



**HAL**  
open science

## Evaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques

Xavier Coquil, Jean-Louis Fiorelli, Catherine Mignolet, André Blouet, Damien Foissy, Jean-Marie Trommenschlager, Claude Bazard, Etienne Gaujour, Lucie Gouttenoire, Damien Schrack

### ► To cite this version:

Xavier Coquil, Jean-Louis Fiorelli, Catherine Mignolet, André Blouet, Damien Foissy, et al.. Evaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques. *Innovations Agronomiques*, 2009, 4, pp.239-247. 10.17180/3hmr-m902 . hal-01195224

**HAL Id: hal-01195224**

**<https://hal.science/hal-01195224v1>**

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Evaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques.

X. Coquil<sup>1</sup>, J.L. Fiorelli<sup>1</sup>, C. Mignolet<sup>1</sup>, A. Blouet<sup>2</sup>, D. Foissy<sup>1</sup>, J.M. Trommenschlager<sup>1</sup>, C. Bazard<sup>1</sup>, E. Gaujour<sup>1</sup>, L. Gouttenoire<sup>3</sup>, D. Schrack<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : INRA, UR055 SAD – ASTER, 662, Avenue Louis Buffet, F-88500 Mirecourt, France.

<sup>2</sup> : Université H.Poincaré Le Montet, F-54600 Villèrs-les-Nancy, France.

<sup>3</sup> INRA, UMR1273 METAFORT, TSE, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France.

Correspondance : coquil@mirecourt.inra.fr

***Les principes fondateurs du développement durable interrogent fortement la profession agricole en l'invitant à considérer la transmission des ressources du milieu naturel aux générations futures. L'équipe de recherche de l'INRA de Mirecourt travaille à la conception multi-objectifs et l'évaluation multicritère de systèmes de production agricole durables sur le plan agro-environnemental.***

### Résumé :

L'équipe de recherche de l'INRA de Mirecourt travaille au prototypage de systèmes agricoles durables sur le plan agro-environnemental. Ce travail vise à déterminer les conditions pratiques de la mise en œuvre de systèmes agricoles *a priori* durables. Ainsi, deux systèmes laitiers biologiques *a priori* durables ont été conçus dans le cadre d'une démarche « participative » : un système laitier herbager et un système de polyculture élevage laitier testés dans le cadre d'une expérimentation système. Ces systèmes visent à atteindre des objectifs agricoles et environnementaux. Ils sont conduits suivant des règles de décision multi-objectifs, formalisant le pilotage des systèmes, et sont évalués sur les plans biotechniques et pratiques *via* un dispositif expérimental pluriannuel structuré, complété par le recours à une évaluation assistée par modèles. Ce dispositif d'évaluation est mis au service de la re-conception afin d'améliorer « pas à pas » (i) la durabilité agro-environnementale des systèmes évalués et (ii) les conditions pratiques de mise en œuvre de ces systèmes de production durables sur le plan agro-environnemental. Les connaissances issues de cette démarche de conception/évaluation, centrée sur l'expérimentation système, nécessiteront une validation par une confrontation à des situations d'exploitations agricoles commerciales.

**Mots clefs :** Prototypage, expérimentation système, polyculture élevage, systèmes autonomes.

**Abstract:** Assessing the agro-environmental sustainability of organic mixed-crop dairy systems on the basis of a multivariate approach.

Sustainable development calls upon the farming sector to commit itself to the transmission of natural resources to future generations. The INRA research team of Mirecourt studies the design of environmentally-friendly farming systems. The design of these systems is based on a multitude of objectives, and their evaluation is determined by a wide range of criteria. This work aims at determining the practical conditions for implementing agricultural systems considered to be sustainable from an environmental point of view. Two organic dairy systems considered to be environmentally friendly *ex ante* have been designed in partnership with the staff of the INRA research team of Mirecourt. A grazing dairy system and a mixed-crop dairy system are being experimentally tested at the system scale. The two systems have environmental and agricultural objectives. They are managed using multi-objective decision rules and are assessed on their biotechnical and practical properties, using a structured multi-year experimental design, completed by a model-based assessment. Assessment is oriented towards progressive and permanent re-designing of the systems in order to increase their environmental

sustainability and feasibility at the practical level. Knowledge acquired from the two prototypes will then have to be validated on commercial farms.

