L'agroforesterie: une solution économique pour une production animale neutre en CO_2?

Simon Briner, Michael Hartmann et Bernard Lehmann, Institute for Environmental Decisions IED, ETH Zürich
Renseignements: Simon Briner, e-mail: briners@ethz.ch, tél: + 41 44 632 53 93



Les systèmes agroforestiers constituent une possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre. (Photo: Ch. Dupraz, INRA)

Introduction

En Suisse, l'agriculture est responsable d'environ 11 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) (tabl. 1). Concernant le méthane et le protoxyde d'azote, la part de l'agriculture atteint même 80 et 78 % respectivement.

Différentes stratégies de réduction des GES dans l'agriculture sont décrites dans la littérature (p. ex. UNFCCC 2008). Parmi elles figure, outre l'amélioration de la gestion des pâturages et diverses mesures techniques (p. ex. la couverture des fosses à purin), l'agroforesterie qui permet d'influencer positivement la séquestration du carbone (UNFCCC 2008; World Agroforestry Centre 2010). Cet article vise à établir si les émissions générées par une exploitation agricole suisse peuvent être compensées totalement par un système agroforestier, soit s'il est possible de produire du lait ou de la viande de façon climatiquement neutre.

Caractéristiques de l'agroforesterie

Un système agroforestier peut être caractérisé comme «une combinaison volontaire et une gestion commune de cultures pérennes boisées et de cultures annuelles sur

une même parcelle. L'élément agricole se compose de grandes cultures [silvoarable] ou de surface fourragère [silvopastorale].» (Agroforst 2009a). Les systèmes agroforestiers sont installés traditionnellement sous forme d'arbres fruitiers dispersés (Herzog 1998) ou selon des systèmes modernes pour produire du bois de valeur (bois de placage, jusqu'à 45 ans) et du bois de chauffage (3 à 10 ans) (Agroforst 2009b). Ces systèmes agroforestiers génèrent des interactions positives et négatives entre la culture pérenne et la culture annuelle ou fourragère (tabl. 2).

Les systèmes agroforestiers peuvent donc contribuer à la diversification de la production agricole, à l'augmentation de la fertilité des sols, à la réduction des pertes d'azote, à l'amélioration de la qualité des paysages et à l'augmentation de la biodiversité (Jose 2009; Malézieux *et al*. 2009; SAFE 2005).

Les systèmes agroforestiers modernes sont bien adaptés aux techniques actuelles de production agricole. Ainsi, l'intervalle entre les lignes d'arbres est adapté à la largeur des machines agricoles présentes sur l'exploitation et les contingences naturelles peuvent être mises à profit dans les cultures fourragères (Agroforst 2009b; Malézieux *et al.* 2009). D'un point de vue économique, les systèmes agroforestiers génèrent, en plus des recettes annuelles agricoles, les recettes issues de la vente du bois et, éventuellement, de la commercialisation de prestations environnementales. Toutefois, ces recettes sont décalées dans le temps car, dans les systèmes agroforestiers comme en production viticole et fruitière, les premières années ne génèrent pas de rendement et donc aucun revenu. (Krummenacher *et al*. 2008; Agroforst 2009b).

Comparativement aux grandes cultures exploitées en monoculture, la quantité de carbone séquestrée dans les systèmes agroforestiers peut être augmentée grâce aux arbres ou aux buissons (Jose 2009). Le carbone séquestré représente la différence entre le carbone fixé par la photosynthèse et celui libéré par la respiration. Le ›

Tableau 1 | Volume des émissions de gaz à effet de serre en Suisse (2007)

	Mio. t CO_2-eq		%
Emissions total	**51,27**		**100**
dont l'agriculture		5,35	10
Méthane (CH_4) total	**3,51**		**100**
dont l'agriculture		2,83	80
Protoxyde d'azote (N_2O) total	**3,24**		**100**
dont l'agriculture		2,52	78

Source: Swiss Greenhouse Gas Inventories (2009)

