



Innovations et performances environnementales en production caprine et ovine : Expertise Elevage-Environnement à l'INRA

Francois Bocquier, Marc Benoit, Gabriel Laignel, Benoit Dedieu, Sylvie Cournut, Cécile Fiorelli, Magali Jouven, Charles-Henri Moulin, Claire Aubron, Amandine Lurette, et al.

► To cite this version:

Francois Bocquier, Marc Benoit, Gabriel Laignel, Benoit Dedieu, Sylvie Cournut, et al.. Innovations et performances environnementales en production caprine et ovine : Expertise Elevage-Environnement à l'INRA. Innovations Agronomiques, 2011, vol. 12, pp. 29-52. hal-01394406

HAL Id: hal-01394406

<https://hal.science/hal-01394406>

Submitted on 9 Nov 2016

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.



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 16345

To cite this version : Bocquier, Francois and Benoit, Marc and Laignel, Gabriel and Dedieu, Benoit and Cournut, Sylvie and Fiorelli, Cécile and Jouven, Magali and Moulin, Charles-Henri and Aubron, Claire and Lurette, Amandine and Lapeyronie, Paul and Hassoun, Philippe and Meuret, Michel and Agreil, Cyril and Napoléone, Martine and Hoste, Hervé and Friggens, Nicolas and Tichit, Muriel and Gonzalez-Garcia, Eliel and Hazard, Dominique and François, Dominique and Pellicer, Maria and Guillouet, Philippe and Boissard, Karine and Fabre-Nys, Claude and Debus, Nathalie and Teyssier, Jacques and Tournadre, Hervé and Migaud, Martine and Malpaux, Benoit and Chemineau, Philippe and Bodin, Loys and Prache, Sophie and Bouix, Jacques and Barillet, Francis and Boutonnet, Jean-Pierre and Chia, Eduardo and Lasseur, Jacques and Etienne, Michel and Gibon, Annick and Choisis, Jean-Philippe and Labatut, Julie and Paoli, Jean-Christophe and Santucci, Pierre-Mathieu *Innovations et performances environnementales en production caprine et ovine : Expertise Elevage-Environnement à l'INRA*. (2011) Innovations agronomiques, vol. 12. pp. 29-52. ISSN 1958-5853

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Innovations et performances environnementales en production caprine et ovine : Expertise Elevage-Environnement à l'INRA

Bocquier F.¹, Benoit M.², Laignel G.², Dedieu B.³, Cournut A.³, Fiorelli C.³, Jouven M.¹, Moulin C.H.¹, Aubron C.¹, Lurette A.¹, Lapeyronie P.¹, Hassoun P.¹, Meuret M.¹, Agreil C.⁵, Napoléone M.^{1,5}, Hoste H.⁶, Friggens N.⁴, Tichit M.⁷, Gonzalez-Garcia E.¹, Hazard D.⁸, François D.⁸, Pellicer M.⁹, Guillouet P.¹⁰, Boissard K.¹⁰, Fabre-Nys C.⁹, Debus N.¹, Teyssier J.¹, Tournadre H.², Migaud M.⁹, Malpaux B.⁹, Chemineau P.⁹, Bodin L.⁸, Prache S.², Bouix J.⁸, Barillet F.⁸, Boutonnet J.P.¹, Chia E.¹¹, Lasseur J.¹, Etienne M.^{1,5}, Gibon A.¹², Choisis J.P.¹², Labatut J.¹³, Paoli J.C.¹⁴, Santucci P.M.¹⁴

¹ : UMR SELMET, Montpellier ; ² : URH, Theix ; ³ : METAFORT, Clermont-Ferrand ; ⁴ : UMR MoSAR ParisTech ; ⁵ : EcoDéveloppement, Avignon ; ⁶ : ENVT-INRA Toulouse ; ⁷ : UMR SAD-APT, ParisTech ; ⁸ : SAGA, Toulouse ; ⁹ : PRC, Tours ; ¹⁰ : UEICP, Rouillé ; ¹¹ : UMR Innovation, Montpellier ; ¹² : DYNAFOR, Toulouse ; ¹³ : UMR AGIR, Toulouse ; ¹⁴ : Laboratoire de Recherche sur le Développement de l'Elevage, INRA, 20250 Corte

Correspondance : [hocquier@supagro.inra.fr](mailto:bocquier@supagro.inra.fr)

Résumé

Les systèmes d'élevage ovins et les caprins, comme les autres productions animales, sont confrontés aux multiples défis environnementaux : limiter les nuisances et contribuer positivement à l'entretien ou à l'amélioration du milieu. Les travaux de l'INRA, et de ses partenaires, se sont largement impliqués dans ces questions en considérant ces élevages de petits ruminants comme faisant partie d'agro-écosystèmes complexes. Cette synthèse collective rassemble, en privilégiant les niveaux d'approche, les actions dans lesquels l'INRA intervient.

Considérant tout d'abord les grandes tendances sur les effectifs d'animaux et leur répartition géographique, les adaptations ou les disparitions de ces élevages se repèrent par les approches technico-économiques. Dans ce contexte, il était important pour l'INRA de s'intéresser surtout aux origines des changements et de déceler les innovations techniques, organisationnelles et opérationnelles qui interviennent. Globalement, les trois leviers de ces évolutions ont été l'accroissement de la taille des troupeaux et des surfaces, la simplification des conduites (travail) et la réduction de l'utilisation des intrants (charges) au profit des ressources fourragères naturelles locales. Dans ce cadre, l'INRA y évalue également l'acceptabilité de certaines de ses inventions.

Dans un tel contexte, les aptitudes d'élevage des animaux ne se limitent plus à la seule maximisation de la productivité individuelle. Des travaux spécifiques à ces espèces s'avèrent nécessaires pour identifier les caractères d'élevage qui sont déterminants dans des systèmes capables d'absorber des aléas. L'idée dominante est qu'il faut transférer sur les animaux eux-mêmes des capacités adaptatives qui étaient précédemment sous-utilisées, voire ignorées. La maîtrise de la reproduction pose encore de sérieux problèmes environnementaux chez ces espèces saisonnées et pour lesquelles l'INRA prépare des solutions alternatives à l'interdiction de l'utilisation de traitements hormonaux qui relarguent des résidus et posent des questions éthiques quant à leur utilisation.

Pour quantifier les performances environnementales de ces élevages, l'INRA s'est doté de deux plateformes pluridisciplinaires, et mobilise des domaines expérimentaux où des systèmes d'élevages y sont étudiés à long terme. Par une approche pluridisciplinaire, des analyses multicritères permettent d'évaluer les performances environnementales de ces conduites tant sur le plan des GES, de l'énergie fossile que de la biodiversité. Une telle approche permet surtout d'évaluer objectivement les compromis productivité – performances environnementales.

Enfin, à des échelles plus vastes de bassins de production et de micro-régions, des démarches de recherche action sur la coordination des acteurs permettent d'évaluer des coordinations d'acteurs qui ménagent des objectifs de production (régularité de la production) avec la valorisation raisonnée d'écosystèmes pâturés. Ces études s'étendent jusqu'à des échelles territoriales où la dimension paysagère est prise en compte, notamment parce que, par exemple, le rôle anti-incendie de l'élevage de petits ruminants est incontestable. Quels que soient les niveaux d'approche, l'évaluation des performances environnementale des élevages ovins et caprins repose largement sur la modélisation des systèmes et/ou sur des simulations.

Mots-clés : ovin, caprin, petits ruminants, production viande, production de lait, système d'élevage, agriculture biologique, aliment concentré, engrais, hormones, saisonnalité, pâturage, prairies, parcours, transhumance, sylvo-pastoral, fertilité des sols, biodiversité, service écosystémique, efficacité, gaz à effets de serre, territoire, paysage, travail, innovation, invention, amélioration génétique, intensification écologique, élevage de précision, recherche pluridisciplinaire.

Abstract: Innovations and environmental performances in goat and sheep production: Animal production – Environment Expertise at INRA

This review deals with INRA research activities in the field of improved environmental friendly farming systems in sheep and goats. This work was done with numerous partners of other institutions and breeder's associations. Description of INRA researches is presented by level of approaches. At the upper level, technical and economical approaches illustrate the main tendencies and limiting factors that explain specific problems encountered by breeders. These are namely flock size increment, workload limits and an increased use of local natural feed resources. These changes at farm level are studied in terms of innovations and acceptability of some inventions that are proposed by research labs. It is becoming clear that animal robustness and adaptive capabilities are major sources of future flexible farming systems. Phenotyping and modern selection processes are planned to solve these biological limits. Another urgent question concerns alternative methods to control reproduction of such seasoned species. It is for sure clear that present methods based on hormonal treatments can no longer be considered as safe green and ethical and its acceptability is endangered. INRA also set experiments on permanent farming systems in which multidisciplinary teams study global impact of trade-off between productivity and environmental objectives. Such an approach is also developed on rangelands use by sheep in several INRA sites. At a larger scale, research – action operation are conducted to analyse actors' coordination within complex territories in order to evaluate potential environmental benefits of a wider use of ecosystems on landscape by sheep and goat systems. To tackle such a complex problem of environmental performances of small ruminant production, modelling and simulation are useful tools that have been developed.

Keywords: sheep, goat, small-ruminant, meat production, dairy products, farming system, organic farming, concentrate, fertilizers, hormones, seasonal breeding, grazing, natural pastures, rangelands, pastoral resource, sylvo-pastoral, transhumance, soil fertility, biodiversity, ecosystemic service, global efficiency, greenhouse gas, territories, landscape, labour, innovation, invention transfer, animal selection, precision farming, ecological intensification, multidisciplinary research.

Introduction : Localisation des élevages ovins et caprins, organisation des filières et enjeux environnementaux

Les petits ruminants échappent à la majorité des critiques directes qui sont faites aux systèmes d'élevage les plus intensifs et les plus concentrés sur certaines zones du territoire (effluents, odeurs,

résidus) que l'on rencontre dans le grand ouest au sens large. En effet, ils se répartissent assez bien sur le territoire national. Les bassins de production laitière (Poitou-Charentes, et Sud-Est, pour les chèvres) et (Rayon de Roquefort, Pyrénées Atlantiques, Corse pour les brebis laitières) sont relativement bien identifiés. Quant aux ovins viande, ils exploitent des milieux difficiles, plateaux, piémonts, dans des systèmes herbagers qui sont situés plutôt au centre et surtout au sud de la France. Concernant les petits ruminants des DOM, l'insularité et les formes d'élevage rencontrées posent des questions spécifiques des milieux tropicaux qui sont traitées par ailleurs (*ibid*).

La conduite de troupeaux de grande taille est une des caractéristiques de l'élevage des petits ruminants. Pour les chèvres (1,3 million de têtes en 2009), on doit distinguer les éleveurs fromagers (ceux qui transforment leur lait) des laitiers (ceux qui livrent leur lait). Dans l'Ouest, on trouve plus de 90 % d'élevages laitiers, représentant 74 % de la collecte nationale avec 350 chèvres en Bretagne, 290 en Pays de Loire, et Poitou-Charentes, conduites dans des systèmes très intensifs. Pour le Sud-Est, Languedoc-Roussillon et PACA, cette proportion est inversée avec 90 % de fromagers. Enfin, en Rhône-Alpes, il y a environ 65 % de laitiers. Pour les fromagers, les effectifs sont d'environ 50-70 chèvres et, pour les laitiers, ils se situent autour de 120 chèvres. Dans ces zones, les systèmes sont très diversifiés, avec une place importante du pâturage (Source : résultats réseaux élevages, 2007). Les ovins en France représentent 8,1 millions de têtes. Pour les brebis laitières, les effectifs moyens se situent autour de 350 femelles et de 400 pour les brebis allaitantes. Il existe néanmoins une très grande diversité géographique avec comme extrêmes, dans le Sud-Est de la France, des troupeaux transhumants de plusieurs milliers de brebis. Une autre caractéristique de l'élevage des petits ruminants, lait ou viande est qu'il nécessite en général une charge de travail élevée, au moins à certaines étapes clés du cycle de production. La saisonnalité de la reproduction est une spécificité biologique de type l'élevage : la majorité des races ovines et caprines ne se reproduisent spontanément qu'à l'automne ce qui déséquilibre les approvisionnements saisonniers en agneaux comme en lait. Enfin, dernière caractéristique générale, si pour les chèvres laitières on trouve majoritairement deux races (Alpine et Saanen) pour les ovins, en dehors de la brebis Lacaune lait, il existe une cinquantaine de races réparties sur le territoire et dans des écosystèmes particuliers.

