OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

Figurer la Ressource en eau et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand Est

Rapport final
du projet FR-eau-MAGE

Septembre 2026

Remerciements

Les auteurs de ce rapport remercient toutes les personnes qui sont intervenues dans la conduite des dispositifs expérimentaux et dans l'acquisition des données au champ et au laboratoire, notamment les six agriculteurs : Sébastien Loriette, Maxence Meunier, Clément Etienne, William Bouvier, Jérôme Joubert et Fabrice Felten, ainsi que Aude Lamerandt et Julien Didelot d'Agrivair Nestlé-Waters. Ils remercient également les stagiaires qui ont travaillé dans le cadre du projet (voir liste en fin de document). Les partenaires de FR-eau-MAGE remercient chaleureusement les membres de l'OFB impliqués dans le suivi du projet pour leurs constructives remarques tout au long du projet : Nolwenn Bougon, Claire Billy et Stéphane Marchandeau.

Citation de ce rapport

Marron Nicolas, Priault Pierrick, Piutti Séverine, Mohieddinne Hamza, Dallé Erwin, Princet Dempsey. 2026. **Projet FR-eau-MAGE : Figurer la Ressource en EAU et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand Est de la France**. 50 pages.

SOMMAIRE

I. État de l'Art 6

II. Objectifs 8

III. Matériel et méthodes 11
III.1 Suivi des conditions microclimatiques 11
III.2 Dimensions des arbres 14
III.3 Biomasse herbacée 15
III.4 Données climatiques et édaphiques 15
III.5 Analyse des données 16

IV. Résultats 17
IV.1 Hypothèses de travail et stratégie pour y répondre 17
IV.2 L'arbre, tampon des extrêmes thermiques et hygrométriques ? 18
IV.3 L'arbre, atténuateur des amplitudes thermiques et hygrométriques ? 21
IV.4 L'arbre, facilitateur d'un partage optimisé de la ressource en eau avec la culture ? 25
IV.5 L'arbre, draineur des précipitations dans le linéaire sous arboré ? 28
IV.6 Quels facteurs pour expliquer l'effet plus ou moins marqué de l'arbre selon les sites ? 29
IV.6.1 Comment les sites de différencient en termes d'emprise des arbres sur la parcelle ? 29
IV.6.2 Comment les sites se différencient-ils en termes de production de la strate herbacée ? 32
IV.6.3 Comment les conditions de sites vont influencer l'effet que l'arbre va avoir sur la modulation du microclimat et de la ressource en eau du sol ? 33

V. Bilan critique et perspectives 38

VI. Valorisation, diffusion et communication 39

VII. Références 42

VIII. Annexes 45

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Résumé

Dans le contexte du changement climatique, le déficit hydrique annuel en région Grand Est s'accroît d'année en année. Si la théorie fait état d'un effet positif de la présence des arbres sur la ressource hydrique dans les peuplements agroforestiers, ainsi que d'un rafraîchissement de l'atmosphère à proximité des arbres, des éléments concrets pour convaincre les agriculteurs de ces effets bénéfiques sur la composante agricole manquent encore, qui plus est dans le Grand Est où l'agroforesterie intra-parcellaire se développe peu à peu.

L'objectif du projet FR-eau-MAGE (financé par l'office français de la biodiversité, OFB) est de caractériser l'effet de la présence d'arbres sur la disponibilité de la ressource en eau et sur le microclimat d'un réseau de six parcelles agroforestières d'agriculteurs du Grand Est, en y établissant des bilans hydriques et thermiques. Ces parcelles sont suivies depuis 2018 en termes de productivité, propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, composition floristique du linéaire sous arboré (LSA). Les mesures acquises depuis 2018 ont été complétées à partir de 2022 grâce à l'instrumentation des parcelles pour l'acquisition de données microclimatiques (température et humidité de l'air, précipitations) et de contenu en eau du sol en interaction directe avec les exploitants agricoles du réseau. L'objectif finalisé est la production d'indicateurs chiffrés de la performance des parcelles étudiées pour ces services d'atténuation des extrêmes climatiques et de partage optimisé de la ressource en eau du sol.

L'effet de l'arbre dépend évidemment des caractéristiques de la parcelle considérée : âge des arbres, orientation des lignes, système de culture, etc. Sur les parcelles présentant les arbres les plus étoffés, la température peut varier de 2 à 3 degrés auprès de l'arbre par rapport au plein champ, et l'humidité de l'air de plus de 10%. Un effet de refroidissement et d'humidification de l'atmosphère par l'arbre est observée pendant les journées d'été et d'autant plus lorsque la journée est chaude. Inversement, en hiver, un effet tampon est observée au pied de l'arbre, avec des températures plus élevées qu'au milieu du champ. Sans surprise, ces effets semblent proportionnels à la taille des houppiers et est donc également dépendant de l'élagage des branches réalisé par les agriculteurs de façon plus ou moins drastique sur les différents sites. L'objectif de l'agriculteur pour ses arbres (par exemple, pas d'élagage pour privilégier le bien-être animal ou, au contraire, élagage pour favoriser la production de bois d'œuvre) a donc un impact crucial sur l'effet qu'aura l'arbre sur les atténuations des extrêmes climatiques.

Sur tous les sites, les arbres accélèrent l'asséchement du sol, mais cet effet s'atténue avec la croissance de l'arbre pour trois raisons : *(1)* l'arbre en grandissant va puiser l'eau dans des horizons distincts, plus profonds, que la strate herbacée, *(2)* l'ombrage qu'il porte sur la culture ou la prairie s'accroit avec le temps, réduisant la demande évaporative de l'air au niveau des herbacées et donc leur transpiration, *(3)* l'apport de litière (aérienne et racinaire) de l'arbre augmente avec sa croissance et influence d'autant plus la macroporosité du sol et sa capacité de rétention de l'eau.

L'impact de l'arbre que ce soit sur le microclimat ou la ressource en eau du sol des parcelles est peu influencé par la nature des sols ou le climat global, sans doute parce que les parcelles sélectionnées présentent une certaine homogénéité, caractéristique du Grand Est. Il semble que l'emprise de l'arbre sur la parcelle soit le facteur prépondérant impactant le microclimat et l'eau du sol des parcelles. Si l'impact de l'arbre sur le microclimat est globalement positif (atténuation des extrêmes), l'effet sur l'eau

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

du sol est plutôt négatif (compétition entre l'arbre et la strate agricole) jusqu'à ce que l'arbre soit suffisamment étoffé pour que ces effets négatifs s'atténuent.
L'instrumentation, relativement limitée en raison des coûts, réalisée dans le cadre du projet n'a pas permis de mettre en évidence des seuils de distances à l'arbre au-delà desquels les effets apparaissent ou disparaissent. De la même manière, le nombre limité d'arbres suivis ne nous a pas permis d'estimer des seuils de taille des arbres à partir desquels les effets deviennent significatifs.

Abstract

The regional context in the Grand Est region of France indicates that the annual water deficit is increasing year after year. While theory suggests a positive effect of trees on water resources in agroforestry stands, as well as a cooling effect of the atmosphere near trees, concrete evidence to convince farmers of these beneficial effects on the agricultural component is still lacking, particularly in the Grand Est, where alley cropping agroforestry is gradually developing.
Our objective was to demonstrate the effect of trees on water availability and microclimate of a network of six agroforestry plots belonging to local farmers in the Grand Est region in France. These plots have been monitored since 2018 in terms of productivity, soil physicochemical and biological properties, floristic composition of the understory, etc. The data collected since 2018 were supplemented from 2022 onwards by instrumenting the plots to acquire microclimatic data (air temperature and humidity, precipitation) and soil water content in close collaboration with the network's farmers, through the deployment of measurement equipment used by these farmers for water management. The ultimate goal is to produce quantifiable performance indicators for the studied plots for these services (mitigation of extreme climatic events and optimized soil water sharing).
Most of the plots were instrumented during the summer and autumn of 2022. The effect of the trees obviously depends on the characteristics of the plot: tree age, row orientation, type of crop cover, etc. On plots with the densest trees, the temperature can vary by 2 to 3 degrees Celsius near the tree compared to the open field, and the air humidity by more than 10%. A cooling and humidifying effect on the atmosphere is observed near trees during early summer days, and this effect is even more pronounced on hot days. Conversely, in winter, a buffering effect is observed near the trees, where temperatures are higher than in the middle of the field. Unsurprisingly, these effects appear to be proportional to the size of the tree crowns and are therefore also dependent on the degree of pruning carried out by farmers at the different sites. The farmer's objective for their trees (for example, no pruning to prioritize animal welfare or, conversely, pruning to promote timber production) thus has a crucial impact on the tree's ability to mitigate extreme weather events.
At all sites, trees accelerate soil drying, but this effect diminishes as the tree grows for three reasons: *(1)* as the tree grows, it draws water from deeper, distinct soil horizons than the herbaceous layer; *(2)* the shade caused by trees on the crop or pasture increases over time, reducing the evaporative demand of the air for herbaceous plants and therefore their transpiration; *(3)* the tree's litter production (aerial and root) increases with tree growth, thus further influencing soil macroporosity and water retention capacity.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

The impact of trees on both the microclimate and soil water resources of the plots is almost not influenced by soil type or by the overall climate, likely because the selected plots exhibit a certain homogeneity, characteristic of the Grand Est region. It appears that the tree's footprint on the plot is the predominant factor impacting the microclimate and soil water. While the tree's impact on the microclimate is generally positive (mitigating extremes), its effect on soil water is rather negative (competition between the tree and the crop layer) until the tree is sufficiently big for these negative effects to diminish.

