018

**Annexe 02 : répartition des ventes en 2017 entre les différentes espèces, tonnage de poids vif traité et en indicateur d'exposition ALEA.**

	Bovins	Porcs	Volailles	Lapins	Chats & Chiens	Ovins & Caprins	Chevaux	Poissons	Autres	Total
<b>Poids vif traité (tonnes)</b>	2347798	1755851	1125599	157143	105024	186943	94947	8896	3610	5785811
<b>Pourcentage</b>	40,58%	30,35%	19,45%	2,72%	1,82%	3,23%	1,64%	0,15%	0,06%	100%
<b>ALEA</b>	0,252	0,623	0,516	1,768	0,641	0,344	0,345	0,194	0,103	0,374

Nb. Les pourcentages sont à mettre en relation avec la biomasse de chaque espèce animale en France.

Sources : ANSES, 2018

**Annexe 03 : prix moyens et variations des prix des principaux intrants et extrants de l'atelier.**

➤ Les animaux

	Veaux 1 mois	Génisses prêtes à vêler	Vaches de réforme
<b>Prix moyen</b>	80,21 €/tête	1300 €/tête	2,5 €/kg de carcasse
<b>Déviation</b>	20,59 €	15,38 €	-

➤ Les aliments achetés

	Poudre de lait	Concentré de veaux	Blé	Soja
<b>Prix moyen</b>	1,9	0,3793	0,1834	0,2541
<b>Déviation</b>	10,53	14	12,98	10,94

➤ Le lait

		<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Année 1</b>	<b>Prix moyen</b>	288,25	285,20	279,10	273,00
	<b>Déviatiion</b>	7,89	7,79	7,54	7,53
<b>Année 2</b>	<b>Prix moyen</b>	334,42	331,37	325,27	319,18
	<b>Déviatiion</b>	7,89	7,79	7,54	7,53
<b>Année 3</b>	<b>Prix moyen</b>	307,50	304,45	298,35	292,26
	<b>Déviatiion</b>	20,32	21,18	22,19	22,55
<b>Année 4</b>	<b>Prix moyen</b>	338,50	335,45	329,35	323,26
	<b>Déviatiion</b>	20,32	21,18	22,19	22,55
<b>Année 5</b>	<b>Prix moyen</b>	327,61	324,56	318,46	312,37
	<b>Déviatiion</b>	20,32	21,18	22,19	22,55
<b>Année 6</b>	<b>Prix moyen</b>	314,26	311,21	305,11	299,02
	<b>Déviatiion</b>	20,32	21,18	22,19	22,55
<b>Année 7</b>	<b>Prix moyen</b>	343,92	340,87	334,77	328,67
	<b>Déviatiion</b>	15,81	15,25	14,71	15,42
<b>Année 8</b>	<b>Prix moyen</b>	399,00	396,04	390,14	384,26
	<b>Déviatiion</b>	15,81	15,25	14,71	15,42
<b>Année 9</b>	<b>Prix moyen</b>	366,88	363,87	357,86	351,86
	<b>Déviatiion</b>	15,81	15,25	14,71	15,42
<b>Année 10</b>	<b>Prix moyen</b>	403,87	400,92	395,04	389,18
	<b>Déviatiion</b>	15,81	15,25	14,72	15,42

**Annexe 04 : valeurs alimentaires des aliments utilisés pour le rationnement.**

<b>Aliments</b>	<b>Matière sèche</b>	<b>Matière azotée</b>	<b>Unité fourragère lait</b>
	<b>Kg Ms / kg brute</b>	<b>Kg MAT / kg brute</b>	<b>UFL / kg brute</b>
<b>Ensilage de maïs</b>	0,35	0,0287	0,32
<b>Blé</b>	0,862	0,108	1,03
<b>Soja</b>	0,881	0,354	1,03

(Source : tables de calcul des rations INRA, 1988)

