Analyser la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices: intérêts pour modéliser le fonctionnement du troupeau en élevage allaitant

Muriel M. Tichit, Stéphane Ingrand, Charles-Henri Moulin, Sylvie Cournut, Jacques J. Lasseur, B. Dedieu

▶ **To cite this version:**

Muriel M. Tichit, Stéphane Ingrand, Charles-Henri Moulin, Sylvie Cournut, Jacques J. Lasseur, et al.. Analyser la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices: intérêts pour modéliser le fonctionnement du troupeau en élevage allaitant. Productions Animales, 2004, 17 (2), pp.123-132. hal-02678705

HAL Id: hal-02678705
https://hal.inrae.fr/hal-02678705

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRA Prod. Anim.,
2004, 17 (2), 123-132

M. TICHIT [1], S. INGRAND [2], C.H. MOULIN [3], S. COURNUT [4], J. LASSEUR [5], B. DEDIEU [2]

[1] INRA, SAD APT, 16 rue Claude Bernard, F-75005 Paris

[2] INRA, SAD –TSE, Theix, F-63122 St Genès Champanelle

[3] Agro.M, 2 place Viala, F-34060 Montpellier Cedex 1

[4] ENITAC, Agricultures et Espaces, RN89, Marmilhat, F-63370 Lempdes

[5] INRA, Ecodéveloppement, Site Agroparc, F-84914 Avignon Cedex 9

Courriel : tichit@inapg.inra.fr

Analyser la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices : intérêts pour modéliser le fonctionnement du troupeau en élevage allaitant

Résumé

Dans les troupeaux allaitants, les projets techniques des éleveurs associés à leurs pratiques d'élevage conduisent à une grande variabilité des productivités animales et des répartitions de la production dans le temps. A partir de la synthèse de six études portant sur le fonctionnement de troupeaux allaitants, l'objectif de cet article est d'analyser l'intérêt de la notion de trajectoire productive des femelles reproductrices pour formaliser le fonctionnement du troupeau. Dans une première partie, les six conduites de la reproduction et du renouvellement/réforme sont présentées en lien avec différents projets techniques. Dans la deuxième partie, l'analyse montre que les pratiques d'élevage visent à réduire ou au contraire à amplifier la diversité intra-troupeau des trajectoires productives des femelles reproductrices. Les conséquences pour la modélisation du fonctionnement du troupeau sont analysées dans la troisième partie. Formaliser le fonctionnement du troupeau nécessite d'intégrer à la fois les décisions de l'éleveur et les comportements biologiques des femelles. Pour simuler la construction des performances du troupeau, il est alors nécessaire de représenter au moins les groupes de femelles ayant les mêmes comportements productifs, ainsi que les entités de gestion rendant compte des mouvements de femelles entre ces groupes. La trajectoire productive est un indicateur pour l'expression des règles de réforme, mais aussi un indicateur de performance. Les interactions entre les décisions de l'éleveur et la biologie des individus impliquent de tenir compte des effets différés des pratiques sur la pérennité des effectifs de reproductrices.

A l'échelle du troupeau, les projets techniques des éleveurs de bovins et d'ovins sont très variables et prennent en compte (i) la production quantitative attendue, exprimée en nombre total d'unités produites (litres de lait, veaux ou agneaux) ou en niveau de productivité par femelle reproductrice, (ii) la répartition calendaire des mise bas et des ventes et (iii) l'évolution de la composition numérique et qualitative (effectif, aptitudes). L'attention portée à chacune de ces trois composantes dépend des fonctions de l'élevage dans les systèmes familiaux, du mode d'appropriation des animaux, de l'intégration dans les circuits marchands et des complémentarités attendues entre élevage et cultures (Lhoste 1986). Elle tient également compte des caractéristiques du milieu physique, de la saisonnalité de la production fourragère et des incertitudes climatiques.

En relation avec cette diversité de projets, les éleveurs, du nord au sud de la planète, conduisent leurs troupeaux de façon très différente. Les conduites de la reproduction, par exemple, vont de la présence permanente de mâles reproducteurs jusqu'à une seule session courte de reproduction dans l'année, ceci en élevage bovin comme en élevage ovin. Combinées avec la diversité des pratiques d'exploitation du bétail et des systèmes d'alimentation, ces conduites engendrent des productivités animales et des répartitions de la production très variées, mais aussi une pérennité du troupeau inégalement assurée.

Les modèles de « fonctionnement de troupeaux » visent à améliorer notre compréhension de la façon dont les décisions de conduite interagissent avec les comportements productifs d'animaux pour donner lieu

à une production (niveau et répartition dans le temps) et au renouvellement du troupeau sur plusieurs années. Pour être intégrés dans des outils d'aide à la décision, ces modèles doivent pouvoir rendre compte de la diversité des projets techniques et des conduites. Ils doivent également permettre de simuler les effets de conduites différentes, y compris celles s'éloignant de nos référentiels habituels, sur la construction, la reproductibilité et la sensibilité des performances du troupeau sur le moyen terme.

Cet article présente la synthèse d'études ayant porté sur l'analyse ou la simulation du fonctionnement de troupeaux d'herbivores allaitants dans des situations qui couvrent la gamme des conduites de la reproduction évoquée ci-dessus. Une formalisation du fonctionnement du troupeau est ainsi proposée, fondée sur la notion de *trajectoire productive de femelle reproductrice*. Cette formalisation permet de rendre compte du troupeau comme d'un système dynamique finalisé et piloté (Meuret et Landais 1996), dans lequel les pratiques et les informations sur les animaux – dont celles sur les trajectoires productives - relient les sous-systèmes décisionnel et opérant (Landais et Deffontaines 1988).

Dans une première partie, les six études qui constituent la trame de ce travail sont brièvement présentées. Puis la diversité des trajectoires productives induite par les différentes conduites de la reproduction et de la réforme est analysée. Enfin, l'intérêt de cette analyse dans les démarches de modélisation est discuté.

