

Refondation de l'agriculture et rôle des herbivores. Réflexions et perspectives

M. Journet, J.-P. Dulphy

A partir de leur expérience professionnelle et des perspectives ouvertes par quelques agriculteurs innovants, M. Journet et J.-P. Dulphy présentent leur réflexion sur la place particulière qu'occupent les ruminants dans les cycles du carbone et de l'azote. L'élevage pourra répondre aux défis du futur en optimisant la valorisation des ressources renouvelables et en améliorant ainsi son autonomie.

RÉSUMÉ

L'agriculture peut bénéficier des disponibilités naturelles d'azote et de carbone via la fixation symbiotique et la photosynthèse. Dans le sol comme dans le rumen, le cycle de l'azote est dépendant des flux de carbone et des populations microbiennes. La réorganisation et valorisation de N est optimale quand le ratio C/N est d'environ 20 dans le rumen comme dans le sol. Les restitutions des herbivores ont un faible ratio C/N, favorable à la minéralisation de N dans le sol et donc à son utilisation par le couvert végétal. Les pratiques agricoles visant des restitutions de composition équilibrée favorisent l'autonomie et la pérennité des systèmes de production : utiliser les couverts avec légumineuses, les intégrer dans les systèmes de grandes cultures, accroître la place des prairies, adapter le type de ruminant pour favoriser son rôle de recycleur de C et N... Plusieurs témoignages d'agriculteurs sont présentés.

SUMMARY

Rethinking agricultural systems and the role of herbivores

Agricultural systems can benefit from the nitrogen (N) and carbon (C) contributed by natural processes, such as photosynthesis and bacteria-mediated fixation. Based on their professional experiences and discussions with innovative farmers, M. Journet and J.-P. Dulphy detail their thoughts on the unique role of ruminants in N and C cycles. Whether in the soil or in the rumen, the N cycle depends on C flows and microbial populations; N metabolism and use is optimised when the C/N ratio is about 20. Certain agricultural practices aim for balanced nutrient restitution and thus promote the autonomy and longevity of production systems. Such practices include raising ruminant livestock, using legume cover crops, integrating legume cover crops into commercial crop systems, increasing the surface area dedicated to grasslands, and choosing ruminant livestock based on their ability to recycle C and N.

Refonder l'agriculture consistera à produire avec de moins en moins d'énergie fossile, c'est-à-dire de façon autonome, en réactivant les fonctions du vivant. Autrement dit, il s'agira de puiser dans les ressources renouvelables de l'atmosphère pour les recycler efficacement dans le sol *via* les végétaux et les animaux. C'est pour l'essentiel ce que la Direction de l'INRA propose dans son document d'orientation en 2016. Les herbivores ruminants auront alors à jouer un rôle majeur par leur efficacité à recycler le carbone, l'énergie et l'azote, qui sont les moteurs de la croissance végétale.

Nous tenterons d'abord d'en donner une vision un peu particulière en rapprochant le fonctionnement du rumen des ruminants de celui du sol dans la dynamique de ces cycles à l'échelle de l'exploitation, et envisagerons les moyens de les optimiser. Puis nous illustrerons notre approche par les réalisations concrètes de précurseurs qui ont déjà mis en œuvre ces principes. En rapportant l'originalité de leurs stratégies et pratiques, nous soulignerons leur intérêt économique, environnemental et pour la réduction de l'effet de serre. Nos illustrations seront basées sur un système laitier dominant en zone

AUTEURS

Anciens chercheurs du Département "Élevage et Nutrition des herbivores" de l'INRA ; michel.journet4@wanadoo.fr ; jp.dulphy@orange.fr

MOTS CLÉS : Agriculture durable, agroécologie, autonomie, azote, bovin, carbone, environnement, exploitation agricole, fertilisation, fixation symbiotique de l'azote, gaz à effet de serre, innovation, légumineuse, mélange fourrager, race bovine, rapport C/N, recherche scientifique, système d'élevage, système de production, système fourrager.

KEY-WORDS : Agroecology, C/N ratio, carbon, cattle, cattle breed, environment, farm, fertilisation, forage mixture, forage system, greenhouse-effect gaz, innovation, legume, livestock system, nitrogen, production system, scientific research, self-sufficiency, sustainable agriculture, symbiotic nitrogen fixation.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Journet M., Dulphy J.P. (2016) : "Refondation de l'agriculture et rôle des herbivores. Réflexions et perspectives", *Fourrages*, 228, 271-281.

atlantique, puis en zone de grandes cultures en vue de montrer l'intérêt de réintroduire les herbivores dans ces zones désormais sans élevages.

Au final, nous essayerons de suggérer le type de recherches à développer, susceptible de mieux asseoir cette refondation de l'agriculture, et concluons par une perspective étendue à la Planète.

1. Les fondements biologiques de l'agriculture de demain

■ Les cycles du carbone et de l'azote

Ces deux éléments sont très interdépendants dans le vivant, tant au niveau des productions végétales et animales que de la vie du sol.

Le cycle du carbone commence au niveau des plantes, par la fixation du CO_2 atmosphérique pour synthétiser des glucides au cours de la phase lumineuse de la photosynthèse. Une partie du carbone ainsi fixé par les plantes sera exportée dans les produits utiles *via* les récoltes et l'autre recyclée dans le sol *via* les restitutions végétales et animales. On notera toutefois que, chez les ruminants, après passage dans le rumen, une partie de ce carbone est éliminée sous forme de CH_4 (FAVERDIN *et al.*, 2007), l'un des gaz à effet de serre reconnu. Ces différentes formes de carbone organique seront en grande partie oxydées au cours du temps et finiront par retourner dans l'atmosphère sous forme de CO_2 . Une partie pourra éventuellement rester stockée dans le sol, sous prairie en particulier.

Le cycle de l'azote est plus complexe. Chez les ruminants, sa connaissance a été à l'origine du nouveau système PDI d'évaluation des apports et de la valeur azotée des aliments (INRA, 1978). Plus généralement, le système Sol - Plante - Animal et les flux d'azote associés ont fait l'objet de nombreux travaux d'agronomes (par exemple SOUSSANA et LEMAIRE, 2014 ; VERTÈS *et al.*, 2009).

Le cycle commence avec la fixation de l'azote atmosphérique (N_2) par les bactéries symbiotiques situées dans les nodosités des racines de légumineuses. Elle permettra l'élaboration puis l'accumulation (avec ou sans passage par les herbivores) de biomasse végétale dans le sol qui y sera décomposée par d'autres bactéries ; ces dernières fourniront l'azote minéral servant à alimenter les plantes (figure 1). Les transformations de l'azote dans le cycle Plante - Sol - Plante ne sont pas ici détaillées. L'attention se concentrera sur la forme organique qui alimente le cycle carbone - azote ; elle omettra l'azote qui sort du circuit, objet par ailleurs de nombreuses études (par exemple VERTÈS *et al.*, 2002) du fait de son effet polluant sur l'eau et l'atmosphère (NO_3^- , NH_3 , N_2O , NO_x).

Les cycles du carbone et de l'azote sont ainsi largement sous la dépendance des fermentations microbiennes.

■ Le rôle des fermenteurs Rumen et Sol

Le fermenteur Rumen fonctionne en anaérobiose.

Dans cette poche principale de l'appareil digestif des ruminants vit une population microbienne dense et variée (10^{12} bactéries et 10^5 protozoaires par ml de contenu ruminal), en milieu liquide, à température élevée constante ($\approx 39^\circ\text{C}$) et à un pH voisin de la neutralité. Les micro-organismes y utilisent l'énergie carbonée des aliments ingérés en synthétisant leurs propres protéines microbiennes à partir de N-NH_4^+ issu de la dégradation de l'azote des végétaux ingérés et de l'azote recyclé sous forme d'urée à travers l'organisme (figure 2).

L'azote protéique microbien et l'azote protéique des végétaux non dégradés transitent ensuite du rumen vers l'intestin pour y être hydrolysés puis absorbés sous forme d'azote aminé. L'azote microbien non absorbé dans l'intestin grêle transitera vers le gros intestin d'où il sera excrété dans les bouses, en sus de l'azote végétal indigestible. L'azote aminé absorbé sert aux synthèses animales, et la partie en excès est éliminée par le rein dans les urines (figure 2).

Le fermenteur Rumen tire son énergie du carbone de la cellulose pour synthétiser des protéines microbiennes qui serviront à nourrir l'organisme des herbivores, et aussi le sol quand elles sont excrétées.