**Annexe 05 : les besoins alimentaires des vaches dans l'atelier décidés par le simulateur biologique.**

<b>Années</b>	<b>besoins</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>
<b>01</b>	<b>MS</b>	10894,18	10836,48	10825,88	10855,98	10769,31	10795,08	10857,07	10889,75	10797,31
	<b>UFL</b>	10203,89	10147,71	10138,09	10164,30	10078,97	10100,19	10166,69	10197,99	10108,26
	<b>MAT</b>	1470,71	1462,92	1461,49	1465,56	1453,86	1457,34	1465,70	1470,12	1457,64
<b>02</b>	<b>MS</b>	10932,67	10840,74	10687,03	10913,03	10783,94	10930,68	11008,02	11005,23	10828,34
	<b>UFL</b>	10246,84	10162,78	10024,29	10227,27	10114,57	10234,14	10316,89	10311,37	10154,48
	<b>MAT</b>	1475,91	1463,50	1442,75	1473,26	1455,83	1475,64	1486,08	1485,71	1461,83
<b>03</b>	<b>MS</b>	10865,52	10853,51	10807,89	10914,76	10747,18	10804,10	10903,19	10860,04	10833,50
	<b>UFL</b>	10193,61	10172,41	10134,59	10231,15	10067,56	10114,27	10223,43	10180,05	10150,03
	<b>MAT</b>	1466,84	1465,22	1459,06	1473,49	1450,87	1458,55	1471,93	1466,11	1462,52
<b>04</b>	<b>MS</b>	10850,71	10897,32	10784,87	10949,65	10777,31	10786,19	10850,45	10851,94	10894,79
	<b>UFL</b>	10176,23	10210,73	10105,98	10260,05	10110,52	10102,03	10175,60	10177,68	10202,05
	<b>MAT</b>	1464,85	1471,14	1455,96	1478,20	1454,94	1456,14	1464,81	1465,01	1470,80
<b>05</b>	<b>MS</b>	10922,87	10765,87	10729,61	10829,56	10751,06	10749,53	10751,20	10884,87	10861,05
	<b>UFL</b>	10236,96	10092,66	10054,91	10151,11	10080,96	10070,28	10079,26	10200,35	10167,60
	<b>MAT</b>	1474,59	1453,39	1448,50	1461,99	1451,39	1451,19	1451,41	1469,46	1466,24
<b>06</b>	<b>MS</b>	10894,21	10727,00	10721,55	10841,08	10826,18	10829,04	10866,79	10838,90	10881,18
	<b>UFL</b>	10211,55	10065,03	10047,75	10164,50	10143,80	10144,88	10187,70	10159,66	10185,47
	<b>MAT</b>	1470,72	1448,14	1447,41	1463,55	1461,53	1461,92	1467,02	1463,25	1468,96
<b>07</b>	<b>MS</b>	10950,41	10892,75	10677,55	10828,94	10814,70	10834,13	10843,69	10764,75	10759,59
	<b>UFL</b>	10266,02	10209,05	10012,90	10143,40	10131,51	10144,17	10171,27	10097,92	10083,01
	<b>MAT</b>	1478,30	1470,52	1441,47	1461,91	1459,98	1462,61	1463,90	1453,24	1452,54
<b>08</b>	<b>MS</b>	11031,14	10908,83	10693,18	10866,60	10853,81	10748,79	10830,40	10750,96	10737,50
	<b>UFL</b>	10334,08	10219,37	10028,92	10185,05	10169,95	10067,09	10156,46	10086,20	10062,13
	<b>MAT</b>	1489,20	1472,69	1443,58	1466,99	1465,26	1451,09	1462,10	1451,38	1449,56
<b>09</b>	<b>MS</b>	10996,87	10840,70	10667,82	10759,66	10842,47	10836,44	10946,23	10849,38	10794,66
	<b>UFL</b>	10301,56	10157,95	10004,43	10092,89	10163,73	10160,81	10265,46	10172,86	10109,00
	<b>MAT</b>	1484,58	1463,49	1440,16	1452,55	1463,73	1462,92	1477,74	1464,67	1457,28
<b>10</b>	<b>MS</b>	10912,13	10818,17	10744,04	10786,31	10858,59	10802,17	11010,35	10807,02	10790,96
	<b>UFL</b>	10216,61	10134,97	10079,16	10112,70	10179,28	10121,73	10320,08	10133,46	10114,81
	<b>MAT</b>	1473,14	1460,45	1450,45	1456,15	1465,91	1458,29	1486,40	1458,95	1456,78

**Annexe 06 : les besoins alimentaires des veaux dans l'atelier décidés par le simulateur biologique.**

Années	besoins	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	P. de lait	212,01	207,12	205,74	209,80	207,77	224,62	210,18	223,01	213,76
	C. de veaux	29,85	29,18	28,75	29,66	28,99	31,76	29,75	31,54	29,67
02	P. de lait	213,06	222,22	226,86	221,52	237,12	231,90	223,68	222,18	227,65
	C. de veaux	29,70	31,09	31,41	30,86	32,97	32,50	30,75	30,63	31,72
03	P. de lait	220,29	220,63	222,91	230,10	209,71	216,86	213,66	223,47	228,80
	C. de veaux	29,99	30,11	30,99	31,53	29,04	29,92	29,69	30,85	32,27
04	P. de lait	218,70	215,40	229,37	221,89	222,98	230,02	215,72	224,98	234,83
	C. de veaux	30,82	29,54	31,81	30,85	30,73	32,46	29,92	31,86	32,78
05	P. de lait	221,01	217,39	212,42	226,61	234,49	230,76	218,23	222,50	243,79
	C. de veaux	30,88	30,32	29,42	31,48	32,82	32,03	30,19	30,92	34,55
06	P. de lait	223,85	226,68	224,91	227,10	229,87	236,92	213,52	214,28	219,55
	C. de veaux	31,16	32,26	31,32	31,91	32,00	33,12	30,06	29,38	30,36
07	P. de lait	223,42	223,45	211,73	220,19	235,34	229,39	217,28	220,04	232,60
	C. de veaux	31,15	30,86	29,08	30,68	33,11	32,59	30,03	30,28	32,76
08	P. de lait	223,96	226,09	220,60	219,74	228,95	218,54	221,84	218,39	227,21
	C. de veaux	31,66	31,38	30,51	30,56	31,96	30,08	30,78	30,35	31,36
09	P. de lait	225,25	223,06	222,69	218,74	229,35	235,15	220,66	227,65	227,56
	C. de veaux	31,18	31,35	31,23	30,59	32,48	33,01	31,10	32,05	32,22
10	P. de lait	217,93	215,05	222,91	213,77	220,93	228,32	221,35	216,66	224,44
	C. de veaux	30,74	29,30	30,86	29,74	30,42	31,79	31,02	30,19	31,02

**Annexe 07 : nombre d'interventions vétérinaires par catégorie (classée par temps d'intervention sur l'atelier laitier).**