**Keywords:** prototyping; experimentation at the system scale; mixed-crop system; low-input system.

---

## **Introduction : l'expression des potentialités du milieu par des systèmes agricoles à faibles intrants.**

Les principes fondateurs du développement durable interrogent fortement la profession agricole en l'invitant à considérer la transmission des ressources du milieu naturel aux générations futures. L'accroissement de la productivité des systèmes agricoles des pays développés, opéré au cours des dernières décennies, a été réalisé *via* l'utilisation de nouveaux facteurs de production, parmi lesquels figure une mobilisation accrue des énergies fossiles, conduisant à une certaine artificialisation du milieu. Cette artificialisation du milieu, en partie justifiée par sa pertinence économique, est fortement remise en cause depuis une dizaine d'années, en raison de ses impacts environnementaux. La dégradation de la qualité des eaux lors de la mise en œuvre de pratiques de fertilisation azotée intensives dans les systèmes de culture (Benoît et Papy, 1997) en est un exemple. Le développement durable, prenant acte de cette situation, invite à reconsidérer le rapport de l'activité de production agricole aux ressources naturelles, en leur donnant un rôle central. Les ressources naturelles sont alors vues comme les propriétés structurant les systèmes de production (Chia *et al.*, 2002). Ainsi, au cours de la dernière décennie, des recherches s'intéressant aux systèmes agricoles économes en intrants et soucieux du respect de l'environnement ont été conduites, en se fondant sur le principe de précaution pour ménager les ressources naturelles telles que le sol et l'eau.

Le cahier des charges de l'Agriculture Biologique (AB) est un cadre réglementaire limitant le recours aux intrants de synthèse, impliquant la mise en place de systèmes agricoles économes et relativement autonomes dans des situations de polyculture élevage. Les bienfaits des systèmes agricoles biologiques sur différentes matrices environnementales ont largement été démontrés : l'eau (Benoît *et al.*, 2005), l'air (Weiske *et al.*, 2006), la biodiversité végétale (Bengtsson *et al.*, 2005), la fertilité des sols (Lotter, 2003), la consommation en énergies fossiles (Benoit et Boisdon, 2006). L'AB est vue comme un mode de production qui « va dans le sens de l'agriculture durable » (INRA, 2008).

L'équipe de recherche de l'INRA de Mirecourt travaille au prototypage (ou conception/évaluation) de systèmes de production agricoles durables sur le plan agro-environnemental. Nous faisons l'hypothèse que cette durabilité sera obtenue (i) en structurant les systèmes de production agricoles selon les propriétés du milieu naturel et (ii) en nous inscrivant dans le cadre réglementaire de l'AB, garant de la mise en œuvre de systèmes agricoles à faibles intrants. Ce travail de prototypage de systèmes agricoles vise à (i) déterminer les conditions pratiques de la mise en œuvre de systèmes agricoles *a priori* durables, (ii) mettre au point des méthodes de conception de systèmes de production multi-objectifs et (iii) mettre au point des méthodes d'évaluation multicritère de systèmes agricoles. Dans cet article, nous présentons les avancées méthodologiques réalisées sur le prototypage de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques et autonomes, centré sur une expérimentation à l'échelle du système de production.

## 1. Matériel et méthodes : une conception multi-objectifs et une évaluation multicritère

### 1.1. Une conception « participative »

La conception des systèmes laitiers autonomes testés sur l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt a été réalisée dans le cadre d'une démarche participative en deux étapes successives : (i) la configuration des systèmes de production sur la base de la détermination des potentialités des milieux et (ii) la conception des systèmes multi-objectifs, par une définition des objectifs spécifiques que visent les systèmes configurés.

