

## Agroforesterie en Europe de l'Ouest : pratiques et expérimentations sylvopastorales des montagnes de la zone tempérée

Philippe Balandier, Hélène Rapey, Félix Ruchaud,  
François-Xavier de Montard

L'agroforesterie, l'association délibérée d'arbres avec une production agricole – culture ou élevage – sur une même parcelle ou une même entité d'exploitation [1, 2] est une pratique très ancienne en Europe et parfois encore très vivace dans certaines régions [3, 4]. C'est le cas de la double utilisation traditionnelle du noyer (*Juglans* sp.) dans le Sud de la France pour la production de fruit et de bois d'ébénisterie, avec une culture agricole intercalaire entre les arbres [5] ou du système de pâturage sous chêne (*Quercus* sp.) en Espagne et Portugal [6], ou bien encore tout simplement le pâturage en forêt [7]. Ces pratiques ont été redécouvertes assez récemment à la suite de changements dans les politiques et réglementations agricoles communes européennes, les modes de productions agricoles et forestières et aussi en raison de l'évolution des mentalités rurales et

urbaines [8-10]. C'est particulièrement le cas des zones de montagne où des handicaps naturels (climat, relief) limitent la faisabilité ou la rentabilité de l'intensification des productions agricoles [11].

Dans les zones montagneuses de l'Europe de l'Ouest, le système de production se limite bien souvent à un système exclusivement à base de surfaces fourragères (70 à 90 % de la superficie agricole utilisée [12]), avec un élevage de ruminants (bovin et ovin) pour le lait ou la viande. Les contraintes d'exploitation sont fortes : courte saison de végétation (parfois moins de trois mois sur les alpages les plus hauts), obstacles à la mécanisation, coût plus élevé des services, des structures, etc. [13]. Ces obstacles, ajoutés à une réglementation favorisant l'intensification et la spécialisation des productions agricoles pour obtenir une rentabilité maximum, ont conduit progressivement à l'abandon des zones rurales de montagne aux plus fortes contraintes. On observe alors une invasion progressive des anciennes prairies, landes et alpages soit, dans un premier temps, par des espèces ligneuses buissonnantes, soit directement par des arbres pionniers (fruitiers divers, *Pinus sylvestris*, *Betula* sp. [14, 15]).

Parallèlement à cette colonisation naturelle par les arbres, diverses aides nationales ont favorisé la plantation volontaire d'arbres forestiers sur les terrains privés et communaux anciennement agricoles [16], notamment avec des espèces résineuses (*Picea abies*, *Pseudotsuga douglasii*, par exemple). Certaines communes de moyenne montagne ont alors atteint des

taux de boisement supérieurs à 60 % [10]. Ces boisements uniformément résineux sont souvent assez mal perçus par les populations [10], soit pour des raisons paysagères (fermeture des paysages, boisements sombres), soit parce que la forêt renvoie directement l'image d'un abandon des pratiques agricoles [16]. Souvent, ces forêts sont peu entretenues et le bois, non valorisé, s'accumule [17].

Dans ces conditions, les acteurs de ces territoires de montagne ont recherché d'autres mises en valeur possibles des terres. Cette recherche d'alternatives à l'abandon des terrains ou au boisement systématique en résineux, a été favorisée à partir de 1992 par la réforme de la politique agricole européenne visant à réduire les excédents de production agricole, tout en prenant en compte les problèmes environnementaux [8, 9, 11]. Des primes sont octroyées pour l'extensification de l'élevage et en fonction de la surface en herbe entretenue. Il s'agit de rechercher des solutions économiquement rentables mais qui ne sacrifient pas le respect de l'environnement et qui permettent d'entretenir des surfaces importantes vouées à l'abandon ou déjà abandonnées [18]. L'agroforesterie, et plus particulièrement en montagne, le sylvopastoralisme, est une de ces formes possibles d'extensification et de mise en valeur des terres. Par sylvopastoralisme, nous entendons tout système qui associe dans le temps ou l'espace et de façon délibérée, des arbres et des animaux d'élevage sur la même surface, et qui implique à la fois un entretien de la pâture et des arbres [2].

Ph. Balandier, H. Rapey, F. Ruchaud : Cemagref de Clermont-Ferrand, UR Dynamiques et Fonctions des espaces ruraux, 24, av. des Landais, BP 50085, 63172 Aubière Cedex, France.  
<philippe.balandier@cemagref.fr>  
<http://www.cemagref.fr>  
F.-X. de Montard : INRA, Agronomie, 234, av. du Brezet, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 2, France.

Tirés à part : Ph. Balandier

Thèmes : Sciences forestières ; Systèmes agraires ; Environnement.

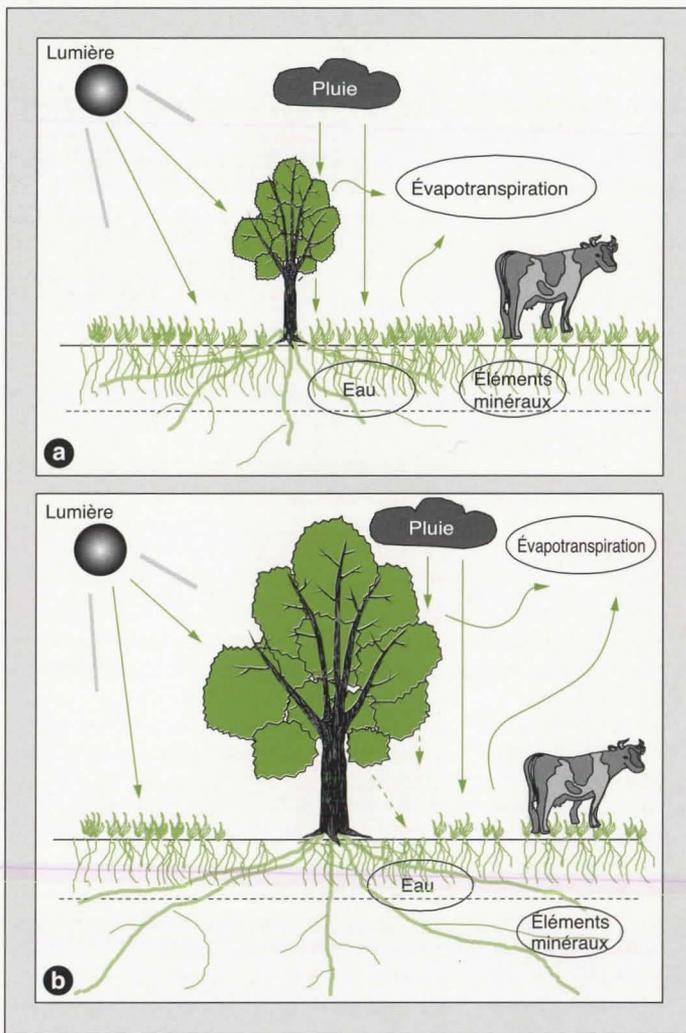
## Bénéfices escomptés des pratiques sylvopastorales

Par essence, le sylvopastoralisme est source de diversification : théoriquement, l'élevage apporte un revenu régulier à l'agriculteur alors que la production de bois apporte un complément sur le long terme [4, 19]. Cela sous-entend cependant que l'association des arbres et de l'élevage ait des interactions positives [20, 21] permettant d'obtenir des bénéfices marchands ou non marchands (meilleur fonctionnement écologique, amélioration du paysage, de la valeur symbolique, etc.) supérieurs à ceux qu'auraient apporté la sylviculture pure ou l'élevage seul. Dans certains cas, cela a déjà été démontré [22].

Parallèlement à la diversification des productions, associer arbre et élevage peut aussi avoir comme avantage d'améliorer la production des animaux : les arbres peuvent offrir un abri face au mauvais temps [9], fréquent en montagne (vent, pluie, neige), et ainsi améliorer la croissance des animaux. La protection offerte par les arbres atténue les gelées, ralentit le vent et limite la transpiration, donc les pertes en eau sous le couvert (figure 1) ; elle peut aussi conduire ainsi à une gestion plus souple du calendrier de pâturage en favorisant la croissance de l'herbe tôt au printemps (ou tard en automne) et en période de sécheresse estivale [23].

En ce qui concerne les arbres, la pratique du sylvopastoralisme implique d'intenses éclaircies (sylviculture dynamique) pour favoriser l'éclaircissement au sol et ainsi, la production d'herbe (figure 1). Ces fortes éclaircies augmentent les croissances individuelles en diamètre des arbres [24]. Pratiquées de manière régulière dans le temps, elles améliorent la régularité des cernes. Les arbres sont souvent plus trapus, ce qui leur confère une meilleure stabilité face au vent et aux intempéries. Leur croissance plus rapide conduit à une récolte plus précoce, évitant ainsi les risques phytosanitaires de dépréciation du bois qui augmentent avec l'âge des peuplements. Le suivi des animaux dans les parcelles permet à l'agriculteur de repérer rapidement tout problème au niveau des arbres et ainsi, d'intervenir rapidement.

La pratique du sylvopastoralisme permet de créer des paysages originaux de parcs



lourée lorsque l'eau devient rare. L'animal peut modifier la croissance de l'arbre, en particulier au stade jeune (a), par abrutissement des branches et compaction du sol. Il modifie également la distribution des éléments minéraux par ses déjections et urines ; ces éléments minéraux peuvent être absorbés par les racines de l'herbe en surface puis par celles de l'arbre plus en profondeur.

**Figure 1.** Schematic representation of the interactions between the different components of the silvopastoral system and their evolution according to time. Tree and grass are in competition for water and nutrients; when young (a), roots of tree and grass share approximately the same soil volume and the heavy competitiveness of grass gives it an advantage. Later (b), the tree has some of its roots deeper in the soil and can therefore take up water in some layers inaccessible to the grass, which shelters it from competition. The tree crown limits the radiations available for grass, particularly at the adult stage (b), leading sometimes to the death or a rarefaction of the grass under tree. But on the opposite, it can protect the grass from sun and wind and as a consequence, grass transpiration decreases and grass grows better when drought appears. The animal can modify tree growth by branch browsing and soil compaction at the young tree stage (a). It also modifies the distribution of mineral nutrients by faeces and urine; these mineral nutrients can be taken up by grass roots in soil surface and by tree roots deeply in the soil.

boisés, plus variés et plus ouverts que les boisements résineux en plein. La production d'herbe varie en fonction de la densité du couvert (figure 1) : en période humide, elle est régulièrement croissante avec le taux de lumière transmise au niveau du sous-bois, tandis qu'en période sèche, l'éclaircissement optimal se situe entre 70 et 40 %, d'autant plus bas que le déficit en eau est important [25, 26].

Le nombre d'animaux ayant leurs besoins alimentaires couverts par ce type de pâturage varie donc selon les années et la densité du couvert arboré, le bilan hydrique et la nutrition minérale des herbacées [27]. Dans le cas d'éclaircie de jeunes plantations résineuses, l'éclaircissement est souvent inférieur à 40 % et la nutrition minérale n'est maintenue que par les seules restitutions des herbivores.

Il en résulte une faible productivité du sous-bois et un entretien efficace par le pâturage de l'herbe et le brouet des buissons, même avec un chargement modeste d'animaux à l'hectare (environ  $0,2 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Ces conditions sont favorables à l'entretien d'un vaste espace avec peu d'animaux. De plus, les intrants nécessaires à l'entretien du système sont faibles et sa gestion est généralement bien rationalisée. Le lessivage d'azote vers les nappes (*figure 1*) est improbable tant que la charge animale reste proportionnée à la ressource du sous-bois car les arbres peuvent absorber l'azote qui aurait pu migrer en profondeur à l'aplomb des pissats [28].

Enfin, pour certains écosystèmes, le sylvopastoralisme crée une plus grande biodiversité végétale et animale qu'une prairie seule ou qu'une forêt seule [29].

L'ensemble de ces avantages potentiels liés à l'adoption d'une pratique sylvopastorale n'est pas toujours obtenu de manière systématique. Ils dépendent du milieu, du climat, de la conduite des arbres et du troupeau, des pratiques de l'agriculteur. Certains systèmes, issus d'une plus ou moins grande tradition, ont déjà été fortement éprouvés et adaptés aux conditions actuelles. D'autres sont plus exploratoires.

## Systemes sylvopastoraux : entre tradition et experimentation

Dans de nombreuses montagnes d'Europe tempérée, il y a, ou il y a eu, une tradition de pâturage en forêt [7]. Il en est ainsi des forêts d'épicéas (*Picea abies*) du Jura en France et en Suisse qui étaient traditionnellement ouvertes au pâturage [30, 31]. Cette forme a pratiquement disparu de France, contrairement au Jura Suisse. Dans les Alpes méridionales, le pâturage concerne des forêts claires de mélèzes (*Larix sp.*) [32]. Situées en altitude, ces forêts offrent des lieux d'estive et d'abri pour les troupeaux. Elles permettent aux éleveurs de libérer les prairies mécanisables et productives durant l'été afin d'y récolter des fourrages pour l'hiver.

Dans les Pyrénées françaises et espagnoles, au Pays Basque où 40 % des

forêts communales sont pâturées, il subsiste toute une tradition de pâturage ovin en forêt de chênes (*Quercus sp.*) [33]. Les éleveurs recherchent ces parcours qui leur permettent aussi de récolter en sous-bois la fougère et l'ajonc pour la litière des animaux. Ces bois pâturés ont donc des fonctions multiples et sont très bien intégrés dans les activités de l'exploitant agricole.

En Lozère (Centre de la France), l'abandon massif de terres agricoles, au début puis au milieu du siècle, a entraîné une forte extension des bois de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) en altitude et sur les sols les plus superficiels [34]. Dans les années 80, des aides agricoles ont favorisé l'augmentation d'effectif des troupeaux, ce qui a renouvelé la demande de pâturages [31]. Les parcelles abritées colonisées par le pin sylvestre, mais suffisamment ouvertes et enherbées, ont retrouvé un intérêt agricole (*Encadré n° 1*). Le décalage de la production d'herbe en sous-bois, plus que la seule quantité d'herbe produite, intéresse les éleveurs. Il permet une grande flexibilité de gestion avec un pâturage tôt au printemps, en plein été, voire tard en automne [35]. Les produits de l'éclaircie sont surtout utilisés pour la pâte à papier ou éventuellement le chauffage familial [11]. Plus récemment, on a testé des schémas plus expérimentaux tels que la combinaison d'éclaircies fortes dans des peuplements denses d'épicéas avec un semis de plantes fourragères et une fertilisation [36] (*Encadré n° 2*). De même, au Pays Basque, des sursemis de plantes fourragères ont été utilisés pour améliorer la valeur pastorale de certaines plantations forestières [33]. Ces sursemis visent à augmenter la production généralement faible de ces bois pâturés (en l'absence de sursemis, la production est en moyenne de seulement  $0,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  sous le mélèze ou encore de  $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  sous le pin sylvestre [7]).

Enfin, on a également testé récemment la faisabilité de l'introduction dans les pâturages d'espèces à croissance rapide et produisant du bois de grande valeur (*Prunus avium*, *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, etc. [8, 10, 37, 38]). Les arbres sont plantés à faible densité (de 100 à 400 tiges  $\text{ha}^{-1}$ ) en prairie pâturée et ils sont protégés du bétail par un tube-abri en plastique (Tubex™) (*Encadré n° 3*).

Ces différents types de pâturage doivent respecter quelques règles techniques :  
– éviter une trop forte charge animale

préjudiciable à la croissance des arbres (piétinement) ou encore favorisant les abrouissements ;

– éclaircir fortement les arbres pour obtenir suffisamment de lumière au sol pour la production d'herbe ;

– prévoir des équipements pour les animaux, tels que des points d'eau ;

– enfin, l'affouragement, favorable à une surcharge du pâturage, est déconseillé [31].

## Discussion – Conclusion

Tous les exemples analysés et les expérimentations montrent la faisabilité technique et les possibilités d'amélioration du sylvopastoralisme en moyenne montagne. Des expérimentations précédentes avaient montré ces possibilités sous d'autres climats ou contextes (climats méditerranéens [22], océaniques aux États-Unis [39], au Royaume-Uni, en Australie, en Nouvelle-Zélande [9]).

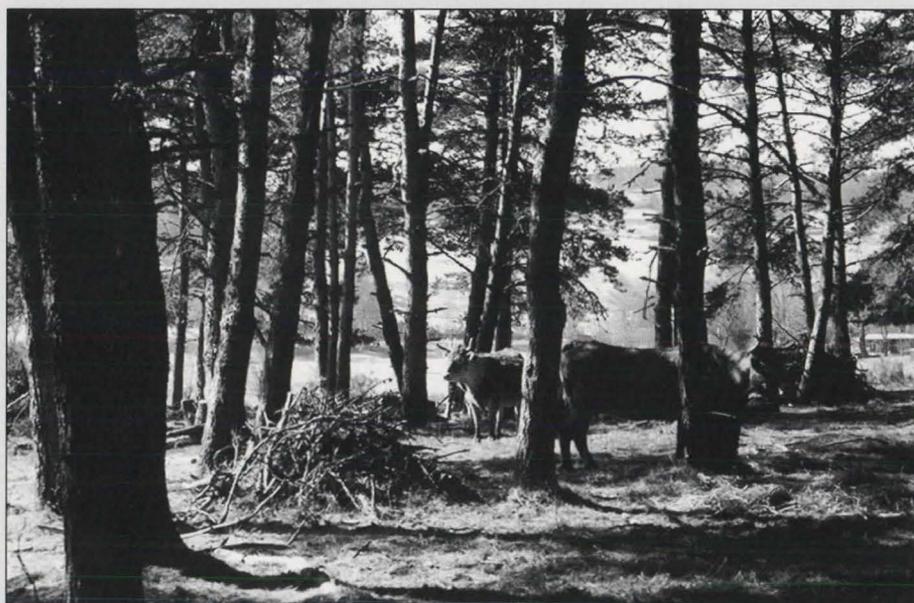
Nos expérimentations confirment que, par des techniques adaptées, une production significative d'herbe peut être obtenue en forêt de moyenne montagne. Dans l'expérience d'ouverture de forêt dense d'épicéas au pâturage, la production de fourrage (dans les cloisonnements, c'est-à-dire ramenée à la surface semée) est comparable à une prairie naturelle modérément entretenue dans les mêmes conditions. Sous les pins sylvestres des boisements spontanés du Sud-Est du Massif central sur plateau calcaire, la production d'herbe peut même être améliorée par la présence des arbres à certaines périodes de l'année. Le plus intéressant pour ces systèmes n'est d'ailleurs pas la quantité de fourrage produite en elle-même, mais le moment de l'année où le fourrage est produit. Ainsi, la présence d'un couvert éclairci de pin sylvestre permet aux animaux de pâturer plus tôt au printemps, voire plus longtemps en été, à des époques où les prairies ouvertes n'ont qu'une production médiocre. Ces parcelles boisées facilitent donc la gestion du système fourrager.

La conduite de ces surfaces boisées pâturées peut encore s'améliorer par le choix des densités de plantation et d'éclaircie. Pour cela, des relations simples reliant l'éclaircissement au sol avec les caractéristiques dendrométriques des peuplements (*figure 2*) sont en cours d'élaboration pour diverses espèces. Elles permettront au gestionnaire de fixer le nombre

## Utilisation sylvopastorale des boisements spontanés de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*)

En Lozère (Sud-Est du Massif central, France, pluviométrie annuelle moyenne : 900 mm), les boisements spontanés de pin sylvestre des terres agricoles et parcours représentent 100 000 hectares, soit environ 45 % de la superficie forestière [17]. Ces bois sont souvent détenus par des agriculteurs. Peu utilisés pour le pâturage, ils s'embroussaillent, créant un risque d'incendie. L'ensemencement naturel en herbe de qualité y est irrégulier, étroitement dépendant de la pénétration de la lumière et de passages répétés des troupeaux dans le sous-bois [43], réduisant significativement l'accumulation de litière par l'effet du piétinement [44].

En l'état, ces peuplements produisent une qualité médiocre de bois [35]. Les organismes de développement ont donc décidé, en 1993, de les mettre en valeur par une pratique sylvopastorale raisonnée. Cinquante-six exploitations agricoles ont accepté de mener des travaux de mise en valeur sylvopastorale. Il s'agissait de réaliser des éclaircies sélectives fortes (*i.e.*, passer parfois de plus de 3 000 à environ 600 voire 800 tiges.ha<sup>-1</sup>) ne gardant que les meilleurs sujets, d'élaguer les arbres restants jusqu'à 2,5 m pour produire une petite bille de pied sans nœud, de ranger ou broyer les rémanents d'exploitation du bois, de poser des clôtures et, parfois, de réaliser un semis d'espèces fourragères. Les parcelles sont ensuite ouvertes au pâturage (*photo 1*). En 1997, après 1 à 3 années de retour au pâturage, l'efficacité de ces opérations a été évaluée par mesure de la croissance des arbres et de la production fourragère [35]. L'âge des peuplements de pins aménagés et leurs caractéristiques dendrométriques sont très variables (*tableau 1*). Leur indice de fertilité et leur croissance sont faibles. La qualité des bois est médiocre, quelle que soit la densité des arbres. Seule une utilisation pour le bois de charpente au mieux, coffrage ou palette le plus souvent, est envisageable. Dans le meilleur des cas, la valeur du capital sur pied est de l'ordre de 2 000 euro.ha<sup>-1</sup> pour les plus fortes densités, mais alors la production d'herbe est réduite.



**Photo 1.** Boisement spontané de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) en Lozère (France) ouvert au pâturage après éclaircie.

**Photo 1.** Natural Scots pine stand (*Pinus sylvestris*) in Lozère (France), thinned and grazed by cattle.

**Tableau 1**

### Caractéristiques dendrométriques des peuplements de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) de 56 exploitations agricoles de Lozère (France) ayant fait l'objet d'aménagements sylvopastoraux

	Âge (année)	Densité (tige.ha <sup>-1</sup> )	Diamètre (cm)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
Valeur minimum enregistrée	23	165	11	7	4	12
Valeur maximum enregistrée	97	1 550	35	22	57	429
Moyenne	48	639	21	13	21	139

**Dendrometric characteristics of Scots pine stands (*Pinus sylvestris*) on 56 farms in Lozère (France) where the silvopastoral system has been introduced**

Sur l'ensemble de la Lozère, les conditions pédo-climatiques sont très contrastées. En pleine lumière, la productivité de l'herbe varie considérablement, de 0,2 à 8 t.ha<sup>-1</sup> de matière sèche (MS), en fonction du pédoclimat et de la fertilisation (*tableau 2*) [45, 46]. De plus, l'éclaircissement transmis au sol sous le couvert des pins varie de 13 à 81 % de l'éclaircissement incident mesuré hors couvert (*figure 2*). Sur les 19 sites de mesures d'herbe de 1997, la comparaison des productions en pleine lumière et sous couvert met en évidence des productions sous couvert souvent supérieures dans les pelouses claires peu productives (Causses), particulièrement en début de printemps et en juillet-août. En pédo-climats plus favo-

**Tableau 2**

**Production annuelle moyenne de matière sèche de la végétation herbacée (t MS.ha<sup>-1</sup>) de 20 sites, en pleine lumière et sous couvert, pour cinq classes de productivité herbacée**

	Classes	Pleine lumière	Sous couvert
Causse	1 – steppe	0,455 (0,095)*	0,517 (0,149)
Causse & Margeride	2 – pelouse claire	1,196 (0,083)	1,153 (0,420)
Margeride	3 – pelouse dense	2,548 (0,042)	0,665 (0,286)
Margeride	4 – pacage	4,649 (0,162)	0,770 (0,218)
Margeride	5 – pré	7,631 (0,499)	1,370 (0,146)

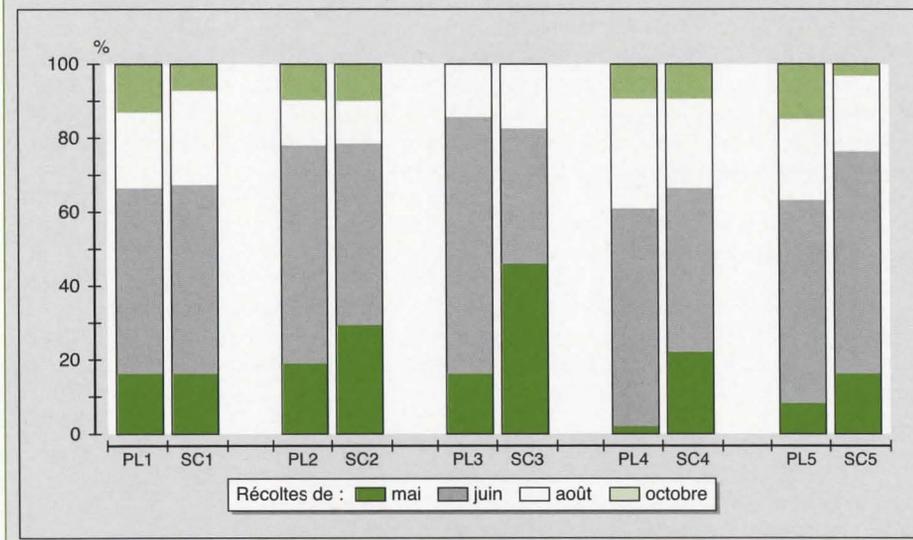
\* écart-type de la moyenne.

**Mean annual sward dry matter production (t DM.ha<sup>-1</sup>) of fully lightened and understory plots of 20 locations distributed in five fertility classes**

rables (Margeride), les productions d’herbe sous couvert sont restées inférieures à celle des témoins. Le rapport  $R_{MS}$  des productions de matière sèche sous couvert et en pleine lumière peut être exprimé par la régression :

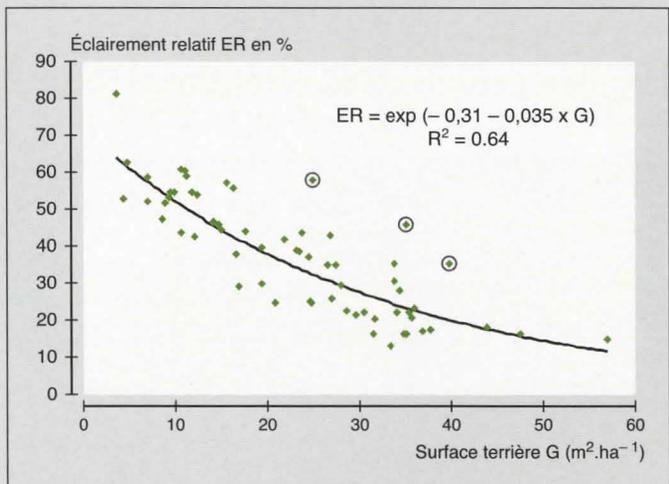
$$R_{MS} = 0,028 ER + 0,061 H - 0,31 (C_n + 1,5) \quad r^2 = 0,729 \quad n = 19 \quad (1)$$

Où : ER = l’éclairement relatif ;  
 H = la hauteur dominante du peuplement de pin ramenée à 50 ans (en m) ;  
 C<sub>n</sub> = la classe de fertilité du témoin herbacée en pleine lumière, correspondant à 5 niveaux de productivité :  
 1) steppe ; 2) pelouse claire ; 3) pelouse dense ; 4) pacage ; 5) pré entretenu.



**Figure 3.** Répartition saisonnière de la production de fourrage (en matière sèche) de quatre coupes (%) en pleine lumière (PL) et sous couvert (SC) pour cinq classes de productivité des témoins : 1) steppe ; 2) pelouse claire ; 3) pelouse dense ; 4) pacage ; 5) pré entretenu (Causse et Margeride, 1997).

**Figure 3.** Seasonal distribution of sward dry matter production in full light (PL) or understory (SC) through four cuts per year and five classes of productivity site (Causse and Margeride, 1997).



**Figure 2.** Relation entre l’éclairement relatif (ER en %) mesuré sous couvert de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et la surface terrière de ces peuplements (G en m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>) de 56 exploitations agricoles de Lozère (France) ayant fait l’objet d’aménagements sylvopastoraux. Les points entourés correspondent à des peuplements âgés dont le houppier est dépérissant. Cela explique qu’à surface terrière égale, l’éclairement au sol soit plus fort pour ces peuplements.

**Figure 2.** Relation between relative lighting (ER, %) measured under Scots pine cover (*Pinus sylvestris*) and basal area of stands (G, m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>) on 56 plots in Lozère (France) where the silvopastoral system has been introduced. The circled points correspond to old stands in which trees have sparse foliage. Hence, for the same basal area, ground irradiance is greater in these stands.

La production herbacée relative sous couvert par rapport à la pleine lumière diminue avec la fertilité herbacée de la station (peu d’effet bénéfique du couvert quand le milieu est fertile et/ou le climat peu contraignant) et augmente avec le niveau de lumière transmise et la hauteur des arbres. Ces deux dernières variables sont indépendantes en début de printemps et en plein été (pas d’effet d’augmentation de la lumière), soulignant l’effet bénéfique probable de protection du couvert arboré vis-à-vis des gelées, du vent et de l’intensité de la sécheresse. Du point de vue de la répartition saisonnière (figure 3), la part relative de la récolte du début de printemps est plus importante sous couvert qu’en pleine lumière. En 1997, la présence des pins a donc permis une meilleure répartition des récoltes entre le début du printemps et la période mai-juin et une productivité plus soutenue en juillet-août.

## L'ouverture au pâturage d'une forêt dense d'épicéas (*Picea abies*)



**Photo 2.** Plantation d'épicéas (*Picea abies*) éclaircie et semée de plantes fourragères dans la chaîne des Monts Dore (Massif central, France) et pâturée par des bovins.

**Photo 2.** Spruce plantation (*Picea abies*) in the Monts Dore mountain chain (Massif central, France), thinned and sowed with forage plants and then grazed by cattle.

Une plantation d'épicéas (13,5 hectares) située à Besse en Chandesse, à 1 250 m d'altitude dans la chaîne des Monts Dore (Massif central Nord), sous un climat humide (pluviométrie annuelle moyenne : 1 250 mm), a fourni les premières références sur la production fourragère après éclaircie des arbres et semis d'espèces fourragères dans ce type de peuplement forestier. En 1991, le peuplement, alors âgé de 28 ans, a subi une très forte éclaircie ramenant la densité de 2 800 tiges.ha<sup>-1</sup> à 720 tiges.ha<sup>-1</sup> environ [36]. Les rémanents de l'exploitation des bois ont été rangés sous les arbres, en bordure des cloisonnements (6 m de large), à l'aide d'un râteau forestier. Ces cloisonnements ont été semés à la volée au printemps 1992 (52 kg par hectare ensemencé) d'un mélange de graminées et de légumineuses (dactyle, féтуque élevée, féтуque rouge, ray grass, trèfle blanc) à l'aide d'un épandeur d'engrais centrifuge porté [36]. À l'automne 1992, l'ensemble des placettes a été ouvert au pâturage d'un troupeau de bovins (*photo 2*).

La croissance des arbres a été suivie par des mesures de hauteur et de diamètre du tronc, la production de fourrage,

par récolte d'échantillons d'herbe, et la lumière arrivant au sol dans les cloisonnements, par des tubes solarimètres TSL [24].

L'éclaircie a stimulé la croissance individuelle des arbres : l'accroissement annuel moyen en circonférence des arbres est ainsi passé de 1,9 cm par an au moment de l'éclaircie à plus de 3,5 cm par la suite (*tableau 3*). L'accroissement annuel de surface terrière du peuplement est passé d'environ 1,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> juste après l'éclaircie, à 2,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> six ans après l'éclaircie. Les arbres ont une très bonne stabilité avec un coefficient d'élanement (rapport entre la hauteur et le diamètre des arbres) compris entre 58 et 60.

La production fourragère a été satisfaisante durant les trois années qui ont suivi le semis (réalisé au printemps 1992), atteignant trois tonnes de matière sèche par hectare de cloisonnement semé et par an (*figure 4*). Cette production se rapproche de celle d'une prairie naturelle peu

entretenu dans ces mêmes conditions pédo-climatiques.

On assiste depuis 1996, soit cinq ans après la première éclaircie, à une diminution de cette production, liée à la fermeture du couvert, et donc, à la diminution du niveau d'éclairement arrivant au sol (*figure 4*). Il semble que la production d'herbe chute assez fortement en dessous de 30 % environ d'éclairement alors qu'au-dessus de cette valeur, la production reste à un niveau suffisant pour le pâturage. De semblables résultats ont été obtenus dans d'autres contextes (sous pin maritime dans le Sud-Ouest de la France [47] ; sous pin noir dans les Alpes du sud [25] ; au Royaume-Uni [8]).

Sur le terrain volcanique relativement riche de la plantation, des essais de fertilisation n'ont eu qu'un effet très léger sur la production fourragère et entraînent un coût du kilogramme de matière sèche supplémentaire élevé (de 137 à 217 euros par hectare de cloisonnement). Elle resterait cependant nécessaire dans des situations moins fertiles et nécessitant le semis dans la phase d'installation.

Tableau 3

Accroissement moyen en circonférence et en surface terrière des arbres d'un peuplement d'épicéas (*Picea abies*) dans la chaîne des Monts Dore (France) après l'éclaircie de 1991 ramenant la densité de 2 800 à 720 tiges.ha<sup>-1</sup> (une mesure tous les deux ans)

	1991-1993	1993-1995	1995-1997
Accroissement en circonférence (cm)	3,8	7,0	6,9
Accroissement en surface terrière (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	2,5	4,4	4,9

Average increase in girth and basal area of trees in a spruce stand (*Picea abies*) in the Chaîne des Monts Dore (France) after thinning in 1991, reducing its density from 2,800 to 720 stems ha<sup>-1</sup> (one measurement every two years)

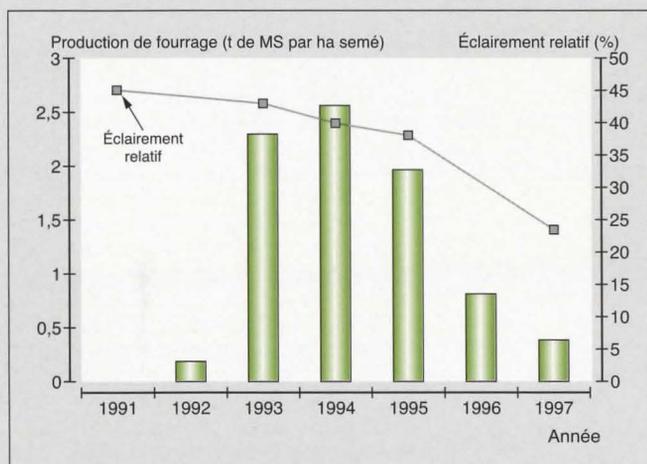


Figure 4. Évolution dans le temps de la production d'herbe (semis au printemps 1992) dans les cloisonnements (en tonnes de matière sèche par hectare de cloisonnement) et de l'éclairage relatif (éclairage au sol/éclairage au-dessus des arbres) mesuré dans ces mêmes cloisonnements d'un peuplement d'épicéas (*Picea abies*) dans la chaîne des Monts Dore (France) après l'éclaircie de 1991 ramenant la densité de 2 800 à 720 tiges.ha<sup>-1</sup>.

Figure 4. Time course of forage production (sowing in spring 1992) in alleys (in tons of dry matter per hectare of alley) and relative lighting (lighting at ground level/lighting on top of tree cover) measured in the same alleys in a spruce stand (*Picea abies*) in the Chaîne des Monts Dore (France) after the thinning of 1991, reducing tree density from 2,800 to 720 stems ha<sup>-1</sup>.

d'arbres à éclaircir pour favoriser soit la production d'herbe (maximum de lumière recherchée) soit la production de bois (maximum de densité d'arbres recherchée), soit une solution intermédiaire, en particulier pour des parcelles de complément fourrager de tout début et milieu de saison.

Les arbres ont une croissance tout à fait satisfaisante, que ce soit dans les boisements artificiels d'épicéas, naturels de pins ou en prairie [38]. La production d'herbe à un niveau utilisable en pâture impose de pratiquer une sylviculture dynamique avec des éclaircies fortes pour parvenir à un niveau d'éclaircie de plus de 35 %. Cette pratique d'éclaircie forte et à un rythme soutenu augmente la croissance individuelle des arbres et

leur stabilité face au vent ; il faut intervenir tôt, avant que les arbres ne soient trop élancés ; cette meilleure stabilité n'est pas à négliger en montagne, où les intempéries et tempêtes peuvent être fortes. Comme le prix de vente des bois de première éclaircie ne compense pas toujours celui de leur exploitation et que seuls les gros bois se vendent bien et à un prix raisonnable, il vaut mieux favoriser la croissance des arbres en éclaircissant tôt et récolter de gros bois le plus rapidement possible. Les sylvicultures intensives augmentent de plus de 0,5 % le Taux Interne de Rentabilité (TIR) et diminuent l'âge du TIR maximum, en particulier pour l'épicéa [40]. De plus, les espaces laissés par les éclaircies fortes sont valorisés par la production d'herbe

dont le revenu s'additionne à celui des arbres.

En Lozère, nous avons observé que la qualité des tiges des boisements spontanés de pins n'est pas toujours satisfaisante. Travailler pour les meilleures tiges et élaguer les arbres dès le plus jeune âge ne peuvent qu'améliorer la qualité du bois produit. Dans le cas des plantations de feuillus précieux en prairie, la qualité du bois est très prometteuse. Si rien ne vient perturber la croissance des arbres d'ici la récolte, on produira, grâce à la taille de formation, des billes de pied de qualité tranchage/déroulage qui rentabiliseront très nettement la plantation (TIR > 3 %).

Malgré ces bons résultats, il y a cependant encore des obstacles au développement des pratiques sylvopastorales. Bien que les mentalités évoluent, les agriculteurs, habitués à une stricte séparation des pratiques agricoles et forestières ne sont pas toujours prêts à s'investir dans un système mixte. Ils ne savent pas, ou disent ne pas savoir, comment le conduire [8].

Quelques difficultés techniques subsistent également. La conduite des arbres, et en particulier leur protection face aux animaux, peut poser quelques problèmes, notamment avec les gros herbivores dans la phase d'installation des arbres [10]. On n'observe d'ailleurs pas systématiquement de dégâts dus aux animaux sur les arbres : ils sont variables d'une exploitation à une autre, d'un système à un autre et parfois d'une année à l'autre, sans que des explications claires soient mises en évidence [41]. La vigilance, associée à de bonnes pratiques de pâturage est de mise : un manque d'herbe peut conduire les animaux à s'attaquer aux arbres ; mais l'inverse est aussi vrai : quand le fourrage est important, les animaux sont vite repus et s'amuse avec les arbres [41]. La surveillance du troupeau par l'agriculteur et des visites régulières des parcelles semblent donc fondamentales. Il est également déconseillé d'apporter du foin sur une parcelle plantée, celui-ci entraînant le surpâturage et un piétinement excessif.

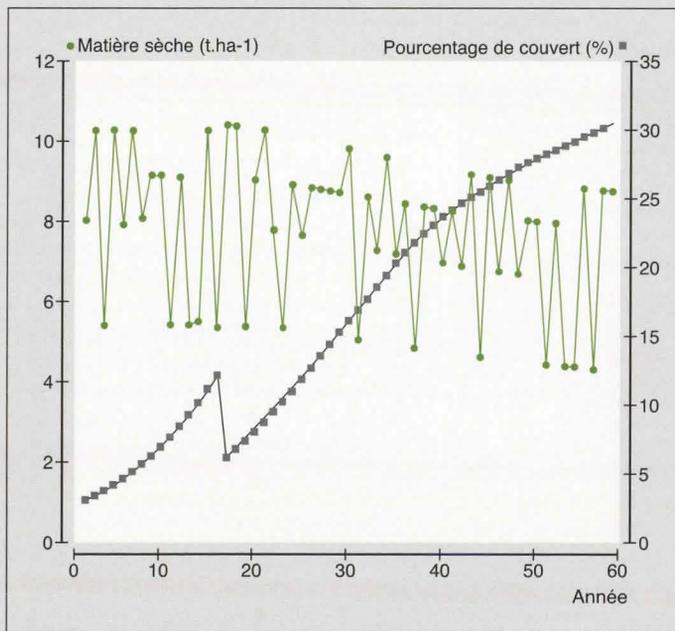
Enfin, jusqu'à maintenant il existait un obstacle législatif et réglementaire au développement du sylvopastoralisme. Les règles techniques imposées par les financeurs publics en Europe (CEE, État, Région) pour l'attribution d'aides agricoles ou forestières ne favorisaient pas l'exercice d'une double activité sylvicole et pastorale sur une même parcelle [42].

## Planter des arbres feuillus précieux en prairie pâturée



**Photo 3.** Plantation de merisiers (*Prunus avium* L.) en prairie pâturée par des ovins (Puy-de-Dôme – France).

**Photo 3.** Wild cherry (*Prunus avium* L.) plantation in pasture grazed by sheep (Puy-de-Dôme – France).



**Figure 5.** Simulation using the model ALWAYS [48] of the yearly grass production decrease according to tree cover increase. Simulation based on a wild cherry plantation of 200 stem.ha<sup>-1</sup>, thinned to 80 stem.ha<sup>-1</sup> after 15 years. To account for climatic variability, four climatic years were used (one good for grass production, two medium and one bad), with a frequency of appearance close to reality.

Actuellement, environ 50 agriculteurs testent ce type de système sylvopastoral dans le Massif central (France). La parcelle (d'environ 3 hectares) d'où sont tirés les résultats suivants est située dans le Nord du Massif central, dans la Chaîne des Puys, à une altitude de 810 m (pluviométrie moyenne annuelle : 835 mm ; température moyenne annuelle : 9,5 °C). Deux clones de merisiers ont été plantés en mars 1989 à 100 ou 200 tiges.ha<sup>-1</sup>, directement sur une prairie permanente pâturée par des ovins (photo 3). Les arbres ont été protégés des moutons dans les premières années par un tube en plastique (de marque Tubex) qui est enlevé lorsque le tronc est suffisamment résistant pour supporter la pression des animaux (soit ici après cinq ans). Les arbres ont été désherbés au glyphosate (4 l.ha<sup>-1</sup>) sur un rayon de 0,6 m autour du tronc pendant les quatre premières années après la plantation pour limiter la concurrence pour l'eau et assurer le bon enracinement des arbres. Ils sont taillés et élagués chaque année afin de former une bille de pied droite et sans nœud de la plus grande longueur possible.

Après 10 ans d'installation et d'observation, le bilan est le suivant : des accroissements annuels moyens de plus de 1 m en hauteur et des accroissements de plus de 1,5 cm par an en diamètre ont été observés ; ces taux de croissance sont élevés pour des climats de moyenne montagne de l'Europe de l'Ouest [38]. Avec de tels accroissements, des arbres de 50 cm de diamètre pourront être récoltés dans 30 ou 40 ans. Nous n'avons pas constaté de diminution de la production d'herbe jusqu'à ce jour (10 ans après la plantation) et la charge animale ainsi que la gestion du troupeau sont restées les mêmes depuis la plantation des arbres. Avec les données mesurées de croissance des arbres et à l'aide de deux modèles (modèle ALWAYS de croissance des arbres en agroforesterie [48] et un modèle de transfert radiatif [49]), nous avons simulé l'évolution du couvert

des arbres, donc de la lumière disponible pour le tapis herbacé et donc sa production. Les résultats de la simulation montrent qu'avec une densité finale de 50 à 80 arbres par hectare, la production d'herbe ne devrait diminuer que très lentement au fil du temps (perte d'environ 2 t de matière sèche en 50 ans – figure 5) pour aboutir à une production faible mais non nulle à la date de récolte des arbres. Par conséquent, le pâturage animal pourra être conservé sur la parcelle jusqu'à la récolte des arbres, en ajustant progressivement le chargement à l'affaiblissement de la strate herbacée. Des résultats similaires ont été obtenus au Royaume-Uni [9, 50].

En ce qui concerne la qualité des arbres produits par la taille de formation et l'élagage, les observations montrent que sur 100 arbres à la plantation, environ 30 pourront fournir une bille de pied de qualité « ébénisterie ». La longueur de la bille de pied sera en moyenne de 4 m, avec une courbure de moins de 2,7 cm et une décroissance métrique de moins de 1,2 cm.m<sup>-1</sup>. La récolte de 30 arbres avec ces caractéristiques et un diamètre de 50 cm produira environ 23 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de bois de qualité ébénisterie. Avec un prix de vente espéré de 458 euros.m<sup>-3</sup> environ, le revenu des arbres pourrait être de 10 534 euros.ha<sup>-1</sup>. Le coût de plantation des arbres en prairie (travail + matériel de protection des arbres) a été d'environ 1 655 euros.ha<sup>-1</sup>. Leur taille, désherbage, entretien a été d'environ 450 euros.ha<sup>-1</sup>. Si ces arbres sont récoltés au bout de 50 ans, avec les caractéristiques données ci-dessus, les calculs donnent un taux interne de rentabilité de plus de 3 %, ce qui est assez satisfaisant pour une plantation forestière. Le pâturage animal donne un revenu annuel net additionnel de 150 à 450 euros.ha<sup>-1</sup>, diminuant d'environ 25 % vers la fin de la rotation par suite de la réduction de la production d'herbe avec l'augmentation du couvert des arbres (figure 5).

Cependant, l'aspect financier n'est pas le seul bénéfique escompté par les agriculteurs utilisant le sylvopastoralisme. Vingt-six agriculteurs ont été interrogés sur cette question en 1994. Tous voient dans ce système une combinaison d'avantages et de productions : à court terme (pâturage animal) et à long terme (bois), protection de l'environnement, biodiversité, qualité du paysage et du cadre de vie, capital pour la retraite, patrimoine à transmettre, etc. [10].

La spécialisation restait la meilleure alternative pour obtenir un soutien financier. Aujourd'hui, suite à de nouveaux enjeux, notamment environnementaux, ces règles sont en cours de modification : cela devrait permettre une reconnaissance et un soutien financier pour la mise en œuvre de ces associations sylvopastorales, qui présentent des avantages environnementaux et financiers non négligeables ■

## Références

- Nair P. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993 ; 499 p.
- Etienne M. Research on temperate and tropical silvopastoral systems: a review. In : Etienne M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France : Inra, 1996 : 5-19.
- Larrere R, Nougarede O. La forêt dans l'histoire des systèmes agraires : de la dissociation à la réinsertion. *Cahiers d'économie et sociologie rurales* 1990 ; 15-16 : 12-38.
- Guitton JL, De Montard FX. Testing of new agroforestry models in France. In : Wen Yue Hsiung, Chandler P, eds. *Agroforestry, research and practice*. Beijing, China: China forestry Publishing house, 1996 : 145-53.
- Mary F, Dupraz C, Delannoy E, Liagre F. Incorporating agroforestry practices in the management of walnut plantations in Dauphiné, France: an analysis of farmers' motivations. *Agroforestry systems* 1999 ; 43 : 243-6.
- Gomez-Gutierrez JM, Perez-Fernandez M. The "dehesas": silvopastoral systems in semiarid mediterranean regions with poor soils, seasonal climate and extensive utilisation. In : Etienne M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France: Inra, 1996 : 55-70.
- Dupraz C, Newman SM. Temperate agroforestry: the European way. In : Gordon AM, Newman SM, eds. *Temperate agroforestry systems*. London, UK, 1997 : 181-236.
- Sibbald AR. Silvopastoral systems on temperate pastures: a personal perspective. In : Etienne M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France : Inra, 1996 : 23-36.
- Sibbald AR. Silvopastoral agroforestry: soil-plant-animal interactions in the establishment phase. In : Papanastasis VP, et al., eds. *Grasslands and woody plants in Europe*. Thessaloniki Greece: HERPAS (Hellenic Range and Pasture Society) 1999 : 133-44.
- Balandier P, Rapey H, Guitton JL. Improvement and sustainable development of moderate altitude areas through agroforestry: tree-grass-animal association. In : *Xlth world forestry congress*. Antalya, Turquie, 1997 ; 1, 2, 6 p.
- Rapey H, Lifran R, Valadier A. Identifying social, economic and technical determinants of silvopastoral practices in temperate uplands: results of a survey in the Massif Central region of France. *Agricultural Systems* 2001 ; 69 : 119-35.
- Tirel JC. Introduction. In : *L'Inra et la montagne*. Versailles, France : Inra, 1981 : 7-11.
- Jarrige R, Lienard G, Beranger C, Flamant JC. L'élevage en montagne. In : *L'Inra et la montagne*. Versailles, France : Inra, 1981 : 43-56.
- Papanastasis VP. Grassland and woody plants in Europe with special reference to Greece. In : Papanastasis VP, et al., eds. *Grasslands and woody plants in Europe*. Thessaloniki, Greece: HERPAS (Hellenic Range and Pasture Society), 1999 : 15-26.
- Prévosto B, Curt T, Gueugnot J, Coquillard P. Colonization by scots pine (*Pinus sylvestris* L.) after field abandonment at mountain level on volcanic soils. In : Papanastasis VP, et al., eds. *Grasslands and woody plants in Europe*. Thessaloniki, Greece: HERPAS (Hellenic Range and Pasture Society) 1999 : 105-12.
- Bouvarel P, Larrere G. Les forêts de montagne. In : *L'Inra et la montagne*. Versailles, France : Inra, 1981 : 59-65.
- Lifran R, Rapey H, Valadier A. Nouveau regard sur la tradition sylvopastorale en Lozère. *Agreste – les cahiers* 1997 ; 21 : 17-22.
- Guitton JL. L'agroforesterie ? *Revue Forestière Française* 1994 ; 46 : 11-6.
- Guitton JL, Dupraz C, Auclair D, De Montard FX. Quel projet agroforestier pour l'Europe tempérée ? *Revue Forestière Française* 1994 ; 46 : 179-88.
- Newman SM. Temperate silvoarable systems: a review of 25 years of agronomic and ecological research in the U.K., with emphasis on species and concepts relevant to South Asia. In : Wen Yue Hsiung, Chandler P, eds. *Agroforestry, research and practice*. Beijing, China: China forestry Publishing house, 1996 : 55-63.
- Dupraz C. Adequate design of control treatments in long term agroforestry experiments with multiple objectives. *Agroforestry systems* 1999 ; 43 : 35-48.
- Dupraz C, Lagacherie M, Liagre F, Cabannes B. *Des systèmes agroforestiers pour le Languedoc-Roussillon. Impact sur les exploitations agricoles et aspects environnementaux*. Montpellier, France : Inra, 1996 ; 418 p.
- Bird PR. Tree windbreaks and shelter benefits to pasture in temperate grazing systems. *Agroforestry Systems* 1998 ; 41 : 35-54.
- Guitton JL, Ruchaud F. Conséquences écologiques de l'éclaircie des peuplements de résineux. *Informations-Forêt* 1996 ; 1 : 1-6.
- Msika B. *Modélisation des relations herbe-arbre sous peuplement de Quercus pubescens et Pinus austriaca dans les Préalpes du Sud : un outil d'aide à la décision en aménagement sylvopastoral*. Thèse de doctorat, Marseille, France : Université de Marseille, 1993 ; 111 p.
- Qarro M, De Montard FX. Étude de la productivité des parcours de la zone d'Ain-Leuh (Moyen Atlas, plateau central) 2. Modélisation de la production d'herbe : interactions climat-

## Summary

### Agroforestry in Western Europe: an overview of the silvopastoral practices and experiments in uplands of the temperate area

P. Balandier, H. Rapey, F. Ruchaud, F.-X. de Montard

The silvopastoral system, i.e., the deliberate association of trees with livestock, in the same place or on the same farm, is a very ancient practice in Europe, and sometimes still in use. Such practice has resumed recently in keeping with changes in European common agricultural policies and regulations, and trends in rural and urban attitudes. This is particularly evident in upland areas, which are difficult to farm and uneconomic for intensive agricultural production. From the outset, various benefits were expected from the resumption or introduction of the silvopastoral system: diversification of production (livestock farming provides the farmer with a steady income, while timber is an additional long-term gain), protection of rural infrastructure (upkeep), environmental protection, improvement of animal production (trees provide shelter from foul weather), more flexible scheduling of pasture use (tree protection helps earlier spring growth and (or) later autumn growth of grass compared with a fully exposed plot), improved tree growth by heavy thinning, etc. Not all these results are always systematically achieved. They depend on the setting, the climate, woodland and livestock management, and the farmer's individual practice. Certain systems, supported by more or less long-standing tradition, have already been thoroughly tried and tested and adapted to current conditions. Others are more tentative. Some new experimental arrangements have been tried in the Massif central in France, such as combining heavy thinning in dense stands of Norway spruce (*Picea abies*) or Scots pine (*Pinus sylvestris*) with sowing of forage plants and fertilisation and the introduction of fast-growing species into pasture and growing high-value timber species (*Prunus avium*, *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Juglans* sp., etc.).

The three experimental examples given in the article show the technical feasibility of different forms of upland silvopastoralism. Grass can be grown in woodlands with a production comparable to a poorly maintained natural meadow under the same conditions of soil and in full light (Figure 4). The production of forage can even exceed that of neighbouring grassland at certain times of the year (Table 2 and Figure 3). Moreover, the advantages of these systems lie not in the actual quantity of forage produced, but in the time of year it is available: abundant forage production under the protection of trees early and late in the year, or for particular dry plots at a time when the production is very reduced in open grassland. Simple equations relating ground irradiance to dendrometric parameters of stands (Figure 2) are being set up for various species. They enable managers to set the degree of thinning required to help forage production (maximum light) or timber production (maximum tree density) or any mix thereof. The trees, helped by heavy thinnings, display a highly satisfactory rate of growth, whether in spruce plantations, natural pinewoods, or on grassland. Only heavy timber sells easily and profitably. Hence, it is preferable to encourage tree growth and harvest heavy timber as soon as possible. Shorter growth time also reduces the risk of losing the wood to disease or weather damage. Favouring the best stems and pruning the trees early can also improve timber quality. For high-value broad-leaved species on grassland the timber quality is highly promising. If nothing disturbs the tree growth until felling, the boles will be of veneer peeling quality (see results section), thus bringing a substantial profit (return on investment > 3%) especially since modelling shows that the production of grass is maintained for a long time, along with its annual income.

However, despite these encouraging results, there are still some obstacles to the development of silvopastoral practice. Although attitudes are changing, farmers are used to a strict separation of agricultural and forestry activities, and are not always keen to invest in a mixed system. Some technical difficulties also remain to be overcome, particularly protection from animals, especially with large herbivores with trees at the sapling stage. Careful herd and flock management is a prerequisite. Last but not least, there used to be a legal and regulatory obstacle. The technical rules imposed by public funding bodies in Europe (EEC, State, Regional) for the granting of agricultural or forestry aids did not allow for a dual silvicultural and pastoral activity. Today, new issues, notably environmental, are at stake, and the rules are being modified: this would allow silvopastoral systems to be recognized and help them gain the financial support required for their development.

Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 103-13.

sol-recouvrement arboré. *Agronomie* 1992 ; 12 : 489-501.

27. De Montard FX, Rapey H, Delpy R, Massey P. Competition for light, water and nitrogen in an association of hazel (*Corylus avellana* L.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Agroforestry systems* 1999 ; 43, 1-3 : 135-50.

28. Browaldh M. Change in soil mineral nitrogen and respiration following tree harvesting from an agrisilvicultural system in Sweden. *Agroforestry Systems* 1997 ; 35 : 131-8.

29. McAdam JH, Hoppe GM, Toal L, Whiteside T. The use of wide-spaced trees to enhance faunal

diversity in managed grasslands. In : Papanastasis VP, et al., eds. *Grasslands and woody plants in Europe*. Thessaloniki, Greece : HERPAS (Hellenic Range and Pasture Society), 1999 : 293-6.

30. Gillet F, Gallandat JD. Wooded pastures of the Jura mountains. In : Etienne M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France : Inra, 1996 : 37-53.

31. Etienne M, Rapey H. *L'agroforesterie en France*. Paris, France : Inra Cemagref, 1999 ; CD-ROM.

32. Baron D, Gauthier B, Legéard JP. Silvopastoral management in larch forests. In : Etienne

M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France : Inra, 1996 : 221-6.

33. Pascouau M. Vers la réconciliation de la forêt et du pastoralisme en Pays Basque. Bayonne, France : ONF, 1994 ; 11 p.

34. Marsteau C, Bresson J, Bouchaud J, Agrech G. Dynamique des pineraies de pin sylvestre des parcours des Causses. Clermont-Ferrand, France : Cemagref, 1999 ; 51 p.

35. Paumier C. Première approche d'un bilan technique et économique des aménagements silvopastoraux en Lozère. Clermont-Ferrand, France : Cemagref/Enita, 1997 ; 36 p.

36. Rapey H, De Montard FX, Guitton JL. Ouverture de plantation résineuse au pâturage : implantation et production d'herbe dans le sous-bois après éclaircie. *Revue Forestière Française* 1994 ; 46 : 61-71.
37. Dupraz C, Guitton JL, Rapey H, Bergez JE, De Montard FX. Broad-leaved tree plantations on pastures: the treeshelter issue. In : *Proceedings of the 4th international symposium on windbreaks and agroforestry*. Viborg, Denmark, 1993 : 106-11.
38. Balandier P, Dupraz C. Growth of widely-spaced trees. A case study from young agroforestry plantations in France. *Agroforestry systems* 1999 ; 43 : 151-67.
39. Sharrow SH, Carlson DH, Emmingham WH, Lavender D. Productivity of two Douglas fir/sub-clover/sheep agroforests compared to pasture and forest monocultures. *Agroforestry systems* 1996 ; 34 : 305-13.
40. Riou-Nivert P, Tourret V. Les calculs économiques en forêt. *Forêt-entreprise* 1989 ; 61 : 11-56.
41. Bird PR, Kellas JD, Kearney GA, Cumming KN. Animal production under a series of Pinus radiata-pasture agroforestry systems in South-West Victoria, Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 1995 ; 46 : 1299-310.
42. Dupraz C, Boyrie JC. *Rapport du groupe de travail sur l'agroforesterie : recherche d'un statut pour les parcelles agroforestières*. Montpellier, France : Inra-Lepse, Serfob Languedoc-Roussillon, 1998 ; 10 p.
43. De Montard FX. Les landes de callune : valeur pastorale. In : *La Margeride, la montagne, les hommes*. Versailles, France : Inra, 1983 : 475-500.
44. Rigolot E, Etienne M. Litter thickness on tree covered fuel-break maintained by grazing. In : Etienne M, ed. *Western European silvopastoral systems*. Versailles, France : Inra, 1996 : 111-24.
45. Langlet A, Flamant JC, Molénat G, Osty PL. Les parcours des Grands-Causse : contraintes et possibilités techniques de mise en valeur par l'élevage ovin. In : *Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens*. Versailles, France : Inra, 1979 : 257-334.
46. De Montard FX. Productivité herbagère des prés et des pacages. In : *La Margeride, la montagne, les hommes*. Versailles, France : Inra, 1983 : 457-73.
47. Lemoine B, Bonhomme D, Chinzi D, et al. Élevage en forêt dans les Landes de Gascogne. I. – Le système végétal. *Annales des Sciences Forestières* 1983 ; 40 : 3-40.
48. Bergez JE, Etienne M, Balandier P. ALWAYS: a plot-based silvopastoral system model. *Ecological Modelling* 1999 ; 115 : 1-17.
49. Méloni S. A simplified description of the three-dimensional structure of agroforestry trees for use with a radiative transfer model. *Agroforestry systems* 1999 ; 43 : 121-34.
50. Bergez JE, Dalziel AJI, Duller C, Eason WR, Hoppe G, Lavender RH. Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis. *Agroforestry systems* 1997 ; 37 : 227-40.

---

## Résumé

Durant ces dernières décennies en Europe de l'Ouest, l'intensification des productions agricoles a conduit progressivement à l'abandon des surfaces les moins productives et défavorisées telles que les zones de montagne. Elles s'embroussaillent alors rapidement, puis sont colonisées par des boisements spontanés denses, souvent impénétrables et généralement de mauvaise qualité. Les pratiques sylvopastorales (association d'une production d'herbe exploitée par pâturage et d'une production de bois) peuvent aider à contrôler cet embroussaillage et maintenir ou créer un paysage varié. La production d'herbe contribue à la production animale et fournit ainsi à l'agriculteur un revenu annuel régulier alors que la production de bois constitue un capital exploitable à long terme. Cette étude présente un panorama des principales pratiques sylvopastorales rencontrées en moyenne montagne tempérée de l'Europe de l'Ouest et donne les résultats techniques et économiques de trois systèmes sylvopastoraux plus expérimentaux. Tous montrent des avantages en termes de croissance des arbres, de production d'herbe et de gestion du bétail. Des contraintes sont également identifiées et discutées.

---