Années	Catégorie	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	Vet.1	0,049	0,041	0,045	0,058	0,051	0,052	0,049	0,037	0,048
	Vet.2	0,147	0,172	0,152	0,152	0,153	0,178	0,168	0,17	0,196
	Vet.3	0,03	0,03	0,035	0,031	0,028	0,03	0,023	0,04	0,031
02	Vet.1	0,059	0,051	0,043	0,067	0,046	0,042	0,036	0,049	0,05
	Vet.2	0,166	0,182	0,184	0,167	0,155	0,186	0,152	0,156	0,173
	Vet.3	0,025	0,03	0,027	0,028	0,032	0,025	0,029	0,027	0,035
03	Vet.1	0,049	0,057	0,048	0,052	0,053	0,062	0,047	0,053	0,041
	Vet.2	0,161	0,182	0,154	0,144	0,162	0,163	0,18	0,167	0,179
	Vet.3	0,028	0,027	0,036	0,034	0,033	0,03	0,031	0,021	0,021
04	Vet.1	0,048	0,053	0,055	0,053	0,046	0,065	0,047	0,044	0,072
	Vet.2	0,159	0,15	0,177	0,187	0,175	0,175	0,173	0,166	0,185
	Vet.3	0,032	0,025	0,024	0,035	0,023	0,037	0,028	0,027	0,027
05	Vet.1	0,056	0,046	0,039	0,047	0,063	0,049	0,051	0,053	0,044
	Vet.2	0,171	0,176	0,175	0,163	0,21	0,168	0,185	0,178	0,167
	Vet.3	0,031	0,024	0,024	0,031	0,023	0,022	0,029	0,032	0,042
06	Vet.1	0,052	0,053	0,063	0,051	0,06	0,038	0,056	0,063	0,056
	Vet.2	0,201	0,167	0,171	0,162	0,157	0,184	0,18	0,175	0,182
	Vet.3	0,027	0,028	0,034	0,044	0,026	0,038	0,031	0,037	0,029
07	Vet.1	0,052	0,058	0,056	0,049	0,05	0,048	0,047	0,055	0,039
	Vet.2	0,165	0,173	0,158	0,174	0,178	0,163	0,172	0,184	0,163
	Vet.3	0,021	0,029	0,04	0,03	0,039	0,033	0,028	0,029	0,027
08	Vet.1	0,041	0,044	0,063	0,053	0,046	0,058	0,045	0,05	0,047
	Vet.2	0,156	0,201	0,178	0,177	0,165	0,156	0,168	0,197	0,197
	Vet.3	0,03	0,038	0,027	0,025	0,027	0,028	0,029	0,021	0,033
09	Vet.1	0,051	0,036	0,046	0,044	0,046	0,057	0,04	0,046	0,058
	Vet.2	0,172	0,159	0,159	0,162	0,173	0,165	0,155	0,161	0,178
	Vet.3	0,034	0,027	0,025	0,032	0,031	0,028	0,03	0,028	0,04
10	Vet.1	0,068	0,041	0,058	0,051	0,053	0,047	0,04	0,055	0,047
	Vet.2	0,197	0,181	0,155	0,175	0,167	0,194	0,147	0,193	0,167
	Vet.3	0,03	0,028	0,031	0,027	0,026	0,024	0,031	0,03	0,023

**Annexe 08 : coût des médicaments estimé suivant les quantités et les catégories utilisées décidés par le simulateur biologique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	71,63	77,10	80,15	59,02	64,30	74,42	70,84	72,86	73,48
02	71,39	77,44	88,18	59,98	74,63	97,07	68,63	76,97	74,95
03	68,58	73,80	90,45	60,40	71,84	91,82	70,50	74,86	81,13
04	69,40	76,60	90,58	62,67	71,50	92,99	66,99	76,54	80,95
05	69,46	75,52	88,85	59,91	75,45	92,52	63,98	75,14	79,36
06	71,12	76,41	89,11	59,28	73,59	93,46	69,91	75,24	81,17
07	68,03	76,06	87,26	59,42	73,11	93,14	66,78	74,18	79,89
08	67,22	77,42	92,08	58,53	68,79	87,08	68,68	73,32	82,43
09	71,07	74,38	90,34	58,11	68,35	91,27	64,59	70,93	77,75
10	72,40	75,22	88,33	57,94	69,99	93,94	65,617	77,46	81,99

**Annexe 09 : coût des chirurgies estimé suivant le nombre et les catégories de chirurgie décidés par le simulateur biologique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	5	6,65	6,25	7,45	7,65	8,3	6	5,55	6,3
02	8,55	5,6	7,05	8,35	8,85	6,55	4,6	6,4	6,45
03	6,65	6,95	6,95	6,45	6,6	7,8	7,7	7,55	5,65
04	7,2	8,9	9,85	8,5	7,7	8,2	8,7	6,75	10,8
05	8,6	7,1	4,75	7,85	10,4	7,9	7,7	6,7	5,75
06	6,95	4,95	8,3	6,9	7,35	6,2	8	9,4	8
07	8,25	9,3	6,8	6,35	6,65	7,55	8,1	7,2	5,45
08	7,65	6,35	9,75	7,85	5,95	7,5	7,25	7,7	7,75
09	7,3	5,7	7,25	6,3	6,05	9,4	5,75	5,75	9,1
10	10,15	5,65	8,9	8,55	8,3	7,6	5,35	8,9	5,9

**Annexe 10 : temps de travail supplémentaire décidé par le simulateur biologique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	2,29	0	-1,47	2,24	0	-1,44	2,28	0	-1,46
02	4,59	0	-2,71	4,46	0	-2,72	4,68	0	-2,69
03	4,64	0	-2,76	4,62	0	-2,66	4,66	0	-2,67
04	4,73	0	-2,66	4,52	0	-2,63	4,59	0	-2,59
05	4,74	0	-2,64	4,38	0	-2,61	4,56	0	-2,62
06	4,67	0	-2,63	4,45	0	-2,61	4,66	0	-2,59
07	4,66	0	-2,72	4,48	0	-2,66	4,67	0	-2,63
08	4,75	0	-2,73	4,38	0	-2,56	4,70	0	-2,61
09	4,65	0	-2,73	4,45	0	-2,63	4,74	0	-2,65
10	4,51	0	-2,72	4,64	0	-2,68	4,67	0	-2,58