A l'échelle d'une exploitation agricole, les potentialités des milieux peuvent être très variées : nous postulons que l'agriculteur est la personne la plus qualifiée pour définir cette hétérogénéité. Ainsi, au cours de l'année 2003, le responsable de l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt et les techniciens ont été consultés, afin de définir les potentialités des 240 ha qui constituent l'installation. Les personnes consultées se sont réunies afin de discuter des potentialités des parcelles dans le cadre prédéfini de conception de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques. Ils ont alors qualifié les parcelles selon 4 critères : (i) leur caractère cultivable, (ii) leur capacité à recevoir des céréales de printemps, (iii) leur capacité à recevoir une culture de luzerne, fort de l'expérience acquise au cours des 20 années précédentes, et (iv) leur accessibilité pour les vaches laitières. Cette consultation a abouti à la configuration (i) de blocs de culture (Maxime *et al.*, 1995) et d'îlots de prairie (Josien *et al.*, 1994), sur l'installation expérimentale puis (ii) de deux systèmes de production laitiers moyennant la prise en compte de certaines questions scientifiques, telle que la pérennité d'un troupeau laitier mixte (Montbéliarde et Holstein) dans un système laitier herbager très contraint.

Le prototypage de systèmes agricoles nécessite une définition et une hiérarchisation précise des objectifs qu'ils poursuivent afin (i) de mettre en place des pratiques agricoles visant à atteindre ces objectifs et (ii) d'évaluer le degré d'atteinte de ces objectifs selon une batterie de critères (Vereijken, 1997). Ainsi, en s'inspirant de la méthode de prototypage de Vereijken (1997), un groupe de 5 à 6 ingénieurs de l'unité de recherche de Mirecourt, agronomes et zootechniciens, parmi lesquels était présent le responsable de l'installation expérimentale, a défini les objectifs spécifiques propres à chacun des systèmes configurés au cours de 6 réunions, de novembre 2005 à septembre 2006. A partir des systèmes configurés, le groupe a désagrégé les objectifs selon 3 niveaux, du plus générique au plus précis. Chaque niveau d'objectifs a fait l'objet d'une notation relative à son niveau d'appartenance, permettant ainsi de hiérarchiser les objectifs.

### 1.2. Conduite et évaluation des systèmes de production conçus

L'expérimentation système est un cadre expérimental particulier visant à définir et à valider par un test pluriannuel les modalités de conduite stratégique et opérationnelle de systèmes de production (Dedieu *et al.*, 2002). Les modalités de conduite et d'évaluation de ces expérimentations ont été formalisées dans le cadre d'expérimentations portant sur les systèmes de culture (Reau *et al.*, 1996 ; Meynard *et al.*, 1996).

Les modalités de conduite stratégique et opérationnelle de ces systèmes sont formalisées selon des règles de décision (RdD). La notion de RdD est directement issue du concept de modèle d'action (Sébillotte et Soler, 1990) qui est une formalisation du comportement décisionnel de l'agriculteur. Elle se compose de trois dimensions : (i) stratégie et objectifs de la règle, (ii) énoncé de la règle, (iii) indicateurs d'évaluation permettant de tester le degré d'atteinte des objectifs fixés.

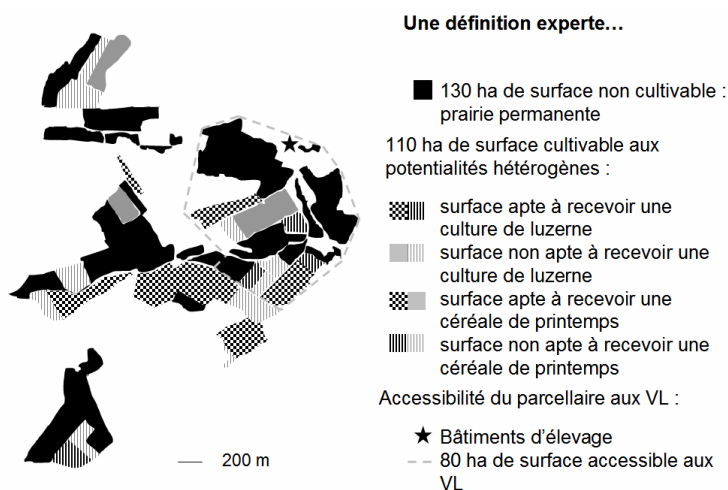
Les évaluations mises en œuvre sont de trois ordres (Meynard *et al.*, 1996) : une évaluation globale, une évaluation agronomique et des essais analytiques. L'évaluation globale vise à rendre compte de la capacité des systèmes de production à réaliser les objectifs assignés. L'évaluation agronomique vise à

