

Juin 2015
volume n° 5 / numéro n° 1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Changement climatique et agriculture
comprendre et anticiper, ici et ailleurs.



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.



Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Les rôles agronomiques de l'élevage dans la contribution à l'adaptation et l'atténuation du changement climatique au Nord et au Sud

Vincent BLANFORT^a - Mathieu VIGNE^a Jonathan VAYSSIERES^a - Jacques LASSEUR^b
Alexandre ICKOWICZ^a - Philippe LECOMTE^a

^aCirad UMR 112 Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux, Montpellier, France

^bINRA UMR 868 Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux, Montpellier, France

Contact auteurs : alexandre.ickowicz@cirad.fr , philippe.lecomte@cirad.fr

Résumé

Les systèmes d'élevage (SE) du Nord et du Sud connaissent des changements importants en raison de facteurs multiples et interdépendants, d'ordre écologiques, climatiques, économiques, sociaux, politiques, sécuritaires ou encore sanitaires. L'ampleur des changements auxquels ces systèmes sont et vont être confrontés est considérable et leurs interactions avec les activités d'élevage posent question. D'une part, l'ensemble du secteur animal est un contributeur majeur des émissions de gaz à effet de serre, et il en subit d'autre part les impacts. Pour y répondre, l'élevage a de réelles capacités d'adaptation, tout en offrant également des potentialités d'atténuation significatives et multiples. La contribution nécessaire et évidente à la sécurité alimentaire de larges populations et la réponse à la demande future en produits animaux rendent la contribution animale incontournable dans la conception de systèmes agricoles climato-intelligents. Les développements attendus de l'élevage dans les Suds seront d'autant plus concernés que c'est dans ces socio-écosystèmes qu'auront lieu les plus grandes dynamiques économiques, sociales, techniques, politiques et environnementales.

Mots-clés

Élevage, changement climatique, agro-écologie, zoo-technie.

Summary

Livestock systems are, both in the North and in the Souths, experiencing significant changes due to multiple and interrelated factors. In many ecosystems livestock breeding, part of the Agriculture is an important resource as a full-fledged production sector and by direct or indirect links with other agricultural activities. The magnitude of the changes the systems are going to be faced is considerable. The interactions between farming activities and climate change, especially in the less developed regions, raise questions. The links are complex. On the one hand, the entire livestock sector is a major contributor to the phenomenon in progress, mainly through its greenhouse gases emissions; it is submitted on the other hand to the climate change constraints

that it must necessarily adapt to. Breeding has real ability to adapt while also offering significant and multiple mitigation potential. The necessary and obvious contribution to food security of large populations and the response to future demand for animal products must make the animal a contributor to reconsider in designing

climate-smart farming systems. Expected livestock developments in the South's will be most concerned as far as it is in these socio-ecosystems that the biggest economic, social, technical, political and environmental dynamics will take place.

Key-words

Livestock systems, climate change, agro-écologie, Animal sciences.

Introduction

Les systèmes d'élevage (SE), au Nord comme au Sud, font partie des acteurs majeurs du changement climatique en tant que composante clé de l'Agriculture.

Au sens large, ils valorisent plus de 35% de la superficie mondiale des terres non gélives (prairies, pâturages naturels, améliorés cultures fourragères) et représentent 40% de la valeur totale de la production agricole mondiale. Les animaux contribuent également de manière importante aux moyens de subsistance de nombreuses populations (l'élevage contribue aux moyens de vie de près de 20 % de la population mondiale et 800 millions de personnes pauvres en dépendent directement, Herrero *et al.*, 2013). Le développement des productions animales est particulièrement remarquable au sud (pays en développement PED et émergents), où l'essentiel des augmentations des productions et consommations de viande (triplement), de lait (doublement), s'est réalisé entre 1980 et 2000. Les ruminants sont capables de valoriser des terres non arables en raison de la pente, de l'altitude, de leur faible qualité agronomique ou du climat, ils y transforment des ressources qui ne sont pas utilisées pour la consommation humaine, telles que l'herbe, en produits à hautes valeurs économique et alimentaire. Toutefois, l'intensification des élevages de monogastriques entraîne une forte pression sur les terres cultivées et une dépendance en céréales de bon nombre de pays du Sud. La production de céréales pour l'alimentation animale (32 % de la production mondiale) pose donc de plus en plus question (ajoutée aux oléagineux et protéagineux), car elle mobilise 18 % des terres arables (Coulon et lecomte, 2009). La viande, le lait et les œufs fournissent 18% des calories pour la consommation humaine, près de 35% des protéines et micronutriments essentiels tels que vitamines, minéraux et acides gras insaturés (Herrero *et al.*, 2013). Il ya toutefois de très grandes disparités entre pays dans les niveaux de consommation de lait et de produits carnés.

Les rôles de l'élevage dans l'adaptation au changement climatique (CC) et son atténuation sont à la mesure de ce positionnement majeur au sein de l'agriculture mondiale. Les SE connaissent en effet tant au Nord qu'au Sud des changements importants sous l'influence de facteurs multiples et interdépendants, d'ordres écologiques, climatiques, économiques, sociaux, politiques, sécuritaires ou encore sanitaires. Parmi eux, l'augmentation attendue de la demande en produits animaux continuera de jouer un rôle majeur, du fait de la croissance de la population mondiale, de l'évolution des revenus et des profils de consommation dans les classes moyennes des pays émergents (United Nations, 2013). Alors que la consommation de viande a commencé à baisser dans certains pays d'Europe occidentale, la demande devrait encore augmenter dans les pays en développement. La FAO projette un accroissement de plus

de 70% de la demande en produits laitiers et produits à base de viande (Alexandratos et Bruinsma, 2012).