1 / Six conduites pour des projets techniques différents

Toutes les études mobilisées concernent des systèmes d'élevage bovin ou ovin allaitant (Dedieu 1987, Ingrand *et al* 1992, Lasseur et Landais 1992, Moulin 1993, Tichit 1998, Ingrand 1999, Cournut 2001). Elles peuvent être regroupées selon trois familles de projets techniques (tableau 1). La première correspond aux situations les plus difficiles d'un point de vue climatique, sans sécurisation du système d'alimentation. Il s'agit d'une part de l'élevage ovin du Sénégal et de l'élevage mixte associant lamas et brebis de l'Altiplano de Bolivie. Pour ces agriculteurs, l'objectif est d'assurer la pérennité du troupeau reproducteur dans le long terme. La deuxième famille exprime une attente de régularité de la production sur plusieurs campagnes successives, couplée à des ambitions modérées en terme de productivité numérique ou pondérale. L'élevage bovin viande en Guyane, l'élevage ovin viande des Préalpes sont les deux exemples où la production varie peu en quantité d'une année sur l'autre. En revanche, la répartition des mise bas intra-campagne est assez fluctuante. La troisième famille correspond à une attente de haut niveau de production (relativement au niveau de production des systèmes allaitants), avec une distribution des mise bas sur une ou plusieurs sessions annuelles. L'élevage bovin viande du Massif Central d'une part, l'élevage ovin viande d'Auvergne conduit en 3 agnelages en 2 ans d'autre part, constituent les deux exemples de situations contrôlées, la dernière étant très ambitieuse en matière de performances.

Les pratiques de reproduction et de renouvellement/réforme diffèrent très sensiblement d'une famille à l'autre. Le nombre de sessions annuelles de reproduction varie d'une session courte pour la moitié du troupeau, l'autre moitié étant au repos (élevage de lamas) jusqu'à trois sessions en élevage ovin (Préalpes et Auvergne). Enfin, pour les bovins de Guyane et les ovins du Sénégal, les mâles reproducteurs sont présents toute l'année ou presque. Les causes de réforme des femelles pour infertilité sont également

Tableau 1. *Les six études : projet technique et pratiques de conduite du troupeau de femelles reproductrices.*

Réf	Contexte d'élevage	Projet technique pour la reproduction	Périodes de reproduction	Taux de mise bas visé	Niveau de tolérance sur réforme
1	Ovins Sénégal - Sahel	Pérennité du troupeau reproducteur	Non	1 MB /an	Tolérance sur infertilité
2	Ovins + Lamas Bolivie	Pérennité du troupeau reproducteur	1 période /an pour ovins et lamas	Ovins : 1 MB /an Lamas : < 1 MB /an	Brebis : strict sur infertilité Lamas : 1 an sans MB.
3	Bovins viande Guyane	Régularité de la production	Toute l'année ou éviter les MB en saison des pluies	≤ 1 MB /an	IVV < 500 jours
4	Ovins viande France, Sud-Est Préalpes	Régularité de la production	2 ou 3 périodes /an	1 ou ≥ 1 MB /an	Jusqu'à 2 années sans MB pour quelques individus
5	Bovins viande France – Massif Central	Vêlages groupés sur une période	1 période /an à durée limitée	1 MB /an	Strict sur infertilité
6	Ovins viande France – Massif Central Nord	Forte productivité	3 périodes /an	3 MB en 2 ans	Jusqu'à 18 mois sans MB

Références : 1- Moulin 1993, 2- Tichit 1998, 3- Ingrand *et al* 1992 et Dedieu 1987, 4- Lasseur et Landais 1992, 5- Ingrand 1999, 6- Cournut 2001.

variables : un épisode d'infertilité consécutif à une session de reproduction est rédhibitoire pour les lamas et les bovins du Massif Central. En revanche, plusieurs épisodes consécutifs d'infertilité sont tolérés en élevage ovin des Préalpes (jusqu'à cinq) et en Auvergne (trois épisodes dans le système 3 agnelages en 2 ans). Pour les conduites reposant sur la présence permanente des mâles, il n'y a pas de lot ni de session de reproduction spécifiques. La réforme pour infertilité est décidée selon la durée écoulée depuis la dernière mise bas. Dans l'étude guyanaise, une fouille est pratiquée systématiquement 400 jours après la mise bas et les vaches vides sont éliminées. Enfin, au Sénégal, l'infertilité prolongée n'est pas une cause de réforme systématique.

2 / Construction de la diversité des trajectoires productives

2.1 / Carrières et trajectoires : quelques définitions

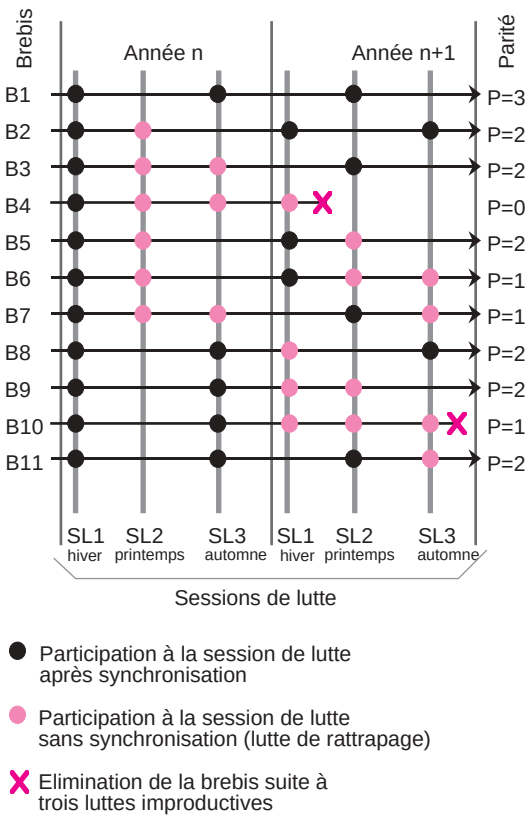
L'intérêt pour une analyse des performances en reconstituant les carrières n'est pas nouveau. Par exemple, Vallerand (1979) analyse les carrières zootechniques de brebis Djallonké du Cameroun élevées en milieu contraignant. Pour Landais (1987) « l'analyse des performances, classiquement réalisée à l'échelle du temps rond de la campagne doit être complétée par une approche sur le temps long, fondée sur l'étude des carrières animales ». De même Roux (1992) estime que « les stratégies d'élevage doivent être évaluées au niveau du troupeau et au niveau du cycle de vie des animaux ». Les analyses d'expérimentations de longue durée décrivent la succession des événements de production de la carrière des femelles (voir par exemple Coulon *et al* 1993 et 1995, D'hour *et al* 1998). Les critères d'évaluation des carrières expriment soit la production cumulée, soit la productivité annuelle moyenne ou le nombre et les modalités d'enchaînement de mise bas. Les études en ferme mobilisent les mêmes critères, même si elles sont plus difficilement renseignées sur les événements qui ont affecté les animaux. En revanche, le pas de temps est plus souvent celui de la carrière *complète*, jusqu'à la sortie de l'animal du troupeau. La longévité d'une femelle est alors appréciée par le critère « durée de vie productive » (Ducroq 1994). L'analyse, à des fins zootechniques ou génétiques, porte alors sur la variabilité de la longévité des femelles au sein des troupeaux et sur le contenu productif des carrières complètes. Lors de comparaisons de carrières de femelles observées en ferme chez différents éleveurs, une des difficultés de l'analyse est qu'aucun élément ne permet de s'assurer que chaque conduite donne les mêmes opportunités aux individus de se reproduire, comme c'est le cas en milieu contrôlé.