évaluer la pertinence biotechnique et pratique des RdD testées sur les systèmes. Au cours de l'expérimentation système, la mise en place de RdD multi-objectifs peut être rendue difficile par l'absence de connaissances scientifiques sur les modalités de conduite envisagées. Deux solutions s'offrent alors à l'expérimentateur : le recours à la connaissance experte et/ou la mise en place d'un essai analytique afin de combler cette lacune de connaissances.

## 2. Résultats : une démarche de conception/évaluation centrée sur l'expérimentation système.

### 2.1. Les systèmes de production testés depuis 2005

La définition des potentialités des parcelles de l'installation expérimentale a abouti à la détermination de blocs de culture et d'îlots de prairie sur le petit territoire de 240 ha (Figure 1). Sur la base de ces blocs de culture et de ces îlots de prairie, deux systèmes de production ont été configurés en affichant la volonté (i) de maintenir l'élevage laitier au sein des systèmes et (ii) de mettre en place des systèmes complémentaires, afin d'étudier les conditions d'une complémentarité durable de systèmes de production dans un petit territoire, essentiellement d'un point de vue environnemental. Ainsi, deux systèmes de production en AB ont été configurés au sein de ce petit territoire de 240 ha : un Système laitier Herbager (SH), et un Système de Polyculture Elevage laitier (SPCE) (Figure 2).