The instrumentation, relatively limited due to cost constraints, did not allow us to identify thresholds for distance from the tree beyond which the effects appear or disappear. Similarly, the limited number of trees monitored did not allow us to estimate tree size thresholds above which the effects become significant.

I. État de l'Art

Le changement climatique est notamment associé à une augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes, comme l'été 2022 le plus chaud jamais enregistré en Europe centrale. Ces événements entraînent indirectement un stress hydrique accru, une dégradation des terres arables, une baisse des rendements agricoles, une augmentation des pertes forestières et ainsi avoir de nombreuses répercussions négatives sur les ressources naturelles et sur la sécurité alimentaire. Les sommets scientifiques internationaux exhortent toutes les nations à déployer tous les efforts possibles pour atténuer le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en augmentant le stockage du carbone afin de faire baisser la température à la surface de la Terre (Kumar, 2022 ; Schulze et al., 2019 ; Zhang & Ayyub, 2021). Globalement, une augmentation de température pouvant atteindre 0,3°C par décennie pendant la saison de croissance a déjà été observée entre 1980 et 2011 (Lobell & Gourdji, 2012). De plus, les précipitations devraient être, de manière générale, moins fréquentes et moins intenses et, combinées aux températures élevées et donc à une augmentation de l'évapotranspiration, aggraver le stress hydrique (Meehl et al., 2007). L'agriculture et la foresterie sont au cœur des stratégies de gouvernance pour l'atténuation du changement climatique (Locatelli et al., 2015). L'agroforesterie est un système de culture qui associe arbres et cultures sur une même parcelle et qui constitue une voie de diversification susceptible de fournir de nombreux services écosystémiques et générer des bénéfices écologiques et économiques, tels que la séquestration du carbone, la fertilité des sols, la conservation de la biodiversité, la disponibilité des ressources hydriques et une production durable pour les cultures, l'élevage et la gestion forestière (Jose, 2009 ; Paul et al., 2017 ; Reyes et al., 2021 ; Stigter, 2015).

L'intérêt de l'agroforesterie est reconnu historiquement depuis très longtemps, mais avec l'intensification de l'agriculture à partir des années 1960, notamment en Europe, elle a progressivement disparu (Jacobs et al., 2022). Il existe plusieurs types d'agroforesterie, dont la culture en couloirs (ou agroforesterie intra-parcellaire), la plus répandue et le principal système préconisé en Europe centrale (Liagre et al., 2009 ; Ministère de l'Agriculture, 2016 ; Quinkenstein et al., 2009 ; Wolz & DeLucia, 2018). La culture en couloirs consiste en des rangées d'arbres très rapprochées (largeur des couloirs de 10 à 100 m) implantées dans une parcelle cultivée (Kanzler et al., 2019). D'après des simulations réalisées avec le

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

modèle Hi-sAFe pour l'agroforesterie, déclinées en trois scénarios (conditions climatiques passées, présentes et futures) pour la culture du blé dur sous stress hydrique, thermique et azoté, les cultures en couloirs pourraient atténuer le stress thermique d'environ 20 à 35 % et maintenir les rendements par rapport aux niveaux actuels (Reyes et al., 2021). Paul et al. (2017) ont combiné la Modern Portfolio Theory à la simulation des risques dans une simulation biophysique intégrant l'incertitude climatique. Leurs résultats montrent que l'agroforesterie pourrait surpasser d'autres modes d'utilisation des terres (monoculture ou mosaïque agricole) en termes d'atténuation du changement climatique, malgré un niveau de risque plus élevé. Par ailleurs, l'agroforesterie, qu'elle soit destinée à la production de bois ou à l'alimentation, pourrait être économiquement plus avantageuse que la monoculture dans différents scénarios climatiques (Graves et al., 2007 ; Paul et al., 2017). Le rendement des cultures peut être réduit au début de l'implantation de l'agroforesterie, puis se rétablit lorsque les arbres atteignent une taille importante (Reyes et al., 2021). L'agroforesterie a le potentiel de créer un microclimat grâce à ses effets d'ombrage et de brise-vent (Barradas & Fanjul, 1986 ; Inurreta-Aguirre et al., 2022 ; Jacobs et al., 2022 ; Quinkenstein et al., 2009 ; Yang et al., 2021). Un couvert forestier d'environ 30 à 65 % assure une bonne disponibilité des ressources en eau du sol (Lin, 2010). Un effet tampon pour les cultures en couloirs a été observé sous différents climats (Barradas et Fanjul, 1986 ; Inurreta-Aguirre et al., 2022 ; Lin, 2010 ; Swieter et al., 2022). L'ombre des arbres réduit le rayonnement solaire et, par conséquent, la température de l'air par rapport à des paysages agricoles ouverts (Barradas & Fanjul, 1986). Cet effet tampon peut être contrebalancé la nuit par la perte de rayonnement de grandes longueurs d'onde de la surface du sol vers l'atmosphère et par l'effet rafraîchissant des vents froids (Barradas & Fanjul, 1986 ; Inurreta-Aguirre et al., 2022 ; Swieter et al., 2022). L'irradiation arrivant au sol ainsi que le rayonnement photosynthétiquement actif diminuent également avec la hauteur des arbres et la latitude (Dupraz et al., 2018 ; Jacobs et al., 2022). Cet effet est plus marqué à proximité des arbres et peut être négligeable au milieu d'une allée (Carrier et al., 2019 ; Ehret et al., 2018 ; Yang et al., 2021). L'effet de l'intégration des arbres peut se manifester plusieurs années après leur implantation et dépend de l'orientation des rangées d'arbres (Dupraz et al., 2018 ; Ehret et al., 2018 ; Jacobs et al., 2022 ; Karki & Goodman, 2013 ; Swieter et al., 2022). Dupraz et al. (2018) ont étudié la disponibilité de la lumière dans la culture en couloirs à différentes latitudes, des tropiques au cercle polaire, à l'aide du modèle Hi-sAFe avec un module de compétition lumineuse 3D. Ils recommandent deux orientations différentes pour les rangées d'arbres : i) une orientation nord-sud est recommandée pour les hautes et moyennes latitudes, et ii) une orientation est-ouest est recommandée pour les basses latitudes. De manière générale, l'effet de l'agroforesterie sur le microclimat dépend de la hauteur des arbres, de la largeur de l'allée et de l'orientation des rangées (Böhm et al., 2014). La largeur de l'allée est en effet un facteur important à prendre en compte lors de l'aménagement de parcelles en agroforesterie ; il est recommandé d'éviter les rangées étroites afin de limiter l'effet indésirable de l'ombrage (Carrier et al., 2019 ; Dupraz et al., 2018). Inurreta-Aguirre et al. (2022) ont montré des rendements inférieurs pour le blé dur et l'orge en culture intercalaire avec des rangées étroites, comparativement au traitement strictement agricole. Yang et al. (2021) ont comparé la culture intercalaire de luzerne et de blé en rangées étroites à un système de monoculture. Ils ont constaté une diminution du rayonnement photosynthétiquement actif incident et de la température de l'air dans les deux systèmes de culture intercalaire par rapport à la monoculture, ainsi que des pertes de rendement et de teneur en protéines (Yang et al., 2021). Les pertes de

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

rendement étaient plus importantes à proximité des rangées d'arbres, mais en intégrant la surface équivalente assolée (ou LER, land equivalent ratio) comme indice d'évaluation de cet effet, la culture intercalaire a démontré une productivité et un revenu total annuel supérieurs à ceux de la monoculture (Yang et al., 2021). Par ailleurs, en conduite pastorale, Karki et Goodman (2013) ont observé une augmentation de l'activité de broutage par rapport au repos en sylvopastoralisme par rapport aux pâturages ouverts, et ils ont attribué ce phénomène à la réduction du stress thermique chez le bétail grâce à la présence d'arbres.

Le développement de l'agroforesterie en couloirs dans la région Grand Est, en France, est lent comparé à d'autres régions et pays. Les agriculteurs expriment leurs inquiétudes quant à la dégradation de leurs revenus et à la viabilité de cette pratique. Par ailleurs, dans une région à climat continental comme le Grand Est, l'impact du changement climatique et l'augmentation des sécheresses et des contraintes thermiques sont plus rapides.