Par convention, une « trajectoire productive » qualifie (i) le trajet réalisé par une femelle dans l'enchaînement des sessions de reproduction organisé par l'éleveur et (ii) la succession des événements de production qui résulte des réponses biologiques de cette femelle (Cournut 2001). Ainsi Lee et Atkins (1996) ainsi que Cournut (2001) définissent des trajectoires de brebis comme des modalités de réalisation de cycles de production individuels exprimés relativement aux sessions de lutte du troupeau (figure 1). Dans les situations où les mâles reproducteurs sont présents en permanence, cette notion n'a plus de sens. La trajectoire est définie uniquement par la succession des mise bas, et traduit plus strictement l'aptitude des femelles à enchaîner des cycles reproductifs (appréciée par la durée de l'intervalle entre la mise bas et la saillie fécondante qui suit).

2.2 / La diversité des trajectoires productives dépend des choix de l'éleveur

Les pratiques différenciées des éleveurs selon les animaux, d'une part, et les réponses productives variables de chaque animal pour une même pratique, d'autre part, induisent au sein d'un troupeau une diversité de trajectoires productives. Cette diversité porte sur la répartition des trajectoires selon l'âge à la disparition et sur les modalités d'enchaînements des épisodes productifs et improductifs. Seules ces dernières sont analysées ici, les données n'étant pas complètes ni aisément reconstituables pour les premières dans toutes les études. Deux familles de trajectoires sont observées selon leur degré d'homogénéité intra-troupeau. Elles sont reliées aux pratiques de conduite dans chacune des situations étudiées.

Figure 1. *Diversité des trajectoires productives de brebis : l'exemple du rythme de reproduction avec 3 agnelages en 2 ans (d'après Cournut 2001).*



a / Une homogénéité des trajectoires imposée

Toutes les femelles du troupeau ont la même trajectoire, laquelle est composée d'une succession de réussites à chaque session de reproduction à laquelle la femelle participe. Deux modalités de fin de trajectoire (réforme) sont observables : épisode d'infertilité et réforme en conséquence, réussite à la reproduction et réforme pour d'autres causes (accident, âge, maladie). L'éleveur impose un rythme identique de reproduction à toutes les femelles, très exigeant sur le critère de réforme pour infertilité : aucun échec n'est toléré.

Ce type de conduite correspond classiquement en France aux systèmes bovins et ovins avec une seule session de mise bas dans l'année, pour lesquels les taux de fertilité garantissent que le nombre de femelles réformées pour échec à la reproduction restera dans des limites raisonnables, c'est-à-dire ne pénalisera pas l'efficacité économique ou la viabilité de l'élevage. Dans les troupeaux mixtes de Bolivie où les mauvaises années se caractérisent par des mortalités importantes d'animaux (y compris de femelles adultes), l'homogénéité des trajectoires intra-troupeau est similaire aux cas précédents (même rythme de reproduction pour toutes les femelles) et valable pour les deux espèces. Cependant, dans certains troupeaux, les éleveurs ne font faire qu'une mise bas tous les deux ans aux femelles lamas. En effet, si une session de reproduction est organisée tous les ans pour les deux espèces, les femelles lamas ne sont présentées aux mâles qu'une année sur deux alors que l'ensemble des brebis est mis en lutte chaque année. Cette conduite amène, les bonnes années, à des différences importantes de productivité numérique au sevrage (par femelle présente sur l'année) entre les deux espèces (respectivement 44,1 % et 77,2 %). Mais en cas de sécheresse, la mortalité des brebis induit des baisses d'effectif de reproductrices (-5 %), alors que pour le troupeau de lamas, la variation reste positive (+2 %). Avec des pratiques peu contraignantes sur le plan biologique pour les lamas, l'éleveur tamponne l'effet imprévisible des fluctuations alimentaires et assure la pérennité de ce troupeau.

b / Une hétérogénéité des trajectoires permise

Il existe, à l'inverse, des situations où les choix de conduite induisent des trajectoires productives variées au sein du même troupeau. Certaines femelles se reproduisent dès que l'occasion leur est donnée de le faire, d'autres alternent des phases de production et des phases d'infertilité plus ou moins prolongées. Dans les systèmes basés sur l'organisation dans l'année de plusieurs sessions de reproduction à durée limitée, qui concernent des systèmes ovins dans notre panel d'études, cette variabilité a deux implications. D'une part, les critères de réforme pour infertilité sont moins stricts que dans les cas précédents : plusieurs épisodes d'infertilité sont tolérés. D'autre part, des *flux* d'animaux sont organisés d'une session de reproduction à celle immédiatement suivante (Girard et Lasseur 1997). Ces flux résultent de deux types d'intervention de l'éleveur : (i) un changement de lot des brebis constatées infertiles pour les présenter dans le lot de lutte suivant ; (ii) le maintien de béliers dans tout le troupeau à chaque session de reproduction, y compris dans le lot des brebis présumées gestantes.