Résumé

En Suisse, l'agriculture est responsable d'environ 11 % des émissions de CO_2. L'agroforesterie constitue une solution pour améliorer le bilan climatique de l'agriculture. Les systèmes agroforestiers sont une combinaison d'une culture pérenne boisée avec une grande culture ou une culture fourragère sur la même parcelle. Un avantage des systèmes agroforestiers est leur capacité à séquestrer le CO_2 qui est ainsi fixé puis stocké dans le bois de la culture pérenne et dans l'accumulation d'humus. Après la récolte, le bois peut être utilisé comme bois de construction ou de menuiserie ou alors comme substitut aux énergies fossiles. Dans les deux cas, les émissions de gaz à effet de serre sont réduites. Grâce aux systèmes agroforestiers, une exploitation suisse active dans la production laitière ou l'élevage de vaches mères peut ainsi atteindre un bilan neutre en CO_2, sans pour autant limiter drastiquement sa production. Dans notre analyse, les coûts supplémentaires générés par ce système s'élèvent à au moins 9 centimes par kilogramme de lait et à au moins 80 centimes par kilogramme de viande. Si les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites sans aucune réduction de la production, les coûts supplémentaires s'élèvent alors à 10 centimes par kilogramme de lait et à 90 centimes par kilogramme de viande.

Tableau 2 | **Interactions positives et négatives dans les systèmes agroforestiers**

Facteur	Avantage éventuel	Inconvénient éventuel
Ombrage	• Protection contre le soleil pour les animaux • Moins de dessèchement en surface	• Croissance réduite/ralentie des plantes due à la concurrence pour la lumière
Protection contre le vent	• Moins d'érosion • Evaporation réduite dans les endroits secs • Moins de dégâts mécaniques	• Evaporation réduite dans les endroits humides
Eléments nutritifs	• Constitution de stocks de nutriments en profondeur, disponibles pour la culture annuelle à travers les radicelles et les feuille mortes • Enrichissement du sol grâce aux essences d'arbres qui fixent l'azote	• Concurrence lors de besoins simultanés des deux cultures et concurrence entre leurs racines
Erosion due à l'eau	• Réduite dans les pentes grâce aux arbres	
Feuilles mortes	• Enrichissement en humus et en nutriments si les feuilles se décomposent bien • Protection contre l'érosion grâce au mulch	• Ralentissement des cultures automnales à cause du tapis de feuilles • Réduction de la qualité fourragère

Source: selon Agroforst 2009b

potentiel de séquestration du carbone dépend, comme dans les autres systèmes d'exploitation, de divers facteurs. Parmi ceux-ci, on peut citer la teneur en carbone de la biomasse existante, dans le sol et dans le bois produit, la durée du cycle d'abattage, la composition des espèces, la situation géographique, les facteurs environnementaux et, finalement, les pratiques de gestion (Jose 2009). Même au sein d'une région limitée, la séquestration de carbone peut varier fortement. Selon les pratiques (bois de chauffage, fertilisation, travail du sol, etc.), un système agroforestier peut aussi devenir une source de gaz à effet de serre. Si le bois produit est utilisé comme bois de chauffage, par exemple, une grande partie du carbone fixé est alors relâchée en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cependant, une telle utilisation permet de remplacer les sources d'énergie fossiles et, au bout du compte, de réduire ainsi les émissions de CO_2 (Köhl *et al*. 2008). Avec une utilisation du bois à long terme (comme bois de construction p. ex.), le carbone séquestré est fixé pour une durée plus longue au cours de laquelle il ne porte pas atteinte à l'environnement.

Méthode

Dans leur publication, Krummenacher *et al*. (2008) parlent du faible nombre d'analyses effectuées en Suisse sur l'agroforesterie. Comme les exploitations concernées se distinguent fortement les unes des autres, les systèmes agroforestiers doivent être adaptés à chaque exploitation, ce qui nécessite une analyse individualisée.

Au moyen d'un modèle mathématique d'optimisation linéaire, il a été analysé, pour une exploitation type de production laitière et une de vaches mères, si les systèmes agroforestiers représentaient une solution pour compenser les émissions de GES agricoles en Suisse. Les caractéristiques importantes des exploitations modélisées sont décrites dans le tableau 3. Les exploitations se situent en zone collinéenne à environ 700 mètres d'altitude et sont un peu plus grandes que les exploitations de référence du dépouillement centralisé des données d'ART (Roesch et Hausheer Schnider 2009).

