

Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique

X. COQUIL¹, A. BLOUET^{1, 2}, J.-L. FIORELLI¹, C. BAZARD¹, J.-M. TROMMENSCHLAGER¹

¹ INRA, UR055 SAD ASTER-Mirecourt, F-88500 Mirecourt, France

² Université H. Poincaré, Le Montet, F-54600 Villers-les-Nancy, France

Courriel : Xavier.Coquil@mirecourt.inra.fr

L'essentiel des problèmes environnementaux et sociaux occasionnés par l'intensification de la production agricole découle de l'usage important d'intrants achetés et de la spécialisation des activités (Legrand *et al* 2004). Ce modèle d'agriculture intensive traduit aussi l'ambition des acteurs de s'affranchir des contraintes naturelles. Toutefois, les pratiques de culture ou d'élevage mises en oeuvre sans prendre en considération des milieux physiques sur lesquels elles s'appuient (monocultures de maïs, techniques de travail du sol systématisées...) mettent en danger les ressources qui les constituent (eau, sol, biodiversité, air). Un tel modèle génère ainsi ses propres obstacles qui sont souvent considérés comme de simples anomalies n'appelant que des corrections mineures (mise en place de bandes enherbées pour «limiter» les ruissellements de nitrates et de pesticides, par exemple...). Pourtant, ces obstacles mettent en péril la reproduction même du modèle de production, et les mesures correctrices, issues des mêmes logiques, ne font souvent que les déplacer vers d'autres matrices environnementales, voire les aggravent. Par exemple, des mesures de traitement et de délocalisation des épandages de lisier en zone d'excédent structurel, déplacent le problème de la pollution des eaux vers un problème d'émission de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie fossile (Lopez-Ridaura *et al* 2009). Aussi la question se pose de savoir s'il ne faudrait pas changer de modèle.

A l'instar de Deffontaines (1984), nous postulons que la conception de systèmes agricoles à partir de l'hétérogénéité du milieu, perçue comme une ressource présentant des opportunités et des limites, est une condition de leur durabilité agro-environnementale. En effet, bien qu'en partie oublié par l'agronomie contemporaine, le milieu

est constitutif des régions naturelles. Il présente une diversité de situations climatiques et édaphiques à valoriser plutôt que de chercher à la supprimer ; à cette diversité de situations correspond une variété de ressources et de potentialités (Auricoste *et al* 1985) qui peuvent être mises au service de l'activité agricole, voire des activités rurales. A l'échelle de l'exploitation agricole, un mode d'utilisation des sols ajusté à leurs potentialités devrait conduire à mieux articuler productions végétales et productions animales. La pérennité d'une telle association est assurée par des processus de coordination dans lesquels les cultures non seulement sont liées aux animaux mais en dépendent beaucoup au travers du bouclage du cycle des éléments. L'utilisation des synergies biotechniques génère des économies de gamme : les produits d'une activité sont utilisés comme intrants pour une autre activité et se traduisent au passage par une réduction des dépenses. Les systèmes de polyculture-élevage constituent l'archétype de cette coordination interne à l'entreprise agricole (Vermersch 2007).

L'analyse précédente invite à considérer le milieu comme principe organisateur de l'activité agricole et à envisager la préservation de son intégrité fonctionnelle (Thompson 1997) comme une condition et un moyen de gestion des ressources naturelles. L'expression des potentialités du milieu permet de minimiser son artificialisation et consiste donc à limiter les importations de matière sur le territoire agricole. Le cahier des charges de l'agriculture biologique représente un cadre propice au prototypage (conception/évaluation) de systèmes agricoles durables du point de vue de l'environnement. Il interdit l'usage des intrants de synthèse : les systèmes agricoles biologiques offrent un cadre intéressant pour mener des recherches sur les

modalités de conduite basées sur l'anticipation et la prévention. La démarche de prototypage présentée dans cet article est centrée sur un dispositif d'expérimentation-système.

L'expérimentation système est un cadre expérimental particulier visant à définir et à valider, par un test plurianuel, les modalités de conduite stratégique et opérationnelle de systèmes de production (Dedieu *et al* 2002). Ainsi, les systèmes agricoles et leur pilotage sont ajustés «pas à pas» afin d'atteindre les objectifs qui leur ont été fixés, tout en faisant face aux aléas.

Les systèmes agricoles envisagés dans cette étude visent plusieurs objectifs : des objectifs environnementaux, en souhaitant mobiliser et pérenniser les ressources du milieu au service des agrosystèmes (qualité de l'eau et de l'air, biodiversité, fertilité des sols et limitation de la consommation d'énergie) et des objectifs agricoles, en maintenant des systèmes productifs. Ils n'incluent pas d'objectif de durabilité économique : ce prototypage ne vise pas à échafauder des systèmes viables (Landais 1998) mais à étudier les conditions agronomiques et techniques dans lesquelles les systèmes peuvent fonctionner durablement sur les plans biologique et écologique, tout en satisfaisant un projet de production. En effet, si on intègre d'emblée la viabilité économique dans la conception des systèmes, ce sont l'environnement et l'agronomie qui servent de variables d'ajustement, ce qui rend alors illusoire le maintien de l'équilibre écologique et agronomique des systèmes. Nous postulons que si les productions issues de ces systèmes sont respectueuses de l'environnement, alors elles pourront justifier des prix de vente rémunérateurs ou l'octroi de soutiens publics, afin d'assurer la viabilité économique au cas où elles ne seraient pas viables ;

c'est toutefois aux décideurs politiques qu'il appartient de choisir d'assurer ou non la pérennité de tels systèmes de production.

Ainsi, l'objectif est de concevoir et d'évaluer des systèmes agricoles en répondant principalement à la question : quelle configuration territoriale et quels modes de conduite pour des systèmes en Agriculture Biologique (AB) et *a priori* durables parce que conçus à partir des potentialités du milieu ? Dans un premier temps nous exposons la méthode de conception des systèmes biologiques testés au sein du petit territoire de polyculture élevage laitier de l'Installation Expérimentale (IE) de l'unité ASTER-Mirecourt. Dans un deuxième temps, nous présentons les caractéristiques des systèmes auxquels cette méthode a abouti et leur fonctionnement depuis 2006. Enfin, les premières observations réalisées sont discutées en revenant sur les fondements agronomiques de ces systèmes.

1 / La mise en place des systèmes prototypes sur l'installation expérimentale de l'INRA ASTER-Mirecourt

La conception et l'évaluation de ces systèmes de production agricoles s'appuient sur un dispositif qui mobilise l'ensemble de l'IE de l'Unité ASTER-Mirecourt. Cette IE est totalement convertie à l'Agriculture Biologique depuis septembre 2006 (période de conversion de septembre 2004 à septembre 2006). Elle s'étend sur un parcellaire groupé de 240 ha et comprend un troupeau bovin laitier d'une centaine de vaches suitées de races Holstein et Montbéliarde. Elle est localisée dans la Petite Région Agricole (PRA) dite du Plateau Lorrain Sud. D'un point de vue agronomique, la PRA est caractérisée par des plateaux calcaires et des plaines argileuses correspondant à des types de sol différenciés.

1.1 / Une conception des systèmes de production selon une démarche en deux étapes

a) Caractérisation des potentialités du territoire

Dans la perspective de «faire avec le milieu», les potentialités de l'ensemble des parcelles ont été définies en 2004 par les membres de l'IE à partir de leur expertise et de leur connaissance des réalités locales, accumulées pour cer-



INRA : E. Gaujour

tains depuis plus de 20 ans. La configuration du territoire a été réalisée sur la base de deux impératifs : 1) cultiver l'ensemble des parcelles reconnues cultivables et 2) y permettre la conception de deux systèmes laitiers, ayant recours à une seule salle de traite. Les critères retenus ont porté sur les caractéristiques agronomiques et géographiques des parcelles (type de sol, superficie et forme, pente, hydromorphie) et les contraintes logistiques (accessibilité pour les vaches laitières). Les parcelles jugées cultivables ont été affectées à des rotations culturales différenciées selon leur capacité à recevoir une culture de luzerne et leur portance en sortie d'hiver, déterminant la capacité à y cultiver des céréales de printemps. Les parcelles jugées non cultivables ont été allouées à la prairie permanente, en distinguant celles dont la distance aux bâtiments les rendait accessibles aux vaches laitières (moins de 2 km de la salle de traite). A partir de cette caractérisation des parcelles de l'IE, deux systèmes de production biologiques ont été configurés.

b) Hiérarchisation des objectifs des systèmes

Les différents objectifs assignés aux systèmes de production et à leurs modalités de conduite ont été précisément définis et hiérarchisés en 2005 afin *i)* de mettre en place des pratiques agricoles qui permettent de les atteindre et *ii)* d'identifier les critères qui permettent d'évaluer leur degré de réalisation. Ces objectifs ont été collectivement définis par le groupe de chercheurs, agronomes et zootechniciens, intervenant sur le dispositif expérimental de Mirecourt. La démarche mise en œuvre consiste à décliner et hiérarchi-

ser les objectifs depuis un niveau global jusqu'à un niveau pratique. Elle est inspirée de la méthode de prototypage de Vereijken (1997).