Le projet FR-eau-MAGE, financé par l'Office Français de la Biodiversité sur la période 2021-2024, a débuté le 1er décembre 2021 et s'est achevé le 30 novembre 2025. Il réunissait les UMR Silva (coordinateur) et LAE (Laboratoire Agronomie et Environnement) ainsi que SylvaTerra, structure de conseil en agroforesterie qui a fait le lien avec les agriculteurs gestionnaires des parcelles constituant le réseau de sites du projet dans le Grand Est. Dans le cadre du projet, un post-doctorant (Hamza Mohieddinne) a été recruté pour un an entre avril 2022 et mars 2023 afin de superviser l'instrumentation des sites et de prendre en charge l'analyse et le traitement des premières données recueillies. L'Annexe 1 présente un chronogramme des activités menées dans le cadre du projet entre fin 2021 et début 2026.

II. Objectifs

Dans le contexte décrit ci-dessus, l'objectif général du projet FR-eau-MAGE est de **figurer la ressource en eau et le microclimat des parcelles agroforestières du Grand Est**. Pour cela, deux objectifs spécifiques ont été définis : *(1)* mettre en évidence les effets sur le microclimat des parcelles et le partage de la ressource en eau du sol (espérés bénéfiques) de la présence de l'arbre en milieu agricole dans la Région par l'intermédiaire de suivis microclimatiques réalisés sur un réseau de six parcelles agroforestières du Grand Est et *(2)* comprendre pourquoi et comment les effets observés sont modulés selon les sites en associant ces effets aux caractéristiques des parcelles en termes de rendements, de nature et de composition des sols, de conditions météorologiques globales, d'emprise des arbres dans les parcelles, etc. (Figure 1). Le projet s'est focalisé sur l'agroforesterie intra-parcellaire ou culture en couloirs, correspondant en des alignements d'arbres dans les champs (grandes cultures ou prairies).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

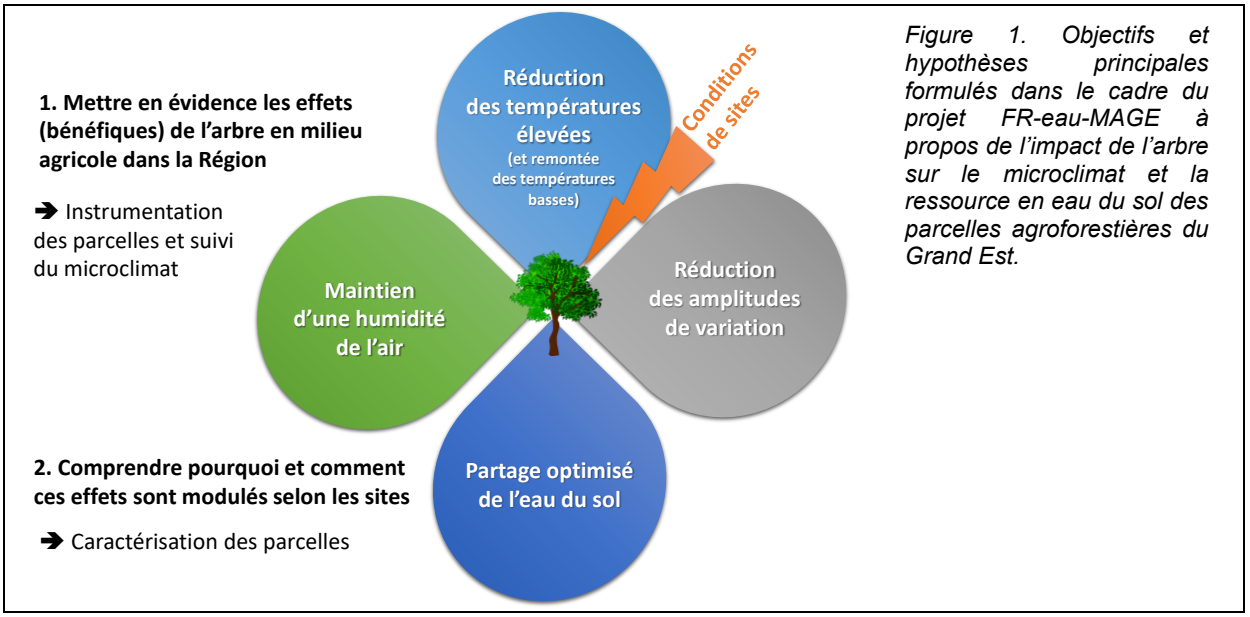


Figure 1. Objectifs et hypothèses principales formulés dans le cadre du projet FR-eau-MAGE à propos de l'impact de l'arbre sur le microclimat et la ressource en eau du sol des parcelles agroforestières du Grand Est.

La phase de modélisation des bilans hydriques, initialement prévue dans le cadre du projet, a été abandonnée après une prospection de plusieurs mois auprès des développeurs des différents modèles forestiers et agroforestiers potentiellement utilisables qui s'est avérée infructueuse ; les couverts des parcelles agroforestières étudiées se sont avérés trop discontinus pour l'utilisation d'un modèle strictement forestier (modèle BILJOU, discussion et mesures de LAI réalisées avec Nathalie Breda, personne ressource INRAE sur ce modèle) et les variables d'entrée étaient trop lourdes à mesurer pour paramétrer des modèles tels que Hi-sAFe et MAESPA (discussions avec les personnes ressources de ces deux modèles, respectivement, Christian Dupraz (INRAE) et Guerric Le Maire (CIRAD) (Tableau 1).

Tableau 1. Modèles envisagés pour la simulation des bilans hydriques des parcelles agroforestières. Pour chacun, les sorties possibles, les personnes ressources avec lesquelles nous avons interagi, les liens vers des descriptifs des modèles et les limites identifiées sont indiqués.

Modèle	Sorties possibles	Personnes ressource	Réunions avec eux	Limites identifiées
BILJOU https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/	- Evapotranspiration - Drainage - Indicateurs de stress hydrique	UMR Silva (Nancy) : Nathalie Breda, Joseph Levillain	3 mars 2022 25 mai 2022	Modèle forestier : couverts non continus en agroforesterie, LAI trop faibles
Hi-sAFe https://www1.montpellier.inra.fr/wp-inra/hi-safe/	- Compétition pour la lumière - Compétition pour l'eau - Croissance racinaire en 3D	UMR ABSys (Montpellier) : Christian Dupraz, Marie Gosme	30 mai 2022	Paramétrisation lourde
MAESPA https://maespa.github.io/	- Structure de la canopée en 3D - Bilan énergétique - Bilan hydrique - Hydraulique…	UMR Eco&Sols (Montpellier) : Guerric Le Maire, Jérôme Ngao	3 juin 2022	Modèle forestier ; développements importants pour une utilisation en agroforesterie

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Le réseau de parcelles d'agriculteurs étudiées dans le cadre de FR-eau-MAGE avait été constitué dans le cadre du projet PotA-GE (*Potentialités de l'Agroforesterie dans le Grand Est de la France*) financé par l'ADEME entre 2018 et 2023, à l'exception de la parcelle vosgienne remplacée dans le cadre d'une collaboration avec Nestlé Waters – Agrivair (voir ci-dessous). Les parcelles ont été sélectionnées à la fois pour être représentatives de la diversité des pratiques de l'agroforesterie intra-parcellaire du Grand Est (conventionnel vs. biologique, prairies vs. grandes cultures) et relativement homogènes pour pouvoir être comparées (production de bois d'œuvre, densité de plantation des arbres d'environ 40 arbres par ha, arbres implantés il y a 10 à 12 ans) (Figure 2). Un autre critère important pour la sélection de ces parcelles était l'intérêt et la motivation des agriculteurs gestionnaires des parcelles concernant l'acquisition de nouvelles références quant aux effets espérés bénéfiques sur le microclimat des parcelles et le partage de la ressource en eau du sol liés à la présence de l'arbre sur leurs exploitations. Le consultant agroforestier SylvaTerra, partenaire de FR-eau-MAGE a notamment joué le rôle d'animateur de ce réseau d'agriculteurs.



Figure 2. Les six parcelles au printemps 2025. Dans le sens horaire, Montenoy (54), Pixerécourt (54), Monthureux-le-Sec (88), Orbigny-au-Mont (52), Banogne-Recouvrance (08), Quincey (10).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

III. Matériel et méthodes

Les questions auxquelles nous cherchons à répondre et les méthodes utilisées pour y parvenir sont résumées ci-dessous :

Question posée	Méthode déployée
Quel va être l'impact de l'arbre sur le microclimat de la parcelle (température et humidité de l'air, demande évaporatrice de l'air, précipitations**) ?**	Comparaison des données climatiques enregistrées en continu au pied de l'arbre et en plein champ à l'aide de stations météorologiques.
Quel va être l'impact de l'arbre sur la ressource en eau du sol de la parcelle **?**	Comparaison des teneurs en eau du sol enregistrées en continu au pied de l'arbre et en plein champ à l'aide de sondes placées à 30 et 60 cm de profondeur dans le sol.