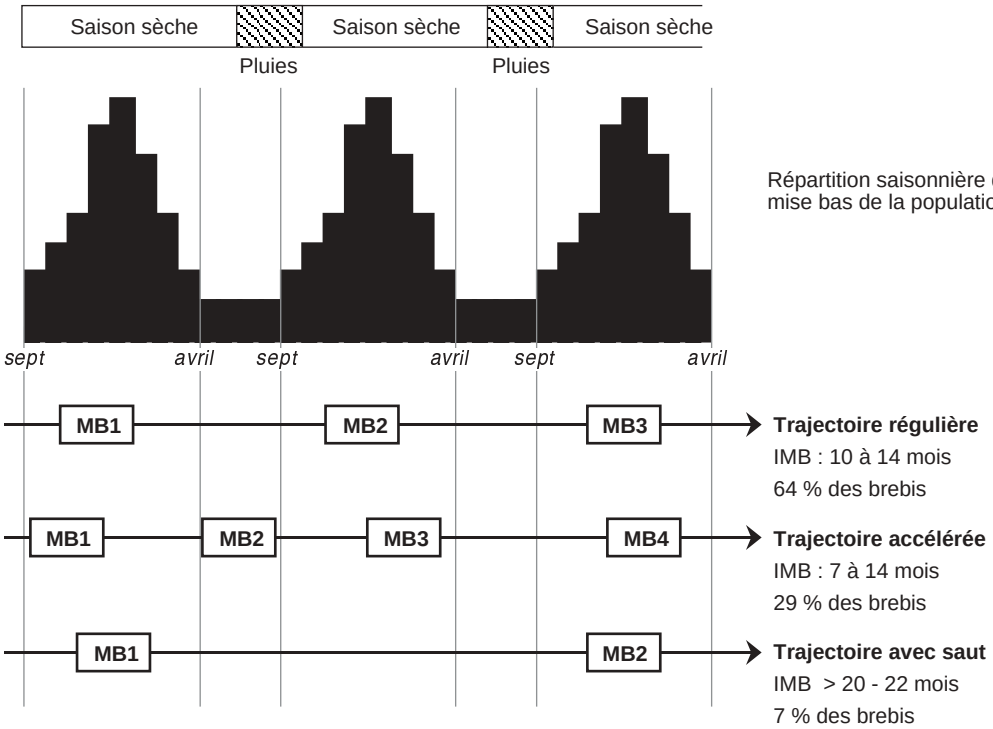
Dans les systèmes où les mâles sont présents presque toute l'année, la durée écoulée depuis la dernière mise bas constitue le critère d'élimination pour infertilité. Plus la tolérance de l'éleveur est grande pour ce critère, plus la variabilité biologique de l'intervalle entre la mise bas et la saillie fécondante peut s'exprimer.

Les projets techniques associés à ces situations sont très différents. La diversité des trajectoires est perçue comme un gage de pérennité du troupeau (Sénégal) et de stabilité interannuelle des performances (Guyane, Préalpes). Elle est un moyen d'atteindre des niveaux de performances élevés dans les systèmes ovins 3 agnelages en 2 ans (Auvergne).

L'élevage ovin tel qu'il est pratiqué au Sénégal est emblématique de contextes d'élevage très contraignants pour les animaux (climat, parasites, ressources alimentaires), dans lesquels l'objectif de maintien à long terme du stock de femelles reproductrices est prioritaire sur le niveau annuel des performances. L'éleveur, en laissant les mâles en permanence avec les femelles, autorise l'expression maximale de la diversité individuelle des performances de reproduction qui n'est plus canalisée dans une gamme réduite d'intervalles entre mise bas comme dans les cas précédents (figure 2). Si l'éleveur intervient peu dans l'organisation de la reproduction, il gère en revanche les entrées et les sorties de femelles du troupeau en privilégiant pour la réforme les brebis dont la probabilité de mourir est la plus élevée, quitte à garder des vieilles femelles peu fertiles, mais en bonne santé. Le critère majeur de tri des réformes n'est plus l'aptitude à la reproduction, mais l'aptitude à survivre face aux contraintes du milieu (Moulin 2000). Malgré la présence de ces femelles peu fertiles, le taux de mise bas par brebis et par an reste voisin de un à l'échelle du troupeau grâce à la présence de brebis mettant bas trois fois en deux ans.

En Auvergne, le choix d'un rythme de reproduction élevé du type 3 agnelages en 2 ans impose une rigidité sur la durée et les intervalles entre les trois sessions de lutte annuelles. Ce rythme accéléré de mise bas n'est pas atteint par toutes les femelles du troupeau. Cependant, l'éleveur tolère jusqu'à trois épisodes successifs d'infertilité. Pour limiter la durée de la phase improductive, il doit donc gérer finement les flux de brebis d'une session de reproduction à une autre. La distribution des agnelages par saison est donc le résultat des interactions entre saison sexuelle, conduite et histoire productive des brebis et se construit par des rythmes individuels de reproduction variés (Cournut et Dedieu 2002). Dans les Préalpes, les systèmes

Figure 2. *Trajectoires productives de brebis dans les troupeaux d'éleveurs Wolof en zone sahélienne, Sénégal (d'après Moulin 1993). MB : mise bas, IMB : intervalle entre mise bas.*



ovins sont moins exigeants en termes de productivité, mais dans des contextes d'élevage plus difficiles qu'en Auvergne, avec des fluctuations saisonnières et interannuelles de l'offre alimentaire. Les choix de conduite de la reproduction ont alors pour objectif de tamponner ces variations (Lasseur et Landais 1992). L'éleveur organise de la même façon plusieurs périodes de reproduction, mais autorise pour une femelle des épisodes successifs d'infertilité. La multiplication des sessions de lutte permet *a contrario* à certaines femelles de "redoubler", c'est-à-dire de mettre bas trois fois en deux ans. Ces possibilités de "redoublement" ou au contraire de "saut" entre sessions de lutte caractérisent des aptitudes individuelles différentes qui sont évaluées sur le long terme.

c / Finalités multiples de la diversité des trajectoires

Ces études montrent qu'il n'y a pas de relation univoque entre la diversité des trajectoires productives, le niveau de contraintes pesant sur le système et le type de projet de production. La tolérance, voire la recherche d'une diversité de trajectoires productives, via la présence permanente de mâles ou l'organisation de flux d'animaux entre sessions de reproduction, n'est pas l'apanage de systèmes privilégiant la survie du troupeau de reproductrices ou la stabilité de la production annuelle du troupeau en dépit d'aléas.

En effet, les exemples des troupeaux mixtes de Bolivie et des troupeaux ovins du Sénégal montrent que la robustesse du système d'élevage face aux incertitudes concernant la disponibilité des ressources alimentaires ne repose pas toujours sur une organisation de la reproduction visant à contrôler très strictement les opportunités de reproduction. Il s'agit soit de limiter l'intensité biologique des carrières, soit de laisser s'exprimer l'aptitude des animaux à construire des carrières de contenu varié incluant des phases plus ou moins longues d'improductivité.

De même, des systèmes visant un très haut niveau de productivité individuelle, comme dans le cas du système 3 agnelages en 2 ans, ne peuvent pas atteindre cet objectif par la construction de trajectoires identiques caractérisées par une mise bas tous les huit mois (rythme individuel théorique de mise bas). Il faut trouver de la souplesse, avec des règles de réformes et d'organisation de flux qui autorisent l'expression de trajectoires productives variées.