La définition et la hiérarchisation des objectifs a été réalisée dans le cadre de trois séances de travail pour chaque système de production. Ces séances étaient animées par l'un des ingénieurs du dispositif, en charge de faire respecter les consignes de travail. Ces consignes précisaient que les objectifs exprimés devaient tenir compte des règles définies lors de la conception des systèmes telles que le respect de la configuration du territoire, l'autonomie en paille et en aliments des systèmes, la complémentarité entre les deux systèmes à l'échelle du petit territoire et la conception de systèmes à partir de et pour l'environnement.

1.2 / Evaluation pluri-annuelle des systèmes au service de leur conduite

Le dispositif d'évaluation des systèmes a pour objectif de dresser un tableau de bord de leur fonctionnement orienté vers la conception ou la reconception, afin d'améliorer leur durabilité agro-environnementale et les conditions pratiques de leur mise en œuvre. La conception/évaluation de systèmes agricoles est ainsi un processus d'apprentissage incrémentiel, tirant notamment partie de la flexibilité des systèmes face aux aléas (Coquil et Ingrand 2008, Coquil *et al* 2009a).

L'évaluation mise en œuvre est déclinée selon trois niveaux (Meynard *et al* 1996) : une évaluation globale, une évaluation agronomique et des essais

analytiques. Dans cet article, notre propos porte principalement sur l'évaluation agronomique des systèmes. Elle concerne les performances biotechniques permises par les modalités de conduite stratégique et opérationnelle ainsi que la faisabilité pratique de leur mise en œuvre. Les performances biotechniques sont évaluées en appliquant le principe de l'écologie de production (Van Ittersum et Rabbinge 1997) aux troupeaux ainsi qu'aux prairies et aux champs cultivés : à partir d'une production potentielle, sont évalués les facteurs limitants et les facteurs qui réduisent cette production.

Concernant les troupeaux, les performances sont évaluées par des pesées mensuelles des animaux en croissance et des animaux en production, le contrôle des performances laitières lors de chaque traite et un contrôle hebdomadaire individuel de la qualité du lait (taux butyreux, taux protéique, comptage cellulaire). Le suivi qualitatif et quantitatif de l'alimentation des animaux est réalisé par lot : les aliments distribués (fourrages stockés, aliments concentrés) et les refus sont pesés. Les stocks d'herbe au pâturage sont estimés à partir de relevés hebdomadaires de la hauteur de l'herbe (herbomètre à plateau) et de la densité de l'herbe dans les parcelles pâturées. La quantité d'herbe ingérée au pâturage est évaluée à partir de l'estimation du stock d'herbe en entrée et en sortie de parcelle (relevés hebdomadaires corrigés de la croissance). Les événements de santé et de reproduction sont enregistrés pour chaque animal et l'état corporel des vaches laitières est noté à chaque pesée.

Concernant les prairies et les surfaces cultivées, les performances sont évaluées sur 75 zones fixes et géoréférencées de 900 m², homogènes et représentatives du point de vue de la combinaison de trois facteurs : le type de sol (texture x roche mère), le système de culture en place ainsi que le passé cultural. Sur ces zones, le rendement des prairies est évalué par la pesée de l'herbe récoltée à chaque fauche et par l'estimation de l'herbe ingérée à chaque cycle de pâturage. Le rendement des cultures est évalué de manière précise à l'aide d'une mini-moissonneuse. Les facteurs limitants et réduisant le rendement des céréales sont également évalués, par le comptage des populations de céréales à la levée et en sortie d'hiver, et la notation des facteurs qui réduisent le rendement, tels que les maladies (notations

avant récolte), les adventices et les attaques de ravageurs. Une évaluation des rendements à la parcelle est également réalisée pour les récoltes de fourrages et de céréales (grain et paille).

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 modalités de conduite définies à la conception des systèmes servent alors de situation de référence. Ainsi, le suivi du pilotage, de son évolution et des déterminants de celle-ci constituent des éléments importants de compréhension. Il a nécessité de mettre en place des situations d'explicitation sur les choix de pilotage réalisés. Au cours de réunions consacrées aux décisions de conduite et qui rassemblent le personnel technique, le responsable de l'IE et un chercheur, les modalités de pilotage sont explicitées et écrites.

En complément de l'évaluation agronomique des systèmes de production, une évaluation dite globale est mise en œuvre pour rendre compte de la capacité des systèmes à atteindre les objectifs qui leur sont assignés c'est-à-dire pour qualifier leur durabilité agro-environnementale. Elle est basée sur des observations et des mesures *in situ* visant à renseigner les flux d'éléments biogéochimiques et la biodiversité floristique et faunistique au sein du territoire. Enfin, dans le déroulement de l'expérimentation système, la conduite multi-objectifs peut être rendue difficile par l'absence de connaissances scientifiques sur certaines questions. Nous avons alors recours à la connaissance experte, *via* des dispositifs d'enquêtes chez des agriculteurs biologiques, et/ou à la mise en place d'essais analytiques afin de combler cette lacune de connaissances. Ces deux niveaux d'évaluation ne sont pas repris dans cet article.

2 / Les premiers résultats issus de l'expérimentation

Deux systèmes de production ont été configurés à partir de la diversité des types de sol du petit territoire de l'IE : un Système de PolyCulture-Elevage (SPCE) et un Système Herbager (SH) dont les parcelles s'interpénètrent au sein du territoire. Cette configuration est représentative du contexte départemental et régional : les OTEX «herbivores» et «herbivores plus grandes cultures» représentent 72% des

exploitations professionnelles en Lorraine et 93% dans les Vosges. L'élevage bovin laitier reste dominant dans la petite région du centre des Vosges et compte tenu de sa place dans l'histoire de l'INRA de Mirecourt, il a été convenu de le maintenir dans les deux systèmes. Les résultats sont exposés en 2 parties. La première est consacrée à la présentation des deux systèmes testés et à leur configuration territoriale obtenue dans la perspective de «faire avec le milieu». La seconde aborde les modalités de conduite des systèmes et des indicateurs quantitatifs permettant d'évaluer leurs performances.

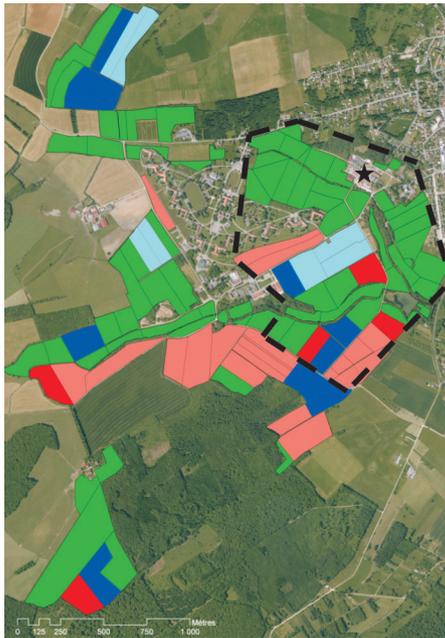
2.1 / Deux systèmes pour valoriser l'hétérogénéité du territoire

Le territoire de l'IE comprend 110 ha de surfaces cultivables et 130 ha de surfaces non cultivables. Ce territoire a été configuré *i)* en 4 blocs de culture (Maxime *et al* 1995) considérant l'hétérogénéité des parcelles cultivables, et *ii)* en îlots de prairie permanente (Josien *et al* 1994) pour les parcelles non cultivables (figure 1). Ce territoire correspond à un seul corps de ferme comportant une salle de traite unique : le parcellaire accessible pour les vaches laitières se limite à 80 ha pour l'ensemble des deux systèmes.

La conception des deux systèmes est réalisée sur la base de ce découpage du territoire et de la volonté scientifique d'étudier la conduite d'un «système laitier très pâturant» dans l'Est de la France. Ainsi, les prairies permanentes les plus productives ont été affectées au Système laitier Herbager : elles représentent 78 ha utilisés par un troupeau d'environ 40 vaches laitières et les génisses de renouvellement. Le Système de PolyCulture-Elevage mobilise les parcelles les plus propices à la culture (110 ha) selon 4 systèmes de culture (correspondant aux 4 blocs de cultures précédemment définis), et 50 ha de prairies permanentes. Un troupeau de 60 vaches laitières et les génisses de renouvellement en utilisent les ressources fourragères. Chaque système assure son autonomie fourragère. Le SPCE assure l'autonomie en paille et en concentrés des deux systèmes, le SH lui rétrocède du fumier. Ces échanges sont nécessaires au bouclage du cycle des éléments et à la limitation du transfert de fertilité entre les deux systèmes.

Les troupeaux du SH et du SPCE ont été constitués au début de la période de

Figure 1. Configuration de l'installation expérimentale de l'INRA de Mirecourt (240 ha) à partir de la caractérisation, à dire d'experts, des potentialités agricoles des parcelles, dans le cadre de la conception de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques.



Une définition experte...