En effet, l'essentiel de l'azote des déjections contenu dans les bouses et l'urine retourne normalement au sol, directement au pâturage ou *via* le lisier, le fumier ou le compost après collecte en bâtiments et stockage, sauf en cas d'exportation ou de traitement. On estime que l'azote des bouses est insoluble à 70 %, celui des urines à 30 % (DECAU *et al.*, 1997) et l'azote total excrété à 50 % environ. Cette fraction organique a très peu de chance d'être rapidement

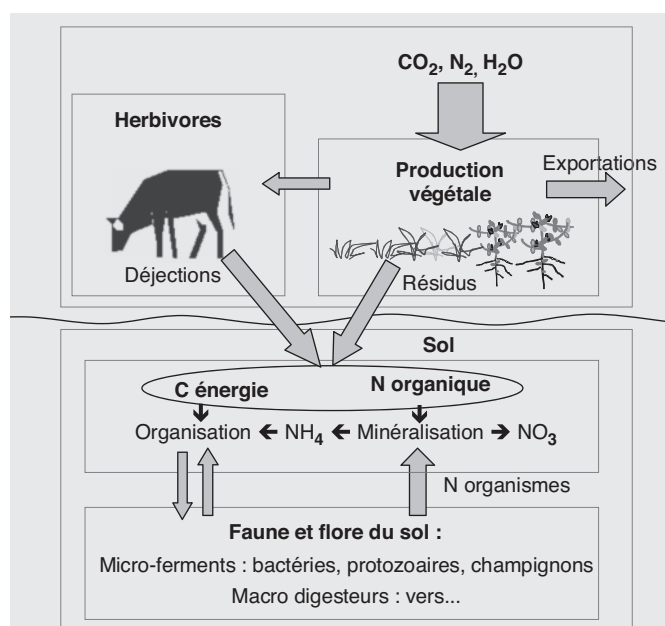


FIGURE 1 : Représentation schématique du cycle carbone - azote.

FIGURE 1 : Schematic representation of coupled C and N cycles.

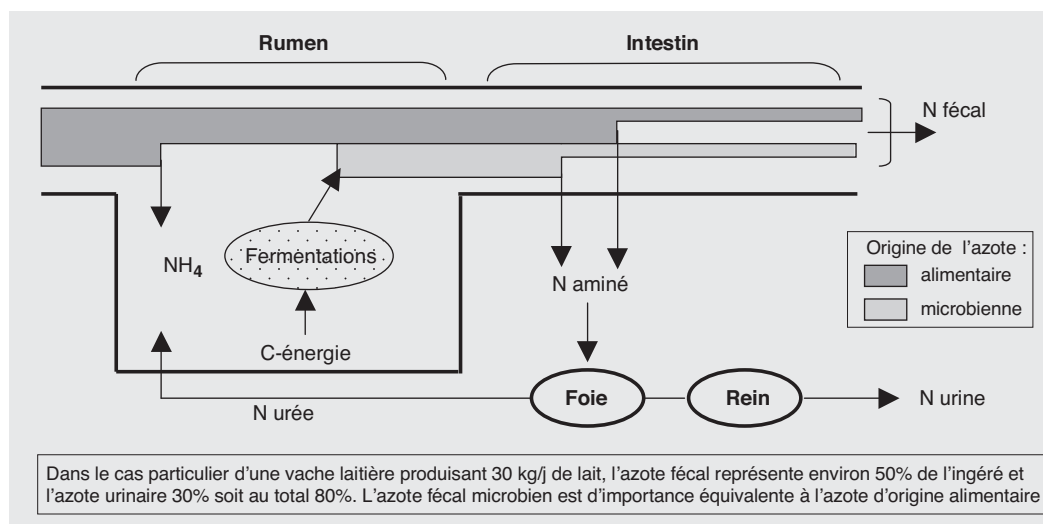


FIGURE 2 : Représentation schématique des flux d'azote chez les herbivores ruminants.

FIGURE 2 : Schematic representation of N flows in herbivorous ruminants.

lessivée ou émise dans l'atmosphère. Elle est minéralisée lentement et prélevée par les plantes pour entrer à nouveau dans le cycle des éléments sans risque de perte élevé. A l'inverse, la fraction minérale provient d'un apport instantané, et souvent supérieur aux capacités de prélèvement par les plantes et la biomasse microbienne du sol.

Le fermenteur Sol présente une relative analogie avec le fermenteur Rumen, bien que le milieu soit essentiellement aérobie. Les processus sont cependant plus difficiles à quantifier, car ils se passent sur un temps long et dans un milieu hétérogène et à faible pouvoir de régulation de la température. Les agents de décomposition y sont beaucoup plus variés et complexes : outre les micro-organismes, bactéries et protozoaires, bien d'autres organismes vivants sont actifs, tels les champignons aptes à digérer la lignine qui l'est peu par les herbivores, et toute une macrofaune comme les vers de terre qui absorbent la matière organique végétale, la mélangent intimement au sol, aèrent et structurent le sol, et une faune nombreuse de décomposeurs.

Comme pour le rumen, le carbone apporte l'énergie nécessaire aux organismes vivants pour synthétiser leurs propres protéines, tout en étant aussi une source de chaleur. Et, de même, l'azote sous forme NH_4^+ issu des restitutions animales et végétales sert à la synthèse des protéines microbiennes qui seront lysées jusqu'à la forme terminale NO_3^- prélevée par les plantes (figure 1). De ces phénomènes, appelés réorganisation et minéralisation, dépend la capacité du sol à nourrir les plantes en azote.

Comme pour le fermenteur Rumen, le principal rôle des composés carbonés du sol est d'abord énergétique : fournir l'énergie aux organismes qui y vivent pour leur permettre d'approvisionner les plantes en azote.

■ Importance de l'équilibre énergie / azote

Le **besoin en énergie du fermenteur Rumen** a été évalué à 1 kg de matière organique digestible pour 135 g de protéines microbiennes synthétisées, ce qui correspond à **un ratio C/N d'environ 20**. En cas d'insuffisance d'azote en regard de l'énergie du carbone disponible (C/N supérieur à 20), la synthèse de protéines microbiennes est réduite, ris-

quant d'entraîner une carence azotée chez l'animal. Le rapport C/N des différents « compartiments » joue un rôle essentiel dans la dynamique des transformations des composés carbonés et azotés. **Il en est de même pour que le fermenteur Sol fonctionne correctement** et subvienne à la croissance des plantes. Il convient aussi que le carbone soit facilement disponible. RECOUS *et al.* (2015) montrent à ce sujet le rôle essentiel des caractéristiques glucidiques (solubilité, teneurs en cellulose, hémicelluloses et lignine) dans les restitutions au sol, comme c'est le cas pour le rumen. Les propriétés des glucides sont également importantes dans l'élaboration des caractéristiques physiques, telle la structure des sols avec la granulométrie des agrégats, dans les horizons superficiels où la matière organique s'accumule et la vie microbienne se développe. **L'insuffisance d'azote vis-à-vis de l'énergie dans le sol (ratio C/N élevé) y réduit l'activité microbienne.**

Aujourd'hui, l'apport d'un engrais minéral azoté remédie aux disponibilités limitées d'azote minéral dans les sols. Mais cela ne sera plus possible dans une agriculture économe en pétrole. La synthèse de 1 t de nitrate d'ammonium nécessite en effet 0,75 t de fuel¹. Il en résulte la nécessité impérieuse de réduire l'intrant qu'est l'azote de synthèse, comme déjà pratiqué dans les systèmes herbagers économes où il ne représente plus que 1/6 de l'azote végétal produit (ALARD *et al.*, 2002 ; DELABY *et al.*, 2013).

Les deux principales voies de remplacement sont la fixation symbiotique des légumineuses, parfaitement renouvelable, et le recyclage des déjections organiques, fondement des systèmes de polyculture - élevage.

En résumé, **un flux organique important, ayant un bon équilibre énergie / azote, permettra d'accroître la production de biomasse végétale et de réduire l'énergie fossile nécessaire pour la produire.**

■ Rôle favorable des herbivores

Les herbivores sont des faiseurs d'autonomie. Ils sont capables de valoriser des ressources locales, de faible intérêt ou même sans intérêt nutritionnel pour

1 : <http://www.azote.info/environnement-et-azote/les-bilans-environnementaux.html>

l'Homme, exportent peu et peuvent ainsi recycler beaucoup. DELABY *et al.* (2013) présentent l'exemple du troupeau laitier des frères LE FUSTEC dans le Trégor (Bretagne) produisant par ha de SAU 4 100 kg de lait à 31,8 g de protéines, et n'exportant que 21 kg N pour 130 ingéré soit seulement 16 % de l'azote ingéré (et 12 % du carbone). A l'échelle de l'unité concernée, les retours au sol (carbone ou azote) correspondent aux 3/4 de l'azote consommé + récolté. Parmi ces restitutions, 45 % de l'azote et 37 % du carbone sont issus de l'élevage des herbivores.

