élevage et pâturage « de précision » : l'animal sous surveillance électronique

Michel Meuret[1], Muriel Tichit[2], Nathalie Hostiou[3]

[1] INRA, UMR 0868 Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 1
[2] INRA, UMR 1048 SAD-APT, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05
[3] INRA, UMR 1273 Mutations des activités, des espaces et des formes d'organisation dans les territoires ruraux (Métafort), VetAgro Sup, campus agronomique de Clermont, 89 avenue de l'Europe, BP 35, 63370 Lempdes

meuret@supagro.inra.fr, muriel.tichit@agroparistech.fr, nhostiou@clermont.inra.fr

Dans les laboratoires et les étables d'Europe du Nord est apparu il y a une quinzaine d'années le concept d'« élevage de précision ». Attendu aujourd'hui en de nombreux pays, ou déjà mis en pratique, il est décrit comme une révolution décisive pour l'élevage. Les travaux scientifiques qui y sont consacrés sont nombreux et foisonnants, mais avec un certain manque de recul dans le cadre des partenariats avec des équipementiers. Dans la foulée, le « pâturage de précision a aussi fait son entrée. Nous avons tenté d'en faire le tour, en remontant aux origines de l'« agriculture de précision », il y a trente ans en grandes cultures. Les systèmes de capteurs automatisés, la transmission des informations par satellite, ainsi que les systèmes informatisés de diagnostics et d'alertes, assureront-ils prochainement la surveillance du bétail en lieu et place des éleveurs qui « n'ont plus de temps d'observer leurs vaches » ? Mais de quelle « précision » s'agit-il, à quelle échelle, et pour quelles conditions ? C'est ce que nous abordons ici[1].

L'« agriculture de précision » pour les grandes cultures de maïs, de betterave et de soja

Le concept de *« precision agriculture »,* ou « agriculture de précision », a vu le jour en 1985 à l'université du Minnesota, l'un des États des grandes plaines du Midwest aux États-Unis. Depuis le milieu des années 1970, des chercheurs en science du sol y développaient le concept précurseur du « farming by soil », revendiqué comme une nouvelle approche de l'agriculture, où les espaces à cultiver sont reconnus et gérés dans leur diversité intra-parcellaire (relief, sols, etc.) et non plus ramenés à de grands ensembles supposés homogènes (Robert, 1993).

Leurs travaux ont pris de l'ampleur du fait de quatre innovations technologiques : les GPS *(global positioning systems)* pour la localisation de multiples échantillons de sol ; les SIG (systèmes d'information géographique) pour les cartographies de la variabilité intra-parcellaire des rendements ; la miniaturisation des ordinateurs ; les capteurs embarqués sur engins agricoles. Sur des parcelles de plusieurs centaines d'hectares de maïs, de betterave ou de soja, leur premier objectif fut de diminuer le coût des interventions culturales en les optimisant à l'échelle intra-parcellaire à l'aide du guidage par GPS.

Une dizaine d'années plus tard, l'« agriculture de précision » a trouvé une deuxième source de légitimité : elle constituait une réponse aux critiques sur les pollutions (engrais, phytosanitaires) et

1. Nous prévoyons, dans un second article, de considérer les perspectives de cette technicisation en relation avec les capacités de décision et d'innovation des éleveurs, ainsi qu'avec le sens de leur travail et, plus largement, de leur métier (voir le prochain *Courrier de l'environnement de l'INRA*).

les gaspillages (eau, énergies fossiles). Cette convergence d'intérêts a donné lieu à l'une des multiples définitions génériques de l'« agriculture de précision », dont celle-ci : « une agriculture qui augmente le nombre de décisions correctes par unité d'espace et de temps, avec les bénéfices nets associés » (McBratney *et al.,* 2005).

Aux États-Unis, le succès fut-il rapide et complet ? Pas vraiment, car malgré les investissements et la promotion faits par des agro-industriels associés à des développeurs de NTICs (nouvelles technologies de l'information et de la communication), seuls 9 % des cultivateurs de maïs, les plus « gros », ceux détenant au total 20 % des surfaces, avaient adopté l'« agriculture de précision » en 1996 (Robert, 1999). De fréquents dysfonctionnements des équipements, dont aucune des pièces n'était compatible avec celles des concurrents, de même que des bugs de logiciels, constituaient un des freins pour les adopter. Mais le frein principal était que les pionniers, confrontés à une multitude de nouveaux outils, n'avaient que trop peu accès aux formations dispensées par les supports techniques, certaines étant proposées par des consultants privés et d'autres se limitant à expliquer l'usage des GPS et des SIG (Brass, 2005). Des cartes de variabilité intra-parcellaire du rendement furent produites en masse, mais sans que les agriculteurs soient en mesure d'interpréter leur richesse d'information. En 1999, une enquête nationale conclut que la promotion des nouveaux outils avait délaissé la question du besoin en nouvelles connaissances, formations et compétences agronomiques, notamment celles permettant de faire évoluer les règles de prise d'information et de gestion dans les exploitations, lorsqu'est considérée l'échelle intra-parcellaire.

Il y a dix ans, le processus de diffusion de l'« agriculture de précision » en grandes cultures atteignit un plateau aux États-Unis, avec 6 millions d'hectares cartographiés pour des capteurs de rendement pilotés par GPS. Les nouveaux utilisateurs demandaient : « Que faire avec toutes ces données ? », et n'obtenaient en guise de réponse que : « Attendez d'avoir quatre ou cinq ans de données de rendement » (Brass, 2005). Ils avaient alors le sentiment d'un retour trop lent et incertain sur investissements, malgré le « joli matériel » acquis et l'accumulation des cartes. Ces dernières années, réflexions stratégiques et avancées technologiques aidant, l'offre en « agriculture de précision » s'est beaucoup transformée. Elle met à disposition une palette d'outils « à la carte », des logiciels plus conviviaux, des équipements sans fils compatibles entres marques, le tout non nécessairement indispensable pour débuter. Surtout, les formations procèdent à présent d'une approche plus globale à partir du concept de *« precision farming »*.

En Europe, la Grande Bretagne adopta l'« agriculture de précision » en premier, suivie en 1997-1998 par l'Allemagne et la France. Comme le suggérait déjà Bonny (1994), ce sont les règlementations européennes du début des années 1990 concernant les nuisances de l'agriculture envers l'environnement qui lui ont ouvert la voie. Dès cette époque, plusieurs programmes de recherche inter-organismes ont traité en France de la modulation intra-parcellaire de la fertilisation azotée et des épandages phytosanitaires, sans oublier la production de cartes de variabilité des rendements en céréales (Zwaenepoel et Le Bars, 1997). Le Salon international du machinisme agricole (SIMA) fut utilisé comme arène d'information et de promotion. Une conférence-débat sur l'« agriculture de précision » y a été organisée en 1999 par l'INRA, le CEMAGREF et l'ITCF (INRA, 1999).

