

Conception d'un système fourrager bioclimatique : la démarche initiée à Lusignan

S. Novak¹, R. Delagarde², J.-L. Fiorelli³

Un programme de recherche (Inra Lusignan) vise à concevoir et évaluer un système fourrager innovant, co-construit avec des chercheurs et des partenaires socioprofessionnels. L'objectif de ce système : produire du lait dans un contexte d'aléas climatiques en minimisant le recours aux ressources en voie de raréfaction tout en contribuant à une agriculture durable.

RÉSUMÉ

Le système est conçu en se basant sur une approche agro-écologique : diversification des fourrages en termes d'espèces et d'associations, de périodes de production et de modes d'exploitation, en interaction avec les systèmes de culture, afin de favoriser la résilience du système et de valoriser au mieux les différentes strates du milieu. Ce système, dénommé OasYs et qualifié de "bioclimatique", préservera les ressources en eau et en énergie fossile grâce au développement du pâturage et de l'utilisation des légumineuses, au recyclage de l'eau et des nutriments. L'ajustement des besoins des animaux grâce aux périodes de vêlage, à la durée de lactation ou à un type génétique animal mieux adapté est également étudié. Les principales pistes en cours d'exploration sont présentées.

SUMMARY

Designing a bioclimatic forage system: the approach developed in Lusignan

The Inra has introduced a new research programme for designing and evaluating an innovative forage system, co-developed by researchers and socio-professional partners. The objective of this new system consists in producing milk in a context of climate change, while minimizing the use of raw materials from threatened sources and contributing to sustainable farming. This new system, OasYs, involves an agro-ecological approach: diversification of forage (species, mixtures, periods of production, end uses...), in link with farming systems in order to promote the resilience of this system and make the most of environmental strata. This system will help preserve water resources and fossil energy (by promoting grazing, legumes, water and nutrient recycling...). Adjusting animal requirements (calving periods and animal genetics, lactation phase) is another option being studied.

1. De nouveaux défis à relever...

L'élevage laitier doit faire face à de nouveaux défis : maintenir sa production en s'adaptant à la fois au changement climatique et à la raréfaction des ressources en énergie fossile, tout en étant respectueux de l'environnement.

■ Défis en raison du changement climatique...

Dans le Grand Ouest, principal bassin laitier français (Bretagne, Pays de Loire et Normandie représentent

50 % du lait produit), il est prévu, selon les différents modèles de changement climatique, une augmentation de la fréquence des sécheresses estivales et des événements climatiques extrêmes (DÉQUÉ, 2011). Cela risque d'aggraver les pénuries de fourrages déjà observées, comme par exemple en 2011. Les tensions sur la ressource en eau risquent également de s'accroître, le changement climatique induisant une baisse de la recharge des nappes sous l'effet conjugué de l'augmentation des températures (et donc de l'évapotranspiration des plantes) et d'une baisse probable des précipitations notamment dans l'Ouest de la France (ITIER, 2010).

AUTEURS

- 1 : UE 1373 FERLUS; INRA Les Verrines, F-86600 Lusignan ; sandra.novak@lusignan.inra.fr
2 : UMR 1348 PEGASE, INRA-Agrocampus Ouest, Domaine de la Prise, F-35590 Saint Gilles
3 : UR 0055 ASTER, INRA Domaine du Joly, 662, av. Louis Buffet F-88500 Mirecourt

MOTS CLÉS : Agriculture durable, facteur climat, innovation, légumineuse, pâturage, production laitière, recherche scientifique, système de production, système fourrager.

KEY-WORDS : climatic factor, dairying, forage system, grazing, innovation, legume, production system, scientific research, sustainable agriculture.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Novak S., Delagarde R., Fiorelli J.L. (2013) : "Conception d'un système fourrager bioclimatique : la démarche initiée à Lusignan", *Fourrages*, 215, 241-246.

En revanche, l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique devrait avoir un effet bénéfique sur la production de biomasse des plantes en C3 qui pourrait compenser dans certains cas les effets négatifs des stress thermiques et hydriques (RUGET *et al.*, 2012), alors que les plantes en C4 seraient plutôt avantagées par l'accroissement des températures (DURAND *et al.*, 2010).