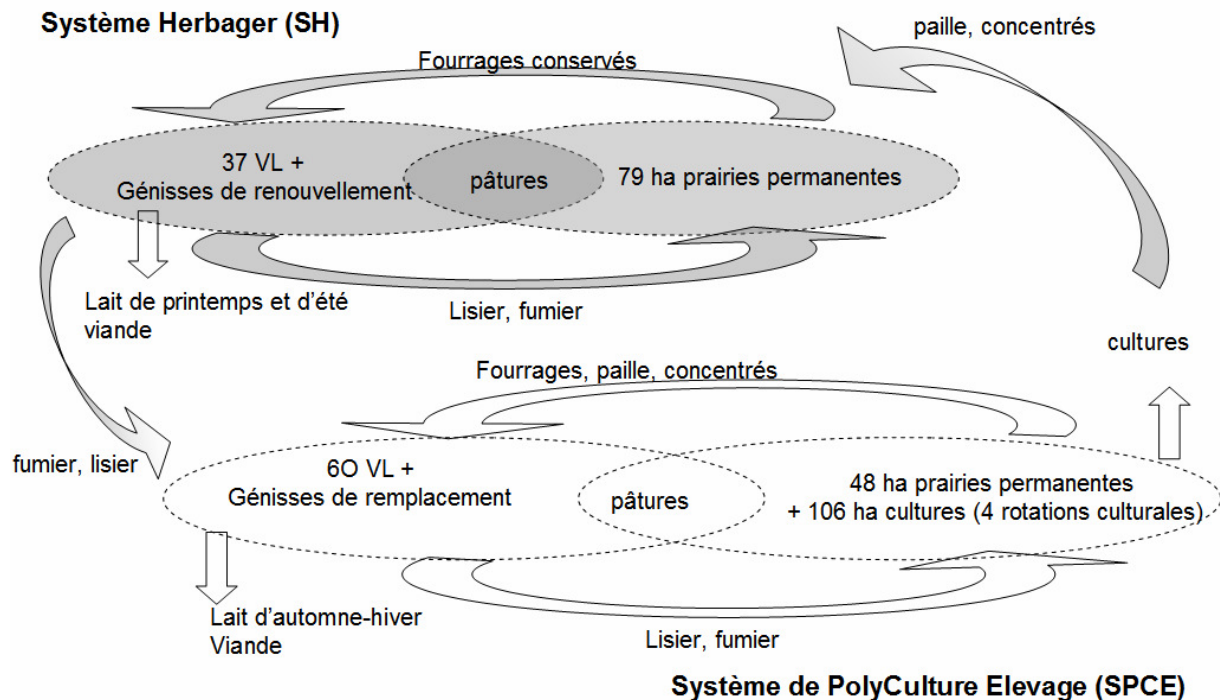


**Figure 1 :** Configuration de l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt (240 ha) à l'issue de la définition experte des potentialités agricoles des parcelles, dans le cadre de la conception de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques.

Les deux systèmes sont complémentaires dans leur conception et dans leur fonctionnement. Ils utilisent des surfaces dont les potentialités agricoles sont différentes et ils présentent des saisonnalités de production laitière marquées et décalées (vêlages groupés sur 3 mois : janvier à avril pour le SH et août à novembre pour le SPCE), permettant une livraison de lait tout au long de l'année à l'échelle du territoire. Des échanges de matières entre systèmes peuvent avoir lieu à condition qu'ils soient mutuels et équivalents sur la base des éléments minéraux (C, N, P, K), afin de limiter les transferts de fertilité (Figure 2).

Le groupe pluridisciplinaire d'ingénieurs a défini les objectifs spécifiques visés par le SH et le SPCE en désagrégeant les trois objectifs globaux poursuivis par chacun des systèmes, à savoir : (i) la préservation des ressources telles que l'eau, l'air et l'énergie (ii), une productivité agricole et (iii) la mobilisation de certaines composantes environnementales au service des systèmes de production telles que les diversités animale et végétale ou la fertilité des sols. La définition des objectifs et leur hiérarchisation constituent le document de référence lors de la mise en place d'une RdD ou lors de l'évaluation des systèmes. Malgré des objectifs généraux similaires, ce travail a permis de distinguer des spécificités d'objectifs entre le SH et le SPCE. Le Système Herbager vise une gestion de la

saisonnalité des besoins alimentaires des vaches laitières afin de maximiser le pâturage. Le Système de Polyculture Elevage vise une gestion de l'articulation entre la diversité des cultures et l'élevage afin de boucler au mieux le cycle des éléments.



**Figure 2 :** Systèmes opérants des deux systèmes laitiers configurés sur l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt : un système herbager (SH) et un Système de Polyculture Elevage (SPCE) complémentaires à l'échelle du petit territoire.

## 2.2. Une conduite multi-objectifs et une évaluation multicritère, pour une conception/évaluation « pas à pas ».

L'évaluation globale des systèmes de production vise à qualifier la durabilité agro-environnementale du SH et du SPCE. Cette évaluation fait appel à une évaluation expérimentale qui se déroule sur un territoire très hétérogène du point de vue du type de sol et des pratiques agricoles qui sont enregistrées à l'échelle de la parcelle (surface moyenne des parcelles : 2,1 ha). Ceci implique d'effectuer des choix de spatialisation et de temporalisation des mesures. Les mesures sur le territoire des systèmes de production testés se concentrent sur 75 zones fixes et géoréférencées de 900 m<sup>2</sup>, homogènes et représentatives du point de vue de la combinaison de 3 facteurs que sont le type de sol (texture x roche mère), le système de culture en place ainsi que le système de culture passé. Ainsi, la fermeture du cycle des éléments bio-géochimiques est évaluée à l'échelle de chaque zone moyennant des bilans entrées-sorties de matières, ainsi que la mesure des pertes d'éléments dans l'eau. La fertilité du milieu est également évaluée *via* le suivi (i) d'une population bio-indicatrice (*Carabidae*) (Kromp, 1999) et (ii) de l'évolution de la flore spontanée des prairies permanentes et des champs cultivés (Gaujour *et al.*, 2009). Cette évaluation expérimentale est complétée par une évaluation assistée par modèles, visant à renseigner les variables difficilement mesurables telles que, par exemple, les émissions de gaz à effet de serre.