III.1 Suivi des conditions microclimatiques

Les six parcelles du Grand Est ont été équipées entre mai 2022 et octobre 2023 (Tableau 2). La collaboration avec Nestlé Waters – Agrivair a été concrétisée par la signature d'une convention de partenariat avec INRAE ; la parcelle vosgienne de Monthureux-le-Sec, dont Agrivair réalise le suivi par ailleurs, a été instrumentée plus tardivement mais de la même façon que les cinq autres (Figure 3). Les équipements comprennent à chaque site deux stations météo MicroMetos de Pessl Instrument (AgroRessources) pour les mesures de l'humidité et de la température de l'air ainsi que de la pluviométrie au pied d'un arbre représentatif de la parcelle et en plein champ à un mètre de hauteur, et des sondes WaterMark (Monitor R2DX, AgroRessources) pour les mesures de la tension de l'eau dans le sol au pied de l'arbre, et à 5 et 15 mètres dans le champ à deux profondeurs, 30 et 60 cm (six sondes par site) (Figure 4). Les stations positionnées en plein champ sont supposées ne plus être influencées par la présence de l'arbre (témoin agricole). Au pied de l'arbre, la station a été positionnée vers le sud pour que le panneau solaire soit le plus exposé au soleil et pour éviter l'ombrage de la station par l'arbre. Lorsque des troupeaux d'animaux sont susceptibles d'être présents sur la parcelle, une clôture électrifiée a été installée autour des instruments (par exemple à Pixerécourt). Les données sont enregistrées en continu, téléchargeables à tout moment et les stations sont alimentées par un panneau solaire. Les abonnements permettant l'accès aux données en ligne se sont terminés fin 2025.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

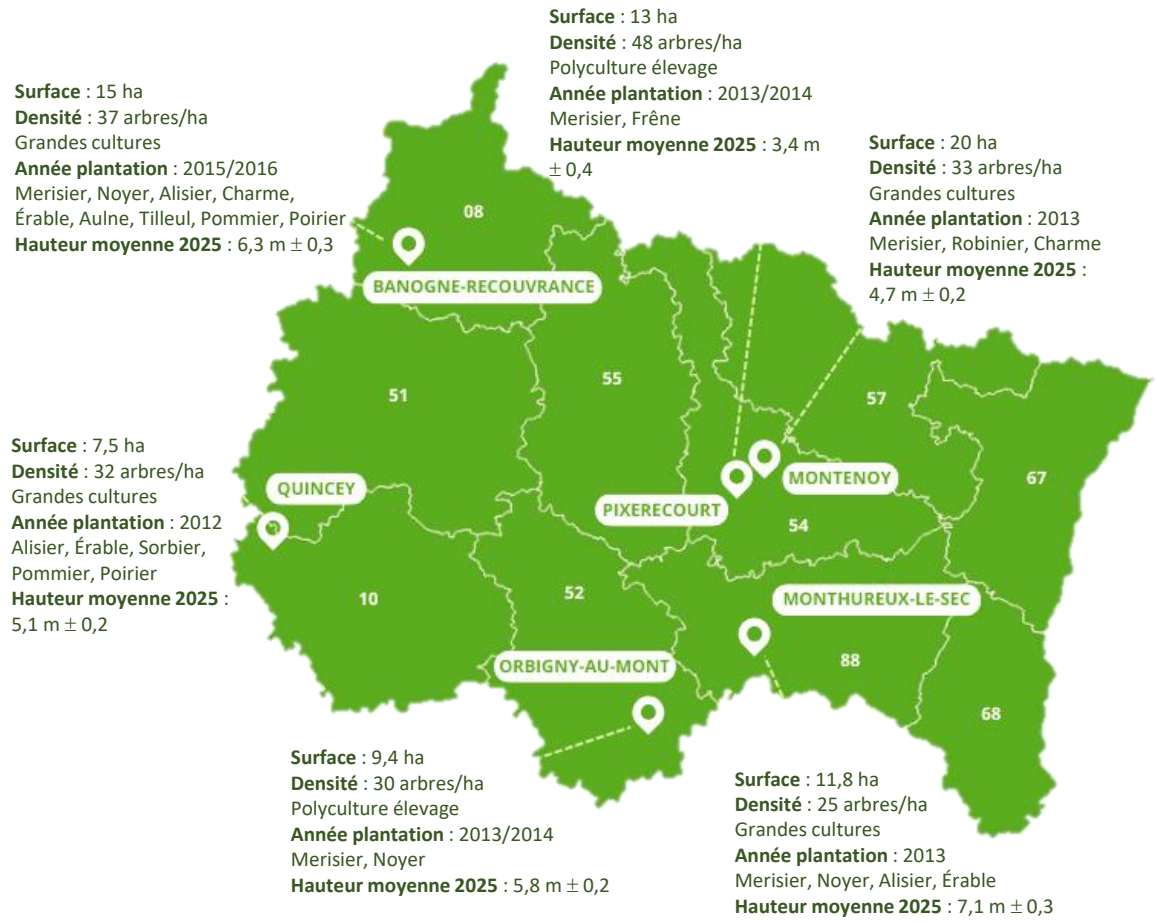


Figure 3. Répartition et caractéristiques générales des six parcelles du Grand Est suivies dans le cadre du projet FR-eau-MAGE : surface en agroforesterie intra-parcellaire, densité de plantation des arbres, système d'exploitation, essences d'arbres présentes, année de plantation des arbres, hauteur moyenne des arbres en 2025 (m, moyennes ± erreurs standards).

Les données d'humidité du sol acquises grâce aux sondes WaterMark étaient sous forme de tension de l'eau dans le sol, en centibars (cb). Ces outils sont notamment utilisés dans le pilotage de l'irrigation et l'interprétation des valeurs de tensions se fait en couplant le calcul de bilan hydrique et les valeurs de seuils tensiométriques propres à chaque type de sol[1]. L'interprétation nécessite l'établissement de courbes de tension en fonction de la teneur en eau qu'il aurait fallu établir pour tous les types de sols ; des tentatives de calibration de ces données à partir de celles obtenues dans le cadre du projet PotA-GE au pied de l'arbre à l'aide d'une sonde PR2 (Sols Mesures) fournissant les données en pourcentage volumique d'eau ont été réalisées. Malheureusement, les conditions climatiques très humides en fin de projet n'ont pas permis d'obtenir une gamme de variation suffisante des teneurs en eau du sol pour pouvoir réaliser cette calibration. L'espoir d'une année sèche en 2025 était une des raisons de la prolongation du projet ; ces conditions n'ont malheureusement pas été obtenues.

[1] Exemple de valeurs seuils à 60 cb : proportion de la réserve utile épuisée : sol sablo-limoneux 75%, sol limono-sableux 50%, sol limoneux 33%, sol argileux 16%

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Tableau 2. Sites du réseau FR-eau-MAGE dans le Grand Est. Pour chacun, l'agriculteur gestionnaire, le type de couvert, l'espèce ligneuse ciblée et la date d'équipement des parcelles sont indiqués.

Parcelle	Gestionnaire	Système d'exploitation	Système de culture	Espèce ligneuse ciblée	Nature du sol*	Date d'équipement
Banogne-Recouvrance (08)	Sébastien L.	Céréalier	Cultures annuelles (tournesol)	Merisier	Limon fin argileux	31 mai 2022
Orbigny-au-Mont (52)	William B.	Polyculture élevage	Prairie permanente	Merisier	Limon	7 juillet 2022
Montenoy (54)	Clément E.	Polyculture élevage	Cultures annuelles (blé)	Merisier	Limon argileux	9 juin 2022
Pixerécourt (54)	Jérôme J.	Polyculture élevage	Prairie temporaire	Frêne	Limon	20 octobre 2022
Quincey (10)	Maxence M.	Céréalier	Cultures annuelles	Érable	Limon argileux fin	17 janvier 2023
Monthureux-le-Sec (88)	Fabrice F.	Céréalier	Cultures annuelles	Merisier	Limon fin argileux	2 octobre 2023