En termes de marchés, les produits laitiers sont assez bien valorisés sous forme industrielle ou fermière sous signe de qualité (AOC, BIO). La production française de fromage de chèvre est la première en Europe. La filière laitière se partage entre les produits sous signes de qualité liés au terroir et issus de production industrielle qui a besoin d'importation de lait des pays voisins. Les productions caprines et ovines laitières diffèrent par le mode de valorisation des jeunes : les chevreaux n'entrent que pour une très faible part dans le revenu de l'élevage caprin alors que tous les agneaux sont valorisés pour la production de viande. En ce qui concerne la viande d'agneau, la production nationale ne couvre qu'environ 45 % de la demande, nécessitant des importations. Si 50 % de la production nationale est conduite sous signes officiels de qualité, seulement 15 % est valorisée auprès des consommateurs sous ces signes (Source : Conseil de l'Alimentation, 2008).

Comme toutes les filières animales, les productions ovines et caprines s'adaptent et innovent pour tenter d'améliorer leur revenu mais le maintien des performances techniques des troupeaux est parfois difficile dans le cadre de l'agrandissement des cheptels. Les éleveurs cherchent d'une part à adapter leurs systèmes de production à des cahiers des charges amenant une plus-value sur les produits, d'autre part à répondre aux mesures incitatives nationales et européennes, indispensables à l'amélioration de la rentabilité des fermes et correspondant le plus souvent à la reconnaissance de leur rôle dans l'occupation et l'entretien de territoires difficiles.

Au moment, où, dans notre société, l'ensemble des productions animales sont sur la sellette, l'INRA mène un certain nombre de travaux pour objectiver leurs impacts environnementaux et pour anticiper la demande sociale afin de proposer des méthodes alternatives plus respectueuses de l'environnement et/ou des caractéristiques des animaux correspondants mieux aux besoins des éleveurs et à la demande des consommateurs. Nous présentons, dans ce texte, l'ensemble de ces travaux de

recherche concernant les petits ruminants. Nous n'aborderons pas les questions sanitaires (FCO, etc...) ni les évolutions génériques de l'alimentation des ruminants qui concernent tout autant les bovins que les petits ruminants.

1- Les moteurs du changement biotechnique et de l'innovation en élevage ovin et caprin

1.1 Approche technico-économique des exploitations ovines allaitantes

La rentabilité économique de l'élevage ovin allaitant dépend avant tout du résultat économique à l'animal (marge brute par brebis), la dimension du troupeau n'étant pas forcément synonyme de résultat économique élevé. Ce constat est étroitement lié à la très forte variabilité de la productivité numérique des brebis, de 0,5 à 2,2 agneaux produits par brebis et par an, expliquant des variations de 1 à 10 de la marge par brebis (10 à 100 €). Ces observations sont très différentes de celles réalisées en productions bovines allaitantes et sont à rattacher à trois spécificités de l'espèce ovine : 1/ la prolificité qui varie de 110 à 250 % selon les races et la maîtrise de l'alimentation, 2/ le taux de mise bas (nombre de mise bas par brebis et par an) lié à l'accélération du rythme de reproduction et à une fertilité très variable (en particulier en « contre saison » avec un anoestrus saisonnier total ou partiel), 3/ une mortalité des agneaux très variable (en moyenne à près de 15%) et en partie dépendante du niveau de prolificité et de la maîtrise sanitaire et alimentaire.

Aussi, les revenus des éleveurs sont très variables mais, sur le long terme, très nettement inférieurs à ceux des principales productions agricoles françaises, avec seulement 7000 € par travailleur, soit environ la moitié du revenu agricole moyen. En effet, la performance technique (nombre d'agneaux produits par brebis) reste faible en moyenne, et les coûts de productions ont augmenté ces dernières années, en lien avec l'utilisation croissante de concentrés. Celle-ci atteint près de 150 kg par brebis en moyenne (soit près de 1 tonne par UGB ; Benoit et al, 2010). Par ailleurs, au fil des dernières années, la production ovine a moins bénéficié des aides de la PAC, comparativement aux grandes cultures et aux bovins allaitants par exemple. Devant ces difficultés, le bilan de santé de la PAC (2009) s'est traduit par le « Plan Barnier » soutenant les productions d'élevage à l'herbe, avec des mesures spécifiques pour l'élevage ovin allaitant. Ainsi, de nouvelles aides devraient permettre de doubler le revenu des éleveurs d'ovins et de retrouver ainsi le niveau moyen de l'agriculture française. Ces mesures sont néanmoins seulement transitoires, jusqu'en 2013. Espérons, comme les annonces semblent le préciser, que les lignes directrices de la prochaine PAC reconnaissent ce rôle des troupeaux ovins à valoriser les ressources herbagères et le territoire. Cependant, il est nécessaire que les éleveurs atteignent des niveaux de productivité corrects tout en minimisant l'utilisation des concentrés, face à la tendance haussière du prix des matières premières, et des céréales en premier lieu.

1.2 Analyses du travail en élevages ovin et caprin.

Les exploitations ovines spécialisées n'ont pas échappé au mouvement général d'accroissement des effectifs mais butent sur deux facteurs spécifiques : la pénibilité du travail lié à la manipulation directe et fréquente des animaux ; l'importance du travail d'astreinte par UGB (relativement aux bovins allaitants) (Cournut et Chauvat, 2010). Les choix d'organisation du travail, en situation contraignante, combinent ainsi des formes de simplification des conduites avec des équipements ou la délégation du travail (Dedieu et al, 1998). Le nombre de périodes de reproduction, la durée d'hivernage du troupeau, l'allotement au pâturage (moins de réallotements) sont ainsi des leviers de simplification observés en fermes (Dedieu et Servièrre, 2001). Ceci s'explique par leurs implications directes sur la durée du travail d'astreinte, mais aussi sur la réduction de la charge mentale. La réussite de certaines conduites comme le « 3 agnelages en 2 ans » requiert une gestion fine des trajectoires productives individuelles peu

compatibles avec la gestion de grands troupeaux, en tout cas en l'absence des technologies d'élevage de précision (voir plus loin).

L'élevage caprin ne peut être analysé, du point de vue du travail, sans faire référence au type de produit (lait, fromage) et au mode de commercialisation (collecte de lait par un industriel ou une coopérative, vente en marché). Les systèmes caprins fromagers sont ainsi, de tous les systèmes d'élevage herbivores, les plus exigeants en travail pour un couple (Cournut et al, 2009). L'amélioration des conditions de travail y est un facteur essentiel de la pérennité de l'activité (voir travaux de C. Guinamard via S. Chauvat).

L'innovation technique ou technologique est ainsi à replacer dans les dynamiques de l'élevage (agrandissement ou diversification – l'ovin est une activité de pluriactif aussi, Fiorelli et al, 2007 & 2010). Autrement dit, le couplage entre ces deux formes (technique et organisationnelle) méritera de l'attention dans l'avenir au risque de ne proposer des pistes partielles.

1.3 Utilisation durable des ressources pastorales et sylvo-pastorales

Les pratiques des éleveurs ovins allaitants changent sous les effets conjugués de la déprise agricole, des revenus de la production de viande et des aléas climatiques (Jouven et al, 2010b). L'analyse de leurs pratiques est faite dans ces milieux pour discerner les innovations à l'œuvre et pour proposer des changements dans le fonctionnement de ces systèmes.

Il est clair que le maintien des élevages en milieux difficiles du sud de la France passe par une meilleure valorisation des ressources pastorales et sylvo-pastorales (Jouven et al, 2010a). Ces ressources présentent un intérêt économique pour l'alimentation des troupeaux du fait de leur caractère spontané (Gautier et Moulin, 2004). Leur utilisation en pâturage concourt au maintien d'une certaine biodiversité et à l'entretien de l'ouverture des paysages, souvent mise à mal dans les moyennes montagnes du Sud de la France par les évolutions de l'agriculture au cours des dernières décennies. Le sylvopastoralisme, conçu comme une combinaison raisonnée d'interventions sylvicoles (éclaircies sélectives) et d'utilisations pastorales d'un milieu boisé, constitue un moyen de mise en valeur par l'élevage des étendues importantes de forêt méditerranéenne, qui contribue à la protéger des incendies par le biais de la maîtrise l'embroussaillage du sous-bois (Aubron et al, 2008 & 2010a). L'utilisation accrue de ressources pastorales permet également aux exploitations d'élevage de réduire la production de fourrages cultivés et les achats de fourrages et de concentrés (Aubron et al, 2010b), ce qui se traduit par de moindres rejets (minéraux par exemple) et par une moindre consommation de ressources rares (énergie fossile, engrais minéraux ...). Enfin, du fait de leur diversité, les surfaces pastorales confèrent à la fois sécurité et souplesse à l'alimentation des troupeaux, ce qui renforce la robustesse des systèmes face aux aléas climatiques (Guérin et al, 2010).

L'étude des façons dont les éleveurs mobilisent les ressources de parcours à l'échelle annuelle comme à celle du quotidien a fait l'objet de développement de méthodologies d'analyse en ferme : caractérisation des stratégies d'alimentation sur ressources composites en milieu fortement contraints par les aléas climatiques (Girard et al, 1997), méthode d'analyse fonctionnelle pour le conseil (Moulin et al, 2001), modèle Repas (Meuret et al, 1995) et Grenouille (Agreil et al, 2004).

Les travaux de recherche en cours ont pour but, après enquêtes en fermes ou sur des domaines instrumentés (La Fage, Le Merle, La Fichade), notamment par le moyen de la modélisation, d'explorer les différentes modalités d'utilisation des ressources pastorales dans les exploitations d'élevage et de combinaison avec d'autres ressources et d'évaluer leur intérêt dans différentes conditions (milieu, occurrence des aléas climatiques, système d'élevage, etc.,... (Jouven et al, 2009).

Récemment, un programme de recherche a été mené par l'unité de recherche d'EcoDéveloppement d'Avignon, en partenariat avec le Parc Naturel Régional du Massif des Bauges, la Fédération des PNR,

le Conservatoire Rhône Alpes des Espaces naturels et la Fédération des CEN, la Chambre d'Agriculture de la Savoie, les Sociétés d'Economie alpestre de Savoie et de Haute Savoie et l'Institut de l'Elevage de Montpellier, pour concevoir des démarches et des outils de gestion adaptative des végétations hétérogènes par des pratiques d'élevage. Ce programme a permis de concevoir des critères d'observation innovants, pour permettre au technicien de conseil ou à l'éleveur de situer ses pratiques dans une gestion dynamique des parcours et d'anticiper leurs effets (Guérin et Agreil, 2007 ; Guignier et al, 2006). Un guide technique de synthèse (Agreil et Greff, 2008) a été élaboré « Des troupeaux et des hommes en espaces naturels, une approche dynamique de la gestion pastorale ». Ce travail contribue, d'une part, à la mise en place de mesures agri-environnementales territorialisées dont les cahiers des charges reposent sur des engagements de résultats à atteindre (par exemple, le maintien d'une mosaïque de végétations herbacées, arbustives, ligneuses) (Agreil et al, 2008 ; Mestelan, 2007 ; Mestelan et al, 2007) et, d'autre part, à faire évoluer les démarches et règlements administratifs (évolution des normes locales départementales, prise en compte des résultats obtenus lors des contrôles PAC). Un dispositif d'accompagnement original a également été proposé, le concours de prairies fleuries.