De même qu'aux États-Unis, ces organismes français de recherche ont pointé dès le départ la limite que constituait la carence des connaissances agronomiques et économiques sur les modes de gestion intra-parcellaire. Le paradigme de l'homogénéité des parcelles avait trouvé chez nous pleine justification en raison des découpes du foncier agricole en parcelles de tailles parfois très réduites, certaines tenant compte de la viabilité des sols et du relief. Toutefois, suite aux remembrements avec agrandissement des parcelles, la diversité intra-parcellaire devenait une question prégnante. Les capacités d'expertise « au coup d'œil » des anciens, modulant leurs interventions sur des lieux bien connus, s'était perdue au fil des générations et aussi du fait du recours croissant aux entreprises de travaux agricoles.

Les estimations du nombre actuel de cultivateurs ayant adopté l'« agriculture de précision » en France varient beaucoup. La fiabilité des chiffres peut être aussi mise en question, comme c'est souvent le cas avec des innovations à forts enjeux commerciaux et promues dans les médias spécialisés.

L'auto-guidage des engins par GPS est à lui seul l'objet d'un engouement : il était utilisé en 2010 chez plus de 30% des moyennes et grandes exploitations de grandes cultures (Agreste, 2012). Des enquêtes en ligne à but non promotionnel nous permettent d'estimer que seuls 5 à 10% des exploitants spécialisés en grandes cultures en France auraient adopté l'« agriculture de précision ». Le manque d'accompagnement technique pour l'aide à la décision demeure le frein le plus fréquemment cité dans ces enquêtes, suivi du sentiment d'un retour trop lent sur investissements, ce qui valide le conseil de « prudence dans les investissements » donné il y a déjà 14 ans par l'ITCF (Thévenet et Boisgontier, 1999).

L'« agriculture de précision » a reçu un meilleur accueil en Argentine, puis au Brésil. Depuis le milieu des années 1990, son implémentation fut coordonnée par les organismes nationaux de R&D en agriculture : INTA (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria) en Argentine et EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) au Brésil. Le terrain y était favorable : de très grandes exploitations, une agriculture industrialisée à partir de capitaux conséquents et visant l'exportation, de sérieuses compétences en matière de formations agricoles en réseau et de diffusions des innovations. Au Brésil, il s'agissait aussi de répondre plus explicitement aux critiques visant les effets néfastes de l'agriculture industrielle sur les ressources naturelles. Le réseau national brésilien de recherche en « agriculture de précision » recense actuellement douze productions végétales concernées : soja, maïs, blé, riz, canne à sucre, coton, eucalyptus, pin, vigne, pêche, orange et prairie semée (Inamasu *et al.,* 2011).

L'« élevage de précision » : plus le temps aujourd'hui d'observer les vaches !

Le concept de *« precision livestock farming »* (PLF), ou « élevage de précision », est environ de dix ans plus récent que l'« agriculture de précision » en grandes cultures. Il a été conçu en Europe : Grande-Bretagne (Siloe Research Institute) et Belgique (Katholieke Universiteit Leuven), puis rapidement adopté en Allemagne, au Danemark, aux Pays-Bas et en Finlande, donc toujours en Europe du Nord, suivie d'Israël (Smith et Lehr, 2011). En 2002, avec l'appui de chercheurs anglais et belges, il a été exporté en Australie, et plus récemment en Amérique du Nord, en Asie, au Brésil et en Afrique du Sud. Ce sont encore aujourd'hui les Actes de la Conférence européenne en élevage de précision qui constituent « la Bible » de la communauté internationale de chercheurs et développeurs en « élevage de précision ».

Pour ce qui est des paradigmes et rationalités de départ, l'« élevage de précision » a assez largement hérité de l'« agriculture de précision », mais dans un contexte toutefois différent : c'était l'occasion de donner un sens global et plus intégré à la kyrielle d'automatismes déjà en usage (Frost *et al.,* 1997). Ont d'abord été concernés les élevages industriels de poules et de cochons, puis ceux de vaches et chèvres laitières à haut rendement et donc, *a priori,* à forte valeur ajoutée et bonnes capacités d'investissement. Un exemple typique est le distributeur automatique d'aliments concentrés (DAC) pour des animaux laitiers identifiés individuellement par collier électronique, une technologie datant en France de la fin des années 1970. Un second exemple est le robot de traite (Lind *et al.,* 2000), commercialisé depuis 1998 en France.

Selon Berckmans, l'un de ses initiateurs belges, l'« élevage de précision » trouve sa rationalité dans le fait que « par le passé, l'éleveur avait le temps d'observer chacun de ses animaux et d'utiliser ses indicateurs personnels afin de repérer les anomalies et changements. Mais aujourd'hui, la taille des élevages a beaucoup augmenté, de même que les effectifs d'animaux par exploitation. Il y a plus de problèmes sanitaires et liés au bien-être animal et l'éleveur n'a plus de temps à consacrer à des observations visuelles et auditives ». L'auteur illustre ses propos par deux photos : l'une d' un éleveur âgé et fumant la pipe, appuyé sur une barrière en bois, qui observe quelques vaches, poules et cochons, tous en plein air ; l'autre d'un jeune éleveur face à un écran d'ordinateur, avec derrière la vitre une série de bâtiments neufs d'élevage ainsi que de gros silos à aliments du bétail (Berckmans, 2009).

Une vache, une chèvre ou un cochon ne sont apparemment pas assimilables à un secteur de parcelle de maïs ou de betteraves, mais le constat de départ est proche : augmentation importante des effectifs dans les troupeaux, afin de compenser la diminution du prix des produits, de diluer les charges fixes d'exploitation ; moins de travailleurs par troupeau, en pays industrialisés où le coût du travail est important ; moins de temps à consacrer aux observations de chaque individu, à fins d'autodiagnostic et d'alerte en cas de changement d'état et/ou de dysfonctionnement. Ce à quoi il faut ajouter un faisceau de nouvelles conditions pour l'élevage, dont : réduire les atteintes à l'environnement ; satisfaire aux conditions de « bien-être animal » ; prévenir le risque d'épizooties par identification individuelle et contrôle des déplacements d'animaux.

Après une succession d'alertes pandémiques, ayant notamment révélé le peu de transparence des transports d'animaux sur longues distances, des règlements ont imposé l'identification électronique individuelle (règlement CE n°21/2004 ; National Animal Identification System aux États-Unis depuis 2009). C'était là une chance à saisir pour l'« élevage de précision ». L'identification généralisée des animaux au moyen de puces RFID *(radio frequency identification)* a ouvert la porte à l'*« animal monitoring »* qui procède par la surveillance continue et automatisée de chaque individu, de la naissance à l'abattoir.

