

Modélisation du fonctionnement d'un troupeau bovin allaitant selon la combinaison des règles de conduite. Premiers résultats de la construction du simulateur SIMBALL

S. INGRAND (1), B. DEDIEU (1), J. AGABRIEL (2), L. PÉROCHON (2)

(1) INRA SAD/Unité de Recherche sur les Herbivores, 63 122 Saint Genès Champanelle

(2) INRA ENA/Unité de Recherche sur les Herbivores, 63 122 Saint Genès Champanelle

RESUME - Notre projet vise à construire un outil informatique permettant de simuler le fonctionnement d'un troupeau bovin allaitant pour tester l'effet de différents scénarios de changement de règles de conduite sur ses performances zootechniques (vaches et produits). Ces changements de règles peuvent intervenir soit dans le cadre d'un même projet de production, soit dans le cadre de la transition d'un projet de production vers un autre, un projet de production étant défini par des objectifs de catégories, de proportions et de répartition dans le temps des animaux vendus.

Une phase préalable de conceptualisation a permis de construire une représentation commune du fonctionnement d'un troupeau allaitant, indépendamment du projet de production. Ce fonctionnement a été défini comme l'interaction entre une combinaison de règles adoptées par l'éleveur et les performances zootechniques. Ainsi, le troupeau est considéré comme un système constitué d'une part d'un sous-modèle biologique, représentant les animaux, et d'autre part d'un sous-modèle décisionnel représentant l'éleveur. Parallèlement à l'implémentation informatique (premier prototype en 2001 et deuxième en 2002), des travaux sont conduits sur des questions spécifiques posées au cours de la démarche de modélisation et impliquant d'autres partenaires. La technique de modélisation retenue est la simulation multi-agents qui permet de prendre en compte la variabilité des animaux composant le troupeau et les interactions entre eux. L'autre agent modélisé est l'éleveur.

Un premier prototype du simulateur, centré sur le sous-modèle biologique, permet de simuler l'évolution de la distribution des vêlages et de la structure démographique d'un troupeau dans le long terme (simulations réalisées sur 15 ans). La prise en compte des décisions de l'éleveur a été réalisée dans un second prototype en cours de réalisation, dans lequel sont formalisées les entités de gestion de l'éleveur, parmi lesquelles les lots et les cycles de reproduction.

Representation of the beef cattle herd functioning according to the combination of rearing rules: a modelling approach

S. INGRAND (1), B. DEDIEU (1), J. AGABRIEL (2), L. PÉROCHON (2)

(1) INRA SAD/Unité de Recherche sur les Herbivores, 63 122 Saint Genès Champanelle

SUMMARY - Our project aims to develop a tool with which to simulate the functioning of a suckler beef herd, in order to test the effect of different scenarios of change in the management rules (e.g. production subject to strict specifications) on the herd zootechnical performances (cows and offspring). Such changes in the management rules may occur either within a particular production project or on the occasion of a shift from one production project to another. A production project is defined by specific objectives regarding the categories, proportions and distribution over time of animals to be sold.

A preliminary conceptualisation stage enabled us to produce a common representation of suckler herd functioning, independent of the production project. Functioning is defined here as the interaction between a combination of rules adopted by the farmer and the zootechnical performances. The herd is thus viewed as a system consisting of a biological sub-model, represented by the animals, and a decisional sub-model, represented by the farmer.

The project works with a core team of 4 persons having complementary competences (in nutrition, livestock system, computer science and modelling)

Concurrently with the programming activity (first prototype available in 2001, second one in 2002), specific questions that emerged in the course of the modelling work are being investigated and involve further partners. Multi agent simulation was selected as the modelling technique that enables us to take into account variability in the individuals composing the herd and interactions among these individuals.