130 ha de surface non cultivable :

- des îlots de prairie permanente

110 ha de surface cultivable aux potentialités hétérogènes : 4 blocs de cultures

- surface apte à recevoir une culture de luzerne
- surface non apte à recevoir une culture de luzerne
- surface apte à recevoir une céréale de printemps
- surface non apte à recevoir une céréale de printemps

Accessibilité du parcellaire aux VL :

- ★ Bâtiments d'élevage
- 80 ha de surface accessible aux VL

conversion à l'AB (septembre 2004), à partir du troupeau unique qui pré-existait, en réalisant une réforme importante des vaches dont le lait présentait de forts comptages cellulaires. Les races Montbéliarde (Mo) et Holstein (Hn) sont présentes et maintenues à parité dans le SH et le SPCE. La répartition des vaches laitières entre les deux systèmes a été réalisée sur la base des gestations et des inséminations réalisées en 2004. Les cohortes de génisses déjà nées ont été réparties entre les 2 systèmes en prenant en compte la parité des races dans l'ensemble des lots, et leur âge au 1^{er} vêlage, en ciblant aux alentours de 3 ans dans les fenêtres de vêlages de chacun des systèmes. A compter de cette répartition initiale, aucun échange d'animaux n'a été prévu entre les troupeaux.

L'objectif général de chacun des systèmes est décliné, à un premier niveau, selon des objectifs environnementaux et des objectifs agricoles. Ainsi, le système herbager vise une gestion *i)* des entités du territoire agricole dans l'optique d'une durabilité environnementale et *ii)* de la saisonnalité des besoins du troupeau pour maximiser le pâturage. Le SPCE vise une gestion *i)* des entités du territoire agricole dans l'optique d'une durabilité environnementale et *ii)* l'articulation de la diversité des cultures et de l'élevage pour boucler le cycle des matières. Ces deux objectifs ont été déclinés dans un second niveau, selon les enti-

tés de gestion auxquelles ils s'appliquent (prairies, parcelles cultivées, bordures...) pour chacun des systèmes (figure 2). Les objectifs de chaque entité gérée ont ensuite été déclinés en objectifs plus «opérationnels» (produire de la paille pour la litière, limiter la consommation énergétique...). Chaque objectif a fait l'objet d'une hiérarchisation au sein de son «niveau de déclinaison».

La conduite des troupeaux vise une complémentarité de livraison des productions laitières en maintenant une forte saisonnalité de vêlages pour chacune. La conduite du SH est basée sur une maximisation du pâturage dans l'alimentation du troupeau : le principe de fonctionnement de ce système consiste à synchroniser les besoins alimentaires des vaches avec la disponibilité de l'herbe à pâturer. Les vêlages du SH sont ainsi groupés sur une période de 3 mois en fin d'hiver (15 février-15 mai). Par souci de complémentarité des saisons de production laitière des deux systèmes, mais aussi de valorisation de fourrages diversifiés plus propices à la confection de régimes hivernaux (foin de luzerne/dactyle, foin de prairie temporaire et aliments concentrés fermiers), les vêlages du SPCE sont groupés sur 3 mois en fin d'été et en automne (15 août-15 novembre). Cette situation atténue les pics de production laitière des 2 systèmes à l'échelle du petit territoire que constitue l'IE (figure 3).

2.2 / Une conduite des systèmes évolutive selon le comportement des ressources

Les premiers résultats de l'évaluation agronomique des systèmes sont présentés dans cette synthèse, à l'issue de quatre campagnes laitières pour le SH (2005 à 2008), et de deux campagnes laitières pour le SPCE (2006/2007 et 2007/2008). En effet, malgré une conversion simultanée à l'AB, la mise en place du SPCE a été plus lente que celle du SH en raison *i)* d'une nécessité d'avancement de la période des vêlages, techniquement difficile à réaliser, *ii)* de la diversité des ressources qui y sont mobilisées, nécessitant un changement d'occupation des sols, mais aussi une consommation des stocks résiduels issus de la période conventionnelle antérieure.

a) Le système herbager : un système très économe basé sur la saisonnalité de la ressource herbagère

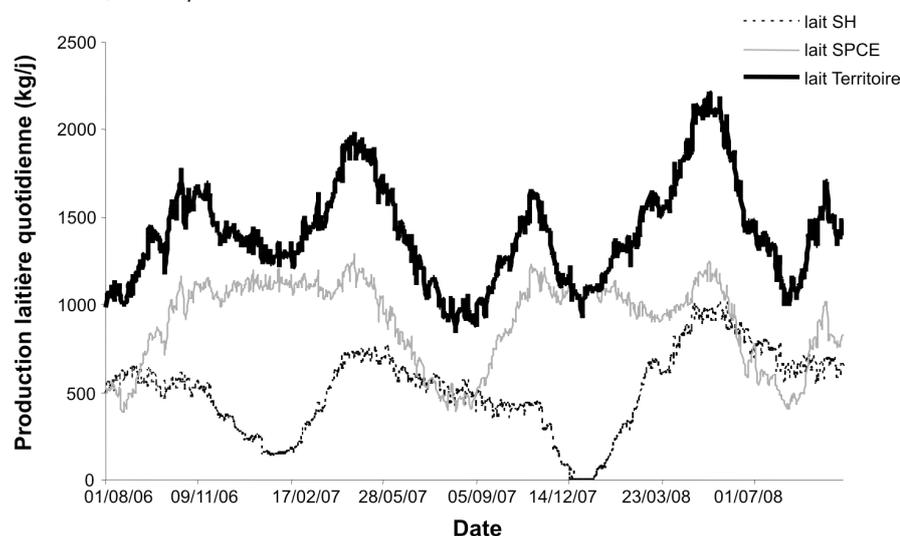
Dans la perspective d'une autonomie alimentaire aussi poussée que possible de ce système, les vaches laitières et les génisses du SH sont conduites selon une stratégie d'alimentation maximisant le pâturage, les stocks distribués étant sous forme de fourrages secs (foin et regain). Ce système est conduit sans aliment concentré hormis pour les veaux.

Figure 2. Déclinaison et hiérarchisation des objectifs visés par les systèmes laitiers biologiques testés sur l'IE de Mirecourt : Système Herbager (SH) et Système de PolyCulture Elevage (SPCE). Illustration des «objectifs opérationnels» sur l'entité gérée «2.2 Prairie Temporaire luzerne».

SH		Niveaux			note globale
		1	2	3	
1. Gérer les entités du domaine agricole dans l'optique d'une durabilité environnementale		Notes			5
1.1 Echanges inter-systèmes (matières)			2		
1.2 Surfaces en herbe			3		
1.3 Bordures et haies			3		
1.4 Logement des animaux			1		
1.5 Stockage des effluents			3		
1.6 Chemins + aires de transfert (gués)			3		
2. Gérer la saisonnalité des "besoins" pour maximiser le pâturage		Notes			4
2.1 Prairies			3		
2.2 Troupeau			3		
2.3 Déjections			2		
2.4 Fourrages récoltés			2		

SPCE		Niveaux			note globale
		1	2	3	
1. Gérer les entités du territoire agricole dans l'optique d'une durabilité environnementale		Notes			5
1.1 Echanges inter-systèmes			2		
1.2 Surfaces en prairies permanentes			3		
1.3 Systèmes de culture rotationnels			3		
1.4 Bordures et haies			3		
1.6 Logement des animaux			2		
1.7 Stockage des effluents.			3		
1.8 Chemins et aires de transfert			2		
2. Articuler la diversité des cultures et l'élevage pour boucler le cycle des matières		Notes			4
2.1 Prairies permanentes			2		
2.2 Prairies temporaires-luzerne			3		
2.2.1 Constituer des stocks fourragers importants au prtps et en été (foin + regain)			2		24
2.2.2 Sécuriser le pâturage des VL (voire des ge) en période de faible pousse des pp			2		24
2.2.3 Fixer de l'N et séquestrer du C pour la rotation			2		24
2.2.4 Couvrir le sol grâce au semis sous couvert			1		12
2.2.5 Sécuriser la production fourragère face à l'aléa climatique			2		24
2.2.6 Limiter la population d'adventices dans la rotation			2		24
2.3 Cultures annuelles			3		
2.4 Couverts intercultures			1		
2.5 Sols			3		
2.6 Produits végétaux récoltés			2		
2.7 Troupeaux			1		
2.8 Déjections animales			3		

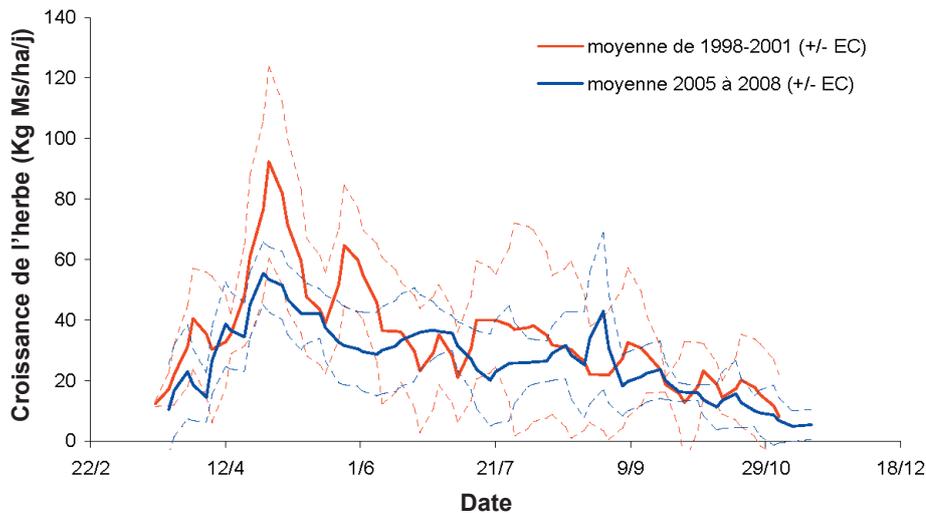
Figure 3. Productions laitières journalières des systèmes SH et SPCE, et productions laitières cumulées des deux systèmes à l'échelle du territoire de l'IE de l'INRA ASTER-Mirecourt, sur la période du 1^{er} août 2006 au 5 octobre 2008.



