



HAL
open science

Chantier Agroforesterie - Rapport de synthèse

Thierry Caquet, Aude Alaphilippe, Isabelle Bertrand, Marie Charru, Marc Deconchat, Dominique Desclaux, Violaine Deytieux, Chantal Gascuel, Cécile Ginane, Jacques Le Gouis, et al.

► **To cite this version:**

Thierry Caquet, Aude Alaphilippe, Isabelle Bertrand, Marie Charru, Marc Deconchat, et al.. Chantier Agroforesterie - Rapport de synthèse. [0] INRAE. 2020. hal-03224593

HAL Id: hal-03224593

<https://hal.inrae.fr/hal-03224593>

Submitted on 11 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Chantier Agroforesterie

Rapport de synthèse

Octobre 2020

Contributeurs/contributrices

Coordinateur

Thierry CAQUET, DS Environnement

Composition du groupe de travail

Aude ALAPHILIPPE, UE Recherches Intégrées – Gotheron (SPE)

Isabelle BERTRAND, UMR Eco&Sols Montpellier (AgroEcoSystem)

Marie CHARRU, UMR ISPA Bordeaux (Bordeaux Sciences Agro)

Marc DECONCHAT, UMR Dynafor Toulouse (ACT)

Dominique DESCLAUX, UE DIASCOPE (BAP)

Violaine DEYTIEUX, UE Domaine Expérimental d'Epoisses (AgroEcoSystem)

Chantal GASCUEL, DS Environnement

Cécile GINANE, UMRH Clermont (PHASE)

Jacques LE GOUIS, UMR GDEC Clermont (BAP)

Nicolas MARRON, UMR SILVA Nancy (ECODIV)

Delphine MEZIERE, UMR SYSTEM Montpellier (AgroEcoSystem)

Bruno MOULIA, UMR PIAF Clermont (AgroEcoSystem)

Sandra NOVAK, UE Ferlus Lusignan (AgroEcoSystem)

Catherine PICON-COCHARD, UREP Clermont (ECODIV)

Antoine SAVOIE, UE PAO Tours (PHASE)

Alexia STOKES, UMR AMAP Montpellier (ECODIV)

Julie SUBERVIE, CEE-M Montpellier (EcoSocio)

Claudine THENAIL, UMR BAGAP Rennes (ACT)

Valérie VIAUD, UMR SAS Rennes (AgroEcoSystem)

Avec l'appui de Marie RABUT, DS Environnement

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction – Présentation du chantier | 1 |
| 2. Eléments de cadrage | 2 |
| 2.1 Définitions | 2 |
| 2.2 Etat des lieux | 3 |
| 2.2.1 Europe..... | 3 |
| 2.2.2 France | 4 |
| 3. Analyse bibliométrique | 8 |
| 4. L’agroforesterie à INRAE | 9 |
| 4.1 Bref regard en arrière..... | 9 |
| 4.2 Analyse du dispositif INRAE..... | 10 |
| 4.2.1 Unités impliquées | 10 |
| 4.2.2 Dispositifs expérimentaux | 14 |
| 4.2.3 Analyse SWOT..... | 16 |
| 5. Analyse des priorités scientifiques | 18 |
| 5.1 Des recherches « SUR» et « POUR» les systèmes agroforestiers | 18 |
| 5.2 Spécificités des recherches sur les systèmes agroforestiers..... | 19 |
| 5.3 Identification de domaines prioritaires pour les recherches sur les systèmes agroforestiers . | 19 |
| 5.3.1 Approches méthodologiques spécifiques..... | 19 |
| 5.3.2 Processus fonctionnels et leur couplage | 21 |
| 5.3.3 Propriétés émergentes des systèmes agroforestiers | 22 |
| 5.3.4 Processus de gestion..... | 24 |
| 5.3.5 Ressources pour les acteurs – Transition et leviers..... | 26 |
| 6. Analyse des besoins en compétences | 30 |
| 7. Partenariat | 31 |
| 7.1 Partenariat en recherche et recherche-développement | 31 |
| 7.2 Partenariat avec les organismes de formation | 32 |
| 7.3 Autres formes d’interactions..... | 32 |
| 8. Conclusions – Recommandations | 34 |
| Annexe 1 – Processus d’acquisition des ressources et d’interactions entre le sol et les autres composants arbre/culture/linéaire sous-arboré dans les systèmes agroforestiers | 36 |
| Annexe 2 – Gestion productive, gestion multifonctionnelle et gestion durable des systèmes agroforestiers | 40 |
| Annexe 3 – Services écosystémiques rendus par l’agroforesterie à l’échelle du paysage ... | 51 |
| Annexe 4 – Perception et valeurs symboliques de l’agroforesterie des territoires ruraux : quelques pistes de recherche | 57 |
| Annexe 5 – Questions génériques | 61 |
| Annexe 6 – Problématiques des recherches pour et sur les systèmes agroforestiers | 65 |
| Annexe 7 – Le RMT Agroforesteries | 66 |

1. Introduction – Présentation du chantier

Les relations entre arbres et agriculture, souvent conflictuelles jusque dans un passé récent, doivent être aujourd’hui envisagées de manière renouvelée, notamment sur la base d’associations d’une large gamme d’espèces présentant des complémentarités aux échelles de la parcelle et du paysage.

Les pratiques agroforestières ont prouvé leur intérêt notamment dans¹ :

- la réduction du ruissellement et de l’érosion des sols ;
- l’amélioration de la structure des sols, de l’activité microbienne, du taux d’infiltration, de la disponibilité en eau et en nutriments des sols ;
- l’augmentation de la productivité globale des mélanges par rapport aux monocultures en raison d’une complémentarité de niches entre les espèces ;
- la fourniture d’habitats ou de corridors pour les mouvements de nombreuses espèces, notamment les auxiliaires utiles au contrôle biologique des bioagresseurs ;
- la diversification des productions à l’échelle de l’exploitation.

La transition agroécologique fait émerger de nouveaux enjeux pour la recherche et les travaux sur et pour l’agroforesterie y ont toute leur place, sur des thèmes aussi prioritaires que la multifonctionnalité de l’arbre ou des associations agroforestières, y compris en terme de fourniture de services autres que la production, tels que l’atténuation du changement climatique ou l’adaptation à ses effets.

Le récent rapport de la FAO sur l’état de la biodiversité pour l’alimentation et l’agriculture dans le monde² met en évidence un progrès de l’agroforesterie dans de nombreux pays. Selon les estimations faites pour la période 2008-2010, plus de 5 millions de km² de terres agricoles présentent une couverture arborée d’au moins 20 %, soit une augmentation de 1,8 % depuis 2000. L’agroforesterie est fréquemment au cœur des programmes de développement, en appui à l’amélioration des conditions de vie des agriculteurs, au développement d’une agriculture « climato-intelligente », à la conservation de la biodiversité et à la restauration des sols.

De la même manière, le rapport spécial du GIEC sur l’usage des terres³ a identifié l’agroforesterie comme un levier susceptible d’être actionné avec un effet très positif sur l’atténuation, l’adaptation au changement climatique et la sécurité alimentaire, ainsi que dans la lutte contre la désertification ou la dégradation des terres. En particulier, les systèmes agroforestiers peuvent jouer un rôle pour répondre à l’objectif du « 4 pour 1000 ».

A l’issue des Directoriales 2019, plusieurs départements qui avaient mentionné la question des recherches sur les systèmes agroforestiers dans leurs rapports et présentations ont été sollicités par le

¹ Barrios E. *et al.*, 2013. Agroforestry and soil health: Linking trees, soil biota, and ecosystem services. In Wall D.H. *et al.* (eds), *Soil Ecology and Ecosystem Services*, Oxford University Press ; Hillbrand A. *et al.*, 2017. Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/b-i7374e.pdf> ; Nicholls C.I., Altieri M.A., 2018. Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecol. Sustain. Food Syst.*, **42**, 1170–1193. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>.

² FAO, 2019. *The State of the World’s Biodiversity for Food and Agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. FAO, Rome.

³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019. *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Summary for Policymakers, approved draft. IPCC, Geneva, Switzerland, 41 pp. <https://www.ipcc.ch/srcccl-report-download-page/>

collège de direction en vue de participer à une réflexion globale sur la stratégie de l'institut sur ces objets, le DS Environnement étant désigné comme référent pour le collège de direction.

Outre la réalisation d'un état des lieux, l'objectif était d'identifier les priorités pour les recherches sur et pour l'agroforesterie au sein d'INRAE afin qu'elles puissent ensuite être positionnées dans le projet global INRAE 2030 et dans les Schémas Stratégiques des départements concernés.

Un groupe de travail a été constitué sur la base de propositions des chef.fes de départements concerné.e.s après présentation du projet en réunion de chef.fe.s de département le 01/10/2019. Il réunissait 19 expert.e.s INRAE ou membres d'UMR INRAE, issus de 7 départements (ACT, AgroEcoSystem, BAP, ECODIV, EcoSocio, PHASE et SPE) et travaillant dans 18 unités de recherche ou expérimentales. Il a été animé par le DS Environnement et son équipe.

Ce groupe de travail s'est réuni 4 fois en séance plénière (essentiellement en visioconférence en raison de la crise sanitaire) : 13/02, 05/05, 17/07 et 26/08. Un site sharepoint dédié a été mis en place.

Après avoir cartographié le dispositif scientifique et expérimental INRAE mobilisé, le groupe a réalisé une analyse SWOT détaillée. Il a ensuite travaillé à identifier et hiérarchiser les priorités pour la recherche INRAE et les besoins de compétences. Pour cela, des sous-groupes ont été mis en place sur 5 thèmes : Processus d'acquisition des ressources et d'interactions entre le sol et les autres composantes (arbre/culture/linéaire sous-arboré) dans les systèmes agroforestiers ; Productions agricoles ; Services écosystémiques rendus par l'agroforesterie à l'échelle du paysage ; Perception et valeurs symboliques de l'agroforesterie des territoires ruraux ; Questions génériques. Les productions de ces groupes sont présentées dans les Annexes 1 à 5 de ce rapport.

2. Eléments de cadrage

2.1 Définitions

Selon certaines sources, le terme « agroforesterie » aurait été formulé pour la première fois en 1971 par Hulse, alors qu'il menait des études sur la foresterie sociale en Afrique pour le compte du Centre de recherches pour le développement international (CRDI), avec la définition suivante : « *un système contrôlé de la combinaison d'arbres avec d'autres cultures et élevages, (qui) offre l'opportunité d'accroître l'approvisionnement alimentaire pour les humains et les animaux* ». Pour d'autres, le terme aurait été mentionné pour la première fois en 1977, dans un ouvrage de forestiers canadiens⁴ qui recommandaient de coordonner au niveau mondial les études en faveur de techniques permettant aux pays en voie de développement d'augmenter à la fois leurs productions vivrières et de biomasse, tout en protégeant mieux l'environnement.

Selon Lundgren et Raintree (1982)⁵ : « *L'agroforesterie est un terme collectif pour des systèmes et des techniques d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbres, arbustes, arbrisseaux et sous-arbrisseaux) sont cultivés ou maintenus délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage, dans un arrangement spatial ou temporel, et où sont exploitées des interactions à la fois écologiques et économiques, pas forcément stables dans le temps, entre les ligneux et les autres composantes du système* ». Cette définition, relativement complète, met l'accent sur les interactions biologiques entre des composantes de l'environnement qui sont associées de façon judicieuse dans le temps et l'espace. Les critères concernent à la fois l'environnement et l'économie dans une optique de long terme. Cela sous-entend également la multifonctionnalité des systèmes et leur diversité.

⁴ Bene J.G. et al., 1977. *Trees, Food and People*. IDRC, Ottawa.

⁵ Lundgren B.O., Raintree J.B., 1982. Sustained agroforestry. In: Nestel B. (ed.), *Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia*, pp. 37-49. ISNAR, The Hague, The Netherlands.

Pour la FAO⁶, « *L'agroforesterie est un terme générique servant à désigner les systèmes d'utilisation des terres et les pratiques dans lesquelles les plantes ligneuses vivaces sont délibérément intégrées aux cultures agricoles et/ou à l'élevage pour une variété de bénéfices et de services. L'intégration peut être faite soit selon une association spatiale (par exemple, les cultures agricoles avec les arbres), soit selon une séquence temporelle (par exemple, les jachères améliorées, les rotations)* ».

Dans le cadre du Plan de développement de l'agroforesterie du ministère de l'agriculture⁷, la définition utilisée correspond à celle du centre mondial pour l'agroforesterie : « *L'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègrent des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre* ».

Enfin, d'après le Journal Officiel, l'agroforesterie est un « *Mode de production agricole associant sur une même parcelle des plantations d'arbres à d'autres cultures, dans la perspective d'effets bénéfiques réciproques* » (JO n° 0190 du 19/08/2015).

Au sens large, l'agroforesterie englobe donc les systèmes de production intégrant aussi bien les arbres dans les pratiques et les espaces agricoles, que les productions agricoles dans les pratiques forestières et les espaces arborés. En pratique, l'agroforesterie recouvre une gamme variée de formations, allant des bois aux arbres isolés dans les parcelles agricoles, en passant par les haies, les bosquets et les arbres plantés volontairement dans les parcelles cultivées ou pâturées. Parmi toutes les combinaisons, les associations arbres-productions agricoles sont le plus souvent simultanées. C'est le cas des parcelles complantées (grandes cultures sous peupliers ou noyers, prés-vergers), des surfaces sylvopastorales (prés-bois, forêts pâturées), des cultures étagées, des alignements d'arbres, haies et ripisylves en bordure de parcelles agricoles, des bocages... Mais il peut aussi s'agir d'associations dans le temps avec une production agricole et une végétation ligneuse qui se succèdent (cultures sur abattis-brûlis, taillis à courte rotation).

Compte tenu de la durée et des objectifs du chantier, le groupe de travail n'a pas souhaité consacrer de temps à dresser une typologie détaillée des systèmes agroforestiers. Il a repris à son compte la proposition des porteurs du RMT AgroforesterieS⁸ en considérant dans son analyse tous les systèmes de production agricole comportant l'association d'arbres et de culture ou d'animaux d'élevage dans un même système.

2.2 Etat des lieux

2.2.1 Europe

On sait peu de choses sur l'étendue actuelle de l'agroforesterie dans le paysage agricole européen. Dans les zones tempérées et méditerranéennes, les pratiques agroforestières traditionnelles ont été progressivement abandonnées au cours du 20^e siècle, notamment pour des raisons liées à la mécanisation ; en Europe, il n'en subsiste que quelques formes comme les prés-vergers français ou la Dehesa en Espagne.

Quelques études ont livré des chiffres très variables, allant de 3,3 à 114 Mha, cette dernière estimation correspondant à la surface agricole dont la couverture est d'au moins 10% d'arbres. Dans le cadre du projet européen AGFORWARD, une analyse détaillée de la base de données LUCAS (*Land Use and Land Cover data*) a permis d'estimer une surface totale de 15,4 Mha pour les 27 pays de l'UE

⁶ <http://www.fao.org/3/i1861f/i1861f08.pdf>

⁷ https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151215-ae-agroforesterie-v2_plan.pdf

⁸ RMT AgroforesterieS, 2020. Performances de l'arbre en agriculture et accompagnement des transitions. Dossier de demande de renouvellement RMT AgroforesterieS 2021-2025.

(soit 3,6% de la surface totale et 8,8% de la SAU⁹ ; Fig. 1). Parmi les divers modes d'agroforesterie étudiés, c'est celle associée à l'élevage qui est la plus répandue, avec 15,1 Mha, très loin devant celle en lien avec les cultures végétales, avec seulement 358 000 ha.

Une analyse par pays révèle de très nettes différences : en surface absolue, l'Espagne, et particulièrement son sud-ouest, arrive loin devant (5,6 Mha), suivie par la Grèce (1,6 Mha), la France (1,6 Mha), l'Italie (1,4 Mha) et le Portugal (1,2 Mha). En surface relative, rapportée à la surface agricole totale du pays, l'Europe du sud est toujours en tête, la première place revenant à Chypre (40,1%), suivie du Portugal (31,8%), de la Grèce (31,2%) et de l'Espagne (23,5%), tandis que la France, avec 5,6%, est en 11^e position.

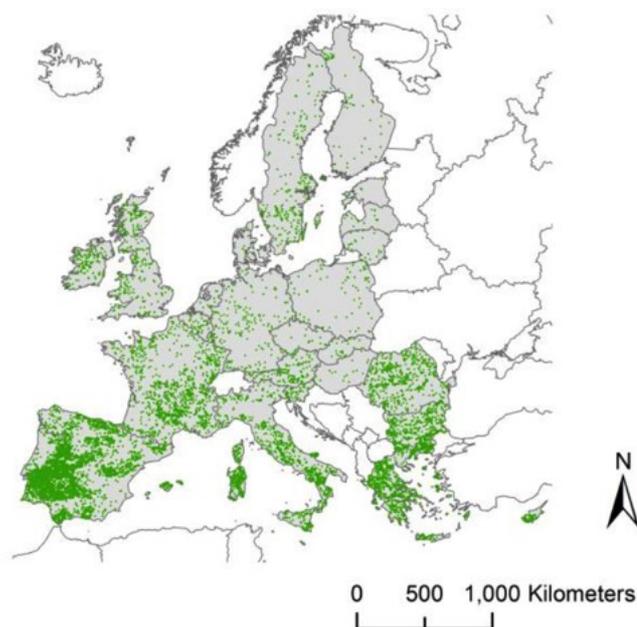


Figure 1. Distribution des systèmes agroforestiers en Europe (Den Herder *et al.*, 2017).

2.2.2 France

2.2.2.1 Métropole

En métropole, les pratiques associant l'arbre, les cultures et l'élevage marquent les paysages des « pays ». Il s'agit des formes bocagères, caractéristiques de la France de l'Ouest, avec un linéaire de haies fournisseur de bois de chauffage (et également de bois d'œuvre), et des prés-vergers, système très productif associant l'élevage, les productions fruitières et les besoins en bois. Intercaler des peupliers avec des céréales était à la mode au 18^{ème} siècle et couvre encore aujourd'hui près de 6 000 ha en régions alluviales. Il s'agit aussi des prés-bois, d'alignements de peupliers bordant les parcelles dans le Sud-Ouest, des plantations de noyers associées à l'élevage ou aux cultures, dans le massif central et dans le Dauphiné, etc.

L'agroforesterie associée au sens propre les deux métiers que sont l'agriculture et la foresterie. Or, ces deux métiers se sont en France progressivement opposés, à partir du moment où, vers le milieu du 19^{ème} siècle, les défrichements ont cessé, la forêt a commencé à progresser et le bocage à reculer¹⁰. Les territoires agricoles et forestiers se sont alors construits en s'opposant, si bien qu'aujourd'hui, la forêt « paysanne », gérée par les agriculteurs, est marginale (on l'estime à 15% des surfaces boisées).

⁹ den Herder M. *et al.*, 2017 . Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **241**, 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.005>

¹⁰ Pointereau P., 2004. Le bocage, reflet de la société rurale. In *Bocage, regards croisés*. Cahiers de la Compagnie du paysage **2**, 17–31.

L'agriculteur a, peu à peu, considéré l'arbre comme un « concurrent » des cultures. Le recul de l'arbre s'est dès lors accéléré, sous l'effet des opérations de remembrement, de la mécanisation, de la simplification des assolements et de pratiques culturales exigeantes en intrants. Les politiques agricole et forestière se sont elles-mêmes construites en s'ignorant, et parfois en s'opposant.

Des systèmes agroforestiers adaptés à la mécanisation ont progressivement vu le jour et se développent actuellement en France. Il s'agit d'alignements d'arbres à faibles densités (30 à 200 arbres/ha), implantés au sein de parcelles cultivées ou de prairies, souvent pâturées. Dans les systèmes de cultures arables tempérés, les arbres sont plantés en alignements suffisamment distants pour permettre le passage des machines agricoles ; dans la majorité des cas, le sol sous les lignes d'arbres est occupé par une végétation herbacée. La plantation d'alignements d'arbres au milieu de parcelles cultivées est relativement récente, même si la première parcelle implantée en grandes cultures remonte à 1971, en Charente-Maritime, suivie par des plantations sur prairies réalisées alors par le CEMAGREF et l'INRA dans trois régions (Nord-Pas de Calais, Auvergne et Languedoc-Roussillon), puis par l'INRA-Montpellier sur grandes cultures (1995) sur le domaine du Conseil Départemental de l'Hérault à Restinclières et chez un agriculteur à Vézénobres (Gard) (travaux de C. Dupraz). Plus récemment, des parcelles ont été mises en place lors de projets CASDAR par des organisations professionnelles (2007-2008 puis 2010-2011) ou dans un grand nombre de lycées agricoles (87 sur les 150 lycées agricoles publics). Les initiatives locales, soutenues financièrement par des Fondations, des entreprises ou des collectivités se sont également multipliées ces dernières années pour redonner une place à l'arbre champêtre dans l'exploitation. Malgré cette situation qui fait de la France un pays pionnier en Europe en termes de développement de l'agroforesterie, les surfaces considérées restent encore marginales et les linéaires bocagers sont toujours en recul.

Les systèmes agroforestiers sont très divers et non suivis en tant que tels par la statistique agricole. Le plus représenté est constitué par le bocage, formation linéaire de haies que l'enquête sur l'utilisation du territoire TERUTI-LUCAS appréhende assez mal. Les chiffres nationaux donnés par TERUTI-LUCAS indiquent une tendance négative de la surface totale de haies et d'alignements d'arbres pour la France métropolitaine : 1,003 Mha en 2007, 0,96 en 2012 et 0,944 en 2014. En 2010, le recensement agricole indiquait que 56% des exploitations tous systèmes de production confondus¹¹ entretenaient au moins une haie sur l'exploitation.

L'élevage d'herbivores participe largement au maintien des 700 000 km linéaires de haies qui subsistent (Fig. 2).

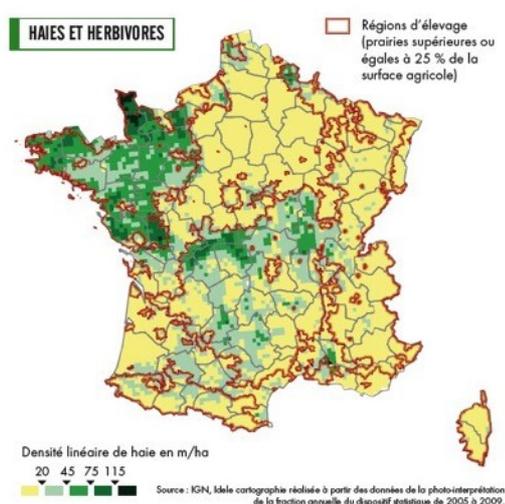


Figure 2. Densité linéaire de haies sur le territoire métropolitain (source IGN-IDELE).

¹¹ Ministère de l'Agriculture (SSP), Recensement Général de l'Agriculture – 2010, <http://doi.org/10.34724/CASD.39.120.V1>

Les haies ont traditionnellement été conservées dans les régions d'élevage car elles gardent une fonction de clôtures des parcelles et d'abri pour les animaux (contre le vent, le soleil, la pluie). Entre 2007 et 2010, 80% des exploitations avec herbivores avaient entretenu ou mis en place des haies ou alignements d'arbres. Ces haies, mais aussi les mares, murets, bosquets, prairies, lisières sont des zones semi-naturelles ou Infrastructures Agro Ecologiques (IAE). Ce sont des lieux de refuge, nidification et réservoirs de nourriture (baies, graines...) pour de nombreuses espèces animales. Elles ont un rôle capital pour préserver la biodiversité à condition qu'elles soient en densité suffisante et interconnectées pour permettre la circulation des espèces et leur brassage génétique.

Les surfaces en prés-vergers (pommiers, poiriers, noyers) sont quant à elles estimées à 165 000 ha. Les prés-vergers et les bosquets (bois de surface inférieure à 0,5 ha) étaient également en recul de 21 000 ha par an entre 2012 et 2014.

S'agissant des plantations intraparcellaires d'essences forestières, les superficies financées au titre de la mesure communautaire en faveur de l'agroforesterie s'établissaient à environ 2 500 ha en 2012¹². Enfin, dans l'étude INRA sur le stockage du carbone dans les sols de France¹³, il est indiqué que l'adoption reste encore limitée, notamment car il s'agit d'un choix de long terme avec de multiples implications en termes d'investissement, de temps de travail, de mécanisation. Au vu des informations disponibles (résultats d'une enquête de 2014, parcelles déclarées à la PAC, expertise des acteurs de terrain), la surface totale de plantation agroforestière (hors surfaces plantées en fruitiers) actuelle est estimée à environ 10 000 ha, et son extension à 500-600 ha plantés par an.

Ces données nationales fragmentaires recourent de plus des situations régionales contrastées. Ainsi, le bocage semble régresser fortement dans les zones périphériques où l'élevage recule et où la tendance est à l'agrandissement des exploitations orientées vers des systèmes céréaliers.

2.2.2.2 Territoires ultramarins

L'agroforesterie prend diverses formes dans les territoires ultramarins : des cultures se développant à l'abri d'une forêt (vanille, café, cacao), des « jardins créoles ou mahorais » regroupant plusieurs espèces sur une petite surface pour une autoconsommation diversifiée (aliments, épices, bois...), des systèmes traditionnels d'abattis mis en place après brûlis de couvert forestier, etc. Elle s'insère dans des filières agricoles principalement tournées vers une consommation locale des produits, et concerne avant tout les filières de diversification animale et végétale (petit élevage, fruits & légumes, vanille).

Entre traditions culturelles et contraintes agronomiques, les systèmes agroforestiers ultramarins sont ancrés dans le territoire et partagent ses défis¹⁴) (population en croissance, compétition pour l'accès aux surfaces agricoles, manque de main-d'œuvre ou de mécanisation adaptée, valorisation de produits identitaires...). Ils requièrent une intensification tout en conservant leurs équilibres écologiques ou agronomiques. Ainsi, en Guyane, l'agriculture itinérante sur brûlis se sédentarise progressivement et implique le développement d'une gestion de la fertilité innovante, tout comme à Mayotte. En Martinique, de nouvelles références techniques sont nécessaires pour réhabiliter d'anciens systèmes à base de café ou de cacao. Des évaluations technico-économiques des systèmes sont également réalisées (temps de travail, coût de production, rendement, valorisation). Le sylvo-pastoralisme est l'objet de réflexions à La Réunion, en Martinique (volaille, porc créole), en Guyane où

¹² Balny P. *et al.*, 2015, Promotion des systèmes agroforestiers. Proposition pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles CGAAER, Rapport n°140. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/71689>

¹³ Pellerin S. Bamière L. (coord.), 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 p. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/etude-4-pour-1000-synthese-en-francais-pdf-2.pdf>

¹⁴ Herbreteau A., Huat J., 2017. L'agroforesterie tropicale : des systèmes diversifiés et productifs à encourager. Dossier AgroEcoDom 2017. <https://reunion-mayotte.cirad.fr/content/download/8970/95305/version/1/file/Dossier-Agroecodom-2017.pdf>

des haies d'espèces mélangées sont même implantées le long de pâturages sous ombrage et à Mayotte où des espèces fourragères sont cultivées sous cocoteraie.

Dans le cadre du volet outre-mer du Plan de Développement de l'Agroforesterie, un état des lieux de l'agroforesterie dans les départements d'outre-mer a été réalisé, notamment au travers de 3 exemples choisis¹⁵ (Rivière, 2017) :

- Agriculture Itinérante sur Brûlis en Guyane

L'agriculture itinérante sur brûlis (AIB) est une pratique d'agriculture vivrière traditionnelle, où une petite parcelle de forêt (<2 ha) est défrichée, brûlée, puis cultivée avec du manioc, des fruits, légumes et autres cultures pendant 2-4 ans, avant de laisser place à une jachère forestière longue (>15 ans). Une autre parcelle est alors défrichée, et ainsi de suite. L'AIB, pratique qui voit une association temporelle et spatiale entre arbres et cultures, est une pratique durable, source d'une agrobiodiversité importante, qui joue un rôle socio-culturel fort et contribue à la sécurité alimentaire. Elle est cependant en mutation. La pression démographique, le désintéressement des jeunes et l'intégration à l'économie de marché poussent à une intensification des pratiques : parcelles plus grandes, jachères plus courtes, sédentarisation voire remplacement des abattis par des cultures sédentaires conventionnelles, etc., posant ainsi un problème de durabilité de l'agriculture. Sauvegarder l'AIB nécessiterait le développement de référentiels techniques pour des systèmes agroforestiers innovants, inspirés des pratiques traditionnelles, et permettant aux agriculteurs de faire face aux contraintes actuelles.

- Filières de sous-bois à la Réunion

L'agroforesterie de sous-bois désigne l'ensemble des productions agricole ayant lieu sous une canopée d'arbres principalement forestiers. Ce mode de production présente de multiples avantages : protection contre l'érosion, contre les ravageurs, diversification des productions et des revenus, etc. Sur l'île de la Réunion, la culture de la vanille a lieu majoritairement en sous-bois (90%), et permet l'existence d'une filière, aujourd'hui en essor après plusieurs décennies de récession, principalement dues à des marchés volatils et à la concurrence internationale. Avec la coopérative Provanille, l'ONF en est l'acteur central, et met à disposition des concessions pour les cultivateurs de vanille. Il fait de même pour les apiculteurs, bien que la production de miel de forêt soit négligeable par rapport aux miels de letchi et de baie-rose, qui ne sont pas agroforestiers. Une autre filière en développement est celle du cacao, dont la relance est impulsée par l'association Cacao Péi, en collaboration avec le CIRAD. Le mode de culture privilégié voit les cacaoyers pousser sous une canopée de fruitiers et d'essences forestières à croissance rapide, indigènes et exotiques.

- Jardins créoles et mahorais

Les agroforêts sont des systèmes agroforestiers traditionnels des régions tropicales. Il s'agit de systèmes multi-strates, où se côtoient tubercules, légumes, épices et arbres, fruitiers et forestiers, sur de très petites surfaces. Traditionnellement localisées près des habitations, les agroforêts fournissent aux familles des produits alimentaires, de construction, d'ornement, à caractère spirituel, etc.

A Mayotte, l'agriculture est dominée par le jardin mahorais (92% de la SAU), une forme d'agroforêt. Les jardins mahorais sont cependant menacés par le développement de monocultures (banane, manioc) non agroforestières.

Dans les autres DOM, on trouve des jardins créoles. Aux Antilles à l'origine, les Indiens Kalinagos venus d'Amérique du Sud ont introduit l'« ichali », un système agro-forestier où le manioc était prédominant. On y trouvait également du giraumon, de la patate douce, du chou caraïbe, des plantes médicinales ou « ayapana » et les plantes comme le coton ou le calebassier qui servaient à la fabrication des objets du quotidien. A l'époque coloniale, le maître attribuait aux esclaves un lopin de

¹⁵ Rivière M., 2017. Agroforesterie en outre-mer. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01887466>

terre qu'ils devaient cultiver pour assurer leur auto-alimentation. Après l'abolition, il devient le jardin de case et continue à être un moyen d'autosubsistance pour la famille. La surface des jardins créoles est généralement comprise entre 100 et 200 m², mais abrite généralement plus d'une douzaine d'espèces végétales herbacées, arbustives et arborées, ainsi que des animaux. Celles-ci sont agencées de manière à permettre leur coexistence et accroître leur rendement. Certaines plantes offrent des « services » et bénéficient aux autres, par exemple pour capter puis fournir de l'azote aux autres plantes, mieux couvrir le sol et éviter l'érosion ; ainsi, par des cultures associées, ces plantes contribuent à un processus efficace profitant à l'ensemble du jardin.

La mise en réseau des acteurs, le développement de systèmes agroforestiers innovants et la communication apparaissent comme des solutions pouvant contribuer au développement de l'agroforesterie dans les départements d'outre-mer, accompagnés par une adaptation de certains instruments incitatifs.

3. Analyse bibliométrique

La production scientifique dans le domaine de l'agroforesterie a été analysée selon une démarche inspirée de Liu *et al.* (2019)¹⁶ sur la base d'une requête effectuée le 07/10/2020 sur le Web of Science avec l'équation de recherche suivante : *AK = Agroforestry OR KP = Agroforestry OR TI = Agroforestry*.

Cette requête a permis d'identifier un total de 6 517 documents, dont 5 653 articles primaires, 659 compte-rendus de congrès, 254 articles de synthèse et 235 chapitres d'ouvrage. Dans la suite de ce document, l'analyse a été focalisée sur la période 2000-2020 durant laquelle 4 837 articles primaires ont été publiés (Fig. 3), soit 86 % du nombre total d'articles primaires.

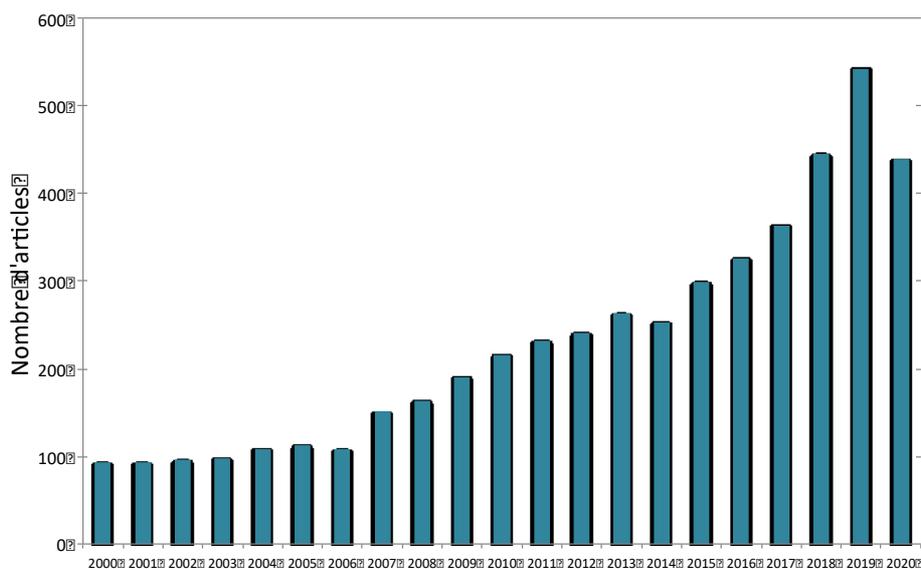


Figure 3. Nombre d'articles primaires publiés annuellement de 2000 à 2020 sur l'agroforesterie.