**Annexe 11 : coût supplémentaire lié au changement de stratégie de conduite dans l'atelier.**

<b>Années</b>	<b>Charges</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>
<b>01</b>	<b>Paille</b>	122,01	103,60	68,36	119,27	100,52	66,89	119,39	105,50	68,44
	<b>Pratiques</b>	5,18	00	00	5,06	00	00	5,15	00	00
<b>02</b>	<b>Paille</b>	134,77	105,03	41,06	130,61	100,95	42,22	138,11	108,58	41,65
	<b>Pratiques</b>	10,37	00	00	10,07	00	00	10,59	00	00
<b>03</b>	<b>Paille</b>	135,40	107,09	41,86	132,80	97,04	39,93	134,72	103,95	40,77
	<b>Pratiques</b>	10,49	00	00	10,44	00	00	10,54	00	00
<b>04</b>	<b>Paille</b>	135,90	107,86	40,44	131,50	98,92	39,75	133,18	104,35	39,89
	<b>Pratiques</b>	10,68	00	00	10,22	00	00	10,38	00	00
<b>05</b>	<b>Paille</b>	137,61	103,25	39,96	126,63	101,24	39,17	130,43	104,95	39,19
	<b>Pratiques</b>	10,73	00	00	9,90	00	00	10,31	00	00
<b>06</b>	<b>Paille</b>	134,74	105,50	39,83	128,57	100,03	40,13	134,75	103,98	39,52
	<b>Pratiques</b>	10,56	00	00	10,05	00	00	10,53	00	00
<b>07</b>	<b>Paille</b>	135,63	106,84	40,93	127,51	96,40	39,72	135,59	105,31	39,55
	<b>Pratiques</b>	10,54	00	00	10,14	00	00	10,56	00	00
<b>08</b>	<b>Paille</b>	138,38	105,14	41,30	126,51	98,04	38,54	135,14	107,12	39,28
	<b>Pratiques</b>	10,74	00	00	9,92	00	00	10,63	00	00
<b>09</b>	<b>Paille</b>	135,99	103,83	40,78	128,73	97,12	40,60	137,49	108,20	39,71
	<b>Pratiques</b>	10,50	00	00	10,05	00	00	10,71	00	00
<b>10</b>	<b>Paille</b>	131,11	104,90	41,24	132,57	99,19	40,79	136,38	106,76	39,75
	<b>Pratiques</b>	10,20	00	00	10,48	00	00	10,55	00	00



**Annexe 13 : nombre d'animaux vendu en sortie du cheptel décidé par le simulateur biologique.**

Années	Animaux	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	Génisse P.V.	0,103	0,091	0,092	0,091	0,093	0,089	0,092	0,104	0,082
	Veaux Imois	0,506	0,527	0,541	0,516	0,527	0,499	0,493	0,488	0,504
02	Génisse P.V.	0,114	0,101	0,086	0,107	0,073	0,109	0,134	0,094	0,076
	Veaux Imois	0,533	0,523	0,526	0,513	0,535	0,524	0,556	0,558	0,536
03	Génisse P.V.	0,1	0,085	0,064	0,086	0,055	0,089	0,084	0,092	0,052
	Veaux Imois	0,543	0,547	0,555	0,555	0,543	0,544	0,558	0,549	0,509
04	Génisse P.V.	0,1	0,086	0,06	0,094	0,075	0,076	0,087	0,074	0,076
	Veaux Imois	0,545	0,565	0,54	0,548	0,579	0,504	0,522	0,508	0,549
05	Génisse P.V.	0,094	0,08	0,053	0,07	0,047	0,063	0,069	0,07	0,071
	Veaux Imois	0,522	0,526	0,557	0,523	0,529	0,536	0,52	0,555	0,515
06	Génisse P.V.	0,1	0,081	0,065	0,092	0,06	0,078	0,109	0,091	0,093
	Veaux Imois	0,514	0,498	0,554	0,537	0,533	0,522	0,526	0,567	0,551
07	Génisse P.V.	0,1	0,07	0,074	0,081	0,068	0,067	0,088	0,078	0,086
	Veaux Imois	0,54	0,555	0,551	0,519	0,532	0,514	0,562	0,553	0,537
08	Génisse P.V.	0,121	0,104	0,074	0,099	0,073	0,062	0,092	0,075	0,055
	Veaux Imois	0,504	0,525	0,549	0,548	0,545	0,571	0,524	0,565	0,529
09	Génisse P.V.	0,081	0,092	0,059	0,091	0,065	0,072	0,079	0,102	0,072
	Veaux Imois	0,531	0,545	0,558	0,523	0,542	0,541	0,528	0,507	0,546
10	Génisse P.V.	0,099	0,082	0,062	0,092	0,061	0,066	0,097	0,057	0,067
	Veaux Imois	0,508	0,556	0,581	0,541	0,582	0,564	0,522	0,555	0,559

**Annexe 14 : quantité de la viande des carcasses des vaches réformées décidée par le simulateur biologique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
t1	113,81	112,32	124,05	110,16	123,67	125,33	105,33	111,13	118,86
t2	84,39	105,09	125,04	101,72	141,78	117,37	97,91	110,40	132,71
t3	89,24	94,63	126,10	105,74	120,77	129,57	93,63	117,65	138,92
t4	85,14	115,33	127,17	106,98	140,28	121,13	95,08	115,28	131,12
t5	96,05	113,49	128,53	114,89	126,78	128,36	103,58	103,60	132,33
t6	98,07	107,63	120,08	101,79	132,01	137,15	90,16	105,76	127,50
t7	93,44	99,38	125,36	108,67	133,61	120,71	91,93	113,70	138,77
t8	81,07	95,54	109,08	100,26	135,94	136,59	91,57	110,36	128,41
t9	100,08	103,93	126,19	104,54	122,56	132,93	95,00	92,76	120,68
t10	100,42	111,83	129,51	92,99	135,36	135,42	100,11	109,91	132,29

**Annexe 15 : indicateur d'exposition des vaches en lactation aux antibiotiques décidé par le simulateur biologique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
t1	3,26	4,00	5,27	3,76	4,93	7,65	3,25	4,06	5,48
t2	2,59	4,06	7,05	3,84	6,28	11,07	2,55	4,25	6,93
t3	2,48	4,08	7,05	3,75	6,01	10,41	2,57	4,08	6,69
t4	2,64	4,01	6,56	3,80	5,63	10,32	2,59	4,18	6,88
t5	2,59	4,02	6,96	3,73	6,16	10,12	2,57	4,15	6,48
t6	2,53	4,17	7,10	3,77	5,94	10,10	2,56	4,00	6,92
t7	2,53	4,17	6,83	3,87	5,82	10,52	2,51	4,02	6,70
t8	2,42	3,93	7,35	3,56	5,77	9,88	2,44	4,10	6,83
t9	2,56	3,94	6,98	3,76	6,18	10,33	2,46	3,87	6,87
t10	2,51	3,82	6,95	3,74	6,045	10,10	2,52	4,23	6,81



Annexe 16 : flux des stratégies de conduite optimales décidées par la version « Par année » du modèle bioéconomique.

