

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES

Durée : 2 heures 30 minutes

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, le candidat doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Chaque candidat doit aussi vérifier que le sujet qui lui est donné **correspond à la thématique qu'il a choisie lors de son inscription au concours**. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Ce sujet comporte la présente page de garde et un texte de 6 pages numérotées de 1 à 6.

Thématique productions végétales :

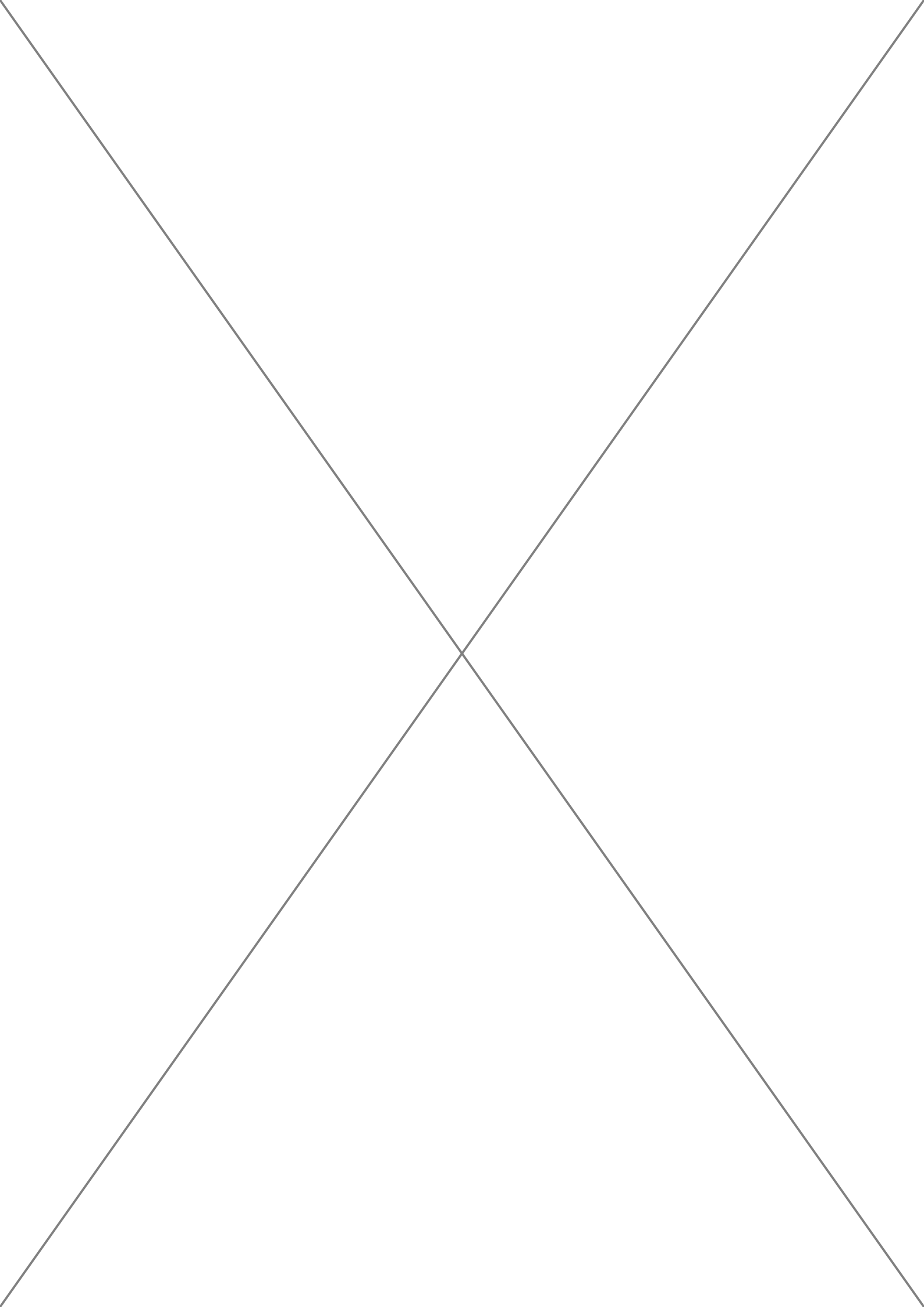
AGROFORESTERIE : UNE INTENSIFICATION ÉCOLOGIQUE DE L'AGRICULTURE ?

