



HAL
open science

Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant : de la Fée à l'OasYs

Sandra Novak, Jean Claude Emile

► To cite this version:

Sandra Novak, Jean Claude Emile. Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant : de la Fée à l'OasYs. Fourrages, 2014, 217, pp.47-56. hal-02638930

HAL Id: hal-02638930

<https://hal.inrae.fr/hal-02638930v1>

Submitted on 28 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.

Copyright

Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant : de la Fée à l'OasYs

S. Novak, J.-C. Emile

Pour faire face aux nouveaux enjeux en matière de changement climatique et de raréfaction des ressources en eau et en énergie fossile, de nouveaux systèmes laitiers doivent être imaginés. La démarche d'innovation peut aller d'innovations techniques dans la conduite du système fourrager jusqu'à la conception *de novo* d'un nouveau système de production.

RÉSUMÉ

Les atouts et les limites de 2 grandes approches d'innovation sont discutés à partir des expérimentations conduites par l'INRA à Lusignan. La première approche, de type analytique, concerne des innovations techniques (allongement de la période de pâturage et nouvelles cultures fourragères pour la production de stocks). Plus récemment, une démarche d'innovation collaborative et systémique a été engagée pour reconcevoir un système laitier en rupture avec l'existant. Le système imaginé met en cohérence une nouvelle combinaison d'éléments en recherchant des synergies entre cultures et élevage. La mise en œuvre grandeur nature de ce système et son évaluation ouvrent la voie à de nouvelles recherches et à des innovations en matière d'expérimentation, d'indicateurs et de collaboration avec les partenaires.

SUMMARY

Combining analytical and systemic approaches for developing an innovative dairy system : from the Fée to the OasYs project

In order to face new challenges tied to climatic change and the growing scarcity of resources (water, fossil fuels), new dairy systems need to be envisaged. The two main approaches to innovation are discussed based on experiments carried out by the INRA in Lusignan. The first approach, which is analytical, concerns technical innovations (extending the grazing season and new forage crops for producing stocks). More recently, an innovative collaborative and systemic approach was implemented in order to define a new dairy system that challenges the already established one. This new system, as it has been imagined, brings together a new combination of elements by creating a synergy between crop farming and livestock farming. The implementation of this system on a large scale opens the way to innovative approaches in terms of experimentation, indicators and work partnerships.

La FAO estime qu'au cours des 40 prochaines années l'agriculture devra évoluer de manière radicale pour répondre aux nouveaux défis du XXI^e siècle, dont le principal est la nécessité de s'adapter au changement climatique tout en faisant face à la pénurie d'énergie et à la détérioration des ressources naturelles (FAO, 2011). Selon la formule utilisée par cette organisation, il va falloir apprendre à « *produire plus avec moins* ».

Au niveau des bassins laitiers européens, les efforts ont surtout porté depuis une cinquantaine d'années sur la maximisation de la production laitière. Le défi des systèmes d'élevage est à présent de maintenir un niveau de production satisfaisant dans un contexte de contraintes climatiques croissantes tout en limitant leur dépendance aux combustibles fossiles et en préservant le milieu et les ressources naturelles, ce que l'on peut résumer par la formule « *produire autrement* ».

AUTEURS

INRA, UE1373, Ferlus, F-86600 Lusignan ; sandra.novak@lusignan.inra.fr

MOTS CLÉS : Agriculture durable, concertation, environnement, évolution, expérimentation longue durée, innovation, pâturage, Poitou-Charentes, prairie, production laitière, recherche scientifique, sécheresse, services écosystémiques, système fourrager.

KEY-WORDS : Change in time, concertation, dairying, drought, ecosystem services, environment, forage system, grassland, grazing, innovation, long-duration experiments, Poitou-Charentes, scientific research, sustainable agriculture.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Novak S., Emile J.-C. (2014) : "Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant : de la Fée à l'OasYs", *Fourrages*, 217, 47-56.

Dans le Grand Ouest, principal bassin laitier français, le changement climatique devrait accentuer les tensions sur la ressource en eau, en induisant une augmentation de la fréquence des sécheresses estivales (DÉQUÉ, 2011) et une baisse de la restitution d'eau au milieu (ITIER, 2010).

Les élevages laitiers sont consommateurs à la fois d'énergie directe (électricité, produits pétroliers) et d'énergie indirecte, principalement au travers des intrants utilisés pour la fertilisation minérale et l'alimentation, ces deux derniers postes représentant 42 % de l'énergie totale en système conventionnel (BORDET *et al.*, 2010).

A ce nouveau contexte s'ajoutent d'autres enjeux tout aussi importants apparus au fil du XX^e siècle, comme la viabilité économique du système, la préservation de l'environnement et l'acceptabilité sociale et sociétale de l'élevage. Au final, ce sont donc à des objectifs multiples et souvent en tension que les systèmes agricoles doivent répondre, ce qui nécessite d'inventer de nouvelles techniques, pratiques ou systèmes permettant de les concilier.

Dans le cadre d'une réflexion sur les pratiques permettant la **transition vers l'agriculture durable**, HILL (1998) a proposé un cadre d'analyse désigné par le sigle ESR (Efficacité - Substitution - Reconception) distinguant trois étapes. La première (E) correspond à l'amélioration de l'efficacité de la pratique ou de la technique et la deuxième (S) à sa substitution par d'autres plus efficaces vis-à-vis des objectifs recherchés. Pour mettre en place des systèmes « profondément durables », HILL (2006) préconise de passer à une étape plus avancée (R), celle d'une **reconception** plus profonde **du système** où les solutions sont réfléchies globalement de manière à **prévenir les dysfonctionnements plutôt qu'à y remédier**.

Cet article présente comment ces problématiques ont été et sont prises en compte par l'Unité Expérimentale Fourrages - Environnement - Ruminants (Ferlus) de l'INRA à Lusignan (Vienne, région Poitou-Charentes), avec la **succession de deux démarches d'innovation**, l'une conduite dès les années 2000 dans un programme appelé Fée (pour « Fourrages Energie et Eau ») et l'autre initiée en 2011 dans le programme OasYs (pour « produire du lait biOclimAtique en expérimentation-SYSTème »).

1. Des études analytiques pour faire évoluer le système fourrager : le programme Fée

Les pratiques innovantes imaginées dans le programme Fée résultent à la fois de l'expertise de ses animateurs, d'une réflexion scientifique entre pairs dans le cadre de projets, et d'échanges avec des éleveurs pionniers. Les expérimentations ont visé à étudier l'effet d'un ou deux facteurs de variation sur la production fourragère ou sur les performances zootechniques, ce type d'**essai** étant habituellement qualifié de « factoriel » ou d'**analytique** (REAU *et al.*, 1996).