Les calculs du modèle se basent sur les données du catalogue des marges brutes d'AGRIDEA (2008) pour le prix des produits, les coûts d'exploitation ainsi que pour les rendements des grandes cultures et des cultures fourragères.

Comme paramètre pour l'intensité du travail agricole, les coûts d'opportunité du travail ont été fixés à 5 francs par heure. L'élément déterminant pour le revenu de l'exploitant est la hauteur de la fonction cible, avec laquelle le revenu est maximisé.

Les émissions de gaz à effet de serre ont été calculées selon les lignes directrices de l'IPCC, adaptées à l'échelle suisse (Hediger 2004). Comme 80 % des exploitations agricoles suisses couvrent leur fosse à purin, (Peter *et al*. 2009), cette hypothèse a été admise pour les exploitations modèles. Avec une couverture, les émissions issues du stockage des engrais de ferme peuvent être réduites de 66 % à faible coût. D'autres mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre n'ont pas été prises en compte dans les calculs, car elles se révèlent trop coû-

Tableau 3 | **Structure des exploitations modèles**

		Lait	Vaches-mères
Production végétale	Surface agricole utile (ha)	22	22
	Surface labourée maximale (ha)	5	5
Production animale	Vaches (places)	20	25
	Rendement en lait (kg)	6500	0
	Génisses (places par vache)	0,7	0

Source: Roesch et Hausheer Schnider 2009; hypothèses personnelles

teuses (Peter *et al*. 2009). Dans le modèle, deux systèmes de séquestration de CO_2 différents ont été implémentés. Le premier est un système agroforestier composé de peupliers et le second d'arbres d'essences variées à croissance rapide, à cycle de production plus court. Le bois est utilisé comme bois de chauffage dans les deux systèmes. Les caractéristiques des systèmes modélisés sont résumées dans le tableau 4. Après la récolte, le bois de chauffage est utilisé pour remplacer le mazout de chauffage ou d'autres énergies fossiles. Lors de la substitution, l'efficience n'atteint toutefois que 73 % en raison de la faible densité énergétique du bois (Köhl *et al*. 2008).

Pour les calculs du modèle, l'hypothèse a été formulée que l'exploitation se trouve en équilibre, soit dans une situation où on plante autant d'arbres qu'on en abat. Chaque fois, deux scénarios ont été calculés dans la production de lait et de viande. Dans le scénario *Optimum,* la quantité de production faisait partie de l'optimisation. Dans ce scénario, les exploitations avaient la possibilité de limiter leur production pour réduire les émissions. A l'échelle suisse, une éventuelle limitation de la production serait, en réalité, compensée par l'augmentation de la production d'autres exploitations ou par une augmentation des importations. Dès lors, dans le meilleur des cas, la quantité nette d'émissions de gaz à effet de serre ne diminuerait pas. En conséquence, dans un deuxième scénario dénommé *Fixe*, la quantité de production a été fixée à hauteur égale avec la situation d'origine.

Dans les calculs, seules les émissions générées par l'exploitation modèle ont été prises en compte. Des estimations à l'aide d'un écobilan ainsi que les émissions indirectes dans le pays ou à l'étranger pour la création des moyens de production (émissions grises) se situent hors du cadre de ce modèle.

Tableau 4 | Caractéristiques des systèmes modélisés

Caractéristique	Peupliers		Plantation à cycle de production court
Nombre d'arbres par ha	**50**	**113**	**10 000**
Réduction du rendement (moyenne sur toute la période, %)			
Cultures automnales et cultures fourragères	30	40	100
Cultures de printemps	45	60	100
Cycle de production (années)	20		4
Récolte de bois (t/cycle)	100	140	48
Séquestration CO_2 (t CO_2/ha année)	5,6	8,3	14
Prix du bois (CHF/t)	120		120
Coûts plantation et soin (CHF/arbre)	20		0,32

Source: Burgess *et al.* 2005; Waldwirtschaft Schweiz 2009; Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH 2010; Köhl *et al.* 2008; hypothèses personnelles