Année		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	Ch. Alim.	91448,48	90729,86	90558,87	91041,54	90277,40	91528,27	91073,85	92107,56	90846,11
	Ch. Vét.	8410,34	9194,25	9420,15	7434,19	7958,98	9134,18	8473,50	8689,98	8900,14
	T. Supp	229,00	-	-147,40	223,90	-	-144,25	227,95	-	-145,99
	C. Supp	529,74	10,36	6,84	517,95	10,05	6,69	527,10	10,55	6,84
	ALEA	3,26	4,00	5,27	3,76	4,93	7,66	3,25	4,06	5,49
	R. Lait	289338,35	285471,70	281849,68	286093,56	280015,97	269397,36	287550,83	286462,17	279724,56
	R. Viande	28454,02	28081,67	31013,00	27540,80	30917,84	31333,85	26333,11	27782,31	29716,03
	R. Animx	17448,63	16057,07	16299,36	15968,84	16317,07	15572,48	15914,35	17434,25	14702,58
02	Ch. Alim.	91779,24	91694,35	90866,97	92164,53	92206,67	92945,01	92965,40	92855,27	91938,19
	Ch. Vét.	8805,53	9178,01	10374,31	7677,73	9126,47	11209,84	8057,22	9102,33	9003,41
	T. Supp	458,91	-	-271,44	445,76	-	-271,94	468,78	-	-269,45
	C. Supp	1050,60	10,50	4,11	1020,48	10,10	4,22	1073,24	10,86	4,17
	ALEA	2,59	4,06	7,05	3,84	6,28	11,07	2,55	4,25	6,94
	R. Lait	339434,83	333646,92	320888,03	336170,70	326629,00	299034,00	341864,37	335866,04	324695,15
	R. Viande	21097,55	26273,63	31261,15	25430,74	35444,62	29342,39	24478,13	27599,98	33177,29
	R. Animx	19095,19	17324,98	15399,05	18024,77	13781,24	18373,00	21879,68	16695,72	14179,26
03	Ch. Alim.	91720,37	91658,13	91494,05	92691,40	90231,28	91080,76	91601,39	91894,36	92061,76
	Ch. Vét.	8311,15	8947,99	10536,94	7446,48	8665,58	10792,00	8684,04	9026,10	9481,23
	T. Supp	464,00	-	-276,49	461,93	-	-266,58	466,37	-	-267,04
	C. Supp	1062,18	10,71	4,19	1057,24	9,70	3,99	1067,46	10,40	4,08
	ALEA	2,49	4,08	7,05	3,75	6,02	10,41	2,58	4,08	6,69
	R. Lait	313825,75	306580,84	297516,03	309204,21	296368,69	276118,64	312603,08	307482,41	297137,24
	R. Viande	22310,66	23656,73	31525,27	26434,35	30192,37	32392,37	23408,76	29414,03	34730,06
	R. Animx	17355,40	15437,49	12771,66	15631,66	11505,40	15933,42	15395,72	16363,53	10842,69
04	Ch. Alim.	91554,69	91653,09	91727,96	92448,33	91267,94	91798,81	91348,82	91960,85	92864,99
	Ch. Vét.	8456,78	9293,42	10880,23	8035,69	8728,22	11028,21	8394,95	9119,18	10087,76
	T. Supp	472,74	-	-266,34	452,23	-	-263,17	459,23	-	-259,04
	C. Supp	1081,98	10,79	4,04	1035,19	9,89	3,97	1051,17	10,44	3,99
	ALEA	2,65	4,02	6,56	3,80	5,63	10,33	2,59	4,18	6,89
	R. Lait	343498,22	339835,97	327495,76	341314,36	333613,23	304434,53	343500,68	339126,50	327608,13
	R. Viande	21286,63	28831,87	31793,24	26744,59	35070,94	30283,35	23770,92	28820,03	32780,34
	R. Animx	17371,45	15711,87	12131,34	16615,51	14394,16	13922,58	15496,96	13694,67	14283,53
05	Ch. Alim.	92206,69	90852,16	90273,96	91878,58	91814,56	91560,97	90789,37	92020,34	93200,21
	Ch. Vét.	8656,60	9078,01	10158,54	7580,20	9549,49	10827,57	8048,48	9056,89	9372,70
	T. Supp	474,74	-	-263,89	437,91	-	-260,80	456,39	-	-262,26
	C. Supp	1086,67	10,32	4,00	1002,33	10,12	3,92	1044,48	10,50	3,92
	ALEA	2,60	4,03	6,96	3,73	6,17	10,12	2,57	4,15	6,49
	R. Lait	332884,59	326116,56	314086,38	328215,55	319284,80	295928,39	329216,15	327265,99	316438,36
	R. Viande	24013,81	28372,60	32133,12	28722,08	31695,08	32091,57	25894,71	25900,71	33083,68
	R. Animx	16406,96	14619,05	11357,70	13294,98	10353,11	12489,26	13140,92	13551,66	13360,82
06	Ch. Alim.	92173,69	91175,76	91000,23	92005,60	92060,28	92524,95	91345,96	91163,01	91804,51
	Ch. Vét.	8735,73	8952,86	10619,02	7485,50	8880,76	10856,72	8673,01	9369,30	9797,04
	T. Supp	467,40	-	-263,23	444,88	-	-261,38	466,05	-	-259,75
	C. Supp	1069,81	10,55	3,98	1018,28	10,00	4,01	1066,74	10,40	3,95
	ALEA	2,53	4,17	7,10	3,77	5,94	10,10	2,56	4,00	6,92
	R. Lait	318634,74	313280,98	301381,20	315495,97	307193,46	286789,79	318599,12	315249,25	302610,99
	R. Viande	24519,03	26906,92	30019,40	25448,42	33001,65	34287,75	22540,48	26440,90	31874,60
	R. Animx	17122,79	14524,46	12893,63	16267,28	12075,19	14326,96	18389,05	16377,91	16509,57