Christian Dupraz, INRAe

Article paru dans *Pour la Science* hors série N°111 / mai-juin 2021

L'épreuve est composée de deux parties :

- **1^{ère} partie (sur 10 points) : faites l'analyse et la synthèse des idées fortes du document ;**
- **2^e partie (sur 10 points) : développez une des idées importantes du document en l'illustrant et en valorisant vos connaissances techniques et scientifiques.**



AGROFORESTERIE : UNE INTENSIFICATION ÉCOLOGIQUE DE L'AGRICULTURE ?

Christian Dupraz, INRAe

C'EST le printemps ! Là, dans un champ verdoyant, des vaches paissent tranquillement, à l'abri des rayons du Soleil sous les frondaisons de plusieurs pommiers en fleurs. En guise de clôtures, des haies serrées où virevoltent des myriades d'oiseaux affairés. Ce paysage bucolique à souhait, parfait pour orner une boîte de camembert, semble tout droit sorti d'un imaginaire folklorique fait de traditions, de respect de l'environnement et de pratiques d'un autre âge. Paradoxalement, c'est l'avenir de l'agriculture !



Des vaches sous des pommiers, un exemple d'agroforesterie, une pratique qui associe arbres et cultures ou, ici, pâtures.

Le bocage décrit est en fait un système agroforestier associant arbres et cultures ou pâtures dans les mêmes parcelles. Une très grande variété de telles pratiques existe dans le monde, et elles étaient encore majoritaires dans l'espace agricole au début du XIX^e siècle, y compris en Europe. Les systèmes agroforestiers ont néanmoins progressivement disparu des paysages ruraux, victimes de l'intensification et de la mécanisation. Pire, en Europe, l'agroforesterie était jusqu'à récemment ignorée par toutes les réglementations agricoles, aussi bien nationales que communautaires, ce qui de fait interdisait ces pratiques aux agriculteurs.

Si des travaux récents ont montré que des systèmes agroforestiers

modernes sont très productifs, compatibles avec la mécanisation des cultures tout en s'inscrivant dans une agriculture plus résiliente et plus respectueuse de la biodiversité et des sols, l'agroforesterie souffre encore trop souvent d'une image poussiéreuse, mais les temps changent.

Entre préjugés et inspirations exotiques

Les toutes premières formes d'agricultures étaient purement agroforestières : l'abattis-brûlis, qui consiste à faire une trouée dans la forêt pour cultiver est à l'origine de toutes les agricultures du monde. En France, les essarts, c'est-à-dire le défrichement temporaire à des fins agricoles, ont laissé de nombreuses traces dans la toponymie. Dans ces parcelles, les agriculteurs laissaient toujours certains arbres utiles, très souvent des chênes en Europe, très importants pour nourrir les animaux en hiver avec leurs glands. Peu à peu, la mécanisation et l'intensification ont conduit à éliminer ces arbres dits « hors forêt », malgré leurs fonctions de bornage, d'abris pour les travailleurs ou les animaux d'élevage, de brise-vent, de producteurs de fourrage ou de bois de chauffage. Le point culminant du recul des arbres dans l'espace agricole a été atteint avec les grandes opérations de remembrement synonyme d'agrandissement des parcelles dans la seconde moitié du XX^e siècle. Au nom de l'augmentation de la production agricole, l'arbre est devenu

une relique, en bordure des parcelles, dans les espaces délaissés ou marginaux, et a souvent disparu des espaces cultivés intensivement.