1.4 Combiner une diversité de ressources pâturées au niveau du calendrier de pâture pour mieux gérer les risques associés

En élevage caprin laitier ou fromager, le développement du pâturage est un enjeu majeur, au regard de la désintensification des pratiques, de la réduction des charges d'élevage, de l'organisation du travail, ou de la valorisation des liens au terroir. Cependant, ceci s'accompagne de risques liés à l'évolution de la ressource pâturée ou à l'exposition accrue aux risques parasitaires. Développer le pâturage oblige les éleveurs à gérer leur conduite du troupeau en situation d'incertitude, et donc, à passer d'une logique où l'on cherche à maîtriser les principaux paramètres de conduite du troupeau (Ex. calcul de ration pour ajuster les apports alimentaires aux besoins des animaux ou gestion des risques sanitaires comme le parasitisme), à une posture où l'on compose avec les risques en recherchant des équilibres. Cette recherche repose sur une démarche pragmatique, basée sur l'observation, pour concevoir et gérer un calendrier de pâturage reposant sur l'utilisation de ressources diversifiées, tout en maîtrisant l'évolution de la production laitière du troupeau, et/ou en gérant le risque parasitaire (Napoléone et al, 2011).

Les travaux, qui ont fait l'objet de collaborations entre des chercheurs, des conseillers agricoles et des éleveurs, dans le Sud Est de la France, ont visé à mettre au point des démarches basées sur la co-construction de représentations graphiques de la conduite du troupeau pour faciliter l'analyse de situation, aider au diagnostic, à l'analyse des marges de manœuvre, et à la recherche de scénarii correctifs (Napoléone, 2007). Ces travaux s'appuient sur la formalisation des pratiques des éleveurs à partir de supports graphiques calendaires, pour analyser les enchaînements et combinaisons des diverses ressources pâturées, le lien soit à l'évolution de la production laitière du troupeau, soit à l'épidémiologie du parasitisme par les strongles digestifs. (Napoléone et al, 2000 ; Napoléone et al, 2007 ; Bellon, 1999 ; Landais et Balent, 1993 ; Napoléone, 1997 & 1999, Hoste et al, 2001).

Ces travaux ont tous été conduits dans le cadre de projets en partenariat depuis les années 80. Les résultats ont été repris, réappropriés, retransformés, sous différents aspects par les réseaux et organismes de développement (Guinamard et al, 2002 ; Lefrileux et al, 2007). S'ils ont été réalisés dans le Sud Est de la France, en systèmes pastoraux ou herbagers, on peut faire l'hypothèse que les principes de ces démarches puissent être pertinents pour les grandes régions laitières caprines au regard de la désintensification des conduites d'élevage (Puillet et al, 2010) et du développement de l'utilisation du pâturage avec pour objectif de maintenir la biodiversité ordinaire et d'éviter d'utiliser des molécules toxiques.

1.5 Elevage de précision, acceptabilité des innovations et inventions

Comme nous le verrons au point 2, l'efficacité de la reproduction des ovins est essentielle pour maintenir une productivité numérique suffisante par brebis pour assurer la viabilité des élevages ovins (Benoit et al, 2009). L'hypothèse est faite que la variété des modalités de conduite de la reproduction dans les élevages ovins extensifs du Sud de la France contient des pratiques innovantes qui n'ont pas été conçues par la recherche et font partie des savoirs-faires des éleveurs. Il s'agit donc, d'un travail d'enquête en fermes destiné à détecter les variantes et les invariants (Moulin et al, 2008) des modes de mise à la reproduction, dans le contexte global d'adaptation de ces systèmes d'élevage aux évolutions des contraintes et atouts de ces milieux (par exemple, l'agrandissement des troupeaux : Moulin et al, 2004). En parallèle, ce dispositif d'enquêtes permet d'évaluer l'acceptabilité d'une invention, issue de la recherche, qu'est le détecteur électronique des chaleurs. Outre les aspects concernant l'adoption de cette invention, il sera intéressant d'en examiner les détournements qui constitueraient alors des innovations.

Dans le champ des développements de l'électronique et de l'informatique à la ferme, portés par l'obligation réglementaire de l'identification électronique, on peut fonder des espoirs sur les applications qui participeront à des formes spécifiques d'élevage de précision adaptées aux ovins et aux caprins. Les développements d'automatismes permettent d'envisager un « élevage de précision » adapté aux petits ruminants avec des conséquences favorables attendues sur la composante environnementale de ces systèmes d'élevage et sur le travail.

D'ores et déjà, des équipements d'élevage (Maton et al, 2009) ont été conçus par des équipes INRA, automate de contrôle laitier (SAGA), bascule électronique et parcs de tri (SAGA, SELMET : Maton et al, 2006), détection des chaleurs (SELMET), clôtures virtuelles (SELMET, Jouven et al, 2010), certification géographique des modes d'élevage en plain air (SELMET), portes sélectives et autres dispositifs d'alertes. Ces dispositifs, qui n'atteindront probablement jamais le stade de monitoring individuel observé en vaches laitières, devraient faciliter le suivi des animaux, en s'appuyant sur l'expression de leurs comportements sociaux pour une meilleure valorisation des ressources alimentaires et/ou pour une optimisation de leurs performances. Ceci est à envisager en réduisant la charge de travail.

2- Des questions de biologie spécifiques aux ovins et caprins

2.1 Les capacités adaptatives des petits ruminants seront davantage sollicitées.

L'accroissement de la taille des troupeaux et la simplification des conduites destinées à contenir la charge de travail dans un environnement plus incertain en terme de coûts des aliments (aliments concentrés) de qualité et de la disponibilité de la ressource fourragère (aléa climatique, extrêmes climatiques) mettent de plus en plus à contribution les capacités adaptatives des animaux qui ne peuvent plus faire l'objet d'une attention individuelle soutenue (Cournut et Dedieu, 2005 ; Cournut et al, 2008). Dans ces conditions, une composante clé du maintien de la productivité du troupeau réside dans ses capacités d'auto-adaptation à des conduites simplifiées et changeantes, sachant que cette propriété est portée par la variété des réponses individuelles à ce jeu de contraintes (Blanc et al, 2006 ; Blanc et al, 2010) d'une part et par la coordination des cycles de production de lots et l'organisation du renouvellement – réforme d'autre part (Santucci, 1991 ; Cournut, 2001 ; Cournut et Dedieu, 2004). L'ensemble conduit à une diversité de carrières productives utiles pour la flexibilité du troupeau (Tichit et al, 2004 ; Nozières et al, 2011)

Dans les systèmes caprins intensifs, la variabilité individuelle des réponses animales a longtemps été perçue comme un obstacle à l'application de modèles de conduite standardisés. Cependant, de nombreux travaux suggèrent que l'homogénéisation des performances animales a atteint ses limites et qu'il est nécessaire de s'affranchir d'une vision fondée sur l'animal moyen. L'enjeu est alors de

comprendre et d'évaluer les multiples déterminants de la variabilité individuelle pour mieux gérer la collection hétérogène et renouvelée d'individus composant un troupeau (Puillet et al, 2010a). SIGHMA est un simulateur individu-centré de fonctionnement de troupeau caprin laitier. Son originalité est à la fois biotechnique et décisionnelle. Au niveau biotechnique, il formalise pour chaque individu les régulations déterminant les priorités entre fonctions biologiques (Puillet et al, 2008). Au niveau décisionnel, il intègre l'ensemble des pratiques de conduite (alimentation, reproduction, renouvellement, réforme) et formalise la stratégie d'alimentation d'un point de vue fonctionnel (Puillet et al, 2010b). Le simulateur permet de quantifier le rôle de la variabilité individuelle dans l'élaboration des performances pour différentes options de conduite. Les simulations montrent que la variabilité individuelle intra-conduite est caractérisée par des variables de durée et de productivité de la carrière. La variabilité individuelle inter-conduites est caractérisée par les variables caractérisant l'efficacité alimentaire. Le niveau des apports alimentaires et le potentiel de production moyen ont des effets combinés importants sur la construction de l'efficacité alimentaire. Des efficacités similaires peuvent être obtenues avec différentes combinaisons d'options de conduite. Cependant, ces combinaisons ne sollicitent pas les mêmes bases biologiques : elles génèrent des proportions contrastées d'individus à l'équilibre par rapport à leur potentiel de production. Le simulateur permet ainsi de caractériser le niveau de risque associé aux options de conduite en quantifiant la proportion d'individus éloignés de la trajectoire déterminée par leur potentiel de production (Puillet et al, 2011 ; Tichit et al, accepté).

Le simulateur SIGHMA ouvre la voie pour développer un outil à destination des partenaires de la filière caprine. Un tel outil devrait permettre d'évaluer des changements de conduite du troupeau en lien avec l'occurrence de perturbations (accident sanitaire, climatique...). Il devrait également permettre de quantifier les capacités adaptatives du troupeau dans un environnement fluctuant et explorer le rôle de la variabilité individuelle dans la résilience du troupeau. Au niveau de leur capacité d'adaptation, ou robustesse, deux types extrêmes d'animaux existent potentiellement, des « spécialistes » et des « généralistes » (Strandberg, 2009). Les spécialistes correspondent à des individus aptes à exprimer un haut niveau de production dans un environnement optimisé (ou sur une gamme restreinte de contraintes). Ce type d'animal, orientant davantage les apports nutritionnels vers les fonctions de production (lactation) au détriment des fonctions de reproduction ou de résistance aux troubles métaboliques, risque d'être réformé précocement pour infertilité ou problèmes sanitaires. Sa faible robustesse et sa longévité réduite peuvent augmenter les coûts de production (moindre amortissement de la phase d'élevage, frais vétérinaires, etc,...). A l'inverse, les animaux « généralistes » sont capables d'exprimer un niveau de performance plus modéré, sans arbitrage négatif avec la fonction de reproduction, et ceci sur une gamme plus large de contraintes.

Ainsi, les conséquences de ces nouveaux modes de conduite, élargissant la gamme des contraintes s'appliquant aux différents types d'animaux, méritent d'être évaluées parce qu'elles sont potentiellement déterminantes dans la résilience du système d'élevage considéré.

La question de recherche est de mieux comprendre, en s'appuyant sur une démarche de modélisation, la compatibilité entre ces modes de conduite innovants et les types d'animaux composant un troupeau. Cette question s'inscrit dans une réflexion plus globale, en sciences animales, zootechnie des systèmes d'élevage et génétique, qui implique de proposer non plus des modes de conduite permettant d'exprimer le potentiel des animaux mais de disposer de types d'animaux dont le matériel génétique des caractères de production soit cohérent avec les modes de conduite (Peyraud et al, 2009 ; Bocquier et Gonzalez-Garcia, 2010). La perspective de pouvoir sélectionner des caractères d'adaptation, résistances aux maladies, comportements, résistance aux stress abiotiques (François et al, 2010), permettra de considérer le potentiel génétique des caractères fonctionnels comme une variable dans cette modélisation et non plus une constante. Au niveau biologique, l'évolution de la compréhension des phénomènes biologiques déterminants des compétitions de priorité (« trade-offs » ou arbitrages) entre la production et les autres fonctions vitales d'une part, et la modélisation du pilotage par l'éleveur d'autre part, font qu'il est envisageable de pouvoir développer notre connaissance et des outils, qui

permettraient de prédire les conséquences techniques (performances laitières et de reproduction) et comportementales (bien-être,...) de différents systèmes de pilotage.

Un projet similaire et moins avancé (Gonzalez-Garcia et Hazard, PHASE et GA) se propose de mesurer *in vivo* les évolutions de composition corporelle au cours du cycle de production de brebis allaitantes en zones méditerranéennes sous modes de conduites très économes en intrants. L'objectif est de déterminer des phénotypes pertinents puis d'évaluer les modalités d'une sélection en présence de fortes interactions génotype x milieu x conduites d'élevage. La présence de lignées de brebis (génotypées) au domaine du Merle permettra de confronter les phénotypes sur les arbitrages entre fonction de reproduction et état des réserves corporelles.