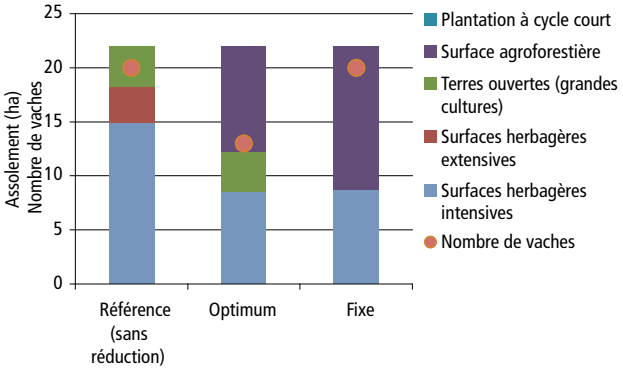


Figure 1 | Développement du nombre de vaches et utilisation des surfaces dans le scénario de référence et dans les deux scénarios avec réduction des émissions nettes à zéro.

Résultats et discussion

Production laitière

Dans le scénario de référence sans réduction, l'exploitation laitière émet 140 tonnes de CO_2-eq par année dont 40 % proviennent directement de la digestion des animaux. Le reste est libéré par le stockage des engrais de ferme et par l'épandage d'engrais. Comme on peut le constater sur la figure 1, dans ce scénario, la plus grande partie de la surface est utilisée comme surface herbagère intensive (prairies temporaires incluses). Un peu plus de 7 % est utilisé comme surface herbagère extensive.

Dans le scénario *Optimum*, le nombre de vaches laitières se trouve réduit d'un tiers à 13 vaches. Comme la plus grande partie des émissions de gaz à effet de serre provient directement des animaux, les émissions brutes de GES diminuent également d'un tiers. Les émissions résultantes sont compensées par la séquestration de carbone. Dans ce scénario, près de la moitié des surfaces est destinée à l'agroforesterie. En raison de la réduction du nombre de vaches, une part importante de la surface herbagère intensive peut être remplacée par une combinaison de peupliers et de surfaces herbagères extensives. L'exploitant bénéficie de paiements directs supplémentaires pour les prairies extensives, ce qui compense en partie la perte due aux rendements fourragers inférieurs.

Dans le scénario *Fixe* en revanche, où la quantité de production ne peut pas être réduite, les surfaces doivent être exploitées plus intensivement, pour pouvoir à la fois fourrager les animaux et séquestrer la quantité de carbone équivalente aux émissions. Dans ce scénario, ›

presque deux tiers de la surface sont utilisés en système agroforestier. Dans ce cas, les peupliers sont combinés sur 10 % de la surface à des prairies extensives et sur 50 % à des prairies intensives. Dans ce système, les grandes cultures doivent être complètement abandonnées.

Dans les deux scénarios, les plantations à court cycle de production ne font pas partie de la solution optimale. Il est vrai qu'elles peuvent séquestrer plus de CO_2 par unité de surface, mais la production fourragère s'en trouve encore plus limitée.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre implique des coûts supplémentaires pour l'exploitant agricole sous forme de coûts d'opportunité. Pour pouvoir séquestrer suffisamment de gaz à effet de serre, l'exploitant est limité dans le choix de l'utilisation de sa surface agricole utile ainsi que dans le choix du nombre d'animaux. Par exemple, soit il lui est impossible de mettre en place des grandes cultures, ce qui fait baisser ces recettes, soit il doit diminuer le nombre d'animaux, avec le même effet.

La figure 2 montre comment les coûts augmentent avec une réduction toujours plus forte des émissions nettes de gaz à effet de serre. On voit que les coûts marginaux d'évitement (CME) augmentent plus intensément dans le scénario *Fixe* que dans le scénario *Optimum*. Dans les deux scénarios, les arbres sont plantés dans un premier temps sur les surfaces herbagères extensives, ce qui permet la compensation d'environ un quart des émissions de gaz à effet de serre. Cela implique des CME relativement faibles à hauteur de 32 francs par tonne CO_2-eq. Ensuite, dans le scénario *Optimum*, les surfaces herbagères intensives sont converties en surfaces agroforestières extensives. La production de fourrage baissant, le nombre d'animaux est réduit parallèlement, ce qui permet de réduire encore les émissions, avec des CME de l'ordre de 58 francs par tonne de CO_2-eq. A ce prix, les émissions peuvent être réduites à néant dans ce scénario.