L'évaluation agronomique des systèmes de production vise à évaluer les modalités de conduite stratégique et opérationnelle des systèmes de production testés. L'évaluation des modalités de conduite s'intéresse aux performances biotechniques qu'elles permettent d'obtenir ainsi qu'à la faisabilité pratique de leur mise en œuvre. Les performances biotechniques de la conduite sont

évaluées en appliquant le principe de l'écologie de production (Van Ittersum et Rabbinge, 1997) aux troupeaux et aux champs cultivés. Définissant une production potentielle, nous évaluons les facteurs limitants et les facteurs qui réduisent cette production. La faisabilité pratique des stratégies et des règles de conduite est évaluée *a posteriori* via l'analyse de l'évolution des pratiques agricoles au cours du temps : la stratégie et les RdD définies à la conception des systèmes servent alors de situation de référence. Ainsi, le suivi du pilotage, de son évolution et des déterminants de son évolution constitue des éléments importants de compréhension. Ce suivi nécessite de mettre en place des situations d'explicitation des choix de pilotage réalisés et des raisons de ces choix. L'étude de la flexibilité des systèmes face à l'aléa, en particulier l'aléa climatique, offre un cadre d'analyse intéressant pour le suivi et l'explication de l'évolution des pratiques mises en œuvre dans les deux systèmes testés (Coquil et Ingrand, 2008).

Ce dispositif d'évaluation permet ainsi de dresser un tableau de bord du comportement du système orienté vers la conception ou la re-conception. En effet, il s'agit d'un dispositif de conception/évaluation, dans lequel l'évaluation est mise au service de la re-conception afin d'améliorer (i) la durabilité agro-environnementale des systèmes, évaluée par le biais de l'évaluation globale et (ii) les conditions pratiques de mise en œuvre de systèmes de production durables du point de vue de l'environnement, évaluées *via* l'évaluation agronomique. La conception/évaluation est donc un processus d'apprentissage incrémentiel, tirant parti de la flexibilité des systèmes face aux aléas.

### 2.3. Conception/évaluation : les performances de reproduction des vaches laitières du système herbager.

L'objectif de maximisation de la part du pâturage dans les rations des vaches laitières (50 % de Holstein et 50 % de Montbéliardes) nous a conduit à opter pour un groupement des vêlages des vaches laitières du SH sur une période de 3 mois en fin d'hiver (février à avril). En 2005, 65 % des vaches sont gestantes à l'issue de la saison de mise à la reproduction (avril à juillet), ce résultat chutant à 27 % en 2006, mettant en danger la pérennité du troupeau. Les génisses sont moins affectées par ces difficultés (Tableau 1).

**Tableau 1** : Performances de reproduction des vaches laitières du système herbager au cours des campagnes de mise à la reproduction de 2005 et 2006.

	2005	2006
<b>Vaches</b>		
Taux fertilité (IA1 et IA2) (%)	54	23
Taux fertilité (%)	65	27
<b>Génisses</b>		
Taux fertilité (IA1 et IA2)* (%)	79	71
Taux fertilité (%)	86	88

\*IA : Insémination artificielle ; IA1 : première insémination artificielle reçue par la génisse ou par la vache après mise bas ; IA2 : seconde insémination artificielle reçue par la génisse ou par la vache après mise bas.

Pour analyser ce dysfonctionnement, deux types d'analyses ont été conduites sur la base des mesures collectées *via* l'évaluation agronomique : (i) une investigation analytique traitant de données quantitatives relatives à l'animal, et (ii) une analyse des pratiques d'élevage visant à reconsidérer les performances de reproduction au sein de la globalité du système d'élevage et notamment ses pratiques de pâturage. Pour la première étude, au moyen de régressions logistiques, il s'est agi d'analyser les liens entre (i) variables visant à refléter le bilan énergétique de la vache et (ii) résultats de reproduction.

Ce travail nous a incité à considérer les données de production laitière comme pertinentes pour comprendre l'élaboration des performances de reproduction, à la condition de les analyser de manière dynamique. Nous avons comparé les formes des courbes de lactation entre différents groupes de vaches, établis sur la base de notre deuxième étude qui mettait en exergue des différences inter-individuelles au niveau de la conduite et de l'alimentation des vaches. Ainsi, pour une campagne de reproduction donnée, celle de 2005, nous avons par exemple analysé ensemble les vaches qui ont vêlé plus d'un mois avant la mise à l'herbe d'une part, et celles qui ont vêlé après la mise à l'herbe d'autre part. Il en résulte qu'un vêlage après la mise à l'herbe semble être un facteur de risque pour la reproduction, l'hypothèse associée étant qu'une production laitière, d'emblée stimulée par l'herbe pâturée, entraîne une plus forte mobilisation des réserves corporelles préjudiciable à la reproduction.

Cette proposition d'analyse a conduit l'équipe de recherche à re-concevoir le système, notamment en avançant la saison de reproduction d'un mois dans l'année (d'avril à juillet), de manière à maximiser le nombre des vêlages ayant lieu avant la mise à l'herbe (janvier à mars), et à réduire ainsi les risques d'échecs à la mise à la reproduction.

### **3. Discussion : un nécessaire élargissement du dispositif de conception/évaluation de systèmes de production**

La complémentarité entre l'évaluation expérimentale de systèmes de production et l'évaluation assistée par modèles de systèmes de production virtuels est un point clef du processus de conception/évaluation. En effet, l'expérimentation système est un dispositif permettant de paramétrer et/ou de valider des modèles d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de production, tel que Dexi-SH\* (Gerber *et al.*, 2009) appliqué à la durabilité agro-environnementale des systèmes d'élevage laitiers herbagers. En contrepartie, les modèles ou méthodes d'évaluation multicritère de la durabilité de systèmes de production autorisent l'évaluation *a priori* de la durabilité de systèmes de production virtuels, potentiellement candidats à un test en situation expérimentale. Celui-ci permet alors d'évaluer la faisabilité pratique du système. Ce processus itératif de conception/évaluation, reposant sur les situations d'expérimentation système et de modélisation, semble intéressant car plus intégratif et plus rapide que la seule situation expérimentale.

Toutefois, les connaissances acquises dans le cadre de l'expérimentation système sont très contraintes par la situation unique qu'elle représente : un contexte pédo-climatique et une situation socio-économique très singulière du fait de la situation expérimentale. De plus, l'apprentissage incrémentiel, tirant parti de l'expression de la flexibilité des systèmes, est très dépendant de l'expression de l'aléa. Ceci implique qu'une expérimentation doit se dérouler sur un pas de temps long, surtout dans le cadre d'études portant sur des systèmes agricoles autonomes, essentiellement soumis à l'aléa climatique. Pour faire face à ces nombreuses contraintes, il serait certainement pertinent de valider les connaissances acquises en situation expérimentale par la multiplication de prototypes, en s'intéressant à des exploitations commerciales dans des situations variées mais opérant toutes un changement vers plus d'autonomie afin qu'elles soient en situation d'apprentissage.

### **Conclusion :**

Le prototypage de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques et autonomes permet d'identifier les conditions stratégiques et pratiques de mise en œuvre de ces systèmes, tout en évaluant leur durabilité agro-environnementale. Un certain nombre d'avancées structurantes a été réalisé concernant les méthodes de conception et d'évaluation de ces systèmes. Ce cadre méthodologique et la situation originale du dispositif expérimental construit à l'INRA de Mirecourt permettent l'intervention d'équipes de recherche extérieures, de disciplines variées. Ces interventions sont nécessaires à la mise en œuvre d'une évaluation multicritère des systèmes testés.



