

général faux, même s'il y a des exceptions. Ce qui est vrai en revanche, c'est que la parcelle agroforestière produit beaucoup plus de biomasse que la même parcelle agricole. Plus encore, elle produit plus de biomasse que la même parcelle où on aurait séparé les arbres et les cultures. C'est ce gain de production que l'on mesure par le coefficient de rendement équivalent, ou LER (pour *land equivalent ratio*).

Pour mesurer un tel LER agroforestier, il faut s'armer de patience ! Mesurer la croissance des arbres et la production des cultures dans une parcelle agricole, une parcelle agroforestière et une parcelle forestière (situées dans les mêmes conditions pédoclimatiques), et cela de la plantation des arbres jusqu'à leur pleine maturité peut durer un siècle ! Nous avons tout de même pu mesurer une valeur de LER égale à 1,3 sur des parcelles de peupliers et de céréales, où les arbres ont été coupés à l'âge de 13 ans.

Heureusement, nous disposons d'une autre option : les expériences virtuelles sur ordinateur, avec des modèles simulant la croissance des arbres et des cultures en interaction. Encore faut-il avoir confiance dans les modèles utilisés. Or les modèles de culture classiques n'ont pas été conçus ou paramétrés pour représenter le comportement de cultures partiellement ombragées par des arbres. Une double approche s'impose donc, expérimentale d'une part, pour valider les modèles, et numérique d'autre part, pour obtenir des prédictions, avec toutes les incertitudes inhérentes, comme chaque fois qu'on extrapole un modèle aux limites de son domaine de validité.

Avec ces simulations, nous avons pu mettre en évidence des LER record en agroforesterie : jusqu'à 1,6 pour des associations de noyers et de céréales d'hiver. En d'autres termes, une exploitation agricole de 100 hectares en agroforesterie produira autant de bois et de produits agricoles qu'une exploitation de 160 hectares avec des parcelles forestières et agricoles séparées.

Aucune autre innovation classique ne permet un tel bon de productivité en biomasse récoltée.

Ce gain important est le fruit d'une intensification, obtenue sans intrants supplémentaires, essentiellement en jouant sur les complémentarités et les synergies entre les arbres et les cultures. Cependant, la complémentarité des besoins des arbres et des cultures n'explique pas à elle seule l'exceptionnelle productivité des systèmes agroforestiers.

FACILITER OU LUTTER

La compétition interspécifique intervient également, en déclenchant des mécanismes d'adaptation, que l'on regroupe sous le concept de plasticité. Un bon exemple est l'adaptation des systèmes racinaires. Les céréales d'hiver assèchent fortement le sol de surface au printemps, obligeant l'arbre à développer un système racinaire plus profond (voir les graphiques page suivante), l'aidant à mieux résister à la sécheresse l'été, et donc, au final, de pousser plus vite, grâce aux cultures. Cela revient à augmenter la quantité d'eau accessible aux plantes, donc à augmenter la ressource. C'est une facilitation.

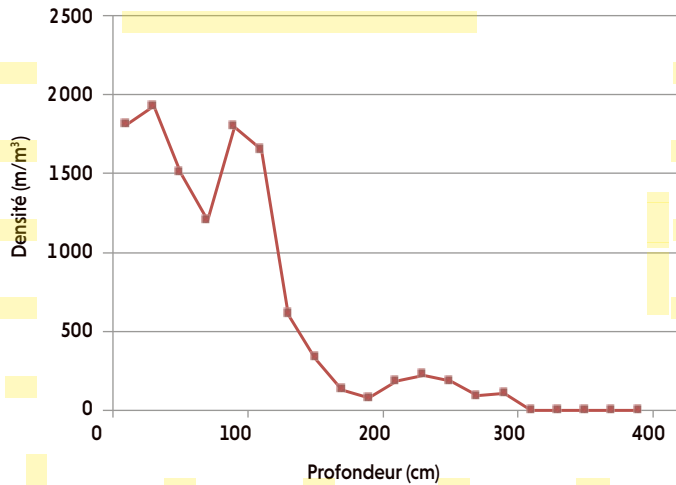
De nombreux mécanismes bénéfiques ont été mis en évidence dans les systèmes agroforestiers. Par exemple, en favorisant une meilleure infiltration des pluies intenses (grâce aux lignes d'arbres qui bloquent le ruissellement) et l'aération du sol par les racines mortes, les arbres agroforestiers contribuent à augmenter l'eau stockée dans les sols, qui sera disponible ensuite pour les cultures. Les arbres ont aussi un effet positif sur les nutriments *via* >

