

Les herbivores et la planète

Michel Journet, Jean-Pierre Dulphy, Yves Geay, Gilbert Liénard

Chercheurs honoraires du département Élevage et nutrition des herbivores de l'INRA

michel.journet4@wanadoo.fr

Les changements rapides et alarmants qui affectent notre planète suscitent des réactions plus ou moins bien étayées vis à vis des herbivores domestiques (ovins, bovins et caprins, majoritairement). Les principaux griefs qui sont faits à ces productions animales portent sur leur responsabilité dans les émissions de gaz à effet de serre, l'efficacité de transformation des végétaux en produits animaux, viande et lait, enfin la valeur santé de ces derniers. Les méthodes d'élevage seraient aussi préjudiciables au bien-être animal. Nous chercherons à identifier les méthodes les plus répréhensibles, et à préconiser celles qui peuvent être défendues, tout en nous efforçant de mieux particulariser les fonctions des herbivores, dans le domaine écologique en particulier, et de leur donner leur véritable sens.

Un survol de la place des herbivores dans l'histoire de l'humanité précèdera le rappel des changements récents liés essentiellement au processus d'intensification, qualifié plus noblement de « révolution fourragère » lors des Trente glorieuses, de 1960 à 1990.

Nous passerons ensuite en revue les griefs qui peuvent être faits aux façons d'élever des herbivores, pour l'essentiel des ruminants. Nous aborderons leurs impacts sur l'environnement et leur rôle dans l'effet de serre *via* les émissions de méthane, enfin les propriétés nutritionnelles et sanitaires de leurs produits, et l'efficacité de leur mode de production.

L'analyse sera élargie aux autres espèces animales, porcs et volailles lorsqu'il s'agira de juger de l'intérêt nutritionnel des produits et de l'efficacité des modes de production. Le rôle des prairies, principal milieu des herbivores, y sera mis en avant. L'échelle d'analyse et des projections sur le futur sera le plus souvent planétaire. Les acquis de la recherche agronomique sur les systèmes de production seront envisagés à l'échelle française.

Des hommes et des herbivores : un parcours commun

Peu d'espèces ont réussi à établir depuis des temps reculés des liens aussi étroits que les hommes et les herbivores : cela a eu de fortes répercussions sur notre alimentation et nos fonctionnements sociaux. Cette histoire commune nous est exposée par les paléanthropologues Pascal Picq (1994) et Jean-Denis Vigne (2006).

Aux débuts de notre Préhistoire

Notre préhistoire a commencé dans les forêts africaines par une vie arboricole où le petit *Homo habilis* vivait de cueillette et apprenait dans la forêt à dépecer avec divers outils les restes des proies en général herbivores laissées par les fauves. Elle s'est poursuivie avec le grand chasseur *Homo ergaster*, artisan et voyageur sorti d'Afrique qui osa concurrencer les prédateurs hors des forêts en poursuivant les antilopes et les gazelles dans la savane. Avec la maîtrise du feu, il apprit à se protéger et à découper, cuire et fumer la viande pour la conserver. Il sut améliorer ses outils et affûter ses armes. Selon Yves Coppens (2009), « il est évident que le cerveau, la main, l'outil et le langage ont participé ensemble à l'accélération du développement de la pensée ». Mais quel rôle la pratique même de la chasse a-t-elle pu jouer ? Les sites préhistoriques où se mêlent outils et ossements attestent des capacités acquises pour affronter des gibiers devenus gigantesques, tel « le mammoth laineux », le gibier favori de l'homme de Cro-Magnon, grâce à une chasse en groupe, efficace, organisée, suivie du partage du gibier.

L'homme devra souvent sa survie durant les rudes hivers des périodes glaciaires à une nutrition carnée. Au Paléolithique supérieur son alimentation commencera à devenir plus diversifiée grâce à d'autres proies, le cerf et les poissons de la côte Atlantique plus riches en graisses ; au Néolithique elle le deviendra davantage grâce à

un régime mêlant viande, lait et céréales. La sédentarisation et le développement de l'agriculture se sont accompagnés de changements alimentaires qui n'étaient pas tous exempts de conséquences parfois négatives sur la santé pour les populations inadaptées aux nouveaux aliments : troubles osseux, caries (Vigne, 2006), intolérances au lactose du lait et aux lectines des céréales, arthrites rhumatoïdes (Raymond, 2008), sans omettre les premières épidémies liées aux difficultés de conservation des grains et aux rongeurs.

Du Néolithique à nos jours

La domestication d'espèces herbivores aurait commencé bien avant le Néolithique, vers 20 000 av. J.-C., par celles vivant en troupeaux, les rennes dans le Sud de la France et l'Ukraine et les gazelles en Égypte, et ce grâce au chien, le premier compagnon de l'homme. Elle ne prendra de l'ampleur que vers 10 000 av. J.-C., d'abord avec les moutons et les chèvres, puis les bovins, et plus tard, les chevaux (3 000 av. J.-C.).

Plus que de fournir de la nourriture aux hommes, les herbivores, avec les porcs et les volailles, formeront avec eux une communauté, leur fournissant la chaleur de leur proximité, de quoi se vêtir chaudement et se chauffer. Ils leur apporteront la force de traction essentielle pour un travail efficace du sol, ce qui est encore souvent le cas dans les pays des Suds, puis les moyens de transport (déplacements à dos d'âne, de cheval et de chameau) pour des conquêtes à longue distance, que l'invention de la roue viendra compléter vers 4 000 av. J.-C. On comprend qu'ils aient pu, par leurs vertus, susciter l'admiration des hommes et alimenter leur imaginaire jusqu'à être divinisés (Picq, 1994).

Les modes de production agricole contemporains

Bien qu'encore diversifiés au niveau mondial, les modes de production agricoles ont profondément changé dans les pays développés (ceux de l'OCDE) en s'intensifiant fortement, notamment depuis la seconde guerre mondiale.

Processus et conséquences de l'intensification

Le processus d'intensification a d'abord permis une croissance rapide de la production agricole et rendu nos pays autosuffisants puis exportateurs de denrées agricoles. Il a aussi ouvert à la coopération et au partage des charges extrêmes de travail. Mais l'accroissement des consommations d'intrants, trois fois plus important que celui de la production (Tirel, 1989), a entraîné une détérioration de l'environnement par la pollution de l'air, de l'eau et des sols, ainsi que de la biodiversité et des paysages. Ces retombées défavorables ont été accentuées par la simplification des pratiques et la spécialisation des systèmes de productions animales et leur concentration géographique. Ainsi les troupeaux laitiers à haut niveau de production sont devenus partiellement hors sol, consommateurs de tourteau de soja et de céréales, avec un rendement énergétique en constante dégradation à l'échelle de toute la filière (Tirel, 1981). Dans les régions de plaine, les systèmes ont évolué vers plus de cultures de graminées, de simplification extrême des rotations et un recul des légumineuses et des prairies qui ont perdu 3 millions d'hectares en trente ans (1% par an), l'herbe restant dominante en montagne (Belard et Liénard, 2001; Béranger, 2007).



Une rétrospective réalisée par l'Institut de l'élevage (Le Gall *et al.*, 2009) a évalué les retombées actuelles des deux types d'élevage, l'un utilisant 30 à 60% d'herbe dans la surface fourragère et l'autre de 70 à 95% d'herbe, en plaine ou en montagne. Les systèmes les plus herbagers ont eu des dépenses énergétiques inférieures de 40 à 60% par kg de lait produit, avec une faible pollution rapportée à la surface, en azote et plus encore en pesticides, mais au prix d'une production inférieure, jusqu'à -30% en montagne.

Tableau 1. Évolution d'un réseau laitier breton vers un système herbager économe (1993-1998).

		Avant	Après	Variation (%)
Conduite	Herbe (% ration)	45	66	+47
	Fertilisants (kg N/ha)	67	14	-80
	Compléments (kg/vache)	1100	660	-40
Performances	Lait/vache/an (l)	6600	5550	-16
	Lait/ha SFP/an (l)	6600	5000	-24
	Coût/ha SFP (€)	2440	1530	-37
	Marge/ha (€)	1570	1750	+12
Environnement (2 mini bassins versants)		Intensif	Herbager	Variation (%)
Azote (kg/ha/an)	Bilan azoté (réel)	122	74	-40
	Pertes (eau) : N(NO ₃)	45	24	-47
	mg/l (eau) : N(NO ₃)	33	18	-45
Pesticides	Indice de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT)	2,9	0,5	-83

Source: Alard *et al.*, 2002.