Une alliance entre sciences animales et vétérinaires, éthologie animale, modélisation informatique et robotique, a ainsi donné lieu à la définition détaillée la plus citée de l'« élevage de précision » (Berckmans, 2006) : « L'élevage de précision est un concept qui recouvre l'utilisation d'une technologie moderne à base de capteurs, de systèmes de détection (images, sons, etc.), de modélisation en temps réel et de logiciels pour réaliser la surveillance et la gestion automatique en continu dans les élevages. Sa technologie repose sur de récentes avancées des technologies de l'information et de la communication (TICs) et de leurs capteurs, combinées à des modèles mathématiques et biologiques. Il s'appuie sur les technologies développées dans d'autres industries, telle l'ingénierie de contrôle, ce qui lui donne accès, grâce à la production de masse, à des hardware et à des software à bas prix. (…) Dans le domaine animal, les informations sont recueillies au niveau du bâtiment, de l'élevage, de la région, du pays et de l'Europe. » C'est une logique de substitution d'automates et d'algorithmes au travail humain et à ses savoir-faire qui, si l'on se réfère à Micoud (2003), accentue assez radicalement le processus de « technicisation » de l'animal déjà à l'œuvre en élevage. La littérature scientifique récente abonde d'ailleurs au sujet des automates de contrôles et de leurs modèles, la plupart ayant donné lieu à brevets. L'« élevage de précision » apparaît ainsi de plus en plus aussi comme une nouvelle discipline académique, dont les principaux supports rédactionnels sont *Computers and Electronics in Agriculture* et *Biosystems Engineering.*

Que ce soit en France ou ailleurs, aucune estimation fiable du nombre d'éleveurs pratiquant l'« élevage de précision » en tant que démarche intégrée ne nous est apparue réalisable. La raison en est la même qu'en « agriculture de précision », exacerbée ici par son caractère encore plus récent : c'est une technologie encore très parcellisée et surtout sujette à de forts enjeux commerciaux. Dans les allées du Salon mondial des fournisseurs de l'agriculture et de l'élevage (SIMA), un représentant d'une grande société internationale nous a confié que seules six fermes françaises étaient équipées de leur outil de gestion intégrée du troupeau, c'est-à-dire fort peu en comparaison d'autres pays d'Europe du Nord. Le site web de l'Institut de l'élevage dédié à l'« élevage laitier de précision » adopte quant à lui un ton plutôt optimiste. Dressant le panorama complet des capteurs et systèmes d'information automatisés, il évoque une « explosion de robots » et de capteurs depuis le milieu des années 2000 (IDELE, 2013).

La nature des précisions attendues : retour sur l'individu animal

L'« élevage de précision » s'inscrit dans une évolution des connaissances et des pratiques qui, depuis une vingtaine d'années, resitue l'animal et sa trajectoire de vie et de production individuelle au centre des préoccupations des chercheurs en sciences animales, mais aussi des éleveurs de grands troupeaux laitiers. Dans ces élevages, la variabilité interindividuelle était considérée jusque dans

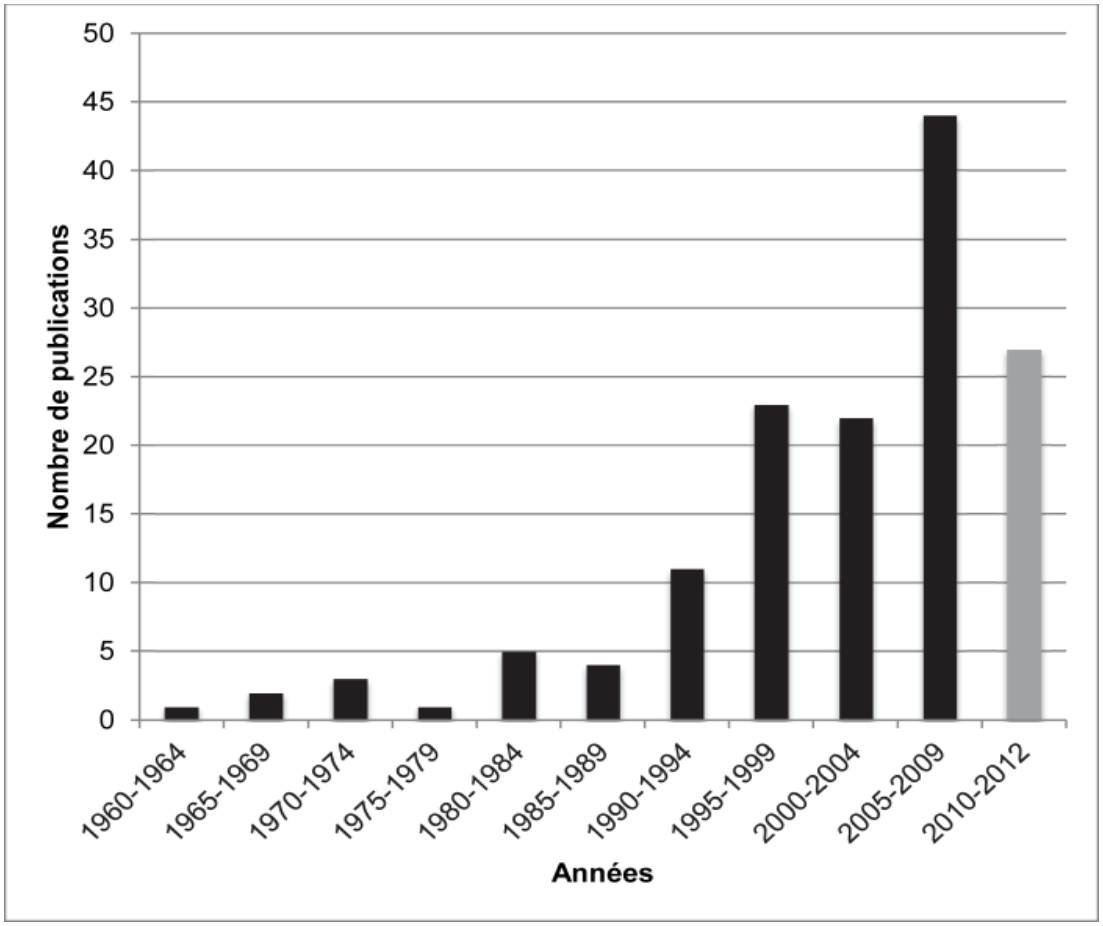


Figure 1. Nombre de publications scientifiques en anglais abordant la question de la variabilité inter-individuelle dans des travaux sur le comportement d'ingestion, la nutrition et les performances productives de ruminants domestiques (variabilité génétique non considérée ici). Recensement manuel de l'auteur d'après des données Google Scholar.

les années 1990 comme un obstacle à l'application de modèles de conduite standardisés (Puillet *et al.,* 2010). La gestion proposée se fondait sur « l'animal moyen » du troupeau, ou plus exactement sur celui de chaque lot de vaches ou de chèvres considéré comme homogène en termes de tranche d'âge et stade de lactation.

Par la suite, des études sur vaches laitières à haute performance ont pointé les limites de la conduite d'élevage en lots (Hogeveen *et al.,* 2010). Dans les années 1990 également, la recherche en nutrition animale s'est davantage interrogée sur le sens à accorder à des moyennes de consommation d'aliments et de production par lot, auxquelles restait parfois attachée une forte variabilité des données individuelles. Revisitant leurs bases de données, les chercheurs ont repris la question de la variabilité au sein des lots (fig.1) et certains ont suggéré de nouvelles règles d'optimisation des conduites d'élevage à l'échelle des individus, règles qui ne se limitaient pas à l'ajustement des apports en aliments concentrés.