La majorité des expérimentations menées depuis le début des années 2000 autour des stratégies et pratiques fourragères et allant jusqu'à la valorisation par un troupeau laitier sont regroupées dans le tableau 1. Elles se sont donc concentrées autour des deux grandes thématiques, eau et énergie, avec deux stratégies principales détaillées dans les paragraphes ci-dessous : pour les prairies, privilégier le pâturage, et pour les cultures annuelles, préférer et valoriser des stocks fourragers économes en eau et en énergie. Les mesures expérimentales ont porté essentiellement sur les volets agronomiques et zootechniques.

	Innovations techniques mises en œuvre	Evaluation*
* Développer le pâturage		
Pâturage de graminées estivales	- choix des espèces de graminées - associations	Agr., Zoo. Zoo.
Pâturage hivernal de céréales	- date d'exploitation - choix espèces céréales et légumineuses	Agr., Zoo. Agr.
Stocks sur pied	- date d'exploitation - type de prairie	Agr. Agr., Zoo.
Prairies temporaires associées	- type d'association - variétés luzerne et fétuque	Agr., Zoo. Agr., Zoo.
* Produire et utiliser des ensilages de sorgho		
Intérêt zootechnique	- comparaison avec du maïs - valorisation de différents types génétiques	Agr., Zoo. Agr., Zoo.
Variabilité génétique	- productivité et précocité - valeur alimentaire	Agr. Agr., Zoo.
Conduite culturale	- écartement entre rangs - maîtrise des adventices - repousses après récolte	Agr. Agr. Agr.
* Produire et utiliser des ensilages de céréales immatures		
Intérêt zootechnique	- comparaison céréale pure et associations - choix du type de triticale	Agr., Zoo. Agr., Zoo.
Conduite culturale	- date de récolte	Agr., Zoo.
* Agr. : agronomique ; Zoo. : zootechnique		

TABLEAU 1 : Principales innovations techniques évaluées entre 2003 et 2013 à Lusignan.

TABLE 1 : Main technical innovations evaluated from 2003 to 2013 in Lusignan.

Les conditions climatiques de Lusignan sont caractérisées par une forte variabilité de la pluviométrie totale annuelle (437 à 1 048 mm sur la période 1991-2010) et par une pluviosité estivale variable et généralement faible (de 80 à 264 mm de juin à août sur cette même période).

■ Prairies : privilégier le pâturage

Pour chaque jour au pâturage, l'éleveur économise des fourrages stockés. Il limite ainsi les étapes coûteuses à la fois en énergie directe et en énergie indirecte que sont par exemple la récolte, le conditionnement, le stockage et la distribution, voire le séchage artificiel pour les foinés séchés en grange. Il réduit aussi sa consommation d'eau dans la mesure où les fourrages stockés auraient été irrigués (ensilage de maïs ou d'herbe), ce qui est fréquemment le cas en Poitou-Charentes. Dans les conditions climatiques de Lusignan, pourtant marquées par des sécheresses estivales importantes, notre troupeau laitier a pu, au cours des quinze dernières années, être conduit au pâturage la majeure partie de l'année. Ainsi, les animaux ont pu passer en moyenne huit mois dehors, dont plus de cinq mois strictement à l'herbe, quand les éleveurs de la région ne sortent en général le troupeau que deux à trois mois et le plus souvent sans fermer les silos d'ensilage (encadré 1). Nos travaux ont visé à **augmenter encore ce temps de présence au pâturage**.

• Développer et sécuriser le pâturage estival

Si, dans les conditions climatiques de Lusignan, la croissance estivale peut être limitée par la ressource en eau et par des températures excessives, le **choix d'espèces fourragères ou de types mieux adaptés à la sécheresse** (par leurs faibles besoins en eau, par leur enracinement profond ou par leur aptitude à valoriser une pluie malgré la canicule) permet de maintenir des animaux à l'herbe en été. C'est le cas d'une étude menée avec des associations fétuque élevée - luzerne.

Nous avons également évalué les avantages respectifs de **l'introduction de graminées estivales dans la**

Les systèmes bovins laitiers de la région Poitou-Charentes ont pu être regroupés en 2005 en 6 cas types (Institut de l'Élevage, 2012). Parmi eux, le cas type identifié « système lait et cultures - maïs herbe » correspond le mieux aux pratiques de l'unité Ferlus à Lusignan et peut être pris comme référence. Dans ces exploitations, l'atelier lait (450 000 litres de quota, 58 vaches laitières) est associé à des cultures de vente (74 ha). Le système fourrager (56 ha de surface fourragère principale) est basé sur l'ensilage de maïs complété au printemps par du pâturage. Celui-ci représente au moins 25 % de la ration des vaches laitières en pleine pousse de l'herbe (début avril à mi-juin en général). Toutefois, il reste toujours une petite part d'ensilage dans la ration (le silo n'est jamais fermé). Les ensilages de sorghos et de méteil sont peu fréquents.

ENCADRÉ 1 : Les systèmes bovin laitier de Poitou-Charentes et celui de Lusignan.

FRAME 1 : *The dairy cattle system in the Poitou-Charentes and the one in Lusignan.*

chaîne de pâturage. Parmi celles-ci, le millet (*Pennisetum glaucum*) a permis, dans nos conditions, d'assurer plusieurs pâturages avec un fourrage de bonne qualité. Par ailleurs ces espèces, qui présentent une large variabilité génétique encore peu exploitée, peuvent être avantageusement associées à des trèfles.

Enfin, nous avons mis en œuvre la pratique des **reports sur pied**, technique consistant à « débrayer » une parcelle de la chaîne de pâturage au printemps afin de la réintégrer en été avec une qualité diminuée mais suffisante pour nourrir des animaux à besoins modérés. Ainsi, avec des repousses âgées de près de deux mois de ray-grass anglais/trèfle blanc ou de mélanges de graminées associées à du trèfle blanc, nous avons pu nourrir correctement nos animaux en fin de lactation, pour un coût financier et énergétique particulièrement faible. La combinaison du pâturage de prairies en reports sur pied et d'espèces annuelles à croissance estivale nous permet ainsi d'assurer globalement plus de 50 % des besoins alimentaires du troupeau en été.

• Oser pâturer en hiver

Nous avons évalué dans un premier temps la faisabilité et l'intérêt zootechnique du **pâturage hivernal d'une parcelle de triticale** (récoltée ultérieurement en grain) avec des vaches en pleine lactation, aussi bien en plat unique (avec une ingestibilité de 17 kg MS/jour) qu'en accès limité à 6 heures par jour (EMILE *et al.*, 2008a). Des essais en pâturage simulé ont permis de préciser l'importance de la date de pâturage, du choix de la céréale et, dans le cas d'une association, du choix de la légumineuse, afin de concilier au mieux l'intérêt au pâturage et la productivité ultérieure en grain ou en ensilage plante entière (NOVAK *et al.*, 2012a).