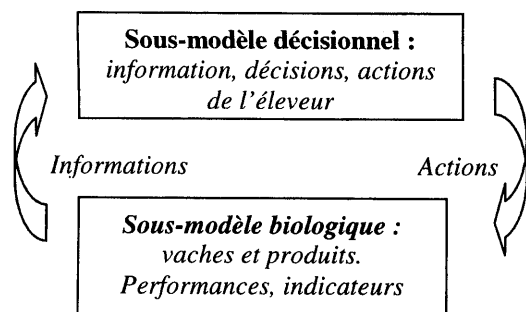
INTRODUCTION

Les nécessaires évolutions des élevages allaitants vers une production de viande de qualité orientent les possibilités d'adaptation de la conduite technique, en interaction avec d'autres contraintes, telles que des contraintes d'effectifs pour optimiser les primes PAC ou bien de charge de travail à accomplir. Elles dépendent également de facteurs économiques : opportunité de vente et/ou fluctuation des cours de la viande selon les saisons. Nous considérons que l'engagement dans des "filères de qualité" oriente les choix de conduite du troupeau de femelles reproductrices et celles des produits (Roche *et al.*, 2000). Nous souhaitons ainsi pouvoir simuler les conséquences sur la production, à moyen et long terme, de modifications pour ce qui concerne i) les saisons de vêlage et l'organisation de la réforme, pour ce qui concerne les vaches, ii) les modalités de tri et les modes d'élevage pour ce qui concerne les veaux. Le simulateur, baptisé "Simball" (SIMulateur Bovins ALLaitants), est pour l'instant un modèle de recherche, mais il doit devenir à terme un outil d'aide à la décision destiné aux éleveurs et à leurs conseillers pour aider à orienter la production du troupeau.

Les principales étapes du travail de construction du simulateur seront d'abord présentées, puis les premiers résultats sur le plan conceptuel (sous modèles biologique et décisionnel) et sur le plan informatique (prototypes).

1. DEMARCHE, OBJECTIFS

Figure 1
Modèle conceptuel du simulateur, articulation entre un sous-modèle décisionnel et un sous-modèle biologique



1.1. LE PROJET

Le simulateur doit permettre de tester l'effet de différents scénarios de changement de règles de conduite sur les performances zootechniques des animaux. Ces changements de règles peuvent intervenir soit dans le cadre d'un même projet de production, soit dans le cadre de la transition d'un projet de production vers un autre. Un projet de production est défini par des objectifs de catégories, de proportions et de répartition dans le temps des animaux vendus. Par exemple, un projet peut être défini par la production de broutards d'automne pour les produits mâles, de génisses lourdes pour les produits femelles et de vaches de réforme finies âgées de moins de 10 ans. Cependant, il s'agit d'éviter que l'outil final ne soit valable que pour un cas précis qui serait l'exemple qui a servi à son élaboration. Pour cela, le modèle conceptuel général représente le fonctionnement d'un troupeau allaitant quel que soit le projet de production et la combinaison de règles adoptée par un éleveur. Il permet également d'exprimer l'effet des actions de l'éleveur sur la construction de la performance de chaque animal.

1.2. CONCEPTUALISATION - IMPLEMENTATION

Sur le principe, la démarche consistant à articuler décisions et performances est similaire à celle choisie par Cros *et al.* (1999) pour simuler le fonctionnement du pâturage tournant pour des vaches laitières (simulateur Sepatou), et reprend un travail équivalent réalisé en ovin (Cournot 2001).