Ce faisant, les chercheurs ont encouragé la transition de l'élevage « par équipes » (par lots) vers une forme de « coaching individuel », comme dans le cas des sportifs de haut niveau (encadré 1). Le troupeau devient une collection hétérogène et renouvelée d'individus, dont il convient de connaître et maîtriser l'ensemble des réponses biologiques, de façon à maximiser la rentabilité de l'élevage. Dans les années 2000 s'est accentué le besoin d'un ajustement plus précis et plus parcimonieux des aliments à distribuer à chaque individu. En effet, les élevages en stabulation, très exposés à la hausse du prix des intrants tels que les céréales, les tourteaux et le gazole, ont été confrontés à une sévère baisse des marges sur leur production laitière.

Encadré 1. Extrait de la page web d'un équipementier européen en systèmes d'identification électronique individuelle pour ovins

« Les résultats sont stupéfiants. Plus de 30 % d'augmentation des revenus. Moins de dépenses opérationnelles. Des animaux en meilleure santé. Une viande de meilleure qualité. Une traçabilité parfaite jusqu'au consommateur. L'élevage de précision est en passe de devenir le prochain tournant décisif pour les éleveurs. Mais à quoi correspond-t-il ? Jetons un coup d'œil aux sports professionnels. Le temps où les entraîneurs opéraient à partir de leurs facultés de perception et de jugement personnel est terminé. Les footballeurs sont à présent évalués à partir de leurs distances parcourues par match et de leur vitesse de tir au but. Les battements de cœur des cyclistes sont mesurés en continu afin de s'assurer qu'ils conservent de la réserve pour la route restant à parcourir. Le summum de quantité de données disponibles par concurrent se trouve dans les compétitions de Formule 1 où une orgie de technologie non intrusive renseigne véritablement toute une équipe d'analystes. La technologie est entrée dans le sport comme elle l'a fait dans bien des secteurs de la vie. Une technologie similaire accède à présent aux élevages (…) » (traduit de l'anglais par les auteurs).

L'« élevage de précision » entend répondre à cet enjeu de changement d'échelle de gestion en élevage. Pour cela, il produit des données comportementales et physiologiques individuelles qui sont instantanément traitées pour envoyer un signal à destination de l'éleveur. Typiquement, il s'agit d'alertes à partir de l'analyse du lait : par exemple, la mesure de la progestérone pour détecter les femelles en chaleur, y compris les « chaleurs silencieuses » (sans modifications physiques et comportementales caractéristiques) ; le taux de lactodéshydrogénase signalant une mammite à un stade précoce ; le bêta-hydroxybutyrate signalant une acétonémie clinique ou subclinique ; le taux d'urée pour détecter les animaux recevant trop ou trop peu de protéines. Transmis sous forme graphique sur ordinateur, ces diagnostics doivent permettre à l'éleveur de repérer à temps les individus concernés.

L'« élevage de précision » renforce ainsi les capacités de diagnostic au cours de la traite. Cette activité a toujours été le moment d'un contact privilégié entre l'éleveur et ses animaux, grâce à des observations tant visuelles que tactiles et olfactives, qui concourent à détecter toutes sortes d'incidents sanitaires, par exemple les mammites et les abcès. Il y a près de trente ans, des éleveurs caprins et leurs vétérinaires nous avaient signalé combien le passage de la traite manuelle à la traite mécanique avait diminué leur capacité de diagnostic sanitaire. Mais aujourd'hui, en grands troupeaux laitiers utilisateurs de robots de traite, carrousels de traite, ou association des deux (« roto-robots »), il s'agit de traire jusqu'à une centaine de vaches par heure. Aucun diagnostic empirique n'étant réalisable à ce rythme, la surveillance est assurée par les détecteurs. Par exemple, la détection automatique des chaleurs devrait rencontrer un grand succès, surtout chez les vaches laitières où le niveau élevé de production impacte négativement la durée et l'intensité des chaleurs, rendant ces dernières très délicates à détecter (Disenhaus *et al.,* 2010).

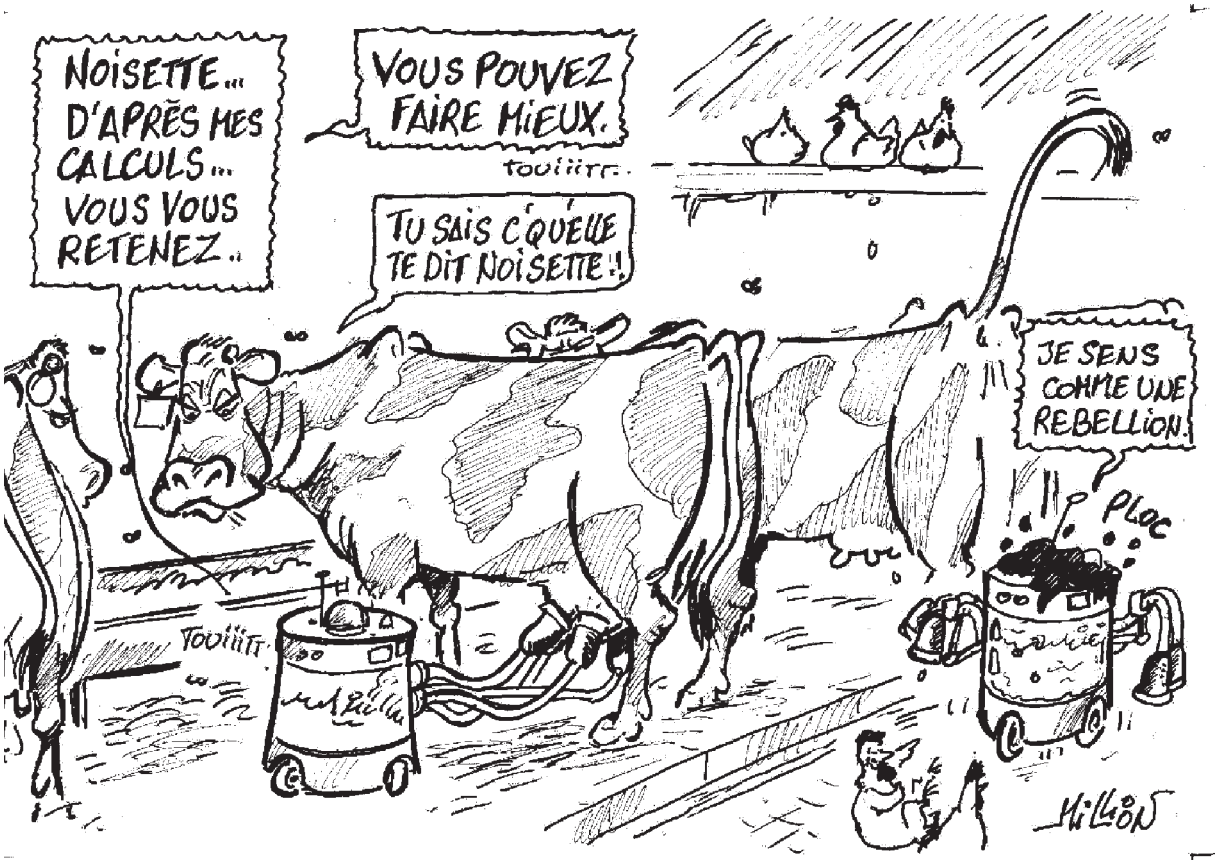
La précision attendue en « élevage de précision » se situe donc au niveau de la qualité et fiabilité du suivi (ou *monitoring*) de chaque individu du troupeau, au niveau et dans le temps de ses réponses physiologiques et comportementales à ses conditions d'élevage. De même qu'en parcelles de grandes cultures où il s'agit de tenir compte des particularités spatiales afin d'optimiser le rendement tout en évitant gaspillage et pollutions, l'« élevage de précision » replace le pilotage d'un troupeau au niveau de celui de ses individus. À première vue, on ne peut que se réjouir d'une attention accrue vis-à-vis de chacune des vaches ou des chèvres d'un grand troupeau, de leurs particularismes et « traits de personnalité », un concept venu de l'écologie animale (Stamps, 2007). Ce qui fut durant des millénaires un des principaux critères du processus de domestication, et qui demeure encore aujourd'hui une pratique courante dans les troupeaux ovins, caprins ou bovins, à savoir le repérage et le suivi d'individualités, certains individus servant d'indicateurs de conduite, n'avait plus trop droit de cité en élevage industriel, par manque de temps mais aussi, et peut-être surtout, par manque de sens. Toutefois, en « élevage de précision », comment s'organise un tel suivi ? Tous les individus ont-ils droit à de l'attention ? La réponse est non.