Les finalités productives de l'élevage et de l'agriculture en général sont aujourd'hui largement revisitées. Il ne s'agit plus seulement d'assurer tout particulièrement la sécurité alimentaire des populations (parmi un grand nombre de biens produits) mais de considérer les multiples services et impacts de cette activité qui seront globalement impactés par le CC. Dans les systèmes traditionnels dominants dans les Suds, aux performances productives encore souvent limitées, les systèmes d'élevage assurent dans le même temps un ensemble de services socio-économiques tout aussi importants. Détenir du bétail constitue un capital économique, une assurance et une stratégie de réduction du risque pour les communautés vulnérables. Les animaux confortent le positionnement social, assurent une production de fumure organique essentielle pour la fertilité des sols et une force de traction animale pour les cultures (Alary et al., 2011). Leurs effets positifs sur les écosystèmes doivent également être pris en considération. Le pastoralisme contribue à l'équilibre et à la durabilité des écosystèmes. Il ouvre les paysages et limite l'embroussaillage, concourt au maintien de la biodiversité, stimule la croissance végétale, fertilise les sols, intensifie les cycles de nutriments, participe à la dissémination des graines ou encore améliore l'infiltration des eaux de pluies et ce, sur de vastes territoires souvent dépourvus de toute autre activité économique. Les prairies, en absorbant et en stockant le CO₂ dans la matière organique des sols (par la photosynthèse), constituent un vaste potentiel d'atténuation du changement climatique, souvent lié à une bonne qualité des sols (Blanfort et al., 2011).

Toutefois, les débats actuels se focalisent essentiellement sur les impacts négatifs de l'élevage d'animaux, notamment sur sa forte contribution au CC via les émissions de gaz à effet de serre (GES). Établies sur l'ensemble du cycle de vie des produits, les émissions globales du secteur élevage terrestre s'élèveraient ainsi à 7.1 Gt équivalents CO₂ (eqCO₂) soit 14.5% des émissions anthropiques planétaires (Gerber et al., 2013) principalement sous forme de CH₄ (44%), de N₂O (29%) et de CO₂ (27%). Ces émissions sont principalement issues de la fermentation entérique, des effluents, de la déforestation, des cultures à destination de l'alimentation animale etc. Si ces impacts et enjeux d'atténuation sont maintenant largement inventoriés et pris en considération dans les politiques agricoles au Nord, ils restent souvent considérés dans les pays du Sud, et cela se comprend, comme d'une priorité moindre que la faim, la malnutrition, la pauvreté et le développement économique. Par ailleurs, les référentiels, les méthodes d'évaluation sur lesquels baser les décisions, en matière d'adaptation et d'atténuation, sont nettement moins avancés au Sud qu'au Nord. Les questions qui se posent à l'agronomie et à la zootechnie d'aujourd'hui restent bien celles de produire, en améliorant la performance des systèmes, mais de façon résolument plus durable et en tenant compte, au Nord comme au Sud, du CC en termes d'adaptation et d'atténuation des effets.

L'importance de ce secteur et le contexte général du débat productions animales/environnement ayant été rappelés, une première partie développe une revue des impacts du CC sur les activités d'élevage. Elle constitue un préalable aux

deux parties suivantes consacrées aux capacités d'adaptation de l'élevage au CC puis aux modifications de pratiques nécessaires pour atténuer ses propres contributions à ce changement.

Les impacts du changement climatique sur l'élevage

Les impacts attendus du changement climatique sont nombreux et complexes, ils opèrent tant sur les ressources utilisables que sur les animaux et leurs conduites.

Contraintes thermique et hydrique

Alors que 38% de la population humaine mondiale vivait déjà au début du siècle dans des contextes de stress hydrique élevé, le chiffre pourrait s'élever à 64% d'ici 2025 (Rosegrant et al., 2002), avec les conséquences que cela implique pour leurs activités agricoles. La réduction des épisodes pluvieux, et de leur fréquence, entraîne un allongement des périodes sèches et des chutes drastiques de la disponibilité en eau pour les hommes et les troupeaux notamment. Combinés à l'augmentation des besoins en eau liés à l'élévation des températures, ces épisodes peuvent entraîner une mortalité forte du cheptel. Si les animaux adaptés aux zones sèches semblent a priori moins vulnérables à ce type de conditions, l'exemple des pertes en millions d'animaux subies épisodiquement ces dernières années en Afrique Subsaharienne et dans la corne de l'Afrique dénote l'importance des impacts potentiels que pourrait avoir la récurrence accrue d'épisodes extrêmes sur les cheptels.

Le stress consécutif à l'augmentation des températures et aux variations d'humidité de l'air induit également des changements comportementaux et physiologiques importants, tels que la réduction de l'ingestion et des déplacements. Les besoins énergétiques et en eau pour la régulation de la température corporelle augmentent au détriment des autres fonctions (production ou reproduction). La vulnérabilité au stress thermique varie selon l'espèce, le potentiel génétique, l'âge et le statut nutritionnel de l'animal, mais également selon le contexte intensif/extensif d'élevage. Si les races locales des milieux tropicaux et subtropicaux paraissent mieux adaptées, les connaissances sur les mécanismes restent très partielles et peu exploitées, tant le focus a été mis sur la spécialisation et les quelques races qui dominent largement dans l'intensification des productions.

Productivité, qualité et durabilité des ressources fourragères

Le CC a de multiples conséquences sur les ressources utilisées par les animaux : la sécheresse, les températures extrêmes, réduisent classiquement la productivité primaire nette des cultures, des fourrages et des espaces naturels en herbe.

En revanche, le CO₂ stimulant la photosynthèse, l'augmentation des concentrations atmosphériques pourrait entraîner a priori une croissance accrue des ressources fourragères. Selon Long et al. (2006), cette augmentation pourrait atteindre 30% pour les espèces les plus sensibles si l'on considère des concentrations en CO₂ atmosphérique de 550ppm (contre approximativement 400 ppm actuellement). Toutefois, cette augmentation potentielle de la bio-

masse végétale disponible ne sera effective que si l'ensemble des facteurs climatiques et de fertilité des sols ne sont pas limitants. Si ces perspectives sont relativement bien documentées pour les espèces cultivées, elles sont nettement moins connues pour les espèces des espaces pastoraux, ce qui limite actuellement la portée des perspectives. De même, les modèles de prédiction de l'évolution des précipitations, au-delà des grandes tendances par zone géographique, restent nettement moins précis que les prédictions d'évolution des températures (GIEC, 2007, 2014). Cette incertitude rend plus délicate la mise en place de mesures adaptatives pour l'amélioration et la gestion des ressources fourragères. L'augmentation des températures et des teneurs en CO₂ entraîne également des teneurs plus élevées en glucides solubles et plus faibles en azote, ainsi qu'une lignification plus importante (Hopkins and Del Prado, 2007 ; Kim et al., 2012). Ces évolutions ne seront pas sans effets sur la valorisation future des ressources fourragères par les animaux et sur les émissions de CH₄.