07	<b>Ch. Alim.</b>	92551,98	92129,09	89847,82	91477,64	92331,52	92111,93	91393,37	90993,22	91766,36
	<b>Ch. Vét.</b>	8404,45	9388,20	10251,12	7418,88	8874,89	10883,95	8309,91	9022,40	9304,34
	<b>T. Supp</b>	466,23	-	-272,45	448,66	-	-266,47	467,31	-	-263,04
	<b>C. Supp</b>	1067,24	10,68	4,09	1026,72	9,64	3,97	1069,67	10,53	3,96
	<b>ALEA</b>	2,53	4,18	6,83	3,87	5,82	10,52	2,51	4,03	6,71
	<b>R. Lait</b>	351338,28	343849,79	330891,37	341232,83	335683,11	308746,34	349787,60	344243,08	331652,53
	<b>R. Viande</b>	23360,87	24846,64	31341,00	27168,09	33402,25	30177,87	22982,76	28424,68	34693,78
	<b>R. Animx</b>	17331,34	13551,66	14039,57	14692,90	13107,17	12832,79	15947,80	14575,61	15487,28
08	<b>Ch. Alim.</b>	93182,11	92414,76	90519,95	91718,37	92204,17	90785,49	91586,18	90802,96	91246,94
	<b>Ch. Vét.</b>	8250,06	9339,60	11053,25	7476,50	8265,60	10246,18	8402,12	8986,31	9949,74
	<b>T. Supp</b>	475,15	-	-273,44	438,77	-	-256,02	470,40	-	-261,58
	<b>C. Supp</b>	1087,67	10,51	4,13	1004,28	9,80	3,85	1076,62	10,71	3,93
	<b>ALEA</b>	2,42	3,93	7,35	3,57	5,77	9,88	2,44	4,10	6,83
	<b>R. Lait</b>	407683,58	399238,39	382778,81	400366,10	390808,62	362211,79	404496,71	398872,06	384178,16
	<b>R. Viande</b>	20267,60	23886,62	27271,46	25064,81	33986,16	34146,87	22893,56	27590,67	32103,61
	<b>R. Animx</b>	19772,58	17731,03	14023,53	17265,51	13861,45	12639,99	16163,00	14281,87	11393,11
09	<b>Ch. Alim.</b>	92989,63	91751,55	90484,51	90894,43	92165,45	92472,94	92363,05	92101,84	91709,94
	<b>Ch. Vét.</b>	8694,53	8757,95	10520,06	7240,03	8276,94	10884,70	7791,87	8449,93	9604,55
	<b>T. Supp</b>	464,81	-	-273,61	444,84	-	-262,92	473,75	-	-265,07
	<b>C. Supp</b>	1064,08	10,38	4,08	1018,20	9,71	4,06	1084,41	10,82	3,97
	<b>ALEA</b>	2,57	3,95	6,94	3,76	6,19	10,34	2,46	3,87	6,88
	<b>R. Lait</b>	373304,10	365004,06	352506,32	367394,40	359297,22	336353,14	375139,91	367784,26	352644,02
	<b>R. Viande</b>	25020,85	25983,12	31546,81	26134,57	30639,41	33233,62	23750,64	23189,65	30170,07
	<b>R. Animx</b>	14789,15	16331,45	12145,72	16024,98	12797,38	13699,36	14505,09	17326,65	13739,47
10	<b>Ch. Alim.</b>	91948,80	91055,30	91030,61	90770,08	91723,21	91791,24	92859,74	91100,94	91460,54
	<b>Ch. Vét.</b>	9215,97	8929,13	10520,93	7485,49	8637,41	11035,37	7830,72	9557,13	9571,43
	<b>T. Supp</b>	451,53	-	-272,28	463,61	-	-268,22	466,94	-	-258,00
	<b>C. Supp</b>	1033,56	10,49	4,12	1061,02	9,92	4,08	1068,93	10,68	3,98
	<b>ALEA</b>	2,51	3,82	6,96	3,74	6,05	10,10	2,52	4,23	6,81
	<b>R. Lait</b>	407625,98	401517,22	390885,45	403460,62	396331,03	367610,10	413143,57	403660,85	391061,29
	<b>R. Viande</b>	25105,64	27958,56	32376,79	23248,57	33839,54	33855,52	25028,36	27478,76	33073,96
	<b>R. Animx</b>	16944,67	15119,68	12720,20	16299,36	12598,22	13103,84	16796,96	11861,66	13193,74

**Annexe 17 : rationnement alimentaire des stratégies de conduite optimales décidées par la version « Par année » du modèle bioéconomique.**

