

**Land sharing ou land sparing pour la biodiversité :
Comment les marchés agricoles font la différence**

Desquilbet M.¹, Dorin B.², Couvet D.³,

¹ Ecole d'Economie de Toulouse, UMR GREMAQ, INRA. Manufacture des Tabacs, 21 allée de Brienne, 31015 Toulouse cedex 6.

² CIRAD, UMR CIRED, TA C-56/15, 73 rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 15 / bruno.dorin@cirad.fr / 04 67 61 75 82.

³ UMR MNHN, CNRS, UPMC, 55 rue Buffon, 75005 Paris.

Correspondance : Marion.Desquilbet@toulouse.inra.fr

Résumé

Nous montrons que la forme d'agriculture la plus intéressante pour la biodiversité dépend de l'équilibre des marchés agricoles. Toutes choses égales par ailleurs, tant que la demande réagit aux prix et que l'agriculture extensive a des coûts de production plus élevés, cette dernière est souvent plus intéressante pour la biodiversité que l'agriculture intensive si la relation entre biodiversité et rendement n'a pas un degré de convexité très élevé. Cette agriculture extensive est désavantageuse pour les consommateurs lorsque l'on évalue leur surplus de manière restrictive comme croissant avec les quantités consommées et décroissant avec les prix. Son effet sur les producteurs agricoles est indéterminé. Elle n'a pas d'effet simple sur la sécurité alimentaire, et devrait avoir pour effet de diminuer la pression pesant sur les espaces protégés.

Mots-clés : compromis biodiversité-rendement, conservation, production agricole, marchés, bien-être

Abstract: Land sharing vs. land sparing for biodiversity: How agricultural markets make the difference

We show that the most interesting type of farming for biodiversity depends on the equilibrium on agricultural markets. All other things being equal, when demand reacts to prices and when extensive farming has higher production costs, this type of farming may allow a higher level of biodiversity than intensive farming if the relation between biodiversity and yield does not have a very high degree of convexity. This extensive farming is detrimental to consumers when their surplus is evaluated restrictively as increasing with quantities consumed and decreasing with higher prices. Its effect on agricultural producers is indeterminate. It does not have a simple effect on food security.

Keywords: yield-biodiversity trade-off, conservation, agricultural production, markets, welfare

Introduction

Un effet majeur sur l'environnement de l'actuelle activité agricole est la perte de biodiversité sur les terres cultivées qui suscite de fortes inquiétudes puisque la demande adressée à l'agriculture pour l'alimentation et l'énergie devrait continuer d'augmenter fortement (Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; Fritz *et al.*, 2013). Une partie du débat scientifique et politique sur ce sujet s'est concentrée sur le dilemme suivant : faut-il concentrer l'agriculture sur des terres et des cultures intensives en facteurs industriels pour conserver ailleurs plus d'espaces naturels riches en biodiversité (*land sparing*) ? Ou bien privilégier une agriculture plus diversifiée mais à plus faible rendement, c'est-à-dire plus extensive et donc moins économe en espaces naturels (*land sharing*) ?

Green *et al.* (2005) proposent un modèle pour comparer le niveau de biodiversité obtenu à partir d'un mode d'agriculture intensif ou extensif lorsque la biodiversité est une fonction décroissante du rendement. Pour atteindre un objectif de production donné, les deux modes d'agriculture conduisent au même niveau de biodiversité, si la relation entre biodiversité et rendement est linéaire. En effet, en passant de l'agriculture intensive à l'agriculture extensive, la biodiversité gagnée sur les terres qui étaient déjà cultivées est alors exactement compensée par la biodiversité perdue sur les terres nouvellement mises en culture. Si la relation entre biodiversité et rendement est convexe, en revanche, l'agriculture extensive conduit à une perte de biodiversité par rapport à l'agriculture intensive. Dans ce cas en effet, en passant à l'agriculture extensive, la biodiversité augmente peu sur les terres qui étaient déjà cultivées, alors que la perte de biodiversité est forte sur les nouvelles terres mises en culture. Le résultat inverse est obtenu si la relation entre biodiversité et rendement est concave. Selon ces auteurs, les données empiriques disponibles sur un ensemble de taxons dans les pays en développement sont en faveur d'une stratégie de *land sparing*. Phalan *et al.* (2011a) concluent dans la même direction, en comparant des densités d'arbres et d'oiseaux pour différentes intensités agricoles au Ghana et en Inde.

Nous proposons ici un modèle qui étend celui de Green *et al.* (2005) en ajoutant la réaction de l'offre et de la demande aux prix. Nous comparons le niveau de biodiversité atteint avec les deux modes d'agriculture lorsque l'équilibre entre offre et demande est respecté sur le marché agricole. En effet, dans les deux articles cités précédemment, les conclusions sont basées sur l'hypothèse d'un objectif de production identique avec les deux modes d'agriculture. Pourtant, les deux modes d'agriculture ne conduisent pas nécessairement aux mêmes équilibres de marché. Si l'agriculture extensive est moins profitable par unité produite (donc a fortiori par unité de surface), elle ne peut atteindre le niveau de production de l'agriculture intensive que si les agriculteurs perçoivent un prix plus élevé, et quand le prix est plus élevé, la demande s'ajuste à la baisse. Nous étendons donc le modèle en endogénéisant les prix et les niveaux de productions qui résultent d'un équilibre entre offre et demande. L'effet sur le bien-être global dépend alors des poids relatifs associés au surplus des producteurs et des consommateurs d'une part, et à un meilleur maintien de la biodiversité à court et à moyen terme d'autre part.