Le CC ne sera également pas sans conséquences sur l'évolution floristique des prairies et parcours, notamment sur les proportions entre graminées C₃-C₄, légumineuses et structures arborées et arbustives des couverts. Des conditions de croissance plus drastiques auront tendance à favoriser des plantes plus adaptables telles que les légumineuses, et/ou plus rustiques. L'équilibre des relations animal – plantes pourrait ainsi être modifié, ces changements phytosociologiques peuvent en effet favoriser les types d'animaux les plus aptes à valoriser ces évolutions des couverts qui seront à leur tour modelés par un type d'herbivore différent. C'est ce que l'on observe dans les milieux sahéliens, où les petits ruminants se substituent aux bovins dans les conditions les plus arides. Concernant les zones tempérées, on observe aussi une augmentation des mouvements géographiques de plantes invasives vers des zones où elles n'étaient pas présentes.

Les « accidents » climatiques sont souvent un des facteurs (ou des co-facteurs) des dégradations des écosystèmes exploités par des herbivores. Ces processus risquent de devenir la règle au vu des tendances actuelles induites par le changement climatique. Si l'élevage est capable de mettre en valeur une partie importante des terres avec à la clé une source de services considérable, la dégradation de ces écosystèmes peut se traduire par une réduction de ces services, une régression de leur capacité à se reproduire et en conséquence à produire durablement (Blanfort et al, 2011). La dégradation des zones consacrées à l'élevage concerne la végétation, le sol et les ressources qui leur sont associées (eau, nutriments, etc.), en particulier dans les régions tropicales semi-arides et subhumides. En 1991, le PNUE estimait que, depuis 1945, 20% des pâturages mondiaux étaient affectés par une dégradation significative des sols (Steinfeld et al., 1997). Selon Dregne (1994), 70% des terres des zones sèches (arides et semi-arides) seraient dégradées à des degrés divers. On a également pu évaluer en Europe les conséquences de la sécheresse de 2003, pour les prairies, l'estimation des pertes de rendement s'élève à 30% pour la moitié sud de l'Europe et 10 à 20% pour la moitié nord (Le-maire, 2008).

Climat et Santé animale

Le CC est susceptible d'affecter la santé en jouant sur de multiples fonctionnements physiologiques ou pathologiques de l'animal (immunité liée au statut nutritionnel, bilan hydrique ..) et sur les pathogènes. Selon leur adaptation à la température et/ou à l'humidité, les pathogènes pourraient voir leur développement, leur virulence et leur dispersion modifiés. La distribution et l'abondance de différents vecteurs des maladies (tiques, mouches, moustiques, etc...) tout comme leur capacité à transmettre les pathogènes, peuvent ainsi être modifiés. C'est ce que l'on observe déjà dans la distribution des maladies à vecteurs telles que la Blue Tongue en Europe ou la Malaria d'altitude en Afrique. Enfin, le CC pourrait impacter l'évolution des espèces en compétition avec les vecteurs ou prédatrices de ces derniers (FAO, 2013). Quels que soient ces changements, ils perturberont l'équilibre entre les animaux traditionnellement élevés et les maladies auxquelles ils sont soumis.

L'intensification des systèmes d'élevage conduit par ailleurs à une intensité accrue de ces risques sanitaires qui est également très dépendante de la complexité et des échelles des filières d'approvisionnement et de commerce au sein de la globalisation des échanges.

Accès aux ressources, Agricultures et Elevages en transitions

Si les questions de foncier se posent relativement peu en régions tempérées, dans de nombreux milieux chauds, la migration sous contraintes climatiques croissantes des personnes et de leurs troupeaux vers des zones plus favorables, ajoutée à la croissance démographique générale, entraîne une saturation foncière dans de nombreux territoires. Ces dynamiques sont par exemple observables en Afrique Sub-Saharienne, où l'on relève une relocalisation importante des troupeaux sahéliens vers les zones subhumides (Dongmo et al., 2012). Les éleveurs pastoraux traditionnellement nomades s'y sédentarisent progressivement et organisent, lorsqu'il y a pénurie, des transhumances stratégiques de tout ou partie du cheptel vers des sites plus favorables. La compétition pour les terres entre les différentes activités du territoire, notamment agricoles, devient alors forte et est souvent source de conflits. L'élevage extensif, fortement consommateur d'espaces, fait ainsi face à la réduction et au morcellement, voire à la fermeture, de l'accès aux espaces pastoraux qui lui étaient traditionnellement dévolus, en faveur de cultures vivrières qui s'étendent, et à l'obstruction des couloirs de transhumance. Là où le changement du climat est avéré, on observe une évolution complexe des stratégies des familles dans la diversification des moyens de (sur)vie et dans la gestion des risques et des incertitudes. Dans les zones les plus sèches de l'Afrique subsaharienne et dans les zones marginales arides du sud de l'Afrique, là où les cultures deviennent de plus en plus improbables, les familles abandonnent l'agriculture-élevage au profit de l'élevage pastoral (Jones et Thornton, 2009). On constate également des stratégies de substitution d'espèces culturales et animales (e.g. sorgho/maïs ; petits/grands ruminants). Les perspectives climatiques suggèrent que ce sont les populations de ces zones qui seront le plus affectées, alors qu'elles sont généralement déjà les plus pauvres.