Une accélération du nombre d'articles publiés annuellement est visible à partir de 2007. Vingt pays/régions ont été à l'origine d'au moins 100 articles primaires sur cette période (Fig. 4), la France se positionnant au 5^{ème} rang mondial.

¹⁶ Liu W., Yao S., Wang J., Liu M, 2019. Trends and features of agroforestry research based on bibliometric analysis. *Sustainability*, **11**, 3473. [doi:10.3390/su11123473](https://doi.org/10.3390/su11123473)

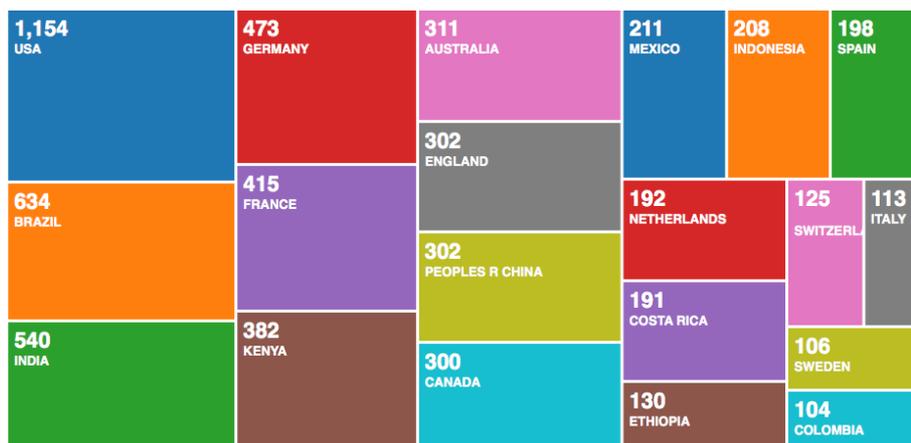


Figure 4. Pays/régions à l'origine d'au moins 100 articles primaires concernant l'agroforesterie pour la période 2000-2020.

La répartition en *subject categories* met en avant une forte contribution pour *Forestry* (36,6%), *Agronomy* (33,4%), *Environmental Sciences* (17,6%), *Ecology* (14,6%), *Agriculture multidisciplinary* (12,1%) et *Soil Science* (9,9%).

Les principales revues supports de ces articles sont, sans surprise, *Agroforestry Systems*, *Agriculture Ecosystems & Environment*, *Forest Ecology and Management*, *Plant and Soil* et *Sustainability*.

En terme d'organisations supports, l'ICRAF (et ses différentes antennes apparaissent au 1^{er} rang, suivis par le CIRAD. INRAE se positionne au 8^{ème} rang mondial. A noter aussi la présence d'un chercheur INRAE (C. Dupraz) au 12^{ème} rang des auteurs les plus productifs.

L'analyse sémantique réalisée par Liu *et al.* (2019) pour les publications de la période 1990-2019 a mis en évidence la montée en fréquence des mots clés *Agroforestry system*, *Carbon sequestration*, *Ecosystem services* et *Biodiversité*, en cohérence avec la montée en puissance des approches systémiques et de l'exploration de la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers.

4. L'agroforesterie à INRAE

4.1 Bref regard en arrière

Avant les années 90, les recherches en agroforesterie à l'INRA étaient concentrées sur le bocage (Rennes) et le sylvopastoralisme (pâturage en forêt ; Avignon). Au début des années 90 ont émergé les questions de recherche sur l'intérêt de la présence d'arbres dans les parcelles agricoles, à l'initiative de quelques chercheurs isolés dont C. Dupraz à Montpellier : plantation de parcelles sylvopastorales (1989 : réseau de parcelles agriculteurs APPEL en Languedoc-Roussillon INRA Montpellier/CRPF et parcelles expérimentales INRA Clermont-Ferrand/CEMAGREF) puis sylvo-arables (1995 : plantation de parcelles de 4 ha peupliers/grandes cultures chez un agriculteur du Gard ; dispositif expérimental de Restinclières, 40 ha arbres à bois/grandes cultures ou arbres à bois/vigne). A cette époque, le soutien de l'Inra était modéré, même si une unité expérimentale « Agroforesterie et Forêt Paysanne » a existé de 1994 à 2002.

Les actions de recherche d'Irstea dans le domaine de l'agroforesterie semblent avoir cessé au début des années 2000. Les programmes réalisés à l'époque par le Cemagref autour du centre de Clermont-Ferrand portaient sur les essences ligneuses à introduire dans des terres agricoles sous forme d'alignement, dans différentes situations climatiques et édaphiques. Ils ont permis d'asseoir la faisabilité d'une production de bois d'œuvre en situation d'alignements intraparcellaires, et de confirmer que le matériel génétique était disponible pour les différentes essences souhaitées.

Le lancement du chantier Agroécologie en 2010 s'est accompagné d'une remontée en visibilité de l'agroforesterie, considérée comme l'un des exemples à suivre en matière de diversification des couverts et de mobilisation de la biodiversité fonctionnelle¹⁷.

Enfin, en mai 2019, le CIRAD et l'INRA ont co-organisé à Montpellier le 4^{ème} congrès mondial d'agroforesterie, qui a réuni pendant une semaine environ 15 000 participants, en provenance de plus de 100 pays¹⁸.

4.2 Analyse du dispositif INRAE

D. Mézière a fait bénéficier le groupe de travail d'éléments très complets sur le dispositif actuel des unités qui s'impliquent, à des degrés divers, dans des recherches sur et pour l'agroforesterie et des dispositifs expérimentaux mobilisés¹⁹. Quelques compléments ont été ajoutés, ainsi que des mots-clés qui décrivent les activités correspondantes. En parallèle, une analyse SWOT a été réalisée.

4.2.1 Unités impliquées

L'inventaire a mis en évidence un dispositif significatif mais dispersé, qui comprend 27 unités de recherche (UR, UMR ou USC) et 9 unités expérimentales (Fig. 5). Huit départements de recherche sont concernés (ACT, AgroEcoSystem, BAP, ECODIV, EcoSocio, GA, Phase et SPE).

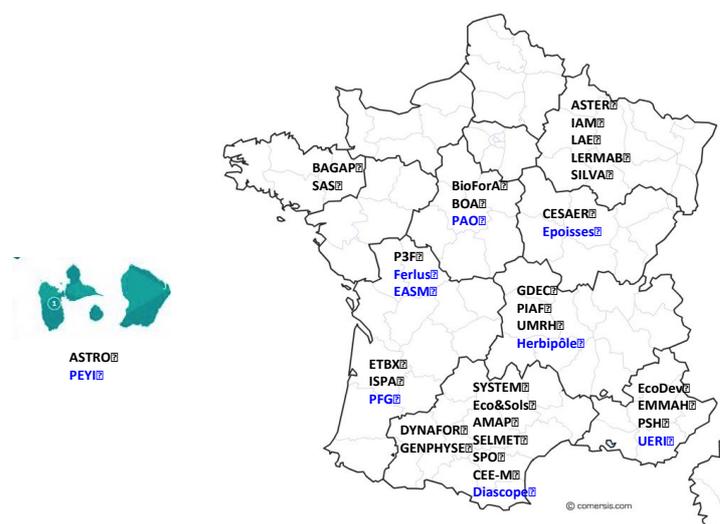


Figure 5. Unités de recherches (en noir) et unités expérimentales (en bleu) INRAE impliquées dans des activités dans le domaine de l'agroforesterie.

¹⁷ Inra, 2012. Rapport du chantier agro-écologie, 107 pp ; Soussana J.-F., Côte F., 2016. Agro-écologie : le positionnement des recherches de l'Inra et du Cirad, 8 pp. <https://www.cirad.fr/content/download/11293/132717/version/3/file/Agro-ecologie-Inra-CIRAD-note-longue.pdf>

¹⁸ Recueil des résumés : <https://www.alphavisa.com/agroforestry/2019/documents/Agroforestry2019-Book-of-Abstract-v1.pdf>. En ouverture de congrès mondial, Philippe Mauguin a déclaré : « A l'Inra, ce sont plus de 10 de nos unités de recherche qui sont impliquées dans des projets de recherche en agroforesterie et dans l'étude des associations d'arbres et de cultures ou des systèmes sylvo-pastoraux. Parce qu'ils réconcilient productivité, efficacité de l'usage des ressources et résilience, nous considérons ces systèmes agroforestiers comme des leviers des plus prometteurs de la transition agroécologique nécessitant l'implication de l'ensemble de la chaîne de valeur. »

¹⁹ Mézière, D. 2017. L'agroforesterie à l'INRA – tour d'horizon des équipes de recherche et des sites expérimentaux. Journée Croisons les regards #2, 7 septembre 2017, RMT AgroforesterieS, Paris, France ; Mézière D., 2019. L'agroforesterie et la recherche – Un tour d'horizon des équipes et des sites expérimentaux. L'Arbre dans nos assiettes, 19 mai 2019, Fondation de France, Montpellier, France.

Des dispositifs d'expérimentation à long terme de nature et dimensions variées sont aussi utilisés, la plupart situés sur des domaines expérimentaux INRAE (Fig. 6).

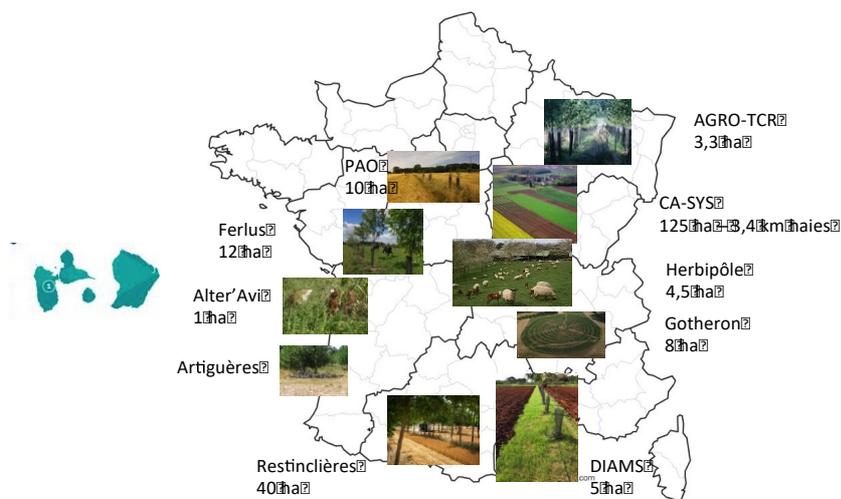


Figure 6. Principaux dispositifs d'expérimentation à long terme utilisés par des équipes INRAE pour des activités dans le domaine de l'agroforesterie.

4.2.1.1 Productions végétales

- Centre Antilles-Guyane

- UE INRAE *Plateforme Expérimentale sur le végétal et les agrosystèmes Innovants en milieu tropical* (PEYI), Petit-Bourg : productions végétales (maraîchère, vivrière, florale et fourragère) ; productions animales (porcine, ovine, caprine) ; agronomie et science du sol ; production de références agronomiques, techniques et économiques sur les systèmes de culture.
- [UR INRAE Agrosystèmes tropicaux](#) (ASTRO), Petit-Bourg (agronomie, systèmes plurispécifiques, phytopathologie) : association de culture ; modèle de fonctionnement de culture ; systèmes de cultures innovants ; modélisation de la compétition/complémentarité pour les ressources ; économie de l'exploitation ; économie de l'innovation.

- Centre Bourgogne-Franche-Comté

- UE Domaine d'Epoisses (agronomie) : conception et évaluation de système de culture ; l'unité gère la plateforme CA-SYS, en collaboration avec l'UMR Agroécologie. Conception/évaluation de systèmes agroécologiques. 125 ha de GC, 3,4km de haies « biodiversité ». Biodiversité et Régulations biologiques. Plantation 2019. Tout début.

- Centre Bretagne-Normandie

- [UMR INRAE-Agrocampus Ouest-ESA Angers Biodiversité, Agroécologie et Aménagement du Paysage](#) (BAGAP), Rennes (écologie, sciences biotechniques, géomatique-géoinformatique) : fonctions écologiques et gestion de la biodiversité et des ressources paysagères.
- [UMR INRAE-Agrocampus Ouest Sol Agro et hydrosystème Spatialisation](#) (SAS), Rennes (Hydrologie, agronomie du paysage) : effet des haies sur les flux d'eau, d'azote et de la dynamique du carbone dans le sol, à l'échelle du paysage.

- Centre Clermont-Auvergne-Rhône Alpes

- [UMR INRAE-Université Clermont-Auvergne Génétique Diversité Ecophysiologie des Céréales](#) (GDEC), Clermont-Ferrand (écophysiologie, génétique) : effet du microclimat de l'arbre sur stress thermique de la floraison du blé (avec UMR PIAF).
- [UMR INRAE-Université Clermont-Auvergne Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre en environnement Fluctuant](#) (PIAF), Clermont-Ferrand (physiologie, physique) : effet du microclimat de l'arbre sur stress thermique du blé (avec UMR GDEC) ; physique de l'arbre.

- Centre Grand Est-Nancy

- [UMR INRAE–Université de Lorraine Interactions Arbres-Microorganismes](#) (IaM), Nancy (biologie, écologie des interactions entre microorganismes du sol et arbres) : symbioses mycorhiziennes ; pathologies ; recyclages biogéochimiques ; trufficulture.
- [UMR INRAE–INPLE \(ENSAIA\) Laboratoire Agronomie et Environnement](#) (LAE), Colmar (agronomie) : évaluations multicritères des systèmes ; échelles parcelle et territoire ; intégration de l'agroforesterie à la plateforme MAELIA ; biologie des sols (décomposition des matières organiques, enzymologie).
- [UMR INRAE–Université de Lorraine–AgroParisTech SILVA](#), Nancy (sylviculture) : productivité des systèmes agroforestiers ; écophysiologie de l'arbre (cycles du carbone, de l'azote et de l'eau) ; émissions de gaz à effet de serre ; suivi du dispositif AGRO-TCR (la Bouzule).
- [UR AgroSystèmes Territoires Ressources](#) (ASTER) Mirecourt (SHS, agro, informatique) : relations agricultures et territoires ; accompagnement des transformations sociotechniques vers une meilleure durabilité environnementale.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

- [UMR INRAE–Bordeaux Sciences Agro Interactions Sol Plante Atmosphère](#) (ISPA), Bordeaux (agronomie, foresterie) : cycles biogéochimiques ; interactions sol-plantes-atmosphère.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers

- UE *Fourrages, Ruminants et Environnement* (Ferlus), Lusignan (agronomie) : agroforesterie intraparcellaire en rotation prairies-cultures ; effet du nombre d'arbre (1, 2 ou 3) par point d'implantation ; comparaison de 3 variétés de merisier ; parcelle de 3 ha avec 1 témoin agricole et 1 témoin forestier ; 1 parcelle du dispositif OasYs.
- [UR INRAE Pluridisciplinaire Prairies Plantes Fourragères](#) (P3F), Lusignan (génétique, écophysiologie) : qualité du rayonnement en couverts complexes et morphogénèse ; variabilité intra et interspécifiques de mélanges prairiaux.

- Centre Occitanie-Montpellier

- [UMR INRAE–CIRAD–Montpellier SupAgro–CIHEAM-IAMM Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens](#) (SYSTEM ; ABSYS à partir de janvier 2021), Montpellier (agronomie, systèmes plurispécifiques) : productivité ; partage des ressources ; adaptation au changement climatique ; services associés aux arbres et à la végétation du linéaire sous arboré ; expérimentations et modélisation ; conception de systèmes agroforestiers et développement d'outils pour la conception. Elle assure le suivi scientifique de la plateforme agroforestière de Restinclières (conseil départemental de l'Hérault) qui regroupe 40 ha de parcelles agroforestières, dont certaines sont suivies en continu depuis plus de 25 ans.
- [UMR INRAE–IRD–CIRAD–Montpellier SupAgro Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et agro-écosystèmes](#) (Eco&Sols), Montpellier (écologie, sciences du sol) : gradient de fertilité ; recyclage N et P ; stockage de C dans le sol ; activités biologiques et biodiversité des sols ; modélisation du stockage de C dans les arbres ; observation et caractérisation de l'activité racinaire des arbres, des herbacées et des cultures, y compris dans les horizons profonds de sol. Cette unité est fortement investie sur les systèmes agroforestiers tempérés depuis 2012 (sur les systèmes agroforestiers tropicaux avant). Elle a mis en place et coordonne le dispositif expérimental DIAMS (5 ha planté de robinier et grandes cultures avec 3 blocs répétitions, des témoins forestiers et cultures sur chaque bloc), implantée sur l'UE Diascope à Mauguio.
- [UE INRAE de Melgueil DIASCOPE](#), Mauguio (génétique) : sélection participative d'espèces et de variétés de grandes cultures (céréales et légumineuses méditerranéenne) adaptées à l'agroforesterie. DiaScope est une plateforme expérimentale qui propose 2 dispositifs agroforestiers : DIAMS (robiniers et grandes cultures) et un verger d'olivier avec cultures en inter-rangs, servant de supports à de nombreuses expérimentations.
- [UMR INRAE–CIRAD–CNRS–IRD–Université Montpellier botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes](#) (AMAP), Montpellier (Architecture, physiologie de l'arbre) : écophysiologie de l'arbre en agroforesterie ; traits fonctionnels racinaires et vasculaires (arbre entier) ; expérimentation et modélisation de la réponse de la végétation à différentes échelles et sous différents scénarios de gestion ou de forçage environnemental ; création et gestion de bases de données et de connaissances.

- Centre Occitanie-Toulouse

- [UMR INRAE-ENSAT-Ecole d'ingénieur.e.s Purpan Dynamiques et écologie des paysages agroforestiers](#) (DYNAFOR), Toulouse (écologie, géographie, anthropologie) : rôle de la biodiversité dans les paysages agroforestiers ; méthodes de télédétection adaptées aux paysages agroforestiers (dynamique, modalités de gestion, biodiversité et les services écosystémiques associés).

- Centre Provence-Alpes-Côte d'Azur

- [UE Recherche Intégrée](#) (UERI), Gothenon (agronomie) : conception/évaluation de systèmes d'arboriculture fruitière ; projet Z, échelle supraparcellaire, 10 ha, combinant modules multiproductions (incluant des pérennes) et parcelles support à la production ; évaluation multicritère en appui à la conception de systèmes agroforestier (méthode DEXiAF avec partenaires non INRAE) et partenariat CIRAD en développement pour l'évaluation multicritère de systèmes diversifiés (approches co-construites et participatives pour la création d'une méthode).
- [UMR INRAE-Université d'Avignon Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes](#) (EMMAH), Avignon (physique, microbiologie, écologie des sols) : réponse au stress climatique, en tenant compte des effets microclimatiques propres aux systèmes agroforestiers.
- [UR INRAE EcoDéveloppement](#), Avignon (SHS, agronomie) : règles de décision ; incertitudes des performances de systèmes diversifiés (vergers-maraichers, vergers paturés, systèmes fruitiers) ; place de l'élevage (petits ruminants, poule) dans les vergers.
- [UR INRAE Plantes et Système de cultures Horticoles](#) (PSH), Avignon (écophysiologie, agronomie) : effet du microclimat propre aux systèmes agroforestiers sur la production maraîchère.

- Centre Val de Loire

- [UE Physiologie Animale de l'Orfrasière](#) (PAO), Nouzilly : impact de l'agroforesterie sur le drainage ; suivis SIG ; sélections d'arbres adaptés à l'AF.
- [UR INRAE Biologie Intégrée pour la valorisation de la diversité des arbres et de la forêt](#) (BioForA), Orléans (génétique, génomique et physiologie des arbres forestiers) : sélection participative de feuillus précieux (frêne, merisier) ; peupliers adaptés à l'agroforesterie.

4.2.1.2 Systèmes d'élevage

- Centre Clermont-Auvergne-Rhône Alpes

- [UE Herbipôle](#), Laqueuille/Theix/Marcenat (zootechnie) : dispositifs expérimentaux avec prairie pâturée (ovins, bovins) et essences forestières.
- [UMR INRAE-VetAgro Sup Herbivores](#), Theix (zootechnie, éthologie, physiologie animale, économie) : bénéfices de l'arbre en élevage, analyse du comportement et bien-être animal, effet de l'arbre sur la prairie, valeur alimentaire de l'arbre fourrager (digestibilité *in vivo*, ingestibilité). Compétences en services écosystémiques (agroécologie).
- *En cours de réflexion* : [UMR INRAE-VetAgro Sup Ecosystème Prairial](#) (UREP), Clermont-Ferrand (écologie/agronomie) : dans le cadre de l'I-SITE CAP2025. Apports possibles : modélisation et expérimentations des propriétés des prairies liées aux services.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

- UE Palmipèdes à Foie Gras (PFG), Artiguères (zootechnie) : palmipèdes en parcours agroforestier.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers

- UE Fourrages, Ruminants et Environnement (Ferlus), Lusignan (zootechnie, agronomie) : conception de systèmes fourragers innovants intégrant des ligneux (arbre, arbustes, lianes) ; 3 parcelles agroforestières pâturées en lignes intra-parcellaire et en rotation prairie temporaire-cultures comportant différentes espèces d'arbres ou de lianes, implantées séparément ou en mélange ; 1 parcelle en bosquet ; 1 petit bois ; 3 arboretums (trognes, lianes, saules) ; 70 espèces de ligneux.
- UE Systèmes d'Élevage Avicoles Alternatifs (EASM), Le Magneraud (zootechnie) : parcours volailles aménagés avec des chênes.

- Centre Occitanie-Montpellier

- [UMR INRAE-CIRAD-Montpellier SupAgro Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux](#) (SELMET),

Montpellier (Zootechnie) : systèmes sylvopastoraux dans les milieux chauds et à fortes contraintes.

- *Centre Occitanie-Toulouse*

- [UMR INRAE-ENVT-ENSAT Génétique Physiologie et Systèmes d'Élevage](#) (GenPhySE), Toulouse (génétique animale) : performances zootechniques, durabilité, services écosystémiques de systèmes AF avec palmipèdes.
- *Potentiel : UE de La Fage, Roquefort-sur-Soulzon (zootechnie) : élevage ovin sur parcours avec composante arbustive (buis) importante et indispensable pour ce système d'élevage (plateau du Larzac).*

- *Centre Provence-Alpes-Côte d'Azur*

- [UR INRAE EcoDéveloppement](#), Avignon (SHS, Agronomie) : règles de décision ; incertitudes des performances de systèmes diversifiés (vergers-maraichers, vergers paturés, systèmes fruitiers) ; place de l'élevage (petits ruminants, poule) dans les vergers.

- *Centre Val de Loire*

- [UMR INRAE-Université de Tours Biologie des Oiseaux et Aviculture](#) (BOA), Nouzilly (zootechnie) : évaluation des services rendus par les élevages de volailles sur parcours agroforestier.

4.2.1.3 Valorisation du bois

- *Centre Grand Est-Nancy*

- [USC INRAE-Université de Lorraine Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois](#) (LERMAB), Nancy-Epinal (Génie des procédés du bois) : valorisation du bois et des extractibles.

- *Centre Occitanie-Montpellier*

- [UMR INRAE-Montpellier SupAgro-Université de Montpellier Sciences pour l'aérogénie](#) (SPO), Montpellier (valorisation des agrossources) : synthèse de dérivés à haute valeur ajoutée ; substitution par des composés biosourcés.

4.2.1.4 Economie

- *Centre Bourgogne-Franche-Comté*

- [UMR INRAE-AgroSup Dijon Centre d'Economie et de Sociologie appliquées à l'Agriculture et aux Espaces Ruraux](#) (CESAER), Dijon (Economie) : Impact économique et environnemental du déploiement de pratiques agroécologiques à large échelle.

- *Centre Occitanie-Montpellier*

- [Centre d'Economie de l'Environnement INRAE-Université Montpellier-CNRS-Montpellier SupAgro](#) (CEEM), Montpellier (économie) : Développement d'instruments économiques pour l'incitation à la mise en œuvre de pratique vertueuse.

4.2.1.5 Sociologie

- *Centre Nouvelle-Aquitaine Bordeaux*

- [UR INRAE Environnement, Territoires & Infrastructures](#) (ETBX), Bordeaux (sociologie) : analyse des enjeux environnementaux via les relations d'interdépendances entre territoires, dynamiques des espaces, ressources, acteurs, infrastructures.

4.2.2 Dispositifs expérimentaux

4.2.2.1 Productions végétales

- *Centre Bourgogne Franche Comté*

- UE Domaine d'Epoisses : Plateforme CA-SYS (collaboration avec UMR Agroécologie). Conception/évaluation de systèmes agroécologiques sans pesticides utilisant la diversité, sauvage et cultivée, comme support de production. Biodiversité et régulations biologiques. 125 ha de GC + infrastructures agroécologiques. Plantation de 3,4 km de haies à objectif « biodiversité » depuis 2019.

- Centre Grand Est-Nancy

- AGRO-TCR : Dispositif expérimental de 3,3 ha d'agroforesterie en rotation courte graminées/aulne ou luzerne-trèfle/peuplier géré par l'UMR SILVA. Comparaison avec les monocultures équivalentes. Suivi fin des déterminants de la productivité, des cycles de l'eau et du carbone, du fonctionnement du sol et des services rendus (gaz à effet de serre, lixiviation...).

- Centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers

- UE *Fourrages, Ruminants et Environnement* (Ferlus), Lusignan : agroforesterie intraparcellaire en rotation prairies-cultures ; effet du nombre d'arbre (1, 2 ou 3) par point d'implantation ; comparaison de 3 variétés de merisier ; parcelle de 3 ha avec 1 témoin agricole et 1 témoin forestier. 1 parcelle du dispositif OasYs.

- Centre Occitanie-Montpellier

- Plateforme agroforestière de Restinclières, qui appartient au Conseil Départemental de l'Hérault mais est suivie par l'UMR System (ABSYS à partir de janvier 2021), en lien avec l'UMR Eco&Sols et l'UMR AMAP : Dispositif de 40 ha AF (grandes cultures ou vignes et arbres à bois) depuis 1995. Essai système longue durée, test d'itinéraires de gestion des arbres (hauteur d'élagage, trognons), dispositif d'exclusion de pluie, systèmes à triple strates (herbacées / pommiers / noyers à bois), présence d'un arboretum agroforestier.
- Plateforme DIAMS : Dispositif de 5 ha AF grandes cultures/robiniers (avec témoin sans arbre ou sans culture et 3 blocs indépendants pour chaque traitement). Implanté depuis 2017 sur UE DIASCOPE et coordonné par l'UMR Eco&Sols. Essai factoriel à bas niveau d'intrants. Deux traitements par blocs non encore différenciés (mais des réflexions en cours pour la mise en place de deux modalités). Observations fines des cycles biogéochimiques, biodiversité du sol, phénotypage et modélisation de la photosynthèse des arbres (puits de C) en relation avec leur architecture aérienne et souterraine.
- Dispositif Agroforestier Méditerranéen certifié AB: Grandes cultures dans Oliveraies. Deux vergers d'oliviers (1/2ha chacun) implantés depuis 15 ans, se différencient par la réalisation ou non d'une taille annuelle. Leur inter-rangs étroits (6m) accueillent des espèces de grandes cultures (céréales en rotations avec des légumineuses) pour des études de sélection de variétés adaptées à l'Agroforesterie. Le verger non taillé offre des conditions extrêmes d'ombrage sur la culture associée.

- Centre Provence-Alpes-Côte d'Azur

- UERI Gotheron : conception/évaluation de systèmes d'arboriculture fruitière. Dispositif expérimental de 8 ha (en cours de plantation) ; modules de production fruitière multi espèces zéro pesticide depuis 2017.

- Centre Val de Loire

- UE PAO Nouzilly : Dispositif expérimental de 10 ha d'agroforesterie (feuillus précieux) en grandes cultures et témoins sans arbre depuis 2014. Impact de l'agroforesterie sur drainage, suivi SIG, sélections d'arbres adaptés à l'agroforesterie.

4.2.2.2 Systèmes d'élevage

- Centre Clermont-Auvergne-Rhône Alpes

- [UE Herbipôle](#), Laqueuille/Theix/Marcenat (zootechnie) : ferme expérimentale dont 4,5 ha en prairies agroforestières pâturées (essences forestières : merisiers, érables et frênes adultes intra-parcellaires et/ou en bordure), avec ovins et bovins, depuis 1989.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

- UE *Palmipèdes à Foie Gras* (PFG), Artiguères (zootechnie) : implantation d'arbres sur les parcours de canards mulards à gaver.

- Centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers

- UE *Fourrages, Ruminants et Environnement* (Ferlus), Lusignan (zootechnie, agronomie) : dispositif expérimental de 12 ha en polyculture-élevage bovins lait depuis 2014 ; conception de systèmes fourragers innovants, et en particulier de systèmes fourragers faisant appel aux ressources fourragères ligneuses, ou à l'intégration d'éléments arborés dans les espaces pâturés ou cultivés pour produire des fourrages, copeaux et bois d'œuvre. Test de modalités fourragères (têtards, taillis, lianes), test de mode

de protection des arbres contre le bétail, 3 arboretums (têtards, lianes, saules). Ces parcelles agroforestières sont insérées dans le dispositif expérimental OasYs initié par 6 départements de recherche.

- UE *Systèmes d'Élevage Avicoles Alternatifs* (EASM), Le Magneraud (zootechnie) : dispositif expérimental de 1 ha parcours volailles aménagé avec des chênes (principalement) depuis 2009.

- Centre Occitanie-Toulouse

- **Potentiel** : UE de *La Fage, Roquefort-sur-Soulzon* (zootechnie) : élevage ovin sur parcours avec composante arbustive (buis) importante et indispensable pour ce système d'élevage (plateau du Larzac). Parcelles de plusieurs ha, plein air intégral toute l'année. Problématique de la pyrale du buis.

4.2.3 Analyse SWOT

Cette analyse a été réalisée en séance plénière du groupe de travail et complétée par itérations successives. Les différents items ont été regroupés par grandes thématiques (compétences/ressources humaines ; dispositifs ; partenariat ; etc.). Différents points ont été repris dans l'analyse du dispositif, des priorités scientifiques et des besoins en compétences, ainsi que pour la formulation de recommandations.

4.2.3.1 Forces

- Une expertise forte au sein d'INRAE.
- Une communauté d'agents qui se connaissent.
- Des compétences sur le cœur de la problématique : arbres & environnement => climat, sol, microclimat, modélisation des systèmes arbre-environnement...
- Des recherches sur tous les types de systèmes de production (grande culture, arboriculture, élevage, ...) et du gène au territoire.
- Une expertise des approches systèmes à différentes échelles (espace) et sous différentes conditions (tempéré => tropical), y compris en rupture ; une expertise sur l'étude des fonctions et services écosystémiques.
- Des ressources en compétences et méthodes pour aborder des problématiques de manière interdisciplinaire et systémique.
- Des dispositifs innovants pour étudier les systèmes agroforestiers : sites expérimentaux/UE, avec une bonne répartition sur le territoire national et un ancrage territorial (liens avec les acteurs du territoire).
- La co-animation et une forte présence au sein du RMT AgroforesterieS.
- Une habitude de traiter de la frontière entre militantisme – politique publique et science : une expertise pour gérer sciences et interfaces et pour embarquer des questions de gestion.

4.2.3.2 Faiblesses

- Pas de vision stratégique INRAE claire.
- Une communauté d'agents réduite et fragmentée, des moyens humains insuffisants (peu d'équipes, et peu d'agents dans chaque équipe) avec quelques agents très (trop) sollicités.
- Interdisciplinarité qui reste difficile à mettre en œuvre du fait des « silos » que constituent parfois les départements ; manque de contributions dans le domaine des SHS.
- Peu ou pas d'analyse économique de certaines formes d'agroforesterie pour lesquelles des données à moyen/long terme existent (bocage par ex.) ; difficulté à mobiliser les chercheurs.e.s en économie.
- Pas d'animation interne à INRAE.
- Un risque d'orienter des ressources internes vers l'agroforesterie au détriment d'autres recherches et objets d'étude (arboriculture, cultures annuelles et pérennes, etc.).
- Une possibilité de se laisser « tirer » par l'aval sur la base de critères financiers.
- Des difficultés à aller au delà du cas d'étude et manque de conceptualisation ; difficulté à s'emparer de sujets/objets flous.
- Des objets multiformes : besoin d'une stratégie à élaborer pour traiter du caractère pluriel et multiforme de l'agroforesterie.