- Une production herbagère soutenue et finalement peu saisonnée

La production des prairies permanentes du SH est restée relativement élevée depuis la conversion à l'AB, en permettant de valoriser, en moyenne sur les quatre campagnes considérées, 5,4 TMS/ha (Fiorelli *et al* 2009). La combinaison du pâturage et de la fauche au cours d'une même campagne a abouti quasi systématiquement aux productivités les plus élevées. Un climat favorable à la pousse de l'herbe sur la période expérimentale a permis de bénéficier d'une grande régularité de pousse de l'herbe au pâturage, avec un écrêtement marqué du pic de croissance printanier (figure 4). La conduite de la fertilisation des prairies visait à compenser les exportations liées à la récolte de foin, par un apport de 15 T/ha de lisier par coupe sur les prairies

Figure 4. Croissance de l'herbe estimée (moyenne \pm écart-type) sur les prairies permanentes pâturées par les vaches laitières du SH depuis la conversion à l'AB (2005-08) et par le troupeau unique avant la conversion à l'AB (1998-2001).



fauchées. Les prairies pâturées n'ont bénéficié que des déjections par les animaux.

Le pâturage des vaches laitières a été conduit en rotation, en utilisant 40 ares/vache entre la fin du déprimage et l'extension estivale sur les repousses de fauche. Afin de maximiser l'herbe pâturée dans l'alimentation, la période de pâturage a été allongée par une sortie précoce au pâturage au printemps et une entrée tardive à l'automne. Les animaux sont sortis entre le 20 mars et début avril, ce qui a généralement permis de réaliser un déprimage des prairies. A l'automne, les vaches sont rentrées au cours de la dernière décade de novembre, aboutissant ainsi à des durées de pâturage de 242 j/an en moyenne (215 j + nuits/an) de 2005 à 2008. Une complémentation en foin a été distribuée à compter du mois d'octobre, voire seulement début novembre.

La récolte du foin (environ 50 ha) a débuté entre le 20 mai et début juin, pour s'achever au plus tôt le 20 juin et au plus tard le 15 juillet. En moyenne, cette première coupe a permis de

récolter 3,4 T MS/ha. La seconde coupe, récoltée sur la base des excédents d'herbe du pâturage, a donné lieu à une production moyenne de 1,4 T MS/ha.

- Une production laitière de bon niveau au pâturage

A l'échelle des quatre années considérées, la production laitière annuelle du troupeau a suivi l'évolution de l'effectif de vaches traites, jusqu'à une valeur minimale à 149 174 kg lait en 2007 : un faible effectif de vaches, comportant 14 animaux conduits en lactation longue de plus d'un an et une réduction de la durée des lactations des autres animaux (consécutives à l'avancée d'un mois des vêlages l'année suivante) en sont les raisons. En 2008, l'effectif moyen de 41 vaches a permis de produire 206 642 kg de lait. La proportion de cette production obtenue durant la période de pâturage varie de 81 à 88%.

Durant la même période, la production laitière du troupeau a été en moyenne, de 5 403 kg/VL/an pour les vaches Holstein et 4 887 kg/VL/an pour les vaches Montbéliarde (tableau 1). Les durées de lactation observées ont

été supérieures de 8 j pour les Holstein (283 j) tandis que leur taux protéique moyen a été inférieur de 0,9 g/kg lait (32,1 g/kg lait). Cette production laitière résultant notamment d'une conduite de pâturage devenue plus aisée du fait de la régularité de la croissance de l'herbe, a cependant failli compromettre la pérennité du troupeau.

Sur le plan sanitaire, les occurrences de mammites dans le troupeau ont varié de 3 à 6 par an (tableau 2). Elles ont été soignées par des méthodes alternatives (homéopathie et phytothérapie), ainsi le recours à l'allopathie a été limité à 0,03 à 0,15 traitements/VL/an (alors que le cahier des charges de l'AB en autorisait 2/VL/an jusqu'au début de l'année 2009).

- Des difficultés de reproduction du troupeau qui questionnent sa pérennité

Dès 2005, les résultats de reproduction ont compromis la pérennité du troupeau. En 2006, seulement 55% des effectifs femelle mis à la reproduction (soit 33% des vaches laitières et 94% des génisses) ont été fécondées durant la période de reproduction de 101 j (tableau 3). Il a été décidé de conserver 14 vaches laitières non gravides (9 Hn et 5 Mo) pour une mise à la reproduction au cours de la campagne suivante (2007). Les lactations de ces vaches ont donc été prolongées (579 j) en appliquant la règle de tarissement normale du système ; cette option a tout de même permis d'exprimer des productions moyennes de 10 388 et 8 790 kg de lait/VL/lactation respectivement pour les vaches Holstein et Montbéliarde.

L'une des causes suspectées concernant la détérioration de la fécondité du troupeau était une balance énergétique négative lors de la période de mise à la reproduction. En effet, l'état d'engraissement des vaches était particulièrement faible lors de leur mise à la reproduction (de mai à août), et ceci était

Tableau 1. Performances laitières moyennes des vaches (hors lactations prolongées), du troupeau SH.

SH (2005-2008)	Troupeau	Holstein			Montbéliarde		
		Total	Multipares	Primipares	Total	Multipares	Primipares
Production laitière (kg/VL)	5122	5403	5688	5071	4887	5108	4512
Taux Butyreux (g/kg de lait)	41,8	41,9	42,2	41,6	41,7	41,8	41,6
Taux Protéique (g/kg de lait)	32,6	32,1	32,1	32,1	33,0	33,2	32,6
Durée Lactation (j)	279	283	278	288	275	272	281
Effectifs de VL	114	52	28	24	62	39	23

Tableau 2. Mammites exprimées chez les vaches laitières du SH de 2005 à 2008.

	2005			2006			2007			2008		
	Troupeau	Hn	Mo	Troupeau	Hn	Mo	Troupeau	Hn	Mo	Troupeau	Hn	Mo
VL infectées	3	1	2	5	2	3	4	2	2	2	1	1
Occurrences des mammites	3	1	2	6	2	4	4	2	2	3	2	1
Traitements allopathiques (troupeau/an)	1	1	0	5	2	3	2	2	0	2	2	0
Traitements allopathiques moyens (VL/an)	0,03	0,05	0	0,15	0,14	0,15	0,06	0,13	0	0,05	0,09	0
Effectifs de VL	37	21	16	34	14	20	35	15	20	41	21	20

Hn : Holstein ; Mo : Montbéliarde.

Tableau 3. Performances de reproduction du troupeau SH.

Année	2005			2006			2007					2008			
	Total	Hn	Mo	Total	Hn	Mo	Total	Hn	Hn prol*	Mo	Mo prol*	Total	Hn	Hn prol*	Mo
Vaches															
Effectif mis à la reproduction	37	21	16	30	12	18	22	8	9	14	5	41	20	2	19
% fécondée toutes IA	65	52	81	33	33	33	77	63	89	86	60	68	65	50	74
Effectif vêlant	24	11	13	8	2	6	17	5	8	12	3	27	13	1	13
Vaches et génisses															
Effectif mis à la reproduction	51	26	25	47	20	27	52	25	-	27	-	56	27	-	29
% fécondée toutes IA	71	58	84	55	55	56	81	84	-	78	-	75	67	-	83
Effectif vêlant	36	15	21	23	8	15	41	21	-	20	-	41	18	-	23

*prol : vache laitière en lactation prolongée. ; Hn : Holstein ; Mo : Montbéliarde.

plus spécialement marqué chez les vaches multipares Holstein dont l'état corporel est descendu sous la note de 1,5 (tableau 4). Suite à l'observation, en 2005 et 2006, d'une meilleure réussite à la reproduction pour les vaches qui avaient démarré leur lactation avant la mise à l'herbe, la mise à la reproduction a été avancée d'un mois à compter du printemps 2007 (Gouttenoire *et al* 2009). Les performances de reproduc-

tion se sont alors beaucoup améliorées (tableau 3), restant cependant insuffisantes pour permettre un accroissement de la longévité des vaches : la proportion de vaches primipares représente 35 à 40% des effectifs.

Les performances de reproduction et les plus faibles effectifs qui en ont résulté ont conduit à ce que le chargement global reste en deçà du charge-

ment global objectif de 0,9 UGB/ha jusqu'à même ne plus atteindre que 0,81 UGB/ha en 2008.

- Un équilibre à trouver entre ressources fourragères et troupeau

De 2005 à 2008, les stocks fourragers constitués sur le SH ont été abondants et il n'a pas été nécessaire d'en distribuer durant l'été. Au 1^{er} octobre 2008, 421 T de MS (soit la valeur de deux

Tableau 4. Notes d'état corporel moyennes des vaches conduites en lactation normale (environ 300 j) de 2005 à 2008. La période 2005-2006 (mise à la reproduction du 15 mai au 15 août) est distinguée de la période 2007-2008 (mise à la reproduction du 15 avril au 15 juillet).