1. Cadre théorique

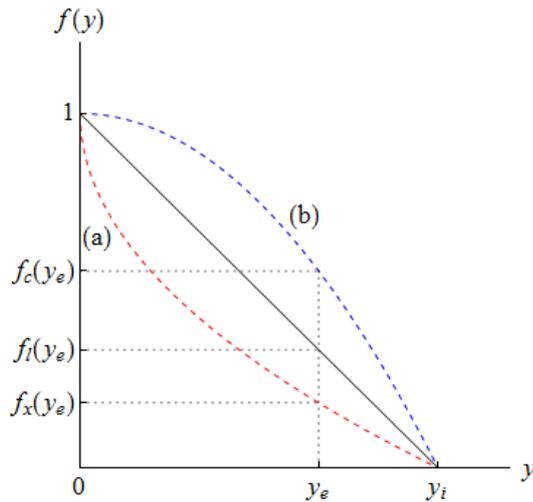
Le modèle est construit à partir des hypothèses de celui de Green *et al.* (2005), mais en introduisant des équilibres de marché. Comme ces auteurs, on suppose que l'ensemble de la production agricole est obtenu soit par une agriculture intensive, soit par une agriculture extensive, et on examine les effets de l'utilisation alternative de l'un ou l'autre de ces modes de production.

1.1. Lien entre biodiversité et rendement

On suppose que l'agriculture intensive a un rendement $y_i = 1$, tandis que l'agriculture extensive a un rendement plus faible $y_e < 1$. La biodiversité produite par unité de terre est représentée par une fonction décroissante du rendement $f(y) = 1 - y^\alpha$, qui peut être linéaire ($\alpha = 1$), convexe ($\alpha < 1$) ou concave ($\alpha >$

1) (Figure 1). Cette formulation normalise à 1 la biodiversité par unité de terre sur les espaces naturels non cultivés ($f(0) = 1$) et à 0 celle de l'agriculture intensive ($f(1) = 0$).

Figure 1 : Relation entre biodiversité et rendement



Note. La biodiversité est une fonction décroissante du rendement, soit linéaire (ligne $f(y_e) = 1 - y$), soit convexe (courbe a avec ici le cas où $f(y) = 1 - y^{1/2}$), soit concave (courbe b avec ici le cas où $f(y) = 1 - y^2$).

Cette représentation stylisée peut rendre compte de deux systèmes agricoles contrastés : (1) un système agro-industriel basé sur des fermes de grande taille, très motorisées et spécialisées sur quelques monocultures utilisant beaucoup d'intrants chimiques (engrais et pesticides) ; (2) un système d'agriculture biologique ou agro-écologique, basé sur des petites fermes de polyculture-élevage qui limitent l'utilisation d'intrants chimiques en valorisant les synergies biologiques entre espèces, ce qui nécessite plus de temps et de main d'œuvre (pour la rotation et le soin des cultures, l'élevage, etc.). Cette agriculture extensive n'atteint pas des rendements aussi élevés que l'agriculture intensive, mais offre des conditions plus favorables à la biodiversité locale. Les rendements de l'agriculture biologique seraient par exemple de 5% à 35% plus faibles que ceux de l'agriculture intensive conventionnelle (Seufert *et al.*, 2012).

Pour simplifier la démonstration, notre modèle conserve l'hypothèse de Green *et al.* (2005) selon laquelle toute terre cultivée avec un mode d'agriculture fournit le même rendement, y_i pour l'agriculture intensive, y_e pour l'agriculture extensive. Il ne prend donc pas en compte les différences de productivité qui existent selon les sols et les climats. Différencier les terres selon leur productivité obligerait à des hypothèses plus complexes sur le lien entre biodiversité et rendement.

1.2. Production agricole et utilisation de terres

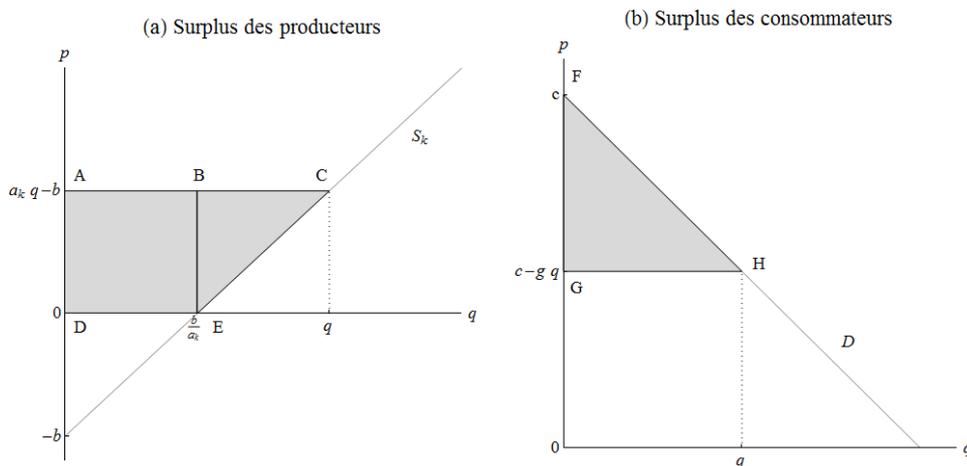
On considère un modèle économique d'équilibre partiel à un secteur (le secteur agricole) et à un pays, avec des agriculteurs en concurrence parfaite et une fonction d'offre agrégée linéaire. Dès lors que les disponibilités en terre ne sont pas épuisées, lorsque les agriculteurs utilisent le mode de production k , on définit une fonction d'offre inverse $s_k(q) = a_k q - b$, avec a_k ($k = i$ ou e) et b positifs. On suppose $b > 0$, auquel cas l'élasticité d'offre est inférieure à 1, ce qui est cohérent avec les élasticités rapportées par les études empiriques pour la majorité des produits (Karagiannis et Furtan, 2002)¹.

¹ L'élasticité de l'offre est $(p/q) \partial q / \partial p = (p/q) / (\partial s_k(q) / \partial q) = (a_k q - b) / (a_k q)$. Elle est inférieure à 1 si et seulement si $b > 0$.