■ Défis en raison de l'amenuisement des ressources en énergie fossile

L'extraction de pétrole et gaz fossiles risque d'atteindre son pic avant 2020 (MURRAY et KING, 2012) ce qui aura un impact important en agriculture sur les coûts de production liés aux intrants de synthèse, comme par exemple les engrais minéraux azotés.

De nouveaux systèmes laitiers doivent donc être conçus afin de faire face aux effets combinés du changement climatique et de la raréfaction des ressources en eau et en énergie, tout en répondant aux attentes contrastées des divers porteurs d'enjeux (éleveurs, conseillers, filière, société civile, décideurs politiques...), concernant notamment la sécurisation de l'approvisionnement en fourrages et la préservation de l'environnement.

■ Privilégier une re-conception globale des systèmes, multidisciplinaire et avec les porteurs d'enjeux

Afin de concevoir de nouveaux systèmes qui soient « profondément durables », HILL (1998) préconise d'utiliser une approche globale du changement, selon lui plus efficace que les stratégies visant simplement à améliorer l'efficacité d'une technique ou d'un produit, ou que celles visant à les substituer par d'autres techniques ou produits. Cette notion comporte à la fois l'idée d'une rupture avec le système existant et une volonté de considérer le système de production dans son ensemble.

Plusieurs études ont montré que, pour favoriser l'émergence et l'adoption d'innovations, il est important que le processus de conception implique à la fois des chercheurs de disciplines variées et des porteurs d'enjeux (LE GAL *et al.*, 2011).

Dans ce contexte, un groupe de travail composé des trois coauteurs de cet article et mandaté par six départements scientifiques de l'INRA¹ travaille actuellement à la construction d'un programme de recherche sur des systèmes fourragers innovants associant cultures et élevage, en rupture avec les systèmes existants, qui va être mis en œuvre sur l'unité expérimentale Fourrages, Environnement et Ruminants de l'INRA de Lusignan en Poitou-Charentes. On peut en effet estimer en première approximation que les conditions climatiques actuelles de Lusignan, par sa position plus méridionale, préfigurent celles qui prévaudront

dans une vingtaine d'années dans le principal bassin laitier français (Bretagne, Pays de Loire, Normandie).

Cet article présente rapidement la méthodologie mise en œuvre ainsi que les premiers résultats des réflexions et quelques perspectives.

2. Le projet : synthèse des réflexions en cours

Le travail de co-conception a débuté en janvier 2012 avec un groupe de réflexion assez large associant des chercheurs et des partenaires du monde professionnel et associatif intéressés par l'élaboration de nouveaux systèmes fourragers en polyculture - élevage. La méthodologie mise en œuvre s'appuyant notamment sur la méthode de la fertilisation croisée des idées, très utilisée en innovation, est décrite dans un autre article (NOVAK *et al.*, 2012). Ce groupe a émis une cinquantaine d'idées pouvant être source d'innovation dans les systèmes fourragers, puis a proposé les grands objectifs à assigner au système à mettre en place sur Lusignan ainsi que les principales approches pour y répondre.

Ce travail de co-conception se poursuit actuellement avec un groupe plus restreint et en mobilisant ponctuellement des experts et des opérateurs aux savoirs variés pour approfondir certaines questions. L'objectif est ici de configurer des systèmes fourragers prototypes associant prairies, cultures et élevage, en adaptant une méthodologie générique développée pour la conception de systèmes de cultures innovants (DEBAEKE *et al.*, 2009 ; REAU *et al.*, 2010).

En nous appuyant sur les propositions et discussions ayant eu lieu dans ces deux groupes de réflexion, nous avons établi les bases d'un projet de système fourrager innovant à Lusignan, dont les principales pistes sont indiquées ci-après. Cependant, la conception du système poursuivant son cours à ce jour, certaines pistes sont encore en phase d'exploration ; de nouvelles idées peuvent encore émerger et d'autres seront peut-être écartées dans le système qui sera effectivement expérimenté.