**AU NOM DE
L'AUGMENTATION
DE LA PRODUCTION
AGRICOLE, L'ARBRE
EST DEvenu
UNE RELIQUE**

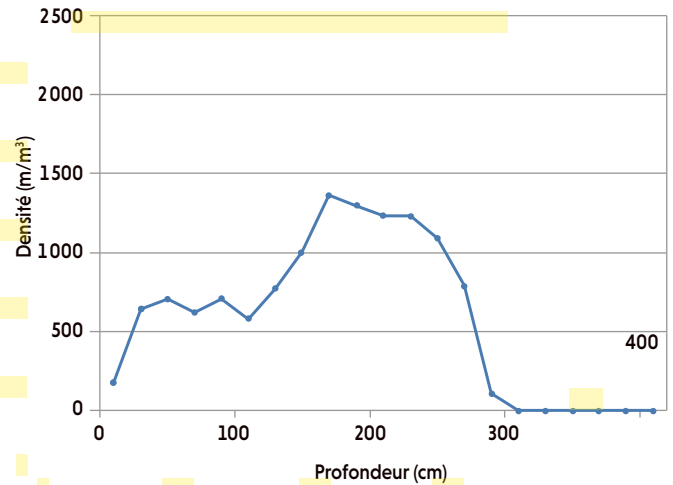
Position des arbres	Famille de systèmes agroforestiers	Classification juridique des sols		
		Forestier	Agricole	Urbanisé
À l'intérieur des parcelles	Sylvopastoral	Pâturage en forêt	Pâtures arborées, vergers pâturés	–
	Sylvoarable	Culture en forêt	Culture en allée, vergers avec culture intercalaire	
Sur les limites des parcelles	Bocages	Forêts linéaires	Haies, brise-vent, bosquets, ripisylves	
Arbres urbains			–	Jardins familiaux arborés, permaculture

La diversité des systèmes agroforestiers concerne la plupart des systèmes de production agricole.

ENRACINEMENT DES ARBRES FORESTIERS



ENRACINEMENT DES ARBRES EN AGROFORESTERIE



➤ le recyclage de fertilisants par les litières de feuilles, la stimulation des populations de vers de terre qui aèrent le sol et favorisent la nutrition des cultures, la réduction des pertes d'azote dans des sols plus frais grâce à l'ombre des arbres...

Dans tous les cas, il s'agit d'une forme d'intensification écologique qui permet de mieux valoriser les ressources naturelles, et de mieux tirer profit du cycle des éléments nutritifs. Un des grands atouts des arbres est en effet de pouvoir récupérer dans les profondeurs du sol les nutriments entraînés par l'eau de drainage et qui ont échappé aux racines des cultures : c'est autant de pollution en moins des nappes et des rivières, et une fertilisation indirecte des cultures suivantes, à travers les litières de feuilles et de racines.

Mais la compétition pour la lumière, pour l'eau, pour l'azote... reste un processus majeur dans les systèmes agroforestiers. Elle est hétérogène dans une parcelle agroforestière où les cultures les plus proches des arbres sont les plus impactées, aussi bien pour la lumière que pour l'eau du sol. Cela se traduit par exemple par une surface foliaire plus faible sous les arbres en début de saison, et plus forte en fin de saison (voir la figure 78). En conséquence, avec des céréales, le remplissage du grain dure plus longtemps en agroforesterie, ce qui compense en partie la plus faible photosynthèse de la culture à l'ombre.

Le bilan entre compétition et facilitation arbitre l'efficacité finale. D'une année à l'autre, les conditions climatiques ou les pratiques de l'agriculteur varient tandis que les arbres gagnent en vigueur et en volume. Tout évolue très vite. La facilitation l'emporte certaines années, la compétition d'autres. Un système agroforestier réagira différemment une année sèche et une année humide. S'il est efficace en

Les arbres en agroforesterie (à droite) ont un enracinement plus profond (la densité de racines est maximale entre 2 et 3 mètres de profondeur) que les arbres forestiers (à gauche) chez qui la densité de racines est concentrée dans le premier mètre de profondeur. La compétition des cultures explique cette déformation plastique.

année sèche, sa performance globale dépendra de la fréquence de telles années. La gestion des parcelles doit tenir compte de cette dynamique, et le succès des systèmes agroforestiers ne peut être prédit qu'en tenant compte de ces variables.

DES ARBRES CLIMATISEURS ?