■ Cultures annuelles : préférer des stocks fourragers économes en eau et en énergie

En complément du pâturage, et souvent même comme seule ressource fourragère, l'éleveur réalise et utilise des stocks. Si les températures estivales sont favorables à la croissance des plantes, celle-ci peut cependant être limitée par le manque d'eau. En ce qui concerne les cultures annuelles, deux stratégies complémentaires peuvent être mises en œuvre : soit chercher à produire des fourrages avec des cultures d'été moins sensibles à la sécheresse, soit esquisser cette période trop délicate en implantant des cultures d'hiver à exploiter avant l'été. Nous avons ainsi étudié l'introduction dans le système fourrager de cultures annuelles économes en eau et en intrants : le sorgho grain d'une part et les associations céréales - protéagineux immatures d'autre part.

• Le sorgho : une culture d'été moins sensible au déficit en eau

Différents types de sorgho grain (*Sorghum bicolor* M) peuvent être utilisés en ensilage. Nos essais montrent que les types nains sont aussi bien valorisés qu'un ensilage

de maïs par les vaches laitières (DO NASCIMENTO *et al.*, 2005). Malgré leur potentiel de rendement plus limité, ils restent plus productifs que le maïs 3 années sur 5 en culture sèche et dans nos conditions climatiques. De nouveaux types et de nouvelles variétés spécifiquement destinées à l'élevage sont maintenant disponibles sur le marché. Ces sorghos sont souvent plus productifs mais aussi plus tardifs. La présence du gène *bm* (amélioration de la digestibilité de la lignine) permet d'augmenter la valeur alimentaire qui, là aussi, est comparable à celle du maïs (EMILE *et al.*, 2009).

Par ailleurs nous avons montré que le semis à écartement réduit (20 vs 75 cm), à même densité, était favorable au rendement (+66 % sur 3 années) et au contrôle des adventices (AUDEBERT *et al.*, 2011).

• Les associations céréales - protéagineux immatures : pour contourner la période sèche

L'implantation à l'automne d'une association entre une ou plusieurs céréales (triticale et avoine le plus souvent) et un ou plusieurs protéagineux (pois ou vesce) permet de récolter à la fin du printemps un tonnage satisfaisant (8 à 12 t MS/ha selon les conditions climatiques) d'un ensilage de bonne valeur énergétique et protéique. L'ingestibilité et la digestibilité de ces associations (ou méteils) sont certes inférieures à celles des maïs et sorghos mais elles suffisent à assurer la couverture des besoins d'un troupeau laitier, avec éventuellement l'apport de fourrages complémentaires (EMILE *et al.*, 2008b). Une récolte plus précoce (mi-mai dans nos situations) permet d'améliorer notablement la valeur zootechnique de l'association et de diminuer les risques de mauvaise conservation mais au détriment de son niveau de rendement (EMILE *et al.*, 2011). Ces associations peuvent aisément être conduites avec un coût énergétique très réduit, sans apport de pesticides ni d'azote minéral.

■ De l'innovation technique pour le système fourrager à un système fourrager innovant

Le programme Fée a permis d'élaborer et d'évaluer des innovations techniques sur l'allongement de la période de pâturage et sur l'utilisation de nouvelles cultures fourragères pour la production de stocks. Ces expérimentations ont été intégrées pour partie dans deux programmes de Recherche - Développement : PRAITERRE entre 2005 et 2008 (ANR, Agriculture durable et développement) et LAITOP, de 2008 à 2011 (PSDR Grand Ouest). Les résultats obtenus doivent permettre de fournir aux éleveurs des repères et des pistes leur permettant d'assurer le maintien, voire le développement, de leur exploitation. Ils permettent en particulier de documenter des stratégies de production fourragère qui ne soient plus basées uniquement sur l'alimentation hors sol à base d'ensilage d'herbe ou de maïs, dans un contexte où la pérennité de ce système est compromise, et ainsi de rassurer les éleveurs et les prescripteurs.

• Intérêts et limites des essais analytiques

Les essais analytiques, tels qu'ils ont été menés dans le cadre du programme Fée, sont importants dans une démarche de recherche de pratiques innovantes pour déterminer les solutions les plus prometteuses. Ils présentent toutefois certaines limites. D'une part, les résultats d'un essai **peuvent être fortement dépendants des conditions météorologiques de l'année d'expérimentation**. Leur extrapolation à d'autres années climatiques nécessite donc de répéter le même essai sur plusieurs années, ou de simuler les effets d'une série climatique avec un modèle mécaniste prenant en compte l'innovation technique et dont le domaine de validité recouvre les conditions testées. Ces simulations et une analyse fréquentielle des résultats en fonction des conditions climatiques n'ont pas pu être effectuées dans le cadre du programme Fée.

D'autre part, les essais agronomiques sont généralement expérimentés à l'échelle de la saison de culture, c'est-à-dire sur un pas de temps annuel, qui **ne permet pas d'apprécier leurs effets sur la culture suivante, et a fortiori sur le long terme**. Or ces arrière-effets peuvent être déterminants pour la production fourragère des systèmes à faible niveau d'intrants; par exemple, l'implantation d'une légumineuse agit sur la disponibilité dans le sol de l'azote, et dans certains cas du phosphore soluble, pour la culture suivante. De même, les essais zootechniques ne sont généralement effectués que sur une partie de la lactation, ce qui ne permet pas d'apprécier les effets du régime alimentaire sur la reproduction ou la santé des animaux à l'échelle de la lactation ou de la carrière.

Enfin, les essais analytiques **ne permettent pas d'évaluer les implications des innovations techniques sur les différents composants du système fourrager et de prendre en compte les multiples interactions intervenant à l'échelle globale du système de production**. Par exemple, la pratique des stocks sur pied que nous avons mise en œuvre pour permettre le pâturage estival de prairies semble favoriser le développement des rumex et chardons générant ainsi des refus lors des exploitations ultérieures. Par ailleurs, ces adventices seront disséminées directement par grainage, mais aussi indirectement par l'intermédiaire des effluents provenant des animaux ayant exploité les parcelles en stock sur pied. Ces effets induits n'ont pas été évalués dans le cadre restreint de cette étude analytique.

• Vers une démarche de conception plus systémique

La démarche empirique mise en œuvre dans le programme Fée ne permet pas de s'ouvrir suffisamment vers les multiples disciplines et acteurs concernés par le système fourrager, ni d'examiner avec une exhaustivité ou un esprit critique suffisants les différentes options possibles. Pour identifier de nouvelles idées, la réflexion tire parti à s'appuyer sur les regards croisés d'experts de disciplines variées et de différents porteurs d'enjeux. La participation des principales cibles de l'innovation (agri-

culteurs et conseillers agricoles) est par ailleurs importante pour faciliter son appropriation future (LE GAL *et al.*, 2011).