Les études décrites précédemment ne couvrent bien sûr pas toute la variabilité des conduites de la reproduction et du renouvellement propre à chaque espèce de ruminant domestique. En élevage bovin allaitant, des systèmes comportant deux périodes de vêlages ont été décrits, en France, dans le Limousin (Bécherel et Brouard 2003) ou aux Etats-Unis (Azzam et Azzam 1991). La question de l'organisation de flux de vaches entre sessions de reproduction d'été et d'hiver s'y pose dans les mêmes termes qu'en élevage ovin : quels sont les critères de passage d'une session de vêlage à l'autre ? De même, les règles de réforme appliquées à des systèmes ovins avec une ou deux périodes de mise bas dans l'année peuvent différer, notamment selon l'importance accordée à la maîtrise du nombre de mise bas lors de la session d'agnelages en contre-saison (automne). Enfin, les élevages caprins et bovins laitiers connaissent également cette diversité. Santucci (1991) a ainsi décrit les mécanismes de régu-

lation au sein des troupeaux caprins corses face aux aléas climatiques. Ces mécanismes reposent sur la possibilité pour les femelles de suivre des trajectoires productives variées (modèle Précoces - Tardives - Improductives) finalement assez proches des situations ovines décrites en Préalpes.

3 / Conséquences sur la modélisation du fonctionnement du troupeau

Le troupeau est considéré dans notre cadre d'analyse comme un système biologique piloté dont le fonctionnement dynamique correspond à l'enchaînement d'événements productifs (en l'occurrence les mise bas) dans un ensemble renouvelé d'individus. Le développement de modèles doit alors tenir compte de l'effet, d'une part, des décisions de l'éleveur et, d'autre part, des comportements biologiques des femelles reproductrices, sur les trajectoires productives dont l'agrégation constitue les performances du troupeau (production : quantité, répartition ; renouvellement de sa composition). Notre analyse est centrée sur la partie décisionnelle de ces modèles à développer, complémentaire des modèles biologiques rendant compte des régulations propres aux différentes fonctions physiologiques (alimentation, reproduction, réserves corporelles). L'enjeu est d'articuler ces deux approches pour rendre compte à la fois des réponses biologiques sous l'effet des pratiques et, en retour, de l'adaptation des pratiques aux indicateurs de performances fournis par les animaux.

A partir de l'analyse des différentes situations étudiées et présentées précédemment, quatre points semblent plus particulièrement devoir être pris en compte dans les démarches de modélisation du fonctionnement des troupeaux intégrant un sous-modèle décisionnel.

⌘ Tenir compte de la variabilité des trajectoires productives implique de modéliser soit chaque animal (modèles individus centrés), soit au minimum chaque profil de trajectoire. En effet, à l'exception des situations combinant une seule session de reproduction courte dans l'année et une réforme systématique dès le premier épisode d'infertilité, le fonctionnement d'un troupeau résulte de trajectoires diversifiées qui ne peuvent se résumer à la trajectoire d'un animal moyen. Les profils de trajectoires sont alors des indicateurs de fonctionnement de troupeaux. Moulin (1993) fonde ainsi sa typologie des modes d'élaboration des performances de troupeaux ovins sénégalais sur la décomposition de la performance globale du troupeau sur le moyen terme en profils types de trajectoires productives, définies à l'échelle de sa population d'étude (figure 3).

⌘ Analyser et formaliser l'organisation conjointe de la reproduction, de l'allotement et de la réforme pour infertilité afin de préciser la composition des lots de femelles reproductrices. Il s'agit de déterminer l'effectif et la démographie du groupe de femelles concerné par une session donnée de reproduction, mais aussi de caractériser la diversité des trajets productifs qui caractérise ce groupe. Cournut et Dedieu (2000) proposent d'en

Figure 3. *Démarche de typologie de profils de performances de troupeaux à partir de la caractérisation des trajectoires productives (d'après Moulin 1993).*

