

NUMÉRO SPECIAL

La vache et le lait

Avant-propos

Le lait n'est pas tout à fait un aliment comme les autres puisqu'il est aussi produit par l'Homme. Cet aliment est indispensable à l'alimentation de l'enfant, car sa richesse nutritionnelle combinée à sa forme liquide en font une ration « tout en un » du jeune pendant ses premières semaines de vie. L'homme a très tôt domestiqué d'autres mammifères pour produire cet aliment nécessaire pour le jeune et l'a aussi intégré dans l'alimentation de l'adulte sous forme native ou après transformation. De fait, le lait est un des rares produits animaux avec l'œuf qui est produit régulièrement et qu'il est possible d'obtenir sans tuer l'animal. Sa production fait pleinement partie de la fonction de reproduction et son prélèvement doit être géré pour ne pas handicaper le développement du jeune animal qui est également un élément d'avenir dans l'élevage.

Les vaches laitières ont longtemps bénéficié de noms très personnalisés, voire de prénoms, jusqu'à ce que la traçabilité ne vienne proposer des identifiants plus proches du matricule de la sécurité sociale que des petits noms affectueux utilisés jusqu'alors. La traite est un moment particulier où l'éleveur se substitue au jeune pour prélever le lait plusieurs fois par jour. Tout ceci fait traditionnellement de l'élevage laitier un élevage qui associe étroitement l'homme et l'animal.

Au commencement de la domestication et pendant longtemps, le principal défaut du lait a résidé dans sa faible aptitude à la conservation, nécessitant une consommation plutôt locale, le temps entre production et consommation devant rester le plus court possible. De fait, le développement de sa consommation dans les villes est récent et ne s'est pas fait sans quelques soucis (Fanica 2008). Bien entendu, les évolutions de l'industrie laitière et des transports ont permis de franchir ce double cap de la conservation et des distances, faisant en quelques décennies d'un produit local du peuple d'un terroir, riche d'identité, d'histoire et de culture (Faye *et al* 2010), un produit générique du commerce mondial qui s'échange entre continents suivant les règles de l'organisation mondiale du commerce et dont la demande augmente régulièrement. Ce passage du local au mondial ne s'effectue pas sans des changements radicaux des modes de production et de l'organisation des filières, avec des conséquences parfois importantes sur les territoires.

La production de lait en France, pays traditionnel d'élevage bovin laitier, illustre parfaitement cette évolution et se trouve aujourd'hui à une période charnière. Riche d'une grande diversité de terroirs et de produits, la production française présente un profil original dont on ne sait pas aujourd'hui si c'est une force ou une faiblesse dans cette évolution. Depuis 1984, le système des quotas laitiers liés à la terre et non commercialisables en France a ralenti, comparativement aux pays voisins, l'évolution vers une spécialisation et une intensification des systèmes de production laitiers, mais il disparaîtra en 2015. Le contexte économique des prix des matières premières et du prix du lait devient beaucoup plus instable que par le passé. Le métier d'éleveur laitier, avec sa complexité, sa charge de travail importante, ses contraintes et la diminution de sa rémunération, devient moins attractif. La

nécessaire prise en compte de l'impact de l'élevage sur l'environnement et plus globalement de la durabilité, constitue un nouveau défi qui est souvent vécu comme une contrainte supplémentaire. Cependant, les connaissances scientifiques et technologiques ont beaucoup progressé et offrent de nouveaux outils à l'élevage laitier pour construire une trajectoire originale dans cette évolution.

Ce numéro spécial d'*INRA Productions Animales* se propose donc en quelques articles de faire un état des lieux des connaissances concernant la production laitière, ainsi que des nouveaux défis et des nouveaux outils qui s'offrent à la filière pour construire son avenir. Ce panorama n'est volontairement pas exhaustif et traitera prioritairement des vaches laitières avec cependant, lorsqu'il est apparu nécessaire, quelques exemples tirés de travaux réalisés chez les caprins. De même, il ne s'agit pas ici d'aborder la transformation du lait et les évolutions des nombreux produits transformés. Mais nous avons cherché à présenter un point sur un certain nombre de sujets en mettant en avant les avancées récentes et les défis scientifiques, techniques, économiques et organisationnels qui concernent la production laitière, en quatre grandes parties. La première plantera tout d'abord le décor du secteur laitier français. La deuxième présentera les nouvelles avancées des travaux sur la femelle laitière, la lactation et le lait. La troisième analysera les différents leviers que constituent la sélection génétique, la gestion de la santé, l'alimentation et la traite, pour mieux maîtriser la production de lait en élevage. Enfin, la dernière partie abordera des questions plus spécifiques concernant les systèmes d'élevage et leur futur.