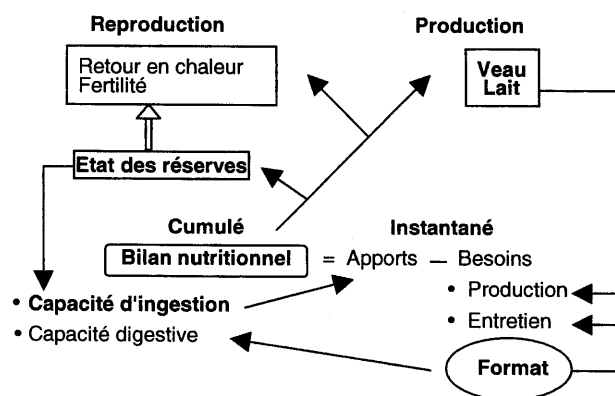
L'implémentation informatique est réalisée par étapes, avec une confrontation et des échanges au fur et à mesure des avancées réalisées dans les dimensions conceptuelle, biologique, décisionnelle. La construction du simulateur est réalisée par un collectif de chercheurs (n=4) aux compétences variées : nutrition, systèmes d'élevage, informatique, modélisation. Les prototypes informatiques sont implémentés successivement tout en menant des approfondissements thématiques parallèles selon les questions qui émergent, avec d'autres partenaires. On peut citer par exemple la modélisation du système décisionnel (Cournot et Dedieu, 2000), ou celle de l'intervalle vêlage/saillie fécondante (Blanc *et al.*, 2002, même session).

2. LE MODELE CONCEPTUEL

Le troupeau est considéré comme un "système" constitué d'une part d'un sous-système décisionnel représentant l'éleveur et ses décisions qui sont la traduction de son projet de production et d'un sous-système biologique, représentant les animaux qui évoluent dans le temps selon leur capacité d'adaptation aux contraintes auxquelles ils sont soumis. (figure 1). L'évolution de chaque animal est déterminée par des lois biologiques tenant compte de l'évolution du stade physiologique, de l'état d'engraissement et du niveau de production laitière durant la phase d'allaitement pour une vache, ainsi que du poids et de la vitesse de croissance pour un jeune.

Les indicateurs de performances sont fournis par les dates de sortie des différentes catégories d'animaux issus du troupeau et leurs caractéristiques zootechniques.

Figure 2
Relations entre les éléments constitutifs de la performance d'une vache allaitante.



2.1. LE SOUS-MODELE BIOLOGIQUE

La vache adulte en production peut être considérée comme un système en équilibre, défini par les caractéristiques de l'individu (race,...), par des variables d'état évoluant à différentes échelles de temps (âge, stade physiologique, poids, état d'engraissement, état sanitaire) et soumis aux contraintes de l'environnement (alimentation, mode de reproduction). Cela se résume par 4 ajustements des fonctions biologiques : réserves corporelles, ingestion, production laitière et reproduction. La

figure 2 est une représentation simplifiée de ces interactions (Agabriel *et al*, 2001). L'action de l'éleveur va déclencher des réponses variées de l'animal qui va fournir en retour les informations nécessaires aux prises de décision (figure 1 ; i.e. un diagnostic de gestation). Dans un premier temps on considère qu'il va principalement modifier l'alimentation (niveau quantitatif et qualitatif des apports hivernaux et qu'il va décider de la saison de reproduction et des critères de réforme de la vache (âge, date du vêlage...)).

Le modèle biologique concernant les jeunes se résume à une fonction de croissance. Plusieurs modèles de croissance sont disponibles, plus ou moins détaillés et complexes.

2.2. LE SOUS-MODELE DECISIONNEL

Le projet d'élevage peut être décomposé en d'une part un projet de production et d'autre part, un projet de composition du troupeau. Le projet de production s'exprime vis à vis de 3 ensembles d'animaux : i) les jeunes produits : catégories commerciales visées et effectif par catégorie, ii) les vaches de réforme : nombre et catégorie(s) commerciale(s) visée(s), iii) les femelles reproductrices : période(s) de vêlages. La composition du troupeau concerne l'effectif et la démographie, ainsi que les aptitudes recherchées pour les vaches (conformation, facilité de vêlages, niveau de production laitière...).