À côté des gains possibles en productivité, l'impact des arbres sur le climat est le plus évoqué aujourd'hui. De fait, avec le réchauffement, cultures et animaux d'élevage sont soumis à des stress thermiques ou hydriques toujours plus intenses. Dans les espaces sans arbres, canicules et sécheresses font des ravages. Des arbres pourraient-ils aider les cultures à mieux supporter ces accidents climatiques de plus en plus fréquents ? Pour répondre, les expérimentations sont difficiles, c'est pourquoi l'on se tourne à nouveau vers des simulations numériques. Que disent-elles ? Que le sujet est beaucoup plus complexe que nous l'imaginions *a priori*.

Un exemple. Les prédictions du Giec sont solides sur l'augmentation des températures, mais plus incertaines quant à l'évolution des précipitations. Nous nous sommes rendu compte que si ces scénarios prédisent souvent une baisse des précipitations, celle-ci s'accompagne toujours d'une diminution de la nébulosité. Il pleut moins, même si les pluies sont plutôt plus intenses. La conséquence totalement inattendue est que le rayonnement disponible pour les plantes augmente ! Et ça, c'est positif.

Autre exemple : un des effets les plus recherchés est la diminution des stress thermiques sur les cultures, grâce à l'ombre. À ce jour, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de façon expérimentale cette protection, mais les modèles numériques suggèrent qu'elle pourrait devenir essentielle à mesure que les

températures augmenteront, avec la poursuite du changement climatique.

Toutefois, pour les cultures, la protection des arbres a un coût : la réduction de la photosynthèse, et donc du potentiel de production. C'est vrai pour les grandes cultures comme pour les prairies. On cite parfois des cultures qui réussissent mieux à l'ombre, comme les haricots ou le gingembre, mais cela reste des exceptions. Peut-être des marges de progrès sur l'efficacité de conversion de la lumière sont-elles possibles en recherchant des plantes adaptées aux sous-bois, mais nous en sommes loin : toutes les espèces et variétés cultivées ont été sélectionnées en plein soleil.

Pour les animaux, la présence d'arbres est très bénéfique. Les vaches laitières ou les poulets fermiers souffrent moins de la chaleur quand leurs pâturages sont arborés, et produisent mieux. Une précaution s'impose néanmoins. Un seul arbre dans un pâturage attirera tout le troupeau, le sol sous l'arbre sera piétiné, les déjections s'y accumuleront, la promiscuité favorisera la transmission de maladies comme les mammites chez les vaches laitières, et la prairie sera détruite. Les arbres doivent donc être nombreux et habilement répartis pour que les animaux exploitent l'ensemble de la parcelle.

Utile en aval, les arbres agroforestiers peuvent-ils aussi, en amont, contribuer à sauver notre climat en fixant du carbone ? De fait, planter des arbres est une option à la mode pour fixer du carbone, climatiser la planète ou protéger la biodiversité. En outre, les crédits carbone correspondant sont convoités

par de nombreuses entreprises et collectivités qui souhaitent améliorer leur bilan carbone. Mais ce n'est pas si simple. D'abord, les terres disponibles pour le reboisement restent rares et souvent de fertilité faible, car les meilleures terres sont dédiées à la production de notre alimentation.

Ensuite, les arbres fixent certes beaucoup de carbone, mais leur albédo est faible : ils absorbent beaucoup de rayonnement solaire, et en renvoient donc moins dans l'atmosphère que des champs cultivés nus, surtout lorsque les sols ont des couleurs claires. Ce « forçage radiatif » global du système peut annuler l'effet bénéfique de la fixation du carbone. Le bilan de ces deux mécanismes antagonistes est difficile à prévoir. Des études récentes ont même montré qu'avec une Terre entièrement recouverte de forêts le changement climatique serait peu ralenti. D'autant que l'étude de l'impact des arbres sur le climat devrait intégrer leurs émissions de méthane et de composés organiques volatiles, des substances qui influent sur les équilibres thermiques.

Quoi qu'il en soit de ces bémols, l'agroforesterie a de plus en plus le vent en poupe et a été classée comme une des options les plus efficaces pour améliorer le bilan carbone de >

AVEC UNE TERRE ENTIÈREMENT RECOUVERTE DE FORÊTS, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE SERAIT PEU RALENTI



L'agroforesterie prospère sous toutes les latitudes, comme ici près de Banfora, au Burkina Faso, où du maïs pousse sous des balanzans (*Faidherbia albida*) et des rôniers, une sorte de palmier.