Le premier article de V. Chatellier *et al* fournit une analyse à la fois du bilan et des perspectives du secteur laitier français. Après une analyse du marché des produits laitiers au travers de la demande et de l'offre et des grandes stratégies des acteurs de la filière, cet article présente les spécificités françaises des exploitations laitières liées en particulier à la diversité des systèmes de production et des territoires. Cette double diversité se traduit également dans les écarts de productivité et des résultats économiques des exploitations dont la main-d'œuvre reste majoritairement familiale, avec la question de son renouvellement qui se pose différemment selon les territoires. Enfin, à l'aune des changements importants de contexte qui se préparent avec la fin des quotas et les nouvelles relations qui se mettent en place entre producteurs et transformateurs, les auteurs étudient les différents scénarios qui en découlent et qui conduiront à l'écriture du futur du secteur laitier français dans les territoires et le marché mondial.

La série d'articles sur l'animal et le lait débute par une approche systémique de l'animal laitier. La vache laitière est d'abord perçue au travers de sa fonction de production, et les modèles de prévision de la lactation se sont longtemps focalisés sur cette seule fonction. La notion d'animaux plus robustes et d'élevages plus durables (cf. Dossier « Robustesse... », Sauvant et Perez 2010) amène à revisiter cet angle d'approche pour l'élargir à ensemble des fonctions physiologiques en prenant mieux en compte les interactions entre les génotypes animaux et leurs environnements. La modélisation aborde cette complexité de deux façons contrastées, l'une plutôt ascendante en partant des mécanismes élémentaires et en les agrégeant, l'autre plutôt descendante, en partant de grandes propriétés émergentes des principales fonctions et de leurs interactions, voire de leur compétition dans l'accès aux ressources nutritionnelles. La revue de Friggens *et al* aborde ainsi la question de la dynamique de partition des nutriments entre fonction physiologiques chez les vaches laitières en fonction du génotype en présentant plusieurs approches de modélisation. Cette revue s'attache à montrer l'intérêt de partir des propriétés émergentes pour arriver à modéliser les réponses complexes (production, reproduction, composition du lait, état corporel...) d'une vache soumise à différentes conduites d'élevage au cours de sa carrière. Les outils de demain qui permettront d'optimiser la conduite d'élevage face aux aléas économiques et climatiques dépendront de l'avancée de ces modèles et des connaissances scientifiques qui les sous-tendent.

La fonction de lactation est la conséquence de nombreux mécanismes à l'échelle de l'animal, tout particulièrement au niveau de la glande mammaire. Le développement et le fonctionnement de cet organe caractérisé par sa cyclicité ont fait l'objet de nombreux travaux à l'Inra et dans de nombreuses équipes de recherches internationales. Il ne s'agissait pas ici de relater l'ensemble de ces travaux mais de consacrer un article aux dernières connaissances acquises sur les mécanismes de biosynthèse et de sécrétion des constituants du lait. L'article de Leroux *et al* présente les travaux sur la régulation de l'expression génique dans la glande mammaire avec un intérêt particulier pour les données acquises avec les nouveaux outils d'études globales de génomique expressionnelle. Ceux-ci apportent de nouvelles connaissances sur les effets des facteurs génétiques sur la biosynthèse et la sécrétion du lait, sur leur régulation nutritionnelle et sur l'interaction de ces facteurs. Ce dernier point constitue un champ d'investigation supplémentaire pour décrypter les secrets du fonctionnement mammaire avec notamment l'intervention de nouveaux acteurs que sont les petits ARN non codants (ou microARN) qui vient encore accroître la complexité du fonctionnement mammaire dans son rôle prépondérant lors de la lactation.