- *Des dynamiques temporelles insuffisamment étudiées : modalités de transition vers un système agroforestier, effet des modes de gestion...*
- *Des redondances entre certains projets de recherche alors qu'il y a des sujets orphelins (par exemple : Verrou génétique – quelle contribution de la génétique à l'agroforesterie ? Analyse des dimensions socio-économiques de l'agroforesterie ?) ; à relier avec un manque de benchmark/inventaire sur ce qui a déjà été fait, ce qui manque.*
- *DI « forêt-bois » peu adapté car plutôt orienté vers les problématiques forestière.*
- *Données : pas de stratégie de partage des données, ne serait-ce que les métadonnées.*
- *Dispositifs expérimentaux qui sont peu ou pas transformables/évolutifs (problématique partagée avec divers dispositifs de long terme comme les SOERE par exemple)*
- *Production scientifique pas immédiate.*
- *Dispositifs de terrain insuffisamment valorisés.*
- *Insuffisance de liens avec les dispositifs Agroforestiers mis en place dans les exploitations agricoles des EPLEFPA et à visée pédagogique.*

4.2.3.3 Opportunités

- *Possibilité de prendre le leadership au niveau des recherches sur l'agroforesterie en milieu tempéré pour laquelle les recherches sont encore peu nombreuses.*
- *Des compétences hors INRAE mais en proximité, notamment dans les UMR (CIRAD, écoles...).*
- *Des contextes « favorables » : transition agroécologique, changement climatique (adaptation et atténuation), One Health – One Welfare, aménagement urbain et péri-urbain, plan biomasse (peut être vu comme une opportunité ou une menace) ; développement de l'agroforesterie qui accompagne parfois les démarches de relocalisation des productions.*
- *Une image très positive du fait de remettre des arbres dans les systèmes agricoles, en particulier l'arbre dans le paysage (y compris fruitiers) et l'arbre pour l'adaptation et l'atténuation du changement climatique en élevage (fourrage, santé et bien-être animal), une demande sociétale qui devient pérenne et un bénéfice pour l'image d'INRAE.*
- *Des 'success stories' chez certains acteurs qui peuvent alimenter nos réflexions et nos actions.*
- *Un vivier d'agriculteurs motivés, innovants, qui reste encore insuffisamment connu.*
- *Forte demande de certains acteurs agricoles (= partenariat nombreux et diversifié possible, y compris des réseaux d'agriculteurs) mais aussi d'autres acteurs (associations, chambres d'agriculture, citoyens, filières, politiques notamment au niveau régional...).*
- *Des partenariats nouveaux possibles : dispositifs AF des lycées agricoles => encore peu de liens avec la recherche (90 lycées agricoles engagés). La communauté Recherche-Développement-Formation est porteuse d'opportunités, notamment en ce qui concerne le lien à la formation et la sensibilisation des apprenants à la Recherche.*
- *Nouvelles sources de financement significatives, par exemple au niveau européen.*

4.2.3.4 Menaces

- *Des systèmes très divers avec des acteurs variés à l'origine de sollicitations multiples. Beaucoup d'attentes (AF parfois vue comme une panacée), mais souvent les questions ne concernent pas directement la recherche (ou alors nécessiteraient un travail important pour les transformer en questions de recherche).*
- *Objet d'étude parfois « stigmatisé » (du point de vue de l'évaluation individuelle ou collective), avec un manque de reconnaissance, de crédibilité : il est primordial d'identifier des fronts de science. Ne pas le faire reviendrait à accroître la menace.*
- *Grande variabilité des systèmes agroforestiers : question de la définition d'un système agroforestier, problème de généralité des résultats.*
- *Dépendance à des politiques publiques qui vont parfois plus vite que la connaissance et qui de plus sont variables dans le temps : peu favorable à des engagements de long terme et à la réalisation de mesures-expérimentations-observations à long terme.*

- *Vivier d'agriculteurs motivés, innovants, mais parfois encore insuffisamment connus et qui risquent de baisser les bras car encore peu soutenus voire contrecarrés (ex: soutiens financiers conditionnels à certaines normes)".*
- *Brexit : une communauté scientifique et d'acteurs qui sera plus difficile à mobiliser ?*
- *Tendance de certains acteurs à trop privilégier une vision « optimisation sous contrainte » vs multifonctionnalité/adaptabilité, qui peut aller jusqu'à une volonté de normalisation des systèmes.*
- *Pas ou pas d'analyse économique de certaines formes d'agroforesterie qui s'inscrivent dans le temps en raison d'un manque de données.*
- *Menaces de disparition, ou d'arrêt du développement, de certains systèmes agroforestiers, du fait du manque de rentabilité à court terme sur les productions agricoles et du manque de connaissances opérationnelles sur les autres bénéfiques à plus ou moins long terme.*

5. Analyse des priorités scientifiques

5.1 Des recherches « SUR » et « POUR » les systèmes agroforestiers

Comme indiqué précédemment, les productions des différents sous-groupes sont réunies dans les Annexes 1 à 5. L'analyse des questionnements de recherche associés aux systèmes agroforestiers, résumés dans le *mindmap* présenté en Annexe 6, a été envisagée par le groupe de travail selon deux angles :

- **Recherches « SUR » :** Considérer ces systèmes comme des objets d'étude originaux quant à leurs fondements scientifiques, aux approches méthodologiques à mettre en œuvre, aux processus de gestion à mobiliser en lien avec leur organisation et leur fonctionnement technique, à leurs propriétés émergentes ou bien encore aux ressources que les acteurs impliqués doivent mobiliser. Un écueil à éviter est de se replier sur une posture académique, que l'on pourrait considérer comme « objective » mais avec une certaine distanciation vis-à-vis de la finalité de gestion et des acteurs concernés.
- **Recherche « POUR » :** Aborder les questions spécifiques que fait apparaître la volonté de développer ces systèmes. L'analyse menée dans le cadre de la préparation de la nouvelle mouture du RMT AgroforesterieS a ainsi permis de recenser un certain nombre de questions à travailler en partenariat pour le développement de l'agroforesterie, avec des besoins de connaissances et de références sur (i) les arbres hors-forêt ; (ii) les systèmes associés ; (iii) l'intégration de l'arbre dans les systèmes d'élevage ; (iv) les bénéfiques des systèmes agroforestiers pour l'agriculteur, les territoires ou la société ; (v) les freins ou leviers politiques et organisationnels. Dans cette démarche, le risque pour la recherche est d'apparaître comme trop assujettie à la demande sociétale et alors « subjective » et « militante »²⁰.

Ces deux postures, « SUR » et « POUR » les systèmes agroforestiers, sont très complémentaires. Elles sont cohérentes avec la diversité des pratiques de recherche au sein d'INRAE et il est indispensable de veiller à leur articulation. Dans ce qui suit, les sorties du chantier en termes de priorisation sont présentées dans une vision « SUR » les systèmes agroforestiers, pour ancrer les recherches correspondantes dans une activité de production de connaissances et de méthodes, lesquelles pourront être activées/assemblées en appui au développement des systèmes agroforestiers, le plus souvent en partenariat avec des acteurs. Dans cette analyse, aucune différence

²⁰ A l'échelle des programmes de développement à grande échelle de l'agroforesterie, Coe *et al.* (2014) insistent sur l'importance de ne pas se focaliser sur les recherches pour l'agroforesterie afin d'éviter de vouloir imposer partout des solutions validées uniquement localement. Ces programmes doivent plutôt servir de sources de données pour les recherches en agroforesterie au travers d'analyses croisées. Coe R. *et al.*, 2014. Scaling up agroforestry requires research 'in' rather than 'for' development. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 6, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.013>

n'a été faite entre les systèmes tempérés et ceux des régions tropicales, même si dans le cas de ces derniers les données sont plus nombreuses et le retour d'expérience souvent plus avancé²¹.

5.2 Spécificités des recherches sur les systèmes agroforestiers

Si les besoins de recherche convergent avec ceux identifiés lors de l'ARP Agroécologie pour la transition agroécologique de l'agriculture, l'analyse collective a fait ressortir plusieurs spécificités de l'agroforesterie, qui justifient des recherches particulières :

- Introduction d'un **nouvel élément** (ligneux ou herbacé) dans ou autour d'une parcelle agricole (d'herbacée ou de ligneux respectivement). Par extension, l'association d'arbres fruitiers et de cultures herbacées est parfois considérée comme une forme d'agroforesterie (mais ce point n'est pas consensuel). Ceci s'accompagne de différences en terme d'accès aux ressources (eau, nutriments...), d'interactions avec d'autres éléments des agroécosystèmes, d'usages nouveaux ou de services, avec parfois une valorisation dans des filières spécifiques : fourrage, alimentation, plaquettes, bois d'œuvre, bois énergie, produits biosourcés, stockage de carbone, biodiversité, qualité de l'eau, de l'air...
- Existence de dimensions **spatiales** complexes : en hauteur et en profondeur en premier lieu, mais aussi via l'introduction d'hétérogénéités à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du paysage. La plupart des questions de recherches spécifiques aux systèmes agroforestiers sont en relations directes ou indirectes avec la présence de cette hétérogénéité, et ce à différentes échelles.
- Existence de dimensions **temporelles** supplémentaires : nécessité de prendre en compte le temps long associé aux ligneux et le temps annuel de la culture, le fait que les différentes composantes des systèmes agroforestiers ne sont pas gérées sur les mêmes pas de temps, ainsi que les différences de phénologie entre plantes herbacées et ligneuses (aussi bien en ce qui concerne les parties aériennes que souterraines).

Le développement de systèmes agroforestiers s'accompagne donc d'une augmentation de l'**hétérogénéité spatiale et temporelle et de la diversité**, (dans les ressources mais aussi les activités pour l'agriculteur, dans les interactions sol-plante-atmosphère, dans les ressources utilisables par différentes espèces animales dont les pollinisateurs, etc.).

5.3 Identification de domaines prioritaires pour les recherches sur les systèmes agroforestiers

Sur la base des spécificités évoquées précédemment, d'une analyse de l'état de l'art, de leur expertise et des besoins de recherche, les participants au chantier ont identifié cinq grands domaines pour lesquels les compétences des équipes d'INRAE et de leurs partenaires sont ou devraient être mobilisées (Mindmap de synthèse en Annexe 6). Ces domaines sont présentés en détail dans la suite de ce document. Pour chacun d'entre eux, des priorités considérées comme d'ordre 1 ou 2 sont évoquées. Ceci ne signifie pas que les autres points ne présentent pas un intérêt pour la recherche, ni qu'ils ne feront pas l'objet de travaux à INRAE. Il s'agit plutôt d'identifier les sujets les plus originaux pour lesquels le groupe de travail pense qu'INRAE peut et doit assumer une forme de leadership.

5.3.1 Approches méthodologiques spécifiques

La **conception** des systèmes agroforestiers et leur **évaluation**, notamment par le biais de leur **modélisation**, sont des priorités d'ordre un pour ce domaine. Les autres sujets identifiés concernent : (i) l'identification de nouveaux paramètres/observables permettant par exemple de caractériser les

²¹ Cardinael R. *et al.*, 2020. Belowground functioning of agroforestry systems: recent advances and perspectives. *Plant Soil* doi.org/10.1007/s11104-020-04633-x

propriétés émergentes associées aux systèmes agroforestiers et la mise au point de méthodes de mesure adaptées (et particulier télé- et proxidtection) ; (ii) la définition de stratégies et méthodes d'observation²² et/ou d'échantillonnage qui permettent d'obtenir des données pertinentes pour caractériser les différents types d'hétérogénéité ; et (iii) les méthodes statistiques à mobiliser, notamment dans le cas d'expérimentations système et/ou lorsque l'on ne dispose pas d'un témoin ou d'une référence adéquate pour l'analyse de données spatialisées sur de grandes étendues et sur un temps long, ou bien encore les méta-analyses pour identifier les effets selon les contextes.

Il s'agit notamment de procéder à un retour d'expérience sur les dispositifs utilisés en recherche (expérimentations système, sites expérimentaux...) mais aussi sur les dispositifs partenariaux, éventuellement organisés en réseaux, afin de pouvoir identifier les éléments de succès et les écueils à éviter dans la conception et la gestion de nouveaux dispositifs expérimentaux ou d'observatoires. L'évaluation des systèmes agroforestiers, de nature obligatoirement multicritère, requiert le développement d'approches spécifiques, de faire évoluer les notions de performances et de services rendus et implique notamment de considérer les différentes fonctions d'intérêt, notamment en termes de production, et leurs interactions à différentes échelles spatiales (redéfinir l'espace de production, intégrer le supra-parcellaire) et temporelles (saison culturale pour la multi-production, phase productive/non productive, cycle de vie du « système »...). Etant donné l'état des connaissances actuelles sur ces systèmes et la faible quantité de données disponibles (difficulté à créer des indicateurs en l'absence de références), les démarches d'évaluation reposeront notamment sur l'hybridation de différents types de savoirs (empiriques/scientifiques, en dispositif expérimental ou non).

En ce qui concerne la modélisation, les problématiques critiques²³ découlent de la nature biologique variée des éléments à modéliser (par exemple, ligneux vs non ligneux, interactions plantes-animaux...) ainsi que de la nécessité de prendre en compte des processus pour lesquels les milieux (disponibilité en eau, sol, climat...), les échelles temporelles et spatiales caractéristiques peuvent être très différentes. On peut signaler ici l'existence du modèle Hi-sAFe développé au sein de l'UMR System²⁴ (agroforesterie intraparcellaire), ou le modèle TNT2 de l'UMR SAS (haies). Parmi les priorités identifiées figurent les points suivants : développement d'approches permettant la prise en compte de fonctions multiples d'interaction entre organismes, le nombre d'interactions actuellement prises en compte dans les modèles restant faible ; meilleure intégration de dimensions temporelles multiples ; développement de modèles couplant les processus biotiques et abiotiques, notamment à l'échelle du paysage et capables de modéliser différentes pratiques de gestion²⁵ ; méthodes d'analyse des risques dans les systèmes en agroforesterie ou en transition vers l'agroforesterie. La modélisation apparaît comme l'approche privilégiée pour étudier une diversité de configurations et de fonctions, même si elle nécessite des simplifications.

Par ailleurs, il y a un besoin de développer des méthodes d'élicitation, d'intégration et de formalisation de connaissances scientifiques, savoirs empiriques et savoir-faire. Ceci est très utile pour

²² Par exemple : réseaux de capteurs 'low cost' connectés ; données satellitaires multi-domaines (optique, radar) à haute résolution spatiale et temporelle permettant à la fois de caractériser les systèmes et d'élaborer des indicateurs pour décrire le fonctionnement des parcelles/paysage et améliorer la modélisation de leur fonctionnement (par exemple, cycles de l'eau, des nutriments et du carbone ; biodiversité).

²³ Burgess P.J. *et al.*, 2019. Modelling agroforestry systems. In: Mosquera-Losada M.R., Prabhu, R. (Eds) *Agroforestry for Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science 55. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, 209-238. <https://sites.inra.fr/DOI/%2010.19103:AS.2018.0041.13>

²⁴ Hi-sAFe est un modèle mécaniste 3D de simulation de la croissance des arbres et des cultures. Ce modèle représente la compétition entre des arbres et des cultures annuelles ou pérennes pour la lumière, l'eau et l'azote. Dupraz C. *et al.*, 2019. Hi-sAFe: A 3D agroforestry model for integrating dynamic tree-crop interactions. *Sustainability* **11**, 2293. <https://doi.org/10.3390/su11082293>

²⁵ Par exemple, mes arbres font de l'ombre sur la culture intercalaire => je décide de les tailler ou bien de les couper en têtard, d'en abattre 1 rang sur 2, ... Quelles sont les implications ?

la co-conception de systèmes (par exemple, démarche de modélisation d'accompagnement ComMod ou de conception innovante selon le cadre KCP).

5.3.2 Processus fonctionnels et leur couplage²⁶

La recherche sur les **processus fonctionnels** au sein des systèmes agroforestiers est incontournable compte tenu du caractère particulier des agroécosystèmes ainsi constitués. De par leur hétérogénéité et la diversité des arrangements, les systèmes agroforestiers sont le siège de nombreux processus écologiques qui font intervenir des composantes abiotiques et biotiques variées, avec des interactions d'intensité et de fréquence variables selon le système considéré, mais avec aussi des patterns particuliers. Or, les connaissances sur le fonctionnement et les services rendus par ces systèmes sont limitées en comparaison de celles portant sur les monocultures forestières et agricoles, et leur productivité est encore rarement étudiée comme étant le résultat d'interactions positives (facilitation, contribution, diminution de compétition) ou négatives (compétition) entre les espèces sur les allocations et sur la dynamique du carbone, des nutriments ou de l'eau.

Les études à **long terme** sur ce sujet restent également rares alors qu'elles sont nécessaires pour évaluer comment le fonctionnement de ces systèmes va évoluer dans le temps. Par exemple, l'efficacité avec laquelle les espèces en association utilisent les ressources en eau, en nutriments et en lumière a peu été documentée en zone tempérée alors que les systèmes tropicaux sont mieux connus. C'est pourquoi la **description, l'interprétation et la modélisation des processus fonctionnels** (y compris en terme de couplages entre processus aériens et souterrains – *above/belowground*) sont des priorités d'ordre un pour la recherche INRAE : impact sur les sols et les processus associés (transferts d'eau et de gaz ; cycles biogéochimiques et leur couplage ; érosion et altération ; etc.) ; régulation du microclimat ; impact sur le bilan hydrique/énergétique ou la pollution atmosphérique ; émissions de GES ; etc. Il est nécessaire de développer une approche intégrative, en reliant les processus de surface et souterrains, et en couplant également les différents cycles (eau, nutriments, carbone). La recherche doit être le support **d'observations et d'expérimentations à long terme**.

Au sein de ce domaine de recherche, **l'approfondissement des travaux sur les interactions biologiques entre composantes introduites et spontanées des systèmes agroforestiers** justifie d'un intérêt particulier. Si les recherches sur les interactions biologiques au sein des systèmes agroforestiers et leurs conséquences ont déjà permis de générer des connaissances originales, des approfondissements sont néanmoins nécessaires en ce qui concerne l'association ligneux-herbacées, par exemple sur la complémentarité pour l'utilisation des ressources, le partage des niches au niveau souterrain ou la complémentarité des phénologies, ou bien plus largement la problématique de la dynamique de la biodiversité associée aux systèmes agroforestiers, tant d'un point de vue structurel que fonctionnel²⁷. Se pose aussi, au-delà de la description et de la compréhension des interactions, la question de la caractérisation de la variabilité génétique intraspécifique pour des interactions positives ou négatives entre les différents partenaires du système (ligneux, culture, qui peuvent chacun d'entre eux être en mélange inter- ou intra-spécifique), et ceci dans un système hétérogène dans le temps et dans l'espace. Ceci conduit à s'interroger sur les possibilités pour la sélection végétale de contribuer à améliorer les interactions biologiques. Il est également important de comprendre comment la conduite de chacune des composantes du système agroforestier (densité de plantation, fréquence et type de taille, itinéraire technique de la culture intercalaire...) va affecter ces processus²⁸.

²⁶ Pour plus de détails voir la fiche thématique « Processus – Interactions » en Annexe 1.

²⁷ Par exemple, le linéaire d'arbres et la végétation non cultivée au pied des arbres forment-ils un habitat privilégié pour la biodiversité ? Servent-ils de refuge ou de réservoir pour la faune du sol, les adventices ou les auxiliaires aériens face aux stress climatiques et aux interventions culturales sur les cultures intercalaires ?

²⁸ Par exemple, que se passe-t-il sur le système racinaire quand on coupe un arbre en têtard ? En ce qui concerne la culture intercalaire, les interactions/processus mis en jeu ne sont pas les mêmes selon qu'elle soit pluriannuelle, implantée au printemps ou en hiver, conduite en système à bas ou haut niveaux d'intrants, irriguée ou pas...

Le groupe de travail a identifié un angle particulier à explorer qui est celui de **l'écologie chimique**, avec des questionnements sur la manière dont se réalisent les échanges d'informations entre plantes et micro-organismes, entre plantes (phénomènes d'allélopathie par exemple²⁹), ou entre plantes et animaux (attraction vs répulsion ; régulation de l'herbivorie ; etc.), qu'il s'agisse d'invertébrés ou de vertébrés (y compris les animaux domestiques). Les problématiques sont pour partie identiques à celles de la recherche sur les systèmes agricoles « classiques »³⁰, mais avec des questionnements spécifiques liés à la nature complexe et hétérogène des objets considérés. INRAE possède des compétences remarquables dans ce domaine (écologie chimique des insectes ; comportement alimentaire des herbivores ; interactions plantes-microorganismes ; voies de synthèse et propriétés des métabolites secondaires ; etc.) qui pourraient être mobilisées sur ces objets encore peu étudiés.

5.3.3 Propriétés émergentes des systèmes agroforestiers

Comme pour tout système, les processus fonctionnels qui se déroulent au sein des systèmes agroforestiers vont être caractérisés par des dynamiques individuelles avec des constantes de temps différentes (par exemple, lorsque l'on compare les éléments ligneux et les éléments herbacés ou bien encore les compartiments épigés et souterrains). Ces processus sont aussi le support de diverses fonctions écologiques, non nécessairement colinéaires, fonctions qui vont être dans certains cas le support d'aménités ou de services écosystémiques. Les systèmes agroforestiers, de par leur nature, sont potentiellement favorables à la biodiversité et à la fourniture de divers services (régulation biologique des bioagresseurs, stockage de carbone, provision de biomasse à usage non alimentaire, attractivité des territoires, bien-être, etc.) et cette problématique a notamment fait l'objet de projets de recherches financés dans le cadre du métaprogramme ECOSERV.

Les recherches interdisciplinaires initiées sur ces questions doivent se poursuivre, notamment en approfondissant l'analyse et l'intégration, spatiales et temporelles, des fonctions et services afin de mieux comprendre le rôle des interfaces (influence de leur géométrie ou de leur gestion) et de progresser dans sa modélisation. Le groupe de travail a identifié comme priorité d'ordre un l'étude des **propriétés émergentes des systèmes agroforestiers**, plus particulièrement en ce qui concerne leur contribution à la **résilience aux aléas** de nature diverse et leurs **effets à large échelle temporelle et spatiale** (*i.e.*, au-delà de l'échelle spatiale du système agroforestier considéré), notamment en terme de contribution aux processus d'atténuation ou de bilan hydrique ou énergétique.

5.3.3.1 Résilience aux aléas

L'agroforesterie engendre une diversité de strates et une diversification des produits agricoles qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur la résilience de l'exploitation agricole face à divers aléas, notamment climatiques, économiques (par exemple, volatilité des prix contrebalancée par une diversité de production sur l'exploitation). Des données multiples, issues le plus souvent d'études de cas, suggèrent que l'agroforesterie, considérée comme un élément de l'agroécologie, augmente la résilience aux aléas et aux effets à long terme de la variabilité et du changement climatique³¹. Les processus impliqués sont multiples : modification du microclimat favorable à la strate herbacée ou aux animaux ; réduction de l'érosion des sols due à l'eau et au vent, et amélioration de l'état physique et de la fertilité du sol, protégeant ainsi leur productivité future ; protection des berges, limitation de la

²⁹ Par exemple, la juglone produite par les noyers agit comme un inhibiteur de croissance pouvant entraîner une baisse du taux de croissance racinaire, de l'activité photosynthétique ou de la respiration foliaire des espèces de la strate herbacée. En général toutefois, l'impact de l'allélopathie sur le rendement des couverts herbacés est peu étudié. La juglone est très photosensible et facilement oxydable. Le travail du sol pourrait ainsi expliquer que l'on n'observe pas d'effet des noyers sur la germination des cultures. En revanche, la question reste posée pour les systèmes de culture sans travail du sol.

³⁰ Brill F. *et al.*, 2019. Exploiting plant volatile organic compounds (VOCs) in agriculture to improve sustainable defense strategies and productivity of crops. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00264>

³¹ Voir par exemple Leippert F. *et al.*, 2020. *The potential of agroecology to build climate-resilient livelihoods and food systems*. Rome. FAO and Biovision. <https://doi.org/10.4060/cb0438en>

pollution et réduction de la température des cours d'eau ; création d'habitats refuges et rétablissement de la connectivité des habitats au sein de paysages agricoles fragmentés ; protection de la biodiversité, y compris les pollinisateurs et les auxiliaires ; support de systèmes de production alimentaire innovants avec une diversification des productions et une plus grande stabilité économique pour les exploitants.

Toutefois, il y a encore peu de démonstration réelle de la performance relative de l'agroforesterie par rapport à d'autres systèmes de production de référence qui aille au-delà d'une série d'études de cas. L'enjeu pour la recherche est donc de réaliser des travaux qui prennent en compte toutes les composantes des systèmes agroforestiers et surtout avec une profondeur temporelle suffisante, notamment par modélisation, pour véritablement évaluer leurs performances en termes de résilience aux aléas. Des études comparatives mieux conçues sont nécessaires, avec un plan d'échantillonnage adapté. Une autre façon de progresser est de procéder à des évaluations de la performance relative des systèmes agroforestiers par rapport à des systèmes de référence dans le contexte d'événements extrêmes tels que sécheresses, ouragans, etc.

5.3.3.2 Intégration des effets à large échelle temporelle et spatiale

La contribution des systèmes agroforestiers à l'atténuation du changement climatique est souvent évoquée comme l'une de leurs propriétés émergentes. Dans le rapport spécial du GIEC sur les écosystèmes terrestres publié en août 2019³², l'agroforesterie est même présentée comme une option gagnant-gagnant en offrant des opportunités à la fois en terme d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Malgré l'importante diversité des systèmes agroforestiers, des études et méta-analyses récentes suggèrent que la conversion des terres arables en systèmes agroforestiers entraîne une augmentation des stocks de carbone organique du sol, un atout dans le cadre des démarches de type 4/1000³³. Les besoins de recherche concernent notamment la dynamique temporelle (plusieurs années, souvent une décennie, sont nécessaires pour détecter un changement dans les stocks de carbone organique du sol, ce qui implique de se donner les moyens pour réaliser des suivis avec une plus grande profondeur temporelle) et spatiale (hétérogénéités spatiales latérales, en fonction des types de systèmes agroforestiers et de la disposition spatiale des arbres ; rôle du couvert herbacé sous les arbres ; contribution des animaux au pâturage lorsqu'ils sont présents ; rôle de l'enracinement profond des arbres) du bilan de carbone. Par ailleurs, seules quelques études ont porté sur les émissions d'oxyde nitreux (N₂O) en agroforesterie et sur le rôle des arbres fixateurs d'azote dans ces émissions. Au-delà de la contribution potentielle des systèmes agroforestiers à l'atténuation du changement climatique, la manière dont ces systèmes s'adaptent au changement climatique par rapport aux systèmes de culture conventionnels mérite d'être examinée plus avant.

Les effets des systèmes agroforestiers sur les bilans d'énergie et radiatifs, notamment sur l'albédo, et sur le bilan hydrique demeurent encore peu connus. Or, les forêts (sombres) ont tendance à diminuer l'albédo, contrairement aux cultures annuelles (claires) qui sont plus efficaces sur ce point. Se pose notamment la question des configurations spatiales ou des espèces ou des modes de conduite des arbres qui permettraient d'augmenter l'albédo des surfaces agroforestières. Des études de cas ont

³² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019. *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Summary for Policymakers, approved draft. IPCC, Geneva, Switzerland, 41 pp. <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>

³³ Par exemple, une synthèse de 25 références sur l'agroforesterie intra-parcellaire pour des systèmes sylvo-arables (alignements d'arbres à faibles densités (30 à 200 arbres/ha), implantés au sein de parcelles cultivées) placés dans des conditions proches des conditions françaises indique un taux moyen de stockage additionnel de 250 kgC/ha/an, avec un intervalle de confiance à 95% compris entre -230 et +730 kgC/ha/an. En plus du stockage additionnel de C dans le sol, la plantation d'arbres en parcelles agricoles accroît la séquestration de carbone dans la biomasse ligneuse. Dans le cas des haies, sur la base de 12 études, le taux de stockage atteint +750 kgC/ha de haie/an, avec un intervalle de confiance compris entre +490 et +1 020 kgC/ha de haie/an, pour les haies implantées sur des parcelles cultivées. Pellerin *et al.*, 2019. *Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?* Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 p. 

déjà été réalisées dans certaines régions³⁴. L'extrapolation à d'autres situations, et en contexte de climat changeant, est une question majeure. Il s'agit d'analyser et de documenter ces effets et leurs interactions dans une diversité de contextes géo-pédo-climatiques et pour une diversité de configurations agroforestières.

Plus largement, la problématique de l'impact de l'agroforesterie, en particulier en zone péri-urbaine, sur les effets de chaleur estivale (importée en ville par convection et effet d'oasis) mérite attention. Les questionnements relatifs aux interactions entre systèmes agroforestiers et bilan énergétique et hydrique rejoignent ceux qui concernent les forêts urbaines et péri-urbaines et les arbres en ville.

Quelle que soit la propriété émergente considérée, la caractérisation des échelles spatiale et temporelle à laquelle elle se manifeste est une priorité. Elle nécessite de disposer des réseaux d'observation et de mesure *ad hoc*. La mobilisation d'approches de modélisation multi-scalaire est aussi nécessaire pour intégrer les données.

Les travaux correspondants doivent impérativement associer des dimensions économiques. Ainsi, les travaux menés lors de l'étude INRA sur le stockage du carbone dans les sols français ont mis en évidence qu'il y avait matière à réflexion pour les économistes (par exemple, calcul des coûts d'opportunité dans des environnements incertains et avec une perspective de production à long terme).

5.3.4 Processus de gestion

Le domaine des processus de gestion recouvre différents aspects dont certains sont spécifiques des systèmes agroforestiers, notamment en ce qui concerne les arbres hors-forêt (comportement, particularité des espèces, statut juridique, etc.), la nature et la gestion des systèmes associés (y compris la présence d'animaux d'élevage) et l'articulation entre les différentes fonctions supportées par les systèmes agroforestiers. Les recherches sur ces questions peuvent être réalisées sur des dispositifs expérimentaux dédiés mais aussi dans le cadre de réseaux partenariaux.

Le groupe de travail a identifié trois problématiques prioritaires pour INRAE : (i) le **screening des espèces** et variétés **utilisables** ; (ii) **l'intégration des ligneux dans les systèmes d'élevage** ; et (iii) **l'articulation entre fonction de production et autres fonctions**.

5.3.4.1 Screening des espèces utilisables

Les caractéristiques particulières des systèmes agroforestiers impliquent de s'intéresser à l'identification des espèces/variétés à introduire, tant pour les ligneux que pour les cultures intercalaires, voire pour les espèces animales. Il s'agit notamment de tenir compte de la réaction à l'ombrage pour les cultures intercalaires. Par ailleurs, il faut intégrer dans le raisonnement les contraintes actuelles et futures qu'imposent le changement climatique et la diversité des fonctions et productions souhaitées.

Dans la plupart des cas, le premier travail à réaliser est celui d'un screening pour analyser les traits de réponse aux conditions qui prévalent en agroforesterie, sans pour autant négliger les demandes des filières de transformation, distribution et consommation. Les nombreuses interactions aériennes et racinaires entre arbre et cultures conduisent à repenser les stratégies d'amélioration des plantes par le choix de critères de sélection intégrant non seulement des enjeux de compétition et d'adaptation mais aussi des enjeux de facilitation. La sélection de variétés de la strate herbacée mieux adaptées à une limitation de l'intensité lumineuse via une efficacité photosynthétique accrue est une autre question importante. L'agroforesterie invite à considérer aussi les critères d'effets de la culture

³⁴ Voir par exemple Guyot G., Seguin B., 1976. Influence du bocage sur le climat d'une petite région. C.R. Table ronde C.N.R.S. Écosystèmes bocagers, Rennes, 121-130.

sur l'environnement, parmi lesquels non seulement des traits de services (attraction des auxiliaires ; aération du sol ; stimulation des défenses naturelles ; stockage de C...) mais aussi des traits permettant à la variété de contribuer positivement à l'environnement biophysique, économique, et social. Le défi est donc d'atteindre un équilibre complexe entre différents phénomènes (compétition/facilitation par exemple).

En ce qui concerne les animaux, des avancées plus immédiatement réalisables concernent l'apprentissage et la mise en œuvre de pratiques de protection des arbres. A un horizon plus lointain, il pourrait être pertinent d'intégrer dans les critères de sélection animale la performance de valorisation des ressources ligneuses à vocation fourragère (aptitude à consommer des ligneux), ou à l'inverse la capacité à les éviter et à ne pas les dégrader.

Le groupe de travail considère que la phase de screening est prioritaire. Les outils de phénotypage à moyen/haut débit dont INRAE s'est doté récemment constituent des atouts (même si certains ne sont pas déployables dans toutes les situations, comme par exemple la phénobile qui aura du mal à passer dans des inter-rangs étroits). Si des travaux ont été menés à INRAE sur blé dur, ils font encore figure d'exception. Pour les ligneux, très peu de travaux de sélection ont été réalisés, quelle que soit leur vocation (bois d'œuvre, fourrage...). Un travail spécifique est attendu sur la caractérisation et la sélection des porte-greffes, qui aurait aussi un grand intérêt en arboriculture fruitière, indépendamment de la problématique agroforestière. De même, la question des espèces fixatrices d'azote, notamment ligneuses (aulne, robinier et dans une moindre mesure févier), quoique déjà travaillée, mérite d'être approfondie, y compris au-delà des questions agronomiques en raison du caractère exotique et potentiellement invasif de certaines espèces comme le robinier³⁵. Compte tenu de l'importance encore faible du secteur de l'agroforesterie et de l'implication des acteurs, la sélection participative apparaît comme une stratégie à privilégier, y compris pour les ligneux.

5.3.4.2 Intégration des ligneux dans les systèmes d'élevage

L'intégration des ligneux dans les systèmes d'élevage est une problématique qui peut être portée à haut niveau par INRAE. L'expérience acquise au travers de projets tels que PARASOL (programme REACTIF de l'ADEME), ARBELE (CasDAR IP) ou l'expérimentation système OasYs en cours à Lusignan donne à INRAE une légitimité certaine pour porter des projets associant agroforesterie et élevage, en particulier en zone tempérée.

De nombreuses questions de recherche ont été identifiées sur cette problématique (voir Annexe 2). De manière schématique, elles se répartissent selon trois entrées.

La première concerne les intérêts de l'arbre en tant que ressource alimentaire alternative pour les animaux d'élevage (herbivores, porcs, volailles). Qu'il s'agisse de feuillage ou de fruits, cette ressource, qui permet d'améliorer l'autonomie alimentaire des exploitations, mérite d'être mieux caractérisée. Des questions se posent sur la valeur alimentaire de cette ressource (avec la difficulté de la grande diversité des facteurs de variation : essences, organes, stade phénologique), ainsi que sur le comportement alimentaire des animaux (sélection, niveaux d'ingestion). Cette connaissance permettrait d'évaluer la part que les ligneux pourraient prendre dans la ration des ruminants notamment, en fonction des saisons et de leur gestion. Concernant les ligneux, des questions se

³⁵ En tant qu'espèce exotique, le robinier génère des opinions controversées, en particulier entre forestiers et protecteurs de la nature. Ses impacts environnementaux sont jugés globalement négatifs ou au contraire positifs selon les regards qui lui sont portés (conservation de la nature, protection d'espèces ou d'habitats, foresterie, aménagement urbain, apiculture, utilisations diverses de son bois, etc.). Comme pour de nombreux arbres exotiques utilisés en sylviculture ou en aménagement paysager, les priorités de gestion diffèrent selon les pays. Si le robinier ne fait pas partie de la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union Européenne, c'est bien la conséquence d'une absence d'accord des états membres, liée en partie à des réactions du monde forestier. Pour en savoir plus, voir <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/quelle-strategie-de-gestion-pour-le-robinier-faux-acacia/>

posent quant à leur potentiel fourrager, en termes de quantité de biomasse produite et de capacité à supporter une exploitation soutenue, par pâturage sur pied ou par récolte.

La deuxième concerne les intérêts en termes de bien-être et de santé animale. Les ligneux permettent d'apporter une protection contre les aléas climatiques et de réduire le stress thermique, qu'il convient encore de caractériser dans nos zones tempérées. La « valeur santé » mérite également d'être explorée, à la fois via la consommation par l'animal de produits issus des ligneux (teneur en composés secondaires par exemple avec des effets positifs ou négatifs) mais aussi via les interactions potentiellement facilitées avec les populations de parasites ou la faune sauvage vectrice de maladies, avec des risques de transmission de zoonoses.