NEC	Troupeau	Holstein			Montbéliarde		
		Total	Multipares	Primipares	Total	Multipares	Primipares
2005 et 2006							
Vêlage	2,4	2,2	1,9	2,6	2,5	2,4	2,8
Début période de reproduction	1,7	1,5	1,3	1,6	2,0	1,9	2,0
Fin période de reproduction	1,6	1,4	1,3	1,4	1,9	1,9	1,9
Effectif VL	67	33	18	15	34	20	14
2007 et 2008							
Vêlage	2,8	2,9	2,6	3,2	2,8	2,3	3,5
Début période de reproduction	2,1	2,0	2,0	2,1	2,1	1,9	2,4
Fin période de reproduction	1,7	1,7	1,8	1,5	1,8	1,8	1,8
Effectif VL	58	26	14	12	32	19	13

Tableau 5. Rendements en grains et surfaces des céréales récoltées sur les parcelles du SPCE.

	Rendements (qx MB/ha)			Surfaces récoltées (ha/an)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Associations céréales/ prot. printemps ¹	26	12	16	3,5	13,0	2,0
Associations céréales/ prot. d'hiver ²	43	-	11	8,5	0,0	3,5
Blé d'hiver	25	22	23	28,5	17,8	28,8
Céréales secondaires de printemps ³	14	5	20	11,8	5,3	6,4
Céréales secondaires d'hiver ⁴	21	21	17	14,3	15,0	15,6

¹ avoine/féverole ; triticale/pois ; orge/lupin... ; ² avoine/féverole ; triticale/pois ; orge/lupin... ; ³ orge, triticale, avoine... ; ⁴ orge, triticale, avoine, épeautre, seigle... ; MB : Matière Brute.

récoltes 2008) étaient engrangées. Ce stock correspond à la consommation de foin de trois campagnes (145 T MS stockée consommée/an). En effet, lors des deux dernières campagnes, les génisses élevées pour le renouvellement ont consommé en moyenne 1,2 T MS/UGB de fourrage stocké de leur naissance à leur 1^{er} vêlage. En outre, elles ont reçu en moyenne 52 kg MS/UGB d'aliments concentrés, composés de céréales (épeautre, triticale et orge) et de céréales-protéagineux en mélange, en provenance du SPCE. Pour leur part, les vaches laitières ne reçoivent aucun aliment concentré durant leur lactation ni pendant la période de tarissement. En 2007 et 2008, elles ont consommé en moyenne 1,9 et 2,1 T MS/VL de fourrage stocké par animal (dont 340 à 390 kg MS/VL de gain).

Ainsi, la production prairiale soutenue conjuguée à un chargement global nettement en retrait par rapport aux prévisions ont conduit à des stocks de fourrages très supérieurs à ceux requis par ce troupeau. Un ajustement conjoncturel a donc été opéré par l'élevage de la cohorte de veaux mâles nés en 2008 qui sont élevés pour être finis à l'herbe à l'âge de 28-30 mois. Cette option constitue une régulation du système d'élevage devant permettre de consommer les stocks engrangés et de limiter leur progression à l'échelle de trois campagnes.

b) Le Système de PolyCulture Elevage : une conduite ajustée au service de l'autonomie de matière

L'autonomie de matière à l'échelle du territoire repose sur un équilibre entre les ressources produites par le territoire du SPCE et leur utilisation

par les troupeaux : troupeaux du SPCE pour ce qui concerne les fourrages, et troupeaux du SH et du SPCE pour ce qui concerne la paille et le grain pour la fourniture d'aliments concentrés. Ainsi, le bouclage du cycle des éléments est assuré par *i*) un équilibre entre la production de fourrages, de céréales et de paille, et leur utilisation par les animaux qui permet une restitution *via* leurs effluents, et *ii*) une rétrocession des éléments minéraux et organiques par le SH sous forme de fumier en compensation des aliments concentrés et de la paille importés depuis le SPCE.

Mais l'équilibre entre les productions de fourrage, de céréales et de paille et leur utilisation par les troupeaux fluctue en fonction des productions du territoire. Il nécessite donc des ajustements permanents.

- Une disponibilité fluctuante des ressources

Les soles de cultures annuelles du SPCE ont été déterminées en tenant compte de *i*) la nécessité d'une surface minimale de prairies pâturables par les vaches laitières, afin de compléter les prairies permanentes pâturées durant la période estivale, pour atteindre un total d'environ 70 ares accessibles/VL, *ii*) la nécessité d'une surface minimale de cultures céréalières permettant de couvrir les besoins en paille des troupeaux et *iii*) l'instauration de rotations culturales permettant un bon fonctionnement agronomique des systèmes.

La coexistence de rotations de 6 ans et de 8 ans sur le parcellaire et les différences de surfaces des parcelles entraînent des fluctuations des soles de cultures d'une année à l'autre (tableau 5). Ces fluctuations peuvent être anticipées par des reports de stocks

pour pallier d'éventuels déficits. Cependant, à ces variations prévisibles, s'ajoutent des variations de rendements qui entraînent finalement des fluctuations importantes des ressources disponibles pour le troupeau. Les rendements moyens en grain (tableau 5) des céréales secondaires et des associations céréales protéagineux de printemps ont été faibles... (5 à 26 qx/ha), et ceux des céréales secondaires et des associations céréales/protéagineux d'hiver ont été globalement plus élevés (11 à 44 qx/ha). Les récoltes de blé ont été destinées à la vente pour la meunerie et ont toujours satisfait l'exigence de qualité (une teneur en protéines minimale de 11%). Si la récolte venait à être déclassée, elle serait affectée au troupeau, ce qui ne s'est pas produit au cours des années 2007 et 2008 (teneurs en protéines des blés comprise entre 11 et 18%), années de commercialisation des produits sous le signe de qualité AB.

Les récoltes annuelles à disposition du troupeau ont beaucoup varié en quantité et en qualité (tableau 6). Les récoltes en fourrages ont varié de 256 à 355 T MS/an. Les stocks de luzerne/dactyle ont représenté de 39 à 49% de ce total, les stocks de prairie temporaires de 18 à 31%, et les stocks en prairie permanente de 30 à 35%. Les récoltes en paille ont varié de 85 à 152 T. Les récoltes en céréales (à destination de concentrés fermiers) ont varié de 45,3 à 92,8 T.

- Un équilibrage ressources-besoins assuré par différents ajustements

Pour respecter le principe d'autonomie de ce système, l'équilibre des ressources et des besoins en fourrages et en paille est obtenu par un ajustement des effectifs d'animaux à l'automne, sur la base du bilan des stocks disponibles pour l'hiver et des effectifs des différentes catégories d'animaux. Les vêlages des vaches laitières du SPCE étant groupés d'août à novembre, la diminution éventuelle des effectifs porte par ordre de priorité sur : les vaches à réformer (l'engraissement des réformes avant la vente est réalisé ou non selon l'état des stocks), les génisses de renouvellement (en assurant un taux de renouvellement minimum de 30% des effectifs pour les 2 races), puis les vaches en lactation. Le déficit en fourrages à l'entrée en hiver 2006/2007, causé par des récoltes fourragères relativement faibles en 2006 et une absence de report de stock des récoltes 2005, ont conduit à réformer 8 VL (dont 4 VL fraîchement vélées : 2 Holstein et 2 Montbéliarde) ainsi que 5 génisses Montbéliarde de 24 mois.

Tableau 6. Ressources en fourrages disponibles, hors pâturage, pour l'alimentation du troupeau du SPCE et ressources en paille et en concentrés disponibles pour la litière et la complémentation des troupeaux SPCE et SH.

Modalités récolte	Ressources (T MS/an)	2006	2007	2008
Enrubannage-ensilage d'herbe	-	41	32	38
Foin	Luzerne/dactyle	117	135	133
	Prairie temporaire	9	81	53
	Prairie permanente	89	107	102
Total	Fourrages	256	355	326
Total	Paille	144	85	152
	Mélanges céréales/prot. ¹	46,0	15,1	7,0
	Céréales secondaires ²	46,8	34,2	38,3
Total	Concentrés	92,8	49,3	45,3

¹ avoine/féverole ; triticale/pois ; orge/lupin... ; ² orge, triticale, avoine, épeautre, seigle... ; MS : Matière Sèche.

Pour faire face à des manques de paille, les foins de moins bonne qualité sont utilisés comme substitut pour réaliser la litière des lots de génisses des 2 systèmes. Le déficit de production de paille de l'année 2007 (85 T pour un besoin annuel d'environ 140 T) a entraîné l'activation de cette règle.

- Des régimes alimentaires guidés par l'objectif d'autonomie

Le troupeau valorise les fourrages issus du territoire du SPCE. L'élaboration des rations se limite donc à la définition de priorités dans l'affectation des aliments disponibles aux différents lots d'animaux (veaux, génisses, vaches laitières en production et vaches laitières taries).