**Les systèmes herbagers économes :
acquis et stratégies**

L'expertise effectuée de 1993 à 1998 a mis en évidence les acquis des systèmes herbagers particulièrement économes (Alard *et al.*, 2002 ; tabl. 1). C'est toute la stratégie d'exploitation des productions végétales et animales qui a dû être modifiée pour assurer la rentabilité de l'exploitation tout en protégeant l'environnement (Journet, 2003).

Dans le domaine végétal, il a fallu reconvertir en herbe une grande partie des surfaces en maïs, performantes mais polluantes en raison d'une utilisation élevée de pesticides et d'effluents d'élevages, tout en réduisant très fortement la fertilisation minérale sur cultures et prairies.

Dans le domaine animal, la stratégie mise en œuvre a consisté à produire le maximum de lait au pâturage en accroissant la durée de celui-ci jusqu'aux trois quarts de l'année, et en associant deux plantes de grande valeur, un ray grass anglais et un trèfle blanc, exploitées selon la méthode décrite par André Pochon (1979) dans son ouvrage *La prairie temporaire à base de trèfle blanc*, ce qui conduit à réduire considérablement l'emploi de fourrages conservés, trois fois plus coûteux à l'unité fourragère que l'herbe pâturée.

Pour ne pas polluer, avec de l'herbe riche en azote, il a fallu réduire le nombre d'animaux à l'hectare (chargement) et la production par animal de 10 à 15%, et donc la production totale de plus de 20%. Pour devenir très économe en compléments, il a fallu trouver des méthodes de conduite très innovantes pour que les vaches ne maigrissent pas, et puissent ainsi se reproduire. Les trois principales méthodes mises en œuvre ont consisté à diminuer le nombre de traites, la durée de la période sèche et mettre les veaux au pis pendant quelques semaines après le vêlage, méthodes dont l'efficacité allait être démontrée par Rémond *et al.* (1997 et 2005).

Ces initiatives prises par les éleveurs du Centre d'études pour un développement agricole plus autonome (CEDAPA) avec André Pochon furent confortées par celles d'un groupe de dix éleveurs de Loire-Atlantique qui s'étaient déjà reconvertis à des systèmes herbagers et économes à l'extrême pour faire face à trois années de sécheresse consécutives, lesquelles avaient réduit de moitié les rendements de maïs ensilage. Ce groupe était également parvenu à des résultats économiques très intéressants (Brunschwig *et al.*, 2001).

Les acquis les plus surprenants furent la faiblesse de la baisse de la production et l'importance de la réduction des intrants (ce qui améliore les résultats économiques) et, surtout, l'ampleur des retombées environnementales. Les acquis relatifs aux pesticides sont dus à l'agrandissement de la surface en herbe et à de plus faibles apports sur les cultures comme l'indiquent les valeurs de l'indice de pollution I_{pest} qui sont de 1,6, de 2,2 et de 3,0 sur 10 respectivement pour les cultures de betterave, blé et maïs (Cavelier, Gillet et Van der Werf, 1999).

De tels modes de production se sont généralisés au sein de la fédération des CIVAM du Grand Ouest¹ en utilisant des niveaux de fertilisation azotée et de pesticides réduits de 60 à 70% par rapport à ceux utilisés par le réseau des exploitations suivies par le Réseau d'information comptable agricole (RICA). Les groupes de Vendée et des Deux-Sèvres ont mis en valeur des avantages relatifs à l'emploi et des résultats économiques qui se sont étendus aux niveaux local et national (Garambois et Devienne, 2012). En Pays de Loire, en production caprine, le retour à des systèmes herbagers pâturants et à la luzerne a aussi permis de concilier rentabilité et autonomie en céréales, fourrages et protéines (Mimault et Bonnes, 2012).

Dans les zones montagneuses du Massif central, des Pyrénées et du Jura, ces systèmes sont pratiqués à une large échelle grâce à des races à viande bien adaptées (Liénard *et al.*, 1998 et 2002), et à des productions orientées vers l'agrobiologie (INRA, *Productions Animales*, 2009) et les fromages AOP (*Fourrages*, 2012).

En Europe, les systèmes d'élevage herbagers adaptés à des structures de petite taille et à des productions sous signe de qualité présentent encore un potentiel considérable, mais de grandes divergences subsistent selon les pays ainsi que des freins liés à la suppression envisagée des quotas laitiers (Pflimlin, 2010).

L'effet de serre en agriculture-élevage

Le réchauffement actuel a été attribué très majoritairement au gaz carbonique (CO₂), au méthane (CH₄) (13%) et au protoxyde d'azote (N₂O) (8%), lors des dernières évaluations du GIEC de 2007.

Les émissions de méthane des herbivores et leur évolution

L'agriculture émet différents gaz à effet de serre : du dioxyde de carbone (CO₂) provenant principalement de la consommation d'énergie fossile, du protoxyde d'azote (N₂O) issu de la fertilisation minérale et des déjections des animaux, et du méthane (CH₄) dont 90% des émissions sont dues, en France, aux herbivores (Gaborit et Vincent, 2006).

Les sources terrestres de méthane telles que les évalue l'ADEME dans l'*Atlas du changement climatique* (Denhez, 2010) proviennent principalement des fuites de combustibles fossiles, des fermentations anaérobies dans les sols inondés de milieux naturels (marais, tourbières, étangs) ou cultivés (rizières), des décharges, ainsi que d'animaux comme les termites et les ruminants, des cultures sur brûlis et des fermentations provenant des déjections des animaux. Les émissions des grands herbivores sont estimées à 100 millions de tonnes, soit 15% d'un total annuel de 750.

De 1800 à 1970, la concentration atmosphérique du méthane a augmenté quatre fois plus vite que celle du dioxyde de carbone, avant que les concentrations des deux gaz n'évoluent au même rythme. Puis, de 1970 à 2004, la concentration en CH₄ dans l'atmosphère n'a plus augmenté que de 15% alors que celle de CO₂ a doublé.

Les émissions de méthane des herbivores croissent collectivement et individuellement avec leur niveau de production. En France la consommation en protéines, lait et viande, a été multipliée par plus de 4 de 1850 à 1950 (Jarrige, 1979), avant d'atteindre un maximum vers 1985, d'après la FAO, puis de lentement s'éroder depuis. Dans le monde, la production de viande d'herbivores semble avoir atteint son maximum, alors que celle des monogastriques continue à croître de 3% par an, et celle de lait de 1%. La production animale herbivore ne progresse plus que dans les pays en développement. En conséquence, la production mondiale de méthane des herbivores est actuellement presque stabilisée. En France, elle n'aurait pas augmenté depuis 1970 (Faverdin et Peyraud, 2008).

Le méthane digestif des herbivores résulte d'un processus de fermentation très efficace qui transforme la cellulose et l'azote non protéique des végétaux herbacés en produits animaux de grande valeur nutritionnelle. Il est difficile de maîtriser la production de méthane digestif malgré quelques réussites (Martin *et al.*, 2006), alors que celui produit à partir des déjections pourrait

1. Voir www.agriculture-durable.org

Tableau 2. Effet de serre (teq C-CO₂) de systèmes laitiers conventionnels et herbagers.

			Herbager économe	Conventionnel intensif
Caractérisation du système	Énergie	Intrant	15%	40%
		Herbe	70%	50%
	Lait/ha de SAU (t)		4,54	5,71
Émission de gaz (teq C-CO₂/ha)	issus des herbivores	N ₂ O+CH ₄	1,08	1,32
		CH ₄	0,95	1,18
	« fossiles »	(CO ₂ +N ₂ O)	0,39	1,36
Captation (teq C-CO₂/ha)	stock du sol		-0,20	-0,10
Bilan (émissions - stock du sol) (teq C-CO₂/ha)			1,27	2,57
(teq C-CO₂/t lait)			0,28	0,45

Source : évaluation de M. Journet d'après la caractérisation des systèmes de Gouarec, 2010.

être réduit assez fortement par une meilleure gestion et surtout par davantage de pâturage.

Effet de serre et modes d'élevage

Évaluer les contributions du mode d'élevage à l'effet de serre nécessite de disposer d'une méthode simple de quantification.