■ Cadre de contraintes et d'objectifs assignés au système fourrager innovant

Pour répondre aux multiples enjeux auxquels doit répondre l'élevage laitier, le groupe de réflexion a préconisé de concevoir de nouveaux **systèmes fourragers tirant le meilleur parti des facteurs abiotiques et biotiques du milieu** (eau, sol, rayonnement solaire, espace disponible, insectes auxiliaires, bactéries symbiotiques...) **et des effets du changement climatique, tout en économisant les ressources en voie de raréfaction** (énergie fossile, eau) et en maintenant (voire en améliorant) la fertilité du sol afin d'assurer la pérennité du système. Ces nouveaux systèmes fourragers devront par ailleurs préserver les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol, faune et flore) et contribuer à atténuer le réchauffement climatique, tout en assurant la satisfaction des besoins des

1 : 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.

troupeaux et les attentes des éleveurs et de la société civile. De tels systèmes ont été qualifiés de « bioclimatiques » par analogie au concept développé en architecture.

Les **objectifs opérationnels** auquel devra répondre précisément le système qui sera mis en place à Lusignan restent encore à préciser mais, en première approche, ils ont été énoncés comme suit : « produire du lait dans un contexte d'aléas climatiques en minimisant le recours aux ressources en voie de raréfaction (eau, énergie fossile) tout en contribuant à une agriculture durable ». Nous souhaitons notamment que ce système puisse apporter des réponses génériques aux systèmes laitiers (grâce à l'expérimentation et à la modélisation), particulièrement à ceux du Grand Ouest.

■ Une approche agro-écologique

Le système fourrager bioclimatique de Lusignan est conçu en considérant le système de production dans son ensemble et en utilisant une approche agro-écologique fondée sur une diversification des fourrages en termes d'espèces et d'associations, de périodes de production et de modes d'exploitation, notamment sur un **axe vertical** encore peu exploré (valorisation des strates profondes du sol et de plusieurs strates aériennes). Cette approche s'appuie également sur le **développement du pâturage**, sur une plus large utilisation **des légumineuses** et sur le **recyclage de l'eau et des nutriments**.

Les systèmes en polyculture - élevage, associant étroitement productions animales et végétales, ont été considérés comme présentant de nombreux avantages, notamment grâce à leur possibilité de recyclage des éléments nutritifs, de diversification des activités et d'utilisation des cultures à double fin (vente ou fourrage).

• Diversifier les ressources fourragères à tous les niveaux

Nous faisons l'hypothèse majeure que la diversification des ressources fourragères est un moyen de premier ordre pour répondre aux objectifs assignés à un système fourrager bioclimatique. Elle permet non seulement de sécuriser l'approvisionnement en fourrages, mais également de limiter l'utilisation d'intrants à forte empreinte énergétique (engrais minéraux azotés de synthèse, aliments concentrés exogènes) à condition de s'appuyer sur une gestion agro-écologique du système. Ainsi, l'utilisation de plantes aux besoins en rayonnement solaire, en eau et en éléments nutritifs diversifiés dans le temps et dans l'espace permet à la fois de mieux valoriser les ressources naturelles du milieu et d'étaler la production de fourrages dans le temps.

Cette diversification présente également l'intérêt de préserver la qualité de la ressource en eau, i) vis-à-vis des pesticides, en réduisant le risque de prolifération de bio-agresseurs grâce notamment à la présence d'auxiliaires ou en contrôlant la prolifération des adventices par la couverture du sol et la diversité des cycles culturaux (cultures pérennes, alternance de cultures d'hiver et de

printemps), ou ii) vis-à-vis du risque de pollution nitrique, grâce à une réduction des apports en engrais azotés de synthèse (présence importante de légumineuses) et un meilleur prélèvement des nitrates par les plantes, à la fois dans l'espace racinaire et dans le temps.

La diversification des espèces cultivées et la présence renforcée des cultures à double fin (fourrages et/ou récolte en grains) dans les rotations constituent également un élément clé de la résilience du système fourrager face aux aléas climatiques, permettant une orientation raisonnée de l'utilisation des surfaces selon les conditions et les risques à moyen et long termes.