Le surplus des producteurs agricoles est donné par la surface comprise entre le prix et les coûts marginaux de production, qui sont représentés par la droite d'offre dans le plan (q, p) (Figure 2a). Il est donné par la somme de la surface du rectangle ABED, égale à $(a_k q - b) b/a_k$, et de celle du triangle BCE, égale à $(a_k q - b)(q - b/a_k)/2$. Après simplification, son expression est donnée par :

$$(2) \forall q \in [0, y_k], SU^p_k(q) = (a_k^2 q^2 - b^2)/(2 a_k).$$

Figure 2 : Surplus des producteurs et des consommateurs



Sachant que l'agriculture intensive bénéficie depuis un demi-siècle de l'essentiel des efforts de la recherche agronomique et que les marchés tout comme les politiques publiques lui sont plutôt favorables (prix des intrants énergétiques et chimiques relativement faibles et n'intégrant pas ou peu leurs externalités environnementales négatives - voir par exemple Vanloqueren et Baret, 2008 et 2009), on suppose qu'elle a une profitabilité plus importante que l'agriculture extensive ($SU^p_i(q) > SU^p_e(q)$). Ceci se traduit par une droite d'offre S_e pour l'agriculture extensive plus pentue que la droite S_i pour l'agriculture intensive ($a_e > a_i$).

On normalise à 1 la quantité totale de terre. Pour chacun des deux modes d'agriculture, l'utilisation de terres est égale à la production divisée par le rendement dès lors qu'il reste de la disponibilité en terres :

$$(3) \forall q \in [0, y_k], l_k(q) = q/y_k.$$

Avec l'agriculture de type k , la production totale ne peut pas dépasser y_k . La définition précédente de l'offre est valable sur l'intervalle où cette limite sur la disponibilité en terres n'est pas contraignante :

$$(4) \forall q \in [0, y_k], s_k(q) = a_k q - b_k.$$

Au point $q = y_k$, la droite d'offre est coudée, la quantité offerte restant égale à y_k pour tout prix dépassant $a_k y_k - b$.

1.3. Quantité totale de biodiversité

Si la terre l_k est allouée à la culture de type k , la quantité totale de biodiversité produite est donnée par $l_k f(y_k) + (L - l_k) f(0)$. Etant donné que $L = 1$ et $f(y) = 1 - y^\alpha$, elle s'écrit :

$$(5) B_k(l_k) = 1 - l_k y_k^\alpha.$$

Pour l'agriculture intensive, comme $y_i = 1$, $B_i(l_i) = 1 - l_i$. Pour l'agriculture extensive, la biodiversité dépend de la forme de la relation entre biodiversité et rendement, comme montré dans le Tableau 1 qui présente les différents cas envisageables, parmi lesquels le cas limite où la terre cultivée en agriculture extensive ne produit pas de biodiversité ($\alpha = 0$) et le cas limite où la culture extensive d'une terre ne diminue pas sa biodiversité ($\alpha \rightarrow +\infty$).

Tableau 1. Biodiversité produite selon les modes de production

Mode de production	Relation biodiversité- rendement : $f(y) = 1 - y^\alpha$		Biodiversité $B_k(l_k)$
Intensif ($y_i = 1$)	$f(y) = 0$		$B_i(l_i) = 1 - l_i$
Extensif ($y_e < 1$)	Linéaire	$\alpha = 1$	$B_e(l_e) = 1 - l_e y_e$
	Convexe	$\alpha = 0$	$\underline{B}_e(l_e) = 1 - l_e$
		$\alpha \in (0, 1)$	entre $\underline{B}_e(l_e)$ et $B_e'(l_e)$
	Concave	$\alpha \rightarrow +\infty$	$B_{\square_e} = 1$
$\alpha \in (1, +\infty)$		entre $B_e'(l_e)$ et B_{\square_e}	

1.4. Consommateurs, équilibre et bien-être

On suppose que les comportements d'achat des consommateurs n'intègrent pas la biodiversité. La demande inverse est modélisée classiquement comme une fonction linéaire décroissante des quantités,

$$(6) d(q) = c - g q.$$

Le surplus des consommateurs est représenté sur la Figure 2b par le triangle FGH qui mesure la surface comprise entre la droite de demande, qui représente les consentements à payer des consommateurs, et le prix d'équilibre. Il est donné par :

$$(7) Su^c(q) = g q^2/2.$$

On étudie l'équilibre selon le mode d'agriculture, intensif ou extensif. L'équilibre est caractérisé par :

$$(8) s_k(q) = d(q).$$

Le bien-être total est la somme du surplus des producteurs, du surplus des consommateurs et de l'utilité sociale procurée par la production de biodiversité, dénotée par une fonction U croissante :

$$(9) W_k(q) = SU^p_k(q) + Su^c(q) + U(B_k(l_k(q))).$$

Dans la suite de l'article, on utilise le terme « surplus total » pour la somme du surplus des producteurs et des consommateurs, ce surplus total n'étant donc pas égal au bien-être total puisqu'il n'inclut pas la biodiversité.

2. Comparaison des modes d'agriculture

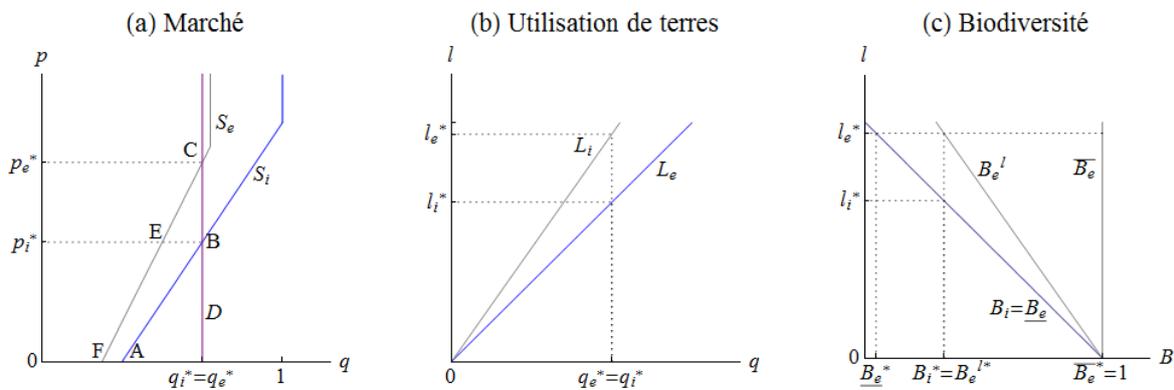
2.1. Analyse graphique du cas d'une demande parfaitement inélastique

Nous illustrons ci-dessous le cas d'une demande parfaitement inélastique (la quantité demandée ne réagit pas aux prix, Figure 3). Les paramètres de la fonction de demande c et g tendent vers l'infini avec $c/g = 2/3$ (Figure 3a). Les pentes des fonctions d'offre sont $a_i = 1.5$ et $a_e = 2$ et les rendements sont $y_i = 1$ et $y_e = 0.7$. Sur la Figure 3b, les droites d'utilisation de terre L_i et L_e sont obtenues à en divisant la quantité produite q_k par le rendement y_k de chaque agriculture. Sur la Figure 3c, les fonctions de

biodiversité $B_i(l_i)$ et $B_e(l_e)$ sont représentées par les droites B_i et B_e^l . La fonction de biodiversité $\underline{B}_e(l_e)$ est représentée par la droite \underline{B}_e confondue avec B_i .