La troisième porte sur l'interaction entre l'animal, les ligneux et la strate intercalaire dans l'espace et dans le temps. Le type de ligneux, leur densité et leur implantation vont impacter à la fois la strate herbacée et le comportement de l'animal (déplacements, défoliation, piétinement, déjections...), du fait de ses diverses motivations au pâturage (alimentation, protection, congénères, prédation) et de sa perception de l'arbre (élément rassurant vs stressant). Cela va affecter l'exploitation de la parcelle et donc le fonctionnement et la pérennité du système. Le besoin de données est ici important afin de pouvoir étudier différents scénarios en faisant varier les composantes du système, notamment par une approche de modélisation.

Les réponses à ces questions permettront de proposer des itinéraires techniques en vue d'optimiser le rapport coûts/bénéfices (bien-être, production et santé animale, production des ligneux et de la prairie, durabilité du système, adaptation à des aléas climatiques, etc.) dans diverses situations. Les objectifs recherchés et les conditions pédoclimatiques détermineront le choix des essences ligneuses, de la densité de plantation, du type et des périodes d'exploitation.

5.3.4.3 Articulation entre fonction de production et autres fonctions écosystémiques

L'agroforesterie possède certaines spécificités vis-à-vis des autres productions végétales, dont la principale est de vouloir cultiver sur une même surface des espèces occupant des strates différentes, et de bénéficier des interactions qui en résultent, dans l'espace et dans le temps. Ces effets sont graduels dans le temps, de quasi nuls au moment de la plantation à potentiellement très élevés juste avant la récolte de l'arbre (s'il est récolté à maturité), et varient aussi selon l'espèce arborée et notamment le caractère persistant ou non des feuilles. Ils sont aussi hétérogènes dans l'espace en fonction de la distance entre culture et ligneux.

S'engager dans l'agroforesterie, c'est donc aussi devoir gérer des interactions multiples entre différentes fonctions. Il s'agit par exemple d'organiser spatialement les modes de gestion des ligneux et les modes de gestion des couverts en prairie/cultures pour favoriser l'expression des services écosystémiques associés à leurs mosaïques. La dimension temporelle est essentielle de manière à gérer des processus et des fonctions à différents pas de temps et à différentes échelles. Au sein des systèmes agroforestiers, des concurrences peuvent apparaître dans l'espace et à différents pas de temps entre les processus et fonctions en jeu dans les services de production et ceux en jeu dans les autres services. Il y a un besoin de connaissances sur ces phénomènes de concurrence pour aider à la conception et à la gestion de systèmes agroforestiers durables.

5.3.5 Ressources pour les acteurs – Transition et leviers

Les objectifs définis par les acteurs posent le cadre du système agroforestier à construire. Les besoins exprimés de l'agriculteur traduisent des objectifs³⁶, qui peuvent être d'ordre agronomique, environnemental, liés à la biodiversité, réglementaire, paysager/patrimonial...

³⁶ Guide du conseiller pour accompagner des projets agroforestiers, 2020 ; https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=152429

Les recherches sur les ressources pour les acteurs présentent des points communs à l'ensemble des secteurs agricoles, notamment dès lors qu'il s'agit de considérer les évolutions des pratiques, voire les transitions. Dans le cas présent, une partie des questionnements de recherche rejoint ceux qui ont été identifiés lors de l'ARP Agroécologie, notamment en ce qui concerne l'étude des freins et leviers (agronomiques, environnementaux, socio-économiques) à la transition.

C'est ainsi par exemple que la transition des exploitations vers l'agroforesterie peut être analysée et accompagnée selon les démarches promues pour la transition agroécologique des exploitations avec des questionnements pour la recherche, tant fondamentale que finalisée : (i) prise en compte simultanée de processus sur des temps courts et sur des temps longs et visée d'autres services que la production ; (ii) gestion qui n'est plus prédéterminée mais adaptative : les objectifs et règles de décision peuvent évoluer en fonction des connaissances acquises sur le long terme, comme au fur et à mesure des variations de l'état du système ; (iii) échelles de gestion emboîtées, de l'échelle parcellaire (plante-plante, plantes-organismes associés...) à celle de l'exploitation agricole, du paysage et du territoire ; (iv) généralité qui n'est pas à rechercher dans les solutions techniques, mais plutôt dans les cadres et outils pour favoriser la capacité d'adaptation et de coordination des acteurs.

Le déploiement de l'agroforesterie nécessite un changement de modes de raisonnement pour piloter l'agroécosystème sur la base des processus écosystémiques. Les solutions deviennent singulières du fait d'une adaptation du système de production à son contexte, en intégrant les incertitudes (connaissances incomplètes, effet des actions...). De ce fait, la visée et la trajectoire de la transition agroforestière d'une exploitation agricole se raisonnent localement et chemin faisant. Le cadre conceptuel que Martin *et al.* (2018)³⁷ ont proposé pour articuler les différentes approches de la transition agroécologique et produire une compréhension des transitions plus complète et utile pour concevoir leurs modes d'accompagnement par les politiques publiques ou les praticiens peut, moyennant probablement certaines adaptations, s'appliquer à la transition agroforestière des exploitations.

Des enjeux spécifiques portent sur le renforcement des ressources humaines, foncières/naturelles, et matérielles/économiques des agriculteurs, pour les aider à concevoir/assurer des systèmes agroforestiers durables y compris à des échelles collectives. Cela demande des approches spécialisées mais aussi des approches intégrées des systèmes agroforestiers dans leurs contextes territorial et plus global, environnemental, politique et socio-économique. Il est aussi indispensable de disposer de références. Dans le contexte des recherches « pour » l'agroforesterie, les questions autour de l'évaluation économique des coûts/bénéfices (en tenant ou pas compte des externalités non marchandes) reviennent très fréquemment.

Le groupe de travail a identifié deux problématiques prioritaires sur ce domaine : (i) la **perception de l'agroforesterie et la place de l'arbre dans les espaces agricoles** ; et (ii) le **rôle des politiques publiques**. Dans les deux cas, les travaux à réaliser sont fortement interdisciplinaires et ils nécessitent de rechercher des collaborations en dehors d'INRAE pour bénéficier de ressources disciplinaires peu ou pas présentes au sein de l'institut (anthropologie, philosophie...). Les questions relatives aux filières (alimentaires et non alimentaires) et du modèle économique des exploitations (incluant les questions de différenciation et de labellisation), quoiqu'importantes ont été jugées moins prioritaires.

5.3.5.1 Perception de l'agroforesterie et place de l'arbre dans les espaces ruraux

L'agroforesterie est très souvent présentée et vue dans le grand public et la presse comme une solution « miracle » aux maux de l'agriculture et pour répondre aux enjeux environnementaux. Cette image très positive peut donner l'impression d'une légitimité intrinsèque et robuste. Pourtant, elle n'est pas toujours partagée, notamment par une partie des agriculteurs qui s'expriment des avis très

³⁷ Martin G. *et al.*, 2018. How to address the sustainability transition of farming systems? A conceptual framework to organize research. *Sustainability*, **10**, 1-20.

critiques dans leurs réseaux. Plusieurs images de l'agroforesterie sont donc en présence et se confrontent, notamment au sein du monde agricole. Mieux comprendre comment se construisent ces images aiderait à identifier des freins et des motivations à développer l'agroforesterie.

Il convient toutefois de rappeler que la perception de la place de l'arbre (et de l'agroforesterie) dans les espaces ruraux est profondément culturelle et le fruit d'une histoire locale qui remonte parfois à plusieurs siècles ; de plus, les poids relatifs des aspects positifs ou négatifs de différentes pratiques pour les acteurs sont variables³⁸.

L'image de l'agroforesterie pourrait par exemple évoluer avec l'émergence d'agroforesterie sur de très grandes surfaces, ou avec des essences exotiques, ou nécessitant de l'irrigation ou si la perception que l'agroforesterie est une artificialisation (culture d'arbres isolés et alignés) venait à s'imposer. Par ailleurs, l'image de l'agroforesterie comme un modèle normé positif qui serait efficacement soutenu par des politiques prescriptives, peut susciter du rejet de la part des agriculteurs qui y verraient une interférence externe dans leurs systèmes et une réduction de leur autonomie de décision. Loin d'être négligeables, ces effets de verrouillage peuvent être déterminants et nécessitent d'être mieux compris.

Dans ce contexte, les questions de recherche concernent notamment la manière dont se construit et évolue l'image de l'agroforesterie auprès de différents publics, l'origine de la diversité des perceptions³⁹ ou bien encore les liens entre l'image de l'agroforesterie et les images de l'agriculture et de la foresterie. Les travaux consacrés à cette dimension doivent donc impérativement intégrer cette dimension culturelle et historique.

Dans le cas des systèmes dérivés de vergers, une optimisation agronomique et économique serait à rechercher via l'introduction de cultures annuelles dans les interrangs. Là aussi des freins sont à identifier et des réflexions importantes sur les vergers du futur à entreprendre.

Par ailleurs, l'exploitation des arbres cristallise souvent les divergences de perceptions des arbres et des espaces arborés. La légitimité des coupes ou de certains actes de gestion et entretien est parfois remise en question, mais c'est aussi bien souvent les modalités de ces interventions qui sont mal comprises ou acceptées. Cette fois encore les questions sont multiples. Elles portent notamment sur la manière dont sont perçues les pratiques de gestion des arbres et espaces arborés et les pratiques d'agroforesterie⁴⁰, l'intérêt d'une meilleure visibilité sur les raisons des pratiques de manière à les faire mieux accepter ou les possibilités de faire évoluer les pratiques pour les rendre plus acceptables (y compris via l'implication citoyenne).

Enfin, la question du statut juridique des arbres n'est pas sans intérêt, y compris du point de vue de la recherche. Actuellement, les arbres appartiennent juridiquement à un propriétaire donné. Dans le cas des fermages, qui concernent 70% de la SAU française, et autres modes de relations entre propriétaire foncier et utilisateurs/gestionnaires, le statut des arbres et de leur devenir ainsi que la valeur vénale des parcelles plantées sont régis par des règles qui sont variables selon les situations. Cette diversité de situations est à la fois parfois un obstacle au développement de l'agroforesterie du fait de l'insécurité juridique induite, et parfois une ressource pour identifier des modalités d'accord plus acceptables par les parties concernées. Mieux connaître cette diversité de règles, au-delà de la législation établie, serait utile pour identifier des leviers favorables à l'agroforesterie. Au-delà, les questions posées à la recherche portent par exemple sur les modalités de clarification et de

³⁸ Voir par exemple les résultats du projet européen AGFORWARD ; Garcia de Jalon S. *et al.*, 2018. How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agroforest. Syst.*, **92**, 829–848. [DOI:10.1007/s10457-017-0116-3](https://doi.org/10.1007/s10457-017-0116-3)

³⁹ Par exemple, pourquoi certains agriculteurs sont-ils beaucoup plus critiques que d'autres sur l'agroforesterie, parfois qualifiée « d'agrofumisterie » ?

⁴⁰ Par exemple, l'agroforesterie correspond-elle à une renaturation de l'agriculture ou à une artificialisation des espaces arborés ?

sécurisation du statut juridique des arbres et espaces arborés dans les conditions agricoles et des territoires ruraux, sur la manière dont les arbres et espaces arborés sont pris en compte dans les interactions entre acteurs d'un territoire, notamment dans les relations de voisinage, sur l'identification des règles qui seraient les plus adaptées au développement de l'agroforesterie, etc.

Malgré ce statut de propriété privée, les arbres sont souvent vus comme étant aussi une sorte de « bien commun » dont le devenir concernerait d'autres acteurs que les seuls propriétaires et gestionnaires. Ceci se traduit en France par exemple dans l'évolution du Code de l'urbanisme⁴¹. Pour l'agroforesterie, cette « mise en commun » est peut-être moins vive au moment de la plantation que pour d'autres formes d'espaces arborés, mais ce sentiment pourrait devenir plus fort à mesure que les arbres vieillissent. Considérées du point de vue de la recherche, les problématiques concernent la manière dont se forme cette perception en « biens communs » des arbres, voire de l'agroforesterie elle-même et quelles en sont les conséquences.

5.3.5.2 Rôle des politiques publiques

Des enjeux spécifiques portent sur le renforcement des ressources humaines, foncières/naturelles, et matérielles/économiques des agriculteurs, pour les aider à concevoir/assurer des systèmes agroforestiers durables y compris à des échelles collectives. Cela demande des approches spécialisées (aspects travail et bien-être de l'agriculteur en réponse à l'introduction de ligneux ; temps de travail et agroforesterie : quelle priorisation du travail entre arbres et cultures ?) mais aussi des approches intégrées des systèmes agroforestiers dans leur contexte territorial et plus global (environnemental, politique et socio-économique).

La vision collective peut être intéressante, d'une part pour le partage de compétences, des risques et des investissements, d'autre part pour atteindre des objectifs de résultats à l'échelle de territoires locaux, de paysages (par exemple, éviter des phénomènes d'érosion des sols ou des déprédations massives par les bioagresseurs). L'existence d'associations dédiées et de réseaux (par exemple, mais pas uniquement, le RMT AgroforesterieS) offre de nombreuses opportunités qu'il s'agit de saisir. Dans un contexte actuel de gestion largement individuelle des systèmes agroforestiers, il est nécessaire d'identifier pour quels objectifs une coordination des agriculteurs agro-forestiers est utile, sur quels aspects des systèmes agroforestiers et comment (par exemple, location par les agriculteurs à un tiers pour production d'énergie ; conception de plantations à l'échelle de territoire locaux ; mise en commun de matériel et (re)développement de chantiers collectifs de taille...).

Les questions prioritaires concernent les **outils permettant d'articuler gestion productive, gestion environnementale et gestion patrimoniale** des systèmes agroforestiers (par exemple, droit foncier, politiques agricoles, politiques d'aménagement du paysage). Il s'agit aussi de construire le modèle économique de l'exploitation selon les choix et performances d'optimisation relative des systèmes agroforestiers, et selon les valeurs attribuées à ces performances, par exemple selon des hypothèses de marchés et de Paiements pour Services Environnementaux. Une attention particulière doit être portée à la place de l'agroforesterie en lien avec l'évolution de la PAC⁴² et des MAEC.

⁴¹ Le texte de l'Art. L130-1 du Code de l'urbanisme qui, à l'origine, permettait seulement de protéger une surface boisée, autorise aujourd'hui de protéger un parc, une haie, un alignement et même un arbre isolé. L'article 123-1-5 de ce même Code permet aussi de localiser, dans les Plans Locaux d'Urbanisme, des éléments de paysage à protéger et de définir des prescriptions de nature à assurer leurs préservations.

⁴² Dans le cadre de la PAC 2015-2020, l'octroi d'aide au titre du premier pilier pour les Surfaces d'Intérêt Ecologique « Hectares en agroforesterie » n'est valable que pour les parcelles admissibles aux paiements directs (densité maximale de 100 arbres forestiers/ha) et dont la plantation a bénéficié de l'aide à la mise en place de systèmes agroforestiers (mesure 222 sur la période 2007/2014 ; mesure 8.2 « Aide à l'installation des systèmes agroforestiers » du second pilier sur la période 2015/2020).

6. Analyse des besoins en compétences

Chaque groupe de travail a identifié dans son domaine des besoins de renforcement en compétences (cf. Annexes 1 à 5).

Pour une part importante, il s'agit de compétences génériques relativement « classiques » pour INRAE (écophysiologie végétale ou physiologie animale, bioclimatologie, écologie fonctionnelle, sciences du sol, agronomie, zootechnie, modélisation, etc.) mais qui pourraient être mobilisées sur de nouvelles problématiques de recherche propres aux systèmes agroforestiers telle que présentées dans le § 5), notamment :

- Interactions entre plantes annuelles et pérennes – partage de niches au niveau souterrain ; efficacité d'utilisation des ressources.
- Interactions entre développement et phénologie des plantes ligneuses et pérennes herbacées
- Interactions entre plantes ligneuses et animaux d'élevage.
- Analyse et gestion de la variabilité génétique – Sélection variétale végétale sous contraintes édaphique et climatique et prenant en compte, outre les traits racinaires qui sont déjà intégrés, les traits liés à l'ombrage, aux fortes concurrences hydriques et nutritionnelles des arbres et à la présence de prédateurs (oiseaux, fourmis, etc.) plus nombreux en agroforesterie ; Sélection animale intégrant des traits spécifiques pour l'adaptation aux systèmes agroforestiers.
- Analyse des transitions et de l'innovation – modèle économique des exploitations ; organisation du travail ; etc.
- Influence des systèmes agroforestiers sur la qualité des produits végétaux ou animaux.
- Résilience des systèmes agroforestiers.

En complément des compétences scientifiques, il convient de ne pas oublier la valorisation des dispositifs expérimentaux de longue durée et le soutien aux unités qui les gèrent (UE notamment). Il peut s'agir d'expérimentations système ou factorielles, qui sont dans tous les cas des expérimentations à moyen/long terme. Cette fois encore, les besoins en compétences peuvent être de nature générique mais il peut être nécessaire de favoriser la multidisciplinarité au sein des unités en positionnant certaines compétences dans des contextes « exotiques » (par exemple, ITA forestiers dans une UE de production animale ou végétale).

Comme souvent, il y a une attente forte d'un renforcement de la capacité à travailler de manière interdisciplinaire, dans une démarche proche de celle promue dans le cadre des métaprogrammes. Il est à noter d'ailleurs que la mobilisation des compétences sur des projets interdisciplinaires concernant les systèmes agroforestiers pourrait s'envisager dans le cadre même des métaprogrammes de la nouvelle génération (par exemple, BETTER, BIOSEFAIR, CLIMAE ou METABIO), plutôt que de créer un métaprogramme propre aux questions de recherche relative à l'agroforesterie qui ne concernerait qu'une communauté restreinte.

Le rôle clé des acteurs de terrain dans le changement d'échelle de l'agroforesterie questionne la manière de faire de la recherche en plaidant pour une démarche résolument transdisciplinaire. Le RMT AgroforesterieS doit être un lieu privilégié pour la rencontre entre les différentes communautés.

Outre des recrutements, la réponse aux besoins en compétences peut s'envisager selon les différentes modalités auxquelles il est habituellement fait recours : collaboration externe, formation continue et trajectoire professionnelle, notamment via des échanges d'expérience ou un compagnonnage entre personnels des UE chargés de gérer des plateformes d'agroforesterie⁴³.

⁴³ Comme pour la conversion en AB, la mise en place d'un dispositif AF dans les UE nécessite d'embarquer tout le personnel technique dans la décision, et cela est facilité par des échanges avec des techniciens gérant déjà ce type de dispositif.

Dans certains cas, c'est via la collaboration avec des chercheurs d'autres organismes que les compétences nécessaires pourront être mobilisées. Ainsi, INRAE comporte peu de compétences adaptées pour traiter en propre les problématiques relatives aux dimensions non biotechniques ou économiques (par ex. perception et valeurs symboliques des arbres ou leur statut juridique). Elles nécessitent en effet des recherches ethnographiques, sociologiques ou psychologiques pour lesquels il y a peu de chercheurs dans l'institut. D'autres organismes, comme le CNRS ou certaines universités, traitent plus volontiers ces questions, mais souvent sans y inclure une dimension biotechnique que peut apporter les recherches conduites à INRAE. Les dispositifs de recherche intégrée et à long terme, comme les Systèmes d'observation et d'expérimentation pour la recherche en environnement (SOERE), les zones ateliers, les Observatoires Homme-Milieu ou les réserves de biosphère du programme MAB peuvent être des endroits propices à des interactions interdisciplinaires autour de ces questions. Elles impliquent néanmoins un temps relativement long d'étude.

Pour INRAE, l'enjeu autour de ces questions est double : d'une part diffuser une culture générale auprès des scientifiques pour expliquer en quoi ces questions sont importantes et à prendre en considération en même temps que les questions biotechniques ; d'autre part, favoriser des collaborations pertinentes avec des collègues d'autres organismes apportant des disciplines requises. Par certains aspects, la montée en puissance des attentions d'une partie agissante de la société envers les arbres, et donc l'agroforesterie, peut s'apparenter aux préoccupations actuelles concernant l'élevage et le bien être animal. Mieux se préparer à ces débats de société serait sans doute utile.

7. Partenariat⁴⁴

7.1 Partenariat en recherche et recherche-développement

Outre le contexte favorable offert par la présence dans certaines UMR de collègues appartenant à d'autres organismes (CIRAD, Institut Agro...) qui sont eux/elles-mêmes impliqués dans des recherches sur et pour l'agroforesterie, y compris dans les régions ultramarines, quelques pistes ont été identifiées au niveau national et international, mais elles ont ici surtout valeur d'exemples :

- **Institut Polytechnique LaSalle Beauvais** pour traiter des questions de gestion des ligneux selon le ou les usages choisis (production fourragère, d'ombrage, valorisation du bois...), notamment via la mobilisation de modèles allométriques.
- Réseau de partenaires du **pôle Theia Surfaces continentales** pour traiter des développements des approches de télédétection appliquées au contexte de l'agroforesterie. Les arbres hors forêts incluant les haies ou les fragments boisés sont relativement bien détectés à partir d'images à haut niveau de détail et ceci, de façon opérationnelle. Pour les parcelles en agroforesterie, très peu de travaux existent et leur détection doit être confirmée par des observations de terrain⁴⁵.
- **Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège**, en ce qui concerne les problématiques de comportement des animaux vis-à-vis des arbres et des formations arborées

Par ailleurs, des réflexions sur le développement des recherches en agroforesterie existent également dans d'autres organismes de recherche européens (comme par exemple Agroscope).

Enfin, la labellisation renouvelée du RMT AgroforesterieS, survenue en 2020 permet d'envisager de futures actions avec les partenaires du réseau (voir le résumé exécutif du projet de RMT en Annexe 7) qui regroupe outre 22 unités d'INRAE et du CIRAD de nombreux acteurs du développement agricole et économique, de la formation et des producteurs (Fig. 6).

⁴⁴ Cette dimension a été abordée de manière inégale selon les domaines. Elle mériterait une analyse spécifique plus détaillée.

⁴⁵ Sausse C. *et al.*, 2018. La télédétection des infrastructures agro-écologiques : de la promesse aux méthodes opérationnelles (Tél-IAE). *Innov. Agron.*, **63**, 267–278. <https://www6.inrae.fr/ciag/content/download/6340/46532/file/Vol63-17-Sausse.pdf>



Figure 6. Partenaires du RMT AgroforesterieS pour la période 2021-2025.

Au niveau européen, il est à noter que des équipes INRAE sont actuellement ou ont été impliquées dans des projets européens relatifs à l'agroforesterie, ce qui leur offre la possibilité de contribuer à des consortiums pour de futurs projets. On peut citer notamment :

- SAFE – *Silvoarable agroforestry for Europe* (2001-2005), coordonné par l'INRA (FP5 ; participants : UMR System, UAPC, UMR AMAP, UMR PIAF, UAFP).
- AGFORWARD – *AGroFOREstry that Will Advance Rural Development* (2014-2018), coordonné par l'Université de Cranfield (FP7 ; participants : UMR System, UMR BAGAP, UMR SAS, UE Ferlus, UE Diascope).
- AGROMIX – *AGROforestry and MIXed farming systems - Participatory research to drive the transition to a resilient and efficient land use in Europe* (2021-2024), coordonné par l'Université de Coventry (Horizon 2020 ; participants : UMR ABSYS (ex-UMR System))
- MIXED – *Mixing it up for effective and resilient agriculture* (2021-2024), coordonné par l'Université d'Aarhus (Horizon 2020 ; participants : UMR AGIR⁴⁶)

7.2 Partenariat avec les organismes de formation

Outre les établissements avec lesquels INRAE est co-tutelle dans le cadre d'UMR, une mention particulière doit être faite en ce qui concerne les lycées agricoles, partenaires précieux pour accentuer le lien Recherche-formation. Environ 90 EPLEFPA répartis partout en France ont mis en place des dispositifs agroforestiers. Ils sont très méconnus des chercheurs alors que les enseignants sont en demande de collaboration. Ils ont une grande capacité de collecte de données avec leurs apprenants, et souhaitent que leurs dispositifs ne soient pas uniquement à visée pédagogique mais servent aussi à la recherche. Il semble important d'envisager de renforcer les collaborations avec eux.

7.3 Autres formes d'interactions

A signaler aussi l'existence d'espaces internationaux de discussion autour des recherches en agroforesterie :

- Dans le cadre du **PEI-Agri** :
 - Un Focus group en 2017 sur l'agroforesterie (FG22: *Agroforestry: introducing woody vegetation into intensive crop and livestock systems*)⁴⁷.

⁴⁶ Notamment G. Martin, mais sans nécessairement d'investissement dans la partie agroforestière du projet.

⁴⁷ <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/focus-groups/agroforestry-introducing-woody-vegetation>

- Un réseau thématique sur l'agroforesterie : AFINET, coordonné par l'Université de St Jacques de Compostelle⁴⁸. Le seul partenaire français est l'Association française d'agroforesterie⁴⁹.
- L'**Association européenne d'agroforesterie** (*European Agroforestry Federation – EURAF*⁵⁰), qui est la fédération des associations nationales. Plutôt orientée sur le lobbying pour inscrire l'agroforesterie dans les politiques publiques, cette association organise tous les 2 ans le Congrès scientifique et politique Européen d'agroforesterie.
- L'**Union internationale pour l'agroforesterie** (IUAF), créée en 2019 et présidée par C. Dupraz (INRAE). Elle organisera tous les 4 ans le congrès mondial d'agroforesterie. Le dernier congrès mondial en date a été organisé en 2019 par INRAE et le CIRAD à Montpellier⁵¹.

Une réflexion doit être menée en liaison avec les départements concernés, les directions scientifiques et la DRI d'INRAE quant aux relations à établir ou renforcer avec diverses structures internationales :

- La **FAO**, notamment dans le cadre des suites du dialogue de haut niveau de février 2020 par exemple autour des projets destinés à contribuer à l'évaluation de l'outil TAPE⁵² (*Tool for Agroecology Performance Evaluation*).

- L'**UICN**, en lien avec le développement des relations suite à l'adhésion d'INRAE en 2020 à l'UICN et au comité français de l'UICN. Il s'agit notamment de faire suite aux premières interactions associées à la préparation du rapport « *Common ground : restoring land health for sustainable agriculture* » de septembre 2020⁵³.

- Le **CGIAR Research Program on Forests, Trees and Agroforestry**⁵⁴, est le plus grand programme au monde de recherche-développement en soutien au renforcement du rôle des forêts, des arbres et de l'agroforesterie en appui au développement durable, à la sécurité alimentaire et à la lutte contre le changement climatique. Les actions sont notamment menées en partenariat avec Bioversity international, le CATIE (*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*), le CIRAD, l'INBAR (*International Network for Bamboo and Rattan*) et TBI (*Tropenbos International*). En continuité avec la démarche de renforcement des interactions entre recherche agronomique française et CGIAR initiée en 2019, il conviendrait d'analyser les opportunités de coopération avec le nouvel acteur **CIFOR-ICRAF**, fruit de la fusion au 1^{er} janvier 2019 du *Center for International Forestry Research* (CIFOR) et de *World Agroforestry* (ICRAF) membre de CGIAR,. Ce partenaire semble incontournable pour d'éventuels projets impliquant des pays du sud.

- L'**Indian Council of Agricultural Research** (ICAR). Lors d'une rencontre INRA-ICAR à haut niveau organisée en mars 2015, des pistes pour des collaborations sur l'adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt ont été explorées, notamment sur le thème « *Exploring tree-crops association as an element of a long-term strategy for adaptation to climate change* ». Aucune suite n'a été donnée à ces premières discussions. L'intérêt de renouer le dialogue sur cette problématique reste à évaluer.

⁴⁸ <https://cordis.europa.eu/project/id/727872/>

⁴⁹ <https://www.agroforesterie.fr/index.php>

⁵⁰ <https://euraf.isa.utl.pt/welcome>

⁵¹ <https://agroforestry2019.cirad.fr/fr>

⁵² <http://www.fao.org/3/ca7407en/ca7407en.pdf>

⁵³ <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-023-En.pdf>

⁵⁴ <https://www.foreststreesagroforestry.org>

8. Conclusions – Recommandations

En préambule, il convient de rappeler que les travaux de ce chantier ont été réalisés en un temps relativement court et dans des conditions « dégradées » du fait de la crise sanitaire. De ce fait l'analyse n'est sans doute pas totalement aboutie, notamment en termes de recommandations et de pistes pour leur mise en œuvre. Un travail de consolidation avec les chef.fe.s de département doit être organisé en ce sens.

Le travail réalisé a permis de confirmer l'existence d'une communauté INRAE qui se connaît bien et se mobilise autour de l'objet particulier que constituent les systèmes agroforestiers. Il a aussi permis d'identifier de nouvelles unités ou équipes susceptibles d'accroître le potentiel de recherche sur et pour les systèmes agroforestiers. Une mobilisation faible des compétences en sciences économiques est toutefois à noter, peut être liée au fait que les objets agroforestiers sont par nature extrêmement hétérogènes (et très, voire trop contexte-dépendants) et qu'ils occupent encore, malgré l'engagement d'acteurs.actrices motivé.e.s, des surfaces faibles. Inclure ces objets dans le champ plus large des recherches sur la transition agroécologique des agricultures serait de nature à élargir la communauté des chercheur.se.s mobilisables.

Sur la base de l'expertise collective des membres du groupe de travail, un ensemble de thèmes prioritaires de recherche a été identifié :

- Conception des systèmes agroforestiers et leur évaluation, notamment par le biais de leur modélisation.
- Description, interprétation et modélisation des processus fonctionnels qui prennent en compte les problématiques spécifiques liées à l'hétérogénéité des systèmes, à la diversité des arrangements et au temps long.
- Interactions biologiques entre composantes introduites et spontanées des systèmes agroforestiers (incl. écologie chimique).
- Propriétés émergentes des systèmes agroforestiers, plus particulièrement en ce qui concerne leur contribution à la résilience à des aléas de nature diverse et leurs effets à large échelle temporelle et spatiale.
- Screening des espèces et variétés utilisables, pouvant impliquer à repenser les stratégies d'amélioration des plantes et notamment les traits à prendre en sélection.
- Intégration des ligneux dans les systèmes d'élevage.
- Articulation entre fonction de production et autres fonctions.
- Perception de l'agroforesterie et place de l'arbre dans les espaces agricoles.
- Rôle des politiques publiques.

Il y a bien entendu d'autres thèmes qui intéressent les équipes INRAE, mais il y a de réelles possibilités de prise de leadership pour un certain nombre des thèmes cités ci-dessus en ce qui concerne les systèmes agroforestiers tempérés.

Sur la base de cette analyse, 10 recommandations sont faites en ce qui concerne la suite à donner à ce chantier.

Contribution aux orientations stratégiques et à l'animation de la recherche

Action 1. Organiser la restitution du chantier pour l'interne : présentation en réunion des chefs de département, devant les conseils scientifiques des départements et devant les cellules d'animation des métaprogrammes qui le souhaitent. Il s'agit de faire connaître les résultats du chantier afin qu'ils alimentent les futurs SSD et plus globalement la stratégie et les orientations scientifiques d'INRAE. C'est aussi l'un des moyens possibles pour intéresser de nouveaux/nouvelles collègues aux recherches sur et pour les systèmes agroforestiers.

Action 2. Constituer, sur un mode agile, un réseau d'animation thématique inter-départements sur l'agroforesterie permettant une identification de la communauté, avec un annuaire interne INRAE des

compétences en agroforesterie et une liste de diffusion. A l'image d'autres réseaux (télédétection, écotoxicologie...), ce réseau pourrait avoir vocation à s'ouvrir à d'autres communautés de travail que la seule communauté INRAE.

Action 3. Capitaliser sur la participation d'INRAE au RMT AgroforesterieS afin de le faire connaître et identifier les opportunités d'actions de recherche transdisciplinaires. Mobiliser la DIPSO (pôle Science en Société) sur le thème des recherches participatives à mener en agroforesterie. Une réflexion devrait être menée sur l'intérêt de mettre en place un groupe filière dédié.

Action 4. Explorer, notamment avec le CIRAD, la question des recherches sur les systèmes agroforestiers ultramarins, en lien avec les problématiques de durabilité, d'adaptation au changement climatique et de sécurité nutritionnelle et alimentaire (par exemple, jardins créoles aux Antilles, sédentarisation de l'agriculture itinérante en Guyane).

Action 5. Renforcer les interactions avec les organismes leaders au niveau international, en veillant à la cohérence de la stratégie développée avec celle des partenaires d'INRAE notamment le CIRAD. En particulier, instruire la question des recherches sur les systèmes agroforestiers avec le CGIAR (CIFOR-ICRAF).

Mobiliser et mutualiser des moyens

Action 6. Promouvoir, avec les départements concernés, DISC et la CNUE la valorisation des dispositifs expérimentaux impliqués dans les recherches sur les systèmes agroforestiers, à l'image de ce qui a pu être fait dans d'autres domaines. En profiter pour consolider la vision et les objectifs scientifiques associés et faire une analyse des dispositifs selon différentes dimensions (scientifique, RH, partenariale, foncière, contribution à l'innovation, économique, capacité d'utilisation à long terme...). Un annuaire des sites agroforestiers disponibles à INRAE et des possibilités qu'ils offrent pourrait être élaboré (mise en ligne sur le site web de l'Institut) afin de les rendre visibles non seulement en interne mais aussi pour des partenaires potentiels (par exemple pour des réponses à des appels à projet européens).

Action 7. Veiller à bien intégrer les recherches sur les systèmes agroforestiers dans les programmes de développement méthodologique et technique (capteurs, télédétection, robotique/agroéquipements, modélisation).

Action 8. Soutenir en interne des recherches interdisciplinaires, voire transdisciplinaires, sur les systèmes agroforestiers sur la base notamment des priorités scientifiques identifiées dans ce chantier. Les moyens correspondants pourraient être abondés par les départements et/ou certains métaprogrammes.

Communiquer et disséminer

Action 9. Mettre en visibilité les recherches sur et pour l'agroforesterie menées à INRAE : dossier de presse, dossier web, CIAG ou équivalent, SIA... Outre l'acculturation attendue, ce serait aussi un levier pour présenter la stratégie élaborée en sortie de l'Action 1.

Action 10. Contribuer avec nos partenaires de la formation (cf. RMT) à l'élaboration de contenus pour la formation initiale et continue, notamment en lien avec les lycées agricoles. Co-organiser des écoles chercheurs ou écoles techniques.

Il existe au sein d'INRAE un réel potentiel pour positionner l'institut sur le domaine encore peu développé des recherches sur les systèmes agroforestiers tempérés. Un tel objectif est cohérent avec les orientations stratégiques affichées par INRAE pour les 10 prochaines années.

Annexe 1 – Processus d’acquisition des ressources et d’interactions entre le sol et les autres composantes arbre/culture/linéaire sous-arboré dans les systèmes agroforestiers

Isabelle Bertrand, Nicolas Marron ; avec les contributions de Aude Alaphilippe, Marie Charru, Cécile Ginane, Jacques Le Gouis, Delphine Mézière, Bruno Moulià, Sandra Novak, Catherine Picon-Cochard, Antoine Savoie, Alexia Stokes, Valérie Viaud

Préambule

Les connaissances sur le fonctionnement et les services rendus par les systèmes agroforestiers sont limitées en comparaison de celles portant sur les monocultures forestières et agricoles, et leur productivité est rarement étudiée comme étant le résultat des interactions positives (facilitation, diminution de compétition) ou négatives (compétition) entre les espèces sur les allocations et sur la dynamique du carbone, des nutriments et de l’eau dans les systèmes agroforestiers. Les études à long terme sur ce sujet restent également rares et sont nécessaires pour évaluer comment le fonctionnement de ces systèmes va évoluer dans le temps. L’utilisation d’espèces fixatrices d’azote atmosphérique, qui peuvent être herbacées (luzerne, trèfle, pois...) ou ligneuses (aulne, robinier, acacia, ...⁵⁵) en mélange avec des non fixateurs (également herbacés ou ligneux) pose des questions supplémentaires sur la part de l’azote fixé symbiotiquement qui bénéficie aux non fixateurs (phénomène de facilitation) et permettrait ainsi de diminuer l’usage d’intrants. L’efficacité avec laquelle les espèces en association (arbre/culture ou herbacées fourragères) utilisent les ressources en eau, en nutriments et en lumière, c’est-à-dire la quantité de biomasse produite par unité de ressource consommée, a peu été documentée en plantations agroforestières tempérées alors que ces informations sont plus répandues en milieu tropical.

Les études réalisées sur les systèmes agroforestiers tempérés se centrent sur les interactions arbres/cultures. Cependant, dans les systèmes silvoarables modernes, une végétation de type majoritairement herbacée, naturelle ou semée, se développe entre les arbres formant un linéaire sous-arboré qui n’est pas cultivé. Ce linéaire est un compartiment de l’agroécosystème à part entière, mais le rôle qu’il joue dans le fonctionnement du système et dans la fourniture de services écosystémiques est encore méconnu. Dans certains systèmes, il est envisagé de garnir ce linéaire avec une troisième composante pérenne pour une valorisation économique annuelle (fruit rouges, aromatiques, etc.). Dans d’autres systèmes, des lianes sont plantées à proximité des arbres, par exemple pour une vocation fourragère. En tout état de cause, il faut donc bien considérer au moins une association ternaire et l’étude des processus doit en tenir compte.

Les différentes catégories de processus listées ci-après sont sous l’influence des spécificités des systèmes agroforestiers : hétérogénéité spatiale induite par la présence des arbres, hétérogénéité temporelle entre les différentes composantes du système et mode de conduite de la composante ligneuse. Plus précisément :

- Une des spécificités des systèmes agroforestiers est d’introduire, via la plantation de ligneux dans une parcelle, une **hétérogénéité spatiale**, supérieure à celle du couvert herbacé. Cette hétérogénéité est présente aussi bien pour les parties aériennes que souterraines. La plupart des questions de recherches spécifiques aux systèmes agroforestiers sont en relations directes ou indirectes avec la présence de cette hétérogénéité, et ce à différentes échelles. Les densités d’arbres sont très faibles par rapport aux couverts forestiers. Il s’en suit des conditions microclimatiques spécifiques (lumière mais aussi vent par exemple) et qui peuvent différer selon l’implantation des ligneux (systèmes agroforestiers de plein champs vs haies en bordure des parcelles).
- La notion de **temporalité** est également importante à prendre en compte dans le cadre de l’étude des questions listées ci-dessous. Les différentes composantes des systèmes agroforestiers ne sont en effet pas gérées sur les mêmes pas de temps ; si l’entretien des arbres doit être régulier, leur exploitation n’intervient souvent qu’après plusieurs décennies, alors que la composante agricole peut être récoltée plusieurs fois par an. Les processus d’interactions entre les différentes composantes des systèmes agroforestiers évoluent en fonction du stade de développement des arbres. Il s’agit souvent d’une compétition au début qui va évoluer vers des interactions plus positives telles qu’un partage de niche ou de la facilitation. Plus largement qu’en fonction des stades de développement du système, la question de la validité, de l’activité des processus en fonction des conditions de culture (climat, sol, mode de gestion, etc.) et de mode de conduite des ligneux peut également être posée. Les notions de seuils de tel ou tel paramètre environnemental à partir desquels les interactions basculent du positif au négatif, ou inversement, peuvent faire l’objet de questionnements innovants. Enfin, tout cela débouche sur les notions cruciales de résilience, de résistance et de plasticité des processus en fonction des contextes pédoclimatiques aussi bien que des stades de développement des systèmes agroforestiers.

⁵⁵ Baguenaudier (*Colutea arborescens*), Arbre de Judée (*Cercis siliquastrum*), sophora, olivier de Bohême (*Elaeagnus angustifolia*).

- Le **mode de conduite des ligneux** (taille en émonde, têtard ou autre trogne, pâturage) va aussi certainement affecter certains processus (conditions microclimatiques, besoins en eau et en éléments nutritifs, etc.).
- Enfin, la question du **changement d'échelle**, et plus spécifiquement de la cohérence des estimations à ces différentes échelles, est également à aborder sur ces processus, qu'il s'agisse d'échelles spatiales (de l'organe, à la plante entière et au peuplement, y compris multistrate) ou temporelles (de l'instantané à la durée de vie des arbres). En raison de l'hétérogénéité spatiale et temporelle des systèmes agroforestiers évoquée plus haut, il s'avère compliqué de faire une moyenne pour l'ensemble du système agroforestier considéré sans bien définir quel métrique utilisé, où on se situe dans le système et en référence à quoi le système agroforestier est comparé.

Questions de recherche prioritaires

Les questions de recherche prioritaires relatives aux processus d'interactions entre les composantes sol-arbre et les autres éléments du système agroforestier (herbacées, animaux) sont les suivantes. En raison de la grande diversité des systèmes agroforestiers (intraparcellaire, arbres champêtres, haies, près vergers, ripisylves, etc.), certaines de ces questions sont **génériques aux systèmes agroforestiers**, d'autres **spécifiques d'un type de système agroforestier** (arbres alignés, vergers, sylvopastoraux, etc.) ; la plupart demeure néanmoins génériques.

1. **Complémentarité pour l'utilisation des ressources** (générique) :
 - Est-ce que l'association arbre – culture permet une utilisation plus efficace des ressources en eau, en lumière et en nutriments du milieu par rapport aux cultures agricoles et forestières ?
 - Comment l'efficacité d'utilisation de ces ressources par les différentes espèces prises isolément est affectée par le mélange et l'arrangement spatial de ces espèces dans les systèmes agroforestiers ?
 - Quelles conséquences ont ces changements sur la productivité globale des systèmes agroforestiers ?
2. **Partage de niches au niveau souterrain** (générique) :
 - Quels sont les impacts de l'association arbre / culture sur les systèmes racinaires et la complémentarité de niche ?
 - Quels sont les impacts de la distribution spatiale et fonctionnelle des racines d'arbres, de plantes cultivées (annuelles ou pluriannuelles) et éventuellement d'herbacées du linéaire sous-arboré sur les processus souterrains tels que : 1) la compétition et/ou la facilitation pour l'eau et les nutriments (redistribution hydraulique, mycorhization), 2) les processus de minéralisation en surface et en profondeur et les impacts sur la stockage de carbone dans les différentes fractions de la matière organique des sols. Ces approches permettraient non seulement d'évaluer l'impact à long terme des systèmes agroforestiers sur la séquestration du carbone et la fertilité des sols mais pourraient aussi contribuer à évaluer et améliorer les pratiques de gestion (espèces ligneuses, conduite des ligneux, densités, fertilisation, gestion du linéaire sous arboré, etc.).
3. **Amélioration des transferts d'eau et de gaz par la présence des arbres** (générique) :
 - La présence de racines d'arbres dans un système de culture augmente la macroporosité du sol, améliorant l'infiltration de l'eau, l'échange de gaz et le mouvement du biote : Quelles espèces et associations d'espèces optimisent ces processus ?
 - La morphologie d'un arbre a un impact sur la quantité de précipitations qui atteignent le sol, soit le long du tronc ('*stemflow*'), soit à travers la canopée ('*throughfall*'). L'élagage de la couronne des arbres peut modifier la quantité de précipitations qui atteignent le sol, ainsi que leur transfert dans le sol : Quelles caractéristiques architecturales améliorent spécifiquement ce phénomène ?
4. **Complémentarité des phénologies** (générique) : Quelle est l'influence du patron spatial des ligneux sur la phénologie des différentes composantes des systèmes agroforestiers ?
5. **Échanges entre plantes** (générique) :
 - Comment se font les échanges plante-plante (perception des voisins par signaux lumineux et mécaniques, messages chimiques et biologiques, intégration de la notion d'holobionte, allélopathie) ?
 - Y a-t-il une compétition entre les horizons de sol de surface et profond ?
6. **Biodiversité** (générique) :
 - Le linéaire d'arbres (intra-parcellaire, haies) et la végétation non cultivée au pied des arbres forment-ils un habitat privilégié pour la biodiversité : biodiversité végétale (planifiée et associée), faune épigée et endogée des sols et auxiliaires de cultures (pollinisateurs, oiseaux, etc.) ?
 - Servent-ils de refuge ou de réservoir pour la faune du sol face aux stress climatiques et aux interventions culturales sur les cultures intercalaires ?
 - Le rôle des bosquets et petites forêts pour la biodiversité à proximité de la parcelle pourrait également être considéré.
7. **Régulation du microclimat** (générique) :
 - Quels sont les effets des systèmes agroforestiers sur les bilans d'énergie et radiatifs, notamment sur l'albédo, et sur le bilan hydrique ?

- Y a-t-il des configurations spatiales ou des espèces ou des modes de conduite des arbres qui permettraient d'augmenter l'albédo des surfaces agroforestières ? Cette question est importante vis-à-vis de l'atténuation du changement climatique, car les forêts (sombres) ont tendance à le diminuer, contrairement aux cultures annuelles (claires) qui sont plus efficaces sur ce point. Et l'albédo est un facteur non négligeable pour l'atténuation. Plus largement l'impact de l'agroforesterie, en particulier en zone péri-urbaine (cf. Beauce) sur les effets de chaleur estivale (importée en ville par convection et effet d'oasis) peut être aussi intéressant.
8. **Interactions avec la composante animale** (spécifique des systèmes sylvopastoraux) :
 - En système sylvopastoral, quel est l'effet du peuplement arboré (densité, répartition spatiale, taille des ligneux) et du microclimat associé sur la répartition spatiale et l'activité des animaux (pâturage, piétinement, déjections) ?
 - Quels sont en retour les effets de l'action de l'animal sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée, du sol et des ligneux ?
 - Quelles peuvent être les synergies entre arbre et animal pour la réduction des intrants (fertilisants, phytosanitaires, intrants médicamenteux, intrants alimentaires) ?
 9. **Variabilité génétique** (générique) : Se pose aussi, au-delà de la description et de la compréhension des interactions, la question de la caractérisation de la variabilité génétique intraspécifique pour des interactions positives ou négatives entre les différents partenaires du système (ligneux, culture, qui peuvent chacun d'entre eux être en mélange inter- ou intra-spécifique). Ceci dans un système hétérogène dans le temps et dans l'espace. Est-ce que la sélection végétale peut contribuer à améliorer les interactions et comment le faire ?
 10. Effets sur les **émissions de gaz à effet de serre** (générique) :
 - Quels effets de l'agroforesterie sur la formation et les émissions de protoxyde d'azote et de méthane ? Sachant que la formation de ces deux gaz à effet de serre est dépendante de l'anoxie des sols (mais pas dans le même sens), elle-même liée à leur hydromorphie, et que les ligneux ont tendance à la réduire, peut-être pourraient-ils diminuer les émissions de méthane, mais favoriser celles de protoxyde d'azote ?
 - Comme les émissions de protoxyde d'azote augmentent avec les alternances gel-dégel, et que les arbres jouent un rôle tampon sur la température du sol, peut-être leur présence pourrait-elle également affecter la formation de protoxyde d'azote ?
 - Qu'en est-il des émissions de protoxyde d'azote pour les aulnes qui fixent l'azote atmosphérique et qui poussent dans des zones humides ?

Outils et plateformes

- Plateformes ateliers :
 - Plateforme agroforestière de Restinclières : Dispositif de 40 ha en AF de grandes cultures ou vignes et arbres à bois, depuis 1995 (UMR ABSys – ex-UMR SYSTEM).
 - Plateforme Agro-TCR : Dispositif expérimental de 33 ha en AF à rotation courte (aulne/graminées et peuplier/herbacées fixatrices d'azote) avec témoins sans arbres ou sans cultures, depuis 2014 (UMR Silva).
 - Plateforme DIAMs (Dispositif Instrumenté en Agroforesterie Méditerranéenne sous stress hydrique) : Dispositif de 5 ha en grandes cultures/robinier avec témoins sans arbres ou sans culture, 3 blocs indépendants pour chaque traitement, depuis 2016 (UMR Eco&Sols, UE Diascope).
- Dispositifs d'Unités Expérimentales :
 - UERI Gotheron : Dispositif expérimental de 8 ha – Modules de production fruitière multi-espèces zéro pesticide, depuis 2017.
 - UE Herbipôle : Ferme expérimentale dont 4,5 ha en prairie pâturée AF (essences forestières), depuis 1989.
 - UE EASM : Dispositif expérimental de 1 ha de parcours volailles aménagés avec des arbres (chênes principalement), depuis 2009.
 - UE FERLUS : Dispositif expérimental en polyculture-élevage bovin laitier, 4 parcelles (12 ha) en agroforesterie intraparcellaires en rotations prairies temporaires-cultures annuelles avec différents types (arbres-arbustes-lianes), 70 espèces et différents génotypes de ligneux, implantés séparément ou en mélange, avec témoins sans arbre et forestier ; 1 parcelle en bosquet ; 3 arboretums (trognes, saules, lianes) en bordure de parcelle ; 3400 m de haies anciennes (Novak *et al.*, 2020).
 - UE PAO : Dispositif expérimental de 10 ha en AF de grandes cultures / feuillus précieux et témoins sans arbres, depuis 2014.
 - UE DiaScope : Dispositif expérimental d'Agroforesterie Méditerranéenne de 1ha certifié AB : Grandes cultures (céréales/ légumineuses) dans rangs d'oliviers.

Besoins en compétences

| Processus biophysiques et écologiques étudiés | Disciplines (D) et Compétences (C) | Compétences spécifiques aux SAF ou non | Unités INRAE travaillant ou étant susceptible de travailler sur ce sujet |
|--|---|---|--|
| Efficiences d'utilisation des ressources | D : Physiologie végétale C : Écophysiologie, biogéochimie, étude des flux à différentes échelles, isotopie | Non. Il s'agit de comprendre comment l'association de l'arbre et la culture affecte ces processus | UMR Silva, UMR ABSys, UMR ISPA |
| Interactions et partage de niches au niveau souterrain | D : Écologie et science du sol C : Biogéochimie, écologie fonctionnelle des sols | Oui. Interactions plantes annuelles et pérennes et distribution au sein de plusieurs horizons de sol | UMR Eco&Sols, UMR Silva, UMR ISPA, UMR AMAP, UMR ABSys |
| Transferts d'eau et de gaz, échanges entre plantes | D : Hydrologie C : Cycle de l'eau, écophysiologie | Processus présents en plantation ou forêt | UMR Eco&Sols, UMR AMAP, UMR SAS, UMR ISPA |
| Développement et phénologie | D : Biologie végétale, écophysiologie C : Signaux développementaux | Oui. Ajustement entre une pérenne ligneuse et des annuelles et pérennes herbacées | UMR UREP, UMR PIAF |
| Échanges entre plantes | D : Biologie végétale C : Biologie de la rhizosphère | Non spécifique | |
| Biodiversité | D : Biologie végétale et écologie C : Écologie fonctionnelle | Spécifique des SAF, peut être aussi des haies (à vérifier) | UMR Eco&Sols, CEFE, UMR Dynafor, UMR BioGeCo, UMR BAGAP, UMR ABSys |
| Effets sur l'albédo - régulation microclimatique? | D : Physique de l'atmosphère C : Climatologie, biophysique de l'atmosphère | Non, mais nécessité d'avoir des mesures sur SAF | UMR ISPA, UMR PIAF |
| Interactions avec la composante animale | Traité dans la fiche production agricole-gestion | | UMR Herbivores, UE FERLUS |
| Variabilité génétique | D : Génétique des plantes C : Sélection variétale sous contrainte édaphique et climatique et prenant en compte les traits racinaires | Oui. Pour les conditions d'ombrage. Besoin d'étude génétique au champ incluant les traits racinaires | UMR BioForA, UMR GDEC, UE DiaScope |
| Gaz à effet de serre | D : Écophysiologie, biophysique C : Bioclimatologie | Non, mais influence de l'association agro – forêt sur ces processus, traité comme en milieu forestier | UMR Silva |

Annexe 2 – Gestion productive, gestion multifonctionnelle et gestion durable des systèmes agroforestiers

Cécile Ginane, Claudine Thenail et Sandra Novak ; avec les contributions initiales de Delphine Mézière, Jacques Le Gouis et Dominique Desclaux ; amendées et complétées après les réunions plénières du 05/05 et du 17/07 2020.

Préambule

Certaines questions peuvent relever d'objectifs très spécifiques d'optimisation de telle ou telle production, par exemple une production végétale, ou une production animale, ou encore une production de bois d'œuvre, de fruits... Cependant, dès lors que l'on attend différents services écosystémiques des associations ligneux-agriculture (services d'approvisionnement et de conservation des ressources naturelles et de régulation des intempéries, des ravageurs, etc.) alors émergent des questions qui ont trait à la durabilité et la multifonctionnalité de la gestion elle-même. Ce sont des questions qui ont trait aux différentes modalités de conduite et à l'organisation des moyens (indicateurs de décision, ressources en travail...) des agriculteurs pour gérer des interactions dans les systèmes agroforestiers, pour favoriser, développer – faire des compromis entre – différent(e)s fonctions/objectifs des systèmes agroforestiers dans le temps.

Lorsque le terme de « pratiques » est utilisé dans le « plan de développement de l'agroforesterie » (2015), ce terme fait référence aux pratiques anciennes d'agroforesterie, aux pratiques culturelles, et aux pratiques d'agroforesterie expérimentales. Ainsi, ce document fait abstraction des pratiques actuelles de gestion des ligneux, notamment des pratiques innovantes, et de l'intégration des ligneux dans les systèmes d'exploitation. Or, pour développer des connaissances « actionnables », il y a besoin d'une diversité d'approches, allant des recherches en stations expérimentales jusqu'à des recherches participatives pour évaluer des systèmes et co-concevoir des dispositifs d'apprentissage en s'appuyant sur les expériences des agriculteurs. On ne le spécifie pas systématiquement dans la liste des questions ci-dessous.

En l'état, cette annexe liste un certain nombre de points qui représentent autant de questions de recherche. Pour les différents points listés ci-dessous, le fait qu'ils soient listés ne signifie pas qu'on ne dispose d'aucune donnée. Les données acquises sont cependant souvent encore éparpillées et insuffisantes pour aboutir à des itinéraires techniques, pour lesquels il y a une forte demande de l'aval. D'où un besoin de partage de connaissance (à la fois scientifiques, d'initiatives de terrain et réglementaires) et d'acquisition de nouvelles données.

Questions de recherche prioritaires

1. Gérer les ligneux pour des bénéfices en production animale

1.1. Ligneux comme source de fourrage pour les animaux d'élevage

- Quelle valeur alimentaire des feuilles, jeunes tiges, voire fruits de ligneux? Il manque des informations sur la valeur alimentaire des ligneux, à la fois au niveau de leur composition chimique et digestibilité, de leur valeur nutritive en allant jusqu'aux valeurs en termes d'UF et de PDI, et de leur valeur d'encombrement. Des questions se posent également sur l'apprentissage et l'acceptabilité des animaux pour consommer ces ressources. L'espèce considérée, tant au niveau animal que du ligneux, et la saison (pour le ligneux, en rapport avec sa phénologie) semblent être les principaux facteurs de variation. Egalement on peut envisager que les feuilles et autres débris au sol constituent une ressource pour une faune du sol (escargots, vers de terres, insectes et autres décomposeurs...), elle-même source de nourriture, notamment pour la volaille plein-air : quels effets sur la production⁵⁶ (quantité, qualité) ?
- Quel intérêt pour la santé animale ? Les minéraux ou les composés secondaires contenus dans les ligneux pourraient jouer un rôle bénéfique sur la santé animale, par exemple en limitant certains parasites gastro-intestinaux, mais ils pourraient également être toxiques pour certains animaux (selon l'espèce, l'âge, l'état...), par exemple les chevaux, généralement plus sensibles. Il serait donc important d'étudier l'effet de l'espèce (tant animale que ligneuse) mais aussi l'effet de la conduite du ligneux (par exemple, production par l'arbre de composés secondaires suite à son abrutissement).
- Quelle part dans la ration de ruminants ? Il y a besoin de connaissances sur la production fourragère des ligneux en terme de biomasse pour mieux évaluer la part qu'ils pourraient représenter dans la ration des ruminants (en complément d'autres fourrages) en fonction des saisons, de leur implantation et de leur gestion.
- Quelle pérennité sur le long terme des ligneux soumis à une exploitation soutenue, par pâturage sur pied ou par récolte ? L'effet du mode de gestion et de l'espèce sont à étudier, notamment sur la capacité des ligneux à reconstituer leurs réserves.

⁵⁶ Des agriculteurs disent donner moins de grains aux volailles élevées dans des systèmes agroforestiers pour des volailles parfois plus grosses.

Les réponses aux questions ci-dessus permettront de proposer des itinéraires techniques. Les objectifs recherchés et les conditions pédoclimatiques détermineront le choix des essences de ligneux, de la densité de plantation, le nombre et type d'exploitation, les périodes d'exploitation.

1.2. Ligneux comme abri pour les animaux d'élevage : liens avec bien-être et santé

- Dans quelle mesure l'arbre et les autres ligneux représentent-ils des éléments de bien-être au pâturage ? Quelle protection fournissent-ils contre les aléas climatiques (chaleur, soleil, vent, pluie, froid...) ? Il y a des intérêts forts dans le cadre du changement climatique et compte-tenu de l'incitation à augmenter la part de pâturage ou d'accès à l'extérieur de différentes productions animales.
- Quelle est la perception de l'arbre par l'animal ? Représente-t-il un élément positif et rassurant (abri) ou négatif et stressant (moindre visibilité de prédateur, séparation sociale) ? Pour évaluer l'impact de la présence de ligneux sur le bien-être animal, les réponses à ces questions sont importantes.
- Quels sont les impacts de l'arbre sur la santé animale ? Peuvent-ils favoriser ou au contraire réduire des populations de parasites ou de vecteurs de maladies ? Quels sont les risques de transmission liés à un contact rapproché avec la faune sauvage (par exemple, blaireau vecteur de la tuberculose bovine, ou contact favorisé avec les tiques), sachant que pour certaines productions, il existe déjà des freins sanitaires à la mise en plein air des animaux (par exemple, production de volailles, interdiction du pâturage d'animaux en forêt). Enfin, ce rapprochement avec la faune sauvage implique également une exposition potentielle à des prédateurs, qui représente un frein également au plein air en général et à l'agroforesterie en particulier.
- L'agroforesterie peut-elle avoir des impacts positifs ou négatifs en élevage sur les zoonoses ?
- Quels sont les impacts des ligneux et de leur implantation spatiale sur le comportement de l'animal ? Les déplacements, lieux de couchage, et l'exploitation au sens large des parcelles par les animaux sont liés à leurs diverses motivations (alimentaires, protection, sociales...) et ont des impacts sur la dynamique prairiale (structure, qualité, biomasse...). Connaître l'impact des ligneux sur cette exploitation par l'animal, d'un point de vue spatialisé et temporel (dynamique), sera très important pour comprendre et anticiper le fonctionnement écologique d'une parcelle, voire d'un système, et pouvoir proposer des itinéraires techniques.
- Quels sont les itinéraires techniques permettant d'optimiser le rapport coûts/bénéfices (bien-être, production et santé animale, production des ligneux et de la prairie, durabilité du système, adaptation à des aléas climatiques, etc.) dans diverses situations ? Dans la caractérisation de ces itinéraires techniques, se pose la question des essences de ligneux à considérer, de leur implantation (densité, répartition : bosquet, haies, intra-parcellaire, multistrate...), de leur gestion, des productions animales associées, etc.

1.3. Nouvelles productions spécifiques/multiples, issues des ligneux en agroforesterie

Des questions se posent sur les multiples itinéraires de formation et de taille des ligneux et les multiples valorisations des produits/co-produits des arbres pour assurer la multifonctionnalité et la durabilité des systèmes agroforestiers.

- Concernant par exemple le bois de chauffage, bois bûche et copeaux de bois ne relèvent pas des mêmes techniques et équipements pour leur production ; et pour chacune des deux catégories, les types de chaudières demandent des types/qualités de produits différents et donc en partie des conduites différentes par les agriculteurs agroforestiers.
- Un enjeu est à la fois de mieux valoriser/utiliser les produits de la taille des arbres, qui sont traités comme des déchets dès le départ (souvent), ou suite à une « sur-production » non absorbée par les filières de bois de chauffage. Des modes d'utilisation différents pourraient être recherchés en fonction de la qualité et de la disponibilité de ces produits (mulch, amendements, litières...). Riches en matière organique et minérale, ils pourraient fournir des amendements intéressants pour augmenter la teneur en carbone des sols ou en certains minéraux (des agriculteurs en font l'expérience). Certains éleveurs les utilisent aussi comme litière pour les animaux (en substitution de la paille), ou encore pour stabiliser des chemins. Peu de travaux sont actuellement réalisés sur l'intérêt de ces produits (directement ou après utilisation comme litière) comme amendement ou fertilisant. Quelles connaissances de la dynamique de minéralisation dans les sols permettraient de guider la gestion (ex : éviter la « faim d'azote ») ?
- Ces questions concernent également des produits ligneux agroforestiers spécifiques de types biopolymères et autres molécules biosourcées possiblement issus de menus branchages. Egalement l'opportunité de produire du bois d'œuvre en agroforesterie est questionnée : quels arbres, comment ?
- Des questions se posent sur les multiples itinéraires de formation et de taille des ligneux mais aussi des couverts végétaux intercalaires, par exemple dans le cas de production d'arbres « à haute valeur ajoutée » pour des productions de fruits ou de bois d'œuvre par exemple.

2. Envisager différemment la sélection (végétale, animale) pour la conception et la valorisation des systèmes agroforestiers

Des travaux de recherche sont nécessaires pour adapter les espèces ou variétés végétales actuelles (tant au niveau des ligneux qu'au niveau des cultures intercalaires) aux nouveaux besoins et en tenant compte des effets du changement climatique.

2.1. Enjeux de sélection pour des productions multiples et de multiples fonctions

- L'agriculteur est amené à optimiser le choix des espèces ligneuses et herbacées à associer, en fonction des objectifs poursuivis qui peuvent être divers tant au niveau des arbres (production de bois d'œuvre, de fruits, de fourrage, de plaquettes...) que des cultures intercalaires (grandes cultures, maraîchage, prairies, vigne...). Pour les ligneux ou les autres espèces pérennes, ce choix doit également tenir compte non seulement des caractéristiques pédoclimatiques initiales du site qui sont déterminantes pour leur bonne croissance (par exemple, besoin en eau des saules) mais également du changement climatique (par exemple, augmentation des températures) qui va modifier les aires de répartition favorables aux essences. Très peu de travaux de sélection ont été réalisés sur les arbres, quelle que soit leur vocation (bois d'œuvre, fourrage...) et beaucoup de pépinières font des erreurs sur les espèces commandées (par exemple, confusion entre les espèces de saules) ou ne précisent pas la variété commercialisée (par exemple, mûrier blanc), ni le porte-greffe le cas échéant (c'est notamment le cas en arboriculture fruitière).
- Concernant les cultures intercalaires, le défi est aussi d'intégrer dès le départ les demandes des filières aval de transformation, distribution et consommation dans des démarches de sélection participative.

2.2. Enjeux de sélection pour gérer les interactions au sein des systèmes agroforestiers et en tirer partie

- Pour l'aspect sélection au niveau des cultures intercalaires (cf résistance à l'ombrage...), les nombreuses interactions aériennes et racinaires entre arbre et culture conduisent à repenser les stratégies d'amélioration des plantes par le choix de critères de sélection intégrant non seulement des enjeux de compétition et d'adaptation mais aussi des enjeux de facilitation et de contribution. En outre les approches participatives, permettant d'intégrer la diversité des contraintes et demandes de chaque acteur sont intéressantes à mobiliser.
- Les traits de réponses de la culture à l'environnement (adventices, pathogènes, nutriments et eau) sont ceux ciblés par la sélection classique : des notions de résistance, tolérance, compétitivité, agressivité, adaptation sont généralement recherchées. L'agroforesterie, surtout en conditions de très faibles intrants ou en conduites biologiques, invite à considérer aussi les critères d'effets de la culture sur l'environnement. Parmi ces critères, on peut inclure non seulement des traits de services tels l'attraction des auxiliaires, l'aération du sol, la stimulation des défenses naturelles, le stockage de C par augmentation de la biomasse, la stimulation du microbiome du sol, l'allélopathie, mais aussi des traits permettant à la variété de contribuer positivement à l'environnement biophysique, économique, et social. Le défi est donc d'atteindre un équilibre complexe entre compétition vs facilitation, adaptation vs contribution.
- Concernant l'animal, une sélection génétique des espèces leur permettant soit de mieux valoriser les ressources ligneuses à vocation fourragère (aptitude à consommer des ligneux), soit à l'inverse de les éviter et de ne pas les dégrader (exemple des moutons Shropshire qui ne consomment pas les ligneux, et qui sont utilisés pour le désherbage et l'entretien des sapinières et des vergers), pourra être intéressante.

2.3. Enjeux de sélection vis-à-vis des changements climatiques

- Quels devront être les critères de sélection des semences (idéomix plutôt qu'idéotypes) pour l'agroforesterie, en tenant compte du changement climatique ? Quelles seront les espèces à considérer dans 30, 50 ou 100 ans ? Quelles provenances / essences pour demain ?

3. Gérer les interactions dans les systèmes agroforestiers pour assurer leur multifonctionnalité et la fourniture de bouquets de services écosystémiques

L'agroforesterie possède certaines spécificités vis-à-vis des autres productions végétales, dont la principale est de vouloir cultiver sur une même surface des espèces occupant des strates différentes, et de bénéficier des interactions qui en résultent, dans l'espace et dans le temps. La présence d'arbres dans des parcelles cultivées (qu'elle provienne de l'implantation d'arbres dans une culture ou de l'implantation de cultures dans une zone arborée) a en effet des répercussions sur son microclimat, le rayonnement lumineux intercepté ou absorbé et sur les relations de compétition-facilitation pour les ressources en eau et en éléments nutritifs (cf. Annexe 1). Ces effets sont graduels dans le temps, de quasi nuls au moment de la plantation à potentiellement très élevés juste avant la récolte de l'arbre (s'il est récolté à maturité), et varient aussi selon l'espèce et notamment le caractère persistant ou non des feuilles. Ils sont aussi hétérogènes dans l'espace en fonction de la distance entre culture et ligneux. Ainsi, gérer les interactions biotiques et abiotiques est un aspect clé des systèmes agroforestiers.

3.1. Gérer les interactions dans les systèmes agroforestiers : dans et pour les systèmes d'élevage

- Des compromis sont à trouver entre les fonctions d'abris et de fourrages des ligneux au pâturage (ce qui est coupé pour donner aux animaux, ou directement pâturé, n'est plus présent pour procurer un abri) mais également entre les fonctions d'abri (effets positifs) et d'évitement des parasites et insectes piqueurs (effets négatifs) (mais très peu de données sont disponibles). Il serait particulièrement intéressant d'étudier les intérêts de formes multiples pour remplir des objectifs multiples (ex : multistrates).
- Des synergies peuvent exister dans les interactions arbre/animal, par exemple au niveau de la santé, et les facteurs explicatifs restent à analyser. Par exemple, meilleure santé de l'arbre et santé/bien-être de l'animal quand conduits ensemble qu'en ateliers spécialisés ? des exemples existent même s'ils sont surtout basés sur des observations, sans quantification et objectivation du phénomène.

- Quelles adaptations des systèmes d'élevage peuvent être mises en œuvre pour tirer profit des ligneux ? Des questions se posent notamment sur la gestion du pâturage de parcelles comportant des ligneux qui peuvent être sources de fourrage ou d'ombrage à différentes périodes de l'année. Comment organiser la rotation des animaux sur ces parcelles plus ou moins arborées ? Quels impacts sur les performances animales et sur la production prairiale en quantité et qualité ?
- Des questions se posent également sur les liens entre agroforesterie et mixité d'espèces animales : y a-t-il une combinaison d'espèces animales qui valorise au mieux les couverts agroforestiers sans les dégrader ? Par exemple c'est compliqué avec les chèvres qui apprécient particulièrement les ligneux et pour lesquelles les protections des arbres contre les bovins ne fonctionnent pas.
- Quels modes de protection des jeunes ligneux vis-à-vis du bétail ou de la faune sauvage ?

3.2. Gérer les interactions dans les systèmes agroforestiers : dans et pour les systèmes de culture et de polyculture-élevage

- Quelles adaptations des systèmes de cultures peuvent-elles être mises en œuvre pour tirer profit des formations arborées ? Les formations arborées peuvent être des réservoirs à auxiliaires des cultures, et jouer un rôle dans les régulations biologiques au sein des parcelles de grande culture. Différentes questions peuvent être soulevées à cet égard. Y a-t-il déplacements des auxiliaires des formations arborées vers la parcelle ? Comment les conduites des différentes strates jouent-elles sur les interactions entre bioagresseurs et ennemis naturels ? Quelles sont les conduites des cultures et du linéaire sous arboré pour favoriser ces régulations ?
- Comment organiser spatialement les modes de gestion des ligneux et les modes de gestion des couverts en prairie/cultures pour favoriser l'expression des services écosystémiques associés à leurs mosaïques ? Selon le mode d'implantation des arbres (en rang ou dispersé en intra-parcellaire, en haie), les questionnements seront différents. Par exemple pour les haies il s'agit de raisonner en prenant en compte le pied de la haie aussi, et les différentes orientations des haies (pente/ombrage/vents dominants) pour jouer sur les sources d'auxiliaires vs « puits » de ravageurs, éviter le développement d'adventices, ou encore l'érosion des sols. Egalement en systèmes polyculture élevage, les mêmes ligneux seront associés successivement à des cultures et à des prairies, ce qui modifie les choix techniques des agriculteurs sur les ligneux, ainsi que les interactions techniques et écologiques entre ligneux et champs sur des pas de temps de successions culturales.
- Quels outils numériques pour faciliter la gestion des interactions entre arbres et culture/prairie ? On pense aux aspects relatifs au machinisme, qui se posent de la même façon que pour l'exploitation des vergers (par ex., besoin de données cartographiques spécialisées).

3.3. Gérer les interactions dans les systèmes agroforestiers à différents pas de temps pour intégrer les services « support » et les changements climatiques

- L'agroforesterie peut-elle constituer un levier pour l'adaptation des exploitations agricoles au changement climatique : contribution à l'autonomie fourragère en été, ombrage permettant de diminuer le stress thermique des animaux et les pertes de productivité qui y sont liées, ombrage permettant de réduire le stress hydrique des cultures ou de la prairie ?
- Il y a un besoin de connaissances sur les espèces (arbres et cultures) et les conduites les mieux adaptées dans les conditions de climat actuel mais aussi à l'horizon 2050. Pour cela, des recherches sont nécessaires non seulement sur des dispositifs de terrain, pour comprendre les processus et les interactions, mais également avec des modèles mécanistes, permettant de simuler différents scénarios et pour différentes espèces (arbres/ cultures) en interaction, selon différentes conduites (haut jet, têtard...).
- Au sein des systèmes agroforestiers, des concurrences peuvent apparaître dans l'espace et à différents pas de temps entre les processus et fonctions en jeu dans les services de production et ceux en jeu dans les services « support » associés aux ligneux (biodiversité de façon générale, stockage de carbone...). Ce point est important d'autant que ces services support impactent en retour les services de régulation et de production. Il est besoin de connaissances sur ces concurrences pour aider à la conception et la gestion de systèmes agroforestiers durables à différents pas de temps.

4. Filières / diversité et qualité des produits

4.1. Labelliser et assurer la qualité des produits agricoles issus des systèmes agroforestiers

- L'inclusion de produits issus de l'arbre dans l'alimentation animale implique d'étudier ses impacts sur la qualité des produits animaux (viande, lait, ...), en considérant à la fois les qualités nutritionnelle, organoleptique, de santé ou au contraire de toxicité, mais aussi de transformation (ex. fromageabilité). Au-delà de l'alimentation, la présence des arbres dans l'environnement de l'animal peut avoir des effets indirects sur la qualité de ses produits (ex. en volailles avec un effet sur la teneur en gras de la viande). Plusieurs facteurs de variation seront à considérer tels que le type d'animal, le type de produits de l'arbre, le taux d'inclusion dans la ration, la durée d'administration, etc.
- Concernant les cas spécifiques de productions animales sous label de qualité, des questions d'autorisation d'inclusion des produits issus de l'arbre se posent : par exemple, les arbres fourragers rentrent-ils dans le cahier des charges des labels ? Si ce n'est pas le cas, ces cahiers des charges sont-ils un possible frein au développement de l'agroforesterie ?

Inversement, un label de qualité « produit issu de l'agroforesterie » pourrait-il permettre de développer l'agroforesterie ? Se justifie-t-il pour les productions végétales (peut-être davantage pour les productions animales) ?

- La qualité des produits issus de l'AF pose-t-elle des questions spécifiques sur les différentes étapes de production de ces produits : récolte, tri, machinisme, valorisation ? C'est le cas pour AF et maraichage (taille des arbres, gestion du rayonnement).

4.2. Développer des filières pour les (nouveaux) produits issus des ligneux en systèmes agroforestiers

- Peut-on développer de nouveaux débouchés pour valoriser les spécificités des produits ligneux agroforestiers (ex. biopolymères issus des menus branchages) ? La qualité des produits ligneux avec des débouchés de type ébénisterie, molécules biosourcées doit également être considérée. Concernant la bioénergie, il semble n'y avoir plus que peu de recherche sur la biomasse ligneuse, mais une vérification auprès des laboratoires BETA sur écologie industrielle sur bois, LEMRAB sur biomasse et extraction de substances, ETBX pour prospective biomasse énergie et UE GCIE Picardie, serait nécessaire.
- Quel label de qualité pour le bois issu d'agroforesterie ? Il existe un label « Haie gérée durablement » et une marque « Végétal local » pour les arbres champêtres.

4.3. Labelliser et assurer les services écosystémiques des systèmes agroforestiers au-delà des seuls produits

- Inclure l'agroforesterie dans les systèmes agricoles comme compensation carbone ou pour obtenir un label « bas carbone » semble prometteuse ; pour cela, des questions se posent quant au niveau d'atténuation possible grâce à l'implantation d'arbres, en fonction du type d'agroforesterie mis en place.
- Quelles échelles spatiales / territoriales de labellisation pour soutenir les complémentarités de services écosystémiques des systèmes agroforestiers et selon quelles modalités ? Par exemple si l'on considère les stratégies de bioéconomie développées au niveau des territoires locaux / régionaux aujourd'hui ? Une spécificité des systèmes AF est qu'ils sont dispersés. C'est un frein mais aussi un possible atout si on considère une entrée « territoires » et non « filières ». Les collectivités territoriales sont sensibles aux aspects d'indépendance sur les productions, énergie, etc. Il existe des réseaux territoriaux pour des filières locales de bois énergie ou bois d'œuvre.

5. Ressources des agriculteurs et durabilité de leurs systèmes agroforestiers

Des enjeux spécifiques portent sur le renforcement des ressources humaines, foncières/naturelles, et matérielles/économiques des agriculteurs, pour les aider à concevoir/assurer des systèmes agroforestiers durables y compris à des échelles collectives. Cela demande des approches spécialisées mais aussi des approches intégrées des systèmes agroforestiers dans leurs contextes territorial et plus global, environnemental, politique et socio-économique. La création de référentiels pourrait également y contribuer.

5.1. Dimensions économiques, réglementaires et politiques : quelles évaluations, quels outils envisager pour soutenir des systèmes agroforestiers durables ?

- Quels aspects économiques à l'échelle de l'exploitation selon les choix et performances d'optimisation relative des systèmes agroforestiers, et selon les valeurs attribuées à ces performances (par exemple, selon des hypothèses de marchés et de paiements pour services environnementaux) ?
- Quels outils pour aider à articuler gestion productive, gestion environnementale et gestion patrimoniale des systèmes agroforestiers (par exemple, droit foncier, politiques agricoles, politiques d'aménagement du paysage) ?

5.2. Enjeu des ressources humaines et territoriales pour la conception et la gestion des systèmes agroforestiers

- Aspects travail et bien-être de l'agriculteur à l'introduction de ligneux : quelles motivations, quels freins, quelles évolutions ? Mieux les connaître pour aider au développement de l'introduction de ligneux, et leur conduite au long cours. Pour développer ces systèmes, il peut être nécessaire de simplifier la conduite technique de ces systèmes multi-strates. A la fois pour faciliter la plantation des arbres, le choix des espèces à semer et l'entretien du linéaire sous-arboré (mais faut-il nécessairement le semer et l'entretenir ?), les récoltes, et la taille ou l'exploitation des arbres (ex : haies). Et envisager des actions de formations.
- Temps de travail et agroforesterie : comment les agriculteurs priorisent-ils le travail entre arbres et cultures ? Quelle organisation sur leur exploitation et quels arbitrages à ce niveau ?
- Savoirs, savoir-faire et ancrages culturels. Certains systèmes agroforestiers peuvent avoir fait partie de systèmes agraires traditionnels qui se sont en partie délités mais ont pu aussi perdurer ou se transformer selon une variété de trajectoires individuelles. Quel intérêt de prendre appui sur les connaissances et savoir-faire locaux pour la conception de systèmes durables ? Comment le faire ? Problématique d'intégration des savoirs scientifiques et des savoirs d'experts.
- Gestion individuelle versus gestion collective des systèmes agroforestiers: quels renforcements réciproques pour atteindre des objectifs à différentes échelles ? La vision collective peut être intéressante, d'une part pour le partage de compétences, des risques et des investissements, d'autre part pour atteindre des objectifs de résultats à l'échelle de territoires locaux, de paysages (ex : éviter des phénomènes d'érosion des sols ou des déprédations massives par

les bioagresseurs). Dans un contexte de gestion largement individuelle des systèmes agroforestiers aujourd'hui, il est besoin d'identifier pour quels objectifs une coordination des agriculteurs agro-forestiers est utile, sur quels aspects des systèmes agroforestiers et comment (ex. location par les agriculteurs à un tiers pour production d'énergie ; conception de plantations à l'échelle de territoire locaux ; mise en commun de matériel et (re) développement de chantiers collectifs de taille...).

5.3. Enjeux de résilience des systèmes agroforestiers

Globalement, il serait nécessaire de considérer une reconception globale du système (avec animaux et/ou cultures adaptées aux systèmes agroforestiers) plutôt que de se limiter à mettre des animaux ou cultures sous des arbres. Mais pas de temps long (80 ans comme systèmes forestiers) à considérer par rapport à la culture ou l'élevage associé qui se situent dans des gammes de temps bien plus courtes.

- L'agroforesterie engendre une diversité de strates et une diversification des produits agricoles, qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur la résilience de l'exploitation agricole face à divers aléas, notamment climatiques. Cela pourrait faire une question de recherche en soi : l'agroforesterie permet-elle d'augmenter la résilience de l'exploitation agricole face aux aléas, et si oui, sous quelles conditions ?
- Comprendre, évaluer et scénariser des trajectoires des systèmes agroforestiers pour l'appui à des stratégies de transition agroécologiques intégrant des capacités de gestion adaptative. Par exemple considérer les copeaux comme co-produits de la taille des arbres vus dans leur multifonctionnalité, ou comme produits principaux de la taille des arbres vus d'abord comme fournisseurs de bois de chauffage, sont deux partis pris dont les implications au long cours sont peu anticipées (aussi bien en termes de contraintes de conduite et d'exploitation pour des arbres dispersés par définition, que de filières d'usage, ou de fonctions environnementales).

5.4. Atténuation des pollutions et des changements climatiques : quels services rendus par les systèmes agroforestiers au long cours, au-delà des exploitations agricoles ?

- L'agroforesterie peut-elle constituer un levier pour l'atténuation du changement climatique ? Question à traiter à l'échelle système. Par exemple, permet-elle de diminuer l'empreinte carbone des élevages de ruminants : contribution à l'autonomie fourragère, diminution des émissions de méthane grâce aux tanins contenus dans les ligneux fourragers, stockage de carbone ? En élevage laitier, utiliser des fourrages ligneux qui diminuent la méthanogenèse et qui se substituent au soja brésilien est une voie intéressante d'atténuation. En production végétale, l'amélioration de la fertilité des sols (grâce à l'augmentation des teneurs en matière organique du sol, à l'établissement de réseaux mycorhiziens ou à l'introduction d'arbres fixateurs d'azote) permet d'économiser des intrants générateurs de gaz à effet de serre (en plus de l'atténuation due au stockage de C dans la biomasse arborée aérienne et souterraine et dans la rhizosphère). Peut-être aussi un effet sur les émissions de protoxyde d'azote (en limitant la fréquence des épisodes de gel/dégel et l'hydromorphie des sols ?).
- L'agroforesterie peut-elle diminuer l'impact des exploitations agricoles sur la qualité de l'air : piégeage des émissions particulières (NH₄) des activités d'élevage ou des dérivés d'aérosols de pesticides lors des épandages ? Sous quelles conditions ?

6. Dispositifs et méthodes de recherche sur et pour les systèmes agroforestiers

Les questions ont trait i) à la complexité encore accrue des systèmes agroforestiers (multi-strates, impliquant des processus sur des pas de temps très variés, des interactions multiples, etc.) par rapport à d'autres systèmes agricoles, et ii) aux grandes spécificités locales des systèmes agroforestiers (y compris dans les savoirs et savoir-faire).

- Intérêt du développement et de la mobilisation de divers capteurs pour saisir un certain nombre d'interactions dans les systèmes agroforestiers (par exemple, ambiance micro-climatique, interactions végétal – animal...).
- Comment mobiliser des dispositifs non conçus initialement pour l'agroforesterie ? De fait, la très grande majorité de nos UE font de l'agroforesterie, mais la très grande diversité des situations rend la comparaison sur les aspects biophysiques difficile, même si par contre cela serait sans doute possible sur des aspects organisationnels (temps de travail). Le recensement de cet existant est toutefois difficile. Les UE sont intéressées voire proactives en agroforesterie car potentielle compensation environnementale (éligibilité de systèmes agroforestiers ?) + intégration dans INRAE 2030 du RSE et DD => Trouver des chercheurs intéressés par ces dispositifs, à construire avec UE et CD.
- Au-delà de la situation des UE : quelles méthodes pour monter en généralité dans les connaissances et permettre des capacités d'adaptation de ces connaissances aux situations locales ?
- Besoin de mobiliser des dispositifs et méthodes très différentes pour leur complémentarité : observatoires / systèmes expérimentaux, systèmes d'information multidimensionnels, méthodes de co-apprentissage, modèles mécanistes pour simuler des scénarios à différents pas de temps...

Besoins en compétences

| Domaine | Sous-domaine | Questions (...dont échelles/niveaux d'organisation) | Besoins en compétences <i>ingénierie - approches spécialistes/participatives</i> | Unités INRAE travaillant/étant susceptible de travailler sur ce sujet |
|--|--------------------------------------|---|---|--|
| Gérer les ligneux pour des bénéfices en production animale | Physiologie et production de ligneux | Potentiel de production, adaptation à des exploitations soutenues, au pâturage, phénologie, essences adaptées au climat futur... | Physiologie de l'arbre | UMR PIAF, UE FERLUS, UMR ECO&SOLS, UMR ISPA, UMR AMAP |
| | Production des ligneux | Gestion des ligneux selon le ou les usages choisis (production fourragère, d'ombrage, valorisation du bois, ...) | Ecophysiologie végétale, forestiers ? | UE FERLUS |
| | Physiologie et production animale | Adaptation aux SAF, tolérance stress thermiques, potentiel de production, robustesse | Zootechne, physiologie animale | UMRH, UMR PEGASE, URA, UE FERLUS, UMR SELMET, UE Herbipole |
| | Comportement, bien-être animal | Adaptation comportementale, gestion compromis, préférences, capacités d'apprentissage, acceptabilité fourrages arborés, relation Homme-animal, évaluation bien-être | Ethologie | UMRH, UMR PEGASE, UMR PRC, UE FERLUS |
| | Fourrages | Quelle valeur nutritive et alimentaire des fourrages ligneux (y compris les aspects toxicité) ? | Agronomie et zootechne | UMR PEGASE, URP3F, UMRH, UE Herbipole, UE FERLUS, UMR SELMET |
| | Santé animale | Santé du troupeau - contacts avec faune sauvage ; Zoonoses | Epidémiologie animale | UR EpiA, UE FERLUS |
| | Santé animale | Pathologies individuelles | Médecine vétérinaire | UMR IHAP, UMR ISP |
| | <i>Outils, méthodes, démarches</i> | <i>Développement, utilisation de capteurs pour caractériser l'animal, le végétal (dont ligneux), les comportements... Valorisation de dispositifs expérimentaux pour des études in situ Développement de modèles mécanistes pour simuler différents scénarios de conduite sur le long-terme</i> | <i>Electronique, informatique</i> | <i>UE FERLUS UE Herbipole UMRH UMR UREP</i> |
| Sélection végétale/animale pour la valorisation des SAF | Sélection génétique animale | Traits de sélection animale pour adaptation et valorisation SAF | Génétique animale | URZ ?, UMR GenPhySE ? |
| | Sélection génétique végétale | Traits de sélection végétale (y compris ligneux) pour adaptation et valorisation SAF Ecophysiologie Modélisation | Génétique végétale | UMR BioForA, UE Diascope, UMR System |
| | <i>Outils, méthodes, démarches</i> | <i>Valorisation de dispositifs expérimentaux pour des études in situ Développement de modèles mécanistes pour simuler différents scénarios de conduite sur le long-terme</i> | | <i>UE DIASCOPE, UMR System</i> |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Gérer les interactions dans les SAF pour assurer leurs multifonctionnalité / services écosystémiques au long cours | Production prairie et cultures | Impact des arbres, production et valeur prairies et cultures, fonctionnement | Ecophysiologie végétale, Agronomie | UMR ISPA, UE FERLUS, UMR AMAP, UMR UREP, UMRH |
| | Interactions biologiques | Biodiversité, écologie de la prairie, du sol, services écosystémiques, régulations biologiques | Ecologie | UMR AMAP, UE FERLUS, UERI Gotheron, UMR ECO&SOLS, UMR SYSTEM, UMR UREP, UMRH |
| | Micro-climat | Analyse ambiance micro-climatique, impact des ligneux dans temps et espace | bioclimatologie? | UMR PIAF, US Agroclim, UE FERLUS, UMR ECO&SOLS, UMR ISPA, UMR AMAP |
| | Transitions agroécologiques, Systèmes innovants | Comment améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources en systèmes à bas/haut niveaux d'intrants grâce à l'agroforesterie ? | Science du sol Ecophysiologie végétale Agronomie | UMR SAS UE FERLUS UMR ECO&SOLS, UMR SYSTEM, UMR ISPA |
| | Transitions agroécologiques, Systèmes innovants | Pourquoi et comment intégrer/réintégrer des ligneux dans les systèmes de polyculture-élevage (ou d'autres systèmes) pour concilier différents services écosystémiques, et améliorer leur adaptation, résilience et efficacité ? | Agroforesterie en systèmes de polyculture-élevage Agronomie des territoires/paysage Interdisciplinaire avec l'écologie, l'agroécologie du paysage... | UMR DYNAFOR, UE FERLUS UMR BAGAP, UMR SAS UMR SYSTEM |
| | <i>Outils, méthodes, démarches</i> | <i>Développement, utilisation de capteurs, indicateurs...pour caractériser et suivre les interactions entre ambiance micro-climatique, composantes végétales et animales des SAF et les pratiques</i> | | <i>UMR ISPA, UMR PIAF, UMRH</i> |
| | <i>Outils, méthodes, démarches</i> | <i>Création, gestion, analyses de bases de connaissances et BDD complexes articulant des variables très hétérogènes ; 4 dimensions.</i> | | <i>UMR AMAP, UMR ECO&SOLS</i> |
| | <i>Outils, méthodes, démarches</i> | <i>Méthodes de co-apprentissage (ex : réseaux de causalités, jeux sérieux...), d'aide à la décision (ex : analyses multi-critères), de co-conception de systèmes innovants (ex : ateliers de co-conception)... Valorisation de dispositifs expérimentaux pour des études in situ Développement de modèles mécanistes pour simuler différents scénarios de conduite sur le long-terme</i> | | <i>UMR AGIR UERI Gotheron (en lien avec GRAB, Lasalle Beauvais et UMT Si bio) UE FERLUS UMR SYSTEM</i> |
| Filières – qualité des produits agricoles et nouveaux débouchés | Qualité des produits animaux | Quelle qualité des produits d'animaux alimentés avec des fourrages ligneux ? Quelle qualité des produits animaux élevés dans un environnement AF (hors alimentation) ? | Zootecnie Physiologie - métabolisme | UMRH URF, UE EASM |
| | Qualité des produits végétaux | Quelle qualité des cultures produites en système agroforestier ? | Agronomie | UE Diascope ? UERI Gotheron UMR System UMR GDEC ? |

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| | Débouchés et freins | Bois énergie, bois d'œuvre, de chauffage, litière, BRF, biopolymères... Quelle valorisation des produits agroforestiers dans les systèmes agroalimentaires ? Quelles limitations dans les productions sous label de qualité (ex. fromages AOP) ? | | UMR BETA USC LERMAB ? UR ETBX ? UE GCIE Picardie ? |
| V. Ressources des agriculteurs et durabilité de leurs SAF | Economie exploitation | Evaluation coût / rentabilité à l'inclusion de ligneux, diversification productions, dans contexte aléas climatiques, rémunération des services environnementaux | Economie Inter-disciplinaire pour prendre en compte les relations de cause à effet | UR SMART-LERECO UMR SAS UMR BAGAP, UMRH |
| | Freins et motivations des agriculteurs au développement de l'AF | Coûts et bénéfices de l'inclusion de ligneux (travail, bien-être, ancrage culturel, productions, image métier...). Les ligneux dans la gestion territoriale des exploitations : quelle organisation du travail et quels arbitrages ? | Ergonomie du travail, psycho-ergonomie, sciences sociales, sciences biotechniques (agronomie, zootechnie...) Interdisciplinaire sciences biotechniques/sciences sociales-humaines | UMR DYNAFOR UMR BAGAP Domaine international : IFSA, NRM |
| | Ressources territoriales des agriculteurs | En quoi et comment les conditions géographiques, paysagères et les ressources sociales / sociotechniques des agriculteurs leur permettent d'intégrer durablement les arbres dans leurs systèmes de gestion ? Quelles possibilités d'articuler gestion productive / gestion environnementale / gestion patrimoniale des ligneux par les agriculteurs (ex: droit foncier et politiques publiques)? | Sociologie, sciences de gestion, géographie, droit, agronomie des territoires/des paysages. Interdisciplinaire avec l'écologie, l'agroécologie du paysage ... | UMR DYNAFOR, UMR BAGAP et autres Domaine international : IFSA, NRM |
| | Durabilité système | Systèmes AF : diversité de strates et diversification des productions : dans quelle mesure et sous quelles conditions l'agroforesterie permet-elle d'augmenter la résilience de l'exploitation agricole face aux aléas ? | Echelle système Economie Agronomie Modélisation | UERI Gotheron (débutant) UMR SYSTEM (échelle parcelle, volonté d'aller à l'échelle exploitation) UE FERLUS |
| | Durabilité système | AF comme levier pour l'adaptation au CC (autonomie fourragère, réduction stress thermique, hydrique...) et l'atténuation du CC (stockage C, réduction CH4, réduction intrants...) | | |
| | Outils, méthodes, démarches | <i>Comment capter, visualiser, comprendre, aider à mobiliser/développer les freins et motivations des agriculteurs, les ressources territoriales spécifiques à l'agroforesterie ? – Comment assurer l'intégration de connaissances académiques et issues du terrain ? Quelle généralité des résultats ?</i> | <i>Méthodes d'identification des réseaux d'acteurs, méthodologies de co-apprentissage, ingénierie des connaissances, modélisation participative (jeux de rôle, modélisation multi-agents, cartes mentales, réseaux de causalités, scénarisation...), méthodes d'évaluation des consentements à payer, etc.</i> | UMR AGIR |

Références

- Résultats du projet EU Agforward : <https://www.agforward.eu/index.php/fr/>
- Bernard M., Ginane C., Deiss V., Emile J.C., Novak S., 2020. Ingestion volontaire et digestibilité *in vivo* de feuilles de deux essences d'arbres, le frêne commun (*Fraxinus excelsior*) et le mûrier blanc (*Morus alba*). *Fourrages*, **242**, 55–59.
- Bisseleua H.B.D., Fotio D., Yede, Missoup A.D., Vidal S., 2013. Shade tree diversity, cocoa pest damage, yield compensating inputs and farmers' net returns in West Africa. *PLoS One*, **8**, e56115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056115>
- Boinot S., Mézière D., Poulmarc'h J., Saintilan A., Lauri P.-É., Sarthou J.-P. (under review). Ecological processes driving the spillover of ground-dwelling predators in alley cropping agroforestry fields: farming system matters.
- Burgess P.J., Graves A., García de Jalón S., Palma J.H.N., Dupraz C., van Noordwijk M., 2019. Modelling agroforestry systems. In Mosquera-Losada M.R., Prabhu R. (Eds) *Agroforestry for Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science 55. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 209–238.
- Du Bus De Warnaffe G., Deconchat M., Ladet S., Balent G., 2006. Variability of cutting regimes in small private woodlots of south-western France. *Ann. For. Sci.*, **63**, 915–927.
- Gosme M., Panozzo A., Desclaux D., 2018. Breeding durum wheat for agroforestry: what to look for? 4. European Agroforestry Conference. EURAF 2018, May 2018, Nijmegen, Netherlands. European Agroforestry Federation (EURAF), 567 p., 2018, Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference, Agroforestry as Sustainable Land Use. (hal-02737916)
- Harvey C.A., Villanueva C., Villacis J., Chacon M., Munoz D., Lopez M., Ibrahim M., Gomez R., Taylor R., Martinez J., Navas A., Saenz J., Sanchez D., Medina A., Vilchez S., Hernandez B., Perez A., Ruiz E., Lopez F., Lang I., Sinclair F.L., 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **111**, 200–230.
- Isaac M.E., Dawoe E., Sieciechowicz K., 2008. Assessing local knowledge use in agroforestry management with cognitive maps. *Environ. Manage.*, **43**, 1321–1329.
- Jose S., Walter D., Mohan Kumar B., 2019. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agrofor. Syst.*, **93**, 317–331.
- Kay S., Graves A., Palma J.H.N., Moreno G., Rocas-Díaz J.V., Aviron S., Chouvardas D., Crous-Duran J., Ferreiro-Domínguez N., García de Jalón S., Măcicășan V., Mosquera-Losada M.R., Pantera A., Santiago-Freijanes J.J., Szerencsits E., Torralba M., Burgess P.J., Herzog F., 2019. Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosyst. Serv.*, **36**, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100896>
- Kristensen S.P., Thenail C., Kristensen L.S., 2001. Farmers' involvement in landscape activities: An analysis of the relationship between farm location, farm characteristics and landscape changes in two study areas -in Jutland, Denmark. *J. Environ. Manage.*, **61**, 301–318.
- Le Du L., Le Coeur D., Thenail C., Burel F., Baudry J., 2007. Les nouvelles haies des programmes de replantation : évaluation de leur qualité écologique et leur entretien dans les exploitations agricoles., In: Berlan-Darqué M., Luginbühl Y., Terrasson D. (Eds.), *Paysages : De La Connaissance à l'action.*, Update Sciences & Technologies. Editions QUAE, Paris, 179–193.
- Le Guillou F., 2020. Approche systémique de la haie, pour passer de sa multifonctionnalité à la conception de plans de gestion. Thèse de doctorat, Université Caen Normandie. 550 p + annexes.
- Martel G., Aviron S., Joannon A., Lalechère E., Roche B., Boussard H., 2019. Impact of farming systems on agricultural landscapes and biodiversity: From plot to farm and landscape scales. *Eur. J. Agron.*, **107**, 53–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.014>
- Millard E., 2011. Incorporating agroforestry approaches into commodity value chains. *Environ. Manage.*, **48**, 365–377.
- Morandin L.A., Long R.F., Kremen C., 2016. Pest control and pollination cost-benefit analysis of hedgerow restoration in a simplified agricultural landscape. *J. Econ. Entomol.*, **109**, 1020–1027. <https://doi.org/10.1093/jee/tow086>
- Mosquera-Losada M.R., Santiago-Freijanes J.J., Rois-Díaz M., Moreno G., den Herder M., Aldrey-Vázquez J.A., Ferreiro-Domínguez N., Pantera A., Pisanelli A., Rigueiro-Rodríguez A., 2018. Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Agrofor. Syst.* **92**, 1117–1127. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0251-5>
- Novak S., Barre P., Delagarde R., Mahieu S., Niderkorn V., Emile J.C., 2020. Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, **242**, 35–47.
- Papanastasis V.P., Yiakoulaki M.D., Decandia M., Dini-Papanastasi O., 2008. Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **140**, 1–17. [DOI:10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012)[DOI:10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012)
- Patra A.K., 2009. A meta-analysis on effects of supplementing low-quality roughages with foliages from browses and tree fodders on intake and growth in sheep. *Livestock Sci.*, **121**, 239–249.
- Santi F., 2012.. Sélection participative pour les arbres, contexte forestier et agroforestier. 6e Atelier - Arbre agricole, arbre forestier, quelles synergies pour faire face au changement climatique ?, Réseau Mixte Technologique "Adaptation des forêts au changement climatique" (RMT AFORCE). FRA., Oct 2012, Paris, France. (hal-02805922)
- Staton T., Walters R.J., Smith J., Girling R.D., 2019. Evaluating the effects of integrating trees into temperate arable systems on pest control and pollination. *Agric. Syst.*, **176**, 1–9. [DOI:10.1016/j.agsy.2019.102676](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102676)[DOI:10.1016/j.agsy.2019.102676](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102676)
- Surová D., Surov P., de Almeida Ribeiro N., Pinto-Correia T., 2011. Integrating differentiated landscape preferences in a decision support model for the multifunctional management of the Montado. *Agrofor. Syst.*, **82**, 225–237.

- Thenail C., Dupraz P., Pech M., Turpin N., Ducos G., Winckler L., Barillé P., Joannon A., Baudry J., Le Coeur D., Hubert-Moy L., 2009. How do farms economic and technical dynamics contribute to landscape patterns? In Brouwer F., van der Heide M. (Eds.), *Multifunctional Rural Land Management: Economics and Policies*. Earthscan, Wageningen, pp. 235–253.
- Torralba M., Fagerholm N., Burgess P.J., Moreno G., Plieninger T., 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **230**, 150–161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
- Torres F., 1983. Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agrofor. Syst.*, **1**, 131–163.
- Vandermeulen S., Ramírez-Restrepo C.A., Beckers Y., Claessens H., Bindelle J., 2018. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Anim. Prod. Sci.*, **58**, 767–777. [DOI:10.1071/AN16434](https://doi.org/10.1071/AN16434)[DOI:10.1071/AN16434](https://doi.org/10.1071/AN16434)
- Zimmermann Teixeira F., Bachi L., Blanco J., Zimmermann I., Welle I., Carvalho-Ribeiro S.M., 2019. Perceived ecosystem services (ES) and ecosystem disservices (EDS) from trees: insights from three case studies in Brazil and France. *Landscape Ecol.*, **34**, 1583–1600. [DOI: 10.1007/s10980-019-00778-y](https://doi.org/10.1007/s10980-019-00778-y)[DOI: 10.1007/s10980-019-00778-y](https://doi.org/10.1007/s10980-019-00778-y)

Annexe 3 – Services écosystémiques rendus par l'agroforesterie à l'échelle du paysage

Marie Charru, Catherine Picon-Cochard

Préambule

L'agroforesterie se définit comme l'association délibérée d'espèces ligneuses (arbres, buissons) avec des cultures ou des animaux d'élevage. Nous considérons ici l'ensemble des principaux systèmes agroforestiers en Europe qui incluent les pré-bois, les haies et ripisylves, les vergers cultivés et pâturés, les forêts paysannes et les systèmes plus modernes d'agroforesterie intra-parcellaire et de sylvopastoralisme.

Le paysage se définit comme un niveau d'organisation où différents écosystèmes (agricoles, aquatiques, forestiers) et différents acteurs interagissent. Le paysage constitue donc un niveau approprié pour comprendre les processus écologiques et sociaux qui contribuent conjointement à la provision de services écosystémiques par les systèmes agroforestiers. C'est également au niveau des paysages que se posent les questions de changement d'échelles spatiales (intra-parcelle vers surfaces larges définies selon les sites environnants) et que les fonctions écosystémiques doivent être traduites en proxys de services.

L'écologie du paysage considère que les "services du paysage", c'est à dire les services écosystémiques fournis par une combinaison de plusieurs écosystèmes, sont une propriété émergente des paysages. Dans ce cadre, l'organisation dans l'espace des agro-écosystèmes et leurs évolutions temporelles sont des déterminants majeurs des services écosystémiques fournis par les paysages.

Deux points de vue différents peuvent être adoptés pour étudier les services fournis par les systèmes agroforestiers à l'échelle du paysage : i) l'effet de la présence de systèmes agroforestiers sur les services fournis par le paysage (liés aux services fournis par l'introduction d'arbres dans le paysage agricole), et ii) l'effet du paysage environnant, agroforestier ou non, sur les propriétés d'une parcelle agroforestière. Ces deux points de vue devront être considérés pour l'ensemble des domaines de recherche identifiés ci-dessous.

Questions de recherche prioritaires

Trois grands domaines de recherche relatifs à l'étude des systèmes agroforestiers dans le paysage ont été identifiés. Le premier domaine est lié aux **connaissances sur les processus écologiques et biophysiques à l'œuvre à l'échelle du paysage** non agroforestier et des systèmes agroforestiers eux-mêmes. Le second concerne l'étude des **services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers à l'échelle des paysages**, dans leurs dimensions écologiques et socio-culturelles, et sur l'impact du paysage environnant sur la fourniture de ces services. Le dernier concerne les **données et outils à mobiliser** pour progresser dans la compréhension des services fournis par les systèmes agroforestiers à l'échelle du paysage et sur les impacts du paysage environnant sur les services fournis en un point donné du paysage.

1. Connaissances sur les processus écologiques et hydrobiogéochimiques à l'œuvre dans les paysages agroforestiers

Les fonctions écologiques et biophysiques concernées sont liées aux processus opérant sur de petites étendues (plantes, parcelles, voir fiche processus) et qui agissent sur des étendues plus larges, mais également aux processus écologiques et biophysiques par lesquels les unités paysagères environnantes peuvent agir sur les propriétés d'une parcelle donnée. Il s'agit donc d'aborder le continuum d'étendues spatiales, de la parcelle au paysage et du paysage à la parcelle, pour comprendre le rôle de ces processus à l'échelle du paysage.

1.1. Effets biophysiques

Nous considérons ici les effets des différents types de systèmes agroforestiers, de leur disposition spatiale et de leur dynamique temporelle sur les grands cycles biogéochimiques (C, N, P, H₂O) et leur couplage à l'échelle du paysage, la stabilisation des sols (érosion, glissements de terrain), l'hydrologie du paysage, le microclimat sur et autour des parcelles et la circulation de l'air (brise-vent, effet venturi) et des particules associées (ammoniac, sels d'ammonium, embruns de pesticides, pollen...) dans le paysage.

Les questions associées aux cycles biogéochimiques concernent les **échanges sol-plante-atmosphère/hydrosphère à l'échelle du paysage** ainsi que les **échanges entre parcelles et aux interfaces entre milieux au sein du paysage**. Un premier enjeu est de **quantifier les flux et les stocks de C** dans les différents types de systèmes agroforestiers à l'échelle du paysage, dans les différents compartiments (sol, biomasse, litière, hydrosphère), en fonction de leur organisation dans l'espace, et d'évaluer leur impact sur l'atténuation du changement climatique. Un deuxième enjeu est de comprendre le **rôle des systèmes agroforestiers dans le transfert de l'azote, du phosphore et des produits phytosanitaires** entre parcelles ainsi que vers l'atmosphère et l'hydrosphère. En particulier il est important de pouvoir évaluer la contribution des systèmes agroforestiers à la réduction du transfert des éléments vers l'eau et/ou l'air, à la limitation des pollutions diffuses et à la réduction du recours aux engrais et aux produits phytosanitaires.

La **disponibilité en eau au sein des parcelles agroforestières et dans les parcelles adjacentes devrait jouer un rôle important dans la régulation des grands cycles biogéochimiques**, comme déterminants des cycles CNP et comme « vecteur » des éléments CNP dans le paysage. La présence d'arbres dans un paysage favorise l'infiltration de l'eau dans le sol, diminue le transfert d'éléments vers les cours d'eau et les nappes, limite la redistribution de sol à l'intérieur du paysage et limite l'export de particules de sol vers les cours d'eau. A l'échelle d'un paysage, il est nécessaire **d'évaluer les conséquences de la présence de différents types de systèmes agroforestiers, et de leur agencement spatial sur la régulation des crues et la qualité de l'eau** (turbidité, pollution chimique) à l'échelle du bassin versant ou à l'échelle d'une aire d'alimentation d'un captage d'eau potable, ainsi que sur la qualité et la biodiversité des milieux aquatiques.

Concernant la stabilisation des sols, il semble nécessaire de **mieux comprendre le rôle des systèmes agroforestiers dans le paysage sur la limitation de l'érosion et des glissements de terrain**. Si des travaux ont été réalisés sur les systèmes agroforestiers bocagers, il en existe moins sur les autres types de systèmes agroforestiers. En particulier, l'agencement spatial des formations ligneuses dans un paysage a un rôle important, et la caractérisation des paysages agroforestiers qui favorisent la stabilisation des sols devrait être approfondie.

Les arbres et les forêts influent sur l'humidité atmosphérique, la température, l'amplitude thermique journalière, la vitesse du vent, la formation de nuages et la pluviométrie. La présence et/ou l'introduction d'arbres dans les paysages ruraux est donc susceptible de modifier le micro/mésoclimat. La nature et l'amplitude de ces modifications devraient être caractérisées à l'échelle du paysage et à l'échelle d'une petite région. En particulier, **le rôle des systèmes agroforestiers dans la régulation ou l'atténuation des conséquences du changement climatique** dans les zones rurales mais également dans les zones urbanisées devrait être analysé. En particulier, un intérêt croissant est porté au rôle des arbres dans la régulation du microclimat des zones urbanisées. La présence de systèmes agroforestiers aux alentours des villes et des métropoles, ainsi que la présence de systèmes agroforestiers en milieu urbain (dans le cadre de l'agriculture urbaine) pourraient avoir un grand intérêt pour le bien être des habitants. Le paysage urbain (artificialisation des sols, pollution, barrières physiques, fréquentation du public...) pourrait également affecter le fonctionnement des systèmes agroforestiers urbains et péri-urbains et les services écosystémiques qu'ils fournissent. Des recherches devraient être menées en intégrant un partenariat territorial (régions, métropoles, communes) et agricole.

Les arbres constituant un obstacle à la circulation de l'air, la présence de systèmes agroforestiers dans un paysage peut modifier la circulation des particules telles que le pollen, les poussières et les polluants chimiques. Il est nécessaire **d'évaluer l'influence des systèmes agroforestiers sur les flux de gènes dans un paysage, ainsi que leur rôle dans la limitation de la diffusion des polluants aériens**. Ici encore, les recherches devraient porter autant sur les paysages ruraux que sur les zones urbaines et péri-urbaines, dans la perspective d'améliorer la qualité de l'air pour les habitants.

1.2. Biodiversité

Les systèmes agroforestiers ont des effets positifs potentiels sur la biodiversité dus à leur rôle dans la connectivité des habitats et des réseaux trophiques. Ils peuvent également influencer sur les régulations biologiques, les zoonoses, la pollinisation et la faune sauvage.

De par l'introduction d'arbres et de formations ligneuses dans le paysage, les systèmes agroforestiers contribuent à la connectivité écologique. Se pose alors la question des types de systèmes agroforestiers et des agencements spatiaux qui assurent le mieux la connectivité écologique dans un paysage. Par ailleurs, on s'attend à ce que la présence de ligneux ait un effet sur les régulations biologiques à l'échelle du paysage, et il est nécessaire d'analyser l'impact de ces ligneux et de la connectivité associée sur la quantité et la mobilité des bio-agresseurs et des auxiliaires associés, ainsi que sur la propagation des zoonoses.

La biodiversité associée aux formations ligneuses a une influence sur le service de pollinisation. Il est alors important de s'intéresser à l'apport des systèmes agroforestiers en termes de quantité, de qualité et de diversité de la ressource disponible pour les pollinisateurs, ainsi que sur la complémentarité temporelle entre ses ressources.

Les systèmes agroforestiers pourraient avoir un effet sur la présence de gibier, avec des conséquences possiblement importantes sur les cultures et les jeunes plantations agroforestières (abrutissement). Il est donc important d'étudier l'influence des systèmes agroforestiers et de la connectivité écologique associée sur la quantité et la mobilité de la faune sauvage et de la prédation.

Une autre question concerne la diversité des espèces ligneuses, des cultures associées et leurs interactions au sein des systèmes agroforestiers, et le rôle de cette diversité sur la résilience des systèmes agroforestiers face au changement climatique et sa contribution à la stabilisation des services rendus par le paysage.

La composition des associations au sein des systèmes agroforestiers : arbre/ligneux + cultures annuelles, cultures pérennes pourrait avoir des effets différents sur les connectivités et la biodiversité au sein des paysages. Il s'agira de comprendre ces effets au sein des parcelles et entre parcelles.

2. Approches pour appréhender les services écosystémiques du paysage

L'agroforesterie peut fournir de nombreux services écosystémiques à l'échelle de la parcelle, dont l'intégration à l'échelle du paysage demeure un défi. Par ailleurs les paysages peuvent eux-mêmes fournir des services écosystémiques émergents, ou "services du paysage", résultant de la combinaison de plusieurs écosystèmes. L'échelle du paysage semble

donc très pertinente pour étudier la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers et la fourniture de multiples services écosystémiques.

Nous présentons ici une réflexion sur les approches et concepts à développer pour faire progresser les recherches sur les services écosystémiques des paysages agroforestiers, pour la plupart empruntés à l'écologie des paysages.

2.1. Mobiliser et améliorer les approches d'analyse spatiale

- Echelles spatiale et temporelle

La plupart des travaux sur l'agroforesterie sont réalisés à l'échelle de la parcelle ou à l'échelle locale, et en général sur un seul site d'étude. **Afin de répondre aux défis posés par l'étude des services écosystémiques des systèmes agroforestiers à l'échelle du paysage, il est crucial de travailler sur de larges étendues spatiales.** Les paysages se construisent et évoluent sur des échelles temporelles plutôt longues. **L'analyse des services écosystémiques des systèmes agroforestiers à l'échelle des paysages nécessite donc à la fois des études historiques et des scénarii d'évolution future** pour évaluer leur dynamique, leur vitesse de mise en place, leur résilience face à des perturbations, leur rôle dans la résilience des systèmes eux-mêmes. Cette approche n'est pas encore assez répandue, la littérature se basant surtout sur des informations très détaillées, des périodes de temps relativement courtes (une ou deux années), pour inférer des relations entre des services écosystémiques et des variables paysagères ou des changements d'organisation du territoire.

- Prise en compte de la géométrie des unités spatiales

L'écologie des paysages montre que pour de nombreux processus écologiques la taille et la forme des unités spatiales est déterminante. Par exemple les effets associés aux lisières peuvent concerner une proportion variable d'un milieu selon sa surface et sa forme. Ces relations ont des conséquences écologiques qui déterminent de nombreux services écosystémiques, liés notamment à des déplacements d'espèces ou de matière. **Ces questions surfaciques devraient être davantage abordées dans les travaux sur les services écosystémiques des paysages agroforestiers.**

- Flux, interfaces et connectivité

Un certain nombre de services écosystémiques dépendent d'agents mobiles (eau, prédateurs, pollinisateurs, etc.) qui se déplacent. En fonction des services écosystémiques considérés, ces flux doivent être ralentis (ruissellement, vent) ou au contraire favorisés (pollinisateurs). Ces flux d'espèces et de matière dépendent fortement des interfaces entre les milieux. Les systèmes agroforestiers introduisent de l'hétérogénéité dans les paysages, et sont donc susceptibles de multiplier les interfaces entre milieux. **Le rôle des interfaces sur les flux liés à la fourniture de services écosystémiques et la manière de les faire évoluer** devraient être analysés dans les recherches en agroforesterie. Par ailleurs, la connectivité dans les paysages conditionne les interdépendances spatiales entre les différentes composantes d'un paysage, qui vont favoriser ou non la circulation d'un certain nombre d'éléments. Ainsi la moindre rupture de continuité peut avoir des conséquences très importantes sur les parcelles adjacentes et sur l'ensemble du paysage. Il est donc crucial de **considérer le rôle des systèmes agroforestiers dans la connectivité des paysages dans la perspective des dynamiques à long terme et de l'évaluation de la résilience du paysage face à des perturbations.**

- Description de l'espace

La description de l'espace est habituellement faite avec un regard anthropique (parcelles, propriétés, occupations du sol), qui ne correspond pas forcément au découpage de l'espace pertinent pour les organismes qui sont le support d'un certain nombre de services qui nous intéressent. A fortiori les espaces agroforestiers sont en général mal caractérisés dans les cartes d'occupation du sol, n'étant ni purement agricoles ni purement forestiers. Il en résulte un désaccord d'échelles entre celles qui sont utilisées pour l'étude et la gestion des processus écologiques, et celles qui sont effectivement pertinentes pour rendre compte de ces processus convenablement. Une piste de recherche est de cartographier un certain nombre de services écosystémiques à partir des données spectrales, texturales ou autres qui sont contenues dans les données satellitaires. Il serait ainsi possible **d'obtenir des modèles prédictifs (pas nécessairement explicatifs) de proxys de services écosystémiques à partir de données satellitaires** sans passer par une étape de cartographie a priori des occupations du sol.

- Représentation cartographique

L'écologie des paysages vise à proposer des représentations, ou cartographies, des relations sociales et écologiques entre les différents éléments qui constituent le paysage. Les « cartes » constituent soit des entrées des modèles utilisés soit des sorties des modèles produits, et peuvent même être considérées elles-mêmes comme étant le modèle, c'est-à-dire ce qui apporte et véhicule l'information pertinente. La représentation des données spatialisées peut prendre de multiples formes (vectorielle, raster, réseaux, cartes interactives subjectives) en fonction des données mobilisées et de l'objectif visé. Les approches cartographiques ont reçu peu d'attention dans les recherches en agroforesterie. Elles devraient être davantage mobilisées pour **produire des modèles spatialement explicites de la fourniture et de la demande de services écosystémiques à différentes échelles spatiales.**

2.2. Considérer les paysages agroforestiers comme des socio-écosystèmes

On observe dans les recherches en agroforesterie un manque de diversité dans les approches mobilisées, avec une forte dominance des approches biophysiques par rapport aux approches monétaires et socioculturelles. Par ailleurs la plupart des

travaux se focalisent sur les services de support, d'approvisionnement et de régulation, et peu d'attention est prêtée aux services culturels. Il est nécessaire de **développer davantage d'approches socio-culturelles**.

L'échelle du paysage rend possible l'intégration des différentes composantes de la co-production de services écosystémiques (processus écologiques, pratiques agricoles et structures socioéconomiques). Elle permet également de comprendre l'interaction entre les différents acteurs incluant les fournisseurs de services écosystémiques et les bénéficiaires de ces services. Enfin cette échelle permet d'explicitier les compromis réalisés par les acteurs sociaux quant au choix entre différents services écosystémiques. Cependant, les compromis entre services écosystémiques et les bouquets de services sont rarement analysés. Ces interdépendances devraient être étudiées de manière concertée et intégrative. Cela nécessite de **développer et d'implémenter un cadre conceptuel intégratif incluant simultanément les multiples écosystèmes, acteurs, services et disservices écosystémiques**.

De tels travaux devraient s'interroger sur les demandes émanant des politiques publiques et voir dans quelle mesure la recherche peut y apporter des réponses pour contribuer à atteindre une gouvernance durable et équitable des paysages ruraux.

3. Données et outils à développer pour faire progresser les recherches en agroforesterie à l'échelle du paysage

Nous nous intéressons dans cette partie aux données à mobiliser et aux outils de modélisation pour développer les recherches sur les systèmes agroforestiers à l'échelle des paysages.

3.1. Dispositifs expérimentaux

Les recherches sur les systèmes agroforestiers à l'échelle des paysages nécessitent de considérer des échelles spatiales et temporelles larges. Il est donc nécessaire de s'appuyer sur des **sites d'étude à l'échelle du paysage et à long terme pour suivre, capitaliser de l'information et avoir de la profondeur historique**. Les données de suivi à long terme sont ce qui fait le plus défaut à l'heure actuelle.

Par ailleurs, **l'intégration de ces sites dans des réseaux offrant des possibilités de comparaison** est à privilégier. Il serait intéressant d'établir des réseaux de sites d'étude à l'échelle Européenne, incluant des pratiques de gestion différentes dans une large gamme de conditions biogéographiques, afin d'améliorer les modèles existants et d'obtenir une vision plus générale des services écosystémiques fournis par l'agroforesterie. Des dispositifs de type « Zone atelier » voire ORE de type bassins versants ont fait leurs preuves en écologie du paysage et devraient être multipliés dans des contextes agro-socio-écologiques variés.

S'il n'est peut-être pas souhaitable de multiplier des dispositifs expérimentaux lourds et coûteux, il faudrait raisonner le nombre de dispositifs de manière à avoir des situations suffisamment contrastées avec quelques sites bien instrumentés et suivis sur le long terme. Un objectif devrait être d'avoir des données suffisamment précises et représentatives pour en extraire des proxys pouvant être déployés à large échelle et pour calibrer des modèles à l'échelle du paysage.

La question se pose du lien avec les expérimentations dites « système » et de leur valorisation dans ce contexte, dans la mesure où elles représentent une échelle intermédiaire entre la parcelle et le paysage.

3.2. Bases de données

Il existe des bases de données de parcelles agroforestières au sein de certains organismes d'accompagnement de l'agroforesterie (CA, conseillers agroforestiers, associations de promotion de l'agroforesterie, RMT AgroforesterieS, etc). **Un meilleur partage et valorisation de ces bases de données est nécessaire** pour faire avancer les recherches sur les services fournis par l'agroforesterie à l'échelle du paysage. Par ailleurs ces bases de données devraient être complétées pour obtenir un réseau de parcelles AF sur le territoire nationale et internationale. Ces bases de données pourraient être complétées par des mesures au sol réalisées au cours de différentes recherches (voir fiche processus).

De nouvelles approches comme les « bases de connaissance », intégrant un grand nombre de données très différentes (ex. *Forest data provider* – UMR AMAP ; DipSO INRAE : direction pour la science ouverte), sont en cours de développement.

3.3. Données issues de la télédétection

Les données issues de la télédétection sont de plus en plus accessibles, précises et fréquentes. En particulier la constellation des Sentinelles (programme Copernicus) promettent des potentialités extraordinaires pour les recherches à l'échelle du paysage. L'usage de ces nouvelles données constitue en soi un enjeu méthodologique pour avancer dans la caractérisation des paysages agroforestiers et des éléments constitutifs de ces paysages (arbres isolés, haies, bosquets, alignements intraparcellaires...), l'étude de leur dynamique, les services écosystémiques associés. Ces données constituent des outils très pertinents pour travailler sur des échelles spatiales et temporelles larges pour quantifier les proxys des services écosystémiques.

3.4. Sciences participatives

Les approches de science participative devraient être davantage mobilisées, en particulier dans l'optique d'une considération accrue des services socio-culturels fournis par l'agroforesterie.

Par ailleurs, les recherches en agroforesterie devraient **davantage impliquer les acteurs tels que les agriculteurs, les propriétaires, les résidents et les décideurs**, dans des processus de recherche action par exemple. Cette implication est indispensable pour appréhender la fourniture de multiples services et les compromis entre services à l'échelle du paysage.

3.5. Modèles à l'échelle du paysage

La modélisation des paysages agroforestiers est incontournable pour faire progresser les recherches sur les services liés à l'agroforesterie. Cependant la modélisation des paysages fait face à de nombreux défis du fait de la diversité des processus naturels et humains à l'œuvre, leurs interactions et le nombre d'échelles en jeu. Les échelles spatiales et temporelles des processus qui sous-tendent les services peuvent différer de celles des humains qui bénéficient de ces services, et les échelles de la décision humaine peuvent différer de celles du fonctionnement écologique. Par ailleurs, certaines modifications du paysage sont des processus de long terme, en particulier dans les paysages agroforestiers (croissance des arbres, changements structurels des exploitations agricoles) et doivent être considérées dans le contexte des changements globaux. Enfin, les expérimentations à l'échelle du paysage sont difficiles.

Nous recensons ici les principaux défis pour la modélisation des paysages agricoles, qui ne sont pas spécifiques aux systèmes agroforestiers mais qu'il est nécessaire de relever pour avancer dans ce champ de recherche. Le premier défi concerne la représentation des paysages agricoles. Il est important de **passer de la représentation de l'espace basée sur le paradigme de la mosaïque de parcelles à une représentation plus complexe** fondée sur la disponibilité grandissante de données spatialisées à haute résolution, et sur les composantes sociales des paysages agricoles. Ceci permettrait **d'améliorer le couplage entre les motifs paysagers et les modèles de processus, en particulier en permettant des rétroactions entre les processus biophysiques et les motifs paysagers**. Ces couplages nécessitent de rassembler des chercheurs en écologie du paysage, agronomie et processus biophysiques. Le second défi concerne la diversité des parties prenantes et leurs inter-relations. Il est nécessaire de **mieux appréhender les processus de décision des acteurs et leur diversité afin que les modèles intègrent mieux l'action humaine**. Le troisième défi est d'élaborer un cadre approprié pour la calibration et l'évaluation des modèles des paysages, basés sur des données hétérogènes et des observations indirectes et incomplètes des processus à l'œuvre. Le dernier défi est **l'utilisation des modèles pour concevoir des paysages agricoles durables**. En effet, du fait de la grande difficulté à expérimenter à l'échelle du paysage, les modèles constituent des outils très utiles pour explorer des organisations alternatives du paysage et évaluer des performances multi-objectifs.

Pour répondre à ces défis, les concepts théoriques de l'écologie des paysages devraient être revisités et renforcés, de manière à pouvoir tester des hypothèses adaptées à ces questions nouvelles et complexes.

Références

- Deconchat M., Vialatte A., Brin A., Sheeren D., 2020. Concepts et méthodes de l'écologie des paysages pour aider à mieux gérer les services écosystémiques. Les services écosystémiques dans les espaces agricoles. *Paroles de chercheur(e)s*, 69-80. https://doi.org/10.15454/nwq9-zk60_book_ch07
- Fagerholm N., Torralba M., Burgess P.J., Plieninger T., 2016. A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecol. Indic.*, **62**, 47–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.016>
- Poggi S., Papaix J., Lavigne C. *et al.*, 2018. Issues and challenges in landscape models for agriculture: from the representation of agroecosystems to the design of management strategies. *Landscape Ecol.*, **33**, 1679–1690. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0699-8>
- Vialatte A., Barnaud C., Blanco J., Ouin A., Choisis J.P., *et al.*, 2019. A conceptual framework for the governance of multiple ecosystem services in agricultural landscapes. *Landscape Ecol.*, **34**, 1653–1673. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00829-4>

Besoins en compétences

| Domaine | Questions | Besoins en compétences | Unités INRAE travaillant/étant susceptibles de travailler sur ce sujet |
|---|--|---|--|
| Cycles biogéochimiques | Flux de C, N, P, H ₂ O entre sol/plante/atmosphère, à l'échelle paysage | Ecophysiologie Physique de l'atmosphère Modélisation des cycles à l'échelle du paysage | UMR ISPA, UMR SAS, UMR ECO&SOL, USC CESBIO ? |
| Effets biophysiques | Stabilisation des sols | Sciences du sol Ancrage racinaire | UMR ISPA, UMR ECO&SOL, UMR AMAP |
| | Hydrologie | Hydrologie du paysage, bassin versant Modélisation | UMR ISPA, UMR SAS |
| | Microclimat | Physique de l'atmosphère Climatologie Modélisation du microclimat à l'échelle du paysage | UMR ISPA |
| | Flux aériens | Comportement et flux d'air et de gaz et particules dans le paysage Modélisation des flux dans le paysage | UMR ISPA |
| Biodiversité | Connectivité du paysage | Télédétection, Analyse spatiale, Ecologie du paysage | UMR DYNAFOR, UMR SAS, UMR BAGAP |
| | Régulations biologiques | Ecologie du paysage, Agroécologie, Protection des cultures | UMR Agroécologie, UMR DYNAFOR, UMR BAGAP |
| | Zoonoses | Epidémiologie, Productions animales | UMR EPIA |
| | Pollinisation | Ecologie du paysage, Entomologie | UMR DYNAFOR, UMR Agroécologie, UMR BAGAP, UR Abeilles et environnement |
| | Faune sauvage | Suivi de populations Imagerie pour suivi et reconnaissance | UMR CEFS, UMR BAGAP |
| Services écosystémiques des paysages agroforestiers | Appréhension de bouquets de services | Modélisation de services du paysage | UMR DYNAFOR, UMR SAS, UMR BAGAP, UMR AMAP ? |
| | Analyse spatiale | Télédétection Cartographie spatialement explicite | UMR DYNAFOR, UMR ISPA, USC CESBIO, UMR TETIS, UMR BAGAP |
| | Prise en compte des acteurs du paysage | Sciences participatives Sociologie, anthropologie... | UMR AGIR, UMR DYNAFOR, UMR BAGAP |
| | Services socioculturels de l'AF | Enquête Cartographie spatialement explicite Sociologie, anthropologie... | ??? |

Annexe 4 – Perception et valeurs symboliques de l’agroforesterie des territoires ruraux : quelques pistes de recherche

Marc Deconchat

Préambule

Les arbres sont des êtres vivants qui occupent une place particulière dans la perception qu’ont les humains de leurs relations au reste du monde vivant et la nature. Loin d’être négligeable, l’importance de cette place semble se renforcer à mesure que les sociétés tendent à s’éloigner d’un monde « naturel », qui du coup en devient parfois idéalisé. Cette perception est mal connue mais elle a des conséquences de plus en plus visibles, par exemple sur l’acceptabilité des opérations de coupes d’arbres. Cela se traduit dans les règles édictées ou implicites qui régissent les modalités des interactions à propos des arbres. Le développement de l’agroforesterie bénéficierait d’une meilleure connaissance et prise en compte de ces aspects sensibles et sociaux culturels, qui ont des conséquences tangibles significatives. C’est d’autant plus important que l’agroforesterie elle-même est un ensemble de pratiques qui véhiculent aussi des valeurs et des images idéalisées qui en font un symbole fort des évolutions voulues ou subies des territoires ruraux. Pour le moment, les connaissances sur ces domaines restent très partielles et souffrent de difficultés méthodologiques à « objectiver » certains aspects sensibles.

Questions de recherche prioritaires

1. Statut juridique des Arbres : biens privés et communs, voire sujet de droit ?

Juridiquement actuellement les arbres appartiennent à un propriétaire donné. Dans le cas des fermages et autres modes de relations entre propriétaire foncier et utilisateurs/gestionnaires, le statut des arbres et de leur devenir est régi par des règles qui sont variables selon les situations, avec parfois des règles orales au statut légal confus. Cette diversité de situations est à la fois parfois un obstacle au développement de l’agroforesterie du fait de l’insécurité juridique induite, et parfois une ressource pour identifier des modalités d’accord plus acceptables par les parties concernées. Mieux connaître cette diversité de règles, au-delà de la législation établie, serait utile pour identifier des leviers favorables à l’agroforesterie.

- Comment clarifier et sécuriser le statut juridique des arbres et espaces arborés dans les conditions agricoles et des territoires ruraux ?
- Comment les arbres et espaces arborés sont pris en compte dans les interactions entre acteurs d’un territoire, notamment dans les relations de voisinage ?
- Est-ce qu’il y a des règles particulières qui s’appliquent à l’agroforesterie ?
- Ce statut doit-il être différencié de celui des arbres forestiers ou urbains ?
- Quels systèmes de règles seraient les plus adaptés au développement de l’agroforesterie ?

Malgré ce statut de propriété privée, les arbres sont souvent vus comme étant aussi une sorte de « bien commun » dont le devenir concernerait d’autres acteurs que les seuls propriétaires et gestionnaires. D’autres acteurs de la société, localement ou dans une perspective plus large, expriment ainsi des attentes très précises concernant les arbres et leur devenir. Pour l’agroforesterie, cette « mise en commun » est peut-être moins vive au moment de la plantation que sur d’autres formes d’espaces arborés, mais on peut penser que quand les arbres seront plus âgés, ce sentiment deviendra plus fort.

- Comment se forme et quelles sont les conséquences de cette perception en « biens communs » des arbres, d’autant plus quand ils sont remarquables ?
- Est-ce que l’agroforesterie est perçue comme un « bien commun » ?

Une matérialisation concrète de cette perception en « bien commun » est le succès des opérations collectives citoyennes de plantations et de gestion des arbres et espaces arborés. Cet engagement grandissant peut être un atout pour le développement de l’agroforesterie mais en acceptant l’implication d’acteurs externes dans la gestion des ressources des exploitations agricoles.

- Comment organiser et mobiliser les engagements citoyens collectifs pour favoriser le développement de l’agroforesterie ?

Enfin il existe un courant qui vise à faire reconnaître une personnalité juridique aux arbres. Cela a commencé aux Etats Unis en 1972 avec le travail du juriste Christopher Stone⁵⁷. En France, l’association A.R.B.R.E.S a présenté sa « Déclaration des droits de l’arbre » en lecture à l’Assemblée nationale le 5 avril 2019. Elle visait à faire reconnaître l’arbre comme un être vivant et sensible, justifiant sa reconnaissance comme « sujet de droit », à l’instar de la déclaration des droits des animaux et de l’article 515-4 du code civil. Cette perception qui était très marginale s’est trouvée revigorée par le succès de librairie des

⁵⁷ Christopher Stone, Les arbres ont-ils le pouvoir de plaider ?, 1972, rééd., Le passager clandestin, 2017

livres du garde forestier allemand Peter Wohlleben⁵⁸ ou du romancier américain Richard Powers⁵⁹, et des films qui en sont issus. Ils ont pour caractéristique d'avoir touché de multiples catégories sociales et aussi bien des ruraux que des urbains. Si cette thématique est pour l'instant plus forestière qu'agroforestière (même si elle inclut les arbres remarquables qui se trouvent souvent dans des zones agricoles et si elle peut toucher certains groupes d'agriculteurs favorables à l'agroforesterie) il est possible que ses conséquences participent de la ré-interrogation du droit s'appliquant aux arbres, avec des conséquences pour les arbres agroforestiers (favorables ou défavorable au développement de cette dernière). Enfin il a motivé des travaux de chercheurs en philosophie (ex Florence Burgat à INRAE) et en théorie du droit (ex Geraldine Aidan, au CNRS) à s'intéresser de plus près à cette question du droit des arbres.

2. Services écosystémiques sociaux et culturels

La présence d'arbres et d'espaces arborés dans les espaces agricoles peut avoir des répercussions positives sur des aspects esthétiques et économiques qui ne sont pas directement liés à l'agriculture et à la foresterie. Il s'agit par exemple de l'attrait touristique qui est influencé par la présence d'arbres.

- Comment les arbres et espaces arborés modifient l'attractivité touristique d'un territoire, et plus spécifiquement les activités d'accueil des exploitations agricoles ?
- Comment l'agroforesterie peut-elle contribuer à renforcer ces services écosystémiques sociaux et économiques et atténuer les effets négatifs ?

3. Pratiques de gestion et de valorisation

L'exploitation des arbres cristallise souvent les divergences de perceptions des arbres et des espaces arborés. La légitimité des coupes ou de certains actes de gestion et entretien (comme la taille ou le contrôle de l'extension des houppiers) est parfois remise en question, mais c'est aussi bien souvent les modalités de ces interventions qui sont mal comprises ou acceptées. L'intervention d'outillage lourd (abatteuse, tracteur, etc.) et de pratiques intensives (coupe rase, enrésinement) est ainsi de plus en plus fréquemment vue comme étant une sorte de « violence » faite à la nature. Bien évidemment cette perception dépend fortement de la culture des personnes concernées, les urbains étant supposés plus réfractaires à ces pratiques du fait d'un manque de connaissances.

- Comment sont perçues les pratiques de gestion des arbres et espaces arborés ? Comment varient ces perceptions ? Est-ce qu'elles dépendent des types de pratiques, des références culturelles, d'autres facteurs ?
- Comment sont perçues les pratiques d'agroforesterie ? Sont-elles vues comme une renaturation de l'agriculture ou une artificialisation des espaces arborés ?
- Est-ce qu'une meilleure visibilité sur les raisons des pratiques aiderait à mieux les faire accepter ?
- Comment est-il possible de faire évoluer les pratiques pour les rendre plus acceptables ?
- L'implication citoyenne peut-elle aider à favoriser l'acceptabilité des pratiques de gestion et d'exploitation ?

4. L'agroforesterie : solution miracle ou fumisterie?

L'agroforesterie est très souvent présentée et vue dans le grand public et la presse comme une solution « miracle » aux maux de l'agriculture et pour répondre aux enjeux environnementaux. Cette image très positive peut donner l'impression d'une légitimité intrinsèque et robuste. Pourtant, elle n'est pas toujours partagée, notamment par une partie des agriculteurs qui s'expriment des avis très critiques dans leurs réseaux. Plusieurs images de l'agroforesterie sont donc en présence et se confrontent, notamment au sein du monde agricole. Mieux comprendre comment se construisent ces images aiderait à identifier des freins et des motivations à développer l'agroforesterie. L'image de l'agroforesterie pourrait par exemple évoluer avec l'émergence d'agroforesterie sur de très grandes surfaces, ou avec des essences exotiques, ou nécessitant de l'irrigation ou si la perception que l'agroforesterie est une artificialisation (culture d'arbres isolés et alignés) venait à s'imposer. Par ailleurs l'image globalement positive de l'agroforesterie conduit à des politiques prescriptives qui favorisent explicitement l'agroforesterie, parfois de façon simpliste et naïve. Cette prescription normative peut susciter du rejet de la part des agriculteurs qui y verraient une interférence externe dans leurs systèmes et une réduction de leur autonomie de décision. Loin d'être négligeable, ces effets de verrouillage peuvent être déterminants et nécessitent d'être mieux compris.

- Comment se construit l'image de l'agroforesterie auprès de différents publics ? Comment évolue-t-elle ? Pourquoi certains agriculteurs sont-ils beaucoup plus critiques que d'autres sur l'agroforesterie (parfois qualifiée « d'agrofumisterie »)?
- Quels liens entre l'image de l'agroforesterie et les images de l'agriculture et de la foresterie ?

5. Agroforesterie et les concepts de « one health » / « one welfare »

- Comment les arbres et l'agroforesterie influent sur la santé des humains et des animaux domestiques, par la circulation d'agents pathogènes ou comme filtre/source d'éléments nocifs pour la santé (ex: pollen).

⁵⁸ Peter Wohlleben, La Vie secrète des arbres (Ce qu'ils ressentent. Comment ils communiquent) Les Arènes 2017.

⁵⁹ Richard Powers « L'arbre Monde » Le Cherche-Midi éditions 10-18, 2018

- Comment le bien-être, voire la santé mentale et physiologique, des habitants ou visiteurs d'un territoire pourrait être influencé par la présence d'arbres et espaces arborés ?

6. Arbres comme des marqueurs

Du fait de leur taille et permanence, les arbres et espaces arborés sont souvent reconnus comme étant des « marqueurs » identifiables par les humains et porteurs d'informations.

6.1. Marqueurs spatiaux

Les arbres, surtout s'ils sont isolés, de grande taille, ou formant des structures caractéristiques comme des haies, sont particulièrement visibles et perçus par les humains. Ils sont ainsi souvent utilisés comme des marqueurs spatiaux, des limites foncières, écologiques, des points d'eau ou d'autres lieux remarquables pour des raisons physiques ou symboliques.

- Comment mieux comprendre ce rôle des arbres, pour protéger ceux qui ont un rôle de marquage et pour les utiliser pour souligner de nouveaux lieux ?
- Comment caractériser les rôles esthétiques des arbres et espaces arborés, à diverses échelles spatiales ?
- Comment caractériser la typicité des formations arborées et de leurs répartitions spatiales ? Voir la typologie des haies en France

6.2. Marqueurs temporels

Par leur durée de vie souvent très longue et leur croissance lente, les arbres sont souvent vus comme ayant une valeur patrimoniale qui justifierait de les conserver, ce qui peut rendre difficile leur exploitation, une gestion dynamique et le renouvellement des arbres. Les jeunes arbres sont aussi porteurs, parfois, de cette valeur « temporelle » symbolique, comme des marqueurs du futur.

- Dans une société où il est difficile de penser à long terme, comment intégrer la gestion nécessairement multi-générationnelle du patrimoine arboré ? Comment relier l'image positive de la plantation des jeunes arbres à l'image négative de l'exploitation des anciens ?
- Est-ce que le contexte de changement climatique, qui nécessite de se projeter sur plusieurs décennies, pourrait aider à faire accepter une gestion dynamique, dans un but d'adaptation aux conditions futures ?

Par ailleurs, il y a aussi une certaine réticence à les implanter car leurs conséquences négatives (gêne, ombre, entretien, etc.) sont réputées pour durer longtemps.