L'allocation des ressources pour l'hiver suit, dans l'ordre, les règles suivantes : *i*) l'épeautre ainsi que les bons foins de luzerne/dactyle sont distribués aux veaux et aux jeunes génisses jusqu'à l'âge de 8 mois ; *ii*) les vaches lai-

tières reçoivent 2 à 4 kg/VL/jour de concentrés fermiers selon les disponibilités (céréales ou mélanges céréales/protéagineux). Elles reçoivent les meilleurs fourrages : leur rationnement évolue au cours de l'hiver en distribuant des fourrages de moindre qualité à mesure de l'avancée du stade de lactation des vaches. Les concentrés utilisés en complément visent à approcher, dans la mesure du possible, un équilibre énergie/azote conforme aux recommandations alimentaires ; *iii*) les refus des vaches laitières (fourrages et éventuellement concentrés) sont distribués aux génisses de 8 à 36 mois ; les aliments de meilleure qualité sont réservés pour la période de mise à la reproduction des génisses. Une telle gestion de l'autonomie alimentaire a conduit à des régimes relativement stables pour les génisses de moins de 8 mois (84% de foin de luzerne-dactyle au minimum dans la ration de base et 37% minimum d'épeautre dans les concentrés) (tableau 7). Le régime de base des

vaches laitières composé, au minimum, de 91% de foins (45% de foin de luzerne/dactyle) est aussi resté stable. En revanche, la quantité et le type de concentrés a varié au gré des disponibilités, dans le régime des vaches laitières : elles ont reçu respectivement 581 et 652 kg/VL pour les campagnes 2006/2007 et 2007/2008. Les génisses de 8 mois au vêlage sont les « animaux tampons », avec un régime de base extrêmement variable selon les ressources fourragères restant disponibles.

L'alimentation estivale des troupeaux a progressivement évolué afin de diminuer les consommations en fioul pour l'affouragement des animaux : l'objectif est de limiter les chantiers d'ensilage et d'enrubannage à des conditions climatiques ne permettant pas de sécher les fourrages au champ. Depuis le printemps 2007, le pâturage des génisses débute sur les prairies temporaires afin de reculer les dates de fauche de ces prairies et d'augmenter la probabilité d'avoir une fenêtre climatique suffisante pour récolter des foins de bonne qualité. Ainsi, la proportion des stocks de fourrages du SPCE réalisée sous forme d'ensilage et d'enrubannage est passée de 16% en 2006, à 9% en 2007 (tableau 6). Cette proportion est remontée à 12% en 2008 en raison d'une fenêtre climatique incertaine lors de la fenaison de la première coupe de luzerne-dactyle. Le pâturage des vaches laitières se heurte à la relative exigüité du parcellaire qui leur est accessible. En 2008, les vaches en lactation n'ont pu disposer de plus de 30 ares/vache que durant 96 j sur un total de 188 j de pâturage, et il a fallu les compléter durant 134 j pendant la même période.

Dans ces conditions, le troupeau de ce système a produit 343 371 kg de lait

Tableau 7. Variations interannuelles des régimes alimentaires, hors pâturage, des lots d'animaux du SPCE.

Modalités de récolte	Ingestion des ressources (kg MS/animal/an)	2006/2007			2007/2008		
		VL	Veaux (0-1 an)	Génisses (1 an-vêlage)	VL	Veaux (0-1 an)	Génisses (1 an-vêlage)
Ensilage-enrubannage		26	0	1235	270	0	71
Foin	Luzerne-dactyle	1177	394	10	1320	244	272
	Prairie temporaire		0	0	590	0	965
	Prairie permanente	1390	73	985	700	14	723
Paille		0	0	127	0	0	0
Refus		0	0	0	0	0	346
Total	Fourrages	2593	467	2357	2880	258	2377
	Mélanges céréales/prot. ¹	509	112	2	199	67	2
	Céréales ²	72	66	42	453	77	11
Total	Concentrés	581	178	44	652	144	13

¹ avoine/féverole ; triticale/pois ; orge/lupin... ; ² orge, triticale, avoine, épeautre, seigle... ; MS : Matière Sèche.

Tableau 8. Performances laitières des vaches du troupeau SPCE.

SPCE (2006/2007 et 2007/2008)	Troupeau	Holstein			Montbéliarde		
		Total	Multipares	Primipares	Total	Multipares	Primipares
Production laitière (kg/VL)	5867	6456	7005	5435	5411	5477	5240
Taux Butyreux (g/kg de lait)	41,1	40,5	40,2	41,1	41,6	41,2	42,5
Taux Protéique (g/kg de lait)	32,3	31,8	31,6	32,4	32,7	32,6	33,2
Durée Lactation (j)	310	325	335	307	299	292	319
Effectifs de VL	124	54	34	20	70	51	19

Tableau 9. Mammites exprimées chez les vaches laitières du SPCE lors des campagnes laitières 2006/2007 et 2007/2008.

	2006/2007			2007/2008		
	Troupeau	Hn	Mo	Troupeau	Hn	Mo
VL infectées	11	8	3	7	4	3
Occurrence des mammites	11	8	3	8	5	3
Traitements allopathiques (troupeau/an)	5	4	1	4	3	1
Traitements allopathiques moyen (VL/an)	0,08	0,15	0,03	0,07	0,12	0,03
Effectifs de VL	64	27	37	60	26	34

Hn : Holstein ; Mo : Montbéliarde.

en 2006-2007 et 328 487 kg en 2007-2008. Ceci correspond à une production moyenne des vaches laitières (tableau 8) de 5 867 kg/VL/an, soit 6 456 kg/VL/an pour les vaches Holstein et 5 411 kg/VL/an pour les vaches Montbéliarde. Sur le plan sanitaire, les occurrences de mammites ont été limitées à 11 en 2006/2007 et 8 en 2007/2008 (tableau 9). Le nombre de traitement allopathique a été limité à 0,07 et 0,08 traitement/VL/an durant ces deux campagnes.

Les performances de reproduction de ce troupeau ont été correctes (tableau 10), atteignant respectivement 75 et 82% de femelles mises à la reproduction fécondées en 2006/2007 et 2007/2008. Ces performances ont permis d'assurer le renouvellement des effectifs de vaches laitières et le maintien de la parité des deux génotypes dans le troupeau.

Tableau 10. Performances de reproduction du troupeau du SPCE lors des campagnes laitières 2006/2007 et 2007/2008.

	2006/2007			2007/2008		
	Troupeau	Hn	Mo	Troupeau	Hn	Mo
Vaches						
Effectif mis à la reproduction	59	26	33	55	25	30
% fécondée toutes IA	69	65	73	75	68	80
Effectif vêlant	41	17	24	40	16	24
Vaches et génisses						
Effectif mis à la reproduction	88	38	50	78	35	43
% fécondée toutes IA	75	71	78	82	77	86
Effectif vêlant	60	27	33	63	26	37

Hn : Holstein ; Mo : Montbéliarde.

3 / La co-évolution des systèmes d'élevage et de leur territoire : une re-conception des systèmes testés ?

Ce travail de conception de systèmes agricoles vise à répondre principalement à la question : quelle configuration territoriale et quels modes de conduite pour des systèmes agricoles biologiques et *a priori* durables parce que conçus à partir des potentialités du milieu ?

3.1 / Configuration des systèmes

Un des enjeux scientifiques du projet est de vérifier la faisabilité de deux systèmes conçus à partir des potentialités d'un territoire et dont le fonctionnement doit assurer la perpétuation des caractéristiques de ce territoire. Au pre-

mier rang de ces caractéristiques figure le maintien de la fertilité des sols sans laquelle il est illusoire de parler d'agriculture «durable» et *a fortiori* d'élevage «durable».

Dans la perspective d'une agriculture durable sans intrant chimique, l'élément central du maintien de cette fertilité est la paille qui assure, en période de stabulation, le recyclage organique et minéral des éléments et notamment un recouplage du cycle du carbone et du cycle de l'azote. C'est dans cette perspective qu'il faut comprendre le choix - radical - d'assurer l'autosuffisance en paille de tous les animaux qui utilisent le territoire de l'IE. Sur le SH, uniquement herbager, nous aurions pu envisager un logement sur caillebotis. Que ce soit pour le confort des animaux ou pour la qualité des effluents (lisier), nous avons préféré une forme d'amendements qui associe paille et déjections. Ceci a conduit à réaménager une stabulation paillée en stabulation à logettes générant un lisier légèrement paillieux. Cette installation minise les importations en paille du SH en provenance du SPCE. Ces importations sont néanmoins compensées par des restitutions sous forme de fumier sur la base d'une équivalence en phosphore : cette base d'échange est discutable, car uniquement centrée sur la fertilité des sols.

Malgré les enjeux scientifiques du projet, la configuration des deux systèmes est restée très dépendante de la référence laitière détenue par

l'IE (586 000 litres, référence TB : 38,4 g/L de lait) au moment du démarrage du projet. Dès lors que la configuration d'un système herbager a été dessinée, soit 78 ha de prairie pour 40 VL à 5 000 kg/ VL/an et leur renouvellement, il restait donc environ 350 à 400 000 litres de lait à faire produire par le Système de PolyCulture Elevage. Notons que les systèmes ont livré 83 à 98% de la référence laitière de 2005 à 2008. L'exigence d'un usage économe de matières a conduit à envisager le SH comme un système d'élevage assez radical puisqu'il s'interdit l'usage des aliments concentrés, hormis pour les veaux. Certes, ce SH aurait pu utiliser plus largement les concentrés produits par le SPCE voisin au même titre que ce dernier lui fournit la paille en échange de fumier. Pourtant, la volonté de compenser les importations du SH en provenance du SPCE, sans déséquilibrer la fertilité de chaque espace agronomique, nous a conduit à limiter les échanges de matières.