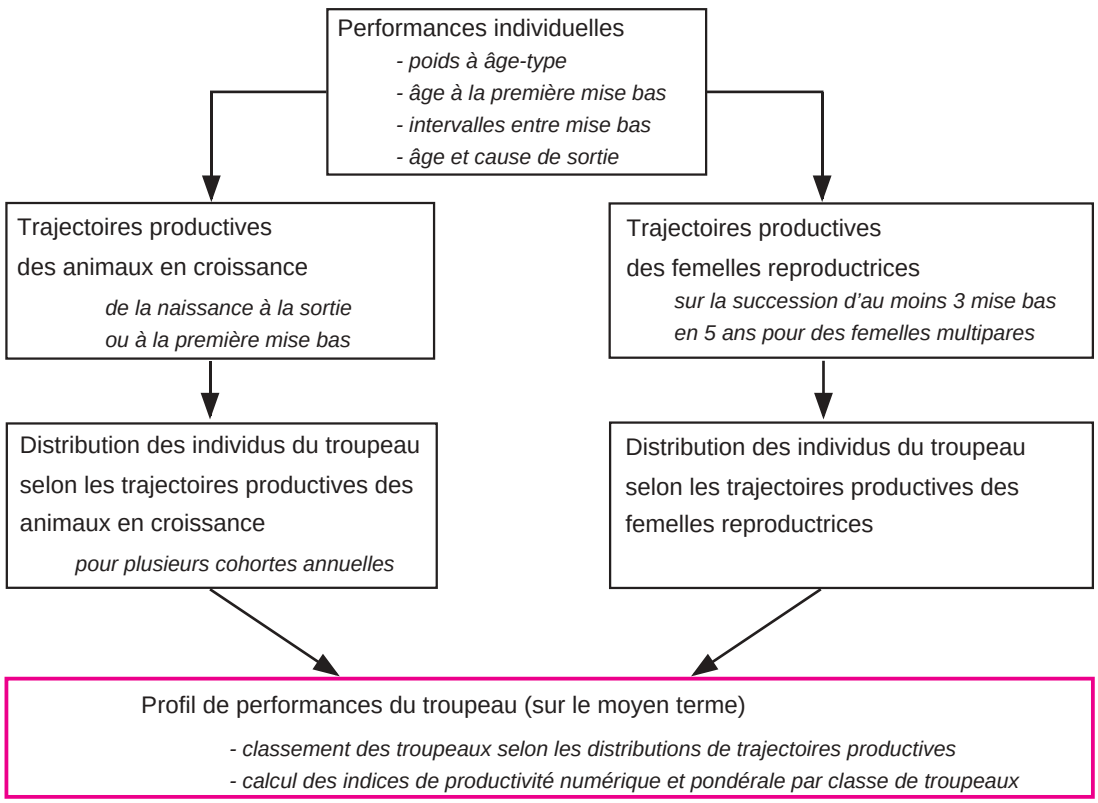
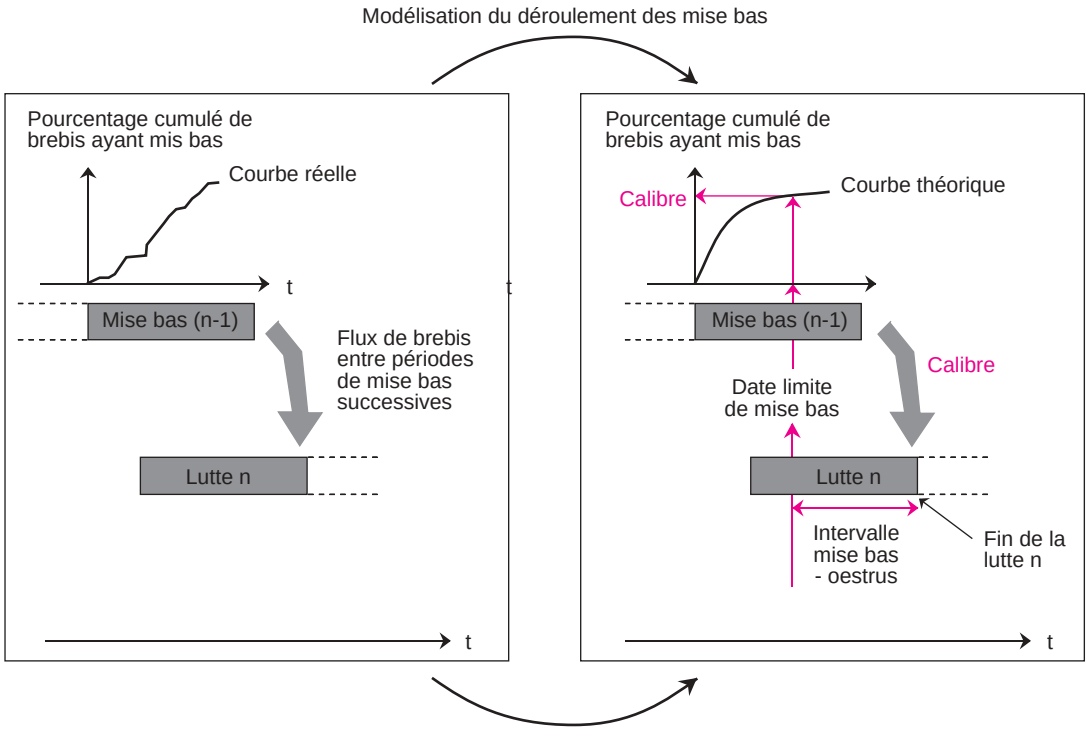


Figure 4. *Elaboration d'un critère : le calibre, estimant le flux de brebis entre mise bas successives, pour des troupeaux conduits en deux périodes de lutte par an sans allotement (d'après Girard et Lasseur 1997).*
Calibre : estimation de la proportion de brebis susceptible de mettre bas à deux périodes successives (exprimé en % de l'effectif ayant mis bas en période initiale). Il repose sur l'estimation d'un intervalle mise bas - oestrus et la modélisation du déroulement des mise bas. L'intervalle mise bas - oestrus (36 jours en lutte d'automne, 81 en lutte de printemps) correspond à la valeur médiane observées pour 603 mise bas successives répertoriées dans l'échantillon étudié. Il permet de retenir une date limite de mise bas au-delà de laquelle une brebis ne pourra être fécondée lors de la période de lutte concomitante. L'étude de 102 courbes de mise bas a conduit à retenir deux courbes modèles pour le déroulement des mise bas (printemps et automne).



rendre compte avec le concept de cycle de production de lot (CPL), mobilisé dans des démarches de simulation en élevage ovin mais aussi bovin viande (Ingrand *et al* 2002 et 2003). Un CPL agrège des cycles de production individuels pour former une période de mise bas du troupeau. Le pilotage du troupeau s'exprime alors comme une modalité spécifique de *configuration et de coordination* de CPL successifs. Cette approche s'inscrit en filiation des travaux de Girard et Lasseur (1997) visant à estimer le flux de brebis passant d'une période de mise bas à la période suivante. Celui-ci est formalisé par le pourcentage maximal de brebis concernées par la lutte suivante (« calibre »), il tient compte de la distribution des agnelages, de la durée de l'anoestrus de lactation et de la saison sexuelle (figure 4). Ces différentes notions sont définies comme des entités de gestion qui permettent de faire l'interface entre le système biotechnique (animaux) et le système décisionnel (éleveur).

⌘ Le contenu d'une trajectoire productive est un indicateur essentiel pour l'expression des règles de réforme dans la plupart des élevages. Elle est en outre un indicateur de performances qui doit pouvoir être accessible dans les sorties de simulations. En effet, le nombre d'épisodes d'infertilité et la production cumulée (Oltjen *et al* 1990) sont des critères couramment utilisés, avec des valeurs seuils différentes selon les éleveurs. De plus, le contenu de cette trajectoire à un moment donné (représentant le passé de la femelle) influe d'une part, sur son comportement reproductif lors d'une session de reproduction donnée et, d'autre part, sur sa survie fonctionnelle (son maintien dans le troupeau) (Atkins 1986, Gonzales *et al* 1986, Ercanbrack et Knight 1989, Ducrocq 1994, Lee et Atkins 1996, Cournut 2001). En conséquence, la trajectoire productive est, de notre point de vue, un objet essentiel du modèle conceptuel des simulateurs informatiques du fonctionnement d'un troupeau.