* Selon le triangle des textures

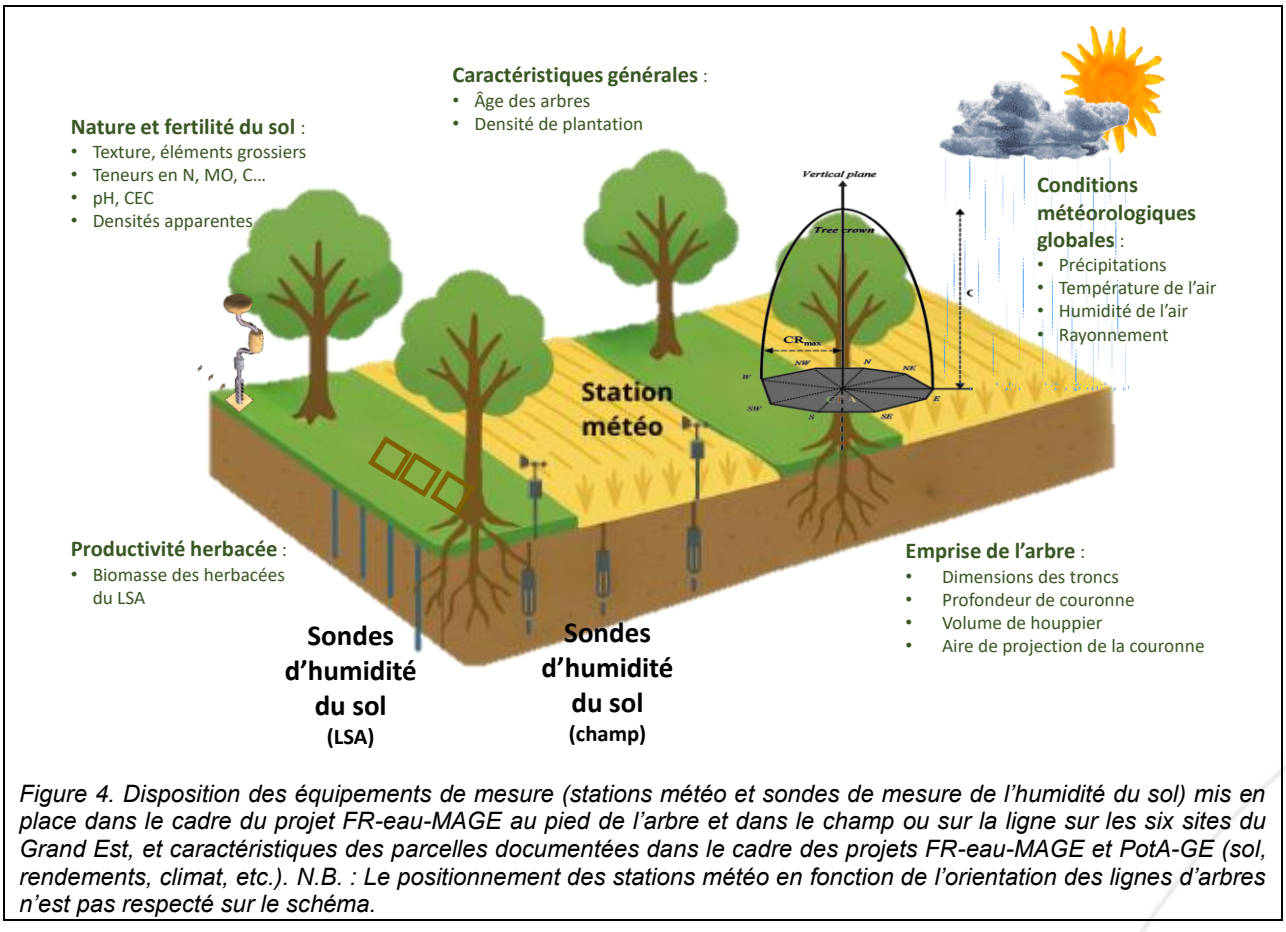


Figure 4. Disposition des équipements de mesure (stations météo et sondes de mesure de l'humidité du sol) mis en place dans le cadre du projet FR-eau-MAGE au pied de l'arbre et dans le champ ou sur la ligne sur les six sites du Grand Est, et caractéristiques des parcelles documentées dans le cadre des projets FR-eau-MAGE et PotA-GE (sol, rendements, climat, etc.). N.B. : Le positionnement des stations météo en fonction de l'orientation des lignes d'arbres n'est pas respecté sur le schéma.

Seul le site d'Orbigny-au-Mont, en prairie permanente, n'a pas subi d'interruption temporaire de l'acquisition des données en raison de l'absence de travail de sol à réaliser sur la parcelle ne nécessitant ainsi pas de désinstallation du matériel. À Quincey, les sondes WaterMark ont dû être remplacées au cours de l'été 2023 en raison d'une défaillance du matériel. Sur ce site, les sondes ont été endommagées au cours de l'automne 2023 (sans doute par des sangliers) ; une réparation a été

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

réalisée et le suivi a repris. La Figure 5 présente les périodes de suivi micro-météorologique et les interruptions aux différents sites lorsque la station du champ devait être retirée pour permettre les travaux agricoles dans les parcelles. Le déplacement puis la remise en place des sondes dans le sol nécessitait une période d'approximativement un mois pour se stabiliser avec les conditions édaphiques ; ce délai, lorsque les sondes étaient déplacées fréquemment pour permettre à l'agriculteur de réaliser les travaux dans le champ, a réduit d'autant plus les périodes de suivi exploitables.

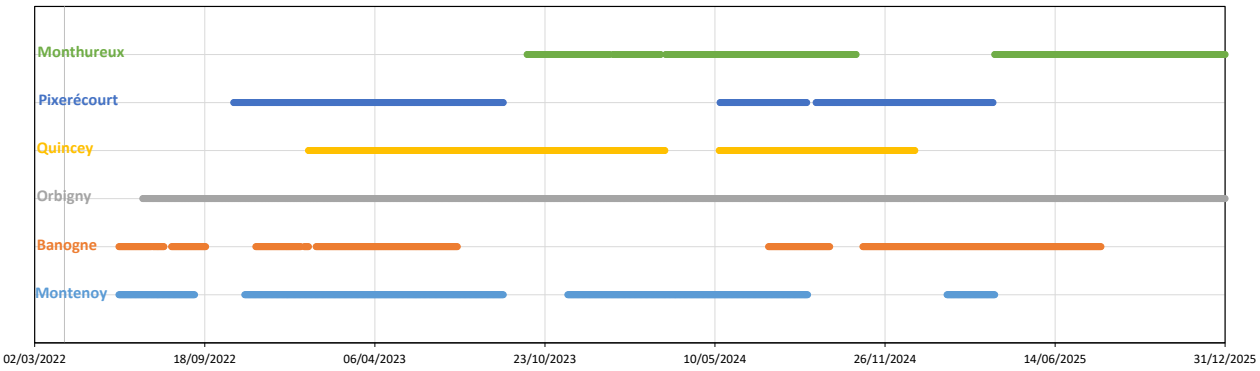


Figure 5. Périodes de suivi microclimatique sur les six sites de FR-eau-MAGE depuis l'instrumentation de la parcelle jusqu'à fin 2025. N.B. : Le schéma ne concerne pas les sondes WaterMark dont le temps de stabilisation dans le sol pouvait être de plusieurs semaines après leur réinstallation.

En 2025, les problèmes techniques survenues sur quatre des 12 stations météos présentes sur les différents sites nous ont conduit à arrêter les suivis au cours de cette année, sachant que les données ne sont exploitables que si les deux stations météos d'un site sont fonctionnelles pour pouvoir évaluer l'effet de l'arbre par rapport au plein champ. La destruction des sondes WaterMark, vraisemblablement par des sangliers, sur deux des sites au cours de cette même année nous a confortés dans cette décision.

III.2 Dimensions des arbres

Les mesures ont été réalisées au cours du printemps 2025 sur dix arbres par espèce, sauf pour les sites de Banogne-Recouvrance et Quincey où les mesures ont été faites sur six arbres par espèce car elles étaient nettement plus nombreuses. L'objectif étant d'obtenir une image moyenne de la parcelle, les arbres mesurés étaient en bonne santé et représentatifs de l'ensemble des arbres de la parcelle ; les arbres en bout de ligne où voisins d'arbres morts ont été évités. Pour chaque arbre, les mesures réalisées sont : le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) à l'aide d'un ruban forestier, la hauteur totale de l'arbre et de la branche la plus basse à l'aide d'une perche et les rayons du houppier aux huit points cardinaux à l'aide d'un mètre ruban (Figure 6).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

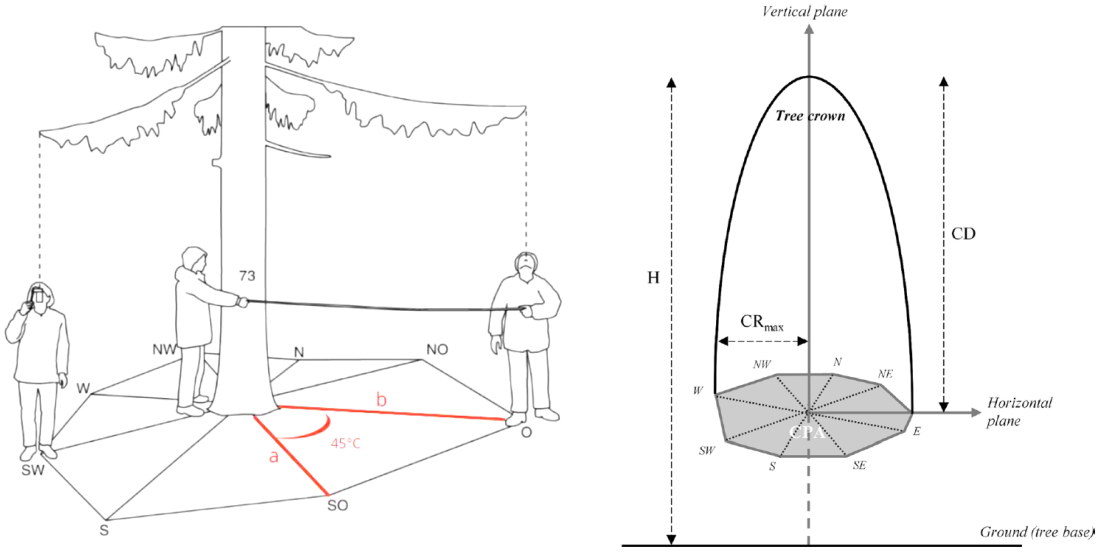


Figure 6. Méthode de mesure des rayons de la couronne suivant les huit axes cardinaux (d'après Pretzsch, 2019, à gauche) et calcul des dimensions de la couronne (à droite) : H = total tree height, CR_{max} = crown maximum radius, CD = crown depth, CPA = crown projection area (Thomas et al., 2023).

À partir de ces mesures, des calculs ont été réalisés pour caractériser les houppiers. La "longueur de houppier" a été calculée comme la différence entre la hauteur totale de l'arbre et sa hauteur élaguée (Dupraz et Liagre, 2008). Pour calculer la surface de projection de houppier (CPA : Crown Projection Area), les surfaces des 8 triangles projetés au sol ont été additionnés (Aire de chaque triangle = ½*a*b*sin(45°) avec a et b les longueurs des côtés en partant du tronc). Le "volume de houppier" peut être défini comme le volume d'une demi-ellipse (Thomas et al. 2023), soit ½ de 4/3 πabc (avec a*b=rayon moyen au carré et c=longueur de houppier). Ici, le même calcul a été réalisé en remplaçant l'aire de la base en tant que cercle (πab) par la CPA directement, ce qui donne : volume=⅔ * CPA * longueur de houppier.

III.3 Biomasse herbacée

Des prélèvements de la biomasse herbacée ont été effectués au cours du printemps 2025 sur tous les sites sur des quadrats de 50 cm² à quatre distances de l'arbre (pied de l'arbre, huitième, quart et demi-distance par rapport à l'arbre voisin). Ces mesures ont concerné cinq arbres d'espèces différentes dans chaque parcelle. Pour chaque quadrat, la biomasse herbacée totale a été prélevée à l'aide de ciseaux et déposée dans des sacs en papier. Ces sacs ont été mis à l'étuve à 50°C pendant trois jours pour peser ensuite la masse sèche des échantillons. Les données ont été exprimées en gramme de biomasse sèche par mètre carré.

III.4 Données climatiques et édaphiques

Outre les variables mesurées dans le cadre de FR-eau-MAGE, d'autres données ont été utilisées pour caractériser les six parcelles. Les données climatiques globales des parcelles (précipitations, ensoleillement et humidité et température de l'air) entre mai et septembre 2023 et 2024 ont été obtenues

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

grâce aux stations Météo France et INRAE les plus proches des parcelles du réseau (Bretenière 21, Fagnières 51, Champenoux 54 et Mirecourt 88). Les données de nature du sol (texture, pH) avaient été mesurées au Laboratoire INRAE d'Analyse des Sols (LAS) d'Arras au cours du projet PotA-GE, excepté pour le site de Monthureux-le-Sec pour lequel les prélèvements et les analyses ont été réalisés en 2024. Les autres variables édaphiques (teneurs en éléments grossiers, teneurs en carbone organique, teneurs en azote total, densités apparentes, teneurs en matière organique, capacité d'échange cationique (CEC)) ont été mesurées par les partenaires Silva et LAE dans le cadre du projet PotA-GE.

III.5 Analyse des données

Pour déterminer l'effet tampon de l'arbre sur les différentes variables microclimatiques (température et humidité de l'air, demande évaporatrice de l'air (VPD), précipitations), la différence de température journalière (T arbre - T champ) ainsi que la différence d'amplitude journalière (amplitude thermique = T max du jour - T min du jour) ont été calculées et représentées graphiquement. Les mêmes analyses ont été réalisées sur les données d'humidité de l'air et de VPD (vapour pressure deficit = déficit de pression de vapeur de l'air, indicateur de la demande évaporatrice de l'air). Pour comparer statistiquement les variables quantitatives en fonction des variables qualitatives, des tests de comparaison de plusieurs moyennes ont été réalisés (ANOVA et test non paramétrique de Kruskal Wallis avec test de Dunn lorsque les données ne respectaient pas les conditions de normalité et d'homoscédasticité). La différence est considérée comme significative lorsque la p-value est <0,05. Souvent, le site de Quincey a été choisi pour illustrer graphiquement l'effet tampon de l'arbre sur le microclimat car c'est le site avec la différence d'amplitude thermique et la différence d'humidité les plus marquées.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour mettre en lien les caractéristiques des parcelles avec les données microclimatiques. Le tableau d'ACP comporte les dimensions des arbres ciblés (volumes de houppier (m^3), CPA (m^2), longueur de houppier (cm), diamètre à hauteur de poitrine = DBH (mm)), les quantités de biomasse herbacées (en g/m^2), les données édaphiques (textures, pH, CEC, etc.) et les données microclimatiques (différence d'amplitude thermique journalière maximale (en °C), différence d'humidité moyenne sur les mois de juin-juillet et sur l'année 2023 ou 2024 (en %)) comme variables quantitatives. La différence d'amplitude thermique journalière maximale (en °C) a été calculée comme la moyenne des trois différences les plus négatives sur le mois de juin ; cela représente le maximum que l'arbre peut faire atténuer en température (cette valeur a été remise en positif pour faciliter l'analyse des corrélations). L'effet de la présence de l'arbre sur l'asséchement du sol a été estimé par l'intermédiaire du rapport entre les pentes d'assèchement du sol (augmentation de la tension de l'eau dans le sol ; Figure 7) au pied de l'arbre et en plein champ à 30 cm de profondeur sur des périodes d'une dizaine de jours sans pluie aux différents sites.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

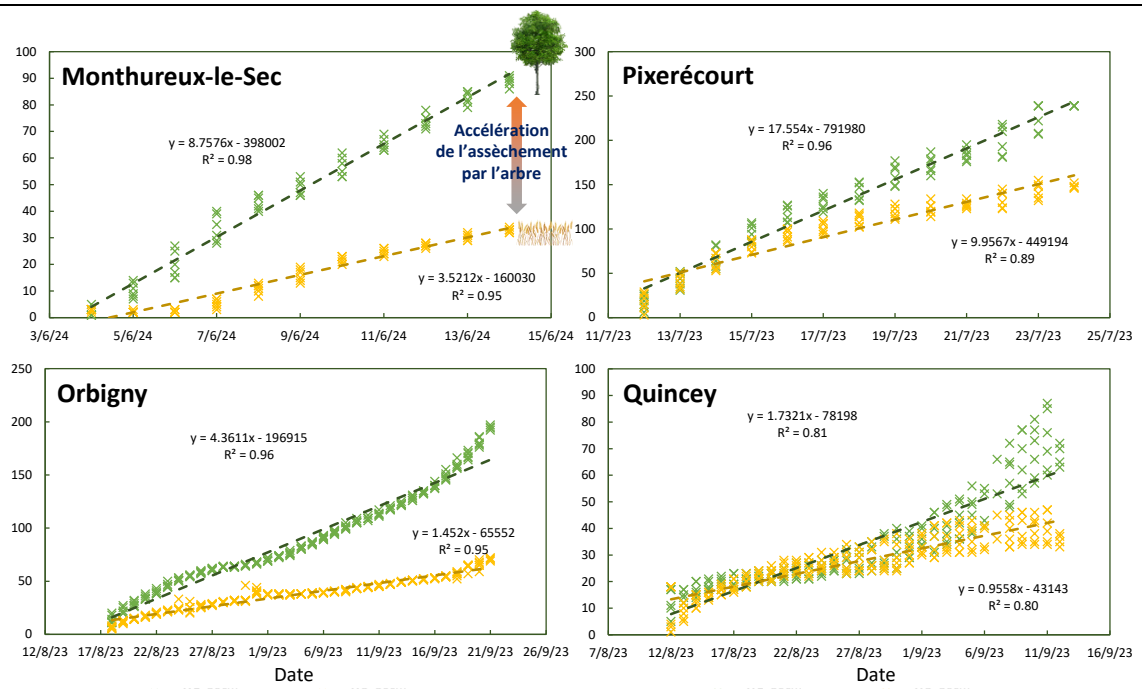


Figure 7. Exemples d'évolution temporelle, sur de courtes périodes d'une dizaine de jours sans pluie, de la tension de l'eau dans le sol (cb) à quatre des sites du projet FR-eau-MAGE, en 2023-2024 au pied de l'arbre suivi (en vert) et au milieu du champ (en jaune) à 30 cm de profondeur. Dans chaque cas, les droites de régression, leurs équations et les coefficients de corrélation sont indiqués. Le rapport des pentes a été utilisé comme indicateurs de l'influence de l'arbre sur l'assèchement du sol.