Par ailleurs, dans le cadre du programme Fée, ce sont les deux premières étapes de la démarche proposée par HILL (1998) qui ont été mises en œuvre. Les travaux ont en effet porté essentiellement sur une amélioration de l'efficacité de certaines pratiques (ex. : resserrement de l'espace inter-rang dans la culture de sorgho) ou sur leur substitution (ex. : substitution d'un désherbage chimique par un désherbage mécanique). Mettre en œuvre l'étape de reconception permettrait d'aller plus loin dans la durabilité tout en se plaçant à l'échelle du système.

Aller plus loin dans l'innovation, et **passer d'innovations techniques** dans le domaine des systèmes fourragers **à un système fourrager réellement innovant, nécessite donc de mettre en œuvre de nouvelles approches** tant au niveau de la méthodologie de conception qu'au niveau de la méthode d'expérimentation.

2. L'innovation pour construire un système de production laitier : le projet OasYs

En parallèle et au-delà des études menées à l'unité Ferlus, une réflexion plus générale s'est engagée à l'INRA sur les stratégies de recherche à mener pour favoriser l'émergence de systèmes fourragers innovants (CARRÈRE *et al.*, 2014, ce numéro). Dans ce cadre, plusieurs pistes d'innovations, relevant essentiellement de la reconception, ont été identifiées et des questions de recherche ont été proposées.

La conception du projet OasYs s'inscrit dans le cadre global de ces différentes réflexions, l'objectif étant de **concevoir un système fourrager innovant en rupture avec les systèmes dominants**, puis de le mettre en œuvre sur un site expérimental de l'INRA à Lusignan. Ce projet, commandité par l'INRA, a été conduit par un groupe de trois chercheurs en partie déjà impliqués soit dans la réflexion générale sur les systèmes fourragers innovants à l'INRA, soit dans le programme Fée. Les démarches de co-conception puis de construction opérationnelle du système sont synthétisées ci-dessous.

■ De la reconception collaborative du système à sa construction opérationnelle

Afin de favoriser l'émergence d'une rupture avec les systèmes existants et d'améliorer en profondeur la durabilité du système, une **reconception globale du système** a été privilégiée. Cette approche, qui « ouvre le champ des possibles », s'inscrit donc dans le cadre de la conception « de novo », telle qu'elle a été formalisée par MEYNARD *et al.* (2012) par opposition à celle « pas-à-pas » où la transition vers des systèmes innovants est progressive.

Elle s'est appuyée sur une **méthodologie collaborative** croisant les regards d'une quinzaine de chercheurs et

de partenaires du monde professionnel et associatif, de disciplines et d'horizons variés, réunis **au cours de trois ateliers** d'une journée chacun (NOVAK *et al.*, 2012b). Le premier atelier a consisté à favoriser la créativité individuelle des participants en leur demandant d'imaginer des idées dans un cadre idéalisé de manière à leur donner les degrés de liberté suffisants pour qu'ils puissent s'extraire de leur mode de pensée habituel. Le cadre de contraintes qui leur a été proposé est : l'élevage bovin laitier associant cultures et élevage, en situation de plaine à sécheresse estivale avec des sols profonds. Les objectifs généraux dans lesquels ils devaient insérer leurs propositions étaient les suivants : un système économe en ressources limitées, résilient vis-à-vis du changement climatique, respectueux de l'environnement, vivable et viable. Les participants ont également eu pour consigne de proposer des idées en rupture avec l'existant. Une cinquantaine d'idées ont ainsi été émises que les trois animateurs du projet ont regroupé en sept thèmes (NOVAK *et al.*, 2012b).

Au cours du second atelier, cinq idées représentatives des différents thèmes d'innovation proposés par les participants ont été sélectionnées puis approfondies grâce à une fertilisation croisée réalisée en deux sous-groupes. Pour chacune de ces idées (par ex. : « un élevage laitier qui préserve vraiment l'eau et l'énergie »), les participants ont réfléchi aux différents moyens possibles de l'atteindre et ont identifié des freins et des verrous.

Le troisième atelier a permis de préciser les objectifs à viser par le système et de proposer les principales approches pour y répondre.

Puis les trois animateurs ont mis en cohérence les différentes idées fertilisées au cours de ces ateliers afin d'établir les bases d'un système répondant aux objectifs qui lui ont été assignés (NOVAK *et al.*, 2013).

La **construction opérationnelle du système** a été réalisée par sept experts en agronomie, zootechnie, systèmes fourragers, évaluation environnementale ou agroforesterie, déjà présents dans le premier groupe de conception, dont les deux chercheurs travaillant sur le programme Fée. Les techniciens de l'unité Ferlus ont été consultés régulièrement afin de les tenir informés de l'état d'avancement de la réflexion et de recueillir leurs propositions. D'autres experts ont également été questionnés pour répondre aux nouvelles questions qui apparaissaient (par exemple, le choix des races pour les croisements).

La construction du système a débuté en précisant ses **objectifs généraux** qui ont été énoncés comme suit « vivre du lait dans un contexte de contraintes et d'aléas climatiques en minimisant le recours aux ressources en voie de raréfaction (énergie fossile et eau), tout en contribuant à une agriculture durable ». La durabilité a été appréciée vis-à-vis de la capacité du système à préserver les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol, faune et flore) et à contribuer à atténuer le changement climatique, tout en satisfaisant les attentes des éleveurs et de la société civile et en favorisant le bien-être animal. Ce système a donc pour objectifs de produire un panel diversifié de services écosystémiques et, notamment, selon la terminologie

de ZHANG *et al.* (2007), des services d'approvisionnement (lait, cultures de vente, bois), de support (fertilité du sol, recyclage des éléments nutritifs, biodiversité génétique) et de régulation (pollinisation, contrôle des bioagresseurs, qualité de l'eau, climat). Conçu pour tirer le meilleur parti des ressources du milieu tout en le respectant et en satisfaisant les attentes de ses utilisateurs, ce système a été qualifié par les participants de « bioclimatique », par analogie au concept développé en architecture.