2.2 Les méthodes de maîtrise de la reproduction en évolution

Les enjeux sur la régularité de la production de produits issus des productions de petits ruminants se posent pour les deux espèces tant pour la production laitière que pour la production d'agneaux. S'il existe parmi les races ovines françaises un gradient génétique d'aptitude au désaisonnement les races méridionales étant moins saisonnées que les races septentrionales, leurs aptitudes d'élevage ne sont pas suffisantes pour qu'elles soient largement diffusées. Le déterminant de cette saisonnalité étant la photopériode, des traitements lumineux et des implants de mélatonine se sont avérés capables de provoquer des reprises de la cyclicité. Toutefois, ces traitements photopériodiques sont coûteux à mettre en œuvre et sont actuellement réservés aux mâles d'insémination artificielle. Les traitements hormonaux, mis au point par l'INRA dans les années 60, ont largement fait leurs preuves tant pour désaisonner les femelles que pour synchroniser les chaleurs et assurer le progrès génétique (ovins : Barillet et al, 2003 ; caprins : Leboeuf et al, 2008). Cette efficacité explique le développement de l'insémination artificielle dans les deux espèces (ovin : 800 000 IA/an et caprin 82 160 IA/an 2010).

Toutefois, des considérations environnementales conduisent à envisager leur interdiction. En effet, la libération dans l'environnement de résidus stéroïdiens (du FGA) potentiellement perturbateurs endocriniens n'est pas évaluée. Par ailleurs, les gonadotrophines (eCG) utilisées pour provoquer l'ovulation issues de l'extraction de tissus animaux ne peuvent être totalement certifiées exemptes de contaminants. Enfin, ces protéines à effet gonadotrope provoquent, lors d'un usage répété, des réactions immunitaires qui abaissent notablement l'efficacité de ces traitements. L'utilisation de ces hormones est de plus en plus réglementée en Europe (Directive 96/22EC) et il est probable qu'elles soient totalement interdites à l'avenir. Ceci est dans la logique de la demande des consommateurs pour des produits de qualité, de fromages en AOC ou en BIO. Le cahier des charges BIO a d'ores et déjà exclu ces traitements hormonaux.

Il revient à la recherche de proposer des méthodes alternatives (Pellicer-Rubio et al, 2009) qui soient exemptes de résidus et répondent aux exigences du bien-être animal, tout en raisonnant le travail de l'éleveur et des centres de mise en place. Les stratégies divergent selon l'espèce, caprine ou ovine.

En caprins, la stratégie retenue à l'échelle européenne (Projet FLOCK-REPROD) utilise la panoplie de techniques disponibles. Elles sont basées sur le développement de traitements lumineux sans l'utilisation de la mélatonine et applicable toute l'année. Elles seront associées à l'effet mâle pour obtenir le déclenchement synchrone d'ovulations fertiles pour permettre une fécondation par insémination artificielle (Pellicer-Rubio et al, 2008a & 2008b). Cette méthode sera applicable dans tous les élevages. Les études préliminaires en cours à l'INRA depuis plusieurs années indiquent que cette combinaison de techniques est réalisable mais la grande variabilité de la réponse des chèvres à l'effet mâle doit être réduite pour disposer de techniques répétables en situation d'élevage. Les facteurs impliqués dans cette variabilité doivent être identifiés pour être contrôlés.

En élevage ovin avec des systèmes plus extensifs, le coût des investissements en bâtiments étanches à la lumière fait que la maîtrise de la photopériode n'est pas actuellement envisagée. Les travaux

portent sur les facteurs de variations de la réponse à l'effet bélier, qui comme chez la chèvre restent très variables et peu répétables. De nombreux facteurs ont déjà été étudiés, ou ont été publiés, parmi lesquels la race (Chanvallon et al, 2009), l'alimentation à court et long terme (état des réserves adipeuses) ainsi que de l'intervalle entre le sevrage et la mise à la reproduction (Tournadre et al, 2009) ou l'expérience dans le jeune âge (Fabre-Nys et al, en cours). Toutefois, la multiplicité des races concernées ainsi que la complexité des paramètres à prendre en compte mériteraient une approche par modélisation de ce corpus de données.

Une innovation technologique concernant la détection des chaleurs chez les petits ruminants (Brevet INRA, SupAgro, Bocquier 2003) peut constituer une avancée en matière de maîtrise de la reproduction au niveau des élevages. En effet, le développement de l'identification électronique (puces RFID) dans les élevages et la miniaturisation des lecteurs RFID et de la transmission des données permettent, via un mâle équipé d'un détecteur électronique, d'identifier en temps réel les femelles susceptibles d'être inséminées (Bocquier et al, 2006 & 2009 ; Maton et al, 2009). L'association avec un effet mâle permettant de regrouper ces chaleurs pour faciliter les chantiers d'insémination pour les chèvres et pour les brebis. Les travaux sont en cours à la fois au plan recherche sur la physiologie de la reproduction, mais également avec le développement et un partenariat industriel.

Sur le plus long terme, une sélection sur l'aptitude au désaisonnement chez les ovins a été entreprise depuis une dizaine d'année sur le Domaine du Merle (Teyssier et al, 2010). Après une étape de sélection divergente intra race Mérinos d'Arles, un programme de détection de QTL a été soumis à l'ANR cette année (ANR SeasonSheepGenomic) basé sur un croisement Mérinos d'Arles x Texel.

3- Les expérimentations système : une vision globale pluridisciplinaire

La complexité des situations d'élevage rencontrées a conduit l'INRA à dédier des surfaces à des expérimentations systèmes sur lesquelles des travaux pluridisciplinaires sont conduits à long terme sur toutes les composantes de ces systèmes. Le pilotage de ces systèmes obéit à des règles qui sont retenues en concertation avec les Professionnels de l'Elevage. C'est le cas pour la plateforme BIO de l'INRA de Theix sur des systèmes ovins allaitants de moyenne montagne, et plus récemment, sur la plateforme PATUCHEV de l'INRA de Lusignan. Il faut noter que certains domaines ont, de façon plus ou moins formelle, conduit des recherches pluridisciplinaires sur des pas de temps longs (Domaine de La Fage par exemple, Molénat et al, 2005).

3.1 Plateforme ovin BIO des Monts d'Auvergne : Systèmes ovins viande à faibles niveaux d'intrants et biologiques

La création de la plateforme d'élevage ovin biologique date de 2000. Les travaux concernent :

- 1) La conception et l'évaluation de systèmes d'élevage utilisant différentes stratégies de combinaison du niveau de productivité par brebis et du niveau des charges opérationnelles par les modalités de choix des périodes de mise-bas et leur répartition (potentiel et limites du rythme de 3 agnelages en 2 ans en Bio, optimisation d'un système herbager productif très autonome avec 65% des mises bas au printemps et 35% à l'automne) (Benoit et al, 2009 ; Pottier et al, 2009). Actuellement, un système très autonome (65% des mises bas en avril et 35% des mises bas en septembre) est comparé à un système moins autonome mais probablement moins sensible aux aléas (mises bas réparties pour 32%, 33%, 17% et 18% en février, avril, septembre et novembre) (programme AgriBio3 et ANR Systerra DynRurABio),

- 2) l'évaluation des qualités sensorielles et nutritionnelles de la viande d'agneau (obligation de moyens en BIO, mais pas d'obligation de résultats sur les qualités alimentaires) (Prache et al, 2009 ; Bellon et al, 2009) (programme européen LowInputBreeds),
- 3) la maîtrise durable du parasitisme à travers plusieurs leviers d'action menés en parallèle : gestion du pâturage n'autorisant qu'un seul passage des brebis allaitantes fortement contaminatrices, traitement préventif des brebis allaitantes avant la mise à l'herbe, le repérage des animaux les plus sensibles à travers divers indicateurs pour cibler les traitements et l'étude de traitements alternatifs aux traitements chimiques (complémentation en sainfoin, par exemple)
- 4) l'évaluation de l'impact environnemental du système de production.

Ces mesures constituent une base objective des performances des systèmes d'élevage BIO par rapport aux systèmes d'élevage conventionnel. Ces expérimentations menées à l'échelle du système de production montrent qu'une conduite économe des troupeaux qui privilégie le pâturage est compatible avec des performances animales élevées. Les principales adaptations mises en œuvre pour atteindre ce résultat ont concerné le niveau de chargement, la répartition des mises bas, l'introduction de légumineuses fourragères, le pâturage hivernal et l'élevage des agneaux à l'herbe. Par ailleurs, combiner une productivité animale élevée avec une très bonne valorisation des prairies et sans fertilisation chimique concourt également à une faible consommation d'énergie non renouvelable par kg de viande produite. Les systèmes herbagers testés dans ces études utilisent essentiellement des prairies permanentes et des parcours et montrent tout l'intérêt de ces surfaces dans le système d'alimentation de troupeaux performants.

Face à la volatilité du prix des intrants, nos études proposent des pistes d'adaptations des conduites pour limiter les coûts de production. L'ajustement du niveau de chargement aux potentialités du milieu s'avère être un levier d'action majeur pour limiter les intrants. Il permet en effet d'augmenter la part des fourrages dans la ration, notamment celle de l'herbe pâturée et, en conséquence, de réduire les achats d'aliments concentrés. Il permet aussi un moindre recours aux engrais minéraux, voire de les supprimer totalement en AB. Cependant, la réduction des intrants, pour être effective, doit s'accompagner d'une modification des pratiques d'élevage (élevage des agneaux à l'herbe, réduction des apports de concentrés, organisation du pâturage, fauches précoces, cultures de légumineuses et éventuellement de céréales) qui impliquent des décisions d'anticipation importantes. D'autres adaptations permettent d'accroître encore la valorisation de la ressource herbacée, par exemple le pâturage hivernal, le choix des dates de mise bas et leur répartition dans l'année. Ces adaptations, appliquées sur plusieurs années dans nos essais, démontrent que des niveaux élevés d'autonomie fourragère et alimentaire peuvent être obtenus durablement, et que des performances technico-économiques élevées sont compatibles avec l'herbe pâturée comme aliment principal.

Par ailleurs, la part importante des fourrages dans la ration des animaux et l'absence d'apport d'azote, associés à une forte productivité pondérale des troupeaux permettent une très bonne efficacité énergétique et une faible consommation d'énergie non renouvelable par kg de carcasse produit.

Enfin, malgré une plus grande variabilité de la qualité de la carcasse et de la viande et une flaveur plus forte lorsque l'agneau est élevé à l'herbe (Rousset-Akrim et al, 1997), notamment en Bio (Prache et al, 2009), une part importante d'herbe dans l'alimentation de l'agneau peut constituer un atout vis-à-vis des consommateurs, du fait d'une meilleure qualité nutritionnelle de la viande par rapport à une production en bergerie (Aurousseau et al, 2004). Compte tenu de l'intérêt des systèmes herbagers en termes d'impact environnemental et de qualité nutritionnelle du produit, des méthodes relativement simples sont actuellement développées qui permettent d'authentifier l'origine herbagère de la viande et du lait (Prache et al, 2007 ; Prache, 2007) et de prédire sa qualité nutritionnelle (Guy et al., in press).

Au-delà des systèmes à faibles intrants, trois éléments majeurs relatifs aux principes de l'AB et à la réglementation influent sur la réduction des impacts environnementaux en AB :

- 1) l'interdiction de l'utilisation des produits chimiques de synthèse pour les cultures (herbicide, insecticide, fongicide, azote chimique) ou pour l'élevage (hormones de synthèses et forte limitation pour les médicaments),
- 2) l'obligation de lien au sol minimum (production d'une partie de l'alimentation des troupeaux et surface d'épandage minimum sur l'exploitation),
- 3) le niveau de chargement maximum fixé à 2 UGB/ha et l'épandage des effluents limité à 170 kg d'azote/ha.