### Références bibliographiques :

- Bengtsson A., Ahnström J., Weibull A.-C., 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42, 261-269.
- Benoit M., Boisdon I., 2006. Efficacités énergétiques comparées d'exploitations d'élevage ovins viande et bovins lait conduites en agriculture biologique ou conventionnelle. AFPP, Paris, p. 182-183.
- Benoît M., Larramendy S., Foissy D., Rouyer G., Caudy L., Bazard C., Bernard P.Y., 2005. Agriculture biologique et qualité des eaux : Depuis des observations et enquêtes à des tentatives de modélisation en situation de polyculture-élevage. In: Sylvander, B., Savini I. (Eds.), Séminaire sur les recherches en Agriculture Biologique INRA-ACTA. 2<sup>ème</sup> partie, atelier 2 : Santé des plantes. Draveil, 2003/11/20-21 : 293-312.
- Benoît M., Papy F., 1997. Pratiques agricoles et qualité de l'eau sur le territoire alimentant un captage. In : Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Neveu A., Papy F. (Eds.), L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau. Paris, INRA, p. 323-338.
- Chia E., Dedieu B., Deffontaines J.P., Dorado G., 2002. Espaces, exploitations, développement rural : proposition d'une démarche de diagnostic territorial (Argentine). *Agricultures* 11, 333-341.
- Coquil X., Ingrand, S., 2008. Prototyping sustainable dairy systems by evaluating their flexibility and plasticity in a system experimentation. IFSA, 7-10 juillet, 2008, Clermont-Ferrand.
- Dedieu B., Louault F., Tournadre H., Benoit M., De Montard F.X., Thériez M., Brelurut A., Toporenko G., Pailleux J.Y., Teuma J.B., Liénard G., 2002. Designing a livestock system integrating rearing and environmental concerns: contribution of a system experiment in meat sheep production. 9emes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, p. 391-394.
- Gaujour E., Amiaud B., Fiorelli J-L., Mignolet C., Coquil X., 2009. Effets de la dynamique des pratiques culturales lors de la conversion à l'Agriculture Biologique sur la végétation des prairies permanentes. *Innovations Agronomiques* 4, 229-238.
- Gerber M., Astigarraga L., Bockstaller C., Fiorelli J.L., Hostiou N., Ingrand S., Marie M., Sadok W., Veysset P., Ambroise R., Plantureux S., Coquil X., 2009. Le modèle Dexi-SH\* : modèle d'évaluation multicritère de la durabilité agro-écologique des systèmes d'élevage laitier herbager. *Innovations Agronomiques* 4, 249-252.
- INRA, 2008. Les recherches sur l'agriculture biologique à l'INRA. INRA Editions, Paris, 2 p.
- Josien E., Dedieu B., Chassaing C., 1994. Etude de l'utilisation du territoire en élevage herbager. L'exemple du réseau extensif bovin limousin. *Fourrages* 138, 115-134.
- Kromp B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 187-228.
- Lotter D.W., 2003. Organic Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 21, 59-128.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures* 4, 351-362.
- Meynard J.M., Reau R., Robert D., Saulas P., 1996. Evaluation expérimentale des itinéraires techniques. Comité Potentialités-ACTA-Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF), p. 63-70.
- Reau R., Meynard J.M., Robert D., Gitton, C., 1996. Des essais factoriels aux essais "conduite de culture". Comité Potentialités-ACTA-Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF), p. 52-62.
- Sébillotte M., Soler L.-G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs – I. Acquis et questions vives. In : Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.L. (Eds.), Modélisation systémique et systèmes agraires, INRA Editions, Paris p. 83-102.
- Van Ittersum M.K., Rabbinge R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research* 52, 197-208.
- Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy* 7, 235-250.

Weiske A., Vabitsch A., Olesen J.E., Schelde K., Michel J., Friedrich R., Kaltschmitt M., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming, *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 221-232.