Trois concepts ont ensuite été approfondis (« économiser la ressource en eau », « économiser l'énergie fossile », « exploiter au mieux l'énergie solaire ») en les décomposant progressivement (par ex. : produire avec peu d'eau, créer un microclimat favorable...), ce qui a amené les participants à se poser de nouvelles questions dont certaines étaient inédites (ex. : « des plantes stockant l'eau »). Cette méthodologie peut être rapprochée de la **théorie C-K** conceptualisée par HATCHUEL et WEIL (2009) qui considère que le processus de conception résulte de l'expansion conjointe de deux « espaces » composés, d'une part, des « concepts » (c'est-à-dire de propositions dont la réponse est inconnue) et, d'autre part, des « connaissances » (*knowledge* en anglais) dont disposent les concepteurs ou qu'ils acquièrent durant le processus de conception. Les connaissances permettent de faire émerger de nouveaux concepts et ces derniers entraînent l'expansion des connaissances.

■ Le projet OasYs, aboutissement de cette approche collaborative

En s'appuyant sur les résultats de ce travail, les objectifs généraux du système ont été déclinés en objectifs stratégiques puis opérationnels pour les systèmes de culture et d'élevage (tableau 2).

La **réflexion**, d'abord cantonnée au système fourrager, s'est ensuite naturellement **élargie au système d'élevage** en imaginant un troupeau productif et rustique avec une stratégie de conduite en adéquation avec la disponibilité des ressources fourragères au cours de l'année. Cette posture s'inspire également d'une démarche agro-écologique puisqu'elle vise à **ajuster les besoins des animaux aux capacités de production du milieu**, contrairement au système dominant actuel où l'approvisionnement en fourrage est contrôlé davantage par les besoins des animaux que par les capacités de production du système fourrager. Un calendrier fourrager a pu être établi à partir de la combinaison de ces objectifs opérationnels.

La construction de ce système a nécessité à plusieurs reprises d'opérer des choix entre plusieurs options (ex. : allongement ou non des lactations) et ce sont à chaque fois des solutions risquées tout en étant prometteuses qui ont été privilégiées. Les grands traits du système sont synthétisés dans l'encadré 2.

La cohérence d'ensemble du système a été améliorée en recherchant des synergies entre systèmes de culture et d'élevage de manière à sécuriser la production de ressources fourragères tout en limitant les

Objectifs stratégiques	Objectifs opérationnels
* du système de culture	
- Sécuriser les ressources fourragères	- Prairies multispécifiques - Cultures diversifiées, mélanges de variétés et d'espèces - Couverts multi-étagés avec des ligneux - Cultures à double fin
- Economiser l'énergie directe (fioul) et indirecte (intrants)	- Rotation entièrement pâturable - Travail du sol simplifié - Large utilisation des légumineuses - Recyclage de la matière organique - Allongement des rotations - Milieux de vie favorables aux auxiliaires de culture
- Economiser et recycler l'eau	- Cultures d'hiver - Cultures d'été adaptées à la sécheresse - Ligneux - Ferti-irrigation - Fourrages riches en eau
* du système d'élevage	
- Limiter les besoins du troupeau aux périodes critiques	- 2 saisons de vêlage (printemps et automne) calées sur la disponibilité en ressources à pâturer
- Limiter les périodes sans production de lait	- Vêlage précoce à 2 ans - Intervalle vêlage-vêlage de 18 mois - Allongement de la carrière de la vache (3 lactations)
- Adapter la génétique du troupeau	- Croisement 3 voies (Holstein, Scandinave, Jersiaise)
Note : Une même pratique peut répondre à plusieurs objectifs ; par exemple, maximiser le pâturage permet non seulement de diminuer l'utilisation d'énergie directe sous forme de fioul en limitant l'utilisation d'engins agricoles mais également d'énergie indirecte en diminuant l'utilisation d'intrants (engrais minéraux azotés, pesticides, concentrés, tracteurs, bâtiments de stockage). Cette pratique permet également de réduire les consommations d'eau, que ce soit pour l'abreuvement ou la production fourragère.	

TABLEAU 2 : Les objectifs stratégiques et opérationnels assignés aux systèmes de culture et d'élevage du système de production OasYs.

TABLE 2 : *Strategic and operational objectives assigned to crop and livestock farming systems in the OasYs production system.*

intrants. Par exemple, les rotations comportent des cultures à double fin pouvant être valorisées en fourrage conservé ou pâturé, ou en culture de vente en fonction des besoins du troupeau. L'activité d'élevage a également une action positive sur la fertilité des sols grâce à l'implantation de prairies temporaires en tête de rotation et au recyclage des effluents.

En résumé, les **principales innovations identifiées** pour le système sont de deux ordres :

- **Une diversification des éléments du système**, que ce soit au niveau végétal (nombreuses espèces, variétés et mélanges), au niveau animal (croisement de races et deux périodes de vêlage), ou au niveau des fonctions que ces éléments remplissent. Par exemple les arbres fourragers ont pour vocation de constituer une ressource fourragère, mais également de réguler le microclimat (et donc de limiter le stress thermique des animaux et des couverts végétaux) ; ils ont également un rôle dans le stockage du carbone (et donc pour l'atténuation du changement climatique), dans

Des rotations diversifiées

Le système de culture est basé sur une diversification des fourrages en termes d'espèces et d'associations, de périodes de production et de modes d'exploitation. Les rotations de 7 ou 8 ans sur 90 ha s'appuient sur des prairies multispécifiques (graminées, légumineuses, autres dicotylédones) en alternance avec des cultures associées, fourragères ou de vente (NOVAK *et al.*, 2014). Elles sont conduites sans irrigation et progressivement en travail du sol simplifié. Une rotation entièrement pâturable est mise en place sur la sole facilement accessible. Elle comporte 5 années en prairies et 2 années en cultures annuelles pouvant fournir du fourrage en été (ex. : chicorée, navet) ou en hiver (ex. : betterave). Certaines parcelles sont également implantées en agroforesterie, principalement sous forme de ligneux fourragers et dans une moindre mesure pour la production de bois d'œuvre. L'agencement dans le temps et dans l'espace de cette diversité et des strates herbacées, arbustives et arborées est organisé de manière à sécuriser l'approvisionnement en fourrages et à constituer une ration équilibrée pour les ruminants.

Une nouvelle stratégie d'élevage

La stratégie de reproduction du troupeau constitué de 72 vaches a été mise en cohérence avec la disponibilité des ressources fourragères pâturées. Pour cela, 2 périodes de vêlage centrées sur le printemps et l'automne sont mises en place afin de limiter les besoins du troupeau durant les périodes critiques d'été et d'hiver, et de rendre son alimentation moins tributaire des aléas climatiques pouvant survenir à ces périodes de l'année.

La conduite de l'élevage a également été réfléchi de manière à diminuer les périodes non productives dans la carrière de la vache, afin de limiter les impacts environnementaux qui y sont associés, notamment ceux liés aux émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, les génisses sont conduites en vêlage précoce à 2 ans et la durée de lactation est allongée à 16 mois, ce qui devrait également permettre de limiter les périodes de forte demande animale (pics de lactation) souvent associées à des problèmes de santé et de réussite de reproduction.