Cette diversification vise non seulement les espèces herbacées mais considère également les espèces ligneuses. En effet, nous pensons que l'utilisation de strates arbustives ou arborées constitue également une stratégie innovante pour sécuriser l'approvisionnement fourrager en période de stress hydrique, tout en permettant de limiter le stress thermique des animaux et des couverts végétaux, de valoriser l'eau présente dans les couches profondes du sol, de stocker du carbone (JOSE, 2009 ; MALÉZIEUX *et al.*, 2009) et de contribuer à générer un microclimat plus tempéré. Les **systèmes multi-étagés**, combinant strates herbacées, arbustives et arborées semblent particulièrement intéressants en termes de valorisation des ressources naturelles et de productivité, mais ils demandent à être adaptés aux zones tempérées et à l'élevage bovin laitier.

Au niveau zootechnique, de nombreuses adaptations du troupeau et de sa conduite peuvent être envisagées (POTTIER *et al.*, 2007). Notre objectif est de mettre en cohérence les besoins des animaux (ajustement des périodes de vêlage ou du type génétique) avec les ressources disponibles au cours de l'année, tout en ayant des niveaux de production laitière satisfaisants et des animaux peu sensibles aux maladies et sans problème de reproduction. Une complémentarité entre aliments sera recherchée à chaque période de l'année de manière à constituer autant que possible des rations équilibrées, en combinant des fourrages de différentes valeurs alimentaires (stocks, pâturage, affouragement en vert). Les possibilités d'associer des fourrages « grossiers », présents en quantité importante mais de qualité limitée, avec des fourrages, des racines ou des fruits de haute qualité (notion de banque énergétique ou protéique) seront étudiées.

• Utiliser au mieux les ressources en énergie et en eau

Répondant bien aux objectifs d'économie d'énergie, **le pâturage** sera un mode privilégié d'utilisation des ressources, ce qui implique d'étudier la « pâturabilité » de nouveaux types de couverts, purs ou en mélanges (chicorée, betterave, navets, graminées en C4 tempérées et méditerranéennes, feuilles de ligneux productifs), en cultures annuelles principales ou en couverts intermédiaires. Dans le même objectif, l'implantation de **cultures pérennes ou annuelles auto-ressemées** permettant une diminution du travail du sol, de même qu'une utilisation

la plus large possible des **légumineuses** (fourragères ou à graines) et une meilleure gestion des effluents seront également recherchées.

Afin d'**économiser les ressources en eau** souterraine et superficielle, plusieurs stratégies sont étudiées. Elles reposent sur une meilleure valorisation i) des effluents liquides (par ex. : eaux d'hydrocurage), ii) de l'eau contenue dans le sol (par augmentation de sa réserve utile et diminution de son évaporation ou en esquivant les périodes à fort déficit hydrique par une récolte précoce) et iii) de l'eau présente dans les fourrages non séchés permettant de limiter le besoin en eau d'abreuvement des animaux.

Si l'on considère la **production d'énergie** comme une fonction associée aux systèmes fourragers bioclimatiques, plusieurs voies peuvent être envisagées comme notamment l'imbrication de panneaux solaires dans le système ou la valorisation de la biomasse des arbres et des haies en complément de leurs rôles fourrager et d'abri.

■ Le cadre expérimental

Le groupe de travail a également initié avec les partenaires une réflexion sur le type d'expérimentations à mettre en place pour tester un tel système.

• Comment expérimenter un tel système fourrager ?

Actuellement, les recherches en agriculture sont conduites selon deux grands types de démarche expérimentale : i) des expérimentations de type analytique (ou factoriel) à l'échelle de parcelles ou de lots d'animaux faisant varier un ou deux facteurs à la fois, ou ii) des expérimentations - système pluridisciplinaires, multifactorielles et pluriannuelles, conduites à l'échelle de dispositifs caractérisés par une visée globale et organisée des divers enjeux d'un système de production (REAU *et al.*, 1996 ; MEYNARD *et al.*, 2006).

L'approche « expérimentation - système » nous semble être la plus pertinente pour mettre en œuvre un système fourrager innovant pour plusieurs raisons. D'une part, elle permet de tester une combinaison de techniques et de pratiques et d'évaluer la cohérence des techniques entre elles et vis-à-vis des objectifs à atteindre, tout en permettant l'identification et la mobilisation de ressources internes associées à la recherche d'une plus grande autonomie (COQUIL *et al.*, 2012). D'autre part, elle permet d'évaluer le système de production de manière globale et donc de prendre en compte les transferts de pollution qui peuvent avoir lieu d'un compartiment à l'autre de l'exploitation (par exemple, une pratique peut diminuer les émissions de gaz à effet de serre lors du stockage des effluents d'élevage, mais les augmenter lors de l'épandage). Il nous semble également qu'expérimenter dans un cadre défini d'objectifs et de contraintes favorise l'émergence de techniques ou de pratiques innovantes.