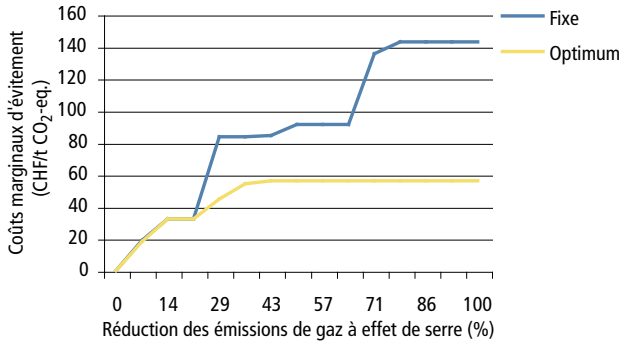


Figure 2 | **Coûts marginaux d'évitement pour une réduction graduelle des émissions de gaz à effet de serre dans les scénarios *Fixe* et *Optimum*.**

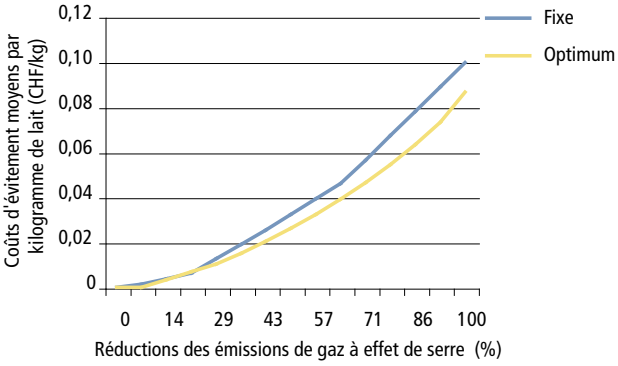


Figure 3 | **Coûts d'évitement moyens par kilogramme de lait.**

Dans le scénario *Fixe*, la même quantité de fourrage que dans le scénario de base doit être produite. Ici, les grandes cultures sont remplacées par des surfaces agroforestières avec des prairies extensives comme élément agronomique. Cela coûte près de 80 francs par tonne de CO_2-eq. Une fois que toutes les surfaces de grandes cultures ont été converties, les arbres sont plantés sur les surfaces herbagères intensives utilisées pour la pâture. Pour compenser la perte de production de fourrage, le système agroforestier sur prairies extensives doit être intensifié. Cette mesure entraîne des CME avoisinant 140 francs par tonne de CO_2-eq.

Les coûts d'évitement moyens reportés sur un kilogramme de lait pour les scénarios *Optimum* et *Fixe* sont représentés sur la figure 3. Dans les deux scénarios, avec une réduction croissante des émissions, les coûts augmentent pour atteindre près de 10 centimes par kilogramme de lait lors d'une réduction totale des émissions nettes de gaz à effet de serre. Il est vrai que dans le scénario *Fixe* les coûts d'évitement totaux sont plus importants que dans le scénario *Optimum* mais, dans ce dernier, la réduction des émissions est couplée à la réduction de la quantité produite de lait, qui elle-même entraîne l'augmentation des coûts moyens.

La hauteur des coûts engendrés par la réduction des émissions dépend très fortement de la croissance des peupliers dans le système agroforestier, et donc de la capacité de séquestration du carbone. Si, par exemple, on réduit la vitesse de croissance présumée des peupliers de 10 %, la réduction des émissions se renchérit de 17 % dans le scénario *Optimum*. Dans le scénario *Fixe*, avec

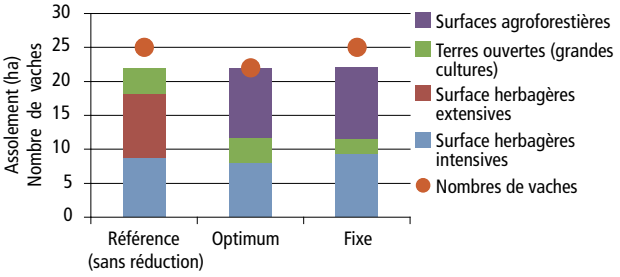


Figure 4 | Assolement et nombre de bêtes sur l'exploitation modèle de vaches mères, dans le scénario de référence sans réduction des émissions et dans les deux scénarios avec émissions nettes de gaz à effet de serre réduites à zéro.

cette hypothèse, une réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre jusqu'à un niveau zéro n'est plus possible car il est impossible de produire suffisamment de fourrage et de séquestrer simultanément assez de carbone.

Vaches mères

L'exploitation de vaches mères libère, dans le scénario de référence, environ 80 tonnes de CO_2-eq. Dans ce scénario, 80 % de la surface est herbagère et le reste est dédié aux grandes cultures (fig. 4). Avec la réduction à un niveau zéro des émissions nettes de gaz à effet de serre, l'ensemble des prairies extensives est transformé en surfaces agroforestières, dans les deux scénarios *Optimum* et *Fixe*. De plus, dans le scénario *Fixe*, une partie des terres ouvertes doit être convertie en surface agroforestière. Pour éviter cela dans le scénario *Optimum*, le nombre d'animaux est réduit et les émissions brutes de gaz à effet de serre diminuent de plus de 10 %.

Sur une exploitation de vaches mères, la réduction des émissions de gaz à effet de serre engendre aussi des coûts. Les coûts marginaux d'évitement sont représentés sur la figure 5. Dans les deux scénarios, les arbres sont plantés, dans une première phase, sur les surfaces herbagères extensives. Avec cela, 70 % des émissions brutes peuvent être séquestrées pour un CME d'environ 30 francs par tonne de CO_2-eq. Ensuite, dans le scénario *Fixe*, des terres ouvertes doivent être converties en surface agroforestière pour qu'il y ait suffisamment de fourrage à disposition, les CME dépassant alors 80 francs par tonne de CO_2-eq. Dans le scénario *Optimum*, dès que toutes les surfaces herbagères extensives ont été converties en surfaces agroforestière, le nombre d'animaux est réduit, avec des CME d'environ 55 francs par tonne de CO_2-eq.

Les coûts moyens d'évitement reportés sur un kilogramme de viande sont illustrés sur la figure 6. Les coûts dans le scénario *Fixe* se situent à 90 centimes par kilogramme de poids mort, soit, comme dans la production laitière, légèrement plus élevés que dans le scénario *Optimum* avec 80 centimes par kilogramme de poids mort. Ici aussi, une partie des coûts totaux plus élevés peut être compensée par une plus forte production, ce qui diminue la différence entre les deux scénarios.

Les coûts moyens par kilogramme de viande augmentent relativement rapidement avec une capacité de séquestration réduite des peupliers. Avec une baisse de 10 % de la quantité de CO_2 séquestrée annuellement, les coûts moyens augmentent et atteignent 1.30 francs par kilogramme de poids mort dans les deux scénarios.

En raison de l'extensification de l'exploitation liée à la réduction des émissions, la charge de travail diminue de 10 %. Comme une part du revenu provient des paiements directs qui, dans le cas d'une extensification, vont plutôt augmenter, le salaire horaire reste, sans aucune compensation financière et dans tous les scénarios, à la même hauteur. Si on part du principe que l'agriculteur base ses décisions sur un salaire horaire constant et non sur un revenu agricole constant, il n'y aurait pas besoin ›

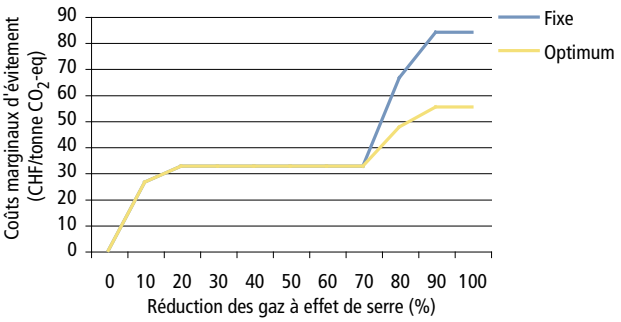


Figure 5 | Développement des coûts marginaux d'évitement en fonction de la réduction progressive des émissions de gaz à effet de serre.

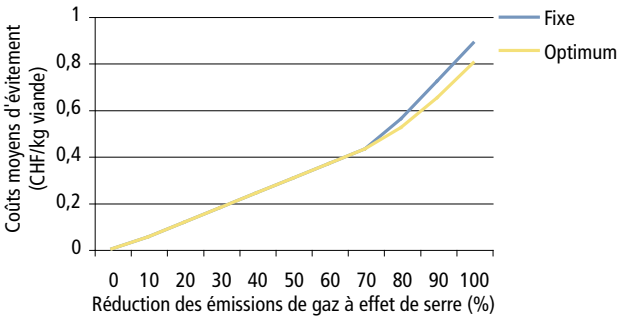


Figure 6 | Coûts moyens d'évitement par kilogramme de viande.

de lui verser un supplément pour qu'il produise de la viande avec un bilan climatique neutre selon le scénario *Optimum*. Dans le scénario *Fixe*, la charge de travail augmente légèrement car le nombre d'animaux reste constant et les systèmes agroforestiers engendrent plus de travail que des cultures sans arbre. Ici, un paiement de compensation devrait même être plus élevé si l'agriculteur optimise son salaire horaire plutôt que son revenu.

Conclusions

- Les systèmes agroforestiers peuvent contribuer à rendre la production d'aliments plus respectueuse du climat.
- Pour estimer les possibilités offertes par un système agroforestier, une considération globale du système agronomique respectivement de l'exploitation est nécessaire. Lors de l'analyse, d'autres techniques pour réduire les émissions de CO_2 ainsi que les avantages et inconvénients des systèmes agroforestiers doivent être pris en compte.
- Dans une production respectueuse du climat, les coûts de production du lait augmenteraient d'au moins 9 centimes par kilogramme pour l'exploitation modèle utilisée comme exemple. Les coûts de production de la viande issue de l'élevage de vaches mères augmenteraient d'au moins 80 centimes par kilogramme de poids mort.
- Dans le système agroforestier, les coûts sont très dépendants de la vitesse de croissance des arbres qui détermine directement la capacité de séquestration du CO_2.
- Vu les prix actuel des certificats d'émissions transmissibles (environ 22 francs par tonne de CO_2-eq (ECX 2010)), le commerce de certificat pour le carbone fixé dans les systèmes agroforestiers serait, selon les résultats de notre modèle, trop coûteux. ■

Bibliographie

- Agridea, 2008. Deckungsbeiträge 2008. Agridea, Lindau.
- Agroforst, 2009a. Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung. Schlussbericht des Projektes agroforst (Projektlaufzeit April 2005 bis September 2008). Accès: http://www.agroforst.uni-freiburg.de/ergebnisse.php [28.4.2010].
- Agroforst, 2009b. Moderne Agroforstsystememit Werthölzern. Leitfaden für die Pra-xis. Im Rahmen des Projektes «agroforst – neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung». Accès: http://www.agroforst.uni-freiburg.de/ergebnisse.php [28.4.2010].
- Burgess P., Graves A., Palma J., Herzog F., Keesman K. & van der Werf W., 2005. Parameterisation of the Yield-SAFE model andits use to determine yields at the landscape test sites.Cranfield University, Institute of Water and Environment, Silsoe.
- European Climate Exchange (ECX), 2010. Market data snapshot. Accès: http://www.ecx.eu/Market-data-snapshot [25.5.2010].
- Hediger W., 2004. Bestimmungsgründe und Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken in der Schweiz. ETH Zürich, Zürich.
- Herzog F., 1998. Streuobst: a traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperateEurope. *Agroforestry Systems* **42**, 61–80.
- Jose S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* **76**, 1–10.
- Krummenacher J., Maier B., Huber F. & Weibel F., 2008. Ökonomisches und ökologisches Potenzial der Agroforstwirtschaft. *Agrarforschung* **15** (3), 132–137.
- Köhl M., Frühwald A., Kenter B. & Olschofsky K., 2008. Potenzial und Dynamik der C-Sequestrierung in Wald und Holz. Accès: www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/.../11.../6-Koehl.pdf [25.5.2010].
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S. & Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **29**, 43–62.
- Peter S., Hartmann M., Weber M., Lehmann B. & Hediger W., 2009. «THG 2020» – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. Schriftenreihe 2009/1 der Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich.
- Roesch A. & Hausheer Schnider J., 2009. Grundlagenbericht 2008. Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Ettenhausen.
- SAFE, 2005. Silvoarable Agroforestry for Europe (SAFE). Synthesis of the SAFE project (August 2001-January 2005) (SAFE final report). Accès: http://www1.montpellier.inra.fr/safe/index.php [28.4.2010].
- Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH, 2010. Pappel (Populus ssp. Hybr.). Accès: http://www.die-forstpflanze.de/Laubbaeume/Pappel:::5_50001_50048.html [25.5.2010].
- Swiss Greenhouse Gas Inventories, 2009. Annual submissions under the UNFCCC on GHG emissions and removals in Switzerland. Inventory 2007, 2009 submission. Accès: http://www.bafu.admin.ch/climatereporting/00545/index.html?lang=en [26.4.2010].
- UNFCCC, 2008. Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector. Technical paper (FCCC/TP/2008/8). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
- Waldwirtschaft Schweiz, 2009. Zur Holzmarktkampagne 2009/2010. Accès: http://www.wvs.ch/m/mandanten/159/download/09_1114_WH11_HM_AK2.pdf [25.5.2010].
- World Agroforestry Centre, 2010. Advancing carbon sequestration through agroforestry to enhance livelihoods while mitigating climate change. Accès: http://www.worldagroforestry.org/research/grp5_climate_change/mitigation [28.4.2010].