⌘ La viabilité du troupeau est essentielle à considérer pour évaluer les interactions décisions/biologie évoquées précédemment. La plupart des modèles dynamiques de troupeaux estiment conjointement la production sur le long terme et l'évolution de la démographie du troupeau. Mais ces expériences informatiques définissent le troupeau comme devant rester en effectif stable d'une campagne à l'autre. Ainsi, les simulations qui considèrent l'effectif comme une sortie de simulations testant des règles de conduites de la reproduction et de la réforme sont plutôt rares (Schmitz 1997, Lehenbauer et Oltjen

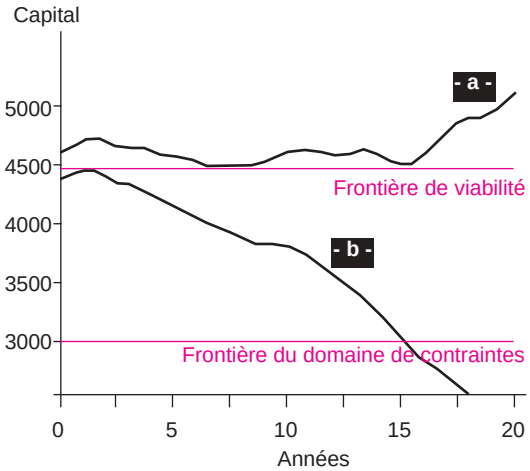
1998). La viabilité d'un troupeau est pourtant essentielle à modéliser pour de nombreux systèmes dans lesquels la pérennité fait partie intégrante du projet de production. Doyen et Tichit (1999), sur la base des données de Bolivie, ont développé un modèle de viabilité d'un troupeau, représentant l'évolution sur le long terme du stock de femelles reproductrices, soumis aux aléas climatiques et aux décisions de l'éleveur. La notion de trajectoire viable permet alors d'évaluer les pratiques visant à contrôler le rythme de reproduction des lamas au regard de leurs effets différés sur le long terme et démontre leur capacité à favoriser la pérennité du stock de femelles reproductrices (figure 5).

Conclusion

Les exemples développés dans cet article soulignent la diversité des projets techniques dans différentes régions du monde. Assurer la pérennité du troupeau en situation très contraignante, tamponner l'effet d'aléas alimentaires sur la production, obtenir de bons niveaux de performances avec un milieu d'élevage non limitant en constituent trois pôles. La conduite du troupeau, notamment les pratiques de reproduction et de réforme, vise selon les cas à réduire ou au contraire à amplifier la diversité intra-troupeau des trajectoires productives individuelles. Il est intéressant de noter que l'hétérogénéité intra-troupeau des trajectoires productives n'est pas une spécificité de systèmes très extensifs, mais peut constituer dans certains systèmes le moyen d'atteindre de hauts niveaux de performances. Notre analyse s'appuie ici sur des études de systèmes allaitants. Nous avons commencé à l'étendre aux systèmes laitiers pour lesquels la gestion à l'individu, étape ultime de cette hétérogénéité intra-troupeau des carrières, est classiquement observée.

La structure démographique d'un troupeau à l'instant t résulte de son histoire productive (notamment les règles de réforme passées) et peut, dans une première approche, représenter la mémoire du système. Nous proposons ici d'étendre l'expression de cette mémoire à l'ensemble des trajectoires productives des femelles qui composent le troupeau. Dans les modèles de fonctionnement qui ne sont pas « animal-centré », ceci revient à représenter des groupes d'individus, non pas selon des classes d'âge et de sexe mais selon des types

Figure 5. *Evolution du stock de femelles reproductrices dans un troupeau mixte lamas – ovins avec 60 % de lamas et dont la reproduction est contrôlée pour cette espèce (d'après Doyen et Tichit 1999).*
a - Trajectoire viable pour un capital initial de 4618 U$D composé de 46 lamas et 97 brebis. La frontière de viabilité indique le seuil au-delà du quel le troupeau assure un revenu minimum à l'éleveur quelles que soient les incertitudes climatiques. Au-dessous de ce seuil, l'évolution du stock de femelles est non viable
b - La trajectoire quitte en temps fini le domaine de contraintes et le revenu n'est pas assuré sur le long terme.



de trajectoires productives réalisées. Cette mémoire est bio–décisionnelle, dans la mesure où elle résulte des choix de conduite qui délimitent des opportunités de reproduction pour les femelles, exprimant ainsi leurs aptitudes à la production. Les trajectoires productives sont un moyen de rendre compte des performances élémentaires et de la survie des animaux au sein du troupeau. Elles sont aussi des indicateurs d'application des règles de reproduction et de réforme. Leur construction dans le temps, issue de l'interaction entre la conduite et les comportements biologiques animaux, définit le fonctionnement dynamique du troupeau. Elles doivent donc être au cœur des modèles qui ont pour ambition de simuler ce fonctionnement, c'est-à-dire dont l'objectif est de comprendre et d'évaluer l'effet de changements de conduite sur d'une part la production, son niveau, sa répartition, sa sensibilité aux aléas et, d'autre part, sur la pérennité du troupeau.

Références

Atkins K.D., 1986. A genetic analysis of the components of lifetime productivity in Scottish Blackface sheep. Anim. Prod., 43, 405-419.

Azzam S.M., Azzam A.M., 1991. A markovian decision model for beef cattle replacement that considers spring and fall calving. J. Anim. Sci., 69, 2329-2341.

Bécherel F., Brouard S., 2003. Vivre de la viande bovine en Limousin. Actualisation des cas types. Etude du Département Action Régionale, Institut de l'Elevage, 66 p.

Coulon J.B., Lescourret F., Faye B., Landais E., Troccon J.L., Perochon L., 1993. Description de la base de données "Lascar", un outil pour l'étude des carrières des vaches laitières. INRA Prod. Anim., 6, 151-160.

Coulon J.B., Pérochon L., Lescourret F., 1995. Evolution de la production laitière et du poids vif des vaches au cours de leur carrière. Ann. Zootech., 44, 189-199.

Cournut S., 2001. Le fonctionnement de systèmes biologiques pilotés : simulation à événements discrets d'un troupeau ovin conduit en trois agnelages en deux ans. Thèse Université Lyon 1, 418 p + annexes.

Cournut S., Dedieu B., 2000. Comment simuler le fonctionnement d'un troupeau ovin viande ? Renc. Rech. Rum., 7, 337–340.

Cournut S., Dedieu B., 2002. L'étude de la robustesse d'une conduite par simulation : l'exemple du « 3 agnelages en 2 ans ». Renc. Rech. Rum., 9, 79.

Dedieu B., 1987. Elevage bovin viande en Guyane : premiers résultats des suivis techniques et essai de typologie. In : A. Hentgen et N. Girault (eds), Systèmes d'élevage herbager en milieu équatorial, 23-40. Cayenne, 9-10 décembre 1985. Editions INRA, Paris.