Les restitutions des herbivores, du fait d'un faible rapport C/N, sont favorables à la minéralisation ; ils le doivent à leur régime alimentaire nécessairement riche en azote pour satisfaire leurs besoins, ainsi qu'à l'azote microbien supplémentaire émis dans les bouses. Ainsi, **la moindre efficacité digestible des herbivores leur assure l'avantage de recycler efficacement le carbone et l'azote, et de réduire d'autant les intrants.**

2. Mise en pratique dans les exploitations agricoles

Le recyclage important et équilibré de carbone et d'azote conduit nécessairement à des pratiques d'exploitation autonomes utilisant peu d'intrants, ce qu'a confirmé l'indicateur de durabilité conçu en collaboration avec L. DELABY et A. POCHON (DELABY *et al.*, 2013). Des précurseurs audacieux ont pour cela changé de stratégie. En cherchant à adapter les apports aux besoins des plantes, ils ont d'abord privilégié la réduction des apports puis adapté les méthodes de conduite. Présentons les stratégies de quelques éleveurs laitiers.

■ Des élevages laitiers en zone atlantique

• Pratiques mises en œuvre par les précurseurs

Nous avons expertisé (ALARD *et al.*, 2002 ; JOURNET, 2003) les pratiques des précurseurs de l'élevage autonome et économe mises en place à partir de 1990 dans le cadre du CEDAPA (<http://www.cedapa.com/>) en zone océanique des Côtes-d'Armor. Elles furent concomitantes de celles d'un groupe de 10 éleveurs de Loire-Atlantique animé par Laurent et Suzanne Bescher que nous avons bien observé. Résumons en les points forts :

En Côtes-d'Armor, les éleveurs du CEDAPA ont adapté leur système fourrager au contexte local :

- Remplacer le maïs par de l'herbe pâturée 8 mois sur 12, plus riche, mieux équilibrée et bien moins chère, et par des betteraves, plus résistantes à la sécheresse et très productives.

- Généraliser les prairies à base de ray-grass anglais et de trèfle blanc permettant de se passer de fertilisants et de compléments azotés coûteux et énergétivores, ou adopter des mélanges plus complexes mieux adaptés à un bilan hydrique local moins favorable.

- Diminuer la quantité de lait produite par vache en modifiant les techniques d'élevage (traite, allaitement, reproduction, sélection et choix des races).

- Promouvoir la mixité lait-viande, qui apparaîtrait plus favorable au niveau national que la spécialisation, qui s'est pourtant généralisée. Ainsi, par exemple, l'émission de GES se trouverait réduite de 4 %, en passant de deux troupeaux spécialisés lait et viande à un troupeau mixte de type Normand (PFLIMLIN et FAVERDIN, 2014).

- Réduire l'alimentation hivernale, trop coûteuse, pour bénéficier d'une alimentation compensatrice bon marché au pâturage le printemps suivant.

En Loire-Atlantique, le groupe d'éleveurs effectue une désintensification raisonnée de la gestion du troupeau :

- En été, faire vèler toutes les vaches afin de limiter leur pic de production de lait.

- En automne, profiter d'une bonne repousse d'herbe pour stabiliser le niveau de production laitière.

- En hiver, laisser les vaches au pâturage dehors à l'abri des haies avec un supplément de foin.

- Au printemps, faire récupérer les animaux avec la forte pousse d'herbe, ce qui maintient la production laitière tout en réduisant les dépenses.

Cette stratégie a permis une production de lait par vache constante et modérée, assurée presque uniquement par de l'herbe pâturée, qui dans cette région ne pousse guère qu'au printemps et en automne.

- S'y ajoute une conduite des génisses, tout aussi économe, en les faisant vèler jeunes, à 2 ans, en les nourrissant jusqu'à 5-6 mois sous la mère, qui les allaite tout en étant traite, et en les laissant en permanence au pâturage jusqu'au vêlage.

D'autres techniques nous viennent de pays herbagers comme la Nouvelle-Zélande :

- Utiliser des vaches de petit format à faibles besoins et aptes au pâturage.

Dans ces exemples, les fondements d'un fonctionnement économe et autonome ont été bien mis en œuvre, tout en profitant de l'herbivore ruminant comme recycleur de carbone et azote. Les pratiques des éleveurs ont principalement consisté à :

- produire moins (moins de lait/vache et moins de lait/ha) ;

- recourir à des légumineuses ;

- préférer le pâturage aux fourrages conservés ;

- pratiquer un bon équilibre entre plantes riches en énergie et plantes riches en azote.

• Deux éleveurs avant-gardistes

- Le "Tout herbe autonome"

Jean-Yves PENN a figolé pendant 30 ans, en Centre Bretagne, son système d'élevage pour produire du lait presque uniquement avec de l'herbe pâturée, sans fertilisant azoté ni complément alimentaire et très peu de

bâtiments à l'exception d'une salle de traite et d'une grange ; le temps de travail était estimé à 30 heures par semaine (PENN et ROGER, 2011).

L'exploitation a continué d'évoluer ; elle s'est agrandie avec l'arrivée de son épouse et atteint maintenant 52 ha et 47 vaches. La performance laitière a été de 167 000 l de lait vendus en 2015, soit 3 500 l par vache et 3 200 l par ha, ce qui permet de dégager un excédent brut d'exploitation estimé à 35 000 € par an.

Cette performance, qui n'a rien d'un miracle, nécessite intelligence et beaucoup de maîtrise. Elle s'est construite au fil du temps après une conversion à l'herbe en 1995. Depuis, les prairies n'ont jamais été retournées et sont devenues permanentes : ni semis, ni labour, peu de travail et peu de frais. Elles se sont enrichies de nombreuses espèces, de moindre valeur certes, mais suffisantes pour le type de vache choisi. Les rendements des prairies ont diminué après 5-6 ans puis sont revenus au niveau initial.

La conduite des troupeaux est originale. L'éleveur a créé son type de vache en croisant successivement : Holstein x Jersiaise x Normande x Montbéliarde, dans le but d'obtenir une vache petite, bonne marcheuse et bonne reproductrice, donnant un lait riche et de bons veaux, pas très productive mais très économe.

La stratégie du pâturage consiste à tirer le maximum de l'herbe pâturée en profitant de sa pousse maximale au printemps, jusque fin juin. Dans ce but, toutes les vaches vèlent en mars. Elles passent l'été sur des prairies humides, attendent les repousses d'automne, puis seront taries et resteront dehors en hiver durant 4 mois, se nourrissant d'herbe et de foin à l'abri des haies. La conduite au jour le jour est tout aussi technique : entrée des vaches dans la parcelle lorsque l'herbe mesure 8 cm et sortie à 4 cm, contrôle continu de la croissance de l'herbe qui déterminera l'arrêt de l'affouragement en foin dès qu'elle dépasse 45 kg MS/ha et par jour.

La technique de traite s'adapte aussi à la pousse de l'herbe. Les vaches sont traitées 2 fois par jour au printemps en début de lactation, lorsque l'herbe est abondante et que les animaux valorisent bien l'herbe pâturée. Elles sont ensuite traitées 1 fois par jour jusqu'au tarissement.

La conduite de reproduction est tout aussi essentielle. Il s'agit de faire vèler toutes les vaches en mars, et pour cela commencer par les inséminer en choisissant les meilleurs taureaux, puis pratiquer la monte naturelle pour éviter les retards de vêlage. Le choix de l'âge au premier vêlage, 2 ans, convient également aux génisses dont le niveau de croissance élevé peut être assuré sur de bons pâturages.

Cette stratégie exemplaire assure le revenu en diminuant les dépenses jusqu'à l'extrême au lieu d'accroître les recettes, simplifie le travail, améliore le bien-être social, protège l'environnement et "remet l'humain au cœur des exploitations" (CARRO et AIGNEL, 2011, les 2 rapporteurs du CEDAPA).

- Le système "Mixte économe"

Les frères Patrick et Christian LE FUSTEC et leurs épouses exploitent depuis 1979 une ferme laitière à dominante herbagère² : 80 % en herbe et 20 % en cultures. Ils furent, avec André POCHON, des acteurs principaux du CEDAPA, et leur exploitation a servi d'exemple pour illustrer le mode de calcul de l'indicateur de durabilité (DELABY *et al.*, 2013).

Le système de production se distingue par la stratégie de conduite des prairies temporaires à base de trèfle blanc, portant sur le choix d'espèces productives, adaptées et sûres pour le pâturage avec des intervalles longs entre passages.