Une typologie de systèmes ovins viande du Montmorillonnais et de montagne (Réseau URH) a permis de chiffrer la **consommation d'énergie fossile** par kg de carcasse (Benoit et al, 2010) d'un panel de systèmes contrastés, comprenant deux systèmes en AB, dont la ferme expérimentale INRA du site de Redon. Les 10 groupes identifiés ont été reconstitués par modélisation avec le modèle OSTRAL (Benoit, 1998) sur la base des caractéristiques de fonctionnement et de performance des ateliers ovins et cultures, et en reconstituant *a posteriori* les bilans énergétiques et les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) sur la base d'itinéraires techniques calibrés dans le modèle (couplage des logiciels PLANETE et OSTRAL). (Pottier et al, 2009).

On observe une grande variabilité dans la consommation d'énergie non renouvelable par kg de carcasse produit, en lien avec les pratiques d'élevage, depuis 1,43 équivalent litres de fuel (EQF) par kg de carcasse pour l'exploitation en AB de Redon et 1.48 pour le groupe 'Herbager Autonome', jusqu'à 2,55 et 2.76 pour les groupes '3 en 2 ans moins performant' et 'Ovin-Culture'. Les principaux postes de dépense énergétique identifiés sont liés à la consommation d'aliments (30% du total), la mécanisation (fuel et matériel, 25%), les engrais (20%).

Les principaux facteurs déterminant une faible **quantité d'énergie consommée** (Figure 1) reposent essentiellement sur la capacité à couvrir une forte part des besoins alimentaires par les ressources fourragères *via*, en premier lieu, le pâturage et sur une autonomie alimentaire élevée (avec la production à la ferme des UF et protéines non fourragères). En second lieu, il est nécessaire de gérer au mieux, voire supprimer grâce aux légumineuses, l'utilisation de l'azote minéral, à contenu énergétique élevé (utilisation d'hydrocarbures pour la fabrication). Enfin, il faut viser une performance animale relativement élevée, à travers une productivité pondérale par brebis élevée (nombre d'agneaux produits par brebis et poids des agneaux) qui permet de diluer l'énergie liée aux intrants utilisés et les émissions de méthane. L'importance de la productivité numérique est toutefois soumise à la condition essentielle de disposer de brebis disposant de potentiels laitiers élevés capables d'allaiter deux agneaux.

Ce travail a également permis d'évaluer le niveau **d'émissions de GES** (Figure 2) par kg de carcasse produit et d'aller vers le chiffrage de l'empreinte carbone de la viande, critère auquel les consommateurs de viande Bio sont particulièrement sensibles. Sur les 10 systèmes étudiés, ce niveau d'émission de GES se situe en moyenne à 27.7 kg. Le méthane contribue pour 51%, le protoxyde d'azote pour 34%, le dioxyde de carbone pour 15%. Les systèmes les plus performants sur ce critère (émission brutes de GES) sont le troupeau expérimental allaitant en plein air intégral de la ferme INRA de la Fage et le système « 3 agnelages en 2 ans » (19 et 20 kg). Le premier facteur de réduction des émissions de GES par kg de carcasse apparaît donc clairement comme étant une productivité numérique élevée. La séquestration du carbone dans les prairies atteint en moyenne près de 50% du niveau des émissions brutes, et est d'autant plus importante que le chargement est faible et la présence de prairies permanentes élevée.

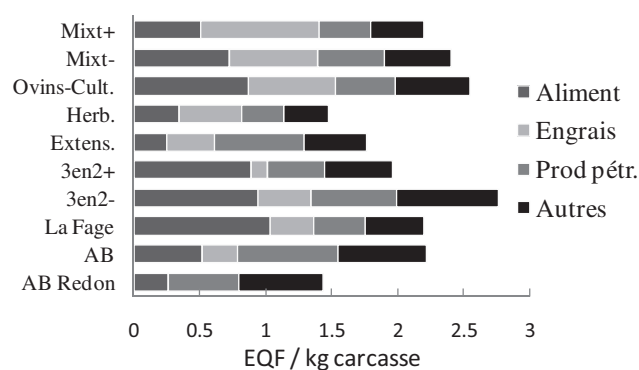


Figure 1 : Niveaux de consommations énergétiques (engrais, aliments, produits pétroliers, autres) pour les 10 systèmes

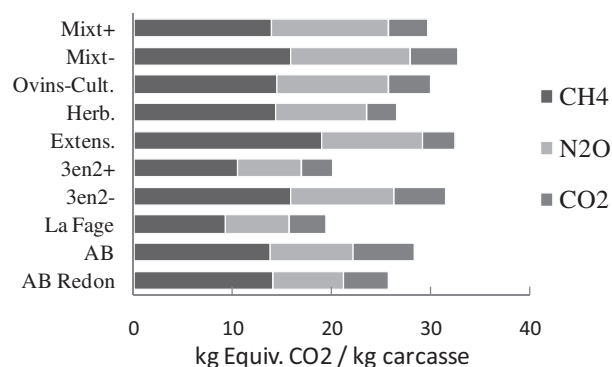


Figure 2 : Emissions brutes de CH₄, N₂O et CO₂ pour les 10 systèmes étudiés (Equivalent CO₂ par kg de carcasse produit)

En AB, plusieurs éléments spécifiques entrent en jeu dans le calcul de ces critères d'évaluation d'impacts environnementaux (énergie et GES) :

- 1) la consommation d'intrants, dont les aliments achetés et la fertilisation (en particulier azotée), est inférieure,
- 2) la productivité animale, potentiellement inférieure en AB (pas d'accélération du rythme de reproduction, en particulier). L'allongement de la durée d'engraissement des agneaux et la plus forte consommation de fourrages peuvent se traduire par une augmentation des émissions de GES (dont le CH₄) par kg de produit,
- 3) la prise en compte de la séquestration du carbone dans les prairies, élément déterminant de ce bilan. En AB, elle est élevée dans la mesure où ces systèmes d'élevage doivent être basés sur une forte autonomie fourragère (principe de lien au sol de la production, coût élevé des concentrés Bio), avec un chargement relativement faible lié à l'absence d'utilisation d'engrais chimique.

Cependant, les résultats sont très hétérogènes, tant en élevages AB qu'en élevages conventionnels, selon les performances des troupeaux et les types de pratiques, en particulier la place de prairies dans les rotations (Aubert et al, 2009).

Le système très herbager expérimenté à l'INRA sur le site de Redon (2006-2009) se situe très bien, en particulier du point de vue de la consommation énergétique (1,43 EQF/kg de carcasse vs. 2,1 en moyenne en élevages privés) mais aussi, dans une moindre mesure, en ce qui concerne les émissions nette de GES (11 kg/kg carcasse vs. 12 kg en moyenne), malgré une production d'agneaux à l'herbe qui augmente la production de méthane par le troupeau. A la base de ces résultats : 1) une très forte autonomie fourragère et alimentaire et très peu de concentrés achetés (production de céréales sur la ferme), 2) pas d'apport d'azote minéral, 3) une forte productivité animale.

Ces expérimentations indiquent la faisabilité de telles solutions en soulignant la très bonne maîtrise technique nécessaire.

L'augmentation de la **biodiversité** en AB peut être attribuée à deux éléments de conduite majeurs :

- 1) l'absence de recours aux produits chimiques de synthèse (important pour la diversité de l'entomofaune et de l'avifaune),
- 2) la plus grande complexité des systèmes mis en place, conjuguant souvent plusieurs ateliers de production animale et plusieurs types de cultures, dans des rotations longues. La mise en place de cultures dans des systèmes d'élevage spécialisés peut augmenter de façon significative le nombre d'espèces végétales. Par exemple, la conversion à l'AB de la ferme de Redon a conduit à une forte augmentation du nombre d'espèces floristiques qui sont passées de 132 à près de 200, dont 17 espèces messicoles et 24 liées à la création de mares (Bellon et al, 2009). Pour ce qui concerne la biodiversité floristique prairiale, elle est surtout liée aux modalités de gestion (Dumont et al, 2007) ou à l'environnement paysager (Bengtsson et al, 2005) plutôt qu'au mode de production (AB vs. conventionnel) sensu stricto (Schrack et al, 2009).

3.2 Patuchev : dispositif expérimental pour évaluer des systèmes de conduites du troupeau caprin économes, valorisant les ressources du territoire en respectant l'environnement

Patuchev est un projet de plate-forme expérimentale dont l'objet est d'évaluer des conduites du troupeau laitier caprin visant à optimiser les ressources fourragères de la prairie cultivée pâturée et/ou récoltée, le parti pris étant une autonomie liée à la valorisation des ressources locales pour une production attachée au territoire en maîtrisant les intrants.

Le projet consiste à explorer des conduites de troupeau laitier caprin permettant :

- **un impact positif sur l'environnement** (1) en limitant les intrants consommateurs d'énergie (concentrés, engrais, mécanisation) et la consommation d'eau, (2) en limitant l'utilisation de certaines molécules « à risques » (pesticides, médicaments vétérinaires et hormones exogènes), (3) en assurant des services environnementaux (paysage, biodiversité, stockage de carbone),
- **une productivité compatible avec un revenu et un métier attractif** en prenant en compte les conséquences des ajustements techniques en réponse aux enjeux environnementaux sur la productivité et le résultat économique. L'attractivité du métier d'éleveur doit être améliorée en termes de charge de travail, de technicité et d'image,
- **une production de qualité rattachée à une activité reconnue** offrant des produits de qualités organoleptique, sanitaire et culturelle et permettant une activité d'élevage s'insérant dans le paysage et le milieu social.

Ce dispositif s'est donné des moyens et des règles de conduites qui sont *a priori* à Hautes Performances environnementales : le système fourrager est basé sur la prairie multispécifique. La part du pâturage y est maximale et le chargement est faible (1,2 UGB/ha). Le foin est séché en grange avec capteur solaire et la chaîne de séchage-distribution des fourrages est optimisée. La limitation de l'emploi d'aliments concentrés est recherchée. La maîtrise des cycles de reproduction se fera sans recours aux traitements hormonaux. L'installation de traite est économe en énergie, capteur solaire pour l'ECS. Les effluents sont valorisés par compostage et l'eau proviendra de la récupération de l'eau pluviale.

Les critères environnementaux attendus des conduites mises en œuvre sur le dispositif expérimental concernent l'énergie et les GES : limitation de la mécanisation par pratique du pâturage, utilisation d'énergie solaire, distribution simplifiée de l'alimentation. La limitation des intrants, par le recyclage, le choix des sources d'aliments protéiques, devrait fortement réduire les émissions de GES. L'implantation

de haies et le maintien de prairies devraient significativement contribuer au stockage du carbone. La biodiversité ordinaire fera l'objet d'une attention particulière.

Le dispositif est en cours de réalisation, il sera opérationnel au printemps 2012.

4- Recherches sur la coordination des acteurs sur le terrain et innovations organisationnelles

4.1 Valoriser les complémentarités entre systèmes d'élevage au sein des bassins de collecte : un moyen de contribuer à la fois au maintien d'une biodiversité ordinaire dans les territoires et d'ajuster la saisonnalité de la collecte laitière

Il existe une diversité de systèmes d'élevage (SE) au sein des bassins de collecte. Diversité de projets de production et de façons de concevoir la stratégie d'alimentation et de reproduction des troupeaux... avec comme conséquence une diversité de la répartition annuelle de la production laitière des troupeaux. Par leur variété, ces divers systèmes d'élevage mobilisent une diversité de ressources et contribuent au maintien d'une diversité ordinaire et d'une ouverture et d'un maillage des paysages.

Parallèlement, les laiteries rencontrent des difficultés de gestion de la saisonnalité de la collecte laitière. Elles incitent en général les producteurs à adopter un modèle de production désaisonnée (prix, conseil).