Après avoir fait cet état des lieux des connaissances sur la biosynthèse et la sécrétion des constituants du lait au niveau de la glande mammaire, l'article de Léonil *et al* présente la complexité des fractions protéique et lipidique du lait et de leur assemblage en structures supramoléculaires. Ces structures finales sont sous la dépendance de la nature et de la variabilité des constituants, elles-mêmes dues aux polymorphismes des gènes responsables de leur synthèse. Ainsi, les auteurs font un état des lieux des connaissances sur la structure et le polymorphisme des gènes spécifiant les protéines coagulables du lait que sont les caséines pour arriver à l'organisation de ces dernières en micelles. Le rôle nutritionnel de ces protéines majeures du lait et leur fonction biologique sont revisités à la lumière des connaissances croissantes sur les peptides bioactifs qu'elles contiennent. La fraction lipidique n'est pas en reste avec la présentation de sa complexité et de son organisation sous forme de globule gras ainsi que de son impact nutritionnel sur le consommateur. Enfin, la découverte récente, dans le lait, de petites particules (ou exosomes) véhiculant des protéines et des ARN ouvre de nouvelles voies d'investigation de l'impact du lait sur la santé du consommateur.

La série d'articles consacrée aux leviers d'action dont disposent les éleveurs pour moduler la production laitière ainsi que la composition du lait débute par l'article de Brochard *et al*, qui retrace l'impact de la sélection génétique pour arriver aux apports de la sélection génomique des races bovines laitières. Un bref historique de la sélection génétique présente les progrès réalisés sur les caractères de production laitière mais aussi sur des caractères de robustesse (fertilité, mammites...) et permet ainsi de dresser le décor génétique des élevages français. L'avènement des outils de génomique grâce au séquençage du génome bovin a conduit à renouveler les perspectives de sélection des bovins laitiers (cf. Numéro spécial, « *Amélioration génétique* », Mulsant *et al* 2011). La présentation brève de ces outils permet de mieux appréhender les retombées attendues. Les opportunités offertes par la sélection génomique sur les caractères laitiers *sensu stricto* se complètent et permettent également de proposer une sélection sur de nouveaux caractères. En effet, la prise en compte progressive d'autres caractères oriente la sélection vers une complexité accrue notamment grâce à l'établissement de nouvelles mesures phénotypiques. L'évolution vers une meilleure robustesse, une efficacité alimentaire optimisée mais aussi une empreinte environnementale réduite, sera d'autant plus envisageable que la sélection pourra s'appuyer sur des capacités de phénotypage de plus en plus fin et à grande échelle.

Un autre facteur prépondérant dans l'élevage laitier concerne la gestion de la santé animale qui affecte, notamment, la durabilité des élevages sous l'angle socio-économique. Cette gestion complexe

doit prendre en compte de nombreux paramètres tel que le nombre des traitements nécessaires, le temps passé, les pertes économiques directes à court et long terme, etc. Les infections ne touchent pas toutes directement la glande mammaire, mais en affectant l'animal, elles impactent la lactation, l'efficacité de production du troupeau et donc l'élevage. L'article de Seegers *et al* passe en revue sept maladies majeures classées en trois groupes affectant les bovins laitiers. Il présente les connaissances récentes acquises sur ces maladies et les perspectives qu'elles ouvrent pour mieux les maîtriser. Ces maladies ont bien souvent un impact économique fort sur les élevages et/ou sont transmissibles à l'Homme constituant ainsi des questionnements de recherche forts et pour lesquels les moyens d'actions sont aussi multiples que variés. De plus, les attentes sociétales visent à diminuer, autant que faire se peut, les intrants médicamenteux.