Selon les équipementiers ayant investi le secteur, leurs systèmes d'information intégrés invitent les éleveurs à ne se focaliser que sur « les individus qui requièrent de l'attention », c'est-à-dire ceux

dont le fonctionnement se situe sous le seuil d'optimalité et ceux chez qui un changement physiologique est annonciateur d'une phase critique du cycle de production. Toujours selon les équipementiers, l'intérêt principal est que « l'éleveur n'a pas à chercher, car c'est le système qui trouve les individus à surveiller ». Derrière cette notion de « système qui trouve », se situe le problème de la précision et celui, non moins complexe, de la relation entre précision de l'information et efficacité de la décision.

La précision implique la fiabilité des capteurs qui servent à détecter, par exemple, une ovulation ou un tout début de mise bas. Cette précision est fournie par les équipementiers qui fournissent à leurs clients des mesures de qualité de détection des statuts individuels basées sur la sensibilité, c'est à dire le taux de vrais positifs, et/ou sur la spécificité, c'est à dire le taux de vrais négatifs. Ici, un travail d'adaptation avec re-paramétrage des seuils de détection doit être réalisé dans chaque élevage, ce qui peut s'avérer délicat pour certains paramètres (par exemple, la détection des mammites). Dans un contexte de foisonnement de l'offre commerciale en capteurs et systèmes intégrés, il est souhaitable que les éleveurs puissent comparer les performances des équipements en termes de qualité de détection. Or, cela leur est actuellement impossible, car les qualités sont mesurées par chaque équipementier avec ses propres méthodes de référence et dans des élevages différents.

Plus important encore, la relation entre, d'une part, une information admise comme précise, abondante et disponible et, d'autre part, la pertinence des diagnostics et des décisions liées reste peu documentée. L'impact économique d'une prise de décision sur le retour en chaleur des vaches à haut niveau de production est conséquent (Seegers *et al.,* 2010 ; Hogeveen *et al.,* 2010). Mais on sait aussi, par d'autres travaux récents (comme Ponsart *et al.,* 2010), que la maîtrise des intervalles de vêlage est un processus complexe où la qualité des informations sur les chaleurs n'a qu'une part ; par exemple, il peut être judicieux de retarder l'insémination d'une vache alors même qu'elle est identifiée en chaleur. Désormais, il apparaît opportun de développer dans les modèles de fonctionnement des troupeaux bovins laitiers une composante dédiée à un système d'information (Brun-Lafleur, 2011).



À l'étable : une collection d'individus ?

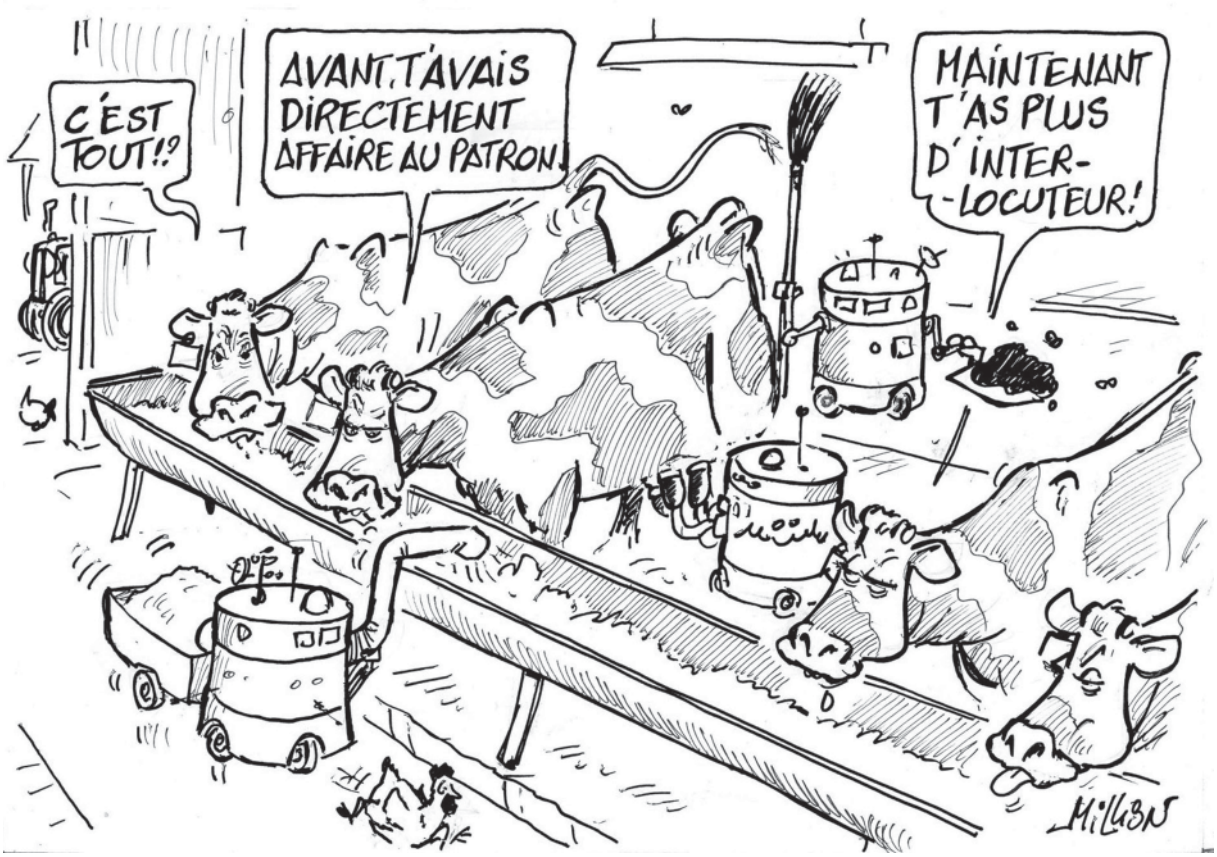
L'« élevage de précision » instrumente la reconnaissance de l'individualité des animaux, quel que soit leur effectif. Mais il ne prend pas en compte le fait que ce sont des êtres sociaux. Or, ce fait est constitutif de l'environnement de chaque individu. En effet, un groupe animal est socialement organisé, avec ses affinités, ses inimitiés et ses conflits qui impactent les rythmes d'activités et les motivations individuelles. Chez les vaches et les chèvres notamment, avec ou sans cornes, les effets d'interaction entre individus peuvent être défavorables ou bénéfiques à l'expression individuelle des performances alimentaires et productives. L'exemple typique est celui de la vache laitière en bâtiment qui consacre sa journée à bloquer l'accès de ses semblables au distributeur automatique de concentrés. Elle n'en profite guère, nutritionnellement parlant, mais empêcher l'accès à l'aliment tant apprécié lui permet de signifier aux autres qu'elle est la dominante du groupe, ou prétend le devenir. Pour ce qui concerne la consommation de fourrages, l'appétit individuel est stimulé par l'intensité et la fréquence de l'activité collective de prise de nourriture, et ceci autant à l'auge qu'au pâturage (Provenza *et al.,* 1998 ; Ingrand *et al.,* 2000 ; Grant et Tylutki, 2011). En stabulation, faute d'alternatives entre activités, mais aussi du fait de la promiscuité obligatoire entre individus, les impacts du groupe sont exacerbés.