- Le mode de conduite des troupeaux avec une longue période (8 mois sur 12) d'un pâturage de très bonne qualité, sur une grande surface en herbe (60 ares/vache) et avec un faible chargement (1,3 UGB/ha SFP), est particulièrement économe en compléments. Cette conduite, associée à de très bonnes pratiques de fenaison, s'est montrée très favorable à la reproduction et à la santé des animaux et à l'obtention de bonnes performances laitières.

L'exploitation se distingue aussi par la mixité de son assolement, faisant succéder 4-5 années de prairies et 2-3 années de cultures en betteraves, blé et pommes de terre, aptes à capter efficacement les fortes quantités d'azote libérées après le retournement de la prairie après l'hiver.

Les exploitants se sont par ailleurs beaucoup investis dans la protection du milieu naturel par l'entretien et la plantation de haies profitables également aux troupeaux, ainsi qu'en recyclant efficacement les effluents, fumiers et composts, pour servir de fertilisant aux prairies et cultures.

Depuis cette évaluation, avec l'arrivée de Mathieu, le fils de Christian, le système a continué d'évoluer vers encore plus d'autonomie en passant à l'agriculture biologique et en pratiquant la culture de plants de pommes de terre sans pesticides, ce qui constitue un exploit.

Ce système mixte, associant des prairies à base de légumineuses et des cultures énergétiques, est productif, économe en charges (1/4 du produit), autonome en carbone et azote à 90 %, rentable (DELABY *et al.*, 2013) et reste de type familial.

• Retombées sociétales et leur évolution

- Economie et environnement

Il est facile de comprendre que des systèmes conduisant à produire davantage à partir du sol et moins à partir de ressources importées permettent de réduire les fuites d'azote et de pesticides, comme constaté dans l'expertise réalisée au niveau des exploitations du CEDAPA et de 2 bassins versants. Ces résultats furent alors obtenus sur 5 ans après le changement de système en acceptant une diminution de production de lait de 15 % par vache et 25 % par ha de surface fourragère, sans diminution du revenu et même avec une légère augmentation.

2 : Leur exploitation a servi d'illustration à l'élevage à l'herbe dans le film "Herbe" (<http://www.herbe-lefilm.com>).

Qu'en fut-il par la suite ? En comparant à nouveau les exploitations du réseau à celles suivies par le conseil de gestion en Côtes-d'Armor sur la période de 2007 à 2014, il s'avère (CEDAPA, 2016) que le coût alimentaire est passé de 75 à 60 % de celui des Côtes-d'Armor, ce qui montre que la production autonome s'est accrue en valeur (production – coût). Parallèlement, le revenu net par travailleur est devenu 25 % plus élevé pour une production de lait par ha plus faible de 40 % et un coût en intrants énergétiques et azotés à l'hectare très faible, soit plus d'autonomie et une surface en herbe doublée, des élevages plus rentables, moins polluants et moins productifs, surtout à l'hectare.

- Impact sur l'effet de serre

Les troupeaux laitiers en France seraient responsables de 34 % des émissions de GES par l'élevage bovin alors qu'ils ne représentent que 19 % des effectifs. Ils le doivent à leur production élevée et au cumul de plusieurs ateliers, production, traite, laiterie, refroidissement du lait. Cependant, les prairies qui les nourrissent stockeraient 28 % des émissions en moyenne et ce d'autant plus que le système est plus herbager (DOLLÉ *et al.*, 2013 ; CHABBI *et al.*, 2015).

Pour évaluer quel peut être l'impact du mode de production, nous avons comparé les émissions de GES des 2 exploitations herbagères autonomes et le réseau des exploitations conventionnelles en Côtes-d'Armor (tableau 1).

Système	Tout herbe*	Mixte herbe**	Classique maïs***
Présentation du système de production			
Surface en herbe (%)	100	70	50
Herbe pâturée (%)	75	55	20
Lait par vache (l)	3400	6250	7100
par ha (l)	3000	4100	5700
Complément par vache (kg)	0	250	1670
Fertilisation par ha (kg N)	0	27	158
Dépenses énergie par ha (EqFuel)	240	348	901
Evaluation de l'effet de serre (t eq C-CO₂/ha)			
Mode de conduite			
- Énergie : dépenses (CO ₂)	0,24	0,35	0,72
- Azote (fertilisants et déjections, N ₂ O)	0,11	0,23	0,81
- Stockage déjections (CH ₄)	0	0,31	0,43
- Total	0,35	0,89	1,96
Digestion dans le rumen (CH₄)	0,49	0,68	0,94
Total GES	0,84	1,57	2,90
Stockage sous prairie	- 0,50	- 0,20	- 0,10
Effet de serre induit			
- par ha (t eq C- CO ₂ /ha)	0,34	1,40	2,80
- par l de lait (t eq C- CO ₂ /l)	0,11	0,34	0,41
* Exploitation de Jean Yves PENN			
** Exploitation de Patrick et Christian LE FUSTEC			
*** 300 exploitations conventionnelles suivies en gestion (CGER, 22)			

TABEAU 1 : Evaluation de l'effet de serre induit par des exploitations laitières plus ou moins herbagères et autonomes.

TABLE 1 : Evaluation of the induced greenhouse effect of dairy farms, more or less grass-based and autonomous.

La méthodologie utilisée est celle fournie par l'Institut de l'Élevage (GAC *et al.*, 2010). La présentation a cherché à distinguer 2 origines pour les GES émis : i) la méthode de conduite qui est maîtrisable et ii) la digestion dans le Rumen qui ne l'est pas. Les détails de calcul sont fournis dans l'annexe 1.

La comparaison met en valeur des niveaux de GES imputables au mode de production qui sont très différents ; celui du « Mixte économe » est presque 3 fois plus faible par hectare que le « Classique maïs », et celui du « Tout herbe » très économe, moitié du précédent. Lorsque on additionne le méthane digestif et qu'on soustrait le carbone stocké sous prairies, les écarts de GES augmentent, au point que l'effet de serre de l'exploitation « Tout herbe » s'annule presque.

La **proportion estimée de matière sèche d'herbe pâturée** paraît être un des principaux facteurs explicatifs de l'effet du mode de production : c'est elle qui gère le CO₂ des dépenses énergétiques, le N₂O des dépenses de fertilisants azotés et le CH₄ du stockage des déjections ; elle permet donc de réduire fortement l'émission de GES dans les 2 systèmes autonomes, la diminution du niveau de production laitière permettant de réduire surtout le CH₄ digestif.

L'effet de serre induit évalué par litre de lait a varié de 1 à 4 et celui par hectare de 1 à 8, mais le mode d'expression par litre de lait ne paraît pas très judicieux. En effet, un Etat ne pourrait prétendre satisfaire son engagement à la COP 21 en exportant son excédent de lait et en même temps ses GES. En outre, ce mode d'expression pénaliserait beaucoup plus les élevages durables qui produisent moins que les élevages conventionnels.

Cette comparaison illustre bien la **capacité de maîtriser l'effet de serre en élevage laitier herbager autonome, basé sur le pâturage, à faible niveau de production individuel, sans que le méthane digestif soit un problème.**

■ En zone de grandes cultures

• Importance des restitutions végétales au sol

La partie des plantes de grandes cultures restituée au sol n'a cessé de diminuer au cours du temps en raison des efforts de sélection pour accroître la partie utile exportée et vendue, et aussi des méthodes culturales. Cela est plus fortement marqué pour la fraction azotée. La restitution d'azote pour les cultures principales est en effet très inférieure à la quantité d'azote exportée (COMIFER, 2013) : elle est, par exemple, d'environ 25 % pour les blés, 35 % pour le maïs grain, 42 % pour les betteraves et 55 % pour le colza. En ce qui concerne le carbone, les restitutions sont inférieures, égales ou supérieures aux exportations ; **les rapports C/N sont presque toujours supérieurs à la valeur souhaitable de 20** : ils sont respectivement de 85, 58, 50, 30, 16, pour les pailles de blé, colza, maïs, pommes de terre et betteraves.

Des retours organiques faibles (comparés aux exploitations avec élevage) et pauvres en azote obligent à un apport élevé de fertilisant azoté minéral pour satisfaire

les besoins des cultures suivantes. La principale solution pour y remédier est de cultiver des légumineuses qui fixent l'azote atmosphérique et le libèrent dans le sol au moment du labour. La matière organique alors introduite dans le sol a un rapport C/N généralement plus faible qui facilite sa minéralisation (VERTÈS *et al.*, 2015) et son utilisation par les graminées présentes en association dans le couvert. D'après ces auteurs, les luzernes offrent le plus grand potentiel de fourniture d'azote, de l'ordre de 100-150 kg/ha à la culture suivante, confirmant les travaux de TRIBOÏ et TRIBOÏ-BLONDEL (2004). L'effet se prolonge 2 à 3 ans pour une luzernière âgée de 3-4 ans et assure une fourniture d'azote de 150 à 300 kg après retournement, suffisante pour un maïs ou une betterave à haut rendement. Dans le cas des rotations céréalières, l'introduction de pois permet réduire la fertilisation azotée de la céréale de 20 à 60 kg (JEUFFROY *et al.*, 2015).