L'alimentation est un levier de maîtrise de la production et de la composition du lait qui présente l'avantage d'avoir des effets rapides et réversibles. Bien que ce levier puisse également moduler la composition protéique du lait, l'impact prépondérant de l'alimentation sur la composition en acides gras du lait, dans le but de fournir aux consommateurs une qualité nutritionnelle du lait la plus favorable possible, a été mis en exergue par de nombreuses études. La détermination de la composition en acides gras des laits est de plus en plus précise, notamment du fait des nouvelles techniques qui permettent une meilleure caractérisation de ces profils. Outre l'impact de l'alimentation, les effets des apports nutritionnels chez le ruminant sur les teneurs en composés vitaminiques du lait sont également à prendre en compte dans la perspective de l'utilisation du lait comme source complémentaire naturelle de vitamines chez les sujets présentant une efficacité d'absorption réduite (tel que les jeunes ou à l'inverse les personnes âgées). L'article de Ferlay *et al* recense les principaux facteurs alimentaires (nature de la ration de base, supplémentation oléagineuse, différents types de suppléments lipidiques et leurs interactions) influençant la composition en acides gras et en vitamines du lait de vache.

Enfin, la traite constitue un outil supplémentaire de pilotage des troupeaux en termes de production laitière mais aussi de qualité sanitaire, technologique et nutritionnelle du lait. De plus, une meilleure connaissance des effets des différentes pratiques de traite est cruciale dans le contexte actuel de gestion du travail dans les exploitations laitières (cf. Numéro spécial, « *Travail en élevage* », Hostiou *et al* 2012). Les moyens mis en œuvre se situent à différents niveaux allant de la fréquence de traite aux systèmes de stockage des laits en passant par les réglages possibles ou les types de machines à traire. L'article de Guinard-Flament *et al* fait le point des connaissances actuelles sur les effets et les conséquences de modifications de la conduite des animaux à la traite. Il présente les effets de la fréquence de traite sur le niveau de production laitière et sur la composition du lait. Le contexte de la traite, avec les effets mécaniques de la machine à traire et celui du système de stockage, est également présenté dans ses multiples facettes pour souligner leur rôle prépondérant sur la qualité microbienne des laits. La conduite des vaches à la traite est également un moyen de gestion de la carrière d'une vache laitière à travers le pilotage de certaines phases du cycle de production (effets sur la reproduction et sur la durée de la lactation et leurs conséquences sur la santé de l'animal...).

La dimension des systèmes d'élevage est dominée ces dernières années par la question environnementale, notamment depuis la parution du rapport de la FAO « *Livestock's long shadow* » (Steinfeld *et al* 2006). L'élevage laitier, très consommateur de ressources de qualité, est concerné au premier rang par ce défi environnemental. Mais ces enjeux, peu perceptibles à l'échelle de l'élevage pourtant à l'origine de ces risques, sont difficiles à intégrer dans les objectifs des systèmes de production. L'article de Dollé *et al* sur les impacts environnementaux des systèmes bovins laitiers français

apporte de nombreux éléments quantifiés sur les émissions des éléments à risque pour l'environnement par les élevages laitiers. Ces risques concernent bien entendu la qualité de l'eau, notamment *via* les excréments d'azote et de phosphore, ce qui est connu depuis longtemps avec leurs impacts sur l'eutrophisation des cours d'eau et des côtes. Les risques liés à la qualité de l'air ont été pris en compte beaucoup plus récemment et concernent principalement les émissions d'ammoniac pouvant affecter la santé humaine et des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique (cf. Dossier, « *Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane* », Doreau *et al* 2011). Ensuite, l'article aborde la question de la biodiversité, auxiliaire de l'agriculture et des paysages, où l'élevage joue un rôle central au sein des territoires agricoles. L'article aborde pour finir la question de la quantification de ces impacts afin d'améliorer objectivement les performances environnementales des élevages et montre que performances environnementales et économiques en élevage laitier ne sont pas antinomiques.

En guise de conclusion de ce numéro, J.L. Peyraud et K. Duhem se sont prêtés à un exercice d'analyse prospective des élevages laitiers et du lait de demain en reprenant certains des constats de l'article introductif, notamment sur la diversité des systèmes et des territoires, la restructuration rapide de la filière et la reconstruction du métier d'éleveur. La filière devra demain affronter la tension entre l'amélioration de la compétitivité et celle de la durabilité de l'élevage en tirant profit des innovations. La meilleure prise en compte des qualités nutritionnelles des produits et de l'évolution des demandes tout en améliorant l'intégration de l'élevage au sein des territoires constitue un double défi pour résoudre cette tension. L'analyse des auteurs prône cependant un maintien de la diversité et la complémentarité des systèmes dans une diversité de territoires pour mieux répondre aux enjeux de la société et des éleveurs.