• *Quantification des émissions de gaz à effet de serre en élevage*

Les travaux de l'INRA (Soussana *et al.*, 2004 et 2006) ont permis de quantifier le bilan des échanges de gaz (émissions - captation) et d'en calculer la contribution à l'effet de serre en les traduisant en équivalents carbone du CO₂ (eq C CO₂)². Ces émissions proviennent du sol (CO₂ et N₂O) et des herbivores (CH₄ et N₂O) ; la captation de CO₂ est le fruit de la photosynthèse par les plantes. Pour la comparaison entre modes d'élevage, ce bilan au niveau de l'exploitation doit être complété en ajoutant les émissions associées aux moyens de production mobilisés : engrais, machines, bâtiment, carburants.

La méthode a pu être simplifiée du fait que les échanges biologiques entre atmosphère, plantes, sol sont équilibrés (Lardy *et al.*, 2010) lorsqu'il n'y a pas de carbone stocké dans le sol, ce dernier provenant de la fraction non oxydée des résidus végétaux et animaux.

Le bilan effet de serre (en Eq C CO₂) pour la production animale peut être résumé à la somme des émissions issues des « herbivores » (telles qu'évaluées par Faverdin *et al.*, 2007) et de celles issues des intrants (Bochu, 2006), essentiellement d'origine « fossile ». Il faudra y soustraire, dans le cas des prairies, l'équivalent C CO₂ correspondant au carbone stocké dans le sol, évalué en moyenne à 0,5 tonne par hectare pour les prairies permanentes et à 0,25 pour les prairies temporaires, bien que cela soit variable (Soussana *et al.*, 2004).

• *Variation des émissions selon le niveau d'intensification et l'importance de l'herbe en élevage*

Le bilan des gaz à effet de serre ou potentiel de réchauffement global (PRG), évalué par cette méthode, a été calculé pour le réseau laitier herbager du CEDAPA nouvellement ré-expertisé (Gouarec, 2010), et il a été comparé à celui des exploitations conventionnelles de caractère intensif suivies par le centre de gestion des Côtes-d'Armor (tabl. 2).

Ainsi l'intensification du mode de production, accompagnée d'une forte réduction des surfaces en herbe, conduit à la multiplication par deux du bilan effet de serre par hectare, et par 1,6 lorsqu'il est rapporté à la quantité de lait produite. Cet accroissement est imputable aux émissions d'origine fossile qui ont été multipliées par 3,5 alors que celles dues aux herbivores et provenant surtout du méthane ne se sont accrues que de 25%, bien qu'elles représentent la moitié environ des émissions totales, évaluation qui recoupe celle de la littérature (Gac *et al.*, 2010).

2. L'unité est l'équivalent carbone, quantité de carbone contenue dans la quantité de CO₂ qui aurait la même activité de gaz à effet de serre que les gaz comptabilisés (ici CO₂, CH₄, N₂O, etc.). La notation eqC-CO₂ n'est pas mentionnée sur le site <http://www.riaed.net/?Unites-de-mesure-des-gaz-a-effet> qui fournit des explications très claires sur les équivalents carbone et les équivalents CO₂. En revanche, elle nous semble compréhensible et elle est largement utilisée dans les publications de l'INRA.

Ces acquis, joints à la stabilisation des productions de lait et de viande, illustrent les capacités de maîtrise du réchauffement climatique chez les herbivores, à travers les systèmes herbagers économes, en France et dans la plupart des régions tempérées de l'hémisphère Nord.

Les services agro-écologiques du trio « sols-prairies-herbivores »

Les prairies sont le siège de complémentarités complexes et nombreuses : complémentarités entre les légumineuses qui fixent l'azote de l'atmosphère et les graminées qui profitent dans le sol de l'azote non utilisé ; complémentarités entre prairies et cultures qui se suivent dans une rotation, les cultures pouvant exploiter l'azote organique minéralisé lors du retournement de la prairie ; complémentarités entre les animaux et l'herbe, celle-ci étant fertilisée par les déjections des animaux, qui l'ingèrent en quantité variable selon le stade, l'origine botanique et l'abondance du trèfle.

Les services écosystémiques – agronomiques et écologiques – rendus par le trio « sols-prairies-herbivores » diffèrent selon le type de prairie.

Services agronomiques

• Prairies permanentes

Les prairies permanentes de longue durée à flore spontanée occupent le plus souvent des milieux difficiles, zones accidentées ou humides, peu accessibles et non labourables. Elles convertissent les ressources herbacées en productions animales qui sont souvent de haute qualité comme les fromages AOP du Jura, des Alpes, d'Auvergne et des Pyrénées.

En plaine, le potentiel de ces prairies a pu être testé en les fertilisant modérément, comme à l'INRA sur le site du Pin au Haras en Normandie (Delaby *et al.*, 1997), ce qui a abouti à des performances élevées à l'hectare : 13 000 kg de lait avec moins de 2 000 kg de complément alimentaire et une fertilisation modérée de 100 kg d'azote. Ces performances ont pu être attribuées à une restitution efficace au sol (50%) du carbone et de l'azote prélevés dans l'atmosphère. Le carbone est oxydé pour fournir de l'énergie et l'azote est remodelé pour être réutilisé par les plantes. Les 200 kg d'azote ajoutés aux 100 kg de la fertilisation expliquent le niveau élevé de production.

Cette aptitude au recyclage du carbone et de l'azote des prairies permanentes a été retrouvée dans les conditions difficiles de l'Europe du

Nord (Raison *et al.*, 2008) et celles plus favorables de Nouvelle-Zélande (Journet, 1999) avec des restitutions au sol, respectivement, de 180 et 350 kg d'azote par hectare. Les activités fongiques du sol semblent en effet capables d'ajuster cette réserve organique à la demande des plantes (Amiaud et Carrère, 2012), à condition que cette réserve soit suffisante comme c'est le plus souvent le cas avec les prairies permanentes âgées.

• Prairies temporaires

Les prairies temporaires ont les mêmes aptitudes de productivité, d'économie et d'autonomie que les précédentes à condition que la succession des cultures et la période de labour de la prairie permettent de capter une grande partie de l'azote minéralisé après labour ; ce qui fut observé avec des betteraves (suivies de blé) après un labour de fin d'hiver de la prairie (Alard *et al.*, 2002). Dans un autre exemple en élevage laitier, des prairies de 5 ans suivies des cultures de blé et de pommes de terre (Delaby *et al.*, 2013) ont aussi permis une forte autonomie en azote : 87%, ce qui signifie que 13% seulement de l'azote produit vient des engrais minéraux et des compléments. Dans ces conditions les pertes d'azote estimées sont apparues très faibles (Delaby *et al.*, 2013).

Dans ces systèmes, les herbivores contribuent beaucoup à l'autonomie en azote. Dans l'exemple précédent, les vaches laitières convertissent la moitié de l'azote végétal en produit animal et recyclent l'autre moitié *via* le sol sous forme d'azote très peu lessivable. À une plus grande échelle, le retour en Beauce à un système mixte, culture-élevage herbivore, pourrait ainsi réduire fortement la pollution des nappes par les nitrates et les pesticides et faire bénéficier des autres services écologiques des prairies. C'est ce qu'a pu constater le groupe d'experts qui a suivi la reconversion d'une exploitation céréalière dans le Vexin (www.bergerie-villorceaux.org).

Services écologiques

Les principales retombées écologiques de l'élevage à l'herbe des herbivores domestiques concernent principalement l'eau (AFPF, 2007), la biodiversité (AFPF, 2004), les paysages, ainsi que le bilan carbone-azote.

En ce qui concerne l'eau, les prairies, par l'importance de leur biomasse aérienne et souterraine, fixent les nitrates solubles, laissent moins échapper les particules solides de phosphore et de matière organique (Le Gall *et al.*, 2009) et surtout nécessitent moins de pesticides : leur usage a été inversement proportionnel à la proportion de prairie dans la SAU au niveau européen (Raison, 2008). L'herbe riche en eau abreuve naturelle-

ment les herbivores, ce qui les rend économes en eau de boisson. De plus les infrastructures des prairies, haies, talus, fossés, bosquets permettent de limiter l'érosion en limitant la rapidité d'écoulement de l'eau.

Le rôle des prairies sur la biodiversité est maintenant bien démontré : elles favorisent l'abondance des invertébrés dans les sols (Hedde, 2006), la biodiversité floristique et les insectes pollinisateurs. Les oiseaux y trouvent de la nourriture et un habitat favorable (Dulphy, 2008), ainsi que certaines espèces emblématiques comme cela est bien démontré dans la plaine de Niort avec l'Outarde canepetière. La prairie limiterait aussi la diffusion des agents pathogènes pour l'homme (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2009).