Le mouvement a commencé à s'inverser à la fin des années 1970, avec la création du centre international de recherche en agroforesterie (l'Icraf). Basé à Nairobi, au Kenya, il se consacrait essentiellement aux systèmes agricoles tropicaux, où l'agroforesterie est une pratique encore très répandue, et parfois majoritaire pour certaines productions qui ont besoin d'ombre comme le café et le cacao. Mais en zone tempérée, le sujet est longtemps resté un tabou.

Lorsque nous avons mis en place nos premières parcelles agroforestières expérimentales, dans les années 1980, peu y croyaient : les agriculteurs craignaient que leurs cultures ne produisent pas à l'ombre des arbres, et les forestiers étaient persuadés que les arbres seraient détruits par les travaux agricoles et les produits phytosanitaires.

Et jusqu'en 2007, les agriculteurs qui gardaient des arbres dans leurs champs étaient pénalisés par la Politique agricole commune (PAC) : on retirait l'emprise des arbres des surfaces comptabilisées, ce qui diminuait les aides. Les systèmes traditionnels associant peupliers et maïs ont ainsi complètement disparu, car les producteurs de maïs perdaient alors leurs soutiens financiers européens, indispensables pour compenser les prix bas. L'arbre était donc non seulement indésirable, mais aussi coupable de diminuer rendements et revenus.

Au début des années 2000, des travaux ont toutefois montré la pertinence et la productivité des systèmes agroforestiers. Ils ont en fin de compte convaincu la Commission européenne d'introduire à partir de 2005 l'agroforesterie comme une mesure novatrice dans le règlement de Développement rural européen. En France, ce n'est qu'en 2006 qu'une circulaire du ministère de l'Agriculture a utilisé pour la première fois le mot « agroforesterie ». Ce fut le grand tournant.

Prendre LER du temps

Aujourd'hui, certains passionnés prétendent parfois que les cultures produisent plus sous les arbres qu'en plein soleil. C'est en 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

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.

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.

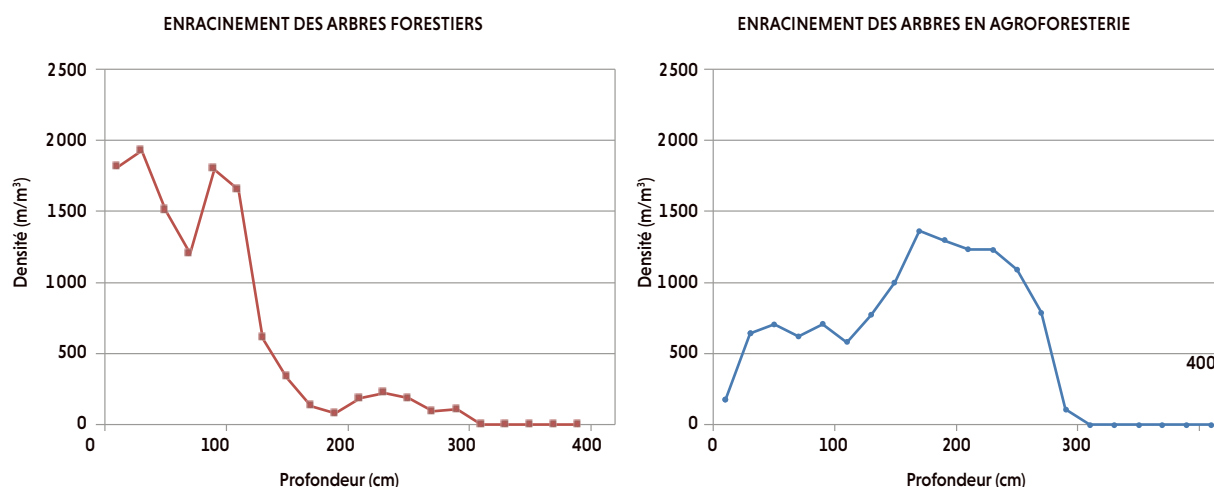
Avec ces simulations, nous avons pu mettre en évidence des LER record en agroforesterie : jusqu'à 1,6 pour des associations de noyers et de céréales d'hiver. En d'autres termes, une exploitation agricole de 100 hectares en agroforesterie produira autant de bois et de produits agricoles qu'une exploitation 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 (*graphiques ci-dessous*), 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.