Toutefois la mise en avant d'un seul modèle - dessaisonné en l'occurrence - comme « bon pour résoudre les problèmes de gestion de collecte de l'entreprise » a comme conséquences : 1) au niveau des SE : une réduction de la diversité, et une intensification des SE, 2) au niveau des laiteries un décalage vers l'été de la période de sous-approvisionnement qui risque à terme d'augmenter les difficultés d'ajustement amont-aval, 3) une concentration du pâturage sur certains espaces pouvant avoir des conséquences importantes sur la diversité ordinaire des territoires (Napoléone, 2001).

Dans le cadre d'un programme de recherche action du SAD (Napoléone et al, 2005), nous avons cherché à valoriser des complémentarités entre SE au sein des bassins de collecte, ceci constituant un moyen de contribuer à la fois au maintien d'une biodiversité ordinaire dans les territoires et de faciliter l'ajustement de la saisonnalité de la collecte laitière.... Et donc mettre en place des dispositifs de coordination et de gouvernance au niveau des territoires et des laiteries. Pour la recherche, il s'agit d'accompagner la mise en place de ces processus.

La diversité des SE présente sur les bassins de collecte pourrait être considérée comme une ressource pour faciliter la gestion de la saisonnalité des collectes laitières (Napoléone, 2008), et pour concourir au maintien d'une diversité ordinaire des paysage. Cela sous entend :

- de rendre lisible cette diversité au regard de la question posée. Les indicateurs utilisés doivent renvoyer les acteurs aux processus et aux fonctionnalités dans les systèmes. Les bilans ou les ratios ne suffisent pas à rendre compte des processus d'action. Les indicateurs temporels sont intéressants. Par exemple, la répartition de la production laitière des troupeaux est en relation directe avec l'organisation des pratiques, et des ressources utilisées. Ce peut être un objet intermédiaire pour cheminer des pratiques de l'éleveur aux difficultés de l'entreprise et aux enjeux sur le territoire (Napoléone et Soulard, 2010).
- de mettre en place des dispositifs de coordination entre acteurs leur permettant d'une part d'identifier les types de combinaison entre SE au regard d'enjeux collectifs, et d'autre part de gérer dans le temps l'ajustement entre l'évolution des enjeux individuels et collectifs (Napoléone et Chia, 2010).

L'impact environnemental sera positif sur l'ensemble du territoire : maintien d'espaces ouverts / mosaïques paysagère / localisation de ces espaces / maintien d'une agriculture interstitielle dans les paysages qui se ferment (gagnés par les bois).

4.2 Modéliser les relations élevage – territoire pour accompagner une réflexion prospective sur les transformations des systèmes.

Il s'agit, dans ces travaux de recherche, de mieux comprendre les relations entre les transformations des paysages et les transformations des activités agricoles, et en particulier des systèmes ovins. Cette problématique repose sur deux approches complémentaires.

Le premier type d'approche consiste en une analyse conjointe rétrospective des trajectoires des exploitations agricoles, d'une part, et des évolutions du paysage d'autre part.

On peut citer les travaux menés dans quatre communes des Hautes Pyrénées (Mottet et al, 2006) où il a été montré que le phénomène d'abandon de terres découle de la disparition d'un grand nombre d'exploitations sur la période d'une cinquantaine d'année considérée mais aussi de modifications des stratégies de gestion de l'espace dans les exploitations qui se sont maintenues. L'abandon survient surtout à des périodes de changement de logique dans la trajectoire de l'exploitation, périodes qui coïncident souvent avec une succession. Les principaux facteurs d'abandon identifiés au niveau de l'exploitation sont la taille de la parcelle et ses difficultés d'accès. L'éloignement de la parcelle joue sur l'extensification de l'usage des prairies, les plus proches du siège de l'exploitation étant généralement fauchées et les plus éloignées seulement pacagées. Il a été montré dans ce travail, par ailleurs, que les dynamiques d'abandon des parcelles ne sont pas réversibles (Mottet, 2005).

Le second type d'approche relève de la modélisation d'accompagnement et/ou de la modélisation multi-agents. Tant dans le Parc Naturel Régional du Luberon (PNRL) (Lasseur et al. 2010), que dans les Hautes Pyrénées (Gibon et al., 2010) ou dans les Coteaux de Gascogne (Choisie et al., 2010a), il a été proposé aux différents acteurs (éleveurs, gestionnaires et acteurs majeurs des territoires) de réaliser une étude prospective participative (Choisie et al, 2010b) reposant sur une modélisation articulant des connaissances scientifiques et des connaissances expertes sur les activités d'élevage et les dynamiques des couverts (forêts, bois, parcours et prairies) afin de réfléchir aux capacités d'adaptation des systèmes d'élevage et à leur contribution à la dynamique des paysages (Leclerc et al, 2010). Ces travaux ont permis de faire ressortir les principaux enjeux locaux ainsi que les stratégies d'adaptation les plus probables des individus et des groupes, en particulier l'adaptation des pratiques d'élevages à de nouveaux enjeux agri-environnementaux (Gibon et Ickowicz, 2010).

L'ensemble de ces travaux montre un intérêt renouvelé pour la formalisation de l'évolution des activités agricoles, de leur diversité (au sein de laquelle s'insère la production ovine et caprine).

4.3. Faire coexister plusieurs systèmes de production : les races ovines des Pyrénées-Atlantiques

Outre la biodiversité « sauvage », il peut être pertinent de s'intéresser à la biodiversité « domestique ». Un programme de recherche (Labatut, 2010), mené par l'UMR AGIR, en collaboration avec les acteurs (éleveurs, gestionnaires, scientifiques) de la gestion de trois races locales de brebis des Pyrénées-Atlantiques (Manech Tête Rousse, Manech Tête Noire, Basco-Béarnaise), a permis, dans un premier temps, de réaliser un diagnostic de la situation en identifiant les crises dans la coopération entre les différents acteurs et en fournissant des éléments d'explication. Les chercheurs ont par ailleurs proposé une démarche en trois temps : favoriser la discussion entre les parties prenantes ; encourager les scientifiques généticiens et les techniciens spécialistes de l'insémination à pratiquer davantage

l'apprentissage collectif ; concevoir de nouveaux instruments favorisant les capacités collectives des acteurs, par exemple par l'établissement d'indicateurs de prospective ou la mise en place d'ateliers territoriaux de conception innovante. Compte tenu de la multiplicité des niveaux de crise de la coopération entre les acteurs et de la diversité des logiques locales de sélection et de création de valeur, il est peu probable que l'ensemble de la filière arrive à un consensus. Il est plus important et plus réaliste de mettre l'accent sur l'enjeu qui consiste à gérer une diversité des modèles, où plusieurs systèmes productifs peuvent cohabiter, plutôt que d'espérer une intégration totale de tous les acteurs. Ce travail montre que la gestion de ces "biens communs" est en tension entre deux évolutions, d'une part une marchandisation de ces ressources et de l'autre une organisation plus locale de la sélection des ressources.

4.4. Parcours et évolution des dispositifs anti-feu en Corse

Un travail de recherche – intervention a été menée par le LRDE pour promouvoir les nouvelles techniques d'utilisation de pâturage par les bergers corses, comprenant l'utilisation de feux.

Alors que le brulage dirigé était traditionnellement utilisé en zone méditerranéenne, ces feux ont été strictement interdits, conséquence du développement d'un mode de vie citadin et de l'apparition d'organisations anti-feu. Néanmoins, des paysans peu nombreux et particulièrement des bergers, ont continué à utiliser le feu pour nettoyer les parcours, de manière clandestine et marginale. Il a, par ailleurs, été montré que, dans différents milieux méditerranéens et montagnards, des feux pastoraux, s'ils étaient contrôlés et correctement mis en œuvre, pouvaient atteindre de bons résultats pour lutter contre l'embroussaillage.

Ces travaux de recherche (Paoli, 2010 ; Peraudeau et al, 2010) ont permis de comprendre comment une technique, socialement condamnée, devient une fête et une innovation technique. Nous avons montré comment un dispositif associant les pompiers, la commission pastorale, le MoA (le Ministère de l'Agriculture), l'administration locale, les organisations de producteurs, reconstruit et interprète de manière différente, rarement univoque et stable, la réponse à la question « devons-nous laissez les bergers utiliser le feu et si oui, comment ? »

Conclusions

Cette synthèse ne saurait représenter de façon exhaustive tous les travaux conduits à l'INRA qui contribuent à l'élaboration et à l'évaluation des élevages ovins et caprins à Haute Performance Environnementale. Il faudrait citer les équipes qui réalisent des travaux plus fondamentaux contribuant, indirectement, aux avancées dans les domaines de la nutrition, de la santé animale, de la qualité des produits (lait et viande) et de la sélection des animaux de demain. Il ne faut pas oublier, non plus, le secteur de la production végétale et de l'économie. Pour être complet, il aurait fallu citer l'ensemble des partenaires tels que l'Institut de l'Élevage, les Parcs Nationaux et Régionaux et les autres structures professionnelles qui complètent, pour les uns, ou appuient, pour les autres, les études permettant une pérennité de leurs élevages et de leurs filières.

En dehors des traitements de maîtrise de la reproduction, les problèmes environnementaux générés par les systèmes d'élevage d'ovins et de caprins ne semblent pas, en général, poser de problèmes aigus. Certes, comme tous les ruminants, ils n'échappent pas aux critiques concernant leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre qu'il faudrait objectivement mesurer dans leurs conditions environnementales. En revanche, leur occupation du territoire et en particulier leur présence dans des milieux souvent difficiles en font des systèmes écologiquement intéressants. Si la reconnaissance de leur rôle écologique est indiscutable en matière de lutte contre l'incendie ou comme auxiliaire de valorisation de parcours et de massifs forestiers, leur rôle dans le maintien de la biodiversité ordinaire

est peut-être insuffisamment reconnu. Cette synthèse permet, par ailleurs, d'illustrer, que leur vulnérabilité aux aléas de prix des intrants les pousse naturellement à en limiter l'usage.

Le challenge pour la recherche agronomique est de mettre en œuvre pour ces élevages ovins et caprins une recherche basée sur une « intensification écologique » qui permette tout à la fois de proposer des solutions pour un meilleur suivi de leurs animaux (pour en accroître l'efficacité biologique), de proposer des règles de conduites et des outils de pilotage (élevage de précision, modélisation) qui permettent de raisonner à la fois leur orientation et projet de production (viande, lait) et leur empreinte environnementale dans leur agro-écosystème et, d'une manière plus générale, les services écosystémiques qu'ils apportent.

Références bibliographiques

Agreil C., Greff N., 2008. Des troupeaux et des hommes en espaces naturels, une approche dynamique de la gestion pastorale. Guide technique Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels, Vourles, France.

Agreil C., Haskell J., Haskell J., Meuret M., Provenza F., 2008. Grazing practices and rangeland conservation: towards output-based contracts to improve relevance and enhance technical innovation. VIII IRC, China.

Agreil C., Meuret M., 2007. Feeding behaviour adjustments by ewes foraging in highly heterogeneous and temporally variable environments. Proceedings of the 11th seminar of the FAO-CIHEAM Sub-Network on Sheep and Goat Nutrition, Catania, Italy, 8-10 September 2005. Options Méditerranéennes. Serie A, Séminaires Méditerranéens, 74, 331-342.

Agreil C., Meuret M., Vincent M., 2004. Grenouille : une méthode pour gérer les ressources alimentaires pour des ovins sur milieux embroussaillés. Fourrages 180, 467-481.

Aubert C., Le Berre N., 2007. Faut-il être végétarien ? Pour la santé et la planète. Terre Vivante (Ed), 152 p.

Aubron C., Gautier D., Guérin G., Launay F., 2008. Silvopastoral innovation in North-mediterranean livestock farming systems: current knowledge and prospects for technical support. New trends for innovation in the mediterranean animal production. International symposium EAAP – FAO – CIHEAM, 6-8 novembre 2008, Corte, 4 p.