Quant aux paysages, les prairies pâturées par des herbivores, associées à des couverts arborés, peuvent structurer des paysages particuliers remettant en valeur la typicité de certains terroirs et leur richesse patrimoniale (Deffontaines *et al.* ; Amboise, 2009 ; Amboise et Toubanc, 2010).

En zone tempérée, le bilan carbone des prairies, surtout permanentes, se caractérise par un stock élevé dans le sol. Il est également élevé dans la biomasse aérienne qui est de faible durée, mais de grande valeur lorsqu'elle est transformée en lait et en viande.

Ces caractéristiques assurent dans l'ensemble de bons services agro-écologiques aux prairies.

Ruminants, porcs et volailles

Valeur nutritionnelle et valeur santé des produits animaux

L'analyse sera faite d'un point de vue nutritionnel et sanitaire sans aborder les questions philosophiques, culturelles ou religieuses. Les productions des ruminants sont particulièrement importantes pour certains des nutriments qu'elles fournissent. Le lait peut satisfaire près de 70% du besoin en calcium de certaines catégories de personnes (enfants, personnes âgées et femmes ménopausées). Ces productions sont aussi des sources importantes de vitamines du groupe B (B₁, B₂, B₉, B₁₂ pour le lait ; B₃, B₆ et B₁₂ pour la viande). Les viandes et surtout le foie ainsi que les produits laitiers sont riches en rétinol et esters de rétinol, formes sous lesquelles se trouve la vitamine A, issue du carotène des végétaux. Enfin, la viande des ruminants est très riche en fer absorbable (contrairement aux végétaux), zinc et sélénium, qui sont des régulateurs de nombreuses fonctions ; ainsi, 100 g de viande de bœuf

couvrent de 20 à 30% des apports nutritionnels en ces nutriments conseillés par l'AFSSA pour les humains adultes, et de 20 à 50% des besoins en vitamines B₃, B₆, et surtout B₁₂ (Bauchart et Picard, 2010).

Il est reproché toutefois aux viandes leur teneur excessive en lipides et particulièrement en acides gras saturés (AGS) accusés d'effets nocifs sur la santé. Des travaux menés par l'INRA ont montré que cette mauvaise réputation des viandes est en partie injustifiée (Bauchart et Gandemer, 2010) car leurs lipides ne contribuent que pour environ 5% à la totalité des lipides consommés par l'homme. La teneur en lipides des viandes dépend de la race, du sexe, du mode d'alimentation, mais surtout du morceau choisi (2,3 à 8,7%), ce qui laisse le choix au consommateur. Les AGS sont en proportion élevée (40 à 50%) et accusés d'être athérogènes³ bien que certains suscitent un intérêt pour leurs propriétés biologiques bénéfiques (Bauchart et Thomas, 2010).

La teneur en AGS vient de l'hydrogénation des acides gras insaturés végétaux dans le milieu anaérobie du rumen ; elle est plus faible lorsque les ruminants se nourrissent d'herbe très riche en acides gras insaturés, et plus encore chez les ruminants laitiers qui désaturent les AGS dans la mamelle. La consommation d'herbe et surtout d'herbe pâturée par rapport à des régimes riches en grains conduit aussi à une modification de la composition en acides gras polyinsaturés (AGPI) favorable à la santé, en accroissant notamment le rapport des acides gras oméga 3/oméga 6. L'effet bénéfique des produits laitiers et de la viande des ruminants tient aussi à certains processus microbiens qui ont lieu dans le rumen, à l'origine notamment de la vitamine B₁₂ très peu présente dans les végétaux.

Les produits de ruminants sont aussi beaucoup plus riches en acide ruménique (CLA) lorsqu'ils sont nourris à l'herbe, cet acide ayant des propriétés anticancéreuses, antidiabétiques et hypocholestérolémiantes reconnues et étant spécifique des produits de ruminants (Bauchart *et al.*, 2001 ; Chilliard *et al.*, 2007).

Ces particularités pourraient expliquer que les études épidémiologiques n'aient pas pu mettre en évidence d'effet nocif des produits d'herbivores, à quelques exceptions près comme aux États-Unis (Tome, 2011). Dans ce pays, la viande est particulièrement riche en graisses saturées en raison du choix des races Angus et Hereford

3. Les athéromes sont des plaques formées de cholestérol, de protéines et de diverses cellules qui peuvent progressivement réduire la lumière de l'artère et provoquer un accident vasculaire (Wikipédia).



et d'une nourriture riche en céréales ; de plus la population consomme une grande quantité de viande, notamment sous forme de hamburger à teneur en lipides très élevée.

L'intérêt des produits issus de l'élevage des herbivores est aussi d'ordre gastronomique. Cela est bien connu à travers les fromages de montagne (Coulon *et al.*, 1997). Les viandes bovines et ovines de qualité tiennent toujours une place importante dans le modèle alimentaire français en structurant bon nombre de nos repas autour du plat de viande. Toutefois, depuis quarante ans la place de ces viandes s'est trouvée réduite relativement à celles de porcs et de volailles, en raison semble-t-il d'une maîtrise moins bonne et plus difficile des types d'animaux et des méthodes de conduite, ainsi que des conséquences induites sur la qualité de la viande et de son prix bien plus élevé. C'est pourquoi, à partir du milieu des années 1980, des recherches ont été mises en place à l'INRA afin de préciser les caractéristiques structurales et métaboliques du muscle influençant les qualités organoleptiques de la viande, ainsi que les possibilités qu'offre la nutrition de maîtriser ces caractéristiques (Geay *et al.*, 2002). Une part de ces objectifs ont été atteints (Picard, 2012). Ainsi des travaux ont permis d'explicitier en partie l'effet bénéfique des herbes consommées sur les qualités organolep-

tiques des viandes, comme cela a été montré pour le Fin Gras du Mézenc (Bauchart et Hocquette, 2002). On peut donc espérer que la production de viande bovine pourra se maintenir à travers les labels et appellations d'origine contrôlée grâce à la prise de conscience du consommateur de l'effet bénéfique de certaines viandes consommées modérément.

L'intérêt des protéines animales

En France, l'apport de protéines par habitant a plus que doublé au cours des deux derniers siècles. La proportion en protéines animales est passée de 25 à 65% (Jarrige, 1979) et a dû jouer un rôle important dans l'accroissement du format et de la longévité.

Les protéines animales sont particulièrement intéressantes pour leur richesse en acides aminés indispensables et la digestibilité élevée de leurs protéines, ce qui permet de couvrir les besoins en ces acides aminés avec un niveau d'apport protéique bien plus faible que celui d'origine végétale. Rémond *et al.* (2010) ont montré que certains peptides spécifiques de la viande comme la carnosine auraient un effet bénéfique en tant qu'anti-oxydant. Ainsi, introduite en quantités mesurées dans une ration journalière, en association avec des légumes et des féculents et fruits, la viande permet d'éviter des carences et

de réduire les troubles pathologiques, notamment la sarcopénie⁴.

Les apports nutritionnels recommandés (ANC) en protéines de bonnes qualités (AFSSA, voir Martin, 2007) sont de 0,83g/kg de poids vif et par jour, allant jusqu'à 1g pour les personnes âgées – ces apports protéiques devant être regroupés en un seul repas. Si la part de viande dans cet apport n'a pas jusqu'ici été bien définie, le programme national Nutrition-Santé (PNNS) recommande toutefois de consommer de la viande, du poisson ou des œufs en alternance, les protéines d'origine animale ne devant pas dépasser 50% des apports protéiques de la ration, ceux-ci représentant 12 à 14% de l'apport énergétique total.

La viande : consommation et évolution

D'après la FAO, les protéines animales consommées dans les pays développés provenaient en 2003 pour 48% de la viande et pour 34% des produits laitiers, 10% des poissons et 6% des œufs. En 2005 la consommation moyenne de viande par habitant et par an était de 41 kg (en poids de carcasse⁵) au niveau mondial (31 kg pour les pays en voie de développement et 82 kg pour les pays développés), avec des extrêmes allant de 1 à 10, de 13 kg en Afrique à 127 kg aux États-Unis.

Depuis 1961, la consommation de viande par habitant dans le monde a été multipliée par 3,6, surtout celle de porc et volaille dont la consommation a augmenté trois fois plus vite que celle de la viande d'herbivores. Sa répartition était en 2011 de 21,5% pour les bovins, 5,0% pour les ovins-caprins, 35,2% pour les volailles et 38,3% pour les porcs. En Europe, la consommation d'herbivores diminue depuis 1980. En France, la consommation de viande de gros bovins et veau (en poids de carcasse par habitant) a fortement augmenté dans les années 1950, atteignant 30 kg en 1970, jusqu'à un maximum de 33 kg en 1979, pour diminuer lentement par la suite (24,3 kg en 2011). Elle représente encore 30% de la viande consommée, soit 1,6 fois celle observée en Europe d'après France Agrimer.