IV. Résultats

IV.1 Hypothèses de travail et stratégie pour y répondre

En nous basant sur la littérature (Lin, 2010 ; Gosme et al., 2016), nous formulons les hypothèses suivantes à propos de l'effet de la présence de l'arbre sur les variables microclimatiques (température et humidité de l'air, précipitations et humidité du sol) ; ces hypothèses sont très dépendantes des conditions climatiques, et donc de la saisonnalité, ainsi que de la phénologie de l'arbre (Figure 8) : (A) en situations chaudes et sèches (bilan hydrique négatif, hygrométrie faible), l'arbre va maintenir un microclimat plus frais et humide (sol et atmosphère) dans le linéaire sous arboré (LSA) que dans la culture ; (B) au contraire, en situations froides (nuits, périodes hivernales), l'arbre va favoriser une atmosphère plus chaude que dans la culture (effet tampon joué par l'arbre) ; (C) en outre, la présence de l'arbre va permettre de réduire les amplitudes thermiques et hygrométriques journalières ; (D) l'arbre va également permettre un partage de la ressource en eau du sol optimisé avec la culture, notamment en puisant dans les horizons profonds du sol (D_1), en améliorant le drainage de l'eau vers les horizons profonds de sol en situations très humides (au-dessus de la capacité au champ) (D_2), en maintenant en surface une atmosphère plus humide en conditions sèches (D_3) ; (E) en cas de pluie, le houppier de l'arbre va jouer un rôle de rétention des précipitations qui n'atteindront jamais le sol car interceptées puis évaporées dans l'arbre (donc moins d'eau dans le sol dans le linéaire sous arboré que dans le champ). La récente revue de Jacobs et al. (2022) a mis en évidence que tous ces effets, bien qu'attendus, ont été peu démontrés. La diversité des sites nous permettra de plus de prendre en compte les effets des types de sols sur les variables microclimatiques suivies.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

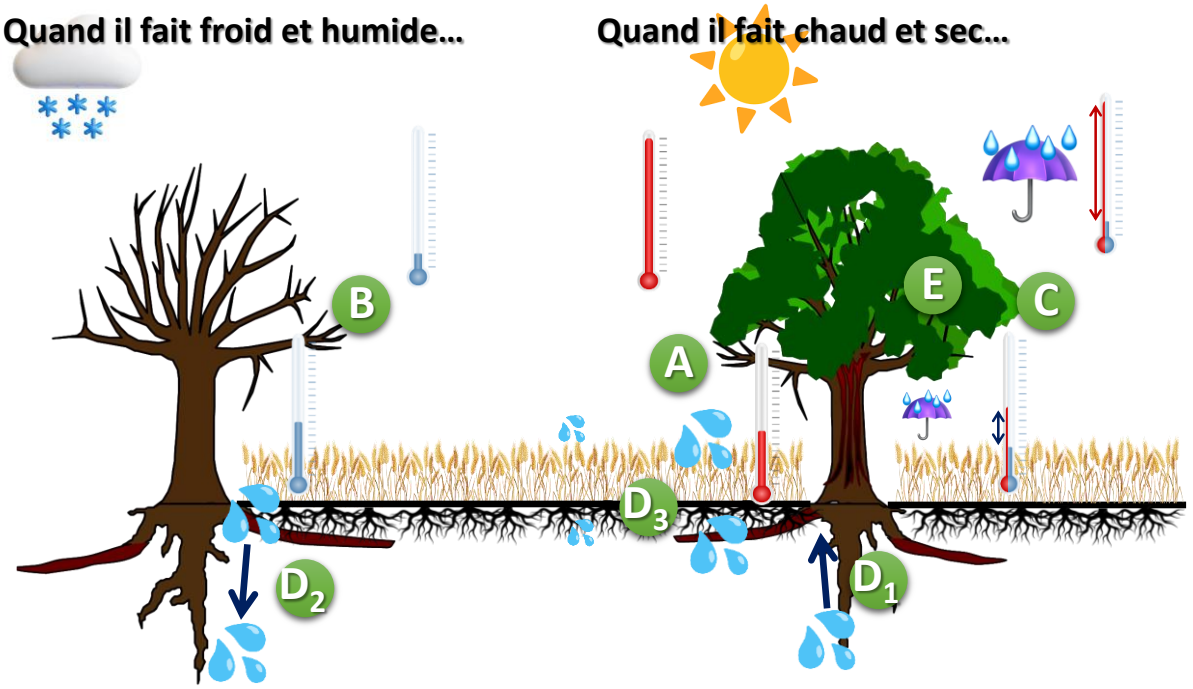


Figure 8. Représentation schématique des hypothèses formulées quant aux effets de l'arbre sur les facteurs microclimatiques (sol et atmosphère) en parcelles agroforestières en fonction de la saison. Voir le texte pour le détail des hypothèses (lettres en majuscule).

Pour chacun des indicateurs climatiques, nous analysons la différence de l'indicateur sous l'arbre par rapport à sa valeur dans le champ, où l'arbre est supposé ne plus avoir d'effet (valeur du paramètre au pied de l'arbre – valeur en plein champ). Dans le cas où cette différence est négative, alors l'indicateur au pied de l'arbre est inférieur à sa valeur en champ et vice versa. Dans le cas où elle est nulle, nous concluons qu'il n'y a pas d'effet de l'arbre. En nous basant sur les valeurs de luminosité enregistrées par le panneau solaire qui alimente les stations, nous avons subdivisé les journées en une période diurne et une période nocturne car nous faisons l'hypothèse que l'effet de l'arbre ne va pas être le même le jour et la nuit (cf. nos hypothèses de travail ci-dessus). L'effet de l'arbre étant potentiellement intimement lié à la saisonnalité, nous nous intéressons à l'évolution annuelle de nos paramètres.

Dans la suite du document, les résultats de tous les sites ne seront pas présentés de manière exhaustive pour faciliter la lecture. Les sites où les effets sont les plus marqués serviront d'illustration. Sans surprise, les sites les plus anciens, où les arbres sont les plus développés, sont ceux où les effets sont les plus visibles (notamment le site de Quincey dont la mise en place date de 2012) ; il ne nous a malheureusement pas été possible de déterminer une taille ou un âge seuil à partir duquel l'arbre commence à avoir un effet significatif sur le microclimat en raison du nombre trop limité de parcelles et d'arbres suivis.

IV.2 L'arbre, tampon des extrêmes thermiques et hygrométriques ?

Sur le site de Quincey (10), au cours de l'année 2023, l'arbre peut provoquer des variations de température de deux à trois degrés par rapport au plein champ (Figure 9). L'année peut se décomposer

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

en trois périodes : (1) au cours de l'hiver, jusqu'en mai, les abords de l'arbre sont plus chauds que le plein champ, en moyenne de 0,1°C (ce qui est peu mais il peut y avoir des pics de l'ordre de 2°C) ; (2) au printemps, lors de la phase de feuillaison de l'arbre et de reprise de sa croissance active (essentiellement en juin), l'effet de l'arbre sur la température est soudainement plus marqué que pendant la période précédente, mais les variations sont erratiques, la température est parfois plus élevée près de l'arbre, parfois plus faible que dans le champ ; (3) au cours de l'été, lorsque la croissance de l'arbre ralentie et que les conditions hydriques peuvent devenir contraignantes, l'effet marqué de la période précédente s'estompe.

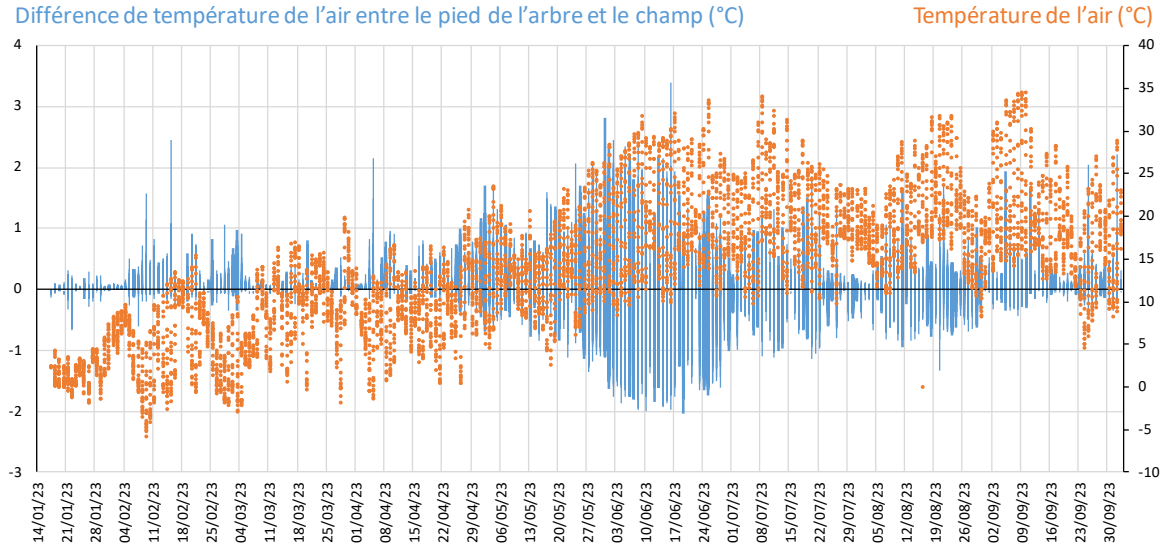


Figure 9. Évolution temporelle de la différence de température de l'air (°C) entre le pied de l'arbre et le plein champ (histogrammes en bleu) et de température de l'air en plein champ (en orange) sur le site de Quincey (10) en 2023.