3.2 / Vers une re-conception des systèmes d'élevage testés ?

a) Une conception des systèmes centrée sur l'agronomie

Les systèmes testés ont été conçus en privilégiant une vision agronomique du territoire agricole. Ce point de vue «agronomique» tend à considérer l'élevage comme une composante au service des systèmes de culture.

Pourtant, la conception de systèmes de polyculture-élevage ne peut se limiter à envisager les animaux comme consommateurs et composteurs de stocks fourragers. L'introduction de l'élevage laitier dans les systèmes de culture oblige aussi et simultanément à considérer *i)* l'accès quotidien des animaux aux parcelles, pour les troupeaux laitiers pâturants, sans omettre les conditions de portance des sols et de surveillance des animaux qui nuancent ponctuellement les usages envisagés ; *ii)* la logistique des chantiers de récolte et des autres interventions culturales ; *iii)* la production de paille nécessaire à la litière des animaux, (*iv)* l'utilisation des amendements qu'ils fabriquent.

Nous ne concevons donc ni des systèmes de culture incluant de l'élevage, ni des systèmes d'élevage au service des systèmes de culture, mais bien une organisation territoriale de polyculture-élevage, au sein de laquelle les complémentarités entre culture et élevage permettent certaines économies de



INRA - E. Gaujoux

gamme : autofourniture de concentrés, production d'azote pour les couverts végétaux (fumier, lisier...) et l'alimentation des animaux (recours aux légumineuses), réduction des désherbages dans les rotations (tête de rotation par une culture fourragère pluriannuelle...).

b) La conception de modalités de conduite d'élevage

Le dispositif d'expérimentation, avec les objectifs et les contraintes qui ont été définies et rappelées précédemment, a mis en lumière l'intérêt de modalités de conduites d'élevage assez rarement évaluées dans le cadre de dispositifs analytiques : la question *i)* du prolongement des lactations mis en œuvre dans ces systèmes pour sauvegarder la démographie d'un troupeau et *ii)* des conduites de pâturage à l'échelle d'un système. La conduite de pâturage est facilitée sur le SH par la présence exclusive de prairies permanentes dont la production est probablement régulée par la présence de trèfle blanc ; en revanche, elle est plus délicate à organiser dès lors que les lots se multiplient (vaches en lactation, vaches taries, vaches à soigner) et que la nature des prairies se diversifie (prairies permanentes, temporaires et artificielles) comme dans le cas du SPCE.

Ce dispositif d'expérimentation-système, testant des systèmes biologiques et autonomes a dû définir les modalités d'utilisation des concentrés fermiers (Coquil *et al* 2009b) et des

divers fourrages à disposition dans les régimes alimentaires des lots d'animaux présents. Des modalités d'alimentation non optimales, et basées sur la constitution de régimes à partir des seules ressources disponibles au sein du système appellent à l'acquisition de connaissances sur la valorisation de ces rations par les animaux. Toutefois, la conduite d'essais analytiques à caractère zootechnique, au sein même des expérimentations-système reste difficile à envisager sans perturber le fonctionnement des systèmes de production concernés.

c) Une conception des systèmes multi-objectifs trop optimisée ?

La conduite des systèmes SH et SPCE a révélé quelques difficultés, concernant le comportement des ressources en fourrages et en paille et celui des animaux. Ces difficultés associées à une recherche d'optimisation technique, nous conduisent aujourd'hui à revoir certains choix techniques réalisés, voire le dimensionnement des systèmes de production testés.

Le groupage des vèlages du SH visait à synchroniser la disponibilité de l'herbe pâturable et les périodes de besoins alimentaires élevés du troupeau. Sur la période 2005 à 2008, la croissance de l'herbe est devenue plus régulière en raison de la suppression de la fertilisation azotée, et des conditions climatiques favorables à la pousse estivale. Dans ces conditions, la maximisation de la part d'herbe pâturée dans les

rations pourrait être réalisée moyennant des vèlages moins groupés au printemps. Ainsi, en accordant une plus grande importance à l'observation du comportement de la ressource fourragère, nous serions en mesure de lever la difficulté technique que représente la conduite en vèlages groupés sur 3 mois en sortie d'hiver, et ainsi d'envisager des carrières de vaches laitières plus longues. Cette option conduirait à un moindre renouvellement et donc à des effectifs de génisses plus faibles, ce qui permettrait d'accroître les effectifs de VL du SH à surface constante. Cette option d'étalement des vèlages, remettrait toutefois en cause la complémentarité de livraison de lait des deux systèmes à l'échelle du petit territoire, autorisant des vèlages étalés dans le SPCE.

Les stocks fourragers importants du SH, et à l'inverse, la disponibilité parfois trop réduite en fourrages, mais surtout en paille, du SPCE interrogent fortement le dimensionnement des systèmes. Le chargement du SH pourrait être augmenté. Pourtant, cette option se heurte à des obstacles structurels : les surfaces accessibles pour le pâturage des vaches et le bâtiment limitent les effectifs à 42 VL. Concernant le SPCE, c'est l'équilibre entre la place accordée au troupeau et la place accordée aux cultures non fourragères qui est interrogé. Un allongement des rotations culturales, en accordant une place plus importante aux cultures céréalières, permettrait d'assurer l'autosuffisance des 2 systèmes en paille, mais obligerait à diminuer les effectifs de VL du SPCE, en raison d'une diminution des ressources fourragères. De plus, avec l'allongement des rotations, les difficultés de gestion des adventices dans les cultures annuelles s'accroîtraient très probablement. Ces adventices pourraient être, en partie, maîtrisées par le travail du sol : pourtant dans la perspective d'une agriculture économe, la multiplication des passages d'outils n'est guère envisageable.

d) Du système au territoire : une «écologisation» des agro-systèmes ?

Le risque d'insuffisance en paille avait été envisagé dès la conception des systèmes, ce qui justifie l'absence du maïs fourrage dans le SPCE : sur le plan agronomique, il ne fournit ni paille aux animaux, ni azote à la succession culturale. Ce risque est désormais avéré, ce qui nous a conduit à accorder une place plus importante à la productivité en paille des céréales.

Les surfaces d'orge, peu productives en paille, diminuent au profit de céréales secondaires plus productives, telles que le triticale et le seigle. Au plan expérimental, des essais de variétés anciennes de blé, connues pour leur productivité en paille, sont conduits sur l'IE.

Une autre voie de redimensionnement des systèmes pourrait être envisagée, en travaillant sur les complémentarités fonctionnelles entre les systèmes. Avec des rotations culturales plus longues dans le SPCE, permettant de répondre au besoin en paille de tous les animaux hivernés, les possibilités d'intercultures seraient multipliées et leur occurrence dans les rotations pourrait être accrue. Ces cultures joueraient aussi le rôle d'engrais verts (azote et matières organiques) qui, sur le plan agronomique, assurent une certaine fertilité des sols. En outre, l'implantation systématique d'engrais verts durant l'interculture permet d'accentuer la concurrence vis-à-vis des adventices et de substituer au travail mécanique du sol une activité biologique (faune du sol) (Gerber et Coquil 2008). Sur le plan zootechnique, l'introduction de cultures dérobées dans les intercultures permettrait de constituer une surface fourragère additionnelle. Ils constitueraient une biomasse pâturable en fin d'automne, au moment même où les stocks d'herbe sur pied s'amenuisent. Il s'agirait alors d'introduire de nouveaux animaux dans le SH pour consommer les productions fourragères excédentaires de ce système et aussi contribuer à la gestion agronomique des parcelles cultivées du SPCE par le pâturage des intercultures. L'espèce ovine, compte tenu de la souplesse de sa conduite (durée de stabulation, faible piétinement...) et de l'efficacité de son pâturage des espèces adventices, pourrait être envisagée. L'animal pourrait à nouveau jouer un rôle dans la gestion de systèmes voire du territoire de polyculture élevage. Ce n'est toutefois pas l'option retenue puisque nous avons choisi de résorber les excès de fourrages par l'introduction d'un troupeau de bœufs sur le SH, qui servira de variable d'ajustement du chargement. Sur le SPCE nous faisons évoluer les pratiques de travail du sol afin d'améliorer leur fertilité, gage d'une plus grande stabilité du milieu face à l'aléa (Moonen et Barberi 2008). Nous limitons les interventions culturales à l'échelle de la rotation et nous les substituons progressivement par un travail biologique du sol en introduisant des couverts entre les cultures céréalières.

Conclusion

La conception de systèmes agricoles vise à imaginer des systèmes de production répondant à des objectifs environnementaux et agronomiques et construire des règles permettant de les conduire en référence au comportement des ressources du système. Cette posture de recherche est associée une évolution des missions et des métiers des gestionnaires et des techniciens du dispositif expérimental : d'exécutants sur un dispositif, ils deviennent responsables dans la mise en place, la conduite et le fonctionnement des deux systèmes configurés sur l'IE de Mirecourt.