Peut-on prévoir l'évolution mondiale de la consommation de viande jusqu'en 2050 ? Faisons l'hypothèse que la population augmente encore de 3 milliards et que la consommation moyenne par habitant et par an soit alors de 50 kg et identique en tous points du globe, ce qui impliquerait une diminution de 40% dans les pays développés

et une augmentation de 70% dans les pays en développement. Il faudrait alors que la production de viande augmente encore de 50%, puisqu'en outre on ne peut guère compter sur les poissons de mer dont la pêche s'épuise (FAO, 2012).

Diverses voies d'évolution de la production de protéines animales sont envisageables (cf. l'article de l'INRA en préparation pour la revue *Productions animales* : la viande du futur sera-t-elle produite *in vitro* ?). Parmi elles, la production de viande d'herbivores valorisant la prairie naturelle complétée en céréales et protéagineux produits sur la ferme reste encore une solution promise à un bel avenir.

Concurrence alimentaire et efficacité des élevages

Tous les élevages monogastriques et herbivores utilisent des aliments dont certains sont comestibles par les hommes et exercent de ce fait une certaine concurrence alimentaire directe. D'après la FAO, en 2012, ces élevages consommeraient en effet 30% des graines oléagineuses, 40% des racines et tubercules et 50% des céréales produits dans le monde, bien que tous ne soient pas comestibles pour l'homme.

La quantité d'aliments comestibles rapportée au kg de viande produite peut indiquer le niveau de concurrence alimentaire, et permettre de comparer les espèces et le mode d'élevage. Ces évaluations ont été menées à deux niveaux : sur l'ensemble des unités françaises de production animale clientes de l'industrie des aliments du bétail et réparties dans les trois filières (volailles, porcs et bovins) ; sur des réseaux d'exploitations de bovins suivies par la recherche et le développement.

Effet de concurrence induit : volailles porcs, bovins

Une évaluation du ratio aliment comestible/équivalent viande (en incluant le lait et les œufs) a été faite dans les trois filières, volailles, porcs et bovins, à l'échelle de la France. Les données utilisées sont celles des tonnages d'aliments composés de l'alimentation du bétail de 2010, ainsi que ceux de produits animaux qui furent rapportés aux journées de l'Association française de zootechnie (AFZ, 2011).

Le calcul du ratio a nécessité en outre d'estimer, par espèce, la proportion d'aliments comestibles dans la ration (hors fourrages), ainsi que la proportion d'aliments autoconsommés (produits sur les exploitations) à ajouter aux

4. Sarcopénie : diminution de la masse et de la force musculaire associées à une baisse des performances physiques chez les personnes âgées.

5. Poids de carcasse : viande + os.

Tableau 3. Aliment comestible pour l'homme et consommé par les animaux/ équivalent viande produit par filière de production (millions t/an).

	Volailles	Porcs	Bovins
Viande produite (Mt/an)	2,07	2,14	1,68
Lait/œufs*	1,03		2,32
Viande équivalente	3,10		4,00
Aliment du bétail - total	8,5	7,3	7,5
- comestible pour l'homme et consommé par les animaux	6,8	6,1	5,7
Aliment** comestible/ équivalent viande produite	2,2	2,9	1,4

*Équivalent viande (en protéines) du lait et des oeufs.

**Non compris les fourrages.

aliments industriels. Ces estimations sont vraisemblables mais approximatives compte tenu du manque de données de ce type, et à cette échelle. Les aliments comestibles ont été assimilés aux céréales, oléagineux, protéagineux consommables directement par les humains, ou qui pourraient l'être sous une forme agronomique semblable. La composition détaillée des aliments commercialisés par l'alimentation du bétail, et celle estimée des aliments produits à la ferme, nous a autorisés à proposer une valeur de 80% d'aliment comestible pour les porcs et les volailles qui sont des monogastriques, comme les humains et de 60% pour les bovins, qui se différencient en consommant des coproduits de type cellulosique, issus des industries de meunerie, amidonnerie, brasserie, fermentation, déshydratation (luzerne). La proportion d'aliments produits sur la ferme, importante pour les bovins et estimée à 40%, est un ordre de grandeur issu de nombreux essais en exploitations. Les estimations pour volailles et porcs sont respectivement de 5 et 20% (tabl. 3).

Les valeurs des ratios calculés (aliment comestible/équivalent viande) s'échelonnent de 2,9 pour les porcs à 2,2 pour les volailles et 1,4 pour les bovins, le blé constituant environ 50% de l'aliment comestible.

Il apparaît que les bovins herbivores consomment donc nettement moins d'aliments comestibles pour l'homme que les porcs, et moins que les volailles. Ils le doivent essentiellement à leurs particularités digestives permettant une consommation de fourrages de type cellulosique équivalant aux trois quarts environ de leur alimentation à l'échelle de la France.

Cet avantage concurrentiel sur les aliments destinés aux hommes ne pourrait-il pas devenir un inconvénient pour les herbivores, du fait d'une concurrence exercée sur les surfaces, celles par exemple consacrées à l'herbe plutôt qu'au blé ? Ce reproche ne peut en effet être fait aux monogastriques qui vivent hors sol, hormis la surface servant de parcours aux élevages de volailles label et bio pour améliorer leurs conditions de vie et de santé.

Cette concurrence quant aux usages du sol qu'exercent les herbivores est cependant toute relative. En effet, les trois quarts des surfaces en herbe sont en prairies permanentes et sont interdites de retournement par la PAC ; de plus elles occupent beaucoup de reliefs et de zones humides non labourables. En plaine, l'association de l'herbe en rotation avec des céréales a une fonction utile en réduisant les fertilisants azotés, les pesticides et les importations de tourteau de soja ; c'est le cas aussi pour les légumineuses fourragères et les protéagineux complémentaires des cultures riches en énergie (céréales, racines et tubercules). En zone de grandes cultures, une grande partie de la biomasse produite n'est utilisable que par les herbivores sous forme de coproduits : pailles de céréales, pulpes, drèches, mélasses, vinasses. Le retour de l'herbe y est même souhaité pour réhabiliter l'agriculture-élevage (Carrefours de l'innovation agronomique, 2012).

Mesure et valeur de l'efficacité à produire (par rapport à l'azote)

L'efficacité de l'acte de production est le plus souvent caractérisée par l'efficacité énergétique, limitée à celle des aliments consommés par les animaux. Cette évaluation est trop restreinte ; de plus, au lieu de l'énergie, l'unité de mesure devrait plutôt être l'azote, comme l'avait pro-

posé Robert Jarrige dès 1979, car il caractérise le mieux la valeur des produits animaux pour la nutrition.

L'efficacité sera donc élargie à l'utilisation de l'azote (N) des intrants, fertilisants + compléments, qui entrent sur les unités de production de viande, lait et œufs.

L'évaluation sera faite sur les trois mêmes filières que précédemment ainsi que sur un réseau d'exploitations bovines produisant lait et viande, plus ou moins intensifiées et herbagères.

Dans les trois filières les quantités de fertilisants azotés servent à fertiliser les céréales qui entrent dans les aliments composés industriels commercialisés, et celles produites dans les unités porcs et volailles ; un niveau unique de fertilisation azotée à l'hectare a été retenu (tabl. 4).

Dans les réseaux d'exploitations, la fertilisation azotée est celle réellement utilisée dans chaque exploitation ; elle porte sur toute la surface servant à produire les fourrages et les céréales consommés.

Les deux facteurs de production, fertilisants et compléments, exprimés en azote, sont à la fois utiles, onéreux et polluants, ce qui donne à cette évaluation une portée à la fois environnementale et économique.

L'efficacité dite globale (EG) correspondra à la formule suivante (tabl. 4) :

$$EG = N \text{ produit animal} / N \text{ intrants (fertilisants + compléments)}$$

Les deux évaluations, « filière » et « exploitation » sur les bovins apparaissent en assez bon accord, la valeur EG de la filière herbivore (0,18) recoupant bien les valeurs « exploitation lait » (0,25) et « exploitation viande » (0,13) relatives à des systèmes intensifs, largement dominants.

Tableau 4. Efficacité globale (EG) des filières et des exploitations.