Capacités d'adaptation de l'élevage aux changements du climat

Dans de très nombreux milieux et face aux risques multiples, la détention et la conduite d'animaux sur des ressources naturelles reste une stratégie cruciale d'adaptation pour les populations vulnérables. Ceci aurait relativement peu de sens dans les systèmes industriels spécialisés et à haute intensité de capital et de flux d'intrants que l'on voit émerger aux quatre coins de la planète.

Dans les milieux difficiles (zones sèches, montagnes), l'adaptation des animaux repose sur leurs capacités à valoriser de nombreuses espèces et formations végétales et sur des mécanismes physiologiques de gestion des réserves corporelles, de résistance biologique aux facteurs abiotiques, etc. Hérités d'une longue sélection naturelle, ils sont différenciés entre espèces (bovins ovins, caprins, camelins..) et races (Mandonnet *et al.*, 2011). La biodiversité animale est un facteur clé dans l'adaptation. Dans le cadre de l'intensification sous contraintes du CC, elle mérite d'être revisitée dans une perspective de génétique raisonnée : identification, conservation et utilisation de gènes d'adaptation ; adaptation des espèces, races, à l'évolution des contextes alimentaires et sanitaires ; croisements pour atténuer les risques, transferts d'espèces/races entre régions tropicales (p.ex. Sahiwal, Boran, ...). La place des races rustiques moins productives mais mieux adaptées aux conditions difficiles doit être repensée notamment dans l'optique d'un compromis entre productivité des animaux, pour répondre à la sécurité alimentaire des familles, et adaptation au CC. Par ailleurs, la diversification des espèces présentes au sein d'une même exploitation permet de tirer avantage des capacités d'adaptation spécifiques de chacune des espèces et d'améliorer la résilience du système (Nozières *et al.*, 2011).

Dans le cas des zones sèches, au-delà de la fonction économique de capital sur pied rapidement mobilisable, l'aptitude à la mobilité rend l'élevage moins vulnérable que le stockage de céréales et de fourrages (Alary *et al.*, 2011). Cette forme d'adaptation conduit, pour tout ou partie du troupeau, à la recherche de nouveaux parcours et de zones climatiques plus favorables, de circuits de commercialisation et à la mise en place d'une gestion spatialisée de l'alimentation différenciée entre bonnes et mauvaises années.

La mobilité est toutefois questionnée par les nouvelles contraintes climatiques de plus en plus en interaction avec les contraintes « classiques » d'ordre politique (segmentation des territoires par les frontières, émergence de modes de gouvernance locale dont sont exclues les populations nomades), technique (modernisation des pratiques) et sociétale (conflits avec les autres activités du territoire). Dans de nombreux endroits, les systèmes d'élevage basés sur la mobilité évoluent toutefois vers des systèmes agropastoraux plus sédentaires, les éleveurs doivent alors s'adapter à ces nouveaux systèmes où de nouvelles contraintes les amènent à concevoir de nouvelles stratégies. Dans ces milieux, face à la réduction des parcours, la croissance de la demande locale en produits animaux, les systèmes hors-sol connaissent ainsi un intérêt croissant en tant qu'alternative

d'adaptation. Ils permettent notamment d'améliorer la productivité des animaux en maîtrisant les conditions d'élevage. Vigne *et al.* (2014) au Mali, et Benagabou (2013) au Burkina Faso, montrent que les systèmes laitiers périurbains sont au moins dix fois plus productifs en lait (par animal) que les systèmes extensifs familiaux.

Dans les systèmes mixtes associant culture et élevage,

une plus grande place dans l'assolement pourrait être attribuée à la production de fourrages adaptés aux futures conditions climatiques. Cela permettrait de pallier les contraintes sur les surfaces pâturées, mais l'acceptabilité dans les systèmes vivriers locaux d'une conversion des surfaces à destination de l'alimentation humaine vers l'alimentation animale est limitée. Face au risque de sécheresse cyclique dans les zones méditerranéennes du sud de l'Europe, des recherches sur les associations graminées – légumineuses ont été menées dans plusieurs pays. Les premiers résultats montrent que certains mélanges entraînent un accroissement de 12% des teneurs en azote total et une biomasse accrue par rapport à des parcelles monospécifiques (Luescher *et al.*, 2014). Une plus forte intégration cultures-élevage augmentant le volume et la diversité des flux entre production végétale et animale, ainsi que le recyclage des nutriments dans l'exploitation, est également un point majeur à étudier pour ces systèmes. De même, pour les systèmes accédant à des espaces herbagers importants, le sylvopastoralisme représente une option intéressante. La présence d'arbres dans les pâturages permet en effet d'améliorer la productivité des pâturages (notamment en retardant l'impact de la saison sèche) et le confort des animaux via la présence d'ombre (De Moura *et al.*, 2003).

Enfin, les systèmes pastoraux et agropastoraux utilisant les espaces naturels

devront adapter leur calendrier de pâturage pour faire face aux modifications de la productivité et de la composition des espaces pastoraux mais également à la restriction des accès. Au Burkina Faso, l'analyse des pratiques de conduite des troupeaux aux pâturages dans les villages de Koumbia et Waly ont démontré que des stratégies d'adaptation à ces nouvelles contraintes, notamment face aux conflits d'usage, sont déjà en cours (Vall et Diallo, 2009). Au Maghreb, des ajustements de conduite, des mises en défens, des réimplantations de couverts fourragers naturels ont lieu afin notamment de renforcer la pérennité de la végétation et la régénération des sols (Huguenin, 2011).

Modifier les pratiques d'élevage pour atténuer les contributions au changement climatique

L'émission de méthane (CH₄) entérique par les ruminants représente près de 40% des émissions de tout le secteur de l'élevage. Les enjeux sur l'atténuation sont évidents ; au Nord et sur le territoire métropolitain, les institutions de recherche et d'appui à l'élevage s'en sont largement emparés et une bibliographie abondante décrit les voies et moyens d'une atténuation qui pourrait atteindre 30% des niveaux d'émissions actuels (Gerber *et al.*, 2013, Pellerin *et*

al., 2013, Doreau et al., 2013). Les alternatives sont nettement moins documentées dans les Suds.

Améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources et la productivité des systèmes

L'alimentation des cheptels pastoraux et agropastoraux est basée pour une large part sur des ressources fortement celluloses, à digestibilité faible qui entraînent des émissions de CH₄ importantes. Au Sud Mali par exemple, les parcours naturels représentent jusqu'à 70% de l'énergie brute consommée par les animaux dans des systèmes laitiers extensifs (Vigne et al., 2014). Une option de réduction du CH₄ émis concerne donc la consommation de ressources plus digestibles et au potentiel méthanogène faible, comme les concentrés et les sous-produits de culture. Elle permettrait également d'améliorer la productivité du troupeau. Cependant, l'intensification de l'ensemble de ces systèmes d'élevage par l'apport massif de concentrés importés n'est pas transposable sur tous les systèmes. La plupart d'entre eux ayant déjà un recours limité aux intrants extérieurs, elle ne peut être permise que par des politiques d'appui économique importantes (Corniaux et al., 2012). Par ailleurs, elle ne peut se concevoir sans être accompagnée d'une amélioration des conditions sanitaires et de l'accès aux pâturages de bonne qualité, notamment en saison de pluies, condition indispensable à une bonne valorisation de ces intrants alimentaires.

Les émissions de CO₂ et N₂O pour la production, la transformation et le transport de l'alimentation animale représentent près de 45% des émissions du secteur dont un tiers sont liées à la combustion d'énergie fossile directement pour la gestion du troupeau ou indirectement pour la production des aliments (Gerber et al., 2013). La promotion de systèmes basés sur une meilleure efficacité énergétique est également une voie de réduction des émissions de GES. Des potentialités et des pistes d'amélioration existent notamment dans les élevages extensifs : Vigne et al. (2014) au Mali et Benagabou (2013) au Burkina Faso décrivent une efficacité énergétique fossile plus élevée des systèmes d'élevage familiaux face aux systèmes périurbains laitiers en voie d'intensification. Les pertes azotées par volatilisation lors du stockage et l'épandage des effluents représentent plus de 20% des émissions de GES de ce secteur. La conservation et le recyclage de l'azote au sein de l'exploitation apparaît donc comme une voie d'atténuation des émissions GES importante. Au Sud Mali, l'analyse des pratiques locales de gestion des matières organiques produites a montré que le parcage nocturne des animaux associés à l'ajout de litière à partir de résidus de culture pouvait doubler l'efficacité de conservation de l'azote produit sur l'exploitation (Blanchard et al., 2013). De plus, cette intégration mieux raisonnée et gérée entre l'agriculture et l'élevage permet de contribuer à la diminution de la dépendance aux fertilisants minéraux d'origine industrielle fortement consommateurs de ressources énergétiques non-renouvelables et émettrices directes et indirectes de GES ; elle contribue également à un meilleur rendement économique.

La séquestration du carbone par les pâturages: un potentiel d'atténuation majeur

Le sol représente, après les océans et les réserves d'énergie fossile, le troisième stock de C planétaire, loin devant la biomasse aérienne des végétaux (72 % du C est stocké dans les sols des écosystèmes terrestres). Les pâturages permanents et les parcours qui occupent 30% des terres émergées représente ainsi un puits de carbone important qui pourrait atteindre 0,3 milliard de t/an de C organique et compenser jusqu'à 4% des émissions globales de GES. Cependant, La capacité des pâturages à stocker du C dans les sols est dépendante des variations climatiques, pédologique, en interaction avec la modification de l'usage des terres et des modes de gestion des systèmes agricoles. Ces variations de stockage de C sont dues à des processus biologiques comme la modification des apports de matière organique au sol, le transfert de C sous forme solide (récoltes, érosion) ou soluble (lixiviation et ruissellement), les pertes par minéralisation (CO₂, CH₄) de la matière organique des sols et aux pratiques des éleveurs (labour des prairies, niveau d'utilisation, fertilisation...). Globalement, le stockage de C diminue avec l'intensité d'utilisation des prairies et est plus élevé sous gestion extensive à condition que les nutriments ne soient pas limitants. Selon Lal (2004), ce potentiel varierait de 0 à 150 kg C/ha/an dans les régions chaudes arides et de 100 kg à 1 t C/ha /an dans les climats humides et froids. En zone tempérée, ces mêmes mesures sur divers pâturages (parcours, cultivé) montrent une forte variabilité depuis des émissions de 1.7 tC ha⁻¹/an à des stockages atteignant plus de 4 t C/ha/an (Soussana et al., 2010).

En zone tropicales, le cas de la déforestation pour la mise en place de pâturages constitue une illustration emblématique dans les enjeux actuels du CC. C'est une perturbation majeure qui conduit à des émissions de C dues à la combustion de la biomasse (9 % des émissions de CO₂ imputables à la déforestation pour l'extension des cultures et des pâturages, Gerber, 2013). En Amazonie brésilienne, le cheptel bovin est passé de 5 millions de têtes en 1970 à plus de 100 millions 40 ans après, utilisant plus de 500 000 km² de prairies issues de déforestation, soit 70% à 80% de la déforestation totale (Wassenaar et al., 2006). Une partie plus faible mais significative des surfaces déforestées est consacrée au soja destiné à l'alimentation animale, principalement des porcs et volailles (Prudencio da Silva et al., 2010). Cette conquête s'est réalisée avec peu de savoir-faire et la forêt laisse place à des systèmes herbagers extensifs répondant le plus souvent à une stratégie essentiellement foncière, en partie à l'origine d'une dégradation, d'un abandon ou d'une sous-utilisation mais qui sont partie intégrante du système d'élevage. Certains auteurs (Veiga et al., 2004 ; Dias Filho, 2005) estiment que plus de 50 % des pâturages issus de déforestation ont une valeur fourragère fortement détériorée (par rapport à ce qu'elle était à la mise en place).