Aubron C., Guérin G., Gallion B., Moulin C.-H., 2010a. Drawing together the knowledge of forestry and pastoralism experts in the construction of a technical support tool for silvopastoralism. Soumis à Environmental Modelling and Software.

Aubron C., Lurette A., Moulin C.-H., 2010b. Simulation des conséquences économiques de différentes stratégies fourragères avec foin face aux aléas climatiques en élevage bovin laitier. Rencontre Recherche Ruminants, 17, pp 249-252.

Aurousseau B., Bauchart D., Faure X., Galot A.L., Prache S., Micol D., Priolo A., 2007. Indoor fattening of lambs raised on pasture: 1) influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the longissimus thoracis muscle. Meat Science 76, 241-252.

Barillet F., Carta A., Allain D., Amigues Y., Bodin L., Casu S., Cribiu E.P., Bed'Hom B., Boichard D., Boshier M.Y., Elsen J.M., Fraghi A., Gruner L., Jaquier P., Ligios S., Marie-Etencelin C., Mura L., Piredda G., Roig A., Rupp R., Sanna S.R., Scala S.R., Schibler L., Sechi T., Casus S., 2003. Détection de QTL influençant des caractères d'importance économique présente ou à venir en ovins laitiers en France et en Italie. Renc. Rech. Ruminants 10, 57-60.

Barthel S., 2008. Les hautes chaumes du Forez, pratiques agropastorales et biodiversité. Guide technique CREN.

Bellon S., Girard N., Guérin G., 1999. Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage. Fourrages 158, 115-132

Bellon S., Prache S., Benoit M., Cabaret J., 2009. Recherches en élevage biologique : enjeux, acquis et développements. INRA Productions Animales 22, 271-284.

Bengtsson H., Öborn I., Jonsson S., Nilsson I., Andersson A., 2003. Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming-a case study at Öjebyn, Sweden. Eur. J. Agron. 20, 101-116.

Benoit M., Tournadre H., Dulphy J. P., Prache S., Cabaret J., 2009b. Comparaison de deux systèmes d'élevage biologiques d'ovins allaitant différant par le rythme de reproduction: une approche expérimentale pluridisciplinaire. INRA Productions Animales 22, 207-220.

Benoit M., 1998. Un outil de simulation du fonctionnement du troupeau ovin allaitant et de ses résultats économiques : une aide pour l'adaptation à des contextes nouveaux. Productions Animales 11, 199-209

Benoit M., Laignel G., 2010. Energy consumption in mixed crop-sheep farming systems: what factors of variation and how to decrease? Animal 4, 1597-1600

Benoit M., Laignel G., Roulenc M., 2010. Emissions de gaz à effet de serre et consommations d'énergie en élevage ovin viande. Renc.Rech.Ruminants, Paris 8-9 Dec. 2010, pp 351-354.

Benoit M., Prache S., 2010. La production de viande ovine en France. Quels systèmes de production pour quels produits ? In : D.Bauchart, B. Picard (Eds.), Muscle et Viande de Ruminants, Editions Quae, , in press.

Benoit M., Tournadre H., Dulphy J. P., Prache S., Cabaret J., 2009a. Is intensification of ewe reproduction rhythm sustainable in an organically managed sheep production system? A four-year interdisciplinary study. Animal 3, 753-763.

Blanc F., Bocquier F., D'Hourd P., Chilliard Y., 2006. Adaptive abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. Anim. Res. 55, 489-510

Blanc F., Dumont B., Brunschwig G., Bocquier F., Agabriel J., 2010. Robustesse, flexibilité, plasticité : des processus adaptatifs révélés dans les systèmes d'élevage extensifs de ruminants. Productions Animales 23, 65-80.

Bocquier F. (inventeur). Brevet PCT/EP2004/053598, 2003, METHOD AND DEVICE FOR AUTOMATICALLY DETECTING MATING OF ANIMALS, 21.07.2005,WO/2005/065574, 2005, SupAgro, INRA

Bocquier F., 2009. Défis techniques de la production à la transformation : éléments de débat. Colloque : Les recherches en Agriculture biologique, Montpellier 19-20 mai 2008. Innovations Agronomiques 4, 1-7

Bocquier F., Gaubert J.L., Blanc F., Viudes V., Maton C., Debus N., Teyssier J., 2006. Utilisation de l'identification électronique pour la détection automatisée du comportement sexuel chez les ovins : perspectives pour la détection des chaleurs chez la brebis. Rencontres Recherches Ruminants 13, 155-158.

Bocquier F., Gonzalez-Garcia E., 2010. Sustainability of ruminant agriculture in the new context: feeding strategies and features of animal adaptability into the necessary holistic approach. Animal 4, 1258-1273.

Bocquier F., Viudes G., Maton C., Debus N., Gibault L., Teyssier J., 2009. Use of electronic identification for automated oestrus detection in livestock. Proc. of the 60th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 2009/08/24-27 ; Barcelone (ESP), Book of Abstracts p 485, Wageningen Academic Publisher, Wageningen (NLD).

Chanvallon A., Sagot L., Pottier E., Scaramuzzi R.J., Fabre-Nys C., 2009. Interactions among seasonality of reproduction, genotype and the ram effect. Archiva Zootechnica 12, 74-81

Choisis J.P., Gibon A., Lasseur J., Morales H., Touré I., Tourrand J.F. 2010. Acteurs et temporalités dans les processus de modélisation participative de l'interaction entre systèmes agropastoraux et territoires : analyse comparée de sept études de cas. Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones Agricultures 19, 135-142

Choisis J.P., Sourdril A., Deconchat M., Balent G., Gibon A., 2010 Comprendre la dynamique régionale des exploitations de polyculture élevage pour accompagner le développement rural dans les Coteaux de Gascogne. Cahiers Agricultures 19, 97-103

Cournut S., 2001. Le fonctionnement des systèmes biologiques pilotés : simulation à événements discrets d'un troupeau ovin conduit en trois agnelages en deux ans, Thèse, Université Claude Bernard – Lyon I, ENITAC, INRA SAD-URH, 2001, 418 p. + annexes.

Cournut S., Chauvat S., 2010. Référentiels travail : Synthèse de 600 Bilans Travail dans 7 filières herbivores et monogastriques Intervention plénière 3èmes Rencontres Travail en Elevage ; Rencontres nationales des acteurs du Développement, de la Recherche et de la Formation - 19 et 20 novembre 2009. Rennes. <http://www.inst-elevage.asso.fr/spip.php?article18086>

Cournut S., Dedieu B., 2004. A discrete event simulation of flock dynamics: a management application to three lambings in two years. *Anim. Res.* 53, 383 – 403.

Dedieu B., Chabosseau J.M., Willaert J., Benoit M., Laignel G., 1998. L'organisation du travail dans les exploitations d'élevage : une méthode de caractérisation en élevage ovin du Centre-Ouest. *INRA Et. Rech. Syst. Agr. Dév.* 31, 63-80.

Dedieu B., Servière G., 2001. Organisation du travail et fonctionnement des systèmes d'élevage. *Renc. Rech. Rumin.*, 245 – 250.

Dumont B., Farrugia A., Garel J.P., 2007. Pâturage et biodiversité des prairies permanentes. *Renc. Rech. Ruminants* 14, 17-24.

Fiorelli C., 2010. L'aménagement des conditions de vie au travail. Proposition d'un cadre d'analyse des relations entre rapport subjectif et organisation du travail en élevage et étude de cas chez les pluriactifs. Thèse ABIES – INRA, 312 p. + annexes

Fiorelli C., Dedieu B., Pailleux J.Y., 2007. Explaining diversity of livestock farming management strategies of multiple-job-holders: importance of level of production objectives and role of farming in the household. *Animal* 1, 1209-1218

Fiorelli C., Dedieu B., Porcher J., 2010. Un cadre d'analyse des compromis adoptés par les éleveurs pour organiser leur travail. *Cahiers Agricultures* 19 383 – 390.

François D., Allain D., Foulquié D., Boissy A., Jacquet P., Moreno C.R., Rupp R., Bodin L., Hazard L., Bouix J., 2010. Amélioration génétique de l'adaptation des Ovins aux milieux difficiles. *Renc.Rech.Rumin.*, 17, 439-442.

Friggens N.C., Disenhaus C., Petit H.V., 2010. Nutritional sub-fertility in the dairy cow: towards improved reproductive management through a better biological understanding. *Animal* 4, 1197–1213

Friggens N.C., Newbold J.R., 2007. Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning: the dairy cow as an example. *Animal* 1, 87-97.

Gautier D., Moulin C.H., 2004. Intérêts du pâturage hivernal sur parcours pour les exploitations ovines : exemple des Préalpes du Sud. *INRA Prod. Anim.* 17, 275-285

Gibon A., Ickowicz A., 2010 (coord). Transformation des systèmes d'élevage extensif dans les territoires ruraux. *Cahiers agricultures* 19, 77-172

Gibon A., Sheeren D., Monteil C., Ladet S., Balent G., 2010. Modelling and simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework. *Landscape Ecology* 25, 267–285

Girard N., Bellon S., Guérin G., Hubert B., Lasseur J., Moulin C., 1997. Un modèle à base de connaissances d'experts sur les stratégies d'alimentation. Les acquis méthodologiques issus d'un travail de thèse. Paris, Institut de l'Elevage, INRA, 26 p.

Guérin G., Agreil C., 2007. Qualifier les surfaces pastorales pour combiner le renouvellement des ressources alimentaires et la maîtrise des couverts végétaux. *Renc. Rech. Ruminants* 14, 145-152.

Guérin G., Aubron C., Boutonnet J.-P., Gallion B., Sajdak G., 2010. Construire une cohérence productive entre sylviculture et pâturage dans les espaces boisés de la zone méditerranéenne française : l'innovation sylvopastorale en questions. *Communication ISDA*.

Guignier C., Agreil C., Mestelan P., Michel-Mazan V., 2006. Changer de regard, comprendre le troupeau, adapter la gestion. Outil de diagnostic et de conseil. Massif des Bauges, plateau de la Lysse (Savoie).

Guinamard C., Le Frileux Y., Napoléone M., Relave C., 2002 (PEP et réseaux techniques en Rhône Alpes), *Aide à la gestion de la production laitière d'un troupeau*, Jeu de 10 fiches techniques de 4 pages chacune disponible dans les réseaux techniques départementaux. Cible: éleveurs et techniciens.

Guy F., Prache S., Thomas A., Bauchart D., Andueza D., 2011. Prediction of lamb meat fatty acid composition using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). Food Chemistry, in press, online 27/01/2011

Hoste H., Chartier C., Napoléone M., Picquart H., Pors I., Koch C., 2001. Suivi épidémiologique des infestations parasitaires du tube digestif dans quatre élevages caprins du Sud-Est de la France et variations des courbes de production laitière. *Revue de médecine vétérinaire* 152, 681-690

Jouven M., Baumont R., Ingrand S., Bocquier F., 2009. Modelling small ruminant systems in Mediterranean areas. *Options Méditerranéennes série A*, 91, 277-292.

Jouven M., Foulquié D., Benoît M., 2010a. Graze rangelands to improve farm performance. Example for an extensive meat sheep farming system. 7th International seminar of the FAO-CIHEAM Network on Sheep and Goats, 10-12 November 2010, Saragoza (Spain).

Jouven M., Icowicz A., Leroy H., Lapeyronie P., 2010. Les clôtures virtuelles : un outil pour gérer le pâturage en élevage ovin allaitant ? *Renc. Rech. Ruminants* 17, 53-56.

Jouven M., Lapeyronie P., Moulin CH., Bocquier F., 2010b. Rangeland utilization in Mediterranean farming systems. *Animal* 4, 1746–1757

Labatut J., 2010. Construire la biodiversité. Processus de conception de "biens communs. Les Presses des Mines, Collection Economie et Gestion, 250 p.