L'équilibre de marché s'établit au prix p_i^* , si seule l'agriculture intensive est utilisée, et à un prix plus élevé p_e^* si seule l'agriculture extensive est utilisée (Figure 3a). Pour atteindre le niveau de production exogène, il faut mettre plus de terre en culture avec l'agriculture extensive (l_e^*) qu'avec l'agriculture intensive (l_i^*) (Figure 3b). Si la relation entre biodiversité et rendement est linéaire, l'agriculture extensive produit la même quantité de biodiversité que l'agriculture intensive ($B_e^* = B_i^*$) (Figure 3c). Elle en produit moins si cette relation est convexe (entre \underline{B}_e^* et B_e^* selon le degré de convexité) ; elle en produit plus si cette relation est concave (entre B_e^* et \overline{B}_e selon le degré de concavité). Ces résultats sur le niveau de biodiversité sont identiques à ceux de Green *et al.* (2005) dont on retrouve le cadre ici dans le cas où la quantité demandée à l'équilibre est la même avec les deux modes d'agriculture, quelles que soient leurs profitabilités respectives.

Figure 3 : Equilibre avec une demande parfaitement inélastique



Le passage à l'agriculture extensive conduit à une augmentation du prix, défavorable pour les consommateurs dont le surplus diminue de la surface $p_e^*p_i^*BC$. Le surplus des producteurs agricoles (mesuré par p_i^*OAB pour l'agriculture intensive et p_e^*OFC pour l'agriculture extensive) diminue de $EFAB$ mais augmente de $p_e^*p_i^*EC$, le solde étant positif. Le surplus total des producteurs et des consommateurs diminue de la surface $CFAB$. Ces variations de surplus correspondent au résultat établi de la littérature, selon lequel une perte de productivité est défavorable pour les consommateurs et pour le surplus total mais peut augmenter le surplus des agriculteurs si elle s'accompagne d'une augmentation du prix en raison d'une demande inélastique (Karagiannis et Furtan, 2002). Le sens de variation de bien-être total dépend de la forme de la relation entre biodiversité et rendement ainsi que du poids relatif du surplus total et de la biodiversité dans le bien-être total, c'est-à-dire de la forme de la fonction $U(.)$. Si la relation entre biodiversité et rendement est convexe, la biodiversité diminue lors du passage à l'agriculture extensive et la perte de bien-être est plus élevée que la perte de surplus total. Si cette relation est concave, l'utilité sociale procurée par la biodiversité mitige voire annule alors la perte de surplus total provoquée par un passage à l'agriculture extensive, et le bien-être diminue moins que le surplus total, voire augmente.

2.2. Analyse de statique comparative

Considérons maintenant le cas où la demande est imparfaitement élastique (la pente de la droite de demande c est positive et finie, prix et quantité s'ajustent selon l'offre et la demande). Les valeurs d'équilibre sont données dans le Tableau 2. Nous inférons de ces valeurs deux propositions.

Tableau 2. Valeurs d'équilibre des variables du modèle

Prix	$p_k^* = (a_k c - b g)/(a_k + g)$
Production agricole	$q_k^* = (b + c)/(a_k + g)$
Terres agricoles	$l_k^* = (b + c)/((a_k + g)y_k)$
Surplus producteurs	$SU_k^{p*} = a_k(b + c)^2/(2(a_k + g)^2) - b^2/(2a_k)$
Surplus consommateurs	$SU_k^{c*} = g(b + c)^2/(2(a_k + g)^2)$
Biodiversité	$B_k^* = 1 - (b + c)y_k^{\alpha-1}/(a_k + g)$

Note : b est l'opposé de l'ordonnée à l'origine des droites d'offre ; a_i et a_e sont les pentes des droites d'offre inverse intensive et extensive, avec $a_e > a_i$; c et g sont l'ordonnée à l'origine et la pente de la droite de demande inverse ; $y_i = 1$ est le rendement de l'agriculture intensive ; $y_e < 1$ est le rendement de l'agriculture extensive ; α est le paramètre caractérisant le degré de concavité ou de convexité de la relation entre biodiversité et rendement. Tous ces paramètres sont positifs.

2.2.1. Effet d'un passage de l'agriculture intensive à l'agriculture extensive

Proposition 1. Lorsque les disponibilités en terre ne sont pas épuisées, avec l'agriculture extensive :

- le prix augmente, la production diminue, le surplus des consommateurs diminue,
- l'utilisation de terres, la biodiversité et le surplus des producteurs peuvent augmenter ou diminuer : l'utilisation de terres augmente si et seulement si $g + a_i > (g + a_e) y_e$, la biodiversité augmente si et seulement si $g + a_e > (g + a_i) y_e^{\alpha-1}$, le surplus des producteurs augmente si et seulement si $(b+c)^2 [a_i/(a_i+g)^2 - a_e/(a_e+g)^2] > b^2(a_e - a_i)/(a_e a_i)$,
- la somme du surplus des producteurs et des consommateurs diminue.

Selon cette proposition, la biodiversité augmente nécessairement avec l'agriculture extensive si l'utilisation de terres agricoles diminue². On peut cependant s'attendre à ce que l'agriculture extensive conduise plutôt à augmenter l'utilisation des terres ; ce qui est le cas sous les conditions suivantes selon notre même proposition : la demande réagit suffisamment peu aux prix (g faible), le rendement de l'agriculture extensive (y_e) est suffisamment faible par rapport à celui de l'agriculture intensive ($y_i = 1$) et/ou l'agriculture extensive diminue le rendement et les coûts de production unitaires de telle manière à ce que la perte de rendement ne se répercute pas intégralement sur la pente de la droite d'offre ($a_e/a_i < y_i/y_e$).

