

Prestations environnementales de l'agroforesterie

Importance des arbres dans l'agriculture pour la protection des eaux et des sols, du climat, de la biodiversité et pour l'esthétique du paysage

Février 2011



Fig. 1: Merisiers plantés en lignes sur bandes fleuries dans les champs et destinés à la production de bois d'œuvre en Allemagne (Photo: Alexander Möndel, Landratsamt Constance).

Auteurs

Alexandra Kaeser, João Palma (ISA-UTL, Lissabon), Firesenai Sereke, Felix Herzog, ART
felix.herzog@art.admin.ch

Impressum

Edition:
Station de recherche Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
Traduction Regula Wolz, ART

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an.
Abonnement annuel: Fr. 60.–.
Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7576

Les arbres font bien plus que produire du bois et des fruits. Ils façonnent le paysage et fournissent d'importantes prestations écologiques. Toutefois, dans les dernières décennies, de nombreux arbres, notamment des arbres fruitiers hautes-tiges ont disparu du paysage.

Pour doter à nouveau les surfaces agricoles d'arbres, des systèmes agroforestiers modernes ont été conçus (cf. figure 1). Les arbres y sont généralement disposés en lignes dans des champs et sur des herbages et servent à la production de bois d'œuvre ou de fruits. Les systèmes agroforestiers modernes fournissent des prestations écologiques en partie semblables à celles des vergers traditionnels d'arbres fruitiers hautes-tiges.

Les arbres emmagasinent le carbone, protègent les sols de l'érosion et réduisent le lessivage des éléments nutritifs et des pesticides dans les eaux souterraines et les cours d'eau. Les régions cibles dans lesquelles l'agroforesterie peut être avantageuse sur le plan écologique, se situent surtout dans les zones de grandes cultures du Plateau. Les arbres dans les terres cultivées peuvent accroître la diversité des espèces. Une aide à l'aménagement sous forme de check-list montre comment agencer les systèmes agroforestiers au bénéfice des oiseaux vivant dans les vergers et à la lisière des forêts, et en faveur de la protection de la nature. Les arbres et un aménagement du système en conséquence valorisent le paysage.



Contexte

L'agroforesterie désigne la culture et l'exploitation d'arbres sur des parcelles utilisées pour les grandes cultures ou la production fourragère. Par conséquent, les vergers d'arbres hautes-tiges de grande valeur écologique et esthétique pour le paysage peuvent être considérés comme une forme traditionnelle d'agroforesterie. De nombreux arbres fruitiers hautes-tiges ont été plantés pendant la première moitié du siècle dernier notamment pour la production de fruits à cidre. Depuis les années 1950, les arbres fruitiers hautes-tiges sont en net recul pour des raisons économiques, mais aussi pour des raisons liées à la technique d'exploitation. Selon Walter et al. (2010), le nombre d'arbres fruitiers hautes-tiges serait ainsi passé d'environ 15 millions en 1905 à 2,9 millions en 2001.

C'est pour cette raison et aussi parce que les arbres peuvent fournir des prestations écologiques essentielles que de nouvelles formes d'agroforesterie ont été développées en complément des systèmes existants. Les systèmes agroforestiers modernes peuvent fournir des prestations écologiques semblables à celles des vergers traditionnels d'arbres hautes-tiges (Reeg et al. 2009b). Un système moderne plus connu en France et en Allemagne est la production de bois d'œuvre à partir de feuillus de valeur comme le merisier ou le noyer dans les champs cultivés ou les herbages.

Productivité et rentabilité de l'agroforesterie moderne

Kaeser et al. (2010) ont traité la productivité et la rentabilité des systèmes agroforestiers modernes. Il est possible d'atteindre une productivité élevée à l'unité de surface lorsque le système est parfaitement aménagé et permet de tirer parti des synergies entre les arbres et les cultures et de limiter la concurrence. Une utilisation efficace des ressources se traduit par une plus grande productivité à la surface dans les systèmes agroforestiers que dans les cultures séparées. Cela signifie que pour le même rendement, un système agroforestier a besoin de moins de surface que par exemple la production de bois d'œuvre d'un côté et la culture de céréales de l'autre. Étant donné la croissance démographique, la raréfaction des terres et la demande croissante de matières premières renouvelables, l'augmentation de la productivité à l'unité de surface est une question qui devient de plus en plus cruciale.

La rentabilité dépend largement de l'évolution du prix des produits et des paiements directs pour les prestations écologiques fournies. Le risque de l'agroforesterie par rapport à l'évolution des prix sur le marché est moins élevé que celui des monocultures du fait de la diversification des produits.

Compte tenu des paiements directs écologiques, les simulations d'ART montrent que les systèmes agroforestiers modernes pourraient s'avérer rentables (cf. Kaeser et al. 2010 dans le rapport ART 725). Les arbres fruitiers hautes-tiges donnent droit à des subventions en Suisse, et ce, indépendamment du fait qu'ils soient ébranchés ou non en vue de la production de bois d'œuvre.

La compensation écologique permet de bénéficier de 15 francs par arbre et par an. En outre, il est également possible de faire valoir une surface de compensation écologique d'un are par arbre. Les contributions maximales

octroyées pour les arbres fruitiers hautes-tiges – compte tenu des contributions pour la qualité biologique et la mise en réseau – sont de 50 francs par arbre et par an. Il faut parfois encore y ajouter des subventions supplémentaires de la part du canton ou de la commune.

Méthodologie

L'agroforesterie moderne en est encore à ses balbutiements en Suisse. Les expériences avec de tels systèmes sont rares. C'est pourquoi on ne dispose pas de données de mesures sur plusieurs années. ART s'est donc appuyé sur l'expérience des pays européens voisins (France, Allemagne). De plus, des enquêtes ont été réalisées dans des exploitations suisses novatrices, qui mettent déjà en pratique des formes modernes d'agroforesterie. On a alors constaté que les arbres fruitiers étaient plus populaires et que les arbres destinés à la production de bois d'œuvre représentaient pour l'instant l'exception (cf. Kaeser et al. 2010).

Dans les systèmes agroforestiers, les arbres fournissent des prestations écologiques précieuses. Dans le présent rapport, les prestations écologiques des arbres ont été observées et discutées à partir des ouvrages scientifiques et des simulations de Palma et al. (2006) sur les pertes de sol, le lessivage de l'azote et les liaisons de carbone. Les simulations sont basées sur les résultats de 42 unités de paysage (statistiquement représentatives) sélectionnées au Pays-Bas, en France et en Espagne.

Les estimations sur l'érosion ont été faites à l'aide de la «Revised Universal Soil Loss Equation» (RUSLE). Les pertes potentielles d'azote ont été calculées à partir du produit du bilan de l'azote et de la fréquence de l'échange d'eau du sol (Feldwisch et al. 1998). On est parti du principe que la fumure azotée était adaptée aux besoins des cultures. Le calcul des liaisons de carbone repose sur la procédure de Gifford (2000) et ne tient compte que de la partie aérienne de la plante. Une description détaillée est présentée par Palma et al. (2007).

Pour développer des systèmes agroforestiers avantageux pour la protection de la nature, une check-list a été établie à titre d'aide. Elle est basée sur des clés d'évaluation établies par Kaeser (2009) à partir de la littérature et du savoir des experts pour les espèces d'oiseaux du Plateau. Les espèces d'oiseaux susceptibles de profiter de l'agroforesterie servent de bioindicateurs. Des mesures sont proposées pour encourager spécifiquement ces espèces d'oiseaux.

Systèmes agroforestiers

Dans un système agroforestier, la surface est doublement utilisée. Cela signifie que les arbres sont plantés dans une prairie ou une pâture ou dans des grandes cultures.

Les arbres et les cultures se font concurrence pour l'eau, les éléments nutritifs et la lumière. Les arbres offrent cependant aux cultures un microclimat équilibré, puisent les éléments nutritifs situés dans les couches profondes du sol et les rendent accessibles aux cultures grâce à leur feuillage.

Les arbres profitent à leur tour des engrais épandus pour les cultures et freinent la lixiviation des nitrates. Grâce à une meilleure utilisation des ressources et à l'exploitation de la dimension verticale, la productivité à l'unité de surface peut être plus importante que celle des monocultures.

Systèmes traditionnels

Si l'on fait le point sur les systèmes traditionnels, on constate que l'agroforesterie n'a rien d'inhabituel en Suisse. Parmi les systèmes agro-forestiers encore répandus aujourd'hui, on compte:

1. Les vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges
2. Les haies
3. Les bandes de protection au bord des berges
4. Les pâturages boisés et les châtaigneraies

(1) **Les vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges** sont aujourd'hui généralement des petites plantations d'arbres sur herbages à proximité des fermes (cf. photo 2). Ils servent à auto-alimenter l'exploitation en fruits et en moût. L'herbe est utilisée pour la production fourragère. Les avis divergent lorsqu'il s'agit de savoir ce qui convient le mieux de la prairie ou de la pâture comme surface au pied des arbres fruitiers hautes-tiges. Certains agriculteurs et agricultrices sont en faveur de l'exploitation en pâture car le bétail profite de l'ombre dispensée par les arbres et car la densité des souris est en général plus faible que dans une prairie. D'autres en revanche, craignent que les arbres ne soient endommagés par le piétinement et les morsures des animaux et que des zones non productives n'apparaissent sous les arbres. Une densité d'occupation du pâturage adaptée aux conditions locales comme le type de sol, la taille des parcelles et les conditions météorologiques ainsi que la protection des arbres sont indispensables pour l'utilisation simultanée du verger comme pâture.



Fig. 2: Verger d'arbres fruitiers hautes-tiges dans le canton de Bâle-Campagne. Les arbres servent à la production de fruits et dispensent de l'ombrage au bétail (Photo: Felix Herzog, ART).

(2) **Les haies** se composent d'arbres et d'arbustes et peuvent abriter de nombreuses espèces animales et végétales (cf. photo 3). Elles fournissent par exemple du bois de chauffage pour la maison. Dans un objectif de production, il est également possible de planter des arbustes à baies, des noyers et des coudriers.

Les haies offrent une protection efficace contre les effets

du vent et de l'eau et préviennent ainsi l'érosion (Baudry et al. 2000). Elles réduisent la vitesse du vent et influencent ainsi le potentiel d'évaporation des surfaces avoisinantes (Surböck et al. 2005). En réduisant l'évaporation, les haies peuvent augmenter la productivité des grandes cultures. Les haies constituent une protection efficace contre le vent surtout dans les parcelles situées en plaine, mais elles permettent aussi de mieux retenir l'eau sur les terrains en pente. Comme l'ont montré des entretiens avec des agricultrices et des agriculteurs, les haies sont de préférence placées en bordures de champs pour des questions liées à la technique d'exploitation.



Fig. 3: Haies dans le canton d'Argovie. Les haies constituent un espace vital pour de nombreux animaux, elles protègent de l'érosion et structurent le paysage (Photo: Gabriela Brändle, ART).

(3) **Les bandes de protection au bord des berges** jouent un rôle important pour les fleuves et les lacs (cf. photo 4). La végétation sur les berges forme une barrière contre les éléments fertilisants (comme les phosphates et nitrates) et les produits phytosanitaires provenant des surfaces agricoles voisines. C'est pourquoi l'Ordonnance sur les paiements directs (OFAG 2010) demande d'aménager une bande de



Fig. 4: Bandes de protection au bord des berges dans le canton de Zurich. L'ourlet herbeux, les buissons et les arbres protègent les eaux du déversement des éléments fertilisants issus de l'agriculture (Photo: Alexandra Kaeser, ART).

surface herbagère ou de surface à litière ou une berge boisée, d'une largeur minimale de 6 m, le long des cours d'eau et des plans d'eau. Le produit de l'érosion des surfaces agricoles peut être partiellement ou presque entièrement retenu dans les bandes de protection au bord des berges. L'efficacité de la protection dépend de la situation et du relief, ainsi que de la largeur de la bande tampon. Ce sont les bandes larges au bord des berges avec une végétation bien développée qui offrent la meilleure protection contre le lessivage des engrais et des produits phytosanitaires. Les herbages, les arbustes et les arbres comme le frêne, le saule ou le chêne conviennent bien. D'un autre côté, les biotopes précieux existants comme les mégaphorbiais ne devraient pas être évincés par les haies et les petites pièces d'eau ne devraient pas non plus être trop ombragées par les arbres. Pour améliorer la morphologie des cours d'eau, l'étude «Fischnetz» (filet de pêche) de l'EAWAG et de l'OFEFP (2004) prévoit différentes mesures dont le réaménagement de berges boisées suffisamment larges le long des cours d'eau et la présence de bois mort et d'autres retenues dans les eaux. Les berges boisées étroites ou absentes modifient le régime naturel des températures et réduisent la qualité de l'eau (EAWAG et OFEFP 2004).

(4) **Les pâturages boisés et les châtaigneraies** sont des formes de forêts qui sont également utilisées comme pâturage (cf. photo 5). Les pâturages boisés sont surtout présents dans le Jura. Les châtaigneraies, qui sont parfois pâturées, se trouvent principalement au Tessin.

Dans de nombreuses régions de la Suisse, le pâturage des forêts n'est pas autorisé, car les animaux peuvent endommager les jeunes arbres par le piétinement et les morsures. De nouvelles études ont cependant montré qu'un pâturage avec une densité d'animaux adaptée pouvait stimuler la biodiversité (Mayer et al. 2005). Le pâturage boisé offre un espace vital à de nombreuses espèces et possède une haute valeur esthétique dans le paysage. Le pâturage boisé extensif convient bien pour la région de montagne car il lutte contre l'avancée de la forêt.



Fig. 5: Pâturage boisé dans le canton du Jura. Les pâturages boisés sont des espaces vitaux précieux pour l'esthétique du paysage (Photo: Felix Herzog, ART).

Systèmes modernes

Les systèmes agroforestiers modernes combinent sur une même surface la production agricole et l'exploitation des arbres, fruits ou bois. Entre cinquante et cent arbres par hectare sont plantés en lignes parallèles. La distance entre les lignes dépend de la largeur de la machine agricole la plus large, en général la rampe de pulvérisation.

La production de bois de haute qualité pour la fabrication de meubles constitue une variante économiquement intéressante. Pour produire du bois d'œuvre, les fûts doivent être ébranchés jusqu'à une hauteur très élevée pendant les premières années de croissance de l'arbre. Cette méthode permet d'obtenir des billes d'environ trois à six mètres de long sans branches et d'une valeur élevée. Le merisier et le noyer sont des espèces qui conviennent bien à cette fin. En premier lieu, il est nécessaire d'aimer les arbres, d'avoir un esprit pionnier et de l'endurance pour la production de bois d'œuvre, car les arbres ont besoin d'environ 60 ans pour se développer jusqu'à ce que leurs troncs puissent être récoltés. La production de bois d'œuvre représente un placement intéressant tout en permettant une utilisation agricole simultanée.

À côté ou à la place du bois d'œuvre, il est aussi possible de produire des fruits. Ces systèmes ont déjà été présentés par Kaeser et al. (2010). Les thèmes traités étaient l'aménagement, l'exploitation, la productivité à la surface et la rentabilité de différents systèmes modernes sur grandes cultures et herbages.

(1) **Les arbres sur terres assolées** sont plutôt rares aujourd'hui et souvent isolés en bordures de champs. La production fruitière sur arbres hautes-tiges combinée aux grandes cultures était très répandue à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle. À la suite de la mécanisation, les arbres ont été supprimés, parce qu'ils constituaient des obstacles et n'étaient plus rentables sur le plan économique. Cette disparition alliée à la concurrence étrangère a conduit à une rationalisation de la production fruitière dans des vergers de basses tiges (Walter et al. 2010).

Dans les systèmes agroforestiers modernes sur terres assolées, les arbres sont plantés en lignes afin de ne pas gêner le passage des machines (cf. photo 6). Les arbres sur terres assolées conviennent pour les exploitants qui souhaitent cultiver un autre produit en plus de la grande culture, fruits ou bois d'œuvre, et s'intéressent donc aux arbres. Pratiquement toutes les combinaisons sont possibles dans la mesure où les espèces d'arbres et les cultures sont adaptées au site et ne se font pas trop concurrence. Les cultures d'automne sont particulièrement adaptées, car elles peuvent profiter des bonnes conditions de luminosité sous les arbres encore dénudés au printemps.

Plus les arbres avancent en âge, plus les cultures situées à leur pied sont ombragées, ce qui diminue leurs rendements. À ce niveau, les arbres destinés à la production de bois d'œuvre ont moins d'influence sur la culture que les arbres fruitiers, car leurs couronnes ont moins d'ampleur. Lorsque la parcelle doit continuer à être cultivée, il est recommandé d'aménager les rangées d'arbres plus loin les unes des autres.

Une bande herbagée est mise en place sous les arbres de la parcelle. Une largeur de deux mètres est suffisante pour les arbres destinés à la production de bois d'œuvre, puisqu'on peut labourer jusqu'à 1 mètre du tronc. (Bender et al. 2009). Le travail du sol débute déjà avec les jeunes arbres, pour que ceux-ci s'y habituent et développent des racines plus profondes. Le passage annuel de la charrue



Fig. 6: Arbres sur terres assolées en France. Production de bois d'œuvre avec des merisiers dans une parcelle de céréales (Photo: Fabien Liagre, France).

évite ainsi que les racines des arbres qui se développent à l'horizontale au fil des ans ne soient blessées et que les arbres ne soient endommagés.

Les lignes plus espacées – nécessaires pour les arbres destinés à la production fruitière – permettent des aménagements plus diversifiés avec des ourlets herbacés, des buissons ou des haies. Ces structures sont appréciées par les animaux qui vivent à la lisière des bois et peuvent valoriser les rangées d'arbres pour la protection de la nature.

(2) **Les arbres sur herbages** ont l'avantage que la production fourragère est moins prétextée par l'ombre des arbres que les cultures sarclées. Lorsque l'ombrage devient trop important et que les terres assolées perdent de leur rentabilité, il peut être bon de passer aux herbages par exemple dans les exploitations détenant du bétail.

Les arbres plantés dans des herbages fauchés doivent être disposés en lignes comme dans les parcelles cultivées. Sur les pâturages en revanche, les arbres peuvent être plantés au hasard ou en groupes. Les arbres dispensent de l'ombre



Fig. 7: Arbres sur herbages en Ecosse. Production de bois d'œuvre avec des arbres de l'espèce des érables et pâturage des herbages par des moutons (Photo: Mike Strachan, Forestry Commission, Ecosse).

au bétail. Il faut toutefois prévoir un dispositif solide pour protéger les jeunes arbres du piétinement et des morsures des animaux.

Pour les besoins de la protection de la nature, les systèmes agroforestiers peuvent également être combinés avec des

surfaces de compensation écologique disposées entre les rangées d'arbres. Les bandes d'herbages plantées d'arbres servent à la production de bois d'œuvre ou de fruits.

Les souris aiment séjourner dans l'herbe haute et profitent de l'absence de travail du sol. Pour les éloigner des arbres, il est recommandé de faucher l'herbe ras autour des arbres. Des fils de fer protègent les racines des jeunes arbres. L'installation de perchoirs pour les rapaces leur facilite la chasse aux souris. La mise en place de petites structures comme les tas de pierres ou de branchages peut en outre aider à attirer d'autres prédateurs des souris comme la belette ou l'hermine.

Le principe de la production de bois d'œuvre dans les herbages est le même que dans les terres assolées. Les arbres destinés à la production de bois d'œuvre sont ébranchés très haut pour obtenir un tronc long sans nœuds, et de valeur élevée (cf. photo 7).

Protection du sol

Le vent et l'eau sont les forces motrices de l'érosion du sol. L'érosion éolienne est problématique notamment dans les régions sèches avec des sols sablonneux, car les éléments composants le sol y sont légers et peuvent aisément être déplacés. Les sols de plaine peuvent être très menacés par l'érosion éolienne. Dans les terrains en pente et après de fortes précipitations, c'est le phénomène de l'érosion due au ruissellement de l'eau qui domine.

Les surfaces de grandes cultures sont surtout menacées par l'érosion pendant la période où elles sont sans végétation. Sans couverture, le sol est livré à l'influence du vent et de l'eau. Par conséquent, une grande quantité de particules fines peuvent être déplacées et beaucoup de terre fertile peut se perdre. A long terme, la fertilité du sol peut ainsi s'amenuiser.

Les haies conviennent particulièrement bien pour protéger le sol de l'érosion. Elles protègent contre les vents violents en plaine. Dans les grandes étendues de plaine, des haies brise-vent sont mises en place de manière ciblée à l'intérieur et en bordure des parcelles pour lutter contre

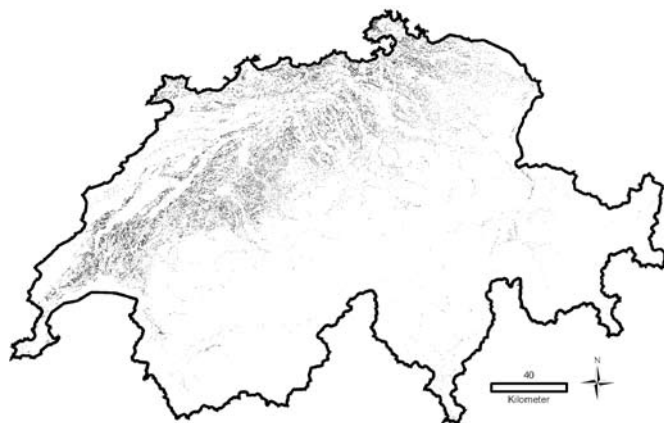


Fig. 8: Zones de forte érosion (> 2 t/ha et par an, selon Friedli 2006), régions cibles pour l'agroforesterie.

Tab. 1: Influence du mode d'exploitation et des arbres le long des courbes de niveau sur les pertes moyennes de sol pendant une année (en t/ha) sur les terres assolées à forte érosion (> 3 t/ha). Les valeurs proviennent des simulations de Palma et al. (2006). Lorsque la parcelle n'est pas exploitée parallèlement aux courbes de niveau, l'érosion est élevée. Sur le site fertile, exploité intensivement, les pertes sont particulièrement importantes. L'érosion peut être limitée grâce à une exploitation parallèlement aux courbes de niveau et à la plantation d'arbres. Le pourcentage de réduction de l'érosion ainsi obtenu est plus important sur les sites fertiles que sur les sites à faibles rendements.

Pertes de sol moyennes pendant une année [t/ha]		
Système	Sites à rendements faibles	Sites fertiles
Exploitation non parallèle aux courbes de niveau (Pertes de sol maximales)		
Parcelle sans arbre	5,8 (100 %)	7,0 (100 %)
Exploitation parallèlement aux courbes de niveau (Pourcentage de réduction de l'érosion)		
Parcelle sans arbre	3,8 (-34 %)	4,5 (-36 %)
Parcelle avec 50 arbres/ha	1,4 (-76 %)	1,1 (-84 %)
Parcelle avec 113 arbres/ha	1,3 (-78 %)	1,0 (-86 %)

l'érosion du sol. Les haies plantées le long des courbes de niveau retiennent l'eau de pluie, la font s'écouler plus lentement, diminuant ainsi les pertes de sol.

Mais les arbres isolés agissent eux aussi contre l'érosion du sol. D'un côté, l'enracinement aère le sol et favorise la pénétration de l'eau de pluie. D'un autre côté, les racines des arbres retiennent la terre.

Comme l'érosion peut toucher les terres assolées même peu pentues, les lignes d'arbres devraient être plantées dans le sens des courbes de niveau. Des systèmes agroforestiers ainsi conçus peuvent protéger efficacement de l'érosion. Les rangées d'arbres et l'exploitation du terrain dans le sens des courbes de niveau réduisent l'érosion du sol sur la parcelle de 80 pourcent et plus. Ces résultats sont répertoriés dans le tableau 1. La fertilité du sol est préservée grâce aux arbres. Elle est même améliorée grâce à l'apport de matière organique, comme les feuilles et les racines mortes.

Les régions dans lesquelles la promotion de l'agroforesterie pourrait contribuer à protéger de l'érosion sont représentées à la figure 8, qui montre les régions de Suisse fortement touchées par l'érosion. Il s'agit principalement des zones de grandes cultures du Plateau et du Jura.

Eaux de surface

L'eau de pluie qui ruisselle sur le sol transporte des éléments fertilisants et des pesticides issus de l'agriculture et les déverse dans les eaux de surface environnantes. La pollution par les fertilisants renforce la croissance des algues. Leur décomposition entraîne une consommation plus importante d'oxygène, ce qui a des répercussions négatives sur l'écosystème. Dans les lacs, les poissons et d'autres

organismes meurent par exemple suite au manque d'oxygène.

Les arbres régulent le régime hydrique et exercent donc également une influence sur les eaux de surface. Par interception (rétention), ils réduisent la quantité d'eau de pluie, qui tombe sur le sol. En effet, le toit de feuilles retient la pluie. L'eau qui n'arrive pas au sol s'évapore. De plus, les arbres favorisent la pénétration de l'eau dans le sous-sol et réduisent le ruissellement en surface. Comme l'eau s'écoule moins facilement, les arbres diminuent le ruissellement dans le bassin hydrologique des fleuves. En périodes de crues également, les arbres peuvent contribuer à limiter l'écoulement. Les haies placées en travers de la pente retiennent les éléments de sol entraînés par le ruissellement et protègent ainsi de l'érosion.

L'étude de Mérot (1976) qui compare un bassin hydrologique ouvert et un bassin hydrologique avec de nombreuses haies montre l'influence de ces dernières sur la retenue de l'eau. Les régions présentent des caractéristiques similaires. Malgré tout, le coefficient d'écoulement est 1,7 fois plus élevé dans le bassin hydrologique ouvert que dans celui riche en haies. Cela signifie qu'en cas de fortes précipitations, les crues sont plus nombreuses dans le bassin hydrologique ouvert que dans le bassin hydrologique riche en haies.

Si les arbres et les arbustes sont plantés entre les surfaces agricoles et les berges, ils aident à retenir le produit de l'érosion du sol, ainsi que les éléments fertilisants et les pesticides qu'il contient. La largeur des bandes au bord des berges recouvertes d'une végétation bien développée d'herbes, de buissons et d'arbres contribue à une protection efficace des eaux. Comme les berges clairsemées avec des herbages extensifs représentent des habitats précieux, le reboisement des berges n'est pas une solution judicieuse partout si l'on souhaite promouvoir la biodiversité.

Eaux souterraines

Les eaux souterraines devraient contenir au maximum 25 mg de nitrates par litre, pour fournir de l'eau potable



Fig. 9: Zones avec des valeurs de nitrates potentiellement élevées dans les eaux souterraines (> 25 mg/l) régions cibles pour l'agroforesterie (Graphique: João Palma, ART).

Tab. 2: Pronostics de lessivage annuel moyen de l'azote (en kgN/ha) pendant 60 ans dans une parcelle sans arbre (état initial) et avec arbres sur des surfaces à fertilisation intensive (> 100 kgN/ha). Les valeurs proviennent des simulations de Palma et al. (2006). Le pourcentage le plus élevé de réduction du lessivage de l'azote a été obtenu avec une forte densité d'arbres sur des terres fertiles (exploitation intensive). Avec une densité de 50 arbres par hectare, l'effet est moindre qu'avec 113 arbres par hectare. Ce phénomène s'explique: avec un grand nombre d'arbres, les rendements des sous-cultures sont davantage perturbés, ce qui entraîne l'interruption précoce de ce type de cultures. Par conséquent, les parcelles reçoivent moins d'engrais azotés et pendant moins longtemps. Les résultats présentés ici proviennent d'une simulation qui ne tient pas compte du potentiel qu'ont les racines des arbres d'absorber l'azote sous les cultures.

Lessivage annuel moyen de l'azote [kgN/ha]		
Système	Site à rendements faibles	Site fertile
Parcelle sans arbre	142 (100 %)	182 (100 %)
Parcelle avec 50 arbres/ha	117 (-18 %)	171 (-6 %)
Parcelle avec 113 arbres/ha	105 (-26 %)	99 (-46 %)

de première qualité. Cet objectif de qualité n'est pas atteint notamment dans les zones agricoles intensives du Plateau et parfois également dans les agglomérations.

Dans l'agriculture, le nitrate contenu dans les engrais est lessivé sur le sol par la pluie et gagne ainsi les eaux souterraines. Une couverture végétale en hiver ainsi qu'une exploitation agricole extensive dans les zones de protection des eaux souterraines aident à lutter contre ce phénomène. Grâce à ces efforts de l'agriculture, les teneurs en nitrates des eaux souterraines ont diminué au cours des deux dernières décennies. Cependant la charge en nitrates reste élevée dans les zones d'exploitation intensive, notamment dans les grandes cultures et les cultures maraîchères. Aujourd'hui encore, il arrive que l'on mesure des valeurs au-dessus du seuil de tolérance fixé pour l'eau potable, soit 40 mg de nitrates par litre (Mural et Cornaz 2005).

Les systèmes agroforestiers limitent le risque de lessivage des nitrates dans les eaux souterraines sur les surfaces agricoles. D'une part grâce à l'extensification de l'exploitation, comme le montre le tableau 2. D'autre part, les arbres prennent racines sous les cultures et absorbent les nitrates qui s'y infiltrent depuis la surface. Les arbres aident ainsi à protéger les eaux souterraines de la pollution et à préserver leur qualité élevée.

Les racines des arbres peuvent également accéder aux éléments fertilisants présents dans les couches plus profondes du sol, auxquelles les cultures n'ont pas accès avec leurs racines plus courtes. Le feuillage, lorsqu'il tombe, remet ces éléments à disposition des cultures.

Grâce à la plantation d'arbres sur les terres assolées et à une exploitation plus extensive, l'agriculture peut apporter une contribution positive à la protection des eaux souterraines. La figure 9 indique les régions avec de fortes teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, dans lesquelles l'agroforesterie pourrait limiter la contamination. Il s'agit essentiellement des zones de grandes cultures du Plateau.

Tab. 3: Pronostics relatifs à la liaison de carbone (en t/ha) d'arbres à croissance moyenne à rapide après 60 ans sur une terre assolée. Les valeurs proviennent des simulations de Palma et al. (2006). La liaison de carbone la plus élevée a été relevée avec la variante de 113 arbres par hectare sur une terre fertile (exploitation intensive). Toutefois, lorsque la densité d'arbres est plus réduite, la liaison de carbone est proportionnellement moins réduite car les arbres pris isolément se développent davantage.

Liaison de carbone après 60 ans [t/ha]		
Système	Site à rendements faibles	Site fertile
Parcelle sans arbre	0	0
Parcelle avec 50 arbres/ha	81	106
Parcelle avec 113 arbres/ha	112	133

Capture du carbone

Le dioxyde de carbone est omniprésent dans l'air. Résidu de la production énergétique, les êtres vivants le rejettent en respirant. Le dioxyde de carbone est également issu de la combustion d'énergies fossiles, comme le pétrole. C'est un gaz à effet de serre qui réchauffe l'atmosphère.

Avec le réchauffement climatique, le stockage du carbone a pris de l'importance. Le carbone peut être lié durablement dans les pergélisols et les marais et pour une période plus courte dans le bois des arbres.

Les plantes absorbent le dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère et le transforment en biomasse en libérant de l'oxygène. Comme le montre le tableau 3, c'est également le cas des arbres. Le carbone peut être stocké pendant plusieurs décennies dans le bois des arbres. Pendant cette période, il est inerte et contribue ainsi à diminuer la concentration de dioxyde de carbone agissant sur le climat et présent dans l'atmosphère.

Biodiversité

Le Plateau suisse est très exploité – que ce soit par les grandes cultures intensives ou par les agglomérations et le trafic. Il reste souvent peu de place pour la biodiversité. De nombreux espaces vitaux ont vu leur qualité se détériorer suite à une exploitation intensive ou ont dû céder la place à des urbanisations. C'est pourquoi il est particulièrement important de mettre en place sur le Plateau des zones exploitées de manière proche de la nature, susceptibles de servir de refuge aux animaux et de préserver la diversité des espèces.

L'agroforesterie moderne peut assurer d'apporter aux régions d'exploitation agricole la partie des facteurs de maîtrise de la biodiversité qui est liée aux lisières des forêts. Elle offre à différentes espèces des vergers et des lisières de forêts un espace vital et facilite ainsi la mise en réseau des parties de populations.

Les oiseaux des lisières de forêts profitent des nouveaux espaces vitaux dans les systèmes agroforestiers très struc-

Structure des systèmes agroforestiers au profit des oiseaux

La création de systèmes agroforestiers offre de nombreuses opportunités pour la protection de la nature. Comme les différents groupes d'animaux et les différentes espèces n'ont pas les mêmes exigences, parfois même des exigences opposées, il est important de bien soupeser les priorités.

Quel serait le système agroforestier idéal du point de vue des oiseaux ? La check-list présentée au tableau 4 fournit des indications. Elle est censée servir de modèle pour réussir l'aménagement d'une variante favorable à la fois aux oiseaux des vergers et des lisières de forêts, et à la protection de la nature. Elle comprend différents éléments structurels et plusieurs mesures pour promouvoir les espèces d'oiseaux qui pourraient bénéficier des systèmes agroforestiers. Plus le nombre de points obtenus est élevé, plus le système agroforestier convient à ces oiseaux.

La check-list au tableau 4 est conçue comme un instrument de base pour aider à intégrer les exigences des oiseaux lors de la planification d'un système agroforestier. Pour promouvoir certaines espèces d'oiseaux, des mesures d'encouragement supplémentaires, spécifiques à l'espèce, peuvent s'avérer nécessaires. Le rouge-queue à front blanc profite par exemple des surfaces de compensation écologique de haute qualité, mais c'est aussi le cas de nombreuses autres espèces d'oiseaux des terres cultivées. Le tableau 5 réunit des mesures spécifiques aux espèces et à leur promotion pour des espèces d'oiseaux sélectionnées typiques du Plateau suisse.

¹ Les espèces d'arbres indigènes, adaptées au site conviennent en général mieux comme habitat pour les oiseaux que les arbres étrangers au site.

² «Planter de manière espacée» veut dire ici que même lorsque les arbres ont un âge avancé, leurs cimes ne se ferment pas et que suffisamment de lumière arrive au sol pour permettre aux fleurs et aux insectes de prospérer. Les espaces vitaux présentant de telles densités d'arbres sont colonisés par des espèces d'oiseaux caractéristiques des paysages mi-ouverts, comme le montre l'utilisation des vergers hautes-tiges correspondants par ces espèces.

³ Lorsque les rangées d'arbres sont orientées Est-Ouest, des ourlets exposés au soleil, précieux pour la protection de la nature peuvent se développer sur le côté Sud des arbres. En cas de disposition Nord-Sud en revanche, l'ombre se répartit de manière régulière des deux côtés des rangées. C'est donc l'orientation recommandée du point de vue de la production.

⁴ Lorsque les arbres sont situés dans un paysage composé uniquement de terres assolées et sur seulement de petites bandes herbacées, la plupart des espèces d'oiseaux trouvent trop peu de nourriture et par conséquent, utilisent rarement les arbres des parcelles pour y nicher (Reeg et al. 2009b).

⁵ Informations supplémentaires: le pâturage crée, de par les piétinements et les morsures des animaux, des petites structures précieuses. Différents êtres vivants du sol, comme les carabes, n'apprécient pas le mulch à cause du microclimat modifié (humidité plus élevée).

⁶ Des herbages coupés court et un sol ouvert facilitent la recherche de nourriture, car les proies sont bien visibles.

⁷ Les arbres destinés à la production de bois d'œuvre ne présentent pas les zones en décomposition importantes pour les oiseaux qui nichent dans les trous d'arbres, car l'entretien est bon et l'exploitation précoce, mais les nichoirs peuvent offrir une solution de substitution pour de nombreuses espèces.

⁸ Les tas de branchages sont appréciés par de nombreux animaux comme cachette et comme refuge.

⁹ Du point de vue de la protection de la nature, la largeur de la bande devrait être d'au moins trois à quatre mètres (Reeg et al. 2008).

Tab. 4: Check-list pour l'aménagement de systèmes agroforestiers dans la perspective des oiseaux qui pourraient profiter de l'agroforesterie. La check-list est basée sur la clé d'évaluation de Kaeser (2009; expert interrogé: U. Rehs-teiner, Musée de la nature, Grisons, anciennement SVS). Le maximum de points possible est de 20. Dans la mesure où cela n'est pas spécifié, toutes les réponses qui correspondent peuvent être cochées.

Facteurs	Paramètres	Points
Mise en place du système agroforestier		
1. Espèces d'arbres	Espèces d'arbres indigènes, adaptées au site ¹	1
	Espèces d'arbres étrangères au site	0
2. Disposition et densité des arbres	Espacés ² (≤ 50 arbres/ha)	1
	Serrés (> 50 arbres/ha)	0
	Orientation Est-Ouest ³ des rangées	1
	Orientation Nord-Sud des rangées	0
Exploitation du système agroforestier		
3. Exploitation agricole (de la surface située entre les arbres)	Herbages uniquement	2
	Terres assolées et herbages (les bandes sous les arbres ne comptent pas)	2
	Terres assolées uniquement ⁴ (avec/sans bandes sous les arbres)	0
	Pâturage/Herbe fauchée/Mulch ⁵	1
	Surfaces herbagères coupées court/sol ouvert ⁶	1
4. Entretien des arbres	Arbres en majorité non ébranchés très haut, pas de bois d'œuvre	0,5
	Arbres en majorité ébranchés très haut, bois d'œuvre ⁷	0
	Les branches coupées restent en tas ⁸ sur le sol	0,5
Ne remplir que si les terres assolées sont majoritaires:	Bandes herbacée	1
	Aucune bande herbacée	0
5. Exploitations des bandes sous les arbres	Arbustes sur les bandes sous les arbres	1
	Ourlet herbacé sur les bandes sous les arbres	1
	Larges bandes (≥ 3 m) ⁹	1
Ne remplir que si les herbages sont majoritaires (Ne cocher qu'une possibilité):	Bandes étroites (< 3 m)	0
	Herbages avec beaucoup d'arbustes	4
6. Intensité d'exploitation	Herbages avec peu/pas d'arbustes	2
	Pas de fumure/fumure extensive et pas de pesticides	3
7. Protection de la nature et autres mesures d'entretien (concernent aussi les éléments déjà en place et les surfaces voisines)	Fumure intensive et/ou emploi de pesticides	0
	Pâturage extensif ou prairie/bandes sous les arbres avec 2 coupes par an au maximum	1
	Prairie/bandes sous les arbres avec plus de 2 coupes par an	0
	Nichoirs ou vieux arbres pour les oiseaux qui s'abritent dans les trous d'arbres	1
Somme	Arbustes ou haies pour les oiseaux qui nichent dans les buissons	1
	Jachère florale ou herbages extensifs	1
	Végétation au sol, lacunaire ou rase	1
Maximum de points atteignables pour la comparaison		20

Tab. 5: Espèces d'oiseaux du Plateau suisse qui pourraient profiter de l'agroforesterie. Vue d'ensemble des espèces et des mesures spécifiques à leur promotion (Kaeser 2009; Burkhardt et Schmid 2001; Rehsteiner et al. 2004).

Espèce d'oiseau	Mesure d'encouragement
Chardonneret élégant <i>Carduelis carduelis</i>	– Planter des arbres – Favoriser les ourlets en bordure de parcelles et les jachères florales
Grimpereaue des jardins <i>Certhia brachydactyla</i>	– Poser des niochirs – Stimuler les espèces d'arbres à l'écorce fendillée, comme protection contre le gel et pour la couvée
Rouge-queue à front blanc <i>Phoenicurus phoenicurus</i> (potentiellement menacé)	– Préserver et mettre en place des plantations d'arbres espacés de trois hectares – Créer des zones extensives avec une végétation lacunaire ou rase – Laisser les vieux arbres, surtout les poiriers – Poser des niochirs
Serin cini <i>Serinus serinus</i>	– Planter des arbres et des buissons
Gobemouche gris <i>Muscicapa striata</i>	– Favoriser les arbres et autres structures boisées – Poser des niochirs
Pic cendré <i>Picus canus</i> (vulnérable)	– Laisser les vieux arbres pour que les oiseaux puissent y creuser des cavités – Exploiter les herbages de manière extensive et maintenir une végétation espacée au sol – Stimuler la richesse des structures et le bois mort dans les systèmes agroforestiers
Pic vert <i>Picus viridis</i>	– Exploiter les herbages de manière extensive – Laisser les vieux arbres pour que les oiseaux puissent y creuser des cavités – Stimuler la richesse des structures dans les systèmes agroforestiers
Pic épeichette <i>Dendrocopos minor</i>	– Laisser les vieux arbres pour que les oiseaux puissent y creuser des cavités – Planter des arbres à bois tendre (peupliers, saules)
Pie-grièche à tête rousse <i>Lanius senator</i> (menacée d'extinction)	– Préserver et mettre en place des systèmes agroforestiers d'au moins dix hectares (vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges) – Pâturer les herbages de manière extensive ou les faucher de manière échelonnée – Favoriser une végétation lacunaire au sol, des zones exemptes de végétation, des bandes fleuries et des arbustes
Chouette chevêche <i>Athene noctua</i> (menacée d'extinction)	– Laisser les vieux arbres pour que les oiseaux puissent y creuser des cavités – Exploiter les herbages de manière extensive et créer des zones où la végétation est courte et lacunaire (proies visibles) – Promouvoir les bandes de jachères et les prairies riches en espèces – Mettre en place des haies et des murs de pierres – Poser des niochirs et des perchoirs – Eriger des tas de bois pour que les jeunes oiseaux puissent s'y cacher
Gobemouche noir <i>Ficedula hypoleuca</i>	– La pose de niochirs a entraîné une multiplication et une prolifération importantes de la population (était rare autrefois)
Torcol fourmilier <i>Jynx torquilla</i> (vulnérable)	– Préserver et planter des arbres et des haies – Stimuler les prairies ou les pâturages maigres extensifs ainsi qu'une végétation lacunaire au sol – Poser des niochirs et laisser les trous d'arbres existants en place – Stimuler la richesse des structures dans les systèmes agroforestiers
Huppe fasciée <i>Upupa epops</i> (très menacée)	– Préserver et planter des arbres – Créer une végétation lacunaire, rase au sol – Poser des niochirs – Stimuler la richesse des structures dans les systèmes agroforestiers

turés. Ce sont surtout les espèces caractéristiques des vergers qui sont représentées. La plantation d'arbustes entre les arbres permet également d'attirer les oiseaux qui nichent dans les haies.

Différents arthropodes, dont des araignées et des carabes des zones intermédiaires, sont attirés par la présence d'arbres et de buissons (Mcadam et al. 2007). Ils trouvent au sol sous les arbres différents petits espaces vitaux, des zones ombragées et humides ou sèches et ensoleillées.

Un système agroforestier influence non seulement la biodiversité, mais aussi le paysage. Le paysage peut être valorisé sur le plan esthétique grâce à l'apport d'éléments typiques de l'agroforesterie et se diversifier.

Quelles sont les régions adaptées du point de vue de la promotion des espèces?

Avant de mettre en place des systèmes agroforestiers, il est important d'étudier leur compatibilité avec les espèces cibles et les espèces emblématiques selon l'OFEFP et l'OFAG (2008). Les espèces menacées et les espèces de milieux ouverts caractéristiques de l'espace vital ne doivent pas être évincées. C'est pourquoi il ne faut pas mettre de systèmes agroforestiers en place dans les régions où vivent des espèces menacées des milieux ouverts ou dans des espaces vitaux comme les bas-marais et les prairies sèches. Bien que les zones extensives conviennent en principe bien pour l'agroforesterie, il faut évaluer au cas par cas s'il n'y a pas de conflit avec la promotion des espèces et des espaces vitaux prioritaires.

Les zones peu intensives avec de nombreux éléments de paysage comme les arbres, les arbustes et les haies offrent de bonnes conditions pour les systèmes agroforestiers. En effet, pour le pool des espèces, il est avantageux que les haies, les vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges ou d'autres parcelles avec des arbres soient déjà présentes dans les environs. De ce fait, la zone abrite déjà des espèces animales caractéristiques des vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges ou des zones intermédiaires comme les lisières de forêts. La surface agroforestière sera plus rapidement colonisée par ces espèces que si elle est isolée dans une zone uniquement consacrée aux grandes cultures. Néanmoins, l'aménagement de nouveaux éléments structurels dans le paysage peut également contribuer à enrichir la biodiversité d'un paysage exploité intensivement.

Exploitation optimale et aménagement de systèmes agroforestiers

Une exploitation extensive du système agroforestier et le renoncement aux produits phytosanitaires créent de bonnes conditions de vie pour de nombreuses espèces. Un tel mode d'exploitation enrichit leur nourriture. De plus, les rangées d'arbres non fertilisées et non pulvérisées avec leurs ourlets herbacés constituent une zone de refuge capitale pour de nombreuses espèces. Par contre, les surfaces agricoles très intensives entre les rangées d'arbres représentent un handicap pour diverses espèces animales.

Dans les systèmes agroforestiers, les rangées d'arbres offrent de nombreuses possibilités d'aménagement pour la protection de la nature. Des ourlets herbacés peuvent être mis en place, des bandes fleuries semées ou des arbus-

tes plantés. De larges bandes à la structure riche sont en général plus appropriées pour la promotion de la biodiversité que des bandes d'herbages étroites et coupées court. De plus, la mise en place de haies et d'ourlets herbacés étendus n'est possible que dans les rangées d'arbres larges pour des questions d'exploitation.

Les systèmes agroforestiers offrent en outre de bonnes conditions pour mettre en pratique des mesures de protection de la nature comme les ourlets, les arbustes ou les nichoirs. Indépendamment des mesures de protection de la nature, la valeur d'un système agroforestier pour la biodiversité dépend également de l'âge des arbres. Dans les systèmes agroforestiers dédiés à la production de fruits, les arbres deviennent vieux contrairement à ceux destinés à la production de bois d'œuvre. Ils sont donc précieux pour la biodiversité. Dans les systèmes agroforestiers destinés à la production de bois d'œuvre, on pourrait envisager de laisser certains arbres moins bien développés sur la surface bien au-delà de l'âge d'exploitabilité pour favoriser la biodiversité. De telles mesures pourraient par exemple favoriser les espèces d'oiseaux et de lichen menacées qui ont besoin de vieux bois ou de bois mort pour subsister.

Esthétique du paysage

Les arbres contribuent à diversifier et à structurer le paysage. Le paysage s'articule autour d'eux. De plus, ils installent des jeux de clair-obscur par projection de leur ombre (Winkelbrandt et Peper 1989, Krause et Köppel 1996). Une étude approfondie de Schüpbach et al. (2009) a montré des photos de quatorze éléments de paysage différents, prises à différentes périodes de l'année. Les vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges et les haies sont ceux qui ont reçu les meilleures appréciations tout au long de l'étude. La floraison et la coloration de leur feuillage en automne sont deux raisons essentielles (Schüpbach et al. 2009). L'effet structurant des arbres est varié: les arbres peuvent être disposés en lignes, par exemple le long des fleuves ou des chemins. Ils peuvent aussi créer des paysages semi-ouverts, un mélange de terres cultivées et d'arbres.



Fig. 11: Arbres destinés à la production de bois d'œuvre dans des parcelles cultivées en France. Pour que les rangées d'arbres s'intègrent dans le paysage, elles ne devraient pas être rectilignes, mais suivre le tracé des courbes de niveau (Photo: Felix Herzog, ART).



Fig. 10: Merisiers ébranchés très haut pour la production de bois d'œuvre en France. Les arbres destinés à la production de bois d'œuvre peuvent très bien s'intégrer dans le paysage (Photo: Felix Herzog, ART).

Les systèmes agroforestiers traditionnels comme les vergers ou pâturages boisés, forment des paysages semi-ouverts très appréciés de la population. Les touristes et les promeneurs ne sont pas les seuls à bénéficier de ces paysages considérés comme attrayants. La vente directe en tire également profit et donc l'agriculture. À côté des systèmes traditionnels que nous connaissons bien, des systèmes agroforestiers modernes apparentés peuvent également contribuer à la valorisation esthétique du paysage.

L'aspect des arbres destinés à la production de bois d'œuvre se distingue de celui des arbres destinés à la production de fruits. La principale différence concerne la taille. Les arbres destinés à la production de bois d'œuvre sont ébranchés très haut et leurs cimes sont plus élevées sur de longs fûts (Reeg et al. 2009a; cf. photo 10).

Il est donc important de se demander avant de les planter, si des arbres destinés à la production de bois d'œuvre peuvent s'intégrer optiquement dans le paysage. À proximité de la forêt ou le long des chemins et des fleuves, ils se remarquent moins que sur une parcelle située dans une région uniquement consacrée aux grandes cultures. Cependant, des paysages de terres assolées plutôt monotones peuvent par exemple bénéficier sur le plan esthétique de la présence de merisiers et de la beauté de leur floraison au printemps.

La disposition des arbres est parfois prescrite par le mode d'exploitation (Reeg et al. 2009a). Dans les pâturages, ils peuvent être plantés en groupes ou au hasard. Sur les parcelles par contre, les arbres sont plantés en lignes, disposition également recommandée dans les herbages qui doivent être fauchés. L'emploi de différentes espèces d'arbres et d'arbres d'âge variable, plantés et coupés à des périodes distinctes permet de rompre la monotonie. Les rangées ne devraient pas être figées, mais suivre les courbes de niveau (Reeg et al. 2009a, cf. photo 11). Lorsque les arbres des différentes rangées sont plantés en décalage, les rangées se distinguent moins bien. La disposition espacée des arbres destinés à la production de bois d'œuvre, en ligne ou dans le désordre, s'accorde généralement bien avec les paysages mi-ouverts. Les bandes herbeuses qui apparaissent entre les rangées d'arbres peuvent être utilisées comme prairies florales pour embellir le paysage ou comme haie pour le structurer.

Conclusions

Les arbres fournissent d'importantes prestations écologiques dans le paysage culturel. Ils protègent le sol de l'érosion et les eaux de la pollution par les pesticides et les éléments fertilisants.

Les systèmes agroforestiers modernes peuvent assurer la même fonction pour la protection des eaux et du sol que les vergers d'arbres fruitiers hautes-tiges. Ainsi, les arbres plantés parallèlement aux courbes de niveau permettent de prévenir l'érosion du sol. Dans les régions très exposées à l'érosion, que ce soit du fait de l'eau sur les terrains en pente ou du fait du vent dans les plaines, la plantation des arbres en haies rend la protection encore plus efficace. En effet, les haies offrent une bonne protection contre l'érosion.

Dans les régions de grandes cultures intensives du Plateau, la qualité de l'eau potable et la fertilité du sol peuvent être améliorées par la mise en place de systèmes agroforestiers. L'agencement des systèmes modernes est flexible et peut être adapté au paysage.

Pour créer des systèmes agroforestiers de valeur pour la protection de la nature, d'autres éléments structurels sont également nécessaires, en plus des arbres. Des bandes fleuries peuvent par exemple valoriser le système agroforestier pour la protection de la nature (cf. photo 1). Des mesures supplémentaires sont nécessaires notamment pour les systèmes avec arbres destinés à la production de bois d'œuvre afin de créer un espace vital de qualité en termes de biodiversité. Les arbres destinés à la production de bois d'œuvre ne présentent pas les zones en décomposition importantes pour les oiseaux qui nichent dans les trous d'arbres. C'est pourquoi il est bon de prévoir des nichoirs qui peuvent servir de substitut à de nombreuses espèces d'oiseaux.

Les systèmes agroforestiers sont surtout colonisés par des espèces caractéristiques des vergers d'arbres fruitiers à hautes-tiges et des lisières de forêt. C'est pourquoi la surface agroforestière devrait être aménagée de manière à satisfaire leurs exigences. Les ourlets herbacés et les arbustes, comme il en existe en bordure des forêts, sont des mesures efficaces pour ces espèces.

Les mesures d'encouragement ont l'inconvénient d'entraîner des frais supplémentaires. Les larges rangées d'arbres diminuent par exemple la production agricole. La surface avec de larges rangées est moins rentable économiquement parlant qu'avec des rangées étroites. C'est pourquoi l'indemnisation des prestations écologiques est une condition essentielle pour promouvoir les arbres, mais aussi les systèmes agroforestiers modernes. Les contributions pour une qualité biologique particulière ou les primes à la plantation sont des possibilités judicieuses.

Le réchauffement climatique rend des thèmes comme celui de la plantation d'arbres très actuels. Pour lutter contre le réchauffement climatique, il est possible d'utiliser des sources d'énergie renouvelables comme le bois de chauffage au lieu de combustibles fossiles (p. ex. mazout). Contrairement au pétrole, le bois de chauffage est sans effet sur le climat, car le carbone est d'abord lié pendant la

croissance des arbres et ensuite libéré lors de la combustion. Lorsque le bois d'œuvre est utilisé pour la fabrication de meubles, le carbone est lié pendant plusieurs dizaines d'années.

Une productivité supérieure à la surface et une meilleure protection des ressources sont les exigences de notre époque. L'agroforesterie peut contribuer à les satisfaire. Pour y parvenir, il est recommandé de préserver les systèmes traditionnels dans la mesure du possible et de développer également des systèmes complémentaires modernes. De cette manière, les prestations écologiques des arbres et des arbustes pourront de nouveau être offertes et les pertes d'arbres fruitiers hautes-tiges en partie compensées.

Bibliographie utilisée

- OFEV et OFAG (2008). Objectifs environnementaux pour l'agriculture; A partir de bases légales existantes. Connaissance de l'Environnement Nr. 0820. Berne: Office Fédéral de l'Environnement et Office Fédéral de l'Agriculture.
- Baudry J., Bunce R. G. H. u. Burel F., 2000. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*, 60, 7–22.
- Bender B., Chalmin A., Reeg T., Konold W., Mastel K. u. Spiecker H., 2009. Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern: Leitfaden für die Praxis. Broschüre, 51 S. <http://www.agroforst.uni-freiburg.de>
- OFAG, 2010. Commentaire et instructions 2010 du 12 mai 2010 relatifs à l'ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture (Ordonnance sur les paiements directs, OPD, 910.13) du 7 décembre 1998 Berne: Office fédéral de l'Agriculture.
- Burkhardt, M. et Schmid, H., 2001. Oiseaux en Suisse. Sempach: Statin Ornithologique Suisse.
- EAWAG und BUWAL, 2004. Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz: «Fischnetz». Dübendorf: EAWAG; Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Feldwisch N., Frede H.G. u. Hecker F., 1998. Verfahren zum Abschätzen der Erosions- und Auswaschungsgefahr. In: Frede H.G. u. Dabbert S. (Hrsg.): *Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft*. Landsberg/Lech: ecomed, 22–57.
- Friedli S., 2006. Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster: Unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes. Diplomarbeit an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich.
- Gifford R., 2000. Carbon Content of Woody Roots: Revised Analysis and a Comparison with Woody Shoot Components. National Carbon Accounting System Technical Report No. 7 (Revision 1). Canberra: Australian Greenhouse Office.
- Kaeser A., 2009. Agroforstwirtschaft zur Förderung der Artenvielfalt: Erarbeitung eines Schlüssels zur Bewertung des Naturschutzpotenzials und Anwendung an drei

- Fallbeispielen im Schweizer Mittelland. Masterarbeit an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch>
- Kaeser A., Firesenai S., Dux D. et Herzog F., 2010. Agroforesterie moderne en Suisse. Vergers novateurs: productivité et rentabilité. Rapport ART 725, 1–12. Station de recherche Agroscope Reckenholz- Tänikon ART, Zurich.
 - Krause C. L. u. Köppel D., 1996. Landschaftsbild und Eingriffsregelung. Hinweise zur Berücksichtigung von Landschaftsbildelementen. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
 - Mayer A. C., Stöckli V., Konold W. u. Kreuzer M., 2005. Experimental determination of the effects of stocking density and grazing period on forest regeneration on a subalpine wood pasture. *Animal Research*, 54, 153–171.
 - Mcadam J. H., Sibbald A.R., Teklehaimanot Z. u. Eason W. R., 2007. Developing silvopastoral systems and their effects on diversity of fauna. *Agroforestry Systems*, 70, 81–89.
 - Mérot P., 1976. Quelques données sur l'hydrologie de deux bassins versants élémentaires granitiques, bocager et ouvert. Rennes: Table ronde CNRS «les bocages».
 - Murali R. et Cornaz S., 2005. Teneurs en nitrates des eaux souterraines en Suisse. Dans: Herzog F. et Richner W. (eds.). Évaluation des mesures écologiques: Domaines de l'azote et du phosphore. Zurich: Cahiers de la FAL, 57, 32–40.
 - Palma J.H.N., Graves A. R., Bunce R.G.H., Burgess P.J., de Filippi R., Keesman K.J., van Keulen H., Liagre F., Mayus M., Moreno G., Reisner Y. u. Herzog F., 2006. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119, 320–334.
 - Palma J.H.N., Graves A.R., Burgess P.J., Keesman K.J., van Keulen H., Mayus M., Reisner Y. u. Herzog F., 2007. Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale. *Ecological Engineering*, 29, 450–462.
 - Reeg T., Bemman, A., Konold, W., Murac, D. u. Spiecker H., 2009a. Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim: Wiley-Vch.
 - Reeg T., Möndel A., Brix M. u. Konold W., 2008. Naturschutz in der Agrarlandschaft: Neue Möglichkeiten mit modernen Agroforstsystemen? *Natur und Landschaft*, 83 (6), 261–266.
 - Reeg T., Oelke M. u. Konold W., 2009b. Moderne Agroforstsysteme in Deutschland: Naturschutzfachliche Bewertung, Akzeptanz, historische Hintergründe und Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Schlussbericht des Projektes agroforst: Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung, Teilprojekt Landespflege. Institut für Landespflege der Universität Freiburg.
 - Rehsteiner U., Spaar R. u. Zbinden N., 2004. Elemente für Artenförderungsprogramme Vögel Schweiz. Koordinationsstelle des Rahmenprogramms Artenförderung Vögel Schweiz. Zürich: Schweizer Vogelschutz SVS/BirdLife Schweiz; Sempach: Schweizerische Vogelwarte.
 - Schüpbach B., Junge X., Briegel R., Lindemann-Matthies P. u. Walter T., 2009. Ästhetische Bewertung landwirtschaftlicher Kulturen durch die Bevölkerung. Zürich: ART-Schriftenreihe 10.
 - Surböck A., Faustmann P., Heinzinger M., Friedel J. K., Klick A. u. Freyer B., 2005. Auswirkungen einer Hecke auf Bodenwasserhaushalt, Bodenparameter und Ertrag in angrenzenden Ackerflächen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 17, 20–21.
 - Walter T., Klaus G., Altermatt F., Ammann P., Birrer S., Bolter B., Capt S., Eggenschwiler L., Fischer J., Gonseth Y., Grünig A., Homburger H., Jacot K., Kleijer G., Köhler C., Kohler F., Kreis H., Loser E., Lüscher A., Meyer A., Murbach F., Rechsteiner C., Scheidegger C., Schierscher B., Schilperrood P., Schmid H., Schnyder N., Senn-Irlet B., Suter D., Zbinden N. u. Zumbach S., 2010. Landwirtschaft. In: Lachat T., Pauli D., Gonseth Y., Klaus G., Scheidegger C., Vittoz P. u. Walter T. (Red.), 2010. Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900: Ist die Talsohle erreicht? Zürich: Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien: Haupt. 64–123.
 - Winkelbrandt A. u. Peper H., 1989. Zur Methodik der Landschaftsbilderfassung und -bewertung für Umweltverträglichkeitsprüfungen: Am Beispiel von Retentionsmassnahmen im Raum Breisach. *Natur und Landschaft*, 64 (7/8).
-
- ### Informations complémentaires et bibliographie
- Dupraz C. u. Liagre F., 2008. Agroforesterie: Des arbres et des cultures. Paris: La France Agricole.
 - Rapport final du projet agroforst: Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung <http://www.agroforst.uni-freiburg.de>
 - Rapport finale du projet SAFE (Silvoarable Agroforestry For Europe) <http://www.montpellier.inra.fr/safe>
- Informations sur les arbres dans les paysages agricoles dans les brochures «Arbres et eaux», «Arbres et biodiversité» et «Arbres et paysage» sous publications sur:
- <http://www.agroforst.ch>
- <http://www.agroforst.uni-freiburg.de>
- <http://www.agroforst.de>
- <http://www.agroforesterie.fr>
- <http://www.montpellier.inra.fr/safe>
- <http://www.agroforestry.ac.uk/>
- Ce projet a été soutenu financièrement par la Fondation MAVA.