En matière d'effets de groupe, l'élevage de poulets de chair a été précurseur en « élevage de précision ». C'est l'atout des environnements confinés, où il est plus aisé qu'ailleurs d'utiliser une batterie de caméras et d'enregistreurs de sons. Vu le nombre d'oiseaux en présence, cette fois non individualisés, l'« élevage de précision » recense en flux continu des catégories d'activités (couché, debout, en mouvement). Les proportions de l'effectif pour chaque catégorie reflètent le niveau de « bien-être » ou plutôt l'absence de risque d'excessive mortalité (Mollo *et al.,* 2009). Pour vaches, chèvres et brebis, l'« élevage de précision » jusqu'à présent n'intègre généralement que les contacts liés à la reproduction. Les détecteurs électroniques de chevauchement par les béliers mis au point par l'INRA pour le repérage du comportement d'œstrus chez la brebis en sont un bon exemple (Maton *et al.,* 2009). Au niveau des comportements de groupe, l'« élevage de précision » procède avec des modèles dont les algorithmes restent « individus centrés », ceci afin de rester cohérent avec les données de paramètres biologiques. En grandes étables à vaches laitières, un système radar peut ainsi repérer 300 positions individuelles par seconde, avec une précision de moins de 0,5 mètre, ce qui permet de contrôler l'effet d'un réaménagement interne de bâtiment sur les déplacements (Gygax *et al.,* 2007).

Suffit-il de géolocaliser chaque individu pour rendre compte de ce qui se passe dans un groupe ? Un groupe d'animaux, lot d'élevage ou troupeau entier, n'est pas qu'une collection d'individus. On sait qu'il constitue un système complexe doué de propriétés émergentes (Landais *et al.,* 1987 ; Cournut et Dedieu, 2004 ; Puillet *et al.,* 2011). Ces propriétés relèvent d'autorégulations dont les conséquences ne sont le plus souvent évaluables par un tiers, éleveur ou vétérinaire, qu'à moyen terme. Ceci étant, l'automatisation visée par l'« élevage de précision » se heurte à une première contrainte : la communication animale ne procède pas nécessairement par contact physique. Elle s'opère aussi à distance par le son, le regard, l'odeur et l'attitude corporelle, autant de signaux qui ont du sens dans le groupe d'animaux. Une deuxième contrainte est d'ordre temporel : c'est par des effets différés et aussi cumulatifs qu'un processus de réorganisation sociale affecte le rythme d'activité d'un individu et ses performances. Ce qui reste depuis longtemps un enjeu fort en éco-éthologie (Strum, 1987) n'est apparemment pas prêt d'être automatisé en élevage, même à grands renforts de technologies de l'information.

Pâturage et pastoralisme « de précision » : où l'œil du satellite remplace l'œil du berger

Depuis le milieu des années 2000, ont émergé les concepts de « pâturage de précision » (États-Unis, Canada, Nouvelle-Zélande, Brésil…) et de « pastoralisme de précision » (Australie), où des systèmes intégrés de capteurs et transmetteurs par satellite feraient office de bergers constamment attentifs



et efficaces. Ces systèmes articulent deux registres de connaissances scientifiques et d'attendus en matière de gestion. D'une part, des agronomes des herbages naturels ou cultivés importent les paradigmes de l'« agriculture de précision » avec comme principaux centres d'intérêt la prévision de la variabilité spatiale de la production d'herbe, la modulation des épandages d'engrais et de phytocides, la lutte contre les espèces invasives (Murray *et al.,* 2007 ; Schellberg *et al.,* 2008). D'autre part, des spécialistes du comportement spatial et alimentaire des herbivores au pâturage envisagent d'utiliser les outils automatisés d'acquisition de données, notamment les colliers GPS, ayant fait leurs preuves en tant qu'outils de recherche, comme techniques de surveillance et de pilotage des troupeaux (Turner *et al.,* 2000 ; Laca, 2009a et 2009b).

Sur de grands espaces hétérogènes, la hiérarchisation des facteurs qui orientent la distribution spatiale et les choix alimentaires des herbivores est une problématique documentée depuis quarante ans (Arnold et Dudzinski, 1978). Séjournant dans un parc, le troupeau ne se déploie jamais de façon homogène : chaque jour, il fait un circuit. S'il est attiré par l'abondance et la qualité locale des ressources alimentaires, il se déplace aussi en fonction du confort lié au climat, de la topographie et des lieux privilégiés que sont les reposoirs et points d'abreuvement. L'herbivore a une bonne mémoire spatiale et se réfère à ses congénères. De ce fait, le troupeau laissé libre de ses déplacements a le plus souvent tendance à réitérer les mêmes circuits. En résultent du surpâturage et du sous-pâturage localisés, avec effets néfastes, tant sur les performances zootechniques que sur les dynamiques des communautés végétales, sans parler de l'érosion et de l'excès de minéralisation des sols, notamment en milieux secs sur les bords de cours d'eau ou dans les bas-fonds.

Le concept de « pâturage de précision » a pour objectif le pilotage d'un troupeau à partir de la géolocalisation automatisée de tout ou partie de ses individus. L'équipement requis ou envisagé comporte, pour les animaux, des colliers munis de GPS, avec transmission satellite UHF (ultra haute fréquence) ou Wifi, et, pour les ressources, un maillage de capteurs d'abondance et de qualité de la biomasse. L'ensemble des données, sans négliger l'hygrométrie et la sensibilité du sol au

piétinement, est à compiler sur un fond topographique et à traiter par SIG. À l'éleveur, le pâturage de précision propose de repérer et de contrôler la variabilité des « pressions de pâturage » au sein des parcs (nombre d'animaux par unité de surface et de temps). Il lui propose aussi, grâce à l'identification électronique de chaque animal lors d'un passage en couloir vers un point de distribution (eau, sel et complément minéral, aliment concentré) de réaliser une pesée systématique. Des tris sont également envisageables au moyen de portillons automatisés placés en des lieux de passage obligé entre secteurs du parc.