D'Hour P., Revilla R., Wright I.A., 1998. Possible adjustments of suckler herd management to extensive situations. Ann. Zootech., 47, 453-463.

Doyen L., Tichit M., 1999. A viability analysis of mixed herd management in uncertain environments. Cahiers du Centre de Recherche Viabilité - Jeux - Contrôle, n°9906, 1-25. Université Paris Dauphine.

Ducrocq V., 1994. Statistical analysis of length of productive life for dairy cows of the Normande breed. J. Dairy Sci., 77, 855-866.

Ercanbrack S.K., Knight A.D., 1989. Lifetime production of 1/4 and 1/2 Finnsheep ewes from Rambouillet, Targhee and Columbia dams as affected by natural attrition. J. Anim. Sci., 67, 3258-3265.

Girard N., Lasseur J., 1997. Stratégies d'élevage et maîtrise de la répartition temporelle de la reproduction. Exemples en élevage ovin en montagne méditerranéenne. Cahiers Agric., 6, 115-124.

Gonzalez R., Bonnet R., Guerra J.C., Labuonora D., 1986. Lifetime productivity of single and twin-born Corriedale sheep and their dams. Austr. J. Exp. Agric., 26, 631-637.

Ingrand S., 1999. Constitution des lots de vaches dans les élevages allaitants : effet de l'hétérogénéité intra-lot des besoins nutritionnels sur le niveau d'ingestion et le comportement alimentaire des vaches charolaises. Thèse INA-PG, Paris, 257 p.

Ingrand S., De Baynast L., Vissac B., 1992. La reproduction du troupeau allaitant de Saint-Elie. In : M. Vivier, B. Vissac et G. Matheron (eds), L'élevage bovin en Guyane, 69-90. Editions INRA-CIRAD, Paris.

Ingrand S., Dedieu B., Agabriel J., Pérochon L., 2002. Modélisation du fonctionnement d'un troupeau bovin allaitant selon la combinaison des règles de conduite. Premiers résultats de la construction du simulateur SIMBALL. Renc. Rech. Rum., 9, 61–64.

Ingrand S., Cournut S., Dedieu B., Antheaume F., 2003. La conduite de la reproduction du troupeau de vaches allaitantes : modélisation des prises de décision. INRA Prod. Anim., 16, 263-270.

Landais E., 1987. Recherches sur les systèmes d'élevage. Questions et perspectives. Document de travail, INRA SAD Versailles, 70 p.

Landais E., Deffontaines J.P., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Points de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. Etudes Rurales, 109, 125-158.

Lasseur J., Landais E., 1992. Mieux valoriser l'information contenue dans les carnets d'agnelage pour évaluer des performances et des carrières de reproduction en élevage ovin-viande. INRA Prod. Anim., 5, 43-58.

Lee G.J., Atkins K.D., 1996. Prediction of lifetime reproductive performance of Australian Merino ewes from reproductive performance in early life. Austr. J. Exp. Agric., 36, 123-128.

Lehenbauer T.W., Oltjen J.W., 1998. Dairy cow culling strategies: making economical culling decisions. J. Dairy Sci., 81, 264-271.

Lhoste P., 1986. L'association agriculture élevage. Evolution du système agro-pastoral au Sine-Saloum (Sénégal). Thèse INA-PG, Paris, 314 p.

Meuret M., Landais E., 1996. Quoi de neuf sur les systèmes d'élevage ? In : C. Blanc-Pamard et J. Boutrais (coord), Thème et variations : nouvelles recherches rurales au sud, 323-355. Editions ORSTOM, Paris.

Moulin C.H., 1993. Le concept de fonctionnement de troupeau. Diversité des pratiques et variabilité des performances animales dans un système agropastoral sahélien. INRA Et. Rech. Sys. Agr. Dév., 27, 73-94.

Moulin C.H., 2000. Pratiques de gestion du troupeau en élevage sahélien : cas des brebis de réforme. 5th Livestock Farming Systems Symposium, Integrating Animal Science Advances in the Search of Sustainability, 19-20 August 1999, Posieux, Switzerland. EAAP Publication n° 97, 254-257. Wageningen Pers, Wageninen.

Oltjen J.W., Selk G.E., Burditt L.G., Plant R.E., 1990. Integrated expert system for culling management of beef cows. Comp. Electr. Agric., 4, 333-341.

Roux C.Z., 1992. Maximum herd efficiency in meat production. I Optima for slaughter mass and replacement rate. South African J. Anim. Sci., 22, 1-5.

Santucci P., 1991. Le troupeau et ses propriétés régulatrices, bases de l'élevage extensif. Thèse de doctorat Université Montpellier II, 85 p.

Schmitz J., 1997. Dynamics of beef cow herd size: an inventory approach. J. Agric. Eco., 79, 532-542.

Tichit M., 1998. Cheptels multi-espèces et stratégies d'élevage en milieu aride : analyse de viabilité des systèmes pastoraux camélidés ovins sur les hauts plateaux boliviens. Thèse INA-PG, Paris, 283 p.

Vallerand F., 1979. Réflexions sur l'utilisation des races locales en élevage africain. Exemple du mouton Djallonké dans les conditions physiques et sociologiques du Cameroun. Thèse Doct. Ing., INP Toulouse, France, 242 p.

Abstract

Analysis of the diversity of breeding female productive trajectories: interest for modelling the functioning of suckling herds.

In suckling herds, farmers' production projects lead to highly variable animal productivity and production temporal pattern. The objective of this paper was to analyse the advantage of the notion of breeding female productive trajectory to model herd functioning based on six case studies. In the first part, six managements related to breeding and replacement practices are presented in relation to different production projects. In the second part, the analysis of management indicates that it is aimed at either decreasing or increasing within herd diversity of female productive trajectories. In the third part, consequences for modelling herd functioning are reviewed. Models of herd functioning should take into account farmers' decision as well as female biological behaviour. To simulate herd performances, it is therefore necessary to represent the groups of females with the same productive behaviour and the switch of females between these groups too. The productive trajectory is both an indicator of the rule for culling and an indicator of performance. The interaction between the farmer's decisions and female biology means taking into account management delayed effects on the sustainability of breeding female stock.

TICHIT M., INGRAND S., MOULIN C.H., COURNUT S., LASSEUR J., DEDIEU B., 2004. Analyser la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices : intérêts pour modéliser le fonctionnement du troupeau en élevage allaitant. INRA Prod. Anim., 17, 123-132.