• Retour à l'agriculture – élevage

Les moyens les plus efficaces pour accroître la production de biomasse dans les rotations de cultures, et avec elle celle des restitutions qui contribuent à reproduire cette biomasse, consistent à couvrir le sol en permanence par des cultures intermédiaires (CIPAN ou dérobées) qui servent d'engrais vert, ou associées comme la culture de céréales sur couvert permanent de légumineuses (JEUFFROY *et al.*, 2015 ; TURLIN, 2016, ce n°), ce qui permet également d'éviter les terres nues après la moisson. Mieux vaudrait peut être *a minima* laisser le sol s'enherber pour restituer de la biomasse d'adventices, et profiter d'un paillis contre l'évaporation et l'érosion en nappe. Revenir à la diversité des cultures faisant appel aux plantes oléagineuses et à fibre, lin ou chanvre, aux racines et tubercules, en privilégiant celles qui ont un taux élevé de recyclage est également souhaitable. Cette pratique facilite la lutte contre les rudérales, les ravageurs et les maladies (MEYNARD et MESSÉAN, 2014).

Mais toutes ces options, basées sur des cultures destinées à être en majorité exportées, ne permettront pas de restituer suffisamment de matière organique au sol avec un bon équilibre énergie / azote ; il sera alors nécessaire de réintroduire les herbivores et les prairies sur probablement 1/3 de la surface, comme autrefois. D'autant que la prairie permet, en outre, grâce aux structures arborées qui peuvent l'accompagner, d'accroître les retours carbonés (DOLLÉ *et al.*, 2013).

Nous avons déjà estimé indispensable pour la sauvegarde de notre Planète le retour à l'agriculture - élevage pour bénéficier du rôle des herbivores (JOURNET *et al.*, 2013). Le projet européen Cantogether, piloté par l'INRA, a d'ailleurs exploré de possibles formes nouvelles de polyculture - élevage et leurs bénéfiques ; les principaux résultats sont accessibles sur cantogether.agrocampus-ouest.fr/. Il faudrait aussi pouvoir intégrer l'élevage monogastrique pour fertiliser les cultures et éviter d'avoir à méthaniser ses déjections comme il est préconisé aujourd'hui pour l'ouest de la France. Ce processus est inutile pour les herbivores puisqu'ils fermentent les fourrages verts et épandent gratuitement le non-digéré sur les

sols ; il n'est pas alors besoin de dépenser de l'énergie en transport ni pour construire des unités de biogaz. Le fonctionnement d'un complexe industriel de méthanisation n'améliore guère le bilan carbone car il nécessite un ajout de substrats organiques carbonés fermentescibles qu'il serait plus judicieux d'enfouir directement dans le sol.

Avec le retour des porcs en plaine céréalière, il faudrait aussi que l'élevage se fasse avec des méthodes moins polluantes et plus en accord avec le bien-être animal, en le pratiquant sur litière de paille, qui existe en abondance dans les régions de grandes cultures, même s'il faudra la partager avec les bovins.

• Utiliser les arbres en agroforesterie

Les arbres, mieux encore que les herbivores, sont les champions du recyclage car ils assurent leur croissance à partir de l'atmosphère (photosynthèse et éventuellement fixation d'azote) et du sol. Ils peuvent stocker du carbone très longtemps, puiser des ressources profondément dans le sol et faire profiter les cultures de leur feuillage et les animaux de leur ombrage lorsque la densité d'arbres à l'hectare est bien calculée. La biomasse globale s'en trouve accrue ainsi que le revenu, si les arbres sont de valeur, comme le montrent les premiers acquis de l'agroforesterie réhabilitant les prés vergers (HAMON *et al.*, 2009).

Les arbres sont cependant bien moins productifs en valeur que le couple « Herbe - Herbivore » et on ne les consomme pas (sauf quelques exceptions comme les frênes, et les divers fruits). Mais, couplés aux prairies, herbivores et cultures, ils offrent une bonne assurance pour plus d'autonomie et de productivité. La mise au point de tels systèmes nécessitera une grande technicité (NOVAK *et al.*, 2013) : les arbres ne sont pas mobiles ni évolutifs comme les herbivores, et les choix de départ seront cruciaux. L'entente entre partenaires ne sera pas toujours facile, les herbivores, surtout les équins, aimant bien les jeunes arbres pour les ébouter et les écorcer, tout en appréciant leur ombrage et leur protection du vent. Des protections et des délais sont à prévoir avant leur exploitation en présence des différentes espèces animales. Les céréales peuvent profiter des apports des arbres mais souffrir aussi de leur concurrence, surtout pour l'eau ; des compromis seront à trouver.

3. Quelles recherches pour quel type d'agriculture ?

La recherche sera amenée à investir dans une agriculture agrobiologique fortement qualifiée, en diversifiant les espèces animales et végétales et leur environnement, et en proposant des méthodes de conduite de troupeaux et de systèmes fourragers innovantes et évolutives, comme celles mises en place dans divers sites Inra (Unités expérimentales FERLUS de Lusignan en Poitou-Charentes, Centre de recherche de Clermont-Ferrand et ses domaines de Laqueuille et Marcenat, Domaines du Pin-au-Haras en Normandie et de Mirecourt près de Nancy).

Il faudra aussi mieux prendre en compte la réduction d'effet de serre, en commençant par mettre au point des méthodes simples de son évaluation, afin de pouvoir étudier à grand échelle des réseaux d'exploitations innovantes en ce domaine.

■ Des recherches systèmes

Les retombées très favorables des systèmes agroécologiques à bas intrants ont déjà été très bien résumées, dans toute l'étendue de leurs composantes (ALARD *et al.*, 2002 ; PEYRAUD *et al.*, 2014 ; PFLIMLIN et FAVERDIN, 2014 ; DELABY et FIORELLI, 2014 ; DEVIENNE *et al.*, 2016), y compris sociales, en montrant les limites à l'accroissement des performances et la nécessité de produire de façon autonome à partir de ressources essentiellement herbagères. Le souci de rendre ce mode de production assez productif (DELABY *et al.*, 2014) devra cependant rester compatible avec une réduction forte de la consommation en énergies fossiles associée à l'utilisation moindre de compléments alimentaires et d'engrais de synthèse.

Suggérons quelques modèles à expérimenter :

- Des systèmes culture - élevage exemplaires : i) un système de cultures sans fertilisant associé à un élevage herbivore au pâturage toute l'année, sans intrants, et avec peu de matériel et de bâtiments ; ii) un élevage de porcs sur litière de paille, pour en tester les possibilités et les limites (DEVIENNE et GARAMBOIS, 2014).

- Des systèmes basse énergie à destination alimentaire (panification), vestimentaire (lin, plantes tinctoriales), énergétique (plantes à huile), médicale (plantes médicinales, à activités biologiques reconnues), décorative (fleurs, plantes d'intérieur...).

Pour ce type de recherche il conviendra de privilégier, par exemple *via* des GIEE, le concours d'exploitants, les seuls à pouvoir prendre en compte la globalité du système en fonction de ses contraintes dans le temps et l'espace, les chercheurs ayant l'aptitude à en comprendre le fonctionnement scientifique et à proposer de le faire évoluer selon l'objectif poursuivi. Entre les deux langages, celui du praticien en responsabilité sur son exploitation et celui du chercheur en modélisation multicritères, un dialogue fructueux peut s'établir.

■ Des recherches de fond

Il s'agira avant tout d'améliorer le fonctionnement du « fermenteur Sol », pour accélérer et accroître l'importance du recyclage de la matière organique, et recharger en humus les sols épuisés par une exploitation intensive. Cette démarche revient à adopter le concept d'une production de biomasse utile à partir de la biomasse résiduelle et des ressources renouvelables (énergie solaire, azote des légumineuses, CO₂ atmosphérique et eau). Les pertes d'azote au cours du recyclage des déjections des herbivores et de la récolte des fourrages devront être compensées par l'activité de la symbiose rhizobium - légumineuse.

■ Des perspectives à long terme

Ces perspectives seront envisagées **dans le but de satisfaire aux exigences d'un environnement sain, d'un changement climatique atténué, d'une alimentation favorable à la santé et de modes de vies socialement bénéfiques.**

En France, le scénario Afterres 2050 construit en partant des régimes alimentaires puis évalué par Solagro cherche à réduire fortement la consommation de protéines animales, celles de la viande mais aussi celles du lait, au profit des protéines végétales et d'une réduction des normes d'apport de calcium jugées trop élevées. Ce scénario aboutit à sacrifier l'élevage en divisant par 3 les effectifs d'animaux à l'horizon 2050 ; il fait quasiment disparaître les bovins allaitants suite à l'ajustement strict des productions à un régime alimentaire très végétal.