Enfin, reprenant une technologie datant des années 1970 pour la maîtrise des chiens de compagnie, sont mises au point des « clôtures virtuelles » pour troupeaux d'élevage (Butler *et al.,* 2006 ; Umstatter, 2011). Les procédés sont divers, le plus courant étant le « collier intelligent » intégrant batterie, PDA *(personal digital assistant)* avec GPS, transmetteur Wifi ou radiofréquence HF et amplificateur de son. Localisé par GPS, l'animal qui se rapproche d'une limite virtuelle entend d'abord un petit son, puis un gros son effrayant (par exemple un aboiement de chien) et enfin, s'il persiste, il reçoit un léger choc électrique. Aucun équipement fiable n'est encore disponible dans le commerce car, parmi leurs inconvénients, outre les effets d'accoutumance déjà connus en matière d'effarouchement sonore, il semble que les groupes de brebis ou de vaches auraient tendance à courir de l'avant plutôt que de faire demi-tour, surtout après choc électrique et en l'absence de repère visuel signalant la limite à respecter. C'est pourquoi Laca (2009a) préconise de privilégier le pilotage des déplacements animaux par conditionnement opérant à l'aide de stimuli directionnels positifs, par exemple l'ouverture à distance de distributeurs de grains, précédée d'une lumière et d'un son caractéristiques. Plutôt que de repousser et punir, il s'agirait d'attirer et de récompenser.

Les systèmes d'élevages visés prioritairement par le « pâturage de précision » sont ceux de l'Ouest Nord-américain, d'Australie, d'Afrique du Sud, d'Argentine et du Brésil. Le personnel vacher ou berger s'y consacre à plein temps à rassembler et trier les animaux aux moments opportuns, à surveiller le débit des points d'eau et l'étanchéité des dizaines de kilomètres de clôtures fixes, surtout dans les régions où abonde également la grande faune sauvage. Dans ces pays, la pratique du « gardiennage », qui consiste dans la conception et l'organisation quotidiennes par les bergers ou vachers des circuits et de l'alimentation du troupeau, est considérée comme obsolète car trop coûteuse en salaires, trop consommatrice en temps et peu valorisée socialement.

Toutefois, le gardiennage tel qu'il se pratique et s'enseigne aujourd'hui en Europe, et notamment en France, a récemment réveillé l'intérêt de chercheurs, éleveurs et gestionnaires de milieux naturels aux États-Unis, mais aussi ailleurs dans le monde anglo-saxon (Meuret, 2010). Ils constatent en effet l'échec des investissements quasi exclusifs dans la qualité des clôtures, ces dernières étant un peu trop conçues comme des « baby-sitters » à bétail. Parmi les intéressés, un chercheur de l'United States Department of Agriculture spécialiste des clôtures virtuelles, Dean Anderson, nous a confié : « Ce qui m'effraye dans les technologies de précision, c'est que les éleveurs cherchent un jour à programmer les déplacements de leurs vaches à partir de leur ranch, sans plus aller sur le terrain pour constater ce qui s'y déroule réellement. Il ne faudrait pas oublier que le meilleur système intégré d'informations reste notre cerveau, qui apprend à trier dans les afflux de données pour en générer de l'expérience et parfois, comme avec « vos » bergers, un assez remarquable savoir-faire ».

Conclusion

Parmi les constats du projet Bright Animal[2] comportant le recensement mondial des recherches en « élevage de précision » (Smith et Lehr, 2011), on relève qu'il n'y a pas de travaux interdisciplinaires sur les pratiques et l'économie en élevage, ni de recherches sur les attentes des éleveurs en petites et moyennes exploitations ; on relève aussi le pronostic de réticences des consommateurs du fait que l'« élevage de précision » renforce l'image de l'animal-machine et s'apparente à « Big Brother dans les étables ». Dans ses visées intégratrices de « monitoring », l'« élevage de précision » nous semble en effet avoir projeté ses ambitions un peu trop loin et un peu trop vite.

2. Financement 2009-2010 de l'Union européenne.

Autant il nous paraît judicieux de chercher à renforcer les capacités de diagnostics des éleveurs, en mettant à leur disposition des signaux sur des évènements difficilement décelables par les moyens habituels, comme par exemple un début de mammite sub-clinique ou un régime excédentaire en protéines, autant il nous semble assez difficile de chercher à substituer des modèles informatisés de fonctionnement aux capacités de jugement et de décision d'ajustement des éleveurs, y compris lorsque vient à manquer le temps nécessaire de présence et de réflexion au contact des animaux.

Pour le dire en des termes empruntés aux sciences cognitives (d'après Rasmussen, 1983) : autant il est possible que l'« élevage de précision » renforce les savoirs analytiques, autant il est aventureux de reconstruire informatiquement la chaîne des savoirs opératifs dans ces environnements dynamiques. Les savoirs analytiques permettent de détecter une situation anormale, de la comprendre et d'établir un diagnostic. Par exemple, si le niveau de consommation de fourrages par les vaches a brutalement diminué, est-ce lié à sa composition, au changement de météo ou à la modification du groupe social ? Les savoirs opératifs concernent quant à eux la mise en œuvre des réactions de l'opérateur à la situation anormale. Par exemple, n'ayant pas d'autres fourrages à disposition pour les semaines à venir, et aucune amélioration météo n'étant annoncée, mieux vaut d'expérience prendre le risque d'accepter une légère baisse de lait, à surveiller, qu'il devrait ensuite être possible de rattraper au changement de saison. Sinon, quelles batteries de capteurs et quels algorithmes pourraient renseigner chaque vache, ses profils de production, de santé, ceux de sa descendance et, en même temps, la dynamique de tout l'atelier laitier, en articulant différentes profondeurs de temps avec les aléas et les possibles parades ? Le doute est permis ■

Remerciements

Les auteurs remercient pour leurs encouragements et suggestions Benoît Dedieu, Bernard Hubert, Pierre-Louis Osty, Jocelyne Porcher et Frederick D. Provenza.

Références bibliographiques

Agreste, 2012. Recensement agricole 2010 : exploitations de grandes cultures en France métropolitaine. *Agreste,* 283, p. 3.

Arnold G.W., Dudzinski M.L., 1978. *Ethology of free-ranging domestic animals.* Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 198 p.

Berckmans D., 2006. Automatic on-line monitoring of animals by Precision Livestock Farming. *In:* Geers R., Madec F. (Eds), *Livestock Production and Society.* Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 287-295.

Berckmans D., 2009. Perspectives of Precision Livestock Farming. Powerpoint key-note, *BrightAnimal Project Open Day Meeting,* Halifax, UK, slides 5-6.

Bonny S., 1994. Les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture : le cas de la France. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA,* 23, 5-15.

Brase T.A., 2005. *Precision Agriculture,* 6th edition. Delmar Pubs, Cengage Learning, Stamford, CT, 256 p.