Cependant, des essais analytiques cohérents avec les objectifs du système et ne le perturbant pas seront égale-

ment menés, par exemple pour déterminer la valeur alimentaire de nouveaux fourrages ou pour tester de nouveaux itinéraires culturaux, afin de piloter au mieux l'expérimentation - système et d'atteindre les objectifs fixés.

Il serait par ailleurs intéressant de mener des expérimentations en partenariat avec un réseau d'agriculteurs, dans le cadre d'une recherche participative.

Enfin, un tel système nécessite d'être expérimenté sur un pas de temps relativement long, de l'ordre d'une à deux décennies au moins, surtout si l'on prend en compte la nécessaire dynamique progressive de mise en place des différentes composantes du système (rotations longues, croissance des ligneux, évolution du troupeau).

• Zoom sur le site de Lusignan

L'**Unité Expérimentale Fourrages, Environnement, Ruminants** de l'INRA de Lusignan est située en Poitou-Charentes, dans la Vienne, sur des sols limono-argileux sur argile rouge appelés « terres rouges à châtaigniers » (brunisol, ferro-nodulaire, luvique). L'Unité dispose d'une exploitation qui comporte un troupeau de 70 vaches laitières Prim'Holstein et peut mobiliser une centaine d'hectares pour tester un système fourrager bioclimatique associant cultures annuelles, prairies temporaires et cultures de vente. L'équipe FÉE (Fourrages, Énergie, Eau) mène depuis plusieurs années des expérimentations sur des ressources fourragères économes en eau et en énergie (par ex. EMILE *et al.*, 2008 ; EMILE et NOVAK, 2011) et a inauguré en 2010 un bâtiment d'élevage conçu pour économiser l'eau et l'énergie, comportant notamment un nettoyage des aires de circulation par hydrocurage.

■ Quelques-unes des pistes explorées

• Des fourrages diversifiés à pâturer en priorité

Afin de satisfaire à la fois aux objectifs de sécurisation des ressources fourragères et d'économie des ressources en eau et en énergie, nous avons réfléchi à des ressources fourragères permettant de **maximiser le pâturage tout au long de l'année**, en particulier durant les périodes délicates que sont l'été et l'automne - hiver. En été, les premières pistes vont vers des prairies d'association de légumineuses et de graminées « classiques » adaptées à la sécheresse (par ex. : fétuque - luzerne) implantées d'arbres ou d'arbustes pour ombrager les animaux, des plantes racines (navet par ex.) associées avec des légumineuses ou encore des prairies associant des graminées en C4 (millet par ex.) avec des légumineuses (par ex. : trèfle d'Alexandrie). D'autres ressources sont également étudiées comme fourrage d'appoint en cas de sécheresse (chicorée, betteraves, feuilles d'arbres ou d'arbustes...). Les essences de ligneux, leur mode d'exploitation et leur place dans le système, notamment compte tenu de leur valeur alimentaire, restent encore à préciser. En automne - hiver, ce sont des céréales à double fin, des betteraves et différentes intercultures qui pourront être pâturées, avec une réflexion importante à

mener autour de l'utilisation des surfaces accessibles au pâturage et des rotations à y conduire.

• Une nouvelle stratégie d'élevage pour ces fourrages diversifiés

La **stratégie de reproduction** du troupeau devra être cohérente avec cette disponibilité des ressources fourragères pâturables au cours du temps, en limitant les périodes de forte demande animale (pics de lactation), souvent associées à des problèmes de santé et de réussite de la reproduction. Pour cela, **deux périodes de vêlage** (centrées sur le printemps et l'automne) seront mises en place afin de rendre l'alimentation du troupeau moins tributaire des aléas climatiques pouvant intervenir à ces périodes de l'année. Cela permettra également de diminuer les besoins du troupeau sur les périodes critiques d'été et d'hiver, durant lesquelles une partie du troupeau sera tarie. Par ailleurs, nous proposons de limiter les besoins globaux du troupeau **en diminuant les périodes non productives dans la carrière de la vache** grâce à un vêlage précoce à deux ans et un allongement de la durée de lactation à 16 mois (intervalle vêlage - vêlage de 18 mois), chaque demi-troupeau vêlant successivement soit au printemps, soit en automne.