Quand l'utilisation de terres augmente, la biodiversité augmente avec le passage à l'agriculture extensive quand la relation entre biodiversité et rendement est linéaire ou concave ($\alpha \geq 1$)³. Quand cette relation est convexe ($\alpha < 1$), la biodiversité peut augmenter ou diminuer selon les valeurs relatives du paramètre α , du rendement de l'agriculture extensive (y_e), de la pente de la fonction de demande inverse (g) et des pentes des droites d'offre inverse intensive et extensive (a_i et a_e). Elle est d'autant plus susceptible d'augmenter que les quantités demandées réagissent au prix (g faible), que l'offre

² En effet, étant donné que $y_e \in (0, 1)$ et $\alpha > 0$, on a $y_e^\alpha < 1$. L'utilisation de terres diminue lorsque $(g + a_e) y_e > g + a_i$, qui implique $(g + a_e) y_e > (g + a_i) y_e^\alpha$, qui est la condition sous laquelle la biodiversité augmente.

³ Dans le cas où la relation entre biodiversité et rendement est linéaire ou concave, étant donné que $y_e \in (0, 1)$ et $\alpha - 1 \geq 0$, on a $y_e^{\alpha-1} < 1$. Étant donné que $a_e > a_i$, la relation $g + a_e > (g + a_i) y_e^{\alpha-1}$ est alors vérifiée.

extensive réagit moins au prix que l'offre intensive (a_e beaucoup plus élevé que a_i), et que le degré de convexité de la relation entre biodiversité et rendement est peu élevé (α proche de 1).⁴

On ne retrouve donc pas le résultat de Green *et al.* (2005) si l'on suppose qu'il n'y a pas d'objectif de production exogène identique avec les deux modes d'agriculture, mais que la production résulte d'un équilibre de marché. Dès lors que la demande est élastique, la production à l'équilibre est plus faible avec l'agriculture extensive qu'avec l'agriculture intensive, si bien que la production totale de biodiversité peut être plus élevée avec l'agriculture extensive même dans le cas où la relation entre biodiversité et rendement est convexe.

Notons enfin qu'il n'existe pas d'interprétation intuitive des cas où le surplus des producteurs augmente ou diminue⁵.

2.2.2. Conséquences d'un mouvement de la demande

Proposition 2. Effets d'un déplacement de la fonction de demande

- Une diminution de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la fonction de demande inverse laisse inchangé l'équilibre avec l'agriculture intensive ($q_i^* dg = dc < 0$). Dans l'équilibre avec l'agriculture intensive, toutes les variables restent inchangées, hormis le surplus des consommateurs qui diminue. Dans l'équilibre avec l'agriculture extensive, il en résulte une diminution du prix, de la quantité, de l'utilisation de terres, du surplus des producteurs et du surplus des consommateurs, et une augmentation de la biodiversité.

- Quel que soit le mode d'agriculture, à l'équilibre, un déplacement parallèle de la demande vers l'extérieur (augmentation de c) augmente le prix, les quantités, l'utilisation de terres, le surplus des producteurs et des consommateurs, mais diminue le niveau de biodiversité.

Ainsi, une réaction plus forte de la demande aux prix (g plus faible) conduit, quand ces derniers s'élèvent, à une diminution plus forte des quantités commercialisées lors du passage à l'agriculture extensive, ce qui est favorable à la biodiversité mais négatif pour les producteurs et les consommateurs. Parallèlement, une pression plus élevée de la demande (déplacement vers l'extérieur) est défavorable à la biodiversité quel que soit le mode de production utilisé, tandis qu'il conduit à un surplus plus élevé des producteurs et des consommateurs.

Les résultats de cette proposition sont utiles pour éclairer la comparaison des deux modes d'agriculture en tenant compte de trois destinations possibles pour le produit agricole végétal, alimentation humaine hors produits animaux (que nous appellerons simplement « alimentation humaine »), alimentation animale pour la production de viandes, produits laitiers et œufs (destinés à l'alimentation humaine), et biocarburants.

En faisant l'hypothèse classique que la demande pour l'alimentation humaine est moins élastique aux prix que la demande pour l'alimentation animale⁶, intégrer l'alimentation animale reviendrait à augmenter l'élasticité de la demande ; ceci conduit, toute chose égale par ailleurs, à augmenter les avantages de l'agriculture extensive vis-à-vis de la biodiversité. Dans ce cas, l'effet bénéfique sur la

⁴ Dans le cas où la relation entre biodiversité et rendement est convexe, étant donné que $y_e \in (0, 1)$ et $\alpha \in [0, 1)$, on a $y_e^{\alpha-1} > 1$, avec $y_e^{\alpha-1} \rightarrow 1$ quand $\alpha \rightarrow 1$ et $y_e^{\alpha-1} = 1/y_e$ quand $\alpha = 0$.

⁵ De manière analogue à Karagiannis et Furtan (2002), qui considèrent le cas d'une variation infinitésimale de la pente de la droite d'offre, il est uniquement possible de déterminer une condition nécessaire pour que le surplus des producteurs augmente. Cette condition nécessaire est que la section entre crochets du membre de gauche de l'inégalité présentée dans la proposition 1 soit positif, ce qui se produit si et seulement si $a_i a_e > g^2$ (le produit des deux pentes des droites d'offre est plus élevé que le carré de la pente de la droite de demande).

biodiversité du passage à l'agriculture extensive est réalisé au détriment du prix agricole, qui augmente, avec une diminution des débouchés essentiellement en alimentation animale, où la demande est plus élastique, et dans une moindre mesure en alimentation humaine. Cette analyse étend l'argument présenté par Angelsen (2010) qui montre qu'un rendement plus élevé peut augmenter la part non alimentaire dont la demande est plus élastique, au détriment de la demande alimentaire qui est plus inélastique.