Deux entités ont été définies pour modéliser les règles de mise en œuvre d'un projet d'élevage : le lot de femelles reproductrices et la cohorte de produits, lesquels sont soit les veaux mâles et femelles nés à chaque session de vêlage, soit les vaches de réforme triées à chaque session de réforme. Ces deux entités constituent les cibles des décisions de l'éleveur :

Pour chacune des cohortes de produits, il faut pouvoir rendre compte de l'existence de pratiques d'orientation des animaux vers une destination particulière : finition, vente en maigre ou intégration dans le troupeau reproducteur pour les génisses de renouvellement. La gestion d'une cohorte s'exprime alors par un ensemble de règles de création et de coordination d'ateliers de production correspondant à chacune de ces destinations (Coléno et Duru 1998) Nous distinguons des ateliers "finalisés", constitués d'animaux qui suivent un itinéraire technique en vue d'un objectif bien déterminé (renouvellement, taurillons gras de 18 mois, génisses de Saint-Etienne, etc.), et un atelier "indifférencié", qui contient tous les animaux au devenir non encore défini.

Pour rendre compte de l'organisation de la production des vaches reproductrices, nous avons repris et adapté les notions proposées par Cournut et Dedieu (2000). Pour gérer la reproduction, nous avons défini un ensemble de règles de création et de mise en relation de "cycles de reproduction de lots". Ces cycles à l'échelle d'un lot sont l'agrégation des cycles individuels pour une session de vêlage donnée (exemple : cycle de reproduction du lot des vaches mettant bas à l'automne). Un cycle débute par l'introduction des taureaux (ou la première insémination artificielle) et se termine au tarissement de la dernière vache du lot considéré. Les règles de création d'un cycle précisent d'une part son positionnement dans le calendrier (selon la date de début de la session de reproduction et la durée d'allaitement) et d'autre part la liste des femelles concernées par la période de reproduction (génisses, vaches régulières ou décalées). Ceci permet de bien identifier les sous groupes de vaches soumises à des politiques de reproduction différentes (ex : lot des vêlages de printemps, lot des vêlages d'automne). L'organisation du renouvellement du troupeau mobilise des règles précisant i) le nombre et la période des sessions de réforme ainsi que les critères d'élimination volontaire des animaux, ii) le nombre, les dates et les critères de sélection des

génisses intégrées dans le troupeau de vaches au moment de la première mise à la reproduction.

3. ETAT DES LIEUX DE LA MODELISATION

3.1. IMPLEMENTATION INFORMATIQUE

La technique de modélisation retenue est celle des systèmes multi-agents car elle permet de modéliser des organisations complexes en tenant compte des interactions entre les objets élémentaires du monde simulé, appelés des agents. Dans notre cas, deux types d'agents sont définis : l'animal et l'éleveur. La modélisation du temps se fait par événements discrets, c'est à dire que le temps dans une simulation n'est pas continu mais discrétisé. Les actions et les changements d'état du système ont lieu à l'occasion d'événements, lesquels sont gérés par un échancier (ex : saillie fécondante, vêlage, sevrage...). Le langage de programmation est le langage Java, intéressant pour sa portabilité. Le temps d'exécution d'une simulation sur 15 ans pour un troupeau de 100 vaches est d'environ 1 min pour le prototype 1. Le pas de temps minimal géré par le simulateur est la journée.

3.2. FONCTIONNALITES DES PROTOTYPES

Un premier prototype informatique a été construit, en collaboration avec l'Isima (Jauze, 2001, Pérochon *et al.*, 2001). Il permet de simuler l'évolution de la distribution des vêlages et de la structure démographique d'un troupeau dans le long terme. Ainsi, il n'intègre que les vaches en cours de reproduction. Elles entrent dans le simulateur au cours de leur première gestation et en sortent au moment de la décision de réforme. Dans ce premier prototype, le modèle décisionnel a été simplifié à l'extrême :

- Les dates de début et de fin de la saison de reproduction sont des paramètres à entrer en début de simulation. Entre ces dates, une vache est fécondée dès qu'elle est en chaleur. Les pertes embryonnaires et les avortements sont gérés par un taux fixe, respectivement lors du 1^{er} mois de gestation et après le 5^e mois de gestation.