Années	Aliments	S1	S4	S7
01	E. Maïs	2259764,42	-	-
	T. Soja	140892,45	-	-
	Blé	231358,38	-	-
	P. lait	6360,27	-	-
	C. Veaux	2984,63	-	-
02	E. Maïs	-	-	2283377,52
	T. Soja	-	-	142364,69
	Blé	-	-	233775,93
	P. lait	-	-	6710,34
	C. Veaux	-	-	3075,10
03	E. Maïs	2253818,63	-	-
	T. Soja	140521,74	-	-
	Blé	230749,65	-	-
	P. lait	6608,70	-	-
	C. Veaux	2999,68	-	-
04	E. Maïs	-	2271269,31	-
	T. Soja	-	141609,76	-
	Blé	-	232536,27	-
	P. lait	-	6656,79	-
	C. Veaux	-	3085,25	-
05	E. Maïs	2265714,86	-	-
	T. Soja	141263,45	-	-
	Blé	231967,60	-	-
	P. lait	6630,33	-	-
	C. Veaux	3087,70	-	-
06	E. Maïs	-	-	2254083,50
	T. Soja	-	-	140538,26
	Blé	-	-	230776,76
	P. lait	-	-	6405,63
	C. Veaux	-	-	3005,63
07	E. Maïs	2271426,87	-	-
	T. Soja	141619,59	-	-
	Blé	232552,41	-	-
	P. lait	6702,57	-	-
	C. Veaux	3114,83	-	-
08	E. Maïs	2288173,41	-	-
	T. Soja	142663,70	-	-
	Blé	234266,94	-	-
	P. lait	6718,95	-	-
	C. Veaux	3165,58	-	-
09	E. Maïs	-	-	2270560,28
	T. Soja	-	-	141565,56
	Blé	-	-	232463,68
	P. lait	-	-	6619,83
	C. Veaux	-	-	3110,275
10	E. Maïs	-	-	2283860,41
	T. Soja	-	-	142394,80
	Blé	-	-	233825,37
	P. lait	-	-	6640,62
	C. Veaux	-	-	3101,7

**Annexe 18 : rationnement alimentaire du cheptel (vache et veaux) décidé par la version « Ad hoc » du modèle bioéconomique.**

Année	Aliments	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S1
01	E. Maïs	2259764,42	2247795,21	2245596,58	2251839,75	2233862,98	2239208,73	2252066,17	2258845,70	2239671,17	2259764,42
	T. Soja	140892,45	140146,19	140009,11	140398,36	139277,54	139610,84	140412,48	140835,17	139639,67	140892,45
	Blé	231358,38	230132,96	229907,86	230547,04	228706,55	229253,86	230570,23	231264,33	229301,20	231358,38
	P. lait	6360,27	6213,48	6172,11	6294,12	6233,01	6738,69	6305,25	6690,18	6412,77	6360,27
	C. Veaux	2984,63	2917,78	2874,90	2966,43	2898,70	3175,55	2975,18	3153,50	2967,48	2984,63
02	E. Maïs	2267749,02	2248680,05	2216794,43	2263674,72	2236897,62	2267334,67	2283377,52	2282798,73	2246107,07	2267749,02
	T. Soja	141390,28	140201,36	138213,35	141136,25	139466,75	141364,44	142364,69	142328,60	140040,94	141390,28
	Blé	232175,86	230223,55	226959,05	231758,73	229017,25	232133,44	233775,93	233716,68	229960,12	232175,86
	P. lait	6391,77	6666,66	6805,89	6645,66	7113,54	6957,09	6710,34	6665,40	6829,41	6391,77
	C. Veaux	2970,10	3109,75	3141,25	3085,95	3297,35	3249,58	3075,10	3062,68	3172,23	2970,10
03	E. Maïs	2253818,63	2251327,73	2241864,55	2264033,29	2229272,92	2241079,02	2261633,71	2252682,17	2247176,58	2253818,63
	T. Soja	140521,74	140366,44	139776,43	141158,61	138991,36	139727,45	141009,00	140450,89	140107,62	140521,74
	Blé	230749,65	230494,62	229525,77	231795,44	228236,62	229445,34	231549,77	230633,29	230069,62	230749,65
	P. lait	6608,70	6618,99	6687,45	6903,12	6291,39	6505,80	6409,83	6704,04	6864,06	6608,70
	C. Veaux	2999,68	3011,40	3099,60	3152,63	2903,60	2991,63	2968,88	3084,55	3226,83	2999,68
04	E. Maïs	2250748,02	2260414,71	2237089,95	2271269,31	2235522,79	2237364,67	2250693,01	2251003,07	2259891,22	2250748,02
	T. Soja	140330,30	140933,00	139478,74	141609,76	139381,03	139495,87	140326,87	140346,20	140900,36	140330,30
	Blé	230435,27	231424,96	229036,94	232536,27	228876,49	229065,06	230429,64	230461,38	231371,37	230435,27
	P. lait	6561,03	6462,12	6881,28	6656,79	6689,34	6900,60	6471,57	6749,40	7044,87	6561,03
	C. Veaux	3081,93	2954,53	3181,15	3085,25	3072,83	3246,08	2992,33	3185,88	3278,28	3081,93
05	E. Maïs	2265714,86	2233149,17	2225627,73	2246359,39	2230077,22	2229759,83	2230105,85	2257833,11	2252891,08	2265714,86
	T. Soja	141263,45	139233,04	138764,09	140056,67	139041,51	139021,72	139043,29	140772,04	140463,91	141263,45
	Blé	231967,60	228633,47	227863,42	229985,96	228318,96	228286,47	228321,89	231160,65	230654,68	231967,60
	P. lait	6630,33	6521,76	6372,66	6798,33	7034,58	6922,65	6546,96	6675,06	7313,67	6630,33
	C. Veaux	3087,70	3032,75	2941,75	3147,73	3281,60	3202,68	3018,75	3091,73	3454,50	3087,70
06	E. Maïs	2259769,72	2225085,80	2223955,23	2248749,86	2245659,79	2246252,92	2254083,50	2248298,24	2257068,10	2259769,72
	T. Soja	140892,78	138730,30	138659,81	140205,71	140013,05	140050,03	140538,26	140177,56	140724,34	140892,78
	Blé	231358,93	227807,93	227692,18	230230,70	229914,33	229975,06	230776,76	230184,46	231082,33	231358,93
	P. lait	6715,59	6800,43	6747,30	6813,03	6896,19	7107,66	6405,63	6428,31	6586,44	6715,59
	C. Veaux	3116,23	3225,95	3132,50	3190,78	3200,40	3312,05	3005,63	2937,73	3036,43	3116,23
07	E. Maïs	2271426,87	2259468,23	2214829,45	2246230,53	2243277,83	2247308,61	2249290,72	2232916,97	2231846,69	2271426,87
	T. Soja	141619,59	140873,98	138090,83	140048,64	139864,54	140115,85	140239,43	139218,56	139151,83	141619,59
	Blé	232552,41	231328,06	226757,87	229972,76	229670,46	230083,14	230286,07	228609,70	228500,12	232552,41
	P. lait	6702,57	6703,62	6351,87	6605,55	7060,20	6881,70	6518,40	6601,14	6978,09	6702,57
	C. Veaux	3114,83	3086,13	2907,98	3068,10	3311,35	3258,68	3003,18	3028,20	3276,00	3114,83
08	E. Maïs	2288173,41	2262803,53	2218071,33	2254042,63	2251389,33	2229605,48	2246534,51	2230056,93	2227264,78	2288173,41
	T. Soja	142663,70	141081,94	138292,96	140535,71	140370,28	139012,09	140067,59	139040,24	138866,15	142663,70
	Blé	234266,94	231669,53	227089,78	230772,58	230500,93	228270,66	230003,89	228316,88	228031,02	234266,94
	P. lait	6718,95	6782,79	6617,94	6592,32	6868,47	6556,20	6655,11	6551,79	6816,18	6718,95
	C. Veaux	3165,58	3138,28	3051,30	3056,03	3195,68	3007,90	3078,25	3034,85	3135,83	3165,58
09	E. Maïs	2281064,39	2248671,37	2212811,50	2231860,13	2249038,79	2247787,31	2270560,28	2250471,65	2239121,17	2281064,39
	T. Soja	142220,47	140200,82	137965,02	139152,67	140223,73	140145,70	141565,56	140313,06	139605,38	142220,47
	Blé	233539,11	230222,66	226551,27	228501,50	230260,28	230132,15	232463,68	230406,98	229244,90	233539,11
	P. lait	6756,75	6691,86	6680,73	6562,29	6880,44	7054,53	6619,83	6829,41	6826,68	6756,75
	C. Veaux	3117,63	3135,13	3123,40	3058,83	3248,18	3301,03	3110,28	3205,30	3221,75	3117,63
10	E. Maïs	2263488,22	2243997,79	2228621,68	2237388,79	2252382,17	2240679,17	2283860,41	2241685,51	2238353,54	2263488,22
	T. Soja	141124,62	139909,43	138950,76	139497,37	140432,18	139702,52	142394,80	139765,26	139557,52	141124,62
	Blé	231739,63	229744,17	228169,94	229067,53	230602,58	229404,41	233825,37	229507,44	229166,30	231739,63
	P. lait	6537,93	6451,41	6687,45	6412,98	6628,02	6849,57	6640,62	6499,92	6733,23	6537,93
	C. Veaux	3073,88	2930,55	3086,48	2974,30	3041,50	3179,23	3101,70	3018,93	3102,40	3073,88