La conduite génétique du troupeau vise à disposer de vaches plus rustiques, moins sensibles aux maladies, avec de bonnes capacités de reproduction et bien adaptées au pâturage et à des ressources fourragères de qualité limitées à certaines périodes de l'année. Pour cela, un croisement à trois voies (Holstein, Jersiaise et Rouge Scandinave) favorisant l'effet d'hétérosis est mis en place.

ENCADRÉ 2 : **Les systèmes de culture et d'élevage du projet OasYs "produire du lait biOclimAtique en expérimentation-SYSTème".**

FRAME 2 : **Crop and livestock farming systems in the OasYs project 'producing bioclimatic milk in an experimental system'.**

le recyclage des éléments nutritifs ainsi que dans la préservation de la qualité de l'eau et de la biodiversité. D'autres éléments du système présentent plusieurs fonctions, comme les cultures à double fin (vente ou fourrage), les intercultures (engrais verts, pièges à nitrate, fourrage, couverts mellifères) et les plantes racines (« boire en même temps que manger »).

- **Une valorisation de toutes les dimensions de l'espace** en introduisant un axe vertical grâce à des cultures multi-étagées permettant une utilisation renforcée de l'énergie solaire et des ressources en eau et en éléments nutritifs. La dimension temporelle est également optimisée, que ce soit pour la composante végétale grâce à des successions de culture sans sol nu (semis sous couvert, intercultures à multiples fonctions) ou pour la composante animale avec une production de lait considérée à l'échelle de la carrière de la vache plutôt que sur une seule période de lactation.

Nous faisons l'hypothèse qu'une plus grande diversité des composantes du système et de leurs fonctions, associée à leur gestion optimale dans le temps et dans l'espace, permettra de concilier un niveau de production et des performances environnementales élevées, tout en améliorant la résilience de l'agrosystème face aux aléas climatiques.

Ce système de production rentre dans le cadre des « systèmes diversifiés » tels que définis par KREMEN *et al.* (2012). Il est en effet basé sur différents processus écologiques (recyclage des éléments nutritifs, lutte biologique, couverture du sol...) et il s'appuie notamment sur la biodiversité fonctionnelle qui a été introduite dans le système à plusieurs niveaux (espèces et variétés cultivées, strates végétales, races bovines). La biodiversité joue un rôle clé dans la production de services écosystémiques grâce à ses effets bénéfiques sur la fertilité du sol, le recyclage des éléments nutritifs et de l'eau, la pollinisation et sur le contrôle des bioagresseurs (KREMEN *et al.*, 2012). Nous faisons l'hypothèse que cette diversité permettra non seulement de sécuriser l'approvisionnement en fourrages, de préserver la qualité de la ressource en eau mais également de limiter l'utilisation d'intrants (NOVAK *et al.*, 2013).

■ Innover aussi dans les expérimentations et dans l'évaluation des systèmes

Le système de production conçu nécessite d'être testé « grandeur nature » car les innovations imaginées mettent en œuvre des processus qui restent encore mal ou peu pris en compte dans les rares modèles mécanistes intégratifs ayant pour ambition de représenter le fonctionnement d'un agrosystème en polyculture - élevage (GOUTTENOIRE *et al.*, 2011). Ainsi, même les modèles de simulation multispécifiques sont considérés comme n'étant pas encore assez performants (MALÉZIEUX *et al.*, 2009). Le système demande par ailleurs à être testé sur un pas de temps long pour démontrer la validité des hypothèses formulées et sa faisabilité.

C'est donc sous la forme d'une **expérimentation - système** que ce système est expérimenté sur un site de l'INRA à Lusignan, ce mode d'expérimentation étant particulièrement bien adapté aux recherches pluridisciplinaires et multifactorielles sur un pas de temps pluriannuel et à l'échelle d'un système de production (MEYNARD *et al.*, 1996). Des innovations dans le domaine des expérimentations restent toutefois encore à imaginer afin de combiner les bénéfices liés à cette approche globale aux avantages des

essais analytiques qui restent indispensables pour évaluer plus finement certaines innovations techniques ou pour comprendre certains processus à l'échelle de la plante, du peuplement, de la parcelle, de l'animal ou du troupeau.

La mise en œuvre du système « grandeur nature » peut difficilement s'effectuer d'un seul bloc, que ce soit sur un site expérimental ou chez un agriculteur, en raison de contraintes physiques (évolution du troupeau et de l'assolement, disponibilité du matériel). Les innovations correspondant aux objectifs prioritaires sont rapidement mises en place et d'autres, moins prioritaires, feront l'objet d'une amélioration progressive, comparable à une démarche pas-à-pas, avec une boucle d'apprentissage. Cette approche est similaire à celle utilisée dans le cadre de la « gestion adaptative » des ressources naturelles (WILLIAMS, 2011).

Ainsi dans notre cas, la transformation du troupeau a été immédiatement engagée ainsi que la mise en place des rotations. En revanche, les techniques de travail du sol simplifiées et de désherbage mécanique, ainsi que l'autoproduction de concentrés seront mises en œuvre progressivement, afin de tenir compte de notre apprentissage vis-à-vis de ces techniques.

La phase de transition entre le système de départ et le système visé nous semble être une étape déterminante dans la réussite de l'innovation. En effet le système ne pourra répondre aux objectifs qui lui ont été assignés que lorsque tous ses éléments seront effectivement mis en place. La phase de transition constitue donc une étape primordiale pour identifier les freins et les leviers à sa mise en place, ainsi que les besoins en connaissance associés. En ce sens, elle peut constituer en elle-même un véritable objet d'étude dans une expérimentation-système (COQUIL *et al.*, 2013).

Par ailleurs, nous considérons que notre système n'est pas figé, contrairement à la méthodologie de conception du « prototypage » formalisée par VEREIJKEN (1997). En effet, nous souhaitons pouvoir intégrer de nouvelles innovations d'ordre technique dans le système, là aussi dans une logique de boucle de progrès.

Enfin la caractérisation et l'évaluation de ce système innovant « hors norme » nécessite de **développer de nouveaux critères et indicateurs** permettant de le décrire tout en le comparant avec des systèmes plus conventionnels. Ainsi le cloisonnement entre SFP (Surface Fourragère Principale) et SCOP (Surface en Céréales et OléoProtéagineux) n'a plus grand sens dans un système où une partie des cultures sont à double fin. De même, certains indicateurs de performance du système ne sont pertinents qu'à une échelle pluriannuelle, pour pouvoir rendre compte des processus en jeu. Par exemple, l'effet de l'implantation ou du retournement de prairies temporaires sur le relargage de nitrates ou le stockage de carbone ne peut être appréhendé qu'à l'échelle de la rotation. Par ailleurs, le volume de lait produit annuellement est bien insuffisant pour évaluer ce nouveau système laitier bioclimatique (aller vers des kg de matière utile produits par kJ d'intrant ?).

Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus dans le programme Fée ont permis de déterminer les avantages et inconvénients d'innovations techniques sur des composantes du système fourrager, en termes de production fourragère, de valeurs alimentaires ou de valorisation par les vaches laitières. Ils apportent également des réponses vis-à-vis des enjeux globaux relatifs à la raréfaction des ressources et au changement climatique (EMILE et NOVAK, 2011).

Certaines de ces innovations, majeures ou mineures, ont été adoptées dans la conduite de routine du système fourrager de l'exploitation. Par exemple, depuis dix ans, les ensilages de sorgho se substituent aux ensilages de maïs dans nos rations laitières et ont permis de réduire fortement nos besoins en irrigation. L'effet à long terme de leur mise en œuvre n'a cependant peu ou pas été pris en compte (substitution sorgho/maïs et incidence sur les rotations, réalisation de stocks sur pied et contrôle des adventices).

La démarche mise en œuvre dans le programme OasYs a permis de concevoir un système de production cohérent avec une nouvelle combinaison d'éléments dont certains sont assez originaux et parfois risqués tout en étant prometteurs (ex : allongement des lactations, ligneux fourragers). Grâce aux concepts de diversité des éléments et des fonctions, à un nouveau regard sur les dimensions de l'espace et du temps et sur la complémentarité entre cultures et élevage, nous proposons une nouvelle façon de produire du lait, moins sensible aux aléas climatiques, tout en étant économiquement viable et performante sur le plan environnemental. Basés sur les principes de l'agroécologie, ce système devrait également être moins sensible aux aléas économiques et biologiques, grâce respectivement à sa plus grande autonomie vis-à-vis des intrants et à la diversité de ses espèces et génotypes. L'amélioration de la fertilité de l'agrosystème au travers de ses composantes sol, biodiversité utile, troupeau et microclimat devrait par ailleurs permettre de maintenir ses performances sur le long terme.

La mise en œuvre « grandeur nature » du système imaginé est une étape indispensable dans le processus d'innovation afin de vérifier la validité des hypothèses émises et la faisabilité du système. Pour cela, il est important que ce dispositif devienne l'objet de recherches pluridisciplinaires à différentes échelles permettant à la fois de comprendre les processus en jeu dans les différents éléments du système et leurs interactions (ex : impact de la diversité des ressources fourragères sur la santé des animaux), d'étudier la cohérence des différents sous-systèmes et du système global, et de procéder à leur évaluation multicritère. L'étude de ce système pourrait notamment permettre de faire progresser les connaissances scientifiques et techniques dans le domaine de l'agroécologie, qui reste encore peu étudiée dans les systèmes de production animale (DUMONT *et al.*, 2012).

Le dispositif expérimental s'attachera également à favoriser les échanges avec la profession et l'enseignement

agricole afin, d'une part, d'identifier et de chercher à lever les principaux freins à l'adoption des innovations testées et, d'autre part, de recueillir leurs propres idées d'innovation. Certaines innovations prometteuses identifiées par les chercheurs ou les éleveurs dans le cadre de réseaux constitués ou de forums d'échange, pourraient être testées en parallèle sur le dispositif et chez un réseau d'agriculteurs.

Enfin, il nous semble que ce type de dispositif de longue durée est propice à l'établissement de liens avec la société civile et avec les acteurs du territoire, par exemple au travers de réflexions pour une meilleure conciliation des activités agricoles et des enjeux environnementaux dans les territoires.

Au final, vouloir innover dans les systèmes de production agricole nécessite de mettre en œuvre de nouvelles approches, non seulement au niveau des étapes de conception, d'expérimentation et d'évaluation, mais également au niveau des collaborations avec les acteurs de la recherche, du monde agricole et de la société civile.

Accepté pour publication,
le 12 février 2014.

Remerciements : Cet article s'appuie sur les réflexions menées dans le cadre de deux groupes de travail consécutifs dont nous remercions chaleureusement tous les participants (par ordre alphabétique) :

- premier groupe de réflexion : R. Baumont (GIS Elevages Demain), C. Bordet (Solagro), J. Chemarin (C.A. Vienne), J.-C. Emile (INRA Ferlus), A. Farruggia (INRA UMRH), L. Guichard (INRA UMR Agronomie), P. Guy (FNE), E. Kernéis (INRA DSLP), F. Liagre (Agrooof), J.-M. Lusson (RAD), C. Mosnier (INRA UMRH), J. Mousset (ADEME), A. Pflimlin (retraité IDELE), B. Rolland (INRA APBV), P. Roux (agriculteur de la Vienne), F. Sangouard (LEGTA Mirecourt), F. Santi (INRA UAGPF).
- deuxième groupe de réflexion : J.-C. Emile (INRA Ferlus), A. Farruggia (INRA UMRH), L. Guichard (INRA UMR Agronomie), F. Liagre (Agrooof), S. Rouger (RMT Systèmes de culture innovants).

Nous remercions vivement Rémy Delagarde (INRA UMR 1348 Pégase) et Jean-Louis Fiorelli (INRA UR 0055 ASTER) qui ont assuré la co-animation de ces deux groupes de réflexion avec Sandra Novak (INRA Ferlus). Nous remercions également les agents de l'unité Ferlus pour leur implication dans la construction et la mise en œuvre du système.

Le programme de recherche ayant abouti au projet OasYs a été initié et soutenu par 6 départements scientifiques de l'INRA (Environnement et Agronomie ; Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage ; Sciences pour l'Action et le Développement ; Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques ; Génétique et Amélioration des Plantes ; Sciences Sociales, Agriculture et Alimentation, Espace et Environnement).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUDEBERT G., NOVAK S., BOLANOS E., EMILE J.C. (2011) : "Réussir son sorgho ensilage", *C.R. Journées AFFF*, Paris, 30-31 mars, 136-137.

BORDET A.C., BOCHU J.L., TREVISIOL A. (2010) : *Références Planète 2010. Fiches 1 et 4*, Solagro, Toulouse, 29 et 32 p.

CARRÈRE P., DELAGARDE R., EMILE J.C., LHERM M., MARTIN-CLOUAIRE R., TICHIT M., PLANTUREUX S. (2014) : "Quelles stratégies de recherche pour favoriser l'émergence de systèmes fourragers innovants ?", *Fourrages*, 217 (ce numéro), 57-68.