Il fait le bon choix de l'herbe, mais la forte réduction des troupeaux aboutit à en avoir beaucoup trop et à la méthaniser alors que, *a contrario*, en désintensifiant davantage, les herbivores auraient pu la valoriser. En effet, un choix d'élevage herbivore très économe aurait eu pour avantage, outre d'utiliser peu d'énergie fossile, de ne pas désertifier des territoires par la suppression des troupeaux bovins allaitants dans toutes les zones montagneuses de France, dont l'importance a encore été récemment rappelée par G. LIÉNARD (2014).

Ce constat montre la nécessité de ne pas se tromper de scénario et de procéder à des échanges d'expériences entre chercheurs et praticiens, et à différents niveaux (exploitation, bassin versant et espace économique). La comparaison de plusieurs scénarios pourrait éviter ces risques.

C'est cette méthode qui vient justement d'être utilisée par l'Inra de Clermont-Ferrand dans une étude prospective des filières viande de ruminants du Massif central à l'horizon 2050 (INRA, 2016). Cinq scénarios de rupture sont comparés visant des réductions de 5 à 60 % de la viande produite, dans des contextes sociopolitiques très différents allant de la libéralisation des marchés mondiaux à des marchés contractuels entre groupes de pays, à une autonomie régionale, ou à une agroécologie très poussée. A l'exception de l'hypothèse de libéralisation complète des échanges, ces scénarios très divers permettent de maintenir un bon niveau de production de viande et de sauvegarder la vie de ces territoires, en faisant le choix de la transformation et de la qualité des produits dont le lait dans l'un des scénarios.

4. Les défis à relever, à l'échelle de la planète

■ Les besoins à couvrir

Les besoins alimentaires mondiaux vont continuer à croître de 30 à 40 % mais presque uniquement dans les pays d'Afrique, Amérique du Sud, Inde et Asie du sud-est

où la consommation devrait croître pour éradiquer la sous-nutrition, énergétique et surtout protéique. À l'inverse, ils décroîtraient dans les autres pays du fait de la baisse de natalité et de la nécessité de réduire notre consommation surabondante, et rééquilibrer cette dernière en consommant moins de graisses, de sucres et aussi de viande.

Nous avons rappelé précédemment (JOURNET *et al.*, 2013) que la production annuelle de viande a atteint 80 kg par habitant dans les pays les plus gros consommateurs, dépassant très largement les besoins ; alors qu'elle est seulement de 30 kg dans les pays cités les moins bien nourris. Si elle devait atteindre 50 kg partout dans le monde en 2050, cela signifierait qu'elle s'accroîtrait encore de 50 % à l'échelle mondiale pour satisfaire les besoins protéiques. Le reste à couvrir viendra des protéines végétales et tiendra compte de l'épuisement des réserves de poissons de mer.

La question se pose donc de la place des différentes catégories d'animaux dans l'avenir de la production de viande ; il faudra prendre en compte que des herbivores bien conduits, à l'herbe, peuvent nous approvisionner en produits de qualité riches en oméga-3, en consommant peu de céréales et de soja, tout en pouvant contrer l'effet de serre.

Aujourd'hui, les herbivores ne participent mondialement que pour 30 % à la production de viande au lieu de 50 % voici 40 ans ; en effet, la production de viande des monogastriques, porcs et volailles, s'accroît de 3 % par an, alors que ces derniers sont très concurrentiels des humains. Nous avons estimé, à l'échelle de la France, que leur consommation d'aliment comestible par kg de viande produite était environ le double de celle des herbivores (JOURNET *et al.*, 2013) et que la différence s'accroît lorsque ces derniers sont alimentés de façon économe à l'herbe.

■ Les équilibres sociaux à atteindre

Dans nos pays occidentaux à production excédentaire nous observons que de petits élevages familiaux sont capables d'atteindre l'ère du « sans pétrole » en pratiquant une agriculture très économe et viable économiquement... mais sans atteindre le niveau de production des exploitations conventionnelles actuelles... et sans que ce soit alarmant en raison de la décroissance attendue du niveau de nos besoins alimentaires et de la nécessité de réduire le gaspillage. Et d'autant que produire plus pour exporter vers les pays en développement leur serait suicidaire.

La lutte contre l'effet de serre devra aussi passer par une restructuration territoriale (encadré 1), telle une plus grande proximité des lieux de production et de consommation afin de réduire les transports. Faudra-t-il qu'une partie de la population des villes migre vers les campagnes pour y retrouver un meilleur cadre de vie, et pour que les producteurs leur fournissent des produits plus variés, plus gustatifs et plus sains ?

Le défi à relever sera plus grand pour les pays à production déficitaire, celui d'accroître les rendements encore très bas des cultures vivrières comme dans le Sahel, tout en maîtrisant les pollutions et l'effet de serre. Cependant, en Afrique comme en Asie, de nombreux exemples de réussites montrent déjà que les besoins des populations pourraient être assurés par la pratique d'une agriculture de type agrobiologique, comme l'affirme par ailleurs la FAO.

■ La refondation de l'agriculture

Résumons ce qui nous a semblé être la refondation de l'agriculture à partir des expériences vécues :

- **produire de façon autonome à partir des ressources renouvelables** puisées dans l'atmosphère et recyclées dans le sol, soit avec beaucoup moins d'intrants ;

- **profiter des herbivores ruminants** pour qu'ils redeviennent une composante essentielle, à condition d'adopter un régime alimentaire essentiellement à base d'herbe pâturée enrichi en légumineuses ;

- **bénéficier ainsi du trio Sol - Herbe - Herbivore, le plus à même de réduire l'émission des 3 principaux gaz à effet de serre**, CH₄, CO₂ et N₂O, dans un système de production devenu plus économe et moins productif.

J'envisage très bien le mode de production à mettre en œuvre dans ce pays du Thymerais, entre Beauce et Perche, où vit de longue date ma famille. Et y retrouver le paysage de mon enfance devenu aujourd'hui sans âme, avec l'uniformité des céréales en été et des terres brunes laissées nues en automne.

Je l'imagine à partir de la ferme tenue par mon neveu. Il conservera son auréole verte de prés autour du corps de ferme et son troupeau de 50 vaches devenu unique en ces lieux. Je vois l'horizon s'élargir au vert tendre des trèfles, pois, vesces et féveroles qui poussent bien en ces terres de limon sur argile à silex ; et au vert cru des luzernes à réintroduire au dépend du maïs. J'espère voir ces légumineuses nourrir gracieusement les céréales, sans engrais ni pesticides, et nourrir à moindre coût des vaches moins productrices traitées avec ou sans robot. Pour que le tout, cultures céréalières et élevage laitier constitue aussi un cadre plus esthétique.

J'aurais aimé revoir, dans les prés, des pommiers en fleurs protégeant les vaches d'un soleil trop cuisant ; et dans le vallon, le vert des pommiers épars sur le blond des blés murs et la verte vallée sillonnant son pourtour, et boire le cidre doux auprès du tonneau.

Je voudrais réentendre au printemps le chant des alouettes montant dans le ciel et, dans la chaleur de l'été, le bourdonnement des abeilles butinant les luzernes en fleur, et après la moisson dans la plaine vide, le lent bruissement d'un vol de perdreaux au ras des chaumes. Et dans la cour de ferme, le caquet des poules rehaussé du chant vibrant du coq, et le piaillage des pintades perchées sur le haut du toit.

Je dédie ce couplet à ma mère que je m'efforçais d'aider, je la revois à l'étable nourrir et traire ses vaches assise sur son tabouret, vaquer au jardin et à la basse-cour, et dans les champs aider les hommes aux foins et à la moisson, le tout dans la gaieté. Elle est partie trop tôt usée par le fardeau.

ENCADRÉ 1 : "J'ai fait un rêve"... par Michel Journet.

FRAME 1 : "I had a dream" ... by Michel Journet.

Conclusion

Concluons d'un point de vue plus conceptuel : en quoi pourrait essentiellement consister la refondation de l'agriculture ? Il s'agirait de mieux profiter d'abord des 2 grandes fonctions du vivant, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote. Les 2 éléments carbone et azote pourront entrer ensuite de façon couplée dans un cycle complexe permettant d'assurer la production végétale.

Les activités microbiennes dans les fermenteurs « Rumen » et « Sol » jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement des plantes en azote, transformant dans le rumen une grande partie de l'azote végétal en azote microbien et, de même, dans le sol pour les résidus d'azote végétal et animal. Le carbone sert de source d'énergie pour la synthèse d'azote microbien et satisfait ainsi une grande partie du besoin azoté des plantes.