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.

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 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. 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 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.



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.

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 l'agriculture. Il n'empêche, l'arbre prend son temps et travaille pour l'avenir. Il n'a que faire de nos urgences. Planter un arbre ne prend que quelques minutes, mais lui assurer un avenir prend toute une vie. La fertilité de nos sols est en grande partie héritée des humus forestiers accumulés pendant des milliers d'années dans les forêts qui ont précédé les grands défrichements. Il est sans doute illusoire de penser que des peuplements d'arbres peu denses, à raison d'une centaine par hectare, vont aider à la reconstitution de la matière organique de nos sols agricoles, dégradée par un siècle d'exploitation intensive et de labours oxydants. Des flux puissants de carbone ne retourneront au sol que lorsque les arbres seront devenus grands. Et même là, des siècles d'accumulation patiente de litières, aériennes et souterraines, seront encore nécessaires pour enrichir le sol, améliorer sa fertilité et sa capacité intrinsèque de rétention de l'eau.

Mais d'autres impacts plus rapides sont attendus, et ils sont nombreux ceux qui comptent sur les arbres. En effet, hérissons, écureuils, chauve-souris, vers de terre... profitent de l'agroforesterie. Un arbre, ce n'est pas grand-chose. Et pourtant, dans l'arbre, dans l'herbe à ses pieds qui n'est plus retournée par la charrue, sous son écorce, dans ses racines mortes, au sommet lumineux de son houppier... la biodiversité explose grâce à la variété des habitats offerts, un préalable indispensable à la diversité des espèces. Cette biodiversité peut être ordinaire, exceptionnelle, et parfois utile.

Les chauves-souris ont déserté les grandes parcelles agricoles nues, où elles ne trouvent pas les échos radars indispensables à leurs déplacements. Les arbres des parcelles agroforestières constituent des repères grâce auxquels ces mammifères agrandissent leur territoire de chasse et y consomment moustiques et autres insectes nocturnes, pour le plus grand bénéfice des riverains ou des agriculteurs. En effet les populations de plusieurs parasites très nuisibles des cultures comme le ver de la grappe des raisins sont contrôlées par les chauves-souris. De nombreux projets de nichoirs à chiroptères se développent pour faire revenir ces auxiliaires précieux dans les parcelles agricoles, et, pour cela, des arbres sont indispensables.

J'ai trois tracteurs et 1500 arbres

Adopter des arbres sur son exploitation est un renversement historique, qui contredit le dernier siècle d'intensification fondé sur l'utilisation des énergies fossiles et des produits phytosanitaires de synthèse. Des changements juridiques et réglementaires sont indispensables, d'une part pour que les agriculteurs agroforestiers ne soient pas injustement pénalisés par la présence des arbres, d'autre part pour que les arbres soient considérés, au même titre que les bâtiments d'élevage ou les tracteurs, comme des outils de production. Ce qui impose par exemple des changements de régime fiscal, et des adaptations de la PAC, actuellement en discussion. Le rôle des organismes internationaux de promotion de l'agroforesterie, notamment la Fédération européenne d'agroforesterie (Euraf) ou l'Association internationale de l'agroforesterie (IUAF) sont, à ce titre, essentiels. Le prochain et cinquième congrès mondial de l'agroforesterie est prévu en juillet 2022, au Québec, et devrait confirmer le retour en force de pratiques certes ancestrales, mais très efficaces pour assurer la résilience de notre agriculture. Nos boîtes de camembert rustique ne donnent donc pas une vision rétrograde, mais un aperçu de notre avenir.

FIN DU SUJET