COQUIL X., LUSSON J.M., BEGUIN P., DEDIEU B. (2013) : "Itinéraires vers des systèmes autonomes et économes en intrants : motivations, transition, apprentissages", *Renc. Rech. Ruminants*, INRA, Institut de l'élevage, Paris, 20, 285-288.

DEQUÉ M. (2011) : "Scénarios de changement climatique en Poitou-Charentes", *3è Rencontres de la recherche et du développement en Poitou-Charentes : Changement climatique : quelles perspectives pour l'agriculture régionale ?*, Melle, http://www.poitou-charentes.chambagri.fr/fileadmin/publication/Intranet/WikiConseil/Recherche_et_Developpement/Documents/PC_ACTES_COLLOQUE_6122011_v2.pdf, pp. 3-8.

DO NASCIMENTO W.G., BARRIÈRE Y., CHARRIER X., HUYGHE C., EMILE J.C. (2005) : "Evaluation of sweet grain sorghum silage for dairy cows as an alternative to irrigated maize silage", *Proc. Grassl. Conf.*, June 2005, Dublin (Ireland), T2, 679.

DUMONT B., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., THOMAS M., TICHIT M. (2012) : "Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century", *Animal*, 7, 1028-1043.

EMILE J.C., NOVAK S. (2011) : "Recherche de systèmes fourragers innovants : économie d'eau et d'énergie, contribution au stockage du carbone", *3è Rencontres de la recherche et du développement en Poitou-Charentes, Changement climatique : quelles perspectives pour l'agriculture régionale ?*, Melle, http://www.poitou-charentes.chambagri.fr/fileadmin/publication/Intranet/WikiConseil/Recherche_et_Developpement/Documents/PC_ACTES_COLLOQUE_6122011_v2.pdf, pp. 41-45.

EMILE J.C., AL RIFAÏ M., DELAGARDE R. (2008a) : "Le pâturage de triticale en fin d'hiver permet d'avancer la mise à l'herbe en troupeau laitier", *Renc. Rech. Ruminants*, Paris, 15, 301.

EMILE J. C., JACOBS DIAS F., AL RIFAÏ M., LEROY P., FAVERDIN P. (2008b) : "Triticale and mixtures silages for feeding dairy cows", *Proc. Europ. Grassl. Fed.*, Uppsala (Sweden), June 2008, 804-806.

EMILE J.C., LE ROY P., BOURGOIN F., AL RIFAÏ M. (2009) : "Quels ensilages de sorgho pour des vaches laitières ?", *Renc. Rech. Ruminants*, Paris, 16, 51.

EMILE J.C., AUDEBERT G., NOVAK S. (2011) : "Le rendement et l'ingestibilité d'un ensilage d'associations céréales protéagineux dépendent de la date de récolte et du type de céréale", *Renc. Rech. Ruminants*, Paris, 18, 128.

FAO (2011) : *Save and grow: A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*, 112 p.

GOUTTENNOIRE L., COURNUOT S., INGRAND S. (2011) : "Modelling as a tool to redesign livestock farming systems: a literature review", *Animal*, 5, 1957-1971.

HATCHUEL A., WEIL B. (2009) : "C-K design theory: An advanced formulation", *Res. in Engineering Design*, 19, 181-192.

HILL S.B. (1998) : "Redesigning agroecosystems for environmental sustainability: a deep systems approach", *Systems Research and Behavioral Sci.*, 15, 391-402.

HILL S.B. (2006) : "Enabling redesign for deep industrial ecology and personal values transformation: a social ecology perspective", Green K., Randles S. (eds.), *Industrial ecology and spaces of innovation*, Edward Elgar Publishing, pp. 255-271.

Institut de l'élevage (2012) : "Actualisation 2012 des systèmes bovins laitiers en Poitou-Charentes", <http://idele.fr/filieres/bovin-lait/publication/idelesolr/recommends/actualisation-2012-des-systemes-bovins-laitiers-en-poitou-charentes.html>

ITIER B. (2010) : "Confort hydrique et restitution d'eau aux nappes", *Livre vert du projet Climator*, Ademe éd., pp. 79-92.

KREMEN C., ILES A., BACON C. (2012) : "Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture", *Ecology and Society*, 17, 44.

LE GAL P.Y., DUGUÉ P., FAURE G., NOVAK S. (2011) : "How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review", *Agricultural Systems*, 104, 714-728.

- MALÉZIEUX E., CROZAT Y., DUPRAZ C., LAURANS M., MAKOWSKI D., OZIER-LAFONTAINE H., RAPIDEL B., DE TOURDONNET S., VALANTIN-MORISON M. (2009) : "Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review", *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 43-62.
- MEYNARD J.M., REAU R., ROBERT D., SAULAS P. (1996) : "Evaluation expérimentale des itinéraires techniques", *Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*, Paris, DERF-ACTA, pp. 63-72.
- MEYNARD J.M., DEDIEU B., BOS A.P. (2012) : "Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices", Ika Darnhofer D.G., Benoît Dedieu éd., *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*, Springer, 407-432.
- NOVAK S., WALCZAK P., TRILLAUD A., EMILE J.C. (2012a) : "Evaluation d'associations céréales-vesce pour leur exploitation au pâturage avant une récolte en grain", *Renc. Rech. Ruminants*, Paris, 19, 218.
- NOVAK S., DELAGARDE R., FIORELLI J.L. (2012b) : "Vers un système fourrager innovant en polyculture-élevage : la démarche initiée à Lusignan", *Innovations Agronomiques*, 22, 159-168.
- NOVAK S., DELAGARDE R., FIORELLI J.L. (2013) : "Conception d'un système fourrager bioclimatique : la démarche initiée à Lusignan", *Fourrages*, 215, 241-246.
- NOVAK S., DELAGARDE R., EMILE J.C., FARRUGGIA A., FIORELLI J.L., GUICHARD, L., LIAGRE F. (2014) : "Des prairies diversifiées pour du lait bioclimatiques", *Actes des Journées AFPF, Concilier productivité et autonomie en valorisant la prairie*, 25 & 26 mars 2014, Versailles, sous presse.
- REAU R., MEYNARD J.M., ROBERT D., GITTON C. (1996) : "Des essais factoriels aux essais « conduite de culture »", *Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*, DERF-ACTA, Paris, 52-62.
- VEREIJKEN P. (1997) : "A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms", *Eur. J. Agron.*, 7, 235-250.
- WILLIAMS B.K. (2011) : "Adaptive management of natural resources - framework and issues", *J. of Environmental Management*, 92, 1346-1353.
- ZHANG W., RICKETTS T.H., KREMEN C., CARNEY K., SWINTON S.M. (2007) : "Ecosystem services and dis-services to agriculture", *Ecological Economics*, 64, 253-260.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère