

# Protection des ressources grâce aux systèmes agroforestiers adaptés aux régions

Sonja Kay<sup>1</sup>, Mareike Jäger<sup>2</sup> et Felix Herzog<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

<sup>2</sup>Agridea, 8315 Lindau, Suisse

Renseignements: Sonja Kay et Mareike Jäger, e-mail: sonja.kay@agroscope.admin.ch; mareike.jaeger@agridea.ch



Système agroforestier moderne à Sursee: depuis dix ans, la rotation culturale – blé d'automne, fraises et jachère florale – s'effectue en combinaison avec des pommiers. (Photo: Gabriela Brändle, Agroscope)

## Introduction

### Utiliser et protéger les ressources naturelles

Utiliser et protéger les ressources naturelles est l'un des objectifs fondamentaux de la politique agricole de la Confédération. Pour cela, elle doit faire en sorte de mettre à disposition des services écosystémiques agricoles efficaces, de réduire les atteintes environnementales et de renforcer la résilience de l'agriculture (OFAG 2018). Ce qui se mesurera à la réalisation des objectifs environnementaux pour l'agriculture (OFEV et OFAG 2016). Les systèmes agroforestiers peuvent contribuer à la poursuite de ces objectifs, tout en maintenant le niveau de la production agricole.

L'agroforesterie associe sur une même parcelle des arbres et des cultures sous-jacentes. Traditionnellement, de telles formes d'utilisation étaient largement répandues en Suisse: on pense ici aux châtaigneraies, aux pâturages boisés ou encore aux vergers pâturés (Herzog *et al.* 2018).

Le fait que des arbres puissent également être associés à de grandes cultures, et que cette combinaison présente un réel intérêt, a été redécouvert en Suisse il y a une dizaine d'années seulement (Kaeser *et al.* 2011). Certains agriculteurs, curieux d'expériences nouvelles, souhaitaient par ce moyen réduire leurs problèmes d'érosion. Ils ont donc créé des systèmes agroforestiers modernes en optimisant le schéma de plantation, de façon à permettre une exploitation rationnelle avec les machines disponibles et à minimiser la concurrence par l'ombrage sur les cultures sous-jacentes. Le projet de vulgarisation «Réseau suisse d'agroforesterie» a en outre soutenu la mise en place de systèmes agroforestiers sur des surfaces de grandes cultures (voir encadré), en collaboration avec le projet de recherche européen AGFORWARD (*AGroFOREstry that Will Advance Rural Development*).

Quelque 120 ha de surfaces assolées ont déjà été convertis en systèmes agroforestiers modernes en Suisse, et ceux-ci progressent de manière constante. Le retour positif des professionnel-le-s suisses, ainsi que les objectifs de la politique agricole à partir de 2022 (PA22+) qui maintient les objectifs environnementaux et veut soutenir l'adaptation de l'agriculture au changement climatique, soulèvent les questions suivantes:

1. Quels sont les déficits en termes d'atteinte des objectifs environnementaux pour l'agriculture et quels sont les extrêmes climatiques pour lesquels des systèmes agroforestiers sont susceptibles d'amener une amélioration?
2. Dans quelles régions de Suisse ces déficits environnementaux sont-ils manifestes et où les problèmes se cumulent-ils?
3. Des systèmes agroforestiers – au sens d'une exploitation localement adaptée – peuvent-ils être mis en place dans les zones présentant des déficits et y contribuer à améliorer les prestations écologiques?
4. Dans quelle mesure les systèmes agroforestiers peuvent-ils contribuer activement à la protection du climat en Suisse?

## Matériel et méthodes

En nous appuyant sur la littérature et les connaissances d'experts, nous avons évalué si et comment des systèmes agroforestiers pouvaient contribuer à atteindre les objectifs environnementaux pour l'agriculture (OPAL, objectifs partiels également; OFEV et OFAG 2016). Nous avons recherché si des cartes numériques sur l'état de l'environnement étaient disponibles pour ces objectifs individuels (tabl. 1). Nous nous sommes également appuyés sur la littérature pour établir des valeurs limites et avons finalement délimité des zones dans lesquelles ces valeurs étaient dépassées. Nous avons ensuite recoupé ces zones «déficitaires» et avons identifié celles où trois, voire davantage de déficits apparaissaient simultanément, ce qui représentait près de 10 % de la surface agricole utile (SAU). Nous avons proposé des systèmes agroforestiers adaptés à ces régions, estimé leur potentiel de stockage du carbone sur la base des résultats du monitoring des systèmes agroforestiers en Suisse (Jäger 2018) et les avons corrélés avec les émissions de gaz à effet de serre de la production agricole directe.

Les données tramées avec une résolution de 10m x 10m par pixel ont été calculées dans ArcGIS 10.4 (ESRI 2016) et évaluées avec R (R 2016), *Leaflet* (Cheng *et al.* 2018) et *Ggplot2* (Wickham *et al.* 2016).