L'**évolution génétique du troupeau** doit viser à disposer de vaches plus rustiques, mieux adaptées à des ressources fourragères de qualité limitée à certaines périodes de l'année, moins soumises aux maladies et de poids plus léger afin de pouvoir valoriser au maximum les surfaces pâturables, et ceci même en période hivernale lorsque la portance des sols se dégrade. Pour cela, un croisement à trois voies favorisant l'effet d'hétérosis est envisagé. D'autres stratégies sont également en cours d'étude, comme le sexage pour ne produire que des femelles.

3. Conclusions, prolongements et perspectives

La méthodologie mise en œuvre pour co-concevoir un système fourrager innovant sur une unité expérimentale de l'INRA de Lusignan a permis d'établir les bases d'un nouveau système, qualifié de « bioclimatique », et cela grâce à une fertilisation croisée des idées provenant d'experts et d'acteurs d'horizons variés.

Le **processus de co-conception du système** a permis de préciser les différents éléments des systèmes de culture et de proposer des itinéraires techniques basés sur une approche agro-écologique (semis sous couvert, travail simplifié du sol...). L'agencement dans le temps et dans l'espace, en termes d'assolement et de strates, des ressources fourragères (pâturage et stocks conservés) et des cultures de vente, et leur conduite en fonction des conditions climatiques ont également été étudiés. L'implantation d'espèces ligneuses rend cette tâche plus complexe car elle nécessite de prévoir l'organisation des trois dimensions de l'espace sur des pas de temps suffisamment longs pour prendre en compte l'évolution des

strates herbacées et arborées. Trois rotations de sept ou huit ans ont été définies selon que la sole soit facilement, plus difficilement ou non accessible au pâturage.

La configuration du système fourrager et son évaluation *ex ante* ont pour l'instant principalement reposé sur l'expertise, les modèles de simulation multispécifiques n'étant pas encore suffisamment performants (MALÉZIEUX *et al.*, 2009). Cependant, des modèles simples ont été utilisés pour évaluer l'adéquation entre besoins des animaux et ressources fourragères.

La stratégie de conduite du troupeau a été affinée en déterminant les trois races utilisées pour les croisements (Jersiaise, Rouge Scandinave et Prim'Holstein) et en précisant les règles de croisement pour les deux premières générations. L'élevage des génisses a également été étudié afin de s'insérer de manière cohérente dans le système.

Ce **projet baptisé OasYs** pour « produire du lait biOclimAtique en expérimentation-SYSTème » a été **mis en œuvre en juin 2013**. Il a débuté par une nécessaire phase de transition afin de configurer progressivement les différents éléments du système biotechnique (systèmes de culture et d'élevage, assolement) tout en faisant évoluer la composante décisionnelle (système de pensée des techniciens INRA impliqués dans l'expérimentation - système). Le système sera évalué *a posteriori* afin de vérifier si les objectifs visés sont atteints. Cette **évaluation multicritères** prendra en compte des critères environnementaux, économiques et sociaux et étudiera l'empreinte du système à différents niveaux à partir des données collectées et l'utilisation de modèles.

Afin que ce projet se concrétise par un **dispositif de recherche et d'innovation**, des liens forts avec les partenaires tant scientifiques que du monde professionnel et associatif sont encore à tisser, de manière à les impliquer durablement. Si vous souhaitez participer à ce projet, nous vous invitons à nous contacter (sfi@listes.inra.fr).

A plus long terme, ce projet vise également à cristalliser les réflexions scientifiques sur les systèmes fourragers bioclimatiques.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Le changement climatique : incertitudes et opportunités
pour les prairies et les systèmes fourragers",
les 26-27 mars 2013.

Remerciements : Nous remercions vivement les participants aux ateliers de réflexion pour leur contribution active à ce projet, à savoir (par ordre alphabétique) :

- pour le premier groupe de réflexion : R. Baumont (GIS Elevages Demain), C. Bordet (Solagro), J. Chemarin (C.A. 86), J.-C. Emile (INRA UEFE), A. Farruggia (INRA UMRH), L. Guichard (INRA UMR Agronomie), P. Guy (FNE), E. Kernéis (INRA DSLP), F. Liagre (Agrooft), J.-M. Lussion (RAD), C. Mosnier (INRA UMRH), J. Mousset (ADEME), A. Pflimlin (retraité Idelle), B. Rolland (INRA APBV), P. Roux (agriculteur 86), F. Sangouard (LEGTA Mirecourt), F. Santi (INRA UAGPF).

- pour le deuxième groupe de réflexion : J.-C. Emile (INRA UEFE), A. Farruggia (INRA UMRH), L. Guichard (INRA UMR Agronomie), F. Liagre (Agrooft), S. Rouger (RMT Systèmes de culture innovants).

Nous remercions également tous les experts que nous avons déjà contactés pour leurs précieuses indications.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COQUIL X., BEGUIN P., FIORELLI J.L., TROMMENSCHLAGER J.M., DEDIEU B. (2012) : "Apprendre l'autonomie dans les systèmes de polyculture-élevage laitier", *Innov. Agr.*, 22, 85-99.
- DEBAEKE P., MUNIER-JOLAIN N., BERTRAND M., GUICHARD L., NOLOT J.-M., SAULAS P. (2009) : "Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review", *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 73-86.
- DEQUE M. (2011) : "Scénarios de changement climatique en Poitou-Charentes", 3^e 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, 3-8.
- DURAND J.L., BERNARD F., LARDY R., GRAUX A.I. (2010) : "Changement climatique et prairies : l'essentiel des impacts", *Livre vert du projet Climator*, Ademe éd., 181-190.
- EMILE J.C., NOVAK S. (2011) : "Recherche de systèmes fourragers innovants : économie d'eau et d'énergie, contribution au stockage du carbone", 3^e 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, 41-45.
- EMILE J.C., JACOBS D.F., AL RIFAÏ M., LEROY P., FAVERDIN P. (2008) : "Triticale and mixtures silages for feeding dairy cows", *European Grassland Federation*, Uppsala (Sweden), 804-806.
- HILL S.B. (1998) : "Redesigning agroecosystems for environmental sustainability: a deep systems approach", *Systems Research and Behavioral Sci.*, 15, 391-402.
- ITIER B. (2010) : "Confort hydrique et restitution d'eau aux nappes", *Livre vert du projet Climator*, Ademe éd., 79-92.
- JOSE S. (2009) : "Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview", *Agroforestry Systems*, 76, 1-10.
- 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", *Agric. Systems*, 104, 714-728.
- MALEZIEUX 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., AGGERI F., COULON J.B., HABIB R., TILLON J.P. (2006) : *Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants*, Rapport du groupe de travail à la Direction Générale de l'INRA, 71 p.
- MURRAY J., KING D. (2012) : "Oil's tipping point has passed", *Nature*, 481, 433-435.
- NOVAK S., DELAGARDE R., FIORELLI J.L. (2012) : "Vers un système fourrager innovant en polyculture-élevage : la démarche initiée à Lusignan", *Innovations Agronomiques*, 22, 159-168.
- POTTIER E., DELABY L., AGABRIEL J. (2007) : "Adaptations de la conduite des troupeaux bovins et ovins aux risques de sécheresse", *Fourrages*, 191, 267-284.
- 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.
- REAU R., ANGEVIN F., BERGÈZ J.E., BLOUIN M., BOCKSTALLER C., COLOMB B., DORE T., GUICHARD L., LANDE N., MESSEAN A., MUNIER-JOLAIN N., PETIT M.S. (2010) : "Innovative cropping systems design and multicriteria assessment", 11. *ESA Congress. Agropolis Int.*, 409-410.
- RUGET F., LORGEOU J., MOREAU J.C., CLASTRE P., CLOPPET E., SOUVERAIN F., LACROIX B. (2012) : "Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I- Estimation par modélisation et analyse critique", *Fourrages*, 210, 87-98.



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