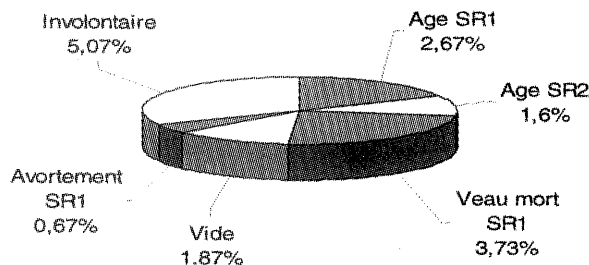
- deux sessions de réforme volontaires annuelles ont été définies : au moment de la mise à la reproduction (session de printemps) et au début de l'hiver. Les critères zootechniques qui entrent en ligne de compte dans les décisions de réforme volontaire, hormis l'âge (12 ans), sont liés à l'échec de la reproduction (vache non fécondée, avortement, mort du veau avant l'âge d'un mois). Un taux de 5% de réforme involontaire (mortalité, accident) est appliqué sur l'ensemble de l'effectif lors de la session de début d'hiver. Les effectifs annuels sont stables au cours de la simulation, sur la base du nombre de vêlages et chaque vache réformée est remplacée par une génisse prête à vêler prélevée dans un stock virtuel.

- L'alimentation a été traitée qualitativement en considérant trois niveaux alimentaires bas, moyen ou élevé, à l'échelle de deux périodes dans l'année : hiver (alimentation distribuée), été (alimentation au pâturage). Trois profils d'évolution de l'état corporel des vaches ont été définis selon les 3 niveaux alimentaires. Pour chaque période, une proportion donnée des vaches composant le troupeau se voit attribuer 1 des 3 profils (par exemple 70, 20 et 10% des vaches sont sur le profil "gain", "maintien" ou "perte" d'état durant une période où le niveau alimentaire est "bon"). Ces profils ont une incidence sur la vitesse de retour en cyclicité des vaches après le vêlage, en interaction avec les conditions dans lesquelles s'est déroulé le vêlage (4 classes), en distinguant les primipares et les multipares.

3.3. RESULTATS - VALIDATION

La validation du premier prototype (2001) a été faite à "dires d'expert" pour un certain nombre de sorties des simulations dont les taux de réforme (figure 3), la distribution des vêlages selon les niveaux alimentaires (figure 4). Les résultats des simulations sont très proches des données observées, issues des domaines expérimentaux Inra ou de résultats d'enquêtes en exploitations privées.

Figure 3
Exemple de sortie du simulateur: répartition des causes de réforme aux sessions de printemps (SR1) et d'automne (SR2) à l'issue d'une simulation sur 25 ans pour un troupeau de 100 vaches (taux moyen = 15,6%)



Plusieurs tests des résultats des tirages aléatoires réalisés dans le simulateur ont été également effectués pour en vérifier la cohérence : la distribution des conditions de mise bas, les délais d'apparition de la cyclicité, le poids des veaux à la naissance, les taux d'avortement, etc. Ces tests se sont également révélés satisfaisants.