6.3. Marqueurs sociaux

Le fait de maintenir, couper ou implanter des arbres est un acte socialement fort et visible qui peut exprimer ou être perçu comme ayant une valeur symbolique. Planter des arbres est ainsi vu souvent comme une forme d'engagement concret, d'action, en faveur de l'environnement, alors que la coupe est plus fréquemment vue comme une forme de destruction d'un patrimoine (cf marqueurs temporels).

- Comment se construit cette valeur sociale des arbres ? Est-ce qu'elle varie en fonction des catégories de la société, des lieux, des types d'arbres ?
- Comment les modalités de la coupe des arbres influent-elles sur la perception qui en ressort ? L'utilisation d'outils mécaniques lourds est-elle un frein à une acceptation de la coupe ?
- L'origine des opérateurs (locaux ou non) a-t-elle un effet sur cette perception ?
- L'implantation d'arbres par un agriculteur dans ou autour de ses parcelles peut-elle revaloriser son image auprès de la société ?

6.4. Arbres symboliques

Les arbres ont des places symboliques particulières dans les imaginaires et cultures. Mieux comprendre ces aspects, leurs vivacités et renouvellement actuels, leurs origines et implications peut être utile pour mieux prendre en compte les savoirs et croyances « indigènes ». Ces connaissances écologiques et symboliques traditionnelles constituent un patrimoine qui est aujourd'hui de plus en plus reconnu, par exemple dans les démarches développées par l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques).

Elles sont assez évidentes dans les régions tropicales et pour les sociétés peu liées au monde occidental moderne, néanmoins elles sont sans doute encore vivaces, quoique plus discrètes, dans les mondes ruraux et urbains occidentaux, comme le révèlent les travaux d'ethnologie et d'ethnobotanique.

- Comment peut évoluer cette symbolique avec le changement climatique qui peut conduire au dépérissement de certaines espèces endémiques ou indigènes ou bien au choix de plantation de nouvelles espèces, davantage adaptées aux futures conditions du milieu ? Cela pose aussi des questions vis-à-vis des espèces autorisées à la plantation pour obtenir les subventions de certaines régions, qui n'ont pas été revues avec le changement climatique ou les nouvelles pratiques agroforestières.
- Quelles places pour l'agroforesterie dans les réalisations artistiques, notamment de land art ?

- L'agroforesterie peut-elle servir de vecteur pour faire évoluer les valeurs symboliques associées aux autres espaces arborés ?
- Comment peut-on préserver la diversité des perceptions culturelles et symboliques associées aux arbres ?

Besoins en compétences

Globalement, INRAE comporte peu de compétences adaptées pour traiter des questions identifiées dans cette fiche. Elles nécessitent en effet des recherches ethnographiques, sociologiques ou psychologiques pour lesquels il y a peu de chercheurs dans l'institut. D'autres organismes, comme le CNRS ou les universités, traitent plus volontiers ces questions, mais souvent sans y inclure une dimension biotechnique que peut apporter les recherches conduites à INRAE. Les dispositifs de recherche intégrée et à long terme, comme les zones ateliers, les Observatoires Homme-Milieu ou les réserves de biosphère du programme MAB peuvent être des endroits propices à des interactions interdisciplinaires autour de ces questions. Elles impliquent néanmoins un temps relativement long d'étude.

Pour INRAE, l'enjeu autour de ces questions est double : d'une part diffuser une culture générale auprès des scientifiques pour expliquer en quoi ces questions sont importantes et à prendre en considération en même temps que les questions biotechniques ; d'autre part, favoriser des collaborations pertinentes avec des collègues d'autres organismes apportant des disciplines requises.

Par certains aspects, la montée en puissance des attentions d'une partie agissante de la société envers les arbres, et donc l'agroforesterie, peut s'apparenter aux préoccupations actuelles concernant l'élevage et le bien être animal. Mieux se préparer à ces débats de société serait sans doute utile.

Références

- Blanco J., Sourdril A., Deconchat M., Ladet S., Andrieu E., 2019. Social drivers of rural forest dynamics: A multi-scale approach combining ethnography, geomatic and mental model analysis." *Landscape Urban Plan.*, **188**, 132–142.
- Blanco J., Sourdril A., Deconchat M., Barnaud C., San Cristobal M., Andrieu E., 2020. How farmers feel about trees: Perceptions of ecosystem services and disservices associated with rural forests in southwestern France. *Ecosyst. Serv.*, **42**, Online.
- Brown S.E., Miller D.C., Ordonez P.J., Baylis K., 2018. Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: a systematic map protocol. *Environ. Evid.*, **7**.
- Burgat F., 2020. Qu'est-ce qu'une plante ? Essai sur la vie végétale. Seuil, 208 pp.
- Fagerholm N., Torralba M., Burgess P.J., Plieninger T.A., 2016. A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecol. Indic.*, **62**, 47–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.016>
- Gibbons P., Lindenmayer D.B., Fischer J., Manning A.D., Weinberg A., Seddon J., Ryan P., Barrett G., 2008. The future of scattered trees in agricultural landscapes. *Conserv. Biol.*, **22**, 1309–1319.
- Louah L., Visser M., Blaimont A., Cannière C., 2017. Barriers to the development of temperate agroforestry as an example of agroecological innovation: Mainly a matter of cognitive lock-in? *Land Use Policy*, **67**, 86–97.
- Michon G., Foresta H., Levang P., Verdeaux F., 2007. Domestic forests: A new paradigm for integrating local communities ' forestry into tropical forest science. *Ecol. Soc.*, **12**, 1.
- Michon G., Romagny B., Auclair L., Deconchat M., 2012. Forests as patrimonies? From theory to tangible processes at various scales. *Ecol. Soc.*, **17**, 7. [DOI:10.5751/es-04896-170307](https://doi.org/10.5751/es-04896-170307)
- Powers R., 2019. L'Arbre-Monde Éditeur : 10-18 , 744 p. (Grand prix de littérature américaine 2018, prix Pulitzer 2019)
- Raedeke A.H., Green J.J., Hodge S.S., Valdivia C., 2003. Farmers, the practice of farming and the future of agroforestry: An application of Bourdieu's concepts of field and habitus. *Rural Sociol.*, **68**, 64-86.
- Santiago-Freijanes J.J., Rigueiro-Rodríguez A., Aldrey J.A., Moreno G., den Herder M., Burges, P., Mosquera-Losada M.R. Understanding agroforestry practices in Europe through landscape features policy promotion. *Agroforest. Syst.*, **92**, 1117–1127. [DOI:10.1007/s10457-018-0251-5](https://doi.org/10.1007/s10457-018-0251-5)
- Wilson M., Lovell S., 2016. Agroforestry—The next step in sustainable and resilient agriculture. *Sustainability*, **8**, 574. <https://doi.org/10.3390/su8060574>
- Wohleben P., 2015 La Vie secrète des arbres : Ce qu'ils ressentent. Comment ils communiquent [« Das geheime Leben der Bäume. Was sie fühlen, wie sie kommunizieren - die Entdeckung einer verborgenen Welt, 2015 »] (trad. Corine Tresca), Paris, Les Arènes, septembre 2017, 210 p.

Annexe 5 – Questions génériques

Thierry Caquet

Préambule

Cette fiche présente un certain nombre de problématiques qui avaient été identifiées lors de la première réunion du GT Agroforesterie, et dont le groupe a considéré qu'elles pouvaient être porteuses de questionnements pour de futures recherches au sein d'INRAE. Pour autant, elles ne semblent pas pour la plupart spécifiques de l'agroforesterie car relatives à des sujets partagés par d'autres domaines, notamment celui de la transition agroécologique.

L'agroforesterie est vaste de possibilités, à la fois en terme de choix de systèmes et en terme d'objectifs recherchés. De nombreuses combinaisons (essences arborées, espèces de sous-étage, type de conduite, lien à un système d'élevage, etc.) sont donc envisageables. La plupart des approches de ce type sont basées sur l'examen d'une diversité de systèmes sans nécessairement renseigner sur les déterminants internes ou externes des choix effectués pas les acteurs.

Les objectifs définis par les acteurs posent le cadre du système agroforestier à construire. Ces objectifs peuvent être d'ordre⁶⁰ :

- *Agronomique*
 - Fertilité des sols (apports de matière organique, structuration).
 - Gestion pédoclimatique (ressource en eau, ombrage pour les animaux, protection des cultures vis-à-vis des fortes températures, compaction des sols, érosion, incendie).
 - Bien-être et santé animale (stress thermique, intempéries, prédateurs).
 - Diversifier l'alimentation des animaux (arbres fourragers, glandées, fruits, vers de terre, insectes, graines).
 - Performances zootechniques, améliorations des rendements.
- *Environnemental*
 - Orientations agroécologiques (abris pour auxiliaires des cultures, espèces fixatrices d'azote, amélioration structurale des sols, régulation et ralentissement des crues).
 - Biodiversité (espèces hôtes, ressources alimentaires pour macrofaune et insectes, connectivité écologique des paysages).
- *Economique*
 - Diversification des productions (fruits, bois d'œuvre, BRF, bois de piquets, bois de chauffe, bois énergie, vannerie, fourrage, écorce, mellifères, myciculture, chimie verte, tisanes, etc.).
 - Modification des modes de valorisation.
 - Compensation carbone.
- *Réglementaire*
 - Surfaces d'Intérêt Ecologique, périmètre de captage.
- *Paysager, patrimonial*
 - Paysage monotone vs activité touristique/pédagogique : essences à feuilles caduques/persistantes, espèces végétales avec des périodes de floraison étalées dans l'année, périmètre de captage, etc.

Pour autant, même s'il existe des ressources abondantes à destination tant des conseillers que des autres acteurs des projets agroforestiers et malgré l'existence des dispositifs collectifs (RMT, Associations...) et du plan national pour l'agroforesterie, les surfaces concernées restent encore faibles. Ceci peut être lié à plusieurs facteurs (liste non exhaustive) : mauvaise mobilisation des politiques publiques, coût vs consentement à payer, « désirabilité » réelle de l'agroforesterie, mauvaise connaissance/perception/évaluation des bouquets de services associés, arbitrage entre court et long terme pour les agriculteurs en terme de profit...

Par de nombreuses dimensions, la problématique se rapproche de celle plus générale de la **transition agroécologique** de l'agriculture pour laquelle l'agroforesterie est d'ailleurs souvent présentée comme l'un des leviers à actionner.

De fait, des points communs apparaissent, qui sont autant de sources de questionnement pour la recherche, tant fondamentale que finalisée :

- Prise en compte de processus sur des temps courts et sur des temps longs et visée d'autres services que la production.

⁶⁰ Guide du conseiller pour accompagner des projets agroforestiers, 2020. https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=152429

- Gestion qui n'est plus prédéterminée mais adaptative : les objectifs et règles de décision peuvent évoluer en fonction des connaissances acquises sur le long terme, comme au fur et à mesure des variations de l'état du système.
- Echelles de gestion emboîtées, de l'échelle parcellaire (plante-plante, plantes-organismes associés...) à celle de l'exploitation agricole, du paysage et du territoire => processus pilotés à différentes échelles dont il faut réfléchir les articulations.
- Généricité qui n'est pas à rechercher dans les solutions techniques, mais plutôt dans les cadres et outils pour favoriser la capacité d'adaptation et de coordination des acteurs.

Deux dimensions sont abordées dans la suite de cette fiche, la transition des exploitations d'une part, et les besoins en termes de support technique et technologique d'autre part.

1. Transition des exploitations

Il y a des points communs à explorer avec le thème de la transition agroécologique des exploitations agricoles (voir à ce propos les sorties de l'ARP Agroécologie). En effet, le déploiement de l'agroécologie nécessite un changement de modes de raisonnement pour piloter l'agroécosystème sur la base des processus écosystémiques. Les solutions deviennent singulières du fait d'une adaptation du système de production à son contexte de production, en intégrant l'incertitude (connaissances incomplètes, effet des actions...) plutôt que de la démarche inverse permise par l'utilisation d'intrants. De ce fait, la visée et la trajectoire de la transition agroécologique d'une exploitation agricole se raisonnent localement et chemin faisant. Ce type d'analyse peut s'appliquer au cas particulier de l'agroforesterie.

Si aujourd'hui le changement est surtout pensé par les chercheurs sous l'angle d'une modélisation de la décision et d'une adoption d'innovations technologiques, la transition de l'exploitation agricole invite à produire les connaissances nécessaires pour analyser et accompagner (*in the making*) les changements techniques, organisationnels et les modes de raisonnement des acteurs qu'elle implique (agriculteurs, conseillers, formateurs...) lors de la reconception des systèmes.

Martin *et al.* (2018) ont proposé un cadre conceptuel pour articuler les différentes approches de la transition agroécologique et produire une compréhension des transitions plus complète et utile pour concevoir leurs modes d'accompagnement par les politiques publiques ou les praticiens. La Fig. 1 ci-dessous, issue de la restitution publique de l'ARP Agroécologie en janvier 2020, résume la vision de la stratégie de recherche correspondante qui comporte trois dimensions :

- Recherche intervention : participer à la transformation pour comprendre.
- Evaluation des transitions : observer et analyser les transitions ayant eu lieu ou en cours.
- Modélisation : représentation des exploitations agricoles et exploration de leurs évolutions. explicitations des rationalités et tests de nouveaux agencements pratiques.

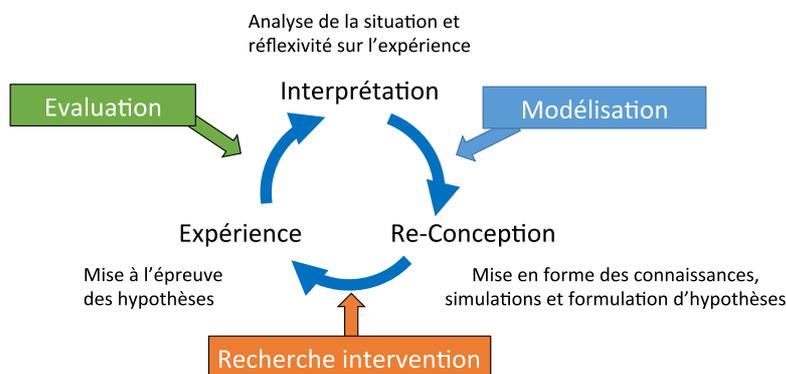


Figure 1. Complémentarité entre trois stratégies de recherche sur l'étude de la transition des exploitations.

Chacune de ces dimensions soulève différentes questions méthodologiques ou de recherche :

- Recherche intervention : reconception collective ; procédures et outils pour réduire l'indétermination (outils de suivi et de conception individuelle, processus d'animation collective (intermédiation...)) ; dispositifs et méthodes de co-conception (conception innovante, conception pas à pas...) ; modes d'animation et de gouvernance démocratique / articulation *top-down* et *bottom up* / normativité et indétermination ; nouvelles méthodes d'apprentissage (enquête, QSV, co-design...)
- Evaluation des transitions : traque aux systèmes innovants, identification des nouveaux systèmes, modes et objets de gestion ; références sur les nouvelles pratiques ; analyse systémique, concepts et cadres d'analyse des trajectoires de transition et du travail ; outils d'évaluation multicritères *ex ante*, *ex post*, et « chemin-faisant »...
- Modélisation : modélisation statistique et parcimonieuse/méta-modèles ; décision, gestion de l'incertitude, apprentissage et temps long ; méthode de scénarisation et jeux sérieux ; intégration de la dimension collaborative et de la coordination...

2. Dimensions techniques et technologiques

2.1. Données

Comme dans de nombreux domaines l'accès à des données est crucial aux recherches pour et sur l'AF, y compris dans une perspective finalisée.

L'acquisition de données peut se faire via des approches d'observation de sites « en vraie grandeur » (i.e., dans des exploitations gérées par des acteurs non académiques) et/ou dans le cadre d'expérimentations menées soit sur des sites de partenaires, soit dans des dispositifs plus ou moins institutionnels (par exemple, domaine de Restinclières).

Les expérimentations système où des dispositifs agroforestiers sont mis en place « grandeur nature » et suivis de manière expérimentale sont un atout. Elles permettent à la fois de tester grandeur nature des dispositifs innovants ou risqués et d'avoir une réelle approche multicritère à plusieurs échelles (parcelle, exploitation). Les données acquises sur ces dispositifs permettent d'approfondir les connaissances sur les impacts environnementaux et sur la production, et d'explorer aussi les aspects économiques et les aspects « temps et charge de travail ». Ce sont par ailleurs des espaces de discussion avec les agriculteurs et les conseillers, car il est plus convaincant de discuter de l'agroforesterie sur le terrain, aussi car on a dû faire face (comme ce sera le cas pour l'agriculteur) à diverses difficultés (par exemple, dégâts sur les plantations), qui sont autant de freins sur lesquels nous pouvons partager notre expérience.

La combinaison de l'observation et de l'expérimentation à différentes échelles est à mobiliser, en cohérence avec les démarches de modélisation.

En cohérence avec l'évolution des techniques et des besoins de données, émergent l'opportunité voire la nécessité de disposer de données de nature différente/de nouveaux observats ainsi que de mesures plus précises/plus fréquentes mais à un coût raisonnable (par exemple, réseaux de capteurs 'low cost' connectés).

Il est nécessaire de développer des stratégies d'acquisition de données complétant celle des dispositifs expérimentaux de la recherche : données à d'autres échelles spatiales (télédétection) ou issues d'autres dispositifs (agriculteurs => recherches participatives).

Il s'agit aussi d'innover d'un point de vue méthodologique afin d'aborder la question de la « montée en généralité » des résultats obtenus dans des expérimentations sans témoins et/ou sans répétition (par exemple expérimentation de systèmes agroforestiers complexes, mais aussi sur des lignes agroforestières).

Ce qui fait sans doute l'une des spécificités des travaux en agroforesterie est que chaque arbre est unique et singulier, car même s'ils sont tous de la même espèce, variété, voire des clones, chacun va subir des pressions - contraintes (aux niveaux biologiques et climatiques voire édaphiques) différentes en fonction de sa localisation. En agroforesterie, il y a très peu d'arbres, ces situations singulières ne sont donc plus « noyées dans la masse » comme cela peut être le cas pour des travaux sur les peuplements herbacés voire forestiers où on s'intéresse bien souvent à la population entière plutôt qu'à l'individu.

Les agroécosystèmes forment souvent des mosaïques complexes et très dynamiques qui se retrouvent au cœur de multiples enjeux (économiques, alimentaires, paysagers, environnementaux...) qui doivent souvent être abordés simultanément mais à des échelles spatiales différentes (parcelle, exploitation, bassin versant, région, voire au-delà). Parmi les sources de données mobilisables aux échelles larges figure la télédétection, notamment au travers de données satellitaires multi-domaines (optique, radar) à haute résolution spatiale et temporelle (Sentinel-1 et 2). Ces données satellitaires permettent à la fois de caractériser les systèmes (par exemple, cartographie des pratiques) mais aussi d'élaborer des indicateurs de leur état/fonctionnement de complexité variable (par exemple, analyse diagnostique multicritères) lorsqu'elles sont combinées à des outils de modélisation. Ces approches combinées peuvent s'avérer très utiles pour objectiver les services écosystémiques associés à différentes pratiques ou établir des compromis (pour des Outils d'Aide à la Décision-OAD). Ces données peuvent par exemple être mobilisées pour :

- Générer des cartes détaillant les différentes classes d'agroécosystèmes et permettant de distinguer les systèmes conventionnels des systèmes alternatifs. Ces cartes peuvent être utilisées pour la mise en œuvre des politiques publiques, leur suivi, la vérification des engagements pris (par exemple, *Monitoring, Reporting, Verification*—MRV pour la PAC) ou l'analyse objective des bénéfices écosystémiques qui en découlent.
- Caractériser des systèmes (par exemple, cartographie des pratiques) et élaborer des indicateurs permettant de mieux décrire le fonctionnement des parcelles/paysage et d'améliorer la modélisation de leur fonctionnement (par exemple, cycles de l'eau, des nutriments et du C ; biodiversité).

2.2. Modélisation

Six groupes principaux de modèles dédiés aux systèmes agroforestiers sont distingués dans la littérature : (1) allométriques/régression ; (2) environnementaux (par exemple, dynamique C) ; (3) échelle parcelle (focus croissance arbre et/ou culture) ; (4) architecture ; (5) échelle exploitation/OAD ; (6) paysage.

Les problématiques critiques dans le domaine de la modélisation appliquée à l'AF découlent de la nature biologique variée des éléments à modéliser (par exemple, ligneux vs non ligneux, plantes-animaux...) ainsi que de la nécessité de

prendre en compte des processus dont les échelles temporelles et spatiales caractéristiques peuvent être très différentes. Parmi les priorités identifiées figurent les points suivants :

- Intégration des connaissances sur les mécanismes d'interaction ; le nombre d'interactions prises en compte dans les modèles reste faible => Développer des approches permettant la prise en compte de fonctions multiples d'interaction.
- Travailler sur la dimension temporelle => Revisiter les données de long terme, mais aussi renforcer les modèles développés avec des objectifs de court terme.
- Développer les modèles couplant les processus biotiques et abiotiques, ainsi que les processus sociaux, interactions entre acteurs producteurs et bénéficiaires des services écosystémiques, notamment à l'échelle du paysage (réseaux trophiques, services écosystémiques et leurs interaction...) - Amplifier la prise en compte des composantes biotiques (notamment microbiens) dans les modèles fonctionnels (par exemple, cycles des nutriments).
- Développer des méthodes d'analyse des risques dans les systèmes en AF ou en transition vers l'AF ⇔ gestion adaptative, viabilité, résistance aux chocs et aux aléas...
- Adapter, le cas échéant, les méthodes d'évaluation multicritère des systèmes.

2.3 Agroéquipements

Comme dans le cas de la transition agroécologique, il s'agit lorsque cela est utile de mobiliser les avancées techniques et technologiques pour appuyer le développement de l'AF. Les axes à explorer sont multiples :

- Diagnostiquer les états du milieu ou des organismes
- Développer/adapter des agroéquipements dédiés
- Tracer et certifier les modes de production pour soutenir la différenciation
- Valoriser la production, l'articulation entre différentes productions
- Suivre et piloter les flux de matière (par exemple, stockage/déstockage C) ainsi que les quantités de biomasse foliaire présente, la valeur nutritive du fourrage ligneux
- Renseigner les dimensions fonctionnelles : potentiel d'activité biologique, état des régulations naturelles, de la biodiversité de manière générale

Au delà de la seule dimension de la réalisation d'actes techniques ou de suivi, le développement des agroéquipements en AF offre aussi des possibilités pour mieux envisager les différentes dimensions de la durabilité d'une exploitation AF :

- Sociale : rendre plus aisées (voire automatiser) les tâches fastidieuses, y compris en ce qui concerne la gestion des interactions avec les animaux d'élevage (ex : pâturage des arbres, restitution d'effluents)
- Economique : tracer les modes de production et l'état des ressources ; faciliter les échanges locaux de produits et ressources
- Environnementale : diagnostiquer l'état des ressources, de la biodiversité et des services écosystémiques

Besoins en compétences

Il s'agit (i) de mobiliser les compétences existantes, de les faire évoluer, de les associer autour de problématiques d'agroforesterie ; (ii) de trouver et/ou de former des « assembleurs » de compétences ; et (iii) d'identifier les domaines qui nécessitent un renforcement, notamment en faisant évoluer les compétences actuelles. Il s'agit par exemple de favoriser la montée en compétence dans le domaine de l'analyse des socioécosystèmes, dans la modélisation bioéconomique ou dans l'analyse des données issues du numérique.

Dans tous les cas, l'ambition doit être de promouvoir une vision plus systémique et plus interdisciplinaire. Il faut recruter mais favoriser plus encore l'implication de chercheurs dans des démarches interdisciplinaires aux interfaces entre agriculture et alimentation, sciences biotechniques et sciences sociales. Cette implication est encouragée mais elle doit aussi être reconnue, notamment dans les procédures d'évaluation individuelle, voire collective.

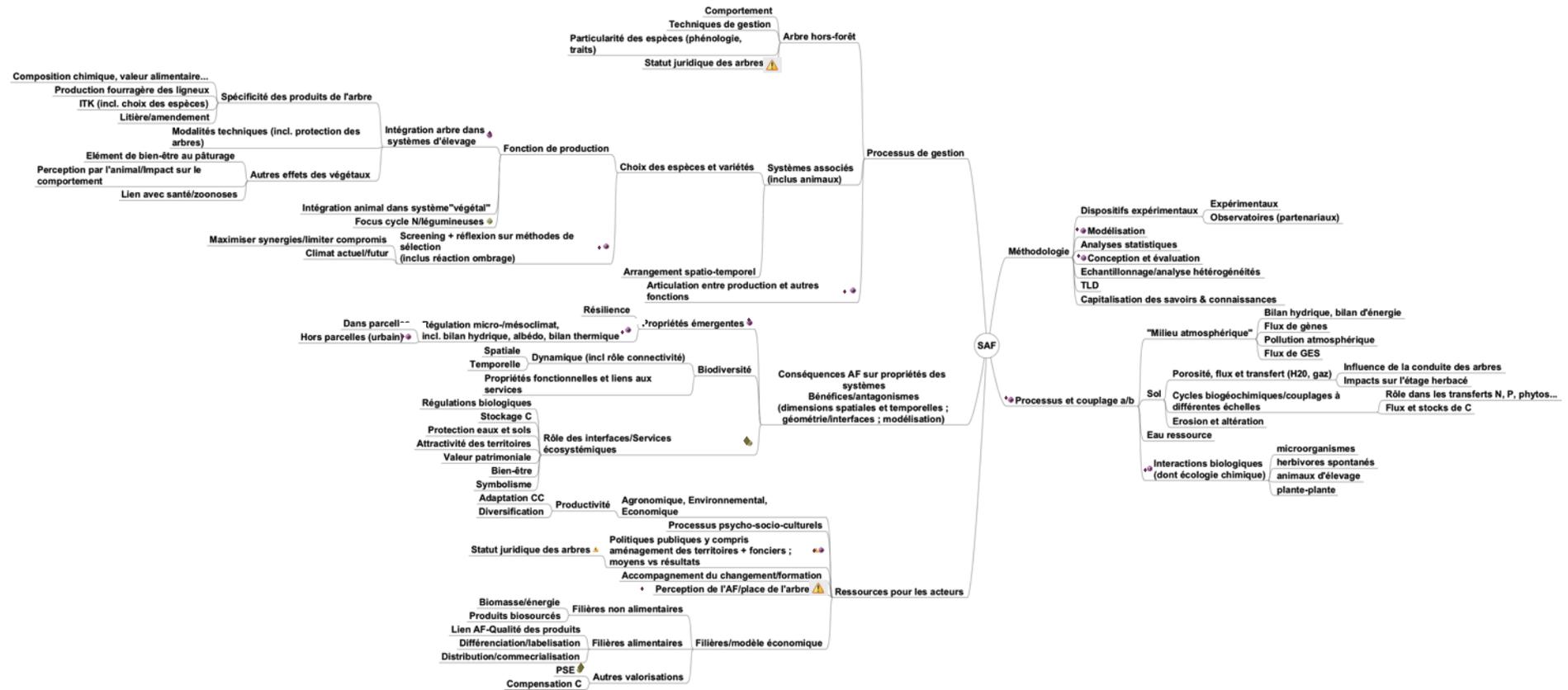
Références

Burgess, P.J., Graves, A., García de Jalón, S., Palma, J.H.N., Dupraz, C., van Noordwijk, M. (2019). Modelling agroforestry systems. In: Mosquera-Losada M.R., Prabhu, R. (Eds) Agroforestry for Sustainable Agriculture 209-238. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science 55. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing. [DOI:10.19103/AS.2018.0041.13](https://doi.org/10.19103/AS.2018.0041.13)

Buyinza J., Nuberg I.K., Muthuri C.W., Denton M.D., 2020. Psychological factors influencing farmers' intention to adopt agroforestry: a structural equation modeling approach. *J. Sustain. For.*, **39**, 854-865. [DOI:10.1080/10549811.2020.173894](https://doi.org/10.1080/10549811.2020.173894)

Dupraz C., Wolz K.J., Lecomte I., Talbot G., Vincent G., Mulia R., Bussiere F., Ozier-Lafontaine H., Andrianarisoa S., Jackson N., Lawson G., Dones N., Sinoquet H., Lusiana B., Harja D., Domenicano S., Reyes F., Gosme M., Van Noordwijk M., 2019. Hi-sAFe: A 3D agroforestry model for integrating dynamic tree-crop interactions. *Sustainability*, **11**, 2293. [DOI:10.3390/su11082293](https://doi.org/10.3390/su11082293)

Annexe 6 – Problématiques des recherches pour et sur les systèmes agroforestiers



♦ : priorité d'ordre 1 ; ◆ : priorité d'ordre 2 ; ⚠ : compétences scientifiques hors INRAE

AF : agroforesterie ; CC : changement climatique ; GES : gaz à effet de serre ; ITK : itinéraire technique ; PSE : paiements pour services environnementaux ; SAF : systèmes agroforestiers ; TLD : télédétection

Annexe 7 – Le RMT Agroforesteries

Coordination : APCA / INRAE (UMR ABSYS)

Créé en 2014, le [RMT⁶¹ Agroforesteries](#) est dédié au développement de **tous les types d'agroforesterie** (agroforesteries traditionnelle et moderne, dont les systèmes bocagers ou les vergers-maraîchers). La première phase du réseau, de 2014 à 2020 a permis de fédérer une communauté Recherche / Développement / Formation (R/D/F) sur l'agroforesterie, d'initier le partage de connaissances, expertises et savoir-faire et de développer les premiers outils collectifs de partage (base documentaire collaborative, référencement des sites agroforestiers, annuaire).

Objectifs du RMT Agroforesteries pour 2021-2025 :

- Promouvoir les dynamiques collectives Recherche / Développement / Formation et penser collectivement la R/D/F de demain.
- Mutualiser et partager les résultats de recherche, les références, l'expertise et le savoir-faire, les témoignages, les bases de données, les outils, etc. auprès des apprenants, producteurs, animateurs techniques et chercheurs.
- Faire connaître l'agroforesterie en dehors du cercle d'initiés.

Ce projet de RMT Agroforesteries 2021-2025 propose une orientation axée sur **les performances des systèmes agroforestiers à différentes échelles**, de manière à répondre aux besoins prégnants du terrain, en demande de références sur les performances des systèmes, en particulier les performances économiques. Pour accélérer le développement de l'agroforesterie, encore trop lent face aux enjeux auxquels l'agriculture est confrontée, la nouveauté de ce RMT Agroforesteries est de proposer aux membres de travailler dans **des groupes de travail par grand type de système de productions ou filière**, qui seront des espaces privilégiés pour partager et capitaliser les connaissances, références et outils mobilisables. Cette expertise collective au sein des groupes permettra de nourrir les démarches de conception de systèmes agroforestiers les plus performants pour les producteurs et la société. Ce lien fort aux types de production permettra de **mieux communiquer auprès des filières**. Les thématiques transversales ne sont pour autant pas oubliées et seront abordées lors des rencontres annuelles (**Croisons les regards**) et via des **webinaires pour permettre de toucher un plus large public**, notamment les producteurs, conseillers, apprenants, voire des collectivités. Les outils de communication et de partage créés pendant le premier RMT (site internet, base documentaire, annuaire, inventaire des sites expérimentaux) seront enrichis au fur et à mesure des travaux du RMT.

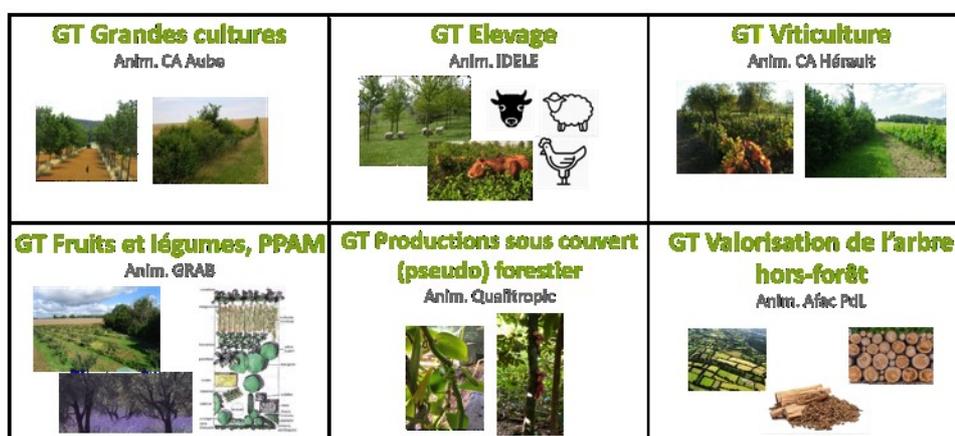


Figure 1. Les six groupes de travail du RMT Agroforesteries 2021-2025. Les objectifs des groupes de travail sont de réaliser l'état des lieux de la diversité des pratiques agroforestières et des ressources à disposition (dispositifs expérimentaux, connaissances, outils d'aide à la décision, ...) pour la filière considérée ; de capitaliser les résultats des travaux passés ou en cours, en particulier pour répondre aux besoins en connaissances et références identifiées comme prioritaires par les acteurs de terrain ; et de s'organiser pour travailler sur les sujets orphelins jugés prioritaires pour soutenir le développement de l'agroforesterie.

⁶¹ Les RMT (réseaux technologiques mixtes) sont des dispositifs partenariaux, soutenus financièrement par le ministère en charge de l'Agriculture qui visent à favoriser les relations entre les acteurs de la recherche, du développement et de l'éducation sur des sujets spécifiques. Les RMT bénéficient d'une reconnaissance nationale et reçoivent une subvention pour la coordination, l'animation, l'organisation de réunions et autres rencontres ou encore la communication en réseau.



Figure 2. Diversité des partenaires du RMT AgroforesterieS pour la période 2021-2025.

Liste des acronymes et des abréviations

AIB : Agriculture Itinérante sur Brûlis

CASDAR : Compte d'affectation spécial « Développement agricole et rural »

CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts

CRDI : Centre de recherches pour le développement international

FAO : *Food and Agriculture Organization*

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IAE : Infrastructure Agro-Ecologique

ICRAF : Centre international pour la recherche en agroforesterie

LUCAS : *Land Use and Land Cover data*

MRV : *Monitoring, Reporting, Verification*

PAC : Politique Agricole Commune

RMT : Réseau Mixte Technologique

RSE : Responsabilité Sociale et Environnementale

SAU : Superficie agricole utilisée

SWOT : Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats

UE : Unité Expérimentale