Brun-Lafleur L., 2011. Modélisation du fonctionnement d'un troupeau laitier pour anticiper les conséquences de son pilotage. Thèse de doctorat Agrocampus Ouest, Université de Rennes, 260 p.

Butler Z., Corke P., Peterson R., Rus D., 2006. From robots to animals: virtual fences for controlling cattle. *International Journal of Robotics Research,* 25, 485-508.

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

Disenhaus C., Cutullic E., Fréret S., Paccard P., Ponsart C., 2010. Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs : intégrer la vache, l'éleveur et le système d'élevage. *Rencontres Recherches et Ruminants,* 8-9 décembre 2010, Paris, France, 113-120.

Frost A.R., Schofield C.P., Beaulah S.A., Mottram T.T., Lines J.A., Wathes C.M., 1997. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and Electronics in Agriculture,* 17(2), 139-159.

Grant R.J., Tylutki T.P., 2011. Influence of social environment on feed intake of dairy cows. *In: Proceedings of 2011 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers,* 73rd Meeting, October 18-20, East Syracuse, New York, 86-100.

Gygax L., Neissen G., Bollhadler H., 2007. Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns. *Computers and Electronics in Agriculture,* 56, 23-33.

Hogeveen H., Inchaisri C., Steeneveld W., 2010. Economic benefits of individual cow management. *In: Proceedings of Ist North American Conference on Precision Dairy Management,* march 2-5 2010, Toronto, Canada, *http://www.precisiondairy2010.com/proceedings/s1hogeveen.pdf*

IDELE, 2013. *http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-sorganiser/elevage-de-precision/publication/idelesolr/recommends/dossier-special-elevage-laitier-de-precision.html*

Inamasu R.Y., Naime J.M., de Resende A.V. , Bassoi L.H., Bernardi A.C.C. (Eds.), 2011. *Agricultura de precisão : um novo olhar.* Embrapa instrumentação, São Carlos, 331 p.

Ingrand S., Agabriel J., Dedieu B., Lassalas J., 2000. Effects of within-group homogeneity of physiological state on individual feeding behaviour of loose-housed Charolais cows. *Annales de zootechnie,* 49, 15-27.

INRA, 1999. *L'enjeu français de l'agriculture de précision : hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants.* Conférence-débat organisée le 3 mars 1999 au SIMA par l'INRA, le CEMAGREF et l'ITCF. *Plaquette de présentation des six interventions,* INRA, Direction de la Communication, Paris, 18 p.

Laca E.A., 2009a. Precision livestock production: tools and concepts. *Revista brasileira de zootecnia,* 38, 23-132.

Laca E.A., 2009b. New approaches and tools for grazing management. *Rangeland Ecology Management,* 62, 407-417.

Landais E., Lhoste P., Millevile P., 1987. Point de vue sur la zootechnie et les systèmes d'élevage tropicaux. Cahiers de l'ORSTOM, « Sciences humaines », 23, 421-437.

Lind O., Ipema A.H., de Koning C., Mottram T.T., Hermann H.J., 2000. Automatic Milking: Reality, Challenges and Opportunities. *In:* Hogeveen H., Meijering A. (Eds.), *Robotic Milking. Proceedings of the International Symposium of Lelystad,* The Netherlands, 17-19 August 2000. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 19-31.

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

McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J., 2005. Future directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture,* 6, 7-23.

Meuret M. (coord.), 2010. *Un savoir-faire de bergers.* Quae-Educagri, Paris, Dijon, 333 p.

Micoud A., 2003. Ces bonnes vaches aux yeux si doux. *In:* Dubost F., Lizet B. (Eds.), *Bienfaisante Nature,* Le Seuil, Paris, 217-237.

Mollo M.N., Vendrametto O., Okano M.T., 2009. Precision livestock tools to improve products and processes in broiler production: a review. *Brazilian Journal of Poultry Science,* 11, 211-218.

Murray R.I., Yule I.J., Gillingham A.G., 2007. Developing variable rate application technology: modelling annual pasture production on hill country. *New Zealand Journal of Agricultural Research,* 50, 41-52.

Ponsart C., Frappat B., Gatien J., Chanvallon A., Constant F., Disenhaus C., Seegers H., Blanc F., Ribaud D., Salvetti P., Paccard P., 2010. La détection par les éleveurs des chaleurs des vaches : des pratiques et des logiques de décision très diverses. XVIIes Rencontres Recherches et Ruminants, La Villette, 8-9 dec. 2010, 17, 129-132.

Provenza F.D., Villalba J.J., Cheney C.D., Werner S.J., 1998. Self-organization of foraging behaviour : from simplicity to complexity without goals. *Nutrition Research Reviews,* 11, 199-222.

Puillet L., Martin O., Sauvant D., Tichit M., 2010. An individual-based model simulating goat response variability and long-term herd performance. *Animal,* 4, 2084-2098.

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

Rasmussen J., 1983. Skills, rules, and knowledge. Signals, signs and symbols, and other distinctions, in human performance models. *IEEE Transactions in Systems, Man and Cybernetics.* Vol. SMC-13, 257-266.

Robert P.C., 1993. Characterisation of soil conditions at the field level for soil specific management. *Geoderma,* 60, 57-72.

Robert P.C., 1999. Precision agriculture: research, needs and status in the USA. In: Stafford J.V. (Ed.), *Precision agriculture 1999, Proceedings of the IInd European Conference on Precision Agriculture,* Odense, Denmark, 11-15 July 1999, Part I, 19-33, Sheffield Academic Press, Sheffield.

Schellberg J., Hill M.J., Gerhards R., Rothmund M., Braun M., 2008. Precision agriculture on grassland : applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy,* 29, 59-71.

Seegers H., Billon D., Bossard-Apper E., Ponsart C., Bareille N., 2010. Impact économique d'une qualité non optimale de détection des chaleurs en troupeaux laitiers à fort niveau de production. XVIIes Rencontres Recherches Ruminants, La Villette, 8-9 déc. 2010, 146.

Smith I.G., Lehr H., 2011. *The BrightAnimal Book : multidisciplinary approach to acceptable and practical precision livestock farming for SMEs in Europe and worldwide.* BrightAnimal European Framework 7 Project, 208 p.

Stamps J.A., 2007. Growth-mortality tradeoffs and 'personality traits' in animals. *Ecology Letters,* 10, 355-363.

Strum S.C., 1987. *Almost human: a journey into the world of baboon.* The University of Chicago Press, Chicago, 323 p.

Thévenet G., Boisgontier D., 1999. L'agriculture de précision en France : état de la situation et questions posées. In: INRA (Ed.), *L'enjeu français de l'agriculture de précision : hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants.* Conférence-débat organisée le 3 mars 1999 au SIMA par l'INRA, le Cemagref et l'ITCF. INRA, Direction de la Communication, Paris, 15-17.

Turner L.W., Udal M.C., Larson B.T., Shearer S.A., 2000. Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Canadian Journal of Animal Science,* 80, 405-413.

Umstatter C., 2011. The evolution of virtual fences : a review. *Computers and Electronics in Agriculture,* 75, 10-22.

Zwaenepoel P., Le Bars J.M., 1997. L'agriculture de précision. *Ingénieries EAT,* 12, 67-79.