La lutte contre la déforestation reste une priorité mais elle doit s'accompagner d'une gestion plus durable des surfaces transformées en pâturage. Des résultats récents en Guyane française montrent que la fonction de stockage de C observée dans les forêts natives peut être rétablie dans des prairies issues de déforestation deux décennies après leur mise en place (Blanfort et al., 2014 ; Stahl et al., 2015). Un bilan GES net pour les années 2011-2012 réalisé sur une prairie de

33 ans avec un chargement moyen annuel de 1,3 UGB montre que la prairie s'avère être un puits de carbone de -1.2 ± 0.5 t C/ha/an. Les prairies issues de déforestation en Guyane fonctionnent donc comme des écosystèmes stockeurs de C à condition de les pérenniser sur plusieurs décennies. Des perspectives d'évolution vers des systèmes de production à plus faibles impacts et intégrant des services écologiques apparaissent donc hautement envisageables pour les systèmes herbagers des tropiques humides. Les mesures de flux sur deux ans et l'étude de chronoséquences indiquent respectivement des niveaux de stockage de $1,8 \pm 0,5$ t C/ha/an et $5,3 \pm 2,1$ t C/ha/an (Blanfort et al., 2014).

Conclusions

Le constat général que l'on peut faire est celui d'une importante diversité des impacts du CC selon les Systèmes d'élevage, les situations, les contextes, avec une forte incertitude pour certains. Les impacts et réponses seront donc dynamiques et non-linéaires. Les stratégies qu'il convient par conséquent d'adopter sont encore souvent en cours d'élaboration, notamment au travers des programmes de recherches. Au-delà des impacts biophysiques critiques sur les plantes et les animaux et à l'échelle de vastes territoires, l'évolution des tendances et des chocs attendus va aussi affecter le pouvoir, les gouvernances et l'équité des relations bien souvent au désavantage des populations les plus vulnérables. Cela laisse beaucoup d'interrogations sur les manières dont les familles, les systèmes, vont s'adapter. On quantifie actuellement des tendances moyennes probables : qu'en est-il de l'évolution des variances ? Quelles sont les spécificités de chacune des grandes zones bio-climatiques vis-à-vis des conséquences du CC sur les productions animales et les mesures les plus adaptées ? Les stress se multiplient, des opportunités se créent : comment les acteurs et les systèmes vont-ils y répondre ? Quelles interactions accrues promouvoir entre activités de cultures et d'élevage ? Quelles politiques mettre en place ? Autant de questions posées notamment à la recherche dans des disciplines et des approches complémentaires qui devraient prendre en compte les multiples dimensions et la complexité de ces évolutions.

Les liens entre activités d'élevage et le CC apparaissent en effet bien plus complexes que les seules émissions entériques. La situation est d'abord très diverse de par le monde, notamment entre systèmes industrialisés et systèmes agropastoraux familiaux au Sud. D'autre part, au-delà de sa responsabilité d'émetteur largement admise et incontestable, l'activité d'élevage subit elle-même les conséquences directes et indirectes des changements climatiques qui mettent en difficulté la durabilité des systèmes et rendent vulnérables des millions de personnes sur tous les continents. Il faut donc bien reconsidérer les rôles de l'animal dans le système agricole global et dans la diversité des socio-écosystèmes mondiaux. Divers scénarios d'évolution sont envisageables, mais ils doivent inévitablement se baser sur des modes de fonctionnement nouveaux capables de faire coexister (voire interagir) les fonctions productives, économiques, sociales, et écologiques des systèmes d'élevage.

La prise en compte de l'adaptation aux changements, qu'ils soient d'ordre climatique, environnemental, économique,

politique ou social est bien un enjeu majeur pour les sciences agronomiques. L'atténuation des contributions des activités agricoles aux changements en cours, en particulier au CC, est un enjeu tout aussi important. Autour de ces enjeux : Adaptation / Atténuation et autour des développements à considérer, la dialectique se révèle tantôt synergique tantôt contradictoire. L'approche de solutions varie selon les échelles, les objets, l'espace, le temps et les perceptions des acteurs dans les territoires. Face aux changements, le déplacement des activités, des ressources, des hommes, est bien souvent au cœur des stratégies d'adaptation. La pratique est peu questionnée en tant que telle dans ses contributions éventuelles à l'atténuation concomitante des changements. L'élevage conduit à mettre en œuvre des quantités importantes de biomasses naturelles primaires et/ou de produits de culture. La mobilité des animaux tout comme la mobilité des ressources, qu'elles s'opèrent à des échelles parcelaires, locales, intra/interrégionale ou internationales, constituent des éléments clés dans l'adaptation des systèmes aux changements, en particulier aux aléas climatiques. La mobilité des ressources permet des stratégies efficaces, en particulier dans les systèmes les plus intensifiés. Elle induit toutefois des coûts économiques et environnementaux de collecte, conditionnement, transport et stockage au sein et vers les exploitations. La mobilité des animaux implique leur déplacement fréquent et à moindre coût sur les ressources de l'exploitation et dans de nombreuses situations, hors des limites classiques de la ferme. Elle se traduit alors par l'usage agroécologique et organisé dans l'espace et dans le temps de différents milieux. Ces différentes options pallient directement ou indirectement les aléas des changements. Elles ont des effets environnementaux notoires et produisent des services particulièrement variés.

L'activité d'élevage offre un potentiel d'atténuation important à travers la séquestration du carbone du sol par les pâturages, la réduction des consommations d'intrants et l'amélioration des productivités des systèmes les plus extensifs. Un des défis de la recherche en élevage est donc de comprendre et identifier plus clairement les impacts du CC sur les systèmes d'élevage et leur environnement direct en particulier dans les pays du Sud. A l'échelle du troupeau, des modèles démographiques du troupeau tels que Dynmod par exemple (Lesnoff, 2010) permettent entre autres de simuler l'impact de sécheresses successives sur la dynamique et la productivité du troupeau. Par ailleurs, les savoirs et connaissances acquis jusqu'ici ne sont parfois plus suffisants pour répondre aux changements auxquels font face les agriculteurs. Il s'agit donc de trouver des solutions qui soient innovantes et adaptées à la diversité des systèmes, des filières et des contextes territoriaux et qui répondent à l'ensemble des défis qui se posent au secteur : sécurité alimentaire des ménages, atténuation de la contribution au CC et adaptation à celui-ci. L'intensification des productions est certainement une voie incontournable dans les Suds pour répondre aux enjeux alimentaires de ces régions. Cependant, les voies classiques d'intensification, telles qu'elles ont pu avoir lieu au Nord dans un passé récent, par simplification technique et dans un objectif de maximisation rapide, ne sont plus des modèles acceptables pour l'avenir dans un concept de développement durable. Elles ont en effet abouti à abandonner complètement l'idée d'une gestion conjointe de l'élevage et