En distinguant toujours les débouchés en alimentation humaine et animale, considérons maintenant un troisième débouché, les biocarburants. Les politiques actuelles d'incorporation obligatoire de biocarburants (aux États-Unis, en Europe et au Brésil par exemple) (HLPE, 2013), conduisent à un demande de biocarburants qui réagit très peu aux prix⁷. Les politiques publiques d'incorporation obligatoire de biocarburants dans l'essence déplacent vers la droite la demande totale. Conformément aux résultats de la proposition 2, il en résulte une augmentation des quantités produites et de l'utilisation de terres et une diminution de la biodiversité totale quel que soit le mode d'agriculture utilisé. Moins productive, l'agriculture extensive conduit à mobiliser plus de terres que l'agriculture intensive pour atteindre la demande de biocarburants (quasiment identique avec les deux modes d'agriculture étant donnée la forte pente de cette droite). Le passage à l'agriculture extensive augmente donc l'utilisation de terres d'une manière plus importante que dans le cas précédent où le débouché des biocarburants n'était pas pris en compte. Comme précédemment, il diminue essentiellement la taille du marché de l'alimentation animale.

3. Discussion-Conclusion

Nous avons montré que la forme d'agriculture la plus intéressante pour la biodiversité dépend de l'équilibre des marchés agricoles. Toutes choses égales par ailleurs, tant que la demande réagit aux prix et que l'agriculture extensive a des coûts de production plus élevés, cette dernière peut être plus intéressante pour la biodiversité que l'agriculture intensive si la relation entre biodiversité et rendement n'a pas un degré de convexité très élevé. En revanche, le passage à l'agriculture extensive affecte négativement le surplus des consommateurs, ainsi que la somme du surplus des producteurs et des consommateurs, tandis que son effet sur le surplus des producteurs est indéterminé.

3.1. Pression de l'agriculture sur les espaces protégés

Notre modèle formalise l'argument selon lequel une agriculture intensive plutôt qu'extensive ne conduit pas nécessairement à économiser autant de terres qu'il serait souhaitable pour préserver la biodiversité, dès lors que l'augmentation de rendement qu'elle permet ne s'accompagne pas d'une diminution proportionnelle des terres mises en culture. Cet argument a déjà été avancé, notamment par Matson et Vitousek (2006), Vandermeer et Perfecto (2007), Perfecto et Vandermeer (2010). Dans notre analyse, lorsque la demande réagit aux prix, si la relation biodiversité/rendement est suffisamment peu convexe, l'avantage du *land sparing* ne pourrait être conservé que s'il était possible de contrecarrer

⁶ C'est du moins le cas pour les produits alimentaires végétaux tels que le riz ou le pain, et les produits alimentaires animaux tels que le lait ou la viande, comme illustré, par exemple, par les valeurs des élasticité de la base « *Demand Elasticities from Literature* » de l'USDA (www.ers.usda.gov/data-products/commodity-and-food-elasticities). Il est en effet bien difficile d'estimer des élasticité-prix pour des produits agricoles végétaux uniquement destinés à l'alimentation humaine (*food*) et uniquement à l'alimentation animale (*feed* : céréales et oléagineux principalement) puisque chaque production agricole primaire est généralement utilisée à plusieurs fins. La plupart des céréales servent ainsi à alimenter les hommes mais aussi les animaux, et plus récemment les usines d'éthanol ; les oléagineux servent quant à eux à produire des tourteaux pour l'alimentation animale, et de l'huile pour l'alimentation humaine ou la production de biodiesel.

⁷ Les quantités demandées diminuent légèrement lorsque le prix agricole augmente, parce que ceci conduit à augmenter le prix du carburant, et à en diminuer la demande. Ainsi, avec un taux obligatoire fixé d'incorporation de biocarburants dans l'essence, la demande de biocarburants est décroissante avec son prix (voir De Gorter et Just, 2009).

l'augmentation de production qu'il suscite par des politiques contraignantes d'espaces naturels protégés.

L'importance d'aménager de tels espaces pour protéger la biodiversité face à la pression agricole a été soulignée par Green *et al.* (2005), Ewers *et al.* (2009), Phalan *et al.* (2011b), Balmford *et al.* (2012). Notre modèle n'intègre pas cette option. Si on l'introduisait, il en résulterait qu'il serait profitable pour les deux modes d'agriculture d'augmenter l'utilisation de terres au-delà de ce qui est autorisé, et donc d'empiéter sur ces zones naturelles protégées. De plus, cette incitation àempiéter serait plus forte pour l'agriculture intensive, plus profitable particulièrement par unité de surface. Pour empêcher cet empiètement, il faudrait des mesures coercitives très dissuasives qui ont un coût social et financier élevé (pour la mise en place, la surveillance et l'application des peines), ou des mesures financières compensant les agriculteurs à la hauteur des revenus dont les zones protégées les privent. On peut s'interroger sur la capacité des politiques publiques à développer l'une ou l'autre de ces options à grande échelle (voir à ce sujet Phelps *et al.*, 2013).

3.2. Arbitrage entre filières de produits et bien-être

Selon Fischer *et al.* (2011), Tschamtker *et al.* (2012) ou encore Balmford *et al.* (2012), puisqu'il n'existe pas de relation simple entre le niveau de production agricole global et la sécurité alimentaire mondiale, l'arbitrage entre *land sparing* et *land sharing* pour maintenir la biodiversité n'est pas directement une question de sécurité alimentaire. Notre cadre d'analyse précise cette conclusion, en montrant que le *land sharing*, par hypothèse moins productif à l'hectare, va modifier via les prix la structure de consommation de différents débouchés alimentaires et non-alimentaires, et que cette modification ne permet pas de conclure à une moindre sécurité alimentaire.

Notre modèle montre ainsi que l'agriculture extensive pourrait atténuer les pressions sur la terre et la biodiversité en augmentant le prix agricole au détriment des débouchés essentiellement en alimentation animale et, dans une moindre mesure, en alimentation humaine. Ces débouchés en alimentation animale sont liés à la demande humaine en produits animaux (lait, viande et œufs), laquelle exerce d'autant plus de pression sur la terre qu'il faut aujourd'hui, en moyenne mondiale, environ trois calories ou protéines végétales consommables par l'homme (céréales et oléagineux principalement) pour obtenir une calorie ou protéine animale également consommable par l'homme (lait, viande ou œufs)⁸. Qui plus est, ce rapport tend à augmenter au fil du temps (Paillard *et al.*, 2011), puisque plus la demande en produits animaux est importante, plus il s'avère profitable de convertir des forêts ou pâtures (deux réservoirs importants de biodiversité) en cultures d'aliments pour animaux, souvent des monocultures de céréales (maïs) et d'oléagineux (soja).