Ce numéro spécial montre combien la filière laitière est aujourd'hui plus que jamais à la croisée des chemins avec des défis économiques et sociétaux difficiles à relever dans un climat de plus en plus incertain. Entre diversité d'une part, et spécialisation et standardisation d'autre part, le chemin de la filière française reste complexe à définir. Les nombreuses évolutions des connaissances scientifiques permettent de disposer à court ou moyen terme de nouveaux outils pour relever ces défis. La sélection génomique pour disposer des animaux les plus adaptés à leur système, les modèles de prévision pour anticiper les aléas et leurs conséquences, les outils d'évaluation environnementale pour maîtriser les risques, les outils de monitoring et d'information des troupeaux d'élevage pour améliorer les conditions de travail et l'efficacité des troupeaux, les possibilités de piloter la qualité des produits par les conduites d'élevage et en particulier l'alimentation, une meilleure connaissance des mécanismes de régulation de la lactation, la découverte de la richesse des constituants du lait et de leurs propriétés nutritionnelles et fonctionnelles sont autant d'atouts pour la filière pour affronter ces défis. A travers les articles de ce numéro, nous avons voulu illustrer quelques un de ces défis et des perspectives offertes par la recherche. L'enjeu sera de les mobiliser à bon escient dans le cadre de stratégies cohérentes. Cela nécessitera la collaboration de tous les acteurs de la recherche, de la formation, du développement et de la filière. A leur niveau, les articles de ce numéro, par les nombreuses signatures communes entre chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs de recherche-développement, témoignent de la vitalité des unités mixtes de recherche et des unités mixtes thématiques impliquées dans l'élevage laitier. De même, bon nombre de travaux relatés dans les articles de ce numéro sont le fruit de programmes de recherche co-financés et menés en collaboration étroite entre la recherche, les instituts technique et la filière. Nous y voyons un fort signe positif pour l'avenir de l'élevage laitier en France.

Cet avant-propos ne saurait s'achever sans remercier René Baumont et le comité de rédaction d'Inra Productions Animales pour l'initiative judicieuse de ce numéro spécial, mais aussi pour nous avoir aidés à mener à bien ce projet comprenant de nombreux auteurs, qui ont bien voulu se prêter à l'exercice difficile de la rédaction d'un article de synthèse qui conjugue la rigueur de l'information scientifique avec l'exigence de la rendre accessible à un large public. Ce numéro doit beaucoup aussi aux relectures constructives de nombreux collègues que nous remercions ici anonymement. Enfin, cet ouvrage doit aussi sa qualité à un travail remarquable d'édition technique assuré par Pascale Béraud que nous associons à ces remerciements. Nous avons eu la primeur de ces articles et nous espérons que vous partagerez l'intérêt que nous avons eu à leur lecture à la fois instructive, enrichissante et propice à nourrir notre réflexion pour le futur de la recherche-développement dans le domaine de l'élevage bovin laitier.

Philippe FAVERDIN, Christine LEROUX

Références

Doreau M., Baumont R., Perez J.M., (Eds) 2011. Dossier, Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane. INRA Prod. Anim., 24, 411-474.

Fanica P.O., 2008. Le lait, la vache et le citoyen. Du XVIIe au XXe siècle. Editions Quae, Paris, France, 520p.

Faye B., Bonnet P., Corniaux C., Duteurtre G., 2010. Peuples du lait. Editions Quae, Paris France, 160p.

Hostiou N., Dedieu B., Baumont R., (Eds) 2012. Numéro spécial, Travail en élevage. INRA Prod. Anim., 25, 83-220.

Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M., (Eds) 2011. Numéro spécial, Amélioration génétique. INRA Prod. Anim., 24, 283-404.

Sauvant D., Perez J.M., (Eds) 2010. Dossier, Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité, résilience... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage. INRA Prod. Anim., 23, 1-102.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 414p.