L'évaluation agronomique, conduite sur les systèmes de production durant les premières années de fonctionnement, a permis de mieux caractériser le comportement des ressources disponibles. Ainsi, les systèmes de production sont restés productifs sur le plan de la production laitière et ont livré, selon les années, de 83 à 98% de la référence laitière de 2005 à 2008. Certes, d'aucuns argueront qu'il n'est pas «viable» de ne livrer que 83% de sa référence laitière ; toutefois nous avons précisé que le dispositif ne visait pas à assurer la viabilité économique mais l'équilibre écologique et agronomique des systèmes dans leur territoire. En outre, est-il sérieux d'envisager produire une référence laitière définie, dans les années 1980, sur la base d'un système dispendieux, quand les moyens aujourd'hui mis à disposition sont limités aux seules capacités permises par le milieu ?

Afin de résoudre des points de dysfonctionnement spécifiques à chaque système, tels que les mauvaises performances de reproduction des vaches laitières du SH en 2005 et 2006, et la trésorerie en fourrages et en paille tendue du SPCE, la conduite des systèmes a évolué. Ainsi le sous-chargement du SH est en cours de résolution, par une amélioration des performances de reproduction des vaches laitières et, plus ponctuellement, par l'introduction d'un lot de bœufs laitiers. Plusieurs pistes de recherche (changement d'espèces de céréales secondaires et de variétés de blé, expérimentation de nouvelles pratiques de travail du sol...) sont initiées pour résoudre les questions de production de paille et de fourrages du SPCE. L'ensemble de ces actions correctives accordent une place de plus en plus importante à l'observation du milieu, des ressources qu'il fournit et des animaux qui les utilisent.

Ce changement de posture vis-à-vis du milieu naturel, parce qu'il place ce milieu comme un élément déterminant des caractéristiques des systèmes agricoles, nécessite un renouvellement progressif des méthodes de recherche mobilisées pour la conception des systèmes. Ici le savoir expert occupe une

place prépondérante dans la conception et la conduite des systèmes. Cette expertise est essentiellement recueillie auprès d'agrobiologistes dont les pratiques sont assises sur la prévention et l'anticipation.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres de l'installation expérimentale de l'UR ASTER-Mirecourt pour leur précieuse collaboration.

Références

- Auricoste C., Deffontaines J.P., Fiorelli J.L., Langlet A., Osty P.L., 1985. Points de vue d'agronomes sur l'évaluation des potentialités agricoles des terrains en friches ou en parcours. Bull. Tech. Inf. Min. Agric., 399/401, 301-306.
- Coquil X., Ingrand S., 2008. Prototyping sustainable dairy systems by evaluating their flexibility and plasticity in a system experimentation. 8th Eur. Int. Farming Systems Ass. Symp., 06-10 July, Clermont-Ferrand, France, 507-509.
- Coquil X., Fiorelli J.L., Mignolet C., Blouet A., Foissy D., Trommenschlager J.M., Bazard C., Gaujour E., Gouttenoire L., Schrack D., 2009a. Évaluation multicritère de la durabilité agro-environnementale de systèmes de polyculture élevage laitiers biologiques. Innovations Agronomiques, 4, 239-247.
- Coquil X., Trommenschlager J.M., Bazard C., Despres S., Delaby L., 2009b. Valorisation par les vaches laitières de mélanges céréales/protéagineux fermiers dans une ration hivernale. Innovations Agronomiques, 4, 145-149.
- Dedieu B., Louault F., Tournadre H., Benoit M., De Montard F.X., Thériez M., Brelurut A., Toporenko G., Paillex J.Y., Teuma J.B., Liénard G., 2002. Conception de systèmes d'élevage intégrant des préoccupations environnementales : contribution d'une expérimentation système en production ovine viande. Renc. Rech. Rum., 391-394.
- Deffontaines J.P., 1984. Crise, hétérogénéité du milieu et systèmes de production agricole. Congr. Int. Géographie, Paris, France, 6p.
- Fiorelli J.L., Bazard C., Echampard L., Lavé R., Trommenschlager J.M., 2009. Production des prairies permanentes conduites selon le cahier des charges de l'agriculture biologique. Le cas du système herbager de Mirecourt de 2005 à 2008. Journ. AFPP, 25-26 mars, 202-203.
- Gerber M., Coquil X., 2008. Travail du sol économe en énergie. Diversité de stratégies en systèmes de grandes cultures biologiques. Alter-Agri, 90, 9-11.
- Gouttenoire L., Fiorelli J.L., Trommenschlager J.M., Coquil X., Cournut S., 2009. Understanding the reproductive performance of a cattle dairy herd by using both analytical and systemic approaches. A case study based on a system experiment. Animal, soumis pour publication.
- 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.
- Landais E., 1998. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? Courr. Env. INRA, 33, 5-22.
- Legrand P., Fraval A., Laurent C., 2004. Johannesburg. L'INRA face au développement durable. Les dossiers de l'environnement de l'INRA, 27, 218p.
- Lopez-Ridaura S., Van Der Werf H., Paillat J.M., Le Bris B., 2009. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. J. Env. Management, 90, 1296-1304.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. Cahiers Agric., 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), 63-70.
- Moonen A.C., Barberi P., 2008. Functional Biodiversity: An agroecosystem approach. Agric. Ecosyst. Env., 127, 7-21.
- Thompson P.B., 1997. The variety of sustainability in livestock farming. Proc. 4th Int. Symp. Liv. Farming Systems, Foulum, EAAP, 5-15.
- Van Ittersum M.K., Rabbinge R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Res., 52, 197-208.
- Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. Eur. J. Agric., 7, 235-250.
- Vermersch P., 2007. L'éthique en friche. Editions Quae, Paris, France, 113p.

Résumé

Cette synthèse centrée sur un dispositif expérimental de 240 ha, situé à Mirecourt, dans la plaine des Vosges, vise à configurer et étudier les conditions pratiques de la mise en œuvre de systèmes agricoles *a priori* durables sur le plan agro-environnemental. La prise en compte de la diversité des potentialités du milieu, comme principe fondateur des systèmes agricoles, est un gage de la durabilité des systèmes. Dans cette perspective, deux systèmes laitiers autonomes, conduits suivant le cahier des charges de l'agriculture biologique ont été configurés sur l'installation expérimentale INRA ASTER-Mirecourt, vue comme un petit territoire agricole au sein duquel des échanges mutuels et équivalents peuvent avoir lieu entre les systèmes. Ces systèmes sont testés depuis 2005 : un système laitier herbager (SH) dont l'objectif consiste à maximiser la part d'herbe valorisée par le pâturage (40 vaches laitières et leur renouvellement sur 78 ha de prairie permanente) et un Système de Polyculture Elevage laitier (SPCE) qui vise le bouclage du cycle des éléments (60 vaches laitières et leur renouvellement sur 50 ha de prairie permanente et 110 ha de surfaces en rotations culturales). De 2005 à 2008, ces 2 systèmes de production laitiers ont été relativement productifs, livrant de 83 à 98% de leur référence laitière. La pérennité du troupeau SH, dont les vêlages sont groupés sur 3 mois en fin d'hiver, a été passagèrement difficile à assurer en raison de performances de reproduction faibles notamment au cours des campagnes 2005 et 2006. La trésorerie fourragère du SH a été très excédentaire en raison d'un sous-chargement du système et une productivité maintenue des prairies. A l'inverse, les trésoreries en fourrages et en paille du SPCE ont été relativement tendues et les ajustements ont principalement portés sur les régimes alimentaires et sur les effectifs animaux. Au-delà des tensions révélées par le choix d'autonomie de matière des systèmes, nous soulignons la nécessité d'une vigilance accrue à porter au comportement des ressources constitutives de ces systèmes, telles que les modifications de dynamiques de pousse de l'herbe et le rythme de reproduction des animaux. L'expérimentation évolue vers une meilleure intégration du comportement des ressources pour un meilleur ajustement des modalités de conduite.

Abstract

Designing organic dairy systems based on agronomic principles

This work aimed at designing environmental friendly farming systems and agricultural practices. We assumed that designing farming systems and territories according to the natural properties of land, taking into account their heterogeneity, assures their environmental sustainability. Thus, two organic dairy systems have been prototyped, since 2005, on the experimental farm of INRA ASTER-Mirecourt. The experimental farm is seen as a self-sufficient territory in which systems might have mutual and equivalent exchanges. The designed systems have different objectives: a grazing system (GS) aimed at maximising pasture in the cow's diet (40 dairy cows and their replacement heifers on permanent grasslands (78 ha)), and a Mixed Crop Dairy System (MCDS) aimed at closing the nutrient cycles (60 dairy cows and their replacement heifers on permanent grasslands (50 ha) and cropping systems (110 ha)). From 2005 to 2008, the 2 systems have maintained good milking performances: they sold from 83 to 98% of their milk quota. Reproduction performances of the GS system were low in 2005 and 2006, generating a decrease of dairy cow herd size. The low stocking rate and the important yields of grass have generated an excess of forage. The forage and straw budgets of the MCDS were quite short and consequently difficult to balance: they were secured by adjusting herd diets and size. Managing these self-sufficient systems makes it necessary to pay more attention to their resource behaviour. Changes in the dynamics of grass growth throughout the year and reproduction rates of animals are some examples of changing behaviours of resources that might be important to integrate in the system management. Resource behaviour is being better and better integrated in the management of the two prototypes.

COQUIL X., BLOUET A., FIORELLI J.-L., BAZARD C., TROMMENSCHLAGER J.-M., 2009. Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique. *Inra Prod. Anim.*, 22, 221-234.