de l'agriculture en générant de nouveaux impacts environnementaux. Les politiques futures devraient cibler en priorité le manque d'information sur le CC (les impacts, l'adaptation, l'atténuation), l'accès limité aux technologies et aux intrants. Celles qui concerneront des approches climato-intelligentes à l'échelle de la chaîne de production ou/et du territoire seront sans doute les plus pertinentes. La constitution d'un système d'information et d'alerte précoce pour caractériser et suivre les dynamiques pastorales au Sahel (SIPSA), par exemple, se révèle être un outil pertinent pour comprendre les dynamiques en cours et accompagner la prise de décision par les décideurs (éleveurs, institutionnels et acteurs du développement face aux différentes crises que subit la région (Touré *et al.*, 2012).

La complexité de la tâche nécessite des concertations entre les différentes parties prenantes, depuis les producteurs jusqu'aux décideurs, en incluant le secteur privé, la société civile ou les institutions de recherche et développement. Celles-ci doivent notamment déboucher sur des politiques publiques fortes favorisant l'émergence d'agro-écosystèmes climato-intelligents intégrant des activités d'élevage. Une autre révolution agricole est à inventer, au sein de laquelle le développement des productions animales a une place essentielle en regard des enjeux dont elles sont porteuses. Elle pourra notamment se réaliser dans le cadre renouvelé de l'agriculture « climato-intelligente » (dont les trois piliers sont adaptation, atténuation, sécurité alimentaire), et du concept d'agriculture « écologiquement intensive » proposé par Griffon (2010). L'alliance des termes écologie et intensification, longtemps considérés comme antinomiques, propose de trouver les moyens de produire plus et mieux en consommant moins. Elle se base sur des innovations technologiques s'appuyant sur une ingénierie écologique, une agronomie scientifique visant à intensifier les processus naturels. Sa performance ne se mesure plus seulement sur les quantités de biens agricoles produits mais elle intègre les services écologiques rendus. C'est un concept qui reste à approfondir notamment dans le cas des activités d'élevage, en intégrant mieux les multiples rôles et fonctions écologiques auxquels contribuent les animaux.

Enfin, au-delà des frontières de l'agronomie, de l'écologie et de la zootechnie, les processus de gouvernance et de financement restent des facteurs de poids qui sont essentiels dans les incitations, le soutien et parfois les obligations de la mise en place de stratégies d'adaptation et d'atténuation à différentes échelles. La 21^e conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP21) constitue un contexte potentiellement favorable à des prises de décision concernant l'agriculture et l'élevage. Celles-ci pourraient déboucher sur des politiques publiques fortes favorisant de nouvelles formes de gouvernance favorisant l'adaptation et l'atténuation du secteur agricole sur la base concrète de financements ciblés tels que l'initiative « Fonds Vert ». Esquissé en 2009 à Copenhague, ce Fonds vise à transférer des moyens aux pays en développement dans le cadre de l'atténuation et de l'adaptation aux effets du changement climatique. Ces fonds sont relativement faibles pour l'instant comparés aux objectifs assignés et l'enjeu pour le Fonds vert dans le cadre de la COP21 sera la validation effective d'un financement régulier et conséquent.

Remerciements

Cet article a pu être réalisé dans le cadre de travaux de recherches co-financés par le CIRAD, l'INRA, Guyane Energie Climat, les Fonds européens de développement régional pour la période 2007-2013, la Région Guyane, le projet ANR EPAD 2010-14 et le projet Animal Change (FP7 KKBE 2010-14).

Bibliographie

Alary V., Duteurtre G., Faye B., 2011. Élevages et sociétés : les rôles multiples de l'élevage dans les pays tropicaux. *INRA Prod. Anim.*, 24, 145-156.

Assouma, M.H., Vayssières, J., Bernoux, M., Hiernaux, P., Lecomte, P., 2014. Greenhouse gas balance of a tropical silvo-pastoral ecosystem in Senegal's semi-arid Region. *Livestock, Climate Change and Food Security Conference*, 19th and 20th May 2014, Madrid, Spain.

Benagabou, I.O., 2013. Effet de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficacité énergétique des exploitations agricoles dans les systèmes agro-pastoraux du Burkina Faso. *Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*, 71p.

Blanchard, M., Vayssières, J., Dugué, P., Vall, E., 2013. Local technique knowledge and efficiency of organic fertilizer production in South Mali: Diversity of practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37, 672-699.

Blanfort, V., Doreau, M., Huguenin, J., Lazard, J., Porphyre, V., Soussana, J.F., Toutain, B., 2011. Impacts et services environnementaux de l'élevage en régions chaudes. *INRA Prod. Anim.* 24, 89-112.

Blanfort, V., Stahl, C., Grise, M., Blanc, L., Freycon, V., Picon-Cochard, C., Klumpp, K., Bonal, D., Lecomte, P., Soussana, J.F., Fontaine, S., 2014. Capacity of tropical permanent Pastures to restore Soil Carbon Storage after Deforestation of the Amazonian Forest. *Livestock, Climate Change and Food Security Conference*, 19th and 20th May 2014, Madrid, Spain.

Clerc, A.S., Bonaudo, T., Nahum, B., Dias de Castro, R., Pocard-Chapuis, R., 2012. Efficacité énergétique et émissions de GES de systèmes d'élevage bovin viande en Amazonie. *XIX^e Rencontres Recherches Ruminants*, 5-6 décembre 2012, Paris, France.