Dans l'avenir, ce processus efficace de recyclage devrait pouvoir aboutir à des systèmes entièrement autonomes, ainsi que très efficaces pour alimenter les humains, puisqu'ils peuvent transformer à moindre coût, avec l'aide des herbivores, de l'herbe non comestible en produits (lait et viande) de très haute valeur de par leurs protéines, vitamines et acides gras polyinsaturés.

En résumé : savoir, en agriculture, utiliser la puissance des éléments naturels, tout en profitant de ses fruits, et en protégeant la planète.

Accepté pour publication,
le 15 décembre 2016

Remerciements : Nous tenons à remercier nos anciens collègues, Gilbert Liénard, Yves Geay, pour leur active contribution tout au long de la rédaction, et Jean-Pierre Jouany, François-Xavier de Montard et Philippe Girardin pour leur relecture critique attentionnée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALARD V., BÉRANGER C., JOURNET M. (2002) : *A la recherche d'une agriculture durable. Etude de systèmes herbagers économes en Bretagne*, Inra éd., Paris, 340 p.
- BOCHU J.L. (2006) : "Consommation et efficacité énergétique de différents systèmes de production agricoles avec la méthodologie Planete", *Fourrages*, 186, 165-178.
- CARRO C., AIGNEL P.Y. (2011) : "Fermoscopie morbihanaise : Mini charges maxi revenu", *L'Echo du Cedapa*, 96 - Juillet / Août, p 4.
- CEDAPA (2016) : "Les systèmes laitiers résilients face à la crise ?", *L'Echo du Cedapa*, Mars / Avril 2016.
- CHABBI A., SENAPATI N., GIOSTRI A., VERTÈS F., CARROZI M., LEMAIRE G., GASTAL F., RECOUS S., KLUMPP K., MASSAD R. S., RUMPEL C. (2015) : "Performances des rotations à base de cultures fourragères en termes de Gaz à effet de serre (GES) et bilan de carbone", *Fourrages*, 223, 241-248.
- COMIFER (2013) : *Teneur en azote des organes végétaux récoltés*, <http://www.comifer.asso.fr/index.php/fr/publications.html>
- DECAU M.L., DELABY L., ROCHE B. (1997) : "AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairies pâturées par les vaches laitières. II les flux en système sol- plante", *Fourrages*, 151, 313-330.
- DELABY L., FIORELLI J.L. (2014) : "Élevages laitiers à bas intrants : entre traditions et innovations", *INRA Productions animales*, n°2.
- DELABY L., JOURNET M., POCHON A. (2013) : "Proposition d'un nouvel indicateur de durabilité des exploitations d'élevage", *Fourrages*, 213, 77-86.
- DELABY L., O DONOVAN M., BELOT P.E., PAVIE J. (2014) : "Des prairies productives au service de l'élevage des ruminants et de leurs éleveurs", *Fourrages*, 218, 157-166.
- DEVIEU S., GARAMBOIS N. (2014) : *L'efficacité économique et environnementale de la production de porc sur paille (en Bretagne)*, Etudes & Documents, Commissariat Général au Développement Durable, n°102, [En ligne] 12 p.
- DEVIEU S., GARAMBOIS N., MISCHLER P., PERROT C., DIEULOT R., FALAISE D. (2016) : *Les exploitations d'élevage herbivore économes en intrants (ou autonomes) : quelles sont leurs caractéristiques ? Comment accompagner leur développement ? Rapport d'étude*, MAAF, 165 p.
- DOLLÉ J.B., FAVERDIN P., AGABRIEL D., SAUVANT D., KLUMPP K. (2013) : "Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production", *Fourrages*, 215, 181-191.
- FAVERDIN P., MAXIN G., CHARDON X., BRUNSCHWIG P., VERMOREL M. (2007) : "Modèle de prévision du bilan carbone d'une vache laitière", *Rech. Rech. Ruminants*, 14, 66.
- GAC A., MANNEVILLE V., RAISON C., CHARROIN T., FERRAND M. (2010) : "L'empreinte carbone des élevages d'herbivores : Présentation de la méthodologie d'évaluation appliquée à des élevages spécialisés lait et viande", *Rech. Rech. Ruminants*, 17, 335-342.
- GIROUX M., AUDESSE P. (2004) : "Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme", *Agrosol*, 15, 2, 107-110.
- HAMON X., DUPRAZ C., LIAGRE F. (2009) : *L'agroforesterie. Outil de séquestration du carbone en agriculture*, AGROOF, Inra, Association Française d'Agroforesterie, 17 p.
- INRA (1978) : *Alimentation des bovins ovins caprins*, R. Jarrige coord., éd. Inra, Paris.
- INRA (2016) : *Etude prospective des filières viande de ruminants du Massif central, horizon 2050*, Inra Science et impact, octobre 2016.
- JARRIGE R., MARTIN-ROSSET W. (1984) : *Le Cheval. Reproduction, Sélection, Alimentation, Exploitation*, éd. Inra, Paris.
- JEUFFROY M.H., BIARNES V., COHAN J.P., CORRE-HELLOU G., GASTAL F., JOUFFRET P., JUSTES E., LANDÉ N., LOUARN G., PLANTUREUX S., SCHNEIDER A., THIEBEAU P., VALENTIN-MORISON M., VERTÈS F. (2015) : "Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de production végétales", *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*, A Schneider, C. Huyghe (coord), éd. Quae, 104-164.
- JOURNET M. (2003) : "Des systèmes herbagers économes : une alternative aux systèmes intensifs bretons", *Fourrages*, 173, 63-88.
- JOURNET M., DULPHY J.P., GEAY Y., LIÉNARD G. (2013) : "Les herbivores et la planète", *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 63, 87-102.
- LIÉNARD G. (2014) : "Des prairies toujours entretenues par les élevages allaitants extensifs... Quelques enseignements", *Fourrages*, 218, 133-139.
- MEYNARD J.M., MESSÉAN A. (2014) : *La diversification des cultures : Lever les obstacles agronomiques et économiques*, éd. Quae.
- NOVAK S., DELAGARDE R., FIORELLI J.L. (2013) : "Conception d'un système fourrager bioclimatique : la démarche initiée à Lusignan", *Fourrages*, 215, 241-246.
- PENN J.Y., ROGER P. (2011) : "Réduire les besoins en stocks : témoignage sur une pratique d'élevage dans le Morbihan", *Fourrages*, 206, 87-90.

- PEYRAUD J.L., DELABY L., DELAGARDE R. PAVIE J. (2014) : "Les atouts sociétaux et agricoles de la prairie", *Fourrages*, 218, 115-124.
- PFLIMLIN A., FAVERDIN P. (2014) : "Les nouveaux enjeux du couple vache – prairie à la lumière de l'agroécologie", *Fourrages*, 217, 23-25.
- RECOUS S., CHABI A., VERTÈS F., THIÉBAULT P., CHENU G. (2015) : "Fertilité des sols et minéralisation de l'azote : sous l'influence des pratiques culturales, quels processus et interactions sont impliqués ?", *Fourrages*, 223, 189-196.
- SOUSSANA J.F., LEMAIRE G. (2014) : "Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 9-17.
- TRIBOI E., TRIBOI-BLONDEL A.M. (2004) : "Cropping system using lucerne as nitrogen sources", *VIIIth ESA Congress, European agriculture in a global context*, 683-684.
- VERTÈS F. (2002) : "Le pâturage et les pertes d'azote", *A la recherche d'une agriculture durable. Etude de systèmes herbagers économes en Bretagne*, V Alard, C Béranger, M Journet (éds.), Inra éd., 115-142.
- VERTÈS F., SIMON J.C., GIOVANNI C., GRIGNANI M., CORSON M.S., DURAND P., PEYRAUD J.L. (2009) : "Flux de nitrate dans les élevages bovins et qualité de l'eau : variabilité des phénomènes et diversité des conditions", *Les risques de pollution nitrique dans les systèmes prairies - élevages bovins. La diversité face à la norme*, Académie d'Agriculture (séance du 14 mai 2008, éd. Institut de l'Élevage, 6-26.
- VERTÈS F., JEUFFROY M.H., LOUARN G., VOISIN A.S., JUSTES E. (2015) : "Légumineuses et prairies temporaires : des fournitures d'azote pour les rotations", *Fourrages*, 223, 221-232.

Le calcul se fait à partir des caractéristiques de l'exploitation et de son système de production (tableau 1).

Système de production :

- Les GES (CO₂), dépenses d'énergie, sont évalués par la méthode Planète (BOCHU, 2006). Pour J.-Y. Penn, en raison d'informations insuffisantes, ils ont été estimés à partir de ceux de l'exploitation Le Fustec, en relation inverse avec le pourcentage d'herbe pâturée.

- Les GES (N₂O) relatifs à l'azote, aux fertilisants et aux déjections sont fournis par l'équation :

$$N-N_2O = 1,375 \text{ N engrais} + 0,375 \text{ N déjections}$$

Puis exprimés en eq C-CO₂ :

$$\text{Eq C-CO}_2 = N-N_2O \times 298$$

298 : coefficient d'empreinte thermique ou de pouvoir de réchauffement climatique

- Les GES produits lors du stockage des déjections sont évalués à 0,075 eq C-CO₂ par litre de lait (GAC *et al.*, 2010).

Digestion ruminale :

Les GES provenant du méthane émis sont évalués à 0,165 eq C-CO₂ par litre de lait produit (GAC *et al.*, 2010)

L'Effet de serre induit est obtenu en soustrayant un stockage de carbone sous prairie de 0,25 t/ha sous prairies temporaires et 0,5 t/ha sous prairies permanentes.

ANNEXE : Mode de calcul des GES.

APPENDIX 1 : *Method for estimating the greenhouse gas (GHG).*

Journées de l'AFPF



Le pâturage au coeur des systèmes d'élevage de demain

21 - 22 mars 2017 (Paris)

La place du pâturage dans les systèmes fourragers représente plus que jamais un enjeu essentiel pour les élevages de demain. Les Journées AFPF 2017 aborderont le pâturage sous différents angles : les attentes de l'aval pour les filières lait et viande, les innovations concernant sa gestion, son importance dans les systèmes de production de demain, sans oublier ses enjeux économiques.

Ces journées seront également un lieu d'échanges sur les nouvelles perspectives qu'offre le pâturage, que ce soit au cours de présentations plénières ou lors des séquences de posters.

N'hésitez pas à nous proposer un poster en répondant à l'**appel à poster** (avant le 20 février).

◆ Programme, appel à poster et bulletin d'inscription sur <http://afpf-asso.org/>, rubriques Journées AFPF puis Programme 2017

Documents en ligne

Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe

L'Inra a conduit une expertise scientifique collective sur les systèmes d'élevage européens et leurs produits. Leurs rôles, leurs impacts économiques, sociaux et environnementaux, ainsi que les services marchands ou non marchands qu'ils rendent à la société ont été analysés sur la base d'un important travail de synthèse bibliographique internationale. Les résultats, qui suggèrent aussi des leviers d'action pour les différents systèmes d'élevage, ont été présentés et mis en débat lors d'un colloque le 30 novembre 2016 à Paris.

◆ Les documents de l'expertise peuvent être téléchargés (résumé, synthèse et rapport complet) : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Roles-impacts-et-services-issus-des-elevages-europeens>

L'évaluation multicritère des systèmes de production

La Journée du 18 octobre 2016 sur les questions que pose l'évaluation multicritère des systèmes de production était organisée par les GIS Elevages Demain, GC HP2E et le RMT Erytage. Elle s'est articulée autour d'exemples concrets d'utilisation de l'évaluation multicritère en productions animales et végétales pour différentes finalités : approche systémique, conseil, médiation, agrégation de connaissances, aide à la conception pour l'expérimentation. La journée a fait écho aux différents chapitres du guide pour l'évaluation multicritère, fruit d'une collaboration entre les GIS Elevages Demain et GC HP2E et paru en janvier 2016 aux éditions Quae et Educagri (Compte-rendu accessible *via* le site www.afpf-asso.org, voir ci-après).

Remerciements

Remerciements aux "lecteurs experts"...



Le Comité de Rédaction de *Fourrages* remercie toutes les personnes qui ont collaboré à la réalisation des numéros thématiques et qui ont contribué à la qualité des articles publiés en 2016, notamment les "lecteurs experts", pour leur indispensable travail de critique constructive des textes soumis pour publication :

Mesdames S. Battegay, S. Ducourneau, J. Ferreyrolle, S. Granger, M.-C. Gras, C. Hurtaud, B. Julier, I. Litrico, M.-B. Magrini, F. Ruget.

Messieurs B. Amiaud, M. Carof, P. Carrère, M. Corson, P. Cruz, L. Delaby, B. Delmas, M. Deraedt, J.-P. Dulphy, J.-L. Durand, M. Duru, O. Estrade, J.-P. Farrié, F. Gastal, E. Gonzalez-Garcia, C. Huyghe, T. Jeulin, D. Knoden, Y. Le Cozler, O. Leray, P. Leterme, V. Maire, B. Martin, J.-L. Peyraud, S. Plantureux, E. Pottier, P.-V. Protin, M. Straebler, B. Toutain

L'élevage bovin biologique en France

Retrouvez le contenu des conférences Biothémas sur "L'élevage bovin biologique en France : des éclairages de la recherche et des références", organisées le 6 octobre par le Pôle Bio Massif-Central et l'ITAB lors du Sommet de l'élevage 2016

◆ Ces présentations sont disponibles en ligne et accessibles *via* : www.afpf-asso.org, rubrique Evènements puis Comptes-rendus

Echos en France...

La prairie avance, connectez vous !

Prairiales du Robillard

Le 24 novembre dernier ont eu lieu les Prairiales du Robillard, un colloque sur le thème des innovations autour de la prairie au nom évocateur "La prairie avance, connectez vous". 250 participants ont répondu présents pour cette journée qui a traité de sujets variés tels que : la télédétection par drone et satellites, les nouveaux outils pour mesurer la biomasse au sol (Grasshopper), des témoignages d'éleveurs sur le pâturage tournant dynamique, la complémentarité robot et pâturage et la rénovation des prairies, les nouvelles avancées en terme de génétique des prairies, l'affouragement en vert, le CO₂ et les prairies sans oublier la productivité et la compétitivité économique de ces surfaces !

Des interventions variées pour une journée de qualité où l'AFPF était présente. En effet, dans le cadre des Prairiales, un concours a également été organisé pour les élèves des lycées agricoles de Normandie. Le but de ce concours était de réaliser une vidéo sur le thème "L'Herbe c'est moderne, prouvez-le en trois minutes". L'AFPF parrainait ce concours, offrant un chèque de 300 € aux gagnants, qui étaient cette année les élèves du lycée agricole de Vire. Bravo à eux et bravo également aux autres participants des lycées de Saint-Lô - Thère et du Robillard.

◆ Vous pouvez retrouver les supports présentés lors des Prairiales sur <http://afpf-asso.org/index/action/page/id/14/title/Actualites/ref/83>

Site Internet de l'AFPF



Du nouveau pour les mélanges prairiaux !

www.afpf-asso.org

Quelles espèces fourragères choisir pour une prairie en mélange, pour quelles utilisations et quel type de sol ? L'AFPF vient de publier deux guides de préconisations agronomiques pour aider à répondre à ces questions.

Après un premier guide, publié en décembre 2013, sur les mélanges pour prairies de longue durée (3 ans et plus), le groupe d'experts de l'AFPF a réalisé un nouveau guide sur les mélanges pour prairies de moins de 3 ans. Il est intitulé *Mélanges de semences pour prairies de courte et moyenne durée en France (moins de 3 ans) - Préconisations agronomiques*. Ce guide technique présente les principales caractéristiques des espèces utilisées en mélanges, leur niveau d'adaptation à différentes conditions pédoclimatiques et différentes utilisations ainsi que leur comportement en mélange. Il propose également des préconisations agronomiques pour le choix des espèces en fonction des dates de semis et des durées de production prévues pour les prairies ainsi que des recommandations de composition (doses de semis, nombre d'espèces et de variétés). Ce document, véritable référence pour tous ceux qui s'intéressent aux mélanges prairiaux, a été conçu par un groupe d'experts, membres de l'AFPF et appartenant à plusieurs organismes : ARVALIS - Institut du végétal, BTPL (Bureau Technique de Promotion Laitière), GNIS, INRA, Institut de l'Élevage, UFS (Union Française des Semenciers).

Cette réflexion sur les prairies de courte et moyenne durée a également été l'occasion de compléter et amender le guide technique sur les prairies de longue durée : *Mélanges de semences pour prairies de longue durée en France (3 ans et moins) - Préconisations agronomiques* (version 2017).

◆ Disponibles sur : www.afpf-asso.org, Rubrique Outils / Mélanges prairiaux ou <http://afpf-asso.org/index/action/page/id/91/title/melanges-prairiaux>



Association Française pour la Production Fourragère

La revue **Fourrages**

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Maison Nationale des Eleveurs – 149 rue de Bercy – 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 – Mail : secretariat@afpf-asso.fr

Association Française pour la Production Fourragère