	Filières France (Mt/an)			Exploitations (kg/ha/an)				
	Volaille	Porc	Bovin	Bovins lait		Bovins viande		
				Intensif Bretagne (EBD)*	Herbe économe Bretagne INRA*	Intensif Pays de Loire IE**	Herbe économe Bretagne INRA*	Herbe montagne Auvergne INRA***
Azote (N) produit (Eq viande)	0,77	0,54	1,01	41	29	12,0	12,0	9,3
Azote (N) intrant								
N fertilisant de l'aliment complet vendu par les filières (N fertilisant = N céréales)	0,85	0,58	0,45					
N fertilisant des céréales auto-produites dans les unités monogastriques.	0,06	0,20						
N fertilisant de la filière bovine (N produit animal X 4)			4,04					
N fertilisant utilisé pour la production de lait et de viande				114	42	62	16	38
N complément animal	1,90	1,26	1,13	49	23	28	24	11
Azote intrant total	2,81	2,04	5,62	163	65	90	40	49
EG : Produit/intrant	0,27	0,26	0,18	0,25	0,45	0,13	0,30	0,19

EBD : réseau Éleveurs bovins de demain ; IE : Institut de l'élevage
*Alard *et al.*, 2002 ; **Espagnol *et al.*, 2010 ; ***Veyssset *et al.*, 2007.

L'évaluation « filière » fait ressortir pour les bovins une efficacité globale de l'azote des intrants inférieure seulement de un tiers à celle des porcs et des volailles, alors que l'efficacité azotée d'utilisation des aliments (N produit animal/N aliment ingéré) est environ trois fois plus faible.

L'évaluation « exploitation », en bovins, montre une forte supériorité des systèmes herbagers sur les intensifs que ce soit en lait ou en viande, ainsi qu'une supériorité logique de la production de lait sur celle de viande. L'efficacité globale en système herbager de montagne est, comme attendu, plus faible qu'en plaine, en raison des conditions difficiles dues au relief et à la température qui pénalisent la production et du fait que, dans l'exemple pris, il s'agit uniquement de production de viande.

Le système de production le plus efficace serait donc celui des herbivores laitiers au pâturage, ce qui tient à la récolte, directe, à faible coût, d'une herbe de très haute valeur. C'est ce qu'avait pronostiqué Robert Jarrige dès 1979. L'écart serait encore plus en faveur des herbivores si l'efficacité était évaluée en valeur monétaire, compte tenu des écarts de prix de vente entre produits herbivores et monogastriques.

Au-delà des différences d'efficacité du processus de production et du caractère plus ou moins concurrentiel vis-à-vis de l'homme, la transformation des végétaux en produits animaux, quelle que soit l'espèce, reste l'aboutissement de dix millénaires de domestication réussie.

Des atouts, des dérives et des remèdes

L'analyse qui vient d'être faite montre que les systèmes de production des herbivores mis en œuvre au cours du demi-siècle passé possèdent des atouts, mais qu'ils ont aussi connu des dérives, ce qui nécessite d'y apporter des remèdes.

Des atouts

Les caractéristiques physiologiques qui permettent aux herbivores de transformer efficacement des produits végétaux herbacés celluloseux, non assimilables par l'homme, en produits de valeur, sont leur premier atout. Un autre est de bien valoriser des ressources renouvelables en eau, énergie, azote, prélevées dans l'atmosphère et recyclables par le sol ;

un autre d'assurer une meilleure protection de notre cadre de vie par l'absence de pollutions massives et par le maintien d'une qualité des paysages. Un dernier atout de l'élevage d'herbivores est aussi d'offrir une garantie de bien-être animal grâce à la vie en plein air, au pâturage, lorsqu'elle est conservée.

Des dérives

Les dérives sont venues de l'intensification des systèmes de production et de l'agrandissement des exploitations, qui ont abouti dans certains pays à des unités de très grande taille de type concentrationnaire ; ce qui n'a pas été le cas en Europe où les changements dans la façon de produire ont cependant été à l'origine de pertes d'emplois et de pertes d'autonomie matérielle et décisionnelle, tout en permettant une amélioration du niveau de vie, pour tous, et une amélioration des conditions de travail pour les paysans. Les conséquences les plus néfastes ont concerné l'environnement, par l'aggravation des émissions de gaz à effet de serre et des pollutions (azote et pesticides) de l'air et des eaux, et par des pertes de biodiversité surtout dues à la régression des prairies permanentes.

Des remèdes

Des remèdes à apporter aux modes de production intensifs sont venus de l'INRA, avec la proposition de Jacques Poly (1977) de pratiquer une agriculture économe et autonome, et celle de réorienter les recherches sur les herbivores vers des systèmes diversifiés à plus faibles intrants (Journet, 1996). Ils ont été suivis par des réalisations concrètes d'exploitants qui souhaitent concilier environnement et productivité. Les modalités de reconversion vers des systèmes herbagers économes pâturant sont maintenant actées par la recherche et le développement et les moyens de les faciliter font l'objet d'un programme dénommé « PraiFace »⁶. La recherche investit de son côté sur le retour aux fondamentaux du fonctionnement « agro-bio-chimique » de l'agriculture, en recherchant les meilleures synergies entre carbone et azote (Lemaire, 2005). Une proposition collective de limitation des émissions tout en sauvegardant la compétitivité a été faite (Peyraud *et al.*, 2012). Par ailleurs, un indicateur bâti sur les ressources énergie, carbone, azote permet de calculer, à l'échelle de l'exploitation, quatre composantes de durabilité : niveau de production, autonomie, efficacité et pérennité (Delaby, Pochon et Journet, 2013).

6. Programme PraiFace, *Faciliter les évolutions vers les systèmes herbagers économes* (2011-2013), coordonné par le Réseau Agriculture durable (RAD), l'INRA et l'Institut de l'élevage.



L'avenir de l'élevage d'herbivores

En France, la balance commerciale de l'élevage d'herbivores (lait, viandes et animaux vivants) présente un solde positif (Agreste, 2011)⁷. Au consommateur, il offre un grand panel de viandes et de fromages de qualité dont beaucoup sont labellisés, surtout en montagne. Il a des retombées sociales par le maintien d'élevages de taille réduite, favorables à l'emploi, à la qualité de vie des éleveurs et aux échanges de proximité avec les consommateurs. À la société il offre la qualité de nos paysages. Ces avantages sont d'autant plus marqués que les élevages sont herbagers.

Dans les pays en voie de développement, comme en Afrique, le CIRAD a montré ce qu'apporte l'élevage d'herbivores associé aux cultures : la fertilisation, la puissance physique pour le labour, la traction et le transport, un capital et une assurance ainsi que du lait et de la viande pour compléter le riz et le manioc.

Cependant, ces apports auxquels aspire la société restent tributaires de nouvelles façons de produire, longues à adopter pour la profession et à reconnaître pour les organismes de recherche et de développement.

Ceci amène certains chercheurs de l'INRA (*INRA Magazine*, 2012) et du CIRAD à aborder et tenter de résoudre certaines contradictions, voire controverses entre science et société, au moyen d'une agriculture « écologiquement intensive » (Goulet, 2012). Sur le thème particulier que nous développons de la consommation de viande rouge en rapport avec l'effet de serre, Dokes *et al.* (2012) concluent à la nécessité de prendre en compte de nombreux critères, en se refusant cependant à trop les élargir, en raison de connaissances qui seraient insuffisantes, alors que des chercheurs plus anciens ont osé des approches plus larges et plus audacieuses (Laporte et Main-sant, 2012).

Ces réflexions montrent qu'il est urgent de passer d'une pensée liant directement la cause à l'effet (ou l'intrant à la production) à un concept de « mode de production autonome » basé sur l'auto-organisation d'un système complexe, guidé par une ferme volonté d'aboutir (Dupuy, 2012).

Ce concept fut très exactement celui du petit groupe d'éleveurs du CEDAPA dont l'arme principale était justement une volonté de rompre avec le passé et les conseillers habituels et de réussir un autre projet, tel celui qui consista à mettre 70% de la surface en herbe sans trop savoir la faire pousser en l'absence d'engrais azotés, et sans trop savoir produire le lait avec très

7. <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/gaf12p113-116.pdf>

peu de compléments. C'était apprendre en découvrant, sous le regard de chercheurs cherchant à en comprendre la logique et aussi à l'améliorer.

Il semble donc possible de conclure à l'indispensable présence des herbivores sur notre planète, compte tenu des services qu'ils peuvent rendre en exploitant les surfaces enherbées souvent inaccessibles qu'eux seuls peuvent encore valoriser de façon durable ■

Remerciements

Nous tenons à remercier, pour leur lecture critique et leurs conseils, Pierre Guy et

Philippe Faverdin, responsables à l'INRA dans les domaines des fourrages et des herbivores, Brigitte Picard pour ses apports inédits sur les recherches en production de viande à l'INRA de Clermont Ferrand-Theix, ainsi qu'André Pochon, qui fut animateur du Centre d'études pour un développement agricole plus autonome (CEDAPA) au moment où fut réalisé par l'INRA le programme Systèmes Terre et Eau de 1993 à 1998.

Nous dédions ce texte à des amis de stature internationale, disparus pour nombre d'entre eux : Jacques Poly, Robert Jarrige, Yves Ruckebusch, Guy Fauconneau, qui furent aussi nos maîtres et embellirent notre vie de chercheur.

Références bibliographiques

- Alard V., Béranger C., Journet M., 2002. *À la recherche d'une agriculture durable. Étude de systèmes herbagers économes en Bretagne*. INRA Éditions, Paris, 340 p.
- Amboise R., 2009. Le projet APPORTS : agriculture, paysage, projet, outil, réseau, territoire. Ministère de l'Agriculture, Paris, <http://www.agriculture-et-paysage.fr/spip.php?rubrique1>
- Amboise R., Toulblanc M., 2010. Le paysage comme outil et résultante d'un projet d'élevage durable. *Actes des journées AFPP*, 30-31 mars 2010, 119-128.
- Amiaud B., Carrère P., 2012. La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques. *Actes des journées AFPP*, 3-4 avril 2012, 51-60.
- Association française de zootechnie (AFZ), 2011. La baisse de la consommation de viande dans les pays industrialisés : tendances culturelles, raisons économiques, préoccupations de santé. Journées de printemps 2011, 12 janvier 2011, AgroParis Tech, Paris, <http://zootechnie.fr/fr/journees-detude/printemps-2011.html>
- Association française pour la production fourragère (AFPF), 2004. Actes des Journées « La biodiversité des prairies. Un patrimoine - un rôle fonctionnel », 23-24 mars 2004. AFPF, Paris, 226 p., <http://www.afpf-asso.fr/index/action/page/id/22/title/Les-actes-des-Journees-professionnelles/acte/9>
- Association française pour la production fourragère (AFPF), 2007. Actes des Journées « Prairies, fourrages et impacts sur la qualité de l'eau », 17 décembre 2007. AFPF, Paris, 120 p., <http://www.afpf-asso.fr/index/action/page/id/22/title/Les-actes-des-Journees-professionnelles/acte/18>
- Bauchart D., Durand D., Gruffat- Mouty D., Dozias D., Ortigues-Marty I., Micol D., 2001. Effets d'un régime à base d'herbes sur la teneur et la composition en acides gras des lipides des muscles et du foie chez le bouvillon à l'engrais. *Rencontres Recherches Ruminants*, 8, 108, http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2001_qualite_24_bauchart0001.pdf
- Bauchart D., Hocquette J.F., 2002. Qualités gustatives et nutritionnelles de la viande bovine et influence sur la santé du consommateur. *Colloque « Le goût des terçons »*, mars 2002, Pierrefort (Cantal). Groupement d'éleveurs « Fins gras du Mézenc », FR3 Auvergne.
- Bauchart D., Gandemer G., 2010. Qualité nutritionnelle des viandes et abats de bovin. In : Bauchart D., Picard B., 2010. *Muscle et viande de ruminants*. Édition Quae, Versailles, 115-130.
- Bauchart D., Picard B., 2010. *Muscle et viande de ruminants*. Édition Quae, Versailles, 250 p.
- Bauchart D., Thomas A., 2010. Facteurs d'élevage et valeur santé des acides gras des viandes, in : Bauchart D., Picard B., *Muscle et viande de ruminants*, Éditions Quae, Versailles, 131-142.
- Belard J.F., Liénard G., 2001. Place de l'herbe dans les élevages bovins et ovins du Massif central Nord. *Fourrages*, 178, 45-60.
- Béranger C., 2007. *Prairies-herbivores-territoires : quels enjeux en pays tempérés ? Le point de vue de l'Académie d'agriculture de France sur les aspects positifs des productions d'herbivores valorisant le maximum de fourrages*. Académie d'agriculture de France, séance du 23 mai 2007.
- Bochu J.L., 2006. Consommation et efficacité énergétique dans les exploitations agricoles : méthodologie PLANETE et comparaisons des différents systèmes de production. *Actes des journées AFPP*, 27 mars 2008, AFPF, Paris.
- Brunschwig P., Veron J., Perrot C., Faverdin P., Delaby L., Seegers H., 2001. Étude technique et économique des systèmes laitiers en Pays de Loire. *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris, France, 237-244, <http://www.journees3r.fr/spip.php?article717>
- Cavelier A., Gillet H., Van Der Werf H.G.M., 1999. Les méthodes d'approche des pratiques phytosanitaires et du risque de pollution par les pesticides. Programme Systèmes Terre et Eau (1994-1999). *Actes du colloque Systèmes d'élevage herbagers autonomes en Bretagne*, 29-30 avril 1999, Saint-Brieuc. INRA-CEDAPA-Conseil général des Côtes-d'Armor, Saint-Brieuc, 213 p.