PERSPECTIVES

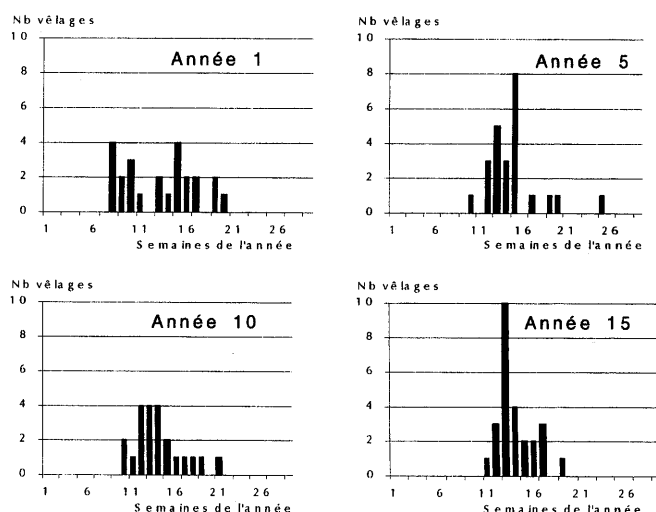
Un deuxième prototype est en cours d'élaboration (Fayard, 2002), avec de plus grandes ambitions quant au jeu de simulation sur les conduites et en centrant l'analyse sur la formalisation d'un modèle décisionnel plus riche. Pour le construire, nous sommes partis de deux cas concrets de combinaisons de règles correspondant à deux scénarios différents de conduite. Le premier concerne la conduite du troupeau de race Charolaise pratiquée au domaine expérimental de l'Inra à Laqueuille (Puy-de-Dôme). Les principales caractéristiques en sont : une production de broutards d'automne (vêlages en janvier/février). Toutes les génisses nées sont mises à la reproduction, mais plus précocement par rapport aux vaches, impliquant la création de deux lots fonctionnels de reproduction dans le simulateur (celui des génisses et celui des vaches). Le second exemple est celui d'un éleveur de Saône-et-Loire en système "tout engraissement" : taurillons d'âge de 16 à 24 mois, génisses finies de 30 mois, vaches de réforme finies, vêlages étalés de novembre à mars, 2 diagnostics de gestation (printemps, automne) et 2 périodes de sevrage.

La construction d'un tel simulateur est une démarche de longue durée. Il nous reste par exemple à intégrer dans le sous-modèle

biologique des aspects relatifs à la croissance des produits, à préciser les formalisations finales des règles de décisions d'alimentation et à aborder la phase de validation du simulateur.

Parallèlement à ces étapes, que nous comptons achever d'ici 2004, nous envisageons d'avancer sur le passage d'une démarche interne (modèle de recherche) à une démarche tournée explicitement vers les utilisateurs. L'évolution du simulateur Simball est ainsi prévue vers le développement d'un outil d'aide à la décision à destination des conseillers d'élevage. Nous engageons avec les collègues du Laboratoire d'Economie de l'Élevage de Theix des discussions avec les ingénieurs de terrain de la Chambre d'Agriculture de la Creuse pour définir avec eux les fonctionnalités d'un tel outil, ainsi que l'intérêt et les modalités d'interfaçage avec les modèles économiques.

Figure 4
Résultats d'une simulation sur 15 ans de l'évolution de la répartition des vêlages des vaches multipares pour un troupeau de 30 vêlages annuels (cas d'une alimentation au niveau "bas" en été comme en hiver)



- Agabriel, J., Ingrand, S., 2001.** In Modélisation du fonctionnement des troupeaux. CR Inra-Cirad Montpellier.
- Blanc, F., Blanc, J., Dozias, D., Agabriel, J., 2002.** Renc. Rech. Rum., 9.
- Coléno, F., Duru, M., 1998.** INRA SAD Etudes et Recherches. 31 : 45-56.
- Cournut, S., Dedieu, B., 2000.** Renc. Rech. Rum., 7, 337-340.
- Cournut, S., 2001.** Thèse Univ. Cl. Bernard-Lyon 1. 492 p.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Grasset, M., Legall, A., Martin-Clouaire, R., Peyre, D., Delaby, L., Fiorelli, J.L., Peyraud, J.L., 2000.** Renc. Rech. Rum., 8, 333-336.
- Fayard, F., 2002.** Mémoire Isima. Clermont-Fd. 45 p. + annexes
- Jauze, O., 2001.** Mémoire Isima. Clermont-Fd. 57 p. + annexes
- Pérochon, L., Agabriel, J., Baumont, R., Coulon, J.B., Dedieu, B., Ducrot, C., Dumont, B., Force, C., Gasqui, P., Hill, D., Ingrand, S., Mazel, C., 2001.** In Modélisation du fonctionnement des troupeaux. CR Inra-Cirad Montpellier.
- Roche, B., Dedieu, B., Ingrand, S., 2000.** In Renc. Rech. Rum., 7 : 259-262.