Cette augmentation des prix alimentaires provoquée par un passage à l'agriculture extensive est dommageable pour les consommateurs. Elle affecterait négativement en premier lieu les consommateurs pauvres, notamment dans les pays en développement. Deux facteurs pourraient cependant tempérer cet effet. D'une part, cette augmentation des prix agricoles pourrait profiter à une population parmi les plus pauvres au monde : les centaines de millions de petits producteurs agricoles concentrés en Asie, Afrique et Amérique Latine, et qui représentent désormais l'essentiel des actifs agricoles sur la planète (Dorin *et al.*, 2013). D'autre part, c'est dans les pays industrialisés que la consommation par habitant de produits animaux est la plus élevée, et que ces produits animaux consomment eux-mêmes le plus de biomasses alimentaires⁹. Un passage à l'agriculture extensive

⁸ Ce rapport est une moyenne mondiale qui exclut les biomasses non consommables par l'homme mais consommées par les animaux, comme les pâtures ou cultures fourragères, ou encore les résidus de cultures.

⁹ Dans les pays à très faible revenu, les biomasses non alimentaires, en particulier les brousses et résidus de récolte ou alimentaires, sont beaucoup plus utilisés pour l'alimentation des animaux puisque les terres arables sont avant tout cultivées pour l'alimentation humaine. Les rendements de l'élevage en lait et viande sont évidemment beaucoup plus faibles, mais ces

aurait donc un impact plus important sur les consommateurs des pays industrialisés, via des produits animaux qu'ils tendent par ailleurs à surconsommer au détriment de leur santé (maladies cardiovasculaires et autres). Ainsi, des politiques publiques encourageant le passage à l'agriculture extensive pourraient en compléter d'autres visant à influencer les modes de consommation, pour par exemple réduire la surconsommation de produits animaux et les gaspillages alimentaires tout au long des chaînes de transformation et de consommation (Paillard *et al.*, 2011).

A la différence des débouchés en alimentation animale, tant que les débouchés des biocarburants sont assurés par des politiques rendant obligatoire leur incorporation dans les carburants fossiles, le passage à l'agriculture extensive ne permet pas de les limiter de manière significative. Ces politiques d'incorporation obligatoire conduisent donc à diminuer la biodiversité totale quel que soit le mode d'agriculture utilisé. Ce résultat est à souligner car au plan environnemental, le débat scientifique sur les biocarburants demeure centré sur les émissions de gaz à effet de serre (qui diminuent ou augmentent selon les cas et la prise ou non en compte les changements indirects d'utilisation des terres) alors que leur effet sur la biodiversité, beaucoup moins étudié, est assurément négatif (voir Krausmann *et al.*, 2013).

Notre analyse pourrait être prolongée en distinguant différents pays, selon leur niveau de développement et leur place dans le commerce international des produits agricoles. Ceci permettrait d'étudier plus précisément, pour chaque type de pays, quels sont les effets d'un changement de mode d'agriculture sur les différents débouchés et sur les trois composantes du bien-être (surplus des producteurs, surplus des consommateurs et biodiversité). Il serait par ailleurs intéressant de modéliser les filières agroalimentaires, en distinguant par exemple les producteurs agricoles et les fournisseurs d'intrants industriels (engrais chimiques, pesticides et énergie fossile). Alors qu'un passage à l'agriculture extensive conduit à un effet indéterminé sur le surplus des producteurs agricoles dans notre modèle, il affecterait négativement les producteurs d'intrants industriels utilisés essentiellement en agriculture intensive, ainsi que les vendeurs de ces intrants, et ceci doublement puisque ces derniers sont souvent aussi collecteurs de productions agricoles (plus réduites en agriculture extensive). Ceci pourrait peut-être les conduire à développer leur vente d'informations et de conseil. Par ailleurs, les effets de marchés et de bien-être de notre modèle pourraient être précisés en prenant en compte les différences de productivité qui existent selon les sols et les climats (alors que notre modèle considère que toutes les terres ont le même rendement) et l'élasticité prix des rendements (alors que nous supposons que les rendements des deux modes d'agriculture ne varient pas en fonction des prix d'équilibre).

3.3. Progrès technique et intensification écologique

Dans notre modèle, nous faisons l'hypothèse d'une relation statique et décroissante entre rendement et biodiversité. Par le passé en effet, pour réduire les prix de l'alimentation et écarter les spectres de famines, et dans un contexte d'approvisionnement à bas coût des énergies fossiles, la spécialisation des productions agricoles (développement de quelques monocultures) et l'intensification de leur rendement par intrants industriels (engrais chimiques, pesticides...) se sont faites au détriment de nombreux biens ou services environnementaux, dont la biodiversité (Foley *et al.*, 2005). Aujourd'hui, on pourrait envisager une taxation des externalités négatives liées à l'agriculture, notamment au regard de la biodiversité, pour encourager l'intensification par synergies biologiques plutôt que par intrants industriels, entre de très diverses espèces végétales et animales, au-dessus comme au-dessous de la surface des sols. Cette taxation en faveur de l'agro-écologie (Altieri, 1999) ou de l'intensification écologique (Bommarco *et al.*, 2013) augmenterait les coûts de production agricole, donc les prix pour les consommateurs, et impacterait négativement certains opérateurs comme les actuels fournisseurs

animaux fournissent d'autres services (traction, fertilisation des sols avec les déjections, ou fourniture par les bouses de combustibles ou matériaux de construction, etc.)

d'intrants chimiques. Mais elle pourrait générer à terme d'importants gains de bien-être total, en augmentant les rendements, la santé des hommes et des écosystèmes, ou encore le revenu des petits producteurs agricoles. Ces innovations techniques et sociales pourraient aussi être encouragées par la recherche-développement (R&D) si cette dernière s'engageait dans leur direction avec autant d'assurance et de moyens qu'elle s'est engagée, à partir des années 1960, dans la « révolution verte » en Asie ou la « modernisation agricole » en Europe. Sachant que les synergies biologiques sont plus complexes à gérer et plus risquées, ce qui peut décourager leur développement par les agriculteurs, la R&D pourrait en particulier documenter les systèmes complexes existants et la variabilité de leurs résultats suivant les conditions naturelles et anthropiques, et parallèlement concevoir et proposer des options techniques ou des outils (aides à la décision, agroéquipements, etc.) permettant de limiter les risques et les coûts de gestion de systèmes complexes adaptés aux conditions et potentialités locales.