Riassunto

Sono i sistemi agroforestali una soluzione economica per una produzione animale CO_2 neutrale?

L'agricoltura è responsabile dell'11 % ca. delle emissioni di CO_2 in Svizzera. I sistemi agroforestali costituiscono una soluzione per migliorare il bilancio climatico in agricoltura.

I sistemi agroforestali sono una combinazione sulla stessa parcella tra colture di legname con colture di pieno campo, oppure foraggiere. Un vantaggio dei sistemi agroforestali è la loro capacità di sequestrare la CO_2, per quindi fissarla e poi stoccarla nel legno della coltura perenne e nell'accumulo dell'Humus. Dopo essere stato raccolto il legno può essere utilizzato come legname da costruzione o carpenteria, oppure come sostituente alle energie fossili. In entrambi i casi l'emissione dei gas ad effetto serra è ridotta.

Grazie ai sistemi agroforestali un'azienda agricola svizzera, con produzione lattiera oppure allevamento di mucche nutrici, può raggiungere un bilancio neutro in CO_2, senza dover limitare drasticamente la propria produzione. La nostra analisi indica che i costi supplementari generati da questo sistema si attestano ad almeno 9 centesimi per chilogrammo di latte e ad almeno 80 centesimi per chilogrammo di carne prodotto. Se, invece, le emissioni dei gas a effetto serra devono essere ridotti senza alcuna limitazione nella produzione, i costi supplementari ammonterebbero a 10 centesimi per chilogrammo di latte e a 90 centesimi per chilogrammo di carne.

Summary

Is agroforestry an economic opportunity for carbon-neutral animal production?

In Switzerland, agriculture is responsible for about 11 % of the emitted greenhouse gases. Agroforestry systems may improve the climate balance of Swiss agriculture by sequestering carbon. Agroforestry systems are a combination of a lignifying permanent crop with a crop or with grassland on the same area. One advantage is their ability to sequester carbon, that is stored in the permanent crop's wood or as an enrichment of humus in the soils. After harvesting, the wood can be used as timber/furniture wood or as a substitute for fossil energy sources. In both cases, greenhouse gas emissions will be reduced. Applying this system to a Swiss farm specialized in milk production or suckler cows can reduce net greenhouse gas emissions to zero without reducing the animal production. In our analysis, this reduction generates additional costs of at least 9 centimes per kilogram milk or 80 centimes per kilogram meat. If the emissions shall be reduced without reducing production of milk or meat, additional costs of at least 10 centimes per kilogram milk or 90 centimes per kilogram meat are generated.

Key words: climate change, carbon-sequestration, agroforestry, animal production, carbon-neutral agriculture.