Landais E., Balent G., 1993. Pratiques d'élevages extensifs - Identifier – Modéliser – Evaluer, Ouvrage collectif Etude et recherche N°27 Ed. INRA. 387 pages

Lasseur J., Bataille J.F., Beylier B., Etienne M., Legeard J.P., Luccioni J., 2010. Modélisation des relations entre dynamiques des territoires et des systèmes d'élevage dans le massif du Lubéron. *Cahiers Agricultures* 19, 90-96

Leboeuf B., Delgadillo J.A., Manfredi E., Piacère A., Clément V., Martin P., Pellicer M., Boué P., de Cremoux R., 2008. Management of goat reproduction and insemination for genetic improvement in France. *Reproduction in Domestic Animals* 43, 379-385.

Leclerc G. Bommel, P., Gibon A., Lasseur J., Morales H., 2010. Elaboration participative de modèles et de scénarios : une entrée pour analyser la coévolution des systèmes d'élevage extensif et des territoires. *Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones Agricultures* 19, 152-159

Lefrileux Y., Hoste H., Napoléone M., Foubert C., 2007. Guide méthodologique pour évaluer le risque de parasitisme en fonction de l'organisation du calendrier de pâturage, in : Guide pour la conduite du pâturage caprin, Ed I.E. (Institut de l'Elevage), collection : résultats. p 71-104.

Maton C., Bocquier F., Debus N., Bodin L., Teyssier J., 2010. Suivi automatisé des chaleurs et différence de saisonnalité entre Texel et Mérinos dans le même environnement. *Rencontre Recherche Ruminants* 17, 125-128.

Maton C., Bouquet P.M., Laville Y., Bocquier F., 2006. Automate de tri pour les ovins basé sur l'identification électronique. *Rencontres Recherches Ruminants* 13, 167.

Maton C., Montagnac D., Viudes G., Bouquet P., Bocquier F., 2009. Les applications de l'identification électronique des petits ruminants au service de l'élevage biologique. *Innovations Agronomiques* 4, 67-71

Mestelan P., 2007. Les MAE à obligation de résultat. La lettre Agroenvironnement info. n° 44.

Mestelan P., Agreil C., de Sainte Marie C., Meuret M., Mailland-Rosset S., 2007. Mise en place d'une contractualisation agri-environnementale basée sur le respect de résultats écologiques mesurables. Le cas des surfaces herbagères du PNR du Massif des Bauges. *Renc. Rech. Ruminants* 14, 173-176.

Meuret M., Bellon S., Guérin G., Léger F., 1995. Faire pâturer sur parcours. *Rencontres Recherches Ruminants* 2, 27-35.

Molénat G., Foulquié D., Autran P., Bouix J., Hubert D., Jacquin M., Bocquier F., Bibé B., 2005. Pour un élevage ovin allaitant performant et durable sur parcours : un système expérimental sur le Causse du Larzac. *INRA Prod. Anim.*, 18, 323-338

Morand-Fehr P., Boyazoglu J., 2008. A special issue of Small Ruminant Research on goat and sheep farming development: But for which reasons? *Small Ruminant Res.* 77, 91-92.

Mottet A., 2005. Transformations des systèmes d'élevage depuis 1950 et conséquences pour la dynamique des paysages dans les Pyrénées. Contribution à l'étude du phénomène d'abandon de terres agricoles en montagne à partir de l'exemple de quatre communes des Hautes-Pyrénées. Thèse. Institut National Polytechnique de Toulouse. 274p.

Mottet A., Ladet S., Coqué N., Gibon A., 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114, 296-310.

Moulin C., Girard N., Dedieu B., 2001. L'apport de l'analyse fonctionnelle des systèmes d'alimentation. *Fourrages* 167, 337-363.

Moulin C.H., Ingrand S., Lasseur J., Madelrieux S., Napoléone M., Pluvinage J., Thénard V., 2008. Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques. In : Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (Eds.), *L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Paris, éditions QUAE, p 181-196.

Moulin C.H., Pluvinage J., Bocquier F., 2004. Les relations entre agrandissement des troupeau et changements de conduite : exemple des élevages d'ovins allaitants en Crau. *Renc. Rech. Ruminants*, 11, 145-148

Napoléone M., 1997. Courbes de production : le miroir de la conduite du troupeau. *La chèvre* 223, 40-42.

Napoléone M., 1999. Accompagner les éleveurs dans la gestion du processus de production. *Option méditerranéennes*, série B, 27, 245- 258

Napoléone M., 2001. De la gestion de la répartition de la production laitière d'un troupeau à la gestion des approvisionnements d'une firme. *Options Méditerranéennes*, Série A, 46, 177-181.

Napoléone M., 2007 La coproduction d'un diagnostic technique avec des éleveurs caprins. In : J.P. Darré, A. Mathieu, J. Lasseur (Eds), *Le sens des pratiques – Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*, Sciences Update Ed INRA. p 255 – 273

Napoléone M., 2008, Comment les systèmes d'élevage caprins répondent- ils à l'évolution des besoins d'une coopérative laitières. In: Dedieu B, Chia E, Leclerc B, Moulin CH, Tichit M (Eds.). *L'élevage en mouvement Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. INRA ed p 219-227

Napoléone M., Boucher P., Fareyre G., 2000. Aide au diagnostic technique en élevage : de la répartition de la production à la conduite du troupeau. Document de développement – cible : techniciens et éleveurs caprins 28 p.

Napoléone M., Boutonnet JP, Rio M., 2005. L'AOC Pélardon : Formaliser les transformations en cours pour aider aux coordinations techniques. Symposium « Territoires et enjeux du développement régional » PS DR 9-11 mars 2005, Lyon, 4 pages

Napoléone M., Chia E., 2010. Repenser la coordination entre agriculteur et coopérative laitière- Vers une gestion concertée de la saisonnalité de la collecte. *Ed ESKA – Annales des Mines- 12/ 2010*, 13 p.

Napoléone M., Hoste H., Lefrileux Y., 2011. The use of grazing pastures in goat production : development of an approach to combine the optimized use of forage resource and the control of related risks. In: R. Bouche, A. Derkimba, F. Casabianca (Eds.), *New trends for innovation in the Mediterranean animal production*, EAAP publication N° 129,

Napoléone M., Leclerc M., Lefrileux Y., Lictévout V., 2007. Diagnostic de l'exploitation et projets de l'éleveur. 13-42. In : *Guide pour la conduite du pâturage caprin*, Éd I.E. (Institut de l'Elevage), collection : résultats,

Napoléone M., Soulard C.T., 2010. From agricultural practices to boundaries' objects in the collective actions design. *ISDA 2010*, Montpellier, June 28-30, 2010

Nozières M.O., Moulin C.H., Dedieu B., 2011. The herd, a source of flexibility for livestock farming systems faced with uncertainties? *Animal* (à paraître)

Paoli J.C., 2010. Rangeland pastures and antireproductive social apparatus in Corsica. Short communication at ISDA 2010, 28 June – 1st July 2010, Montpellier.

Pellicer-Rubio M.-T., Ferchaud S., Freret S., Tournadre H., Fatet A., Boulot S., Pavie J., Leboeuf B., Bocquier F., 2009. Les méthodes de maîtrise de la reproduction disponibles chez les mammifères d'élevage et leur intérêt en agriculture biologique. *INRA Prod. Anim*, 22, 255-270.

Pellicer-Rubio M.-T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougnaud J.L., Bonné J.L., Santy E., Chemineau P., 2007. Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lactating goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Animal Reproduction Science* 98, 241-258.

Pellicer-Rubio M.-T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougnaud J.L., Bonné J.L., Santy E., Breton S., Brun F., Chemineau P., 2008. High fertility using artificial insemination during deep anoestrus after induction and synchronisation of ovulatory activity by the "male effect" in lactating goats subjected to treatment with artificial long days and progestagens, *Animal Reproduction Science* 109, 172-188.

Peraudeau M., Santucci P., Paoli J.C., Bouche R., 2006. Elevage pastoral et feu agricole en Corse : vers la maîtrise de la tradition. *Options Méditerranéennes*, N° spécial, Séminaire Les productions de l'élevage méditerranéen. Défis et atouts de Saragoza, Espagne 18-20 mai 2006. p. 139-142.

Peyraud J.L., Le Gall A., Delaby L., Faverdin P., Brunschwig P., Caillaud D., 2009. Quels systèmes fourragers et quels types de vaches laitières demain? *Fourrages* 197, 47-70.

Pottier E., Tournadre H., Benoit M., Prache S., 2009. Maximiser la part du pâturage dans l'alimentation des ovins : intérêt pour l'autonomie alimentaire, l'environnement et la qualité des produits. *Fourrages* 199, 349-371.

Prache S., 2007. Developing a diet authentication system from the composition of milk and meat in sheep: a review. *Journal of Agricultural Science* 145, 435-444.

Prache S., Ballet J., Jailler R., Météau K., Picard B., Renner M., Bauchart D., 2009. Comparaison des qualités de la viande et de la carcasse d'agneaux produits en élevage biologique ou conventionnel. *Innovations Agronomiques* 4, 289-296.

Prache S., Martin B., Nozière P., Engel E., Besle J.M., Ferlay A., Micol D., Cornu A., Cassar-Malek I., Andueza D., 2007. Authentification de l'alimentation des ruminants à partir de la composition de leurs tissus et produits. *INRA Productions Animales* 20, 295-308.

Puillet L., Martin O., Sauvant D., Tichit M., 2010b. An individual-based model combining reproduction and feeding management as a tool to simulate dairy goat herd performance. *Animal* 12, 2084-2098.

Puillet L., Martin O., Sauvant D., Tichit M., 2011. Introducing efficiency into the analysis of individual lifetime performance variability: a key to assess herd management. *Animal* 5, 123-133.

Puillet L., Martin O., Tichit M., Sauvant D., 2008. Simple representation of physiological regulations in a model of lactating female: application to the dairy goat. *Animal* 2, 235-246.

Puillet L., Sauvant D., Tichit M., 2010a. Représentation des déterminants de la variabilité individuelle dans les modèles de fonctionnement de troupeau. *INRA Productions Animales* 23, 255-268.

Rousset-Akrim S., Young O.A., Berdagué J.L., 1997. Diet and growth effects in panel assessment of sheepmeat odour and flavour. *Meat Science* 45, 169-181.

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

Sauvant D., Giger-Reverdin S., and Meschy F., 2007. Alimentation des caprins. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments. Tables Inra 2007. Editions Quae, Versailles. pp 137-148.

Schrack D., Coquil X., Ortat A., Benoît M., 2009. Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques* 4, 259-268.

Strandberg E, 2009. The role of environmental sensitivity and plasticity in breeding for robustness: lessons from evolutionary genetics. In: Klopčič M, Reents R, Philipsson J, Kuipers A (Eds.). Breeding for robustness in cattle. EAAP Publication, Wageningen, the Netherlands. pp 17-33.

Teyssier J., Migaud M., Debus N., Maton C., Tillard E., Malpoux B., Chemineau P., Bodin L., 2010. Expression of seasonality in Merinos d'Arles ewes of different genotypes at the MT1 melatonin receptor gene. Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13-18 August, 2006, pp 11-14 .

Tichit M., Ingrand S., Moulin C.H., Cournut S., Lasseur J., Dedieu B., 2004. Analyser la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices : intérêts pour modéliser le fonctionnement du troupeau en élevage allaitant. Prod. Anim. 17, 123-132.

Tichit M., Puillet L., Sabatier R., Teillard F. accepté. Multicriteria performance and sustainability in livestock farming systems: functional diversity matters. Livestock Science

Tournadre H., Pellicer M., Bocquier F., 2009. Maîtriser la reproduction en élevage ovin biologique : influence de facteurs d'élevage sur l'efficacité de l'effet bélier. Innovations Agronomiques 4, 85-90.