## Résultats

### Répartition spatiale des zones déficitaires

L'analyse porte sur 10441 km<sup>2</sup> de SAU, dans lesquels se trouvent des zones déficitaires en proportion variable (fig. 1), et montre leur répartition spatiale (fig. 2). Sur le Plateau, on note par exemple des concentrations en ammoniac élevées, des risques d'érosion et un possible lessivage des nitrates. Des excédents de phosphore sont par ailleurs en augmentation dans la région des Préalpes centrales et orientales. Les zones de montagne, et par conséquent les régions de culture fourragère, sont concernées par des températures en hausse, alors que les changements dans la répartition des précipitations se font surtout sentir dans l'ouest jurassien (moins de précipitations) et dans les zones de grandes cultures du nord de la Suisse (davantage de précipitations). Les surfaces qui présentent un potentiel en termes d'espace réservé aux cours d'eau et celles des corridors de mise en réseau sont plus finement délimitées, et réparties de manière quasi homogène dans toute la Suisse. Les cartes sont disponibles en ligne sous [www.agroscope.ch/agroforesterie](http://www.agroscope.ch/agroforesterie) et peuvent être combinées au besoin.

### Résumé

L'un des objectifs de la politique agricole fédérale est de garantir les services écosystémiques agricoles, réduire les atteintes environnementales et renforcer la résilience de l'agriculture. L'association d'arbres et de cultures sous-jacentes, appelée agroforesterie, peut aider à atteindre ces objectifs, sans diminution notable de la production agricole. Nous avons identifié les régions dans lesquelles l'agriculture porte atteinte à l'environnement, selon les objectifs environnementaux pour l'agriculture, et dans lesquelles des systèmes agroforestiers contribueraient à réduire les atteintes. Nos résultats se fondent sur onze cartes, établies à l'échelle nationale, présentant des déficits environnementaux dans différents domaines (biodiversité, paysage, climat, air, eau et sol). Quelque 13,3 % de la surface agricole utile (SAU) présentaient trois ou plus déficits simultanés. Si l'on transformait ces 13,3 % de SAU en systèmes agroforestiers, tels que rangées d'arbres dans les grandes cultures, arbres fourragers et arbres d'ombrage pour le bétail, etc., on pourrait compenser jusqu'à 13 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole. En se basant sur les cartes existantes et sur l'important potentiel des systèmes agroforestiers, on pourra ainsi développer à l'avenir des mesures adaptées aux conditions locales, de même qu'aux objectifs environnementaux.

Sur 185911 ha – autrement dit 17,8 % de la SAU – on n'observe pas de dépassement des valeurs limites des objectifs environnementaux analysés. Cela ne concerne toutefois que les objectifs retenus ici. Les déficits pour lesquels il n'existe pas de carte à l'échelle nationale (préservation du paysage rural, fertilité des sols, etc.) ne sont pas pris en compte. À l'inverse, trois, voire davantage de déficits se cumulent sur 13,3 % de la SAU (fig. 3). Il s'agit notamment des régions du Plateau dévolues aux grandes cultures. C'est justement dans ces régions que les systèmes agroforestiers peuvent contribuer à la protection des ressources.

### Potentiel de l'agroforesterie

Dans les régions où l'on constate un cumul des déficits et dans celles qui sont particulièrement concernées par le changement climatique, des systèmes agroforestiers peuvent contribuer à résoudre les problèmes environ-

## Réseau suisse d'agroforesterie

Entre 2014 et 2018, le projet de vulgarisation «Réseau suisse d'agroforesterie» a accompagné des exploitations agricoles dans la mise en œuvre de l'agroforesterie sur leurs surfaces de grandes cultures. Il a également mis en réseau des acteurs de la pratique, du conseil et de la recherche. Soutenu par l'Office fédéral de l'agriculture et des fondations privées, le projet visait à intégrer l'agroforesterie dans la pratique, à documenter les expériences menées et à étudier la productivité, la rentabilité, les stratégies de gestion, les facteurs environnementaux ainsi que la perception qu'en ont les exploitants.

On distingue en gros quatre types de systèmes agroforestiers modernes sur terres assolées:

1. **Système Fruitiers intensifs:** parcelles de grandes cultures avec arbres fruitiers (fruits à transformer, fruits de table pour la vente directe). En général, exploitations bio.
2. **Système Fruitiers extensifs:** parcelles de grandes cultures avec arbres fruitiers, pour une utilisation extensive (fruits à cidre/à distiller).
3. **Système Bois/fruitiers:** parcelles de grandes cultures avec arbres destinés tant à la production de fruits que de bois d'œuvre (notamment noyers, mais également poiriers ou cerisiers).
4. **Système Bois précieux:** parcelles de grandes cultures avec arbres destinés uniquement à la production de bois précieux (notamment arbres fruitiers sauvages, mais également essences nobles de feuillus ou arbres fruitiers pour la production de bois d'œuvre).

Sur les 120 ha de systèmes agroforestiers suisses, la majeure partie est exploitée en système **Fruitiers extensifs**

et **Bois/fruitiers**. Ces systèmes bénéficient de contributions à la biodiversité pour les vergers haute-tige, dans le cadre des paiements directs. Des facteurs environnementaux (protection contre l'érosion des sols et contre le vent notamment) incitent également les agriculteurs à choisir cette forme d'utilisation. Les premiers résultats, de même que les modèles de croissance qui en découlent, confirment leur intérêt en termes de biodiversité et de protection contre l'érosion; ils montrent en outre qu'un hectare planté de 50 arbres permet, selon la vitalité du site, de stocker 1,2 t de carbone par an.

On a demandé aux exploitants comment ils percevaient les prestations écologiques de leur système agroforestier. Concernant les fonctions de régulation et d'habitat, ils jugeaient entièrement positif l'effet de l'agroforesterie. Ils ont également mentionné les prestations subsidiaires suivantes:

- Le plaisir d'avoir des arbres
- Le plaisir de les exploiter
- Le plaisir d'avoir des structures et davantage de biodiversité
- La diversification de la production (création de valeur plus élevée)
- La combinaison optimale entre écologie et économie
- La création de valeurs qui perdurent sur des terres qui n'hébergent autrement que des cultures annuelles
- La motivation à sensibiliser la clientèle grâce au marketing régional

**Autres infos:** [www.agroforesterie.ch](http://www.agroforesterie.ch);  
[www.agroscope.ch/agroforesterie](http://www.agroscope.ch/agroforesterie)

nementaux. Ils permettent également de maintenir la production agricole, même lorsque les conditions climatiques changent. Les systèmes agroforestiers dans les grandes cultures et en production animale sont présentés ci-après. Il s'agit de descriptions généralisées des systèmes agroforestiers appliqués en Suisse par les agriculteurs et agricultrices ([www.agroforesterie.ch](http://www.agroforesterie.ch), voir encadré), ainsi que d'expériences collectées dans les pays voisins ([www.agforward.eu](http://www.agforward.eu)).

### Systèmes sylvo-arables (agroforesterie en grandes cultures)

Les zones présentant des déficits dans les domaines environnementaux du climat et de l'air, ainsi que de l'eau et des sols, sont souvent des zones de grandes cultures

intensives. Avec des rangées d'arbres (env. 50 arbres par hectare), on peut réduire ces déficits. On a constaté que les systèmes appliqués jusqu'ici n'ont engendré que des baisses de rendement minimales. Avec la croissance des arbres, les cultures d'automne s'avèrent mieux adaptées à l'agroforesterie que celles de printemps, du fait de la réduction de l'ombrage durant la période sans feuillage. Pour une application ciblée contre l'érosion, les rangées d'arbres devraient être plantées perpendiculairement à la pente. Des essences extensives, demandant un investissement minimal et peu d'entretien, sont indiquées dans ce cas. Lorsque des problèmes environnementaux aigus se posent, des essences à croissance rapide (p. ex. peupliers, saules, merisiers) permettent d'y remédier rapidement. Si l'on a affaire à des problèmes de hauteur de la nappe

phréatique ou des dangers d'inondation, les aulnes et saules sont préférables.

Dans les régions où des déficits apparaissent dans les domaines de la biodiversité, de l'espace réservé aux cours d'eau et du paysage, la diversité des cultures et des essences arborées joue un grand rôle. Il est judicieux de favoriser les structures ligneuses (arbres ou buissons) qui offrent des possibilités de nidification et d'hivernage pour les insectes, de même que les espèces florifères (arbres fruitiers, tilleuls, haies) qui permettent d'améliorer l'offre saisonnière en ressources des terres assolées, tout en concurrençant le moins possible l'exploitation agricole. Il est également souhaitable de conserver le bois mort et d'assurer une couverture sous-jacente permanente des rangées d'arbres. L'exploitation des espaces réservés aux cours d'eau devrait être la plus extensive possible, même si ces derniers se prêtent souvent bien à une utilisation en grandes cultures. Les systèmes agroforestiers avec des essences tolérant une humidité persistante pourraient y contribuer. Dans les projets de qualité du paysage, les arbres occupent une place importante dans le paysage rural, car la population leur reconnaît une grande valeur esthétique (Junge et al. 2011).

### Systèmes sylvo-pastoraux (systèmes agroforestiers avec production animale)

Les prairies et pâturages se trouvent majoritairement dans des régions qui seront très concernées par le change-

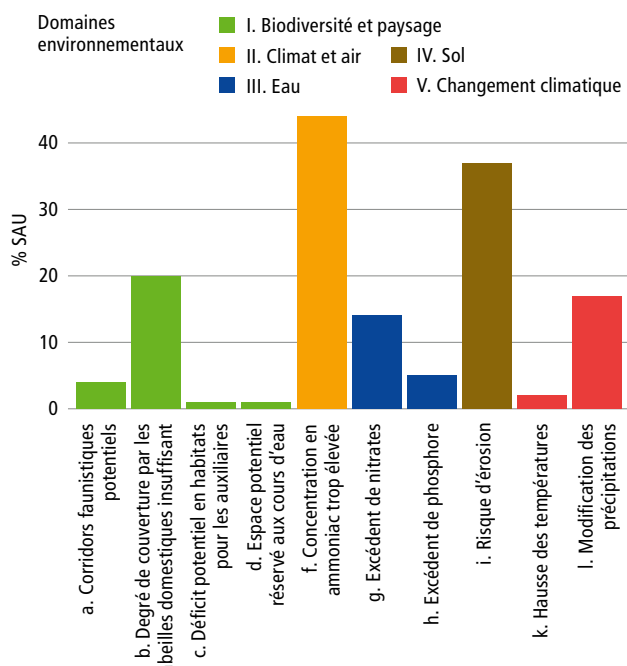


Figure 1 | Pourcentage des déficits environnementaux dans la surface agricole utile en Suisse.

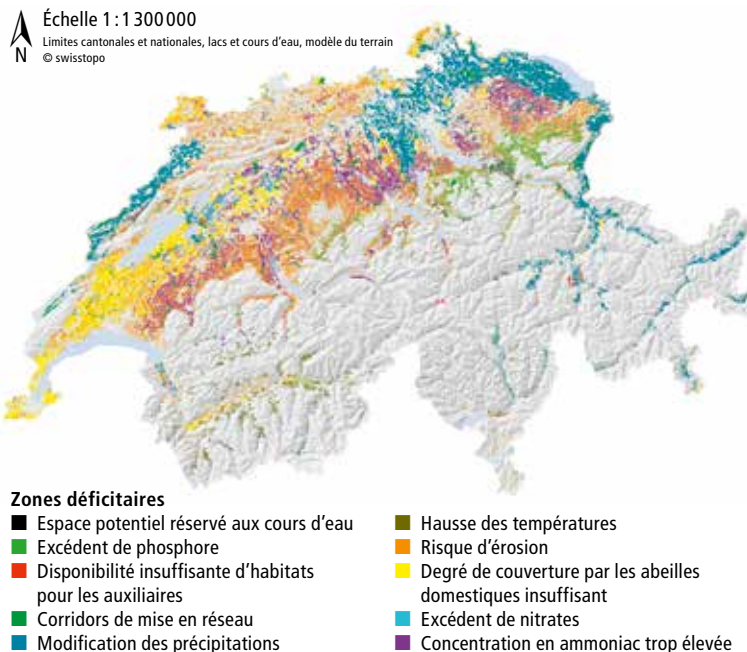


Figure 2 | Aperçu des déficits au niveau national. Lorsque plusieurs déficits se cumulent, un seul est visible (visibilité selon l'ordre de la légende). Cartes interactives: [www.agroscope.ch/agroforesterie](http://www.agroscope.ch/agroforesterie)

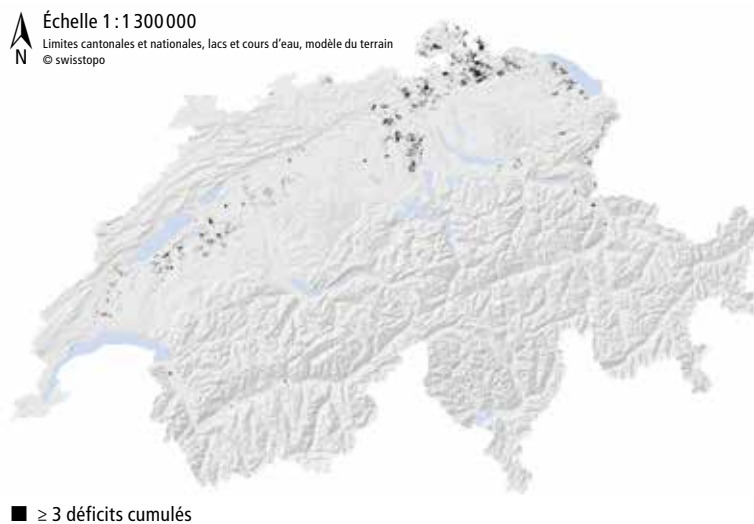


Figure 3 | Régions dans lesquelles sont cumulés sur une même surface, trois, voire davantage de déficits parmi les objectifs environnementaux pour l'agriculture examinés et/ou régions qui seront particulièrement concernées par le changements climatique.

ment climatique et dans lesquelles l'exploitation devra s'adapter en conséquence. Dans ces régions, les arbres au feuillage dru offrent de l'ombrage aux animaux et réduisent l'évaporation. Les haies fourragères peuvent en outre compléter l'alimentation animale, grâce à leur feuillage riche en sels minéraux, même durant les étés secs. On privilégiera les essences qui résistent bien à la



**Tableau 1 | Aperçu des objectifs individuels (objectifs environnementaux pour l'agriculture OPAL) non atteints, selon le rapport d'état 2016 (OFEV et OFAG 2016),**