- Chevassus-au-Louis B., Salles J.M., Pujol J.L. (coords.), 2009. *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique*. Rapport du Centre d'analyse stratégique au Premier ministre, La Documentation française, Paris, 378 p.
- Chilliard Y., Glasser F., Enjalbert F., Ferlay A., Bocquet F., Schmidely P., 2007. Données récentes sur les effets de l'alimentation sur la composition en acides gras du lait de vaches, de chèvre et de brebis. *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 321-328, <http://www.journees3r.fr/spip.php?article2080>
- Carrefours de l'innovation agronomique (CIAG), 2012. *Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants*, Poitiers, 24 octobre 2012, http://www7.inra.fr/ciag/revue/volume_22_octobre_2012
- Coulon J.B., Hauwuy A., Martin B., Chamba J.F., 1997. Pratiques d'élevage, production laitière et caractéristiques des fromages dans les Alpes du Nord. *Productions animales*, 10, 195-205.
- Coppens Y., 2009. *Le présent du passé. L'actualité de l'histoire de l'homme*, Odile Jacob, Paris, 289 p.
- Deffontaines J.P., Houdart Y., Osty P.L., Brun A., Brossier J., Bonnemaire J., Roux M., Teissier J.H., Petit M., André G., Jeannin B., 1977. *Pays, paysans, paysages dans les Vosges du sud*. INRA Éditions, Paris.
- Delaby J.L., Decau M.L., Peyraud J.L., Accarie P., 1997. AZO-PAT, une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. I- Les flux associés à l'animal. *Fourrages*, 151, 297-311.
- Delaby J.L., Pochon A., Journet M., 2013. Proposition d'un indicateur global de durabilité des exploitations d'élevage. *Fourrages*, 213, 77- 86.
- Denhez F., 2010. *Atlas du changement climatique. Du global au local : changer les comportements* (3^e éd., 1 Dvd). ADEME, Paris.
- Dockes A.C., Guinot D., Kling-Éveillard F., Fourdin S., Barbier M., 2012. Étudier les controverses. Approche méthodologique et application à la question de la consommation de viande rouge et des gaz à effet de serre. *Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, 5-6 déc.2012, <http://www.journees3r.fr/spip.php?auteur15>
- Dulphy J.P., 2008. L'agriculture biologique et la faune des prairies. *Alter Agri*, 85.
- Dupuy J.P., 2012. Fabriquer de l'auto-organisation ? De l'homme machine à l'homme-dieu et retour. *Conférence L'Homme peut-il s'adapter à lui-même*, Muséum d'histoire naturelle, 29-30 octobre 2010, vidéo, http://www.canal-insep.fr/fr/colloque_irmes_mnhn_paris_descartes/32-fabriquer-de-lauto-organisation-jp-dupuy
- Espagnol S., Leterme P., 2010. *Élevages et environnement*. Éditions Quae, Versailles.
- FAO, Département des pêches et de l'aquaculture. 2012. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*, 241 p.
- Faverdin P., Maxim G., Chardon X., Brunschwig P., Vermorel M., 2007. Modèle de prévision du bilan carbone d'une vache laitière. *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, http://78.155.145.72/html/html1/IMG/pdf_CR_190731041.pdf
- Faverdin P., Peyraud J.L., 2008. Nouvelles conduites d'élevage et conséquences sur le territoire : cas des bovins laitiers. *Communication à l'Académie d'agriculture*. *Fourrages*, 2012. La valorisation des ressources prairiales dans le cadre des productions fromagères AOP du Massif central. *Fourrages*, 209.
- Gaborit G., Vincent J., 2006. Gaz à effet de serre : définition et inventaire de la contribution de l'agriculture et des élevages français. *Fourrages*, 186, 155-164.
- 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. *Rencontres Recherches Ruminants*, 17, 335-342, <http://www.journees3r.fr/spip.php?article3018>
- Garambois N., Devienne S., 2012. Les systèmes économes du bocage vendéen : une alternative pour un développement agricole durable ? Carrefours de l'innovation agronomique 2012. *Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants*, Poitiers, 24 octobre 2012, http://www7.inra.fr/ciag/revue/volume_22_octobre_2012
- Geay Y., Bauchart D., Hoquette J.F., Culioli J., 2002. Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. *Productions Animales*, 15(1), 37-58.
- Gouarec N., 2010. Fermes laitières herbagères, fermes laitières conventionnelles : les chiffres. *L'écho du CEDAPA*, janvier-février 2011.
- Goulet F., 2012. La notion d'intensification écologique et son succès auprès d'un certain monde agricole français : une radiographie critique. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 62, 19-29.
- Hedde M., 2006. *Étude de la relation entre la diversité des macro-invertébrés et la dynamique de la matière organique des sols limoneux de haute Normandie*. Thèse de doctorat, université de Rouen.
- Hocquette J.F., Mainsant P., Daudin J.D., Cassar-Malek I., Remond D., Doreau M., Sans P., Bauchart D., Agabriel J., Verbeke W., Picard B., 2013. La viande du futur sera-t-elle produite in vitro ? soumis à *Productions Animales*.
- INRA, 2007. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Éditions Quae, Versailles.
- INRA Magazine, 2012. Dossier « Controverse science/société », 23.
- Jarrige R., 1979. Place of herbivores in the agricultural ecosystems, in : Ruckebusch Y., Thivend P., Eds., *Digestive physiology and metabolism in ruminants. Proceedings of the Vth International Symposium on Ruminant Physiology*, Clermont-Ferrand, 3-7 septembre 1979, 763-840. Avi Publishing, Westport, Connecticut.
- Journet M., 1996. Extensification chez les herbivores. *Bulletin technique d'information*, juin 1996.
- Journet M., 1999. *Compte-rendu de voyage en Nouvelle-Zélande. Les systèmes d'élevage néo-zélandais*. INRA Saint-Gilles, 40 p.
- Journet M., 2003. Des systèmes herbagers économes : une alternative aux systèmes intensifs bretons. *Fourrages*, 173, 63-88.
- Laporte R., Mainsant P., 2012. *La viande voit rouge*. Fayard, Paris.
- Lardy R., Martin R., Drouet J.L., Fiorelli J.L., Blanfort V., Capitaine M., Duret S., Gagrielle B., Cellier P., Soussana J.F., 2010. PaSim dans FarSim ou de la modélisation des gaz à effet de serre de la parcelle à l'exploitation. *Rencontres Recherches Ruminants*, 17, 359.
- Le Gall A., Beguin E., Dolle J.B., Manneville V., Pflimlin A., 2009. Nouveaux compromis techniques pour concilier les impératifs d'efficacité économique et environnementale des systèmes d'élevage herbivore. *Journées AFPP, Des fourrages de qualité pour des élevages performants*, 25-26 mars 2009.

- Lemaire G., 2005. Challenges for grassland science: managing research priorities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108, 99-108.
- Liénard G., Bébin M., Lherm M., Veysset P., 1998. Évolution des systèmes de récolte et d'élevage en exploitations de bovins allaitants. Cas du Charolais. *Fourrages*, 155, 305-317.
- Liénard G., Lherm M., Pizaine M.C., Le Maréchal B., Boussange B., Barley D., Estève P., Bouchy R., 2002. Productivité de trois races bovines françaises, Limousines, Charolaises et Salers. Bilan de dix ans d'observations en exploitations. *Productions animales*, 15, 293-312.
- Martin A. (coord.), 2007. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3^e édition. AFSSA-Tec et Doc Lavoisier, Paris, 612 p.
- Martin C., Morgavi D., Doreau M., Jouany J.P., 2006. Comment réduire la production de méthane chez les ruminants ? *Journées AFPF, Prairies, élevage, consommation d'énergie et gaz à effet de serre*, 27-28 mars 2006, <http://www.afpf-asso.fr/index/action/page/id/22/title/Les-actes-des-Journees-professionnelles/acte/15>
- Mimault C., Bonnes A., 2012. Changement de système fourrager en élevage caprin: du maïs ensilage au pâturage. *Fourrages*, 212, 275- 278.
- Peyraud J.L., Delaby L., Dourmad J.Y., Faverdin P., Morvan T., Vertes F., 2012. Les systèmes de polyculture-élevage pour valoriser l'azote. Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants. Carrefours de l'innovation agronomique. Poitiers, 24 octobre 2012, <http://www7.inra.fr/ciag>
- Picard B., 2012. Relationship between muscle fibers, growth efficiency and beef quality. In proceedings of the 8th SIM-CORTE, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Picq P., 1994. *L'homme et la vache, une histoire de trois millions d'années*. Rencontre avec le Centre d'information des viandes. CIV, Paris.
- Pfimplin A., 2010. Europe Laitière. *Valoriser tous les territoires pour construire l'avenir*. Editions France Agricole, Paris.
- Pochon A., 1979. *La prairie temporaire à base de trèfle blanc*. CEDAPA, Plérin.
- Poly J., 1977. Pour une agriculture plus économe et plus autonome. *Revue des chambres d'agriculture*, 644.
- Raison C., Chambault H., Le Gall A., Pfimplin A., 2008. Impact du système fourrager sur la qualité des eaux. Enseignements issus du projet Green Dairy. *Fourrages*, 193, 3-18.
- Raymond M., 2008. *Cro-Magnon toi-même ! Petit guide darwinien de la vie quotidienne*. Le Seuil, Paris, 256p.
- Rémond B., Kerouanton J., Brocard V., 1997. Effets de la réduction de la durée de la période sèche ou de son omission sur les performances des vaches laitières. *Productions animales*, 10, 301-315.
- Rémond B., Pomies D., 2005. Once daily milking of dairy cows: a review of recent French experiments. *Animal Research*, 54, 427-442.
- Rémond D., Peyron M.A., Savary-Auzeloux L., 2010. Viande et nutrition protéique in : Bauchart D., Picard B., coords. *Muscle et viande de ruminant*, chap. 19, Quae, Versailles, 255-266.
- Soussana J.F., Loiseau P., Vuichard N., Ceschia E., Balesdent J., Chevaillier T., Arrouays D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil use and management*, 20, 219-230.
- Soussana J.F., Laville C., Hénault C., Allard V., Fiorelli J.L., Cellier P., 2006. Bilans de gaz à effet de serre en prairies et cultures. Méthodologies et résultats. *Fourrages*, 186, 193-203.
- Tirel J.C., 1981. Coût énergétique accru de la filière lait, in : Jarrige R., Tirel J.C. coords., *La production laitière française. Évolution récente et perspectives*, Centre de recherches zootechniques et vétérinaires de Theix, Versailles, 395-405.
- Tirel J.C., 1989. Extensification ? Intensification ? Quelle productivité pour l'agriculture ? *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture française*, 75, 2, 19-36.
- Tome D., 2011. Place de la viande dans les discours de santé. AFZ, Journées de printemps 2011, 12 janvier 2011, AgroParisTech, Paris, <http://zootechnie.fr/fr/journees-detude/printemps-2011.html>
- Toussaint J.F., Swynghedauw B., Boeuf G., 2012. *L'homme peut-il s'adapter à lui-même ?* Éditions Quae, Versailles, 188 p.
- Veysset P., Bébin D., Lherm M., 2007. Impact de la sécheresse sur les résultats technico-économiques en élevage bovin allaitant charolais. *Fourrages*, 191, 311-322.
- Vigne J.D., 2006. Alimentation préhistorique: l'état de la science, Observatoire CNIEL des habitudes alimentaires, OCHA, http://www.lemangeur-ocha.com/wp-content/uploads/2012/05/JD_Vigne_Alimentation_pr_historique.pdf