Corniaux C., Alary V., Gautier D., Duteurtre G., 2012. Producteur laitier en Afrique de l'Ouest : une modernité rêvée par les techniciens à l'épreuve du terrain. *Autre part* 62, 17-36.

Coulon, JB., Lecomte, P., 2009. Dispositif de recherches INRA-CIRAD sur les productions animales en régions chaudes : Contexte, état des lieux, perspectives. *INRA CIRAD* 41p. + annexes.

De Moura, A.M.A., Dos Santos, H.M., Freitas Júnior, M.B., 2003. Estratégias para minimiza ção do estresse calórico em bovinos leiteiros. *A Lavoura* 106, 22-26.

Dongmo A.L., Djamen Nana P., Vall E., Koussou M.O., Coulibaly D., Lossouarn J., 2012. Du nomadisme à la sédentarisation : l'élevage d'Afrique de l'Ouest et du Centre en quête

- d'innovation et de durabilité. *Revue d'ethnoécologie* 1, 147-161.
- Doreau, M., Makkar, H. P. S., Lecomte, P., 2013. The contribution of animal production to agricultural sustainability. Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production Volume 134, pp 475-485.
- FAO World Livestock, 2013 - Changing disease landscapes. Rome 101 p.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO, Rome, Italy. 115p.
- Hanson, J.G., Baker, B.B., Bourdon, R.M., 1993. Comparison of the effects of different climate change scenarios on rangeland livestock production. *Agricultural Systems* 41, 487-502.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Kruska, R., Reid, R.S. (2008). Systems dynamics and the spatial distribution of methane emissions from African Domestic ruminants to 2030. *Agric Ecosyst Env* 2008,126:122-137.
- Herrero, M., P. K. Thornton, et al. "Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems." *Science* 327(5967): 822-825.
- Hopkins, A., Del Prado, A., 2007. Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science* 62, 118-126.
- Huguenin, J., 2011. Restauration pastorales face aux changements climatiques : L'exemple des Hyphaenies à Djibouti. In : Séminaire « L'effet du Changement Climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb, Université d'Ouargla, Algérie, 21-24 Novembre 2011.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of IPCC. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 p.
- Jones, Peter G., et Philip K. Thornton., 2009. Croppers to livestock keepers: livelihood transitions to 2050 in Africa due to climate change. *Environmental Science & Policy* 12, n° 4 (Juin): 427-437.
- Kim, E.J., Newbold, C.J. & Scollan, N.D., 2011. Effect of water-soluble carbohydrate in fresh forage on growth and methane production by growing lambs. *Advances in Animal Biosciences* 2, 270.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- Lecomte, P. Duclos, A., Juanes, X., Ndao, S., Decrem, P., Vigne, M., 2014. Carbon and Energy Balance in natural and improved Grasslands of an extensive Livestock Ranch in the humid Tropics of central Africa (RDC). Livestock, Climate Change and Food Security Conference, 19th and 20th May 2014, Madrid, Spain.
- Lemaire, G., 2008. Sécheresse et production fourragère. *Innovations Agronomiques* 2, 107-123.
- Lesnoff, M., 2010. DYNMOD: A spreadsheet interface for demographic projections of tropical livestock populations - User's Manual. CIRAD, Montpellier, France.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D.B., Nösberger, J., Ort, D.R., 2006. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science* 312, 1918-1921.
- Luescher A., Mueller-Harvey I., Soussana J.F., Rees, R.M. and Peyraud, J.L., 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Sci.*, 69, 206-228.
- Mandonnet M., Tillard E., Faye B., Collin A., Gourdière J.L., Naves M., Bastianelli D., Tixier-Boichard M., Reneaudeau D., 2011. Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaudes. *INRA Prod. Anim.* 24, 41-64.
- Nozières, M.O., Moulin, C.H., Dedieu, B., 2011. The herd, a source of flexibility for livestock farming systems faced with uncertainties? *Animal* 5, 1442-1457.
- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Bultaut J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.
- Rosegrant, M.W., Cai, X., Cline, S.A., 2002. Global water outlook to 2020, averting an impending crisis. A 2020 vision for food, agriculture and the environment initiative. IFPRI, Washington DC, USA / IWMI, Colombo, Sri Lanka.
- Soussana J.F., Tallec T., Blanfort V., 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4, 334-350.
- Stahl C, Fontaine V, Dézécache C, Ponchant L, S Freycon, , Picon-Cochard C, Klumpp K, Blanfort V, in review 2015, High contribution of C₄ and C₃ plants in deep soil carbon stock of old permanent tropical pastures. *Regional Environmental Change*.
- Thornton, P. K., J. van de Steeg, et al. (2009). "The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know." *Agricultural Systems* 101(3): 113-127.
- Thornton, P.K., Kriska, R.L., Henninger, N., Kristjansin, P.M., Reid, R.S., Atieno, F., Odero, A., Ndegwa, T., 2002. Mapping poverty and livestock in the developing world. ILRI, Nairobi, Kenya. 124 p.
- Touré, I., Ickowitz, A., Wane, A., Garba, I., Gerber, P., 2012. Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel, Atlas of Trends in pastoral systems in Sahel. FAO, Rome, Italy / CIRAD, Montpellier, France. 36p.
- United Nations, 2013. World Population Prospects: the 2012 revision. Key Findings and Advance Tables. Department of

Economic and Social Affairs, United Nations, New York, United States. 54 p.

Vall, E., Diallo, E., 2009. Savoirs techniques locaux et pratiques : la conduite des troupeaux aux pâturages (Ouest du Burkina Faso). *Natures Sciences Sociétés* 17, 122-135.

Vigne, M., Ba, A., Coulibaly, D., Dembele, B., Corniaux, C., Lecomte, P., 2014. Pluri-energy analysis of peri-urban livestock systems involved in dairy production in West Africa. *Soumis dans Agricultural Systems*.

Wassenaar T.P., Gerber P., Verburg P.H., Rosales M., Ibrahim M., Steinfeld H., 2006. Projecting land use changes in the Neotropics: the geography of pasture expansion into forest. *Global Environ. Change* 17, 86-104.