Domaine environnemental	Domaine/objectif partiels	Catégorie «Objectif probablement non atteint»
OPAL Biodiversité et paysage	Espèces et milieux naturels	Déficits importants en termes de surfaces dans certaines régions, notamment au niveau des zones tampons entourant les aires naturelles protégées La plupart des surfaces de promotion de la biodiversité ne présentent pas encore la qualité écologique requise ou n'ont pas été établies à l'endroit adéquat Il existe également des déficits dans la mise en réseau et la perméabilité
	Diversité génétique	Pour de nombreuses plantes indigènes sauvages, apparentées aux plantes cultivées (CWR), et d'autres espèces sauvages, l'objectif n'est pas atteint
	Services écosystémiques	L'agriculture continue d'avoir des effets néfastes sur les écosystèmes proches de l'état naturel et sur leur qualité. Leurs services s'en trouvent limités
	Maintien d'espaces ouverts par une exploitation adaptée	La perte de surfaces agricoles se poursuit
	Diversité des paysages ruraux	Le mitage, le morcellement et l'imperméabilisation des sols se poursuivent et progressent
	Conservation, mise en valeur et développement des éléments régionaux caractéristiques des paysages ruraux	Il n'est pas encore possible d'évaluer la réalisation de l'objectif
	Espace suffisant réservé aux cours d'eau	Délimitation de l'espace réservé aux cours d'eau – promotion des prairies riveraines de cours d'eau, haies, bosquets champêtres et berges boisées
OPAL Climat et air	Émissions de gaz à effet de serre	Réduction d'env. 0,6 % par année
	Polluants atmosphériques azotés	Au max. 25 000 t d'azote par année
	Suies de diesel	Au max. 20 t de suies de diesel par année
OPAL Eau	Pollution par les nitrates	Au max. 25 mg de nitrates par litre dans les eaux servant à l'approvisionnement en eau potable Réduction des apports en azote dans les eaux de 50 % par rapport à 1985
	Pollution par le phosphore	> 4 mg d'oxygène par litre d'eau dans les lacs
	Produits phytosanitaires (PPh)	Des atteintes aux eaux et aux milieux naturels ruraux sont observées
		> 0,1 µg/l PPh dans les eaux superficielles Les risques environnementaux liés aux PPh peuvent encore être réduits
	Médicaments vétérinaires	Des atteintes peuvent survenir dans certaines situations dans les sols, les petits cours d'eau ou peuvent affecter la biodiversité
OPAL Sol	Polluants dans le sol	Dans certains sites, on constate des accumulations de cuivre ou de zinc
	Érosion du sol	Dépassement des valeurs indicatives pour l'érosion > 2, resp. 4 t/ha
		Atteintes à la fertilité du sol
	Compaction	Atteintes aux eaux dues au ruissellement des terres fines Données manquantes
Changement climatique	Stress de chaleur	
	Sécheresse Fortes précipitations	

sécheresse, telles que les mûriers, merisiers ou encore les chênes. Les systèmes agroforestiers traditionnels – vergers haute-tige, pâturages boisés et châtaigneraies – sont des éléments importants du paysage rural.

Les systèmes agroforestiers joueront un rôle toujours plus important à l'avenir en tant que puits de carbone. Si l'on plantait 50 arbres par hectare dans la zone prioritaire (13,3 % de la SAU), la biomasse des arbres pourrait stocker annuellement jusqu'à 1,6 t de carbone par hectare, et donc jusqu'à 0,8 mio t d'équivalent CO<sub>2</sub>. Cela correspond à près de 13 % des émissions de gaz à effet de serre de la production agricole directe (OFEV 2019a). Le bilan carbone de l'utilisation du sol 2017 de la Suisse, c'est-à-dire la quantité de carbone stockée dans le sol et la végétation, pourrait s'améliorer de près de 50 %, de -1,59 mio t CO<sub>2eq</sub> à -2,42 mio t CO<sub>2eq</sub> (OFEV 2019b).

## Discussion

L'analyse des déficits se limite aux onze objectifs environnementaux pour lesquels nous disposons de données cartographiques à l'échelle nationale. La liste n'est pas

exhaustive: nous manquons par exemple d'informations sur les conditions de sols, le paysage et la biodiversité. Les critères de sélection des zones déficitaires sont également appliqués de manière uniforme à l'échelle nationale. Ils ne tiennent pas compte de l'importance régionale plus élevée que pourrait avoir un objectif environnemental particulier, par exemple dans les régions qui devraient être assainies selon l'art. 62a de la loi sur la protection des eaux. Les cartes ont ainsi été uniformisées en pixels de 10 m × 10 m. Par conséquent, une surface de 100 m<sup>2</sup> n'est caractérisée que par un résultat même si, à plus faible échelle, on observe des différences sur le terrain, en termes d'exploitation, de pente ou de conditions de sol. L'échelle choisie correspond à celle qui est usuelle pour ce genre d'études; elle peut même parfois être plus élevée (Malek et Verburg 2017). Les cartes aident néanmoins à identifier les régions les plus touchées par certains problèmes de ressources et à proposer des mesures ciblées. Elles permettent aussi de prendre en compte des conflits qui pourraient survenir, en termes d'utilisation du sol, entre les systèmes agroforestiers et la protection de la nature ou des oiseaux par exemple.

pertinence de l'agroforesterie en vue d'améliorer l'atteinte des objectifs, disponibilité de l'information géographique et critères de délimitation des zones déficitaires.

Amélioration possible grâce à l'agroforesterie?	Matériel cartographique disponible?	Critères de délimitation des zones déficitaires
En partie		
Seulement pour les vergers haute-tige, les pâturages boisés et les haies constituant des surfaces de promotion de la biodiversité		
Élargissement ou valorisation de corridors de mise en réseau (Lecq <i>et al.</i> 2017)	Corridors de mise en réseau (OFEV 2013)	Ensemble des aires de mise en réseau (corridors de 10 m)
Seulement de manière limitée		
Notamment grâce à la création de nouveaux habitats pour les pollinisateurs et les auxiliaires/stockage des nutriments et capacité à fixer les sols (Kay <i>et al.</i> 2018)	Potentiel pour les pollinisateurs (Sutter <i>et al.</i> 2017)	< 2 ruches ha <sup>-1</sup> de culture tributaire de pollinisateurs
	Potentiel pour les auxiliaires (Rega <i>et al.</i> 2018)	Potentiel très faible à faible
Non		
Non		
Notamment dans les systèmes traditionnels (vergers haute-tige, pâturages boisés, châtaigneraies)		
Valorisation de l'espace réservé aux cours d'eau (McIvor <i>et al.</i> 2014)	Espace potentiel réservé aux cours d'eau (calculs des auteurs)	Largeur minimale 11 m
Puits ou réservoir de carbone (Kay <i>et al.</i> 2019)		
Puits d'ammoniac en périphérie de sources d'ammoniac (Patterson <i>et al.</i> 2008)	Concentrations en ammoniac trop élevées (Rhim et Achermann 2016)	> 3 µg m <sup>-3</sup> (dans les biotopes jouant un rôle principal pour les plantes 2–4 µg m <sup>-3</sup> ; mousses 1 µg m <sup>-3</sup> )
Non		
Réduction du lessivage des nitrates (Wolz <i>et al.</i> 2018; Manevski <i>et al.</i> 2019)	Excédents de nitrates (Prasuhn <i>et al.</i> 2016)	> 40 mg N l <sup>-1</sup>
Réduction de l'apport de phosphore épandu (Schoumans <i>et al.</i> 2014)	Excédents de phosphore (Prasuhn <i>et al.</i> 2016)	> 1 kg P ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Non		
En relation avec la délimitation et la valorisation de l'espace réservé aux cours d'eau	Espace potentiel réservé aux cours d'eau (calculs des auteurs)	Largeur minimale 11 m
Non		
Non		
Non		
Amélioration de la stabilité des sols (Murphy 2015)	Risque d'érosion (Bircher <i>et al.</i> 2018)	> 4 t perte de sol ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Augmentation de la teneur en carbone des sols (Seitz <i>et al.</i> 2017)		
Réduction du lessivage des sols (McIvor <i>et al.</i> 2014)	Risque d'érosion (Bircher <i>et al.</i> 2018)	> 4 t perte de sol ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Non		
Amélioration des microclimats, notamment grâce à l'ombre dispensée, à la réduction de l'évaporation et à l'élévation de la capacité de rétention de l'eau, (Alam <i>et al.</i> 2014; Sánchez et McCollin 2015)	Augmentation de la température (CH2011 2011)	Extrême: quantile le plus élevé (= 1/5 des valeurs)
	Évolution des précipitations (CH2011 2011)	Extrême: valeurs les plus basses et les plus élevées (= 1/5 des valeurs)

Dans les régions d'agriculture intensive, l'intégration d'arbres productifs sur des surfaces relativement petites permet d'utiliser les ressources de manière plus efficace, voire d'augmenter la productivité globale et de réduire parallèlement les atteintes environnementales (Sereke *et al.* 2015). On constate non seulement une meilleure capacité de rétention d'eau des sols après quelques années déjà, mais également une augmentation de leur teneur en humus (Cardinael *et al.* 2017; Seitz *et al.* 2017). Les pertes de nitrates et de phosphore dans les eaux souterraines diminuent également (Wolz *et al.* 2018; Manevski *et al.* 2019). C'est pourquoi des établissements tels que l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (F) encourage la plantation de haies (bocage) comme mesure de protection de l'eau potable.

Les systèmes agroforestiers contribuent également à la protection de l'air. Patterson *et al.* (2008) et Bealey *et al.* (2014) ont ainsi constaté que les arbres plantés à proximité de halles à volailles absorbaient jusqu'à 27 % de l'ammonium. L'agroforesterie augmente en outre la résilience vis-à-vis du changement climatique: des professionnels de l'agroforesterie de Hongrie, de France et

d'Espagne rapportent ainsi que les cultures céréalières souffrent moins du problème d'échaudage lors des étés chauds et secs. Ils observent également que les animaux profitent de l'ombrage et du fourrage complémentaire que constitue le feuillage (García de Jalón *et al.* 2018).

En raison de leur capacité à stocker le carbone à long terme, les systèmes agroforestiers bénéficient en Suisse de programmes d'encouragement, tel le programme de subvention de Coop pour l'agroforesterie. La mise en place de systèmes agroforestiers est l'un des instruments les plus efficaces de stockage du carbone dont dispose l'agriculture. Kay *et al.* (2019) ont calculé qu'à l'échelle européenne, la mise en place de systèmes agroforestiers sur moins de 10 % de la surface agricole de l'UE permettrait même de compenser jusqu'à 40 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole. Cette valeur est plus élevée qu'en Suisse, car dans certaines régions la priorité est accordée au bois-énergie qui pousse plus rapidement. En outre, les conditions de croissance régnant dans le bassin méditerranéen sont généralement plus favorables qu'en Suisse.

Mais même si la palette de possibilités est vaste, les systèmes agroforestiers ne peuvent être recommandés sans restriction pour n'importe quel site. Leur mise en place doit tenir compte des limites écologiques et économiques. Si les sols ne sont pas suffisamment profonds, il s'instaure une concurrence pour l'eau et les nutriments. Il arrive également que des intérêts divergents, en termes d'utilisation du sol, excluent la pratique de l'agroforesterie (conflits avec la protection de la nature et des eaux par exemple). L'identification des exploitants à ce type d'utilisation du sol est déterminante (Sereke *et al.* 2016). Les systèmes agroforestiers ne conviennent qu'aux agriculteurs qui sont déterminés à travailler avec des arbres. La conception du système doit réellement être adaptée à l'orientation stratégique de l'exploitation.

## Bilan et perspective

Dans le cadre de la PA22+, il est prévu de fusionner les objectifs de mise en réseau, de qualité du paysage et de protection des ressources dans des stratégies agricoles régionales. Ce regroupement offre plus de latitude pour développer des solutions spécifiques aux régions dans un contexte plus large. Les cartes existantes peuvent servir de base pour la suite des discussions. Elles aident aussi à prioriser les mesures en fonction des déficits locaux. Les systèmes agroforestiers peuvent apporter une contribution essentielle en ce sens. ■

### Bibliographie

- Alam M., Olivier A., Paquette A. *et al.*, 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agrofor Syst* **88**, 679–691.
- Bealey W. J., Loubet B., Braban C. F. *et al.*, 2014. Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape. *Environ Res Lett* **9**, 125001.
- Bircher P., Liniger H., Prasuhn V., 2018. Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2). Die neue ERK2 (2018). Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne.
- Cardinael R., Chevallier T., Cambou A. *et al.*, 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric Ecosyst Environ* **236**, 243–255.
- CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Accès: <https://www.ch2011.ch/> [1.7.19].
- Cheng J., Karambelkar B., Xie Y. & Wickham H., 2018. Create Interactive Web Maps with the JavaScript «Leaflet». Accès: <http://rstudio.github.io/leaflet/> [1.7.19].
- ESRI, 2016. ArcGIS Desktop: Release 10.4. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- García de Jalón S., Burgess P. J., Graves A. *et al.*, 2018. How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agrofor Syst* **92**, 829–848.
- Herzog F., Szerencsits E., Kay S. *et al.*, 2018. Agroforestry in Switzerland—a non-CAP European country. In: 4<sup>th</sup> EURAF Conference. pp 74–77.
- Junge X., Lindemann-Matthies P., Hunziker M. & Schüpbach B., 2011. Aesthetic preferences of non-farmers and farmers for different land-use types and proportions of ecological compensation areas in the Swiss lowlands. *Biol Conserv* **144**, 1430–1440.
- Kaeser A., Sereke F., Dux D. & Herzog F., 2011. Agroforesterie en Suisse. *Recherche Agronomique Suisse* **2**, 128–133.
- Kay S., Crous-Duran J. & García de Jalón S. *et al.*, 2018. Spatial similarities between European agroforestry systems and ecosystem services at the landscape scale. *Agrofor Syst* **92**, 1075–1089.
- Kay S., Rega C., Moreno G. *et al.*, 2019. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land use policy* **83**, 581–593.
- Le Conseil fédéral, 2016. Bases naturelles de la vie et efficacité des ressources dans la production agricole. Actualisation des objectifs. Rapport en réponse au postulat 13.4284, Bertschy, du 13 décembre 2013.
- Lecq S., Loisel A., Brischoux F. *et al.*, 2017. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. *Ecol Indic* **72**, 615–626.
- Malek Ž. & Verburg P., 2017. Mediterranean land systems: Representing diversity and intensity of complex land systems in a dynamic region. *Landsc Urban Plan* **165**, 102–116.
- Manevski K., Jakobsen M., Kongsted A. G. *et al.*, 2019. Effect of poplar trees on nitrogen and water balance in outdoor pig production – A case study in Denmark. *Sci Total Environ* **646**, 1448–1458.
- Mclvor I., Youjun H., Daoping L. *et al.*, 2014. Agroforestry: Conservation trees and erosion prevention. *Encycl Agric Food Syst* **1**, 208–221.
- Murphy B. W., 2015. Impact of soil organic matter on soil properties. A review with emphasis on Australian soils. *Soil Res* **53**, 605–635.
- OFAG, 2018. Consultation relative à la Politique agricole à partir de 2022 (PA22+), Rapport explicatif. Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne.
- OFEV, 2013. Système de mise en réseau faune sauvage. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. Accès: <http://www.bafu.admin.ch/wildtierpassagen> [1.7.19].
- OFEV, 2019a. Émissions des gaz à effet de serre d'après la loi sur le CO2 et d'après le Protocole de Kyoto, seconde période d'engagement (2013–2020). Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne.
- OFEV, 2019b. Indicateur Climat: bilan carbone de l'utilisation du sol. Office fédéral de l'environnement, Berne. Accès: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/klima--indikatoren/indikator-klima.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWtldG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljloFlbURLdGFpbD9pbmQ9S0wwMzcmbG5nPWZyJlN1Ymo9Tg%3d%3d.html> [1.7.19].

## Riassunto

### Protezione delle risorse tramite sistemi di agroselvicultura – soluzioni adeguate alle condizioni locali

Fra gli obiettivi della politica agricola della Confederazione rientrano la messa a disposizione di servizi per ecosistemi agricoli, la riduzione dell'inquinamento ambientale e l'incremento della resilienza dell'agricoltura. La combinazione di alberi e colture agricole, detta agroselvicultura, può contribuire a raggiungere questi obiettivi senza limitare considerevolmente la produzione agricola. Abbiamo identificato le regioni nelle quali, secondo gli obiettivi ambientali per l'agricoltura, vi è inquinamento ambientale e i sistemi di agroselvicultura potrebbero contribuire a ridurre tale inquinamento. I risultati si basano su 11 carte nazionali dei deficit nei settori ambientali biodiversità, paesaggio, clima, aria, acqua e suolo. Il 13,3% delle superfici agricole utili presenta contemporaneamente tre o più deficit. Se questa percentuale delle superfici agricole utili fosse convertita in sistemi di agroselvicultura, come ad esempio filari di alberi nelle colture campicole, alberi da foraggio e zone d'ombra per gli animali, si potrebbe compensare fino al 13% delle emissioni di gas serra del settore agricolo. Servendosi delle carte disponibili e del grande potenziale offerto dai sistemi di agroselvicultura, in futuro si potranno sviluppare misure adeguate alle condizioni e agli obiettivi ambientali locali.

## Summary

### Protecting resources with agroforestry systems: regionally adapted solutions

The Swiss Federal Government's agricultural policy aims inter alia to provide agricultural ecosystem services, reduce environmental impacts, and increase the resilience of the agricultural sector. Combining the cultivation of trees with crops or grass – termed «agroforestry» – can contribute to achieving these goals without substantially limiting agricultural production. We identified the regions where environmental pressures (as defined by the Agricultural Environmental Objectives) occur, and where agroforestry systems can contribute to reducing these impacts. Our results are based on eleven national deficit maps for the environmental sectors of biodiversity, landscape, climate, air, water and soil, according to which three or more deficits occur simultaneously on 13.3% of the utilised agricultural area (UAA). Converting these 13.3% of UAA into agroforestry systems such as e.g. rows of trees in arable fields, short rotation trees and shade trees for animals, could offset up to 13% of the agricultural sector's greenhouse-gas emissions. The use of these maps and the major potential offered by agroforestry systems will enable to develop strategies geared to local conditions and to environmental targets.

**Key words:** resources protection, agroforestry, regional planning, greenhouse gas compensation.

- OFEV & OFAG, 2016. Objectifs environnementaux pour l'agriculture – Rapport d'état 2016. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1633, 116 p.
- Patterson P. H., Adirzal, Hulet R. M. *et al.*, 2008. The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 2. Ammonia and dust. *J Appl Poult Res* **17**, 398–411.
- Prasuhn V., Spiess E., Kupferschmid P. *et al.*, 2016. Szenario-Berechnungen für das Projekt zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS. Agroscope, Zurich.
- R Development Core Team, 2016. R Software. R: A language and environment for statistical computing.
- Rega C., Bartual A. M., Bocci G. *et al.*, 2018. A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecol Indic* **90**, 653–664. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.03.075
- Rhim B. & Achermann B., 2016. Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). *Environ Stud* **1642**, 78.
- Sánchez I. A. & McCollin D., 2015. A comparison of microclimate and environmental modification produced by hedgerows and dehesa in the Mediterranean region: A study in the Guadarrama region, Spain. *Landsc Urban Plan* **143**, 230–237.
- Schoumans O. F., Chardon W. J., Bechmann M. E. *et al.*, 2014. Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: A review. *Sci Total Environ* **468–469**, 1255–1266.
- Seitz B., Carrand E., Burgos S. *et al.*, 2017. Augmentation des stocks d'humus dans un système agroforestier de sept ans en Suisse centrale. *Recherche Agronomique Suisse* **8**, 318–323.
- Sereke F., Dobricki M., Wilkes J. *et al.*, 2016. Swiss farmers don't adopt agroforestry because they fear for their reputation. *Agrofor Syst* **90**, 385–394.
- Sutter L., Herzog F., Dietemann V. *et al.*, 2017. Demande, offre et valeur de la pollinisation par les insectes dans l'agriculture suisse. *Recherche Agronomique Suisse* **8**, 332–339.
- Wickham H., 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
- Wolz K. J., Branham B. E., DeLucia E. H., 2018. Reduced nitrogen losses after conversion of row crop agriculture to alley cropping with mixed fruit and nut trees. *Agric Ecosyst Environ.* **258**, 172–181.