La performance de tels agro-écosystèmes localisés pourrait à terme être très élevée, tant au plan de la production que des services éco-systémiques (Cunningham *et al.*, 2013). Nous n'avons pas envisagé une telle performance dans notre modèle. Pour la prendre en compte, il faudrait intégrer dans le modèle des relations différentes entre biodiversité et rendement selon les modes de production, en supposant une relation convexe pour l'agriculture intensive classique, mais concave et fonction des investissements en R&D pour l'agriculture écologiquement intensive (comme représenté dans Tschardt *et al.*, 2012). Pour évaluer la relation entre rendement et biodiversité dans les deux cas, il conviendrait parallèlement de s'interroger sur le type de biodiversité à mesurer. Ainsi, la biodiversité de la faune du sol et celle de la végétation sont rarement mentionnées dans la littérature sur le *land sparing* et le *land sharing*. Leurs relations avec le rendement peuvent être très différentes du cas des oiseaux qui sont des indicateurs de biodiversité plus classiquement utilisés, et leur devenir tout aussi important à considérer.

Références bibliographiques

- Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working Paper 12-03, FAO, Rome.
- Altieri M. A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74, 19-31.
- Angelsen A., 2010. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 19639-19644.
- Balmford A., Green R., Phalan B., 2012. What conservationists need to know about farming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279, 2714-2724.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 230-238.
- Cunningham, S.A., Attwood, S.J., Bawa, K.S., Benton, T.G., Broadhurst, L.M., Didham, R.K., McIntyre, S., Perfecto, I., Samways, M.J., Tschardt, T., Vandermeer, J., Villard, M.-A., Young, A.G., Lindenmayer, D.B., 2013. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 173, 20-27.
- De Gorter, H. Just, D.R., 2009. The economics of a blend mandate for biofuels. *American Journal of Agricultural Economics* 91, 731-750.
- Dorin B., Hourcade J.C., Benoit-Cattin M. (2013). A world without farmers? The Lewis path revisited. WP 47-2013, CIREN, France.
- Ewers R.M., Scharlemann J.P.W., Balmford A., Green R.E., 2009. Do increases in agricultural yields spare land for nature? *Global Change Biology* 15, 1716-1726.
- FAO, 2009. The state of food and agriculture: livestock in the balance. Rome.
- Fischer J., Batary P., Bawa K.S., Brussaard L., Chappell M.J., Clough Y., Daily G.C., Dorrough J., Hartel T., Jackson L.E., Klein A.M., Kremen C., Juemmerle T., Lindenmayer D.B., Mooney H.A.,

- Perfecto I., Philpott S.M., Tscharntke T., Vandermeer J., Wanger T.C., Wehrden H., 2011. Conservation: limits of land sparing. *Science* 334, 593.
- Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin F. S., Coe M. T., Daily G. C., Gibbs H. K., Helkowski J. H., Holloway T., Howard E. A., Kucharik C. J., Monfreda C., Patz J. A., Prentice I. C., Ramankutty N., Snyder P. K., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman G.D., Zaks D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342.
- Fritz S., See L., van der Velde M., Nalepa R. A., Perger C., Schill C., McCallum I., Schepaschenko D., Kraxner F., Cai X. M., Zhang X., Ortner S., Hazarika R., Cipriani A., Di Bella C., Rabia A. H., Garcia A., Vakolyuk M., Singha K., Beget M. E., Erasmi S., Albrecht F., Shaw B., Obersteiner M., 2013. Downgrading recent estimates of land available for biofuel production. *Environmental Science & Technology* 47, 1688-1694.
- Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P.W., Balmford A., 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307, 550-555.
- HLPE, 2013. Biofuels and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.
- Karagiannis G., Furtan W.H., 2002. The effects of supply shifts on producers' surplus: the case of inelastic linear supply curves. *Agricultural Economics Review* 2002, 3, 5-11.
- Krausmann F., Erb K.H., Gingrich S., Haberl H., Bondeau A., Gaube V., Lauk C., Plutzer C., Searchinger T. D., 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 10324–10329.
- Matson P.A., Vitousek P.M., 2006. Agricultural intensification: Will land spared from farming be land spared for nature? *Conservation Biology* 20, 709-710.
- Paillard S., Tréyer S., Dorin B. (Coord.), 2011. *Agrimonde: scenarios and challenges for feeding the world in 2050*, Quae, Versailles, 295 p.
- Perfecto I., Vandermeer J., 2010. The agroecological matrix as an alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Science* 107, 5786-5791.
- Phalan B., Onial M., Balmford A., Green, R.E., 2011a. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared *Science* 333, 1289-1291.
- Phelps J., Carrasco L.R., Webb E.L., Koh L.P., Pascual U., 2013. Agricultural intensification escalates future conservation costs. *Proceedings of the National Academy of Science* 110, 7601-7606.
- Phalan B., Balmford A., Green R.E., Scharlemann J.P.W., 2011b. Minimizing the harm to biodiversity of producing more food globally. *Food Policy* 36, S62-S71.
- Seufert V., Ramankutty N., Foley J.A., 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229-232.
- Tscharntke T., Clough Y., Wanger T.C., Jackson L., Motzke I., Perfecto I., Vandermeer J., Whitbread A., 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151, 53-59.
- Vandermeer J., Perfecto I., 2007. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21, 224-227.
- Vanloqueren G., Baret P.V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics* 66, 436 – 446.
- Vanloqueren G., Baret P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy* 38, 971–983.