**Annexe 19 : revenu annuel de l'éleveur décidé par la version « Ad hoc » du modèle bioéconomique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	234852,43	229675,96	229176,17	230609,52	229004,44	215634,55	229723,85	230870,64	224390,08
02	277992,19	276362,67	266302,84	278763,48	274511,61	242590,32	286126,31	278193,28	271105,93
03	252398,12	245058,22	239777,78	250075,08	239159,89	222567,67	250054,67	252329,11	241162,92
04	281062,84	283422,41	268808,10	283155,25	283072,28	245809,47	281973,61	280550,74	271715,25
05	271355,40	269167,72	257140,70	269771,50	259958,82	238116,76	268369,46	265630,63	260306,03
06	258297,34	254573,18	242671	256702,28	251319,27	232018,82	258442,93	257525,35	249389,66
07	290006,81	280720,11	276168,91	283170,58	280976,49	248757,16	287945,20	287217,22	280758,92
08	345203,93	339091,16	322496,47	342497,26	338176,65	307963,12	342488,37	340944,62	326474,27
09	310365,85	306798,74	295190,20	310401,29	302281,91	279924,41	312156,29	307737,97	295235,09
10	347477,96	344600,53	334426,78	343691,97	342398,25	311738,78	353209,50	342332,52	336293,05

**Annexe 20 : utilité de revenu de l'éleveur décidée par la version « Ad hoc » du modèle bioéconomique.**

Années	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
01	234719,66	229537,86	229036,11	230480,68	228876,71	215606,39	229595,74	230777,33	224289,33
02	277992,18	276362,65	266302,82	278763,46	274511,59	242590,31	286126,29	278193,26	271105,91
03	251299,11	244029,45	238854,48	249109,52	238128,52	221945,98	248910,50	251318,89	240315,23
04	280113,42	282473,22	268132,05	282257,57	282267,57	245409,29	281007,27	279737,27	271071,17
05	270549,56	268386,30	256402,13	269050,73	259360,32	237800,51	267578,09	264879,30	259783,57
06	257567,35	253905,42	242055,71	256015,80	250700,68	231565,90	257641,97	256755,49	248720,59
07	289906,37	280608,94	276053,59	283065,82	280918,21	248757,15	287818,24	287104,78	280718,21
08	344527,56	338475,74	321927,07	341829,83	337628,11	307547,95	341819,87	340279,23	325947,38
09	310002,37	306453,46	294889,52	310028,01	301993,46	279764,38	311763,43	307412,28	294955,76
10	346890,70	344042,88	334035,68	343098,53	341959,51	311524,62	352625,52	341828,31	335904,95