En termes d'humidité relative de l'air, toujours sur le site de Quincey, l'air est quasiment toujours plus humide près de l'arbre qu'en plein champ, en moyenne de 4% (Figure 10). Mais ponctuellement, au mois de juin lors de la reprise de croissance et de la feuillaison de l'arbre, l'air est plus sec près de l'arbre qu'en plein champ. Le déficit de pression de vapeur de l'air (*vapor pressure deficit*, VPD) est toujours plus faible près de l'arbre (valeurs négatives de la différence entre le pied de l'arbre et le champ) ; cet effet est fortement exacerbé au mois de juin, puis s'estompe au cours de l'été mais la différence entre le pied de l'arbre et le champ reste plus importante au cours de l'été que pendant l'hiver (Figure 10). Lors de cette période particulière du printemps et du début de l'été, il s'avère que plus la température est élevée, plus l'arbre va avoir pour effet de réduire la température de l'air (relation négative entre la différence de température arbre – champ et la température moyenne de l'air en plein champ) et d'augmenter l'humidité relative de l'air (relation positive entre la différence d'humidité de l'air arbre – champ et la température moyenne de l'air en plein champ) (Figure 11).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

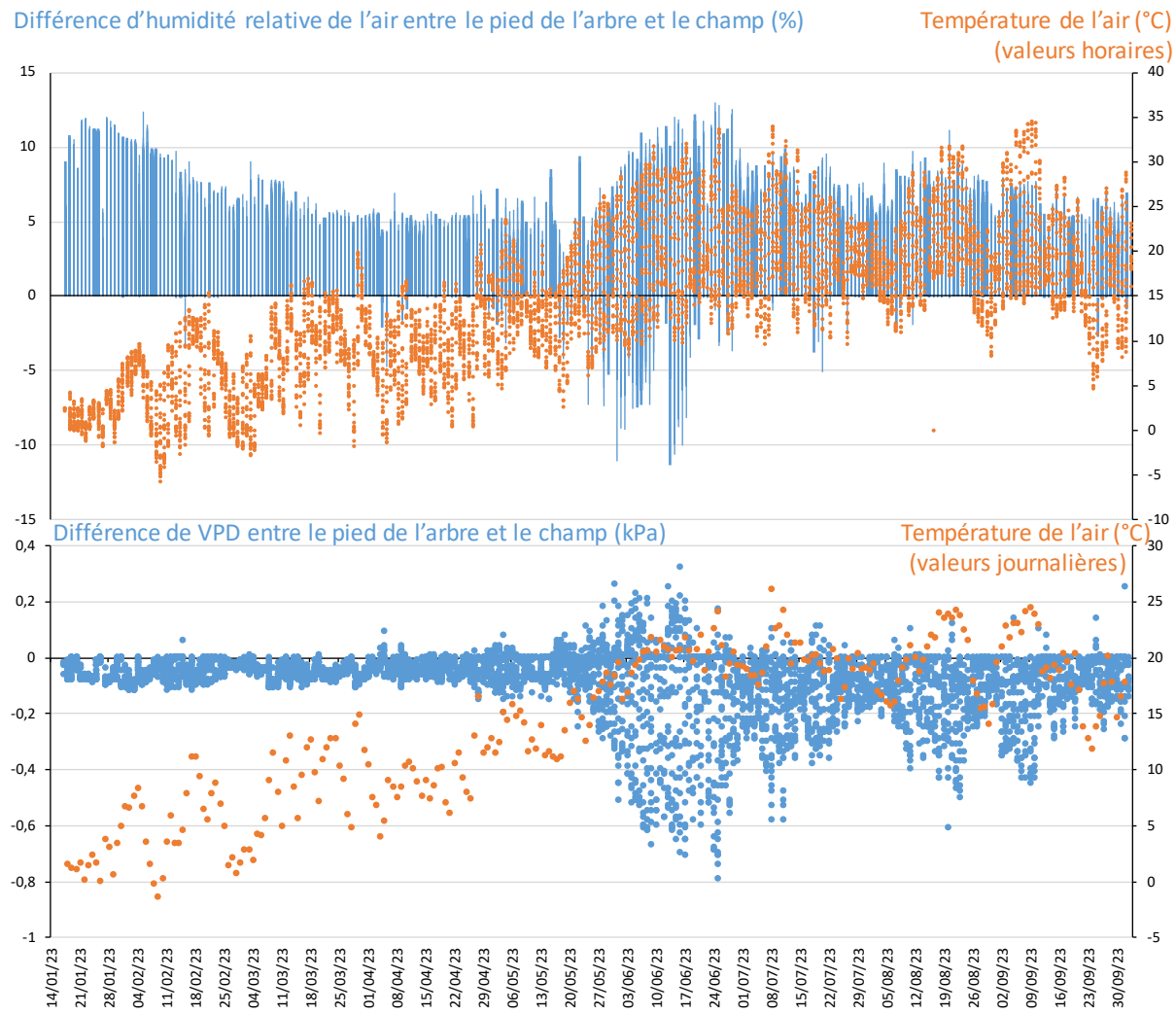


Figure 10. Évolution temporelle de la différence d'humidité relative de l'air (%, en haut) et du déficit de pression de vapeur de l'air (VPD, kPa, en bas) entre le pied de l'arbre et le plein champ (en bleu) et de la température de l'air (en orange) sur le site de Quincey (10) en 2023.

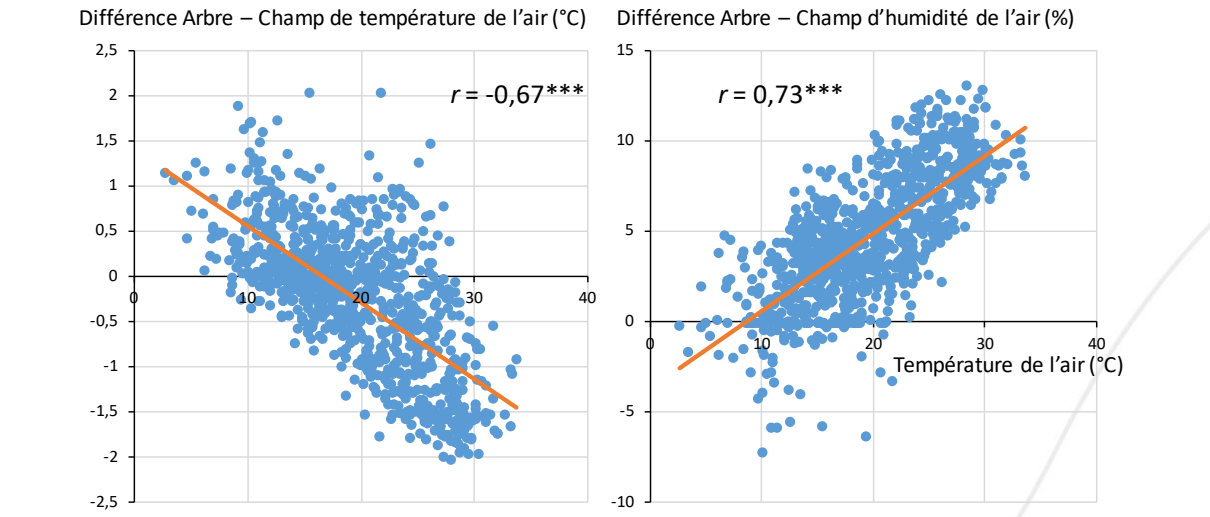


Figure 11. Relations entre la différence arbre – champ de température de l'air (à gauche) et d'humidité relative de l'air (à droite) et la température de l'air au printemps 2023 au site de Quincey. La relation linéaire est représentée avec le coefficient de Pearson significatif à 1‰ (***).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

IV.3 L'arbre, atténuateur des amplitudes thermiques et hygrométriques ?

Transitoirement, lors du réchauffement printanier et de la reprise de croissance de l'arbre, la température journalière diurne varie beaucoup moins près de l'arbre (Figure 12). L'amplitude de variation de la température au cours de la journée peut être jusqu'à 3 degrés plus faible au pied de l'arbre que dans le champ au cours de cette période ; c'est particulièrement marqué sur le site de Quincey, le site le plus ancien (2012), présentant les arbres les plus développés. Cet effet est retrouvé aux différents sites mais dans une moindre mesure, ce qui semble être associée à la taille des arbres suivis (cf. les exemples des sites de Montenoy et de Pixerécourt, Figure 12). L'effet s'estompe lorsque la température de l'air reste forte pendant l'été, mais l'amplitude de variation journalière de la température reste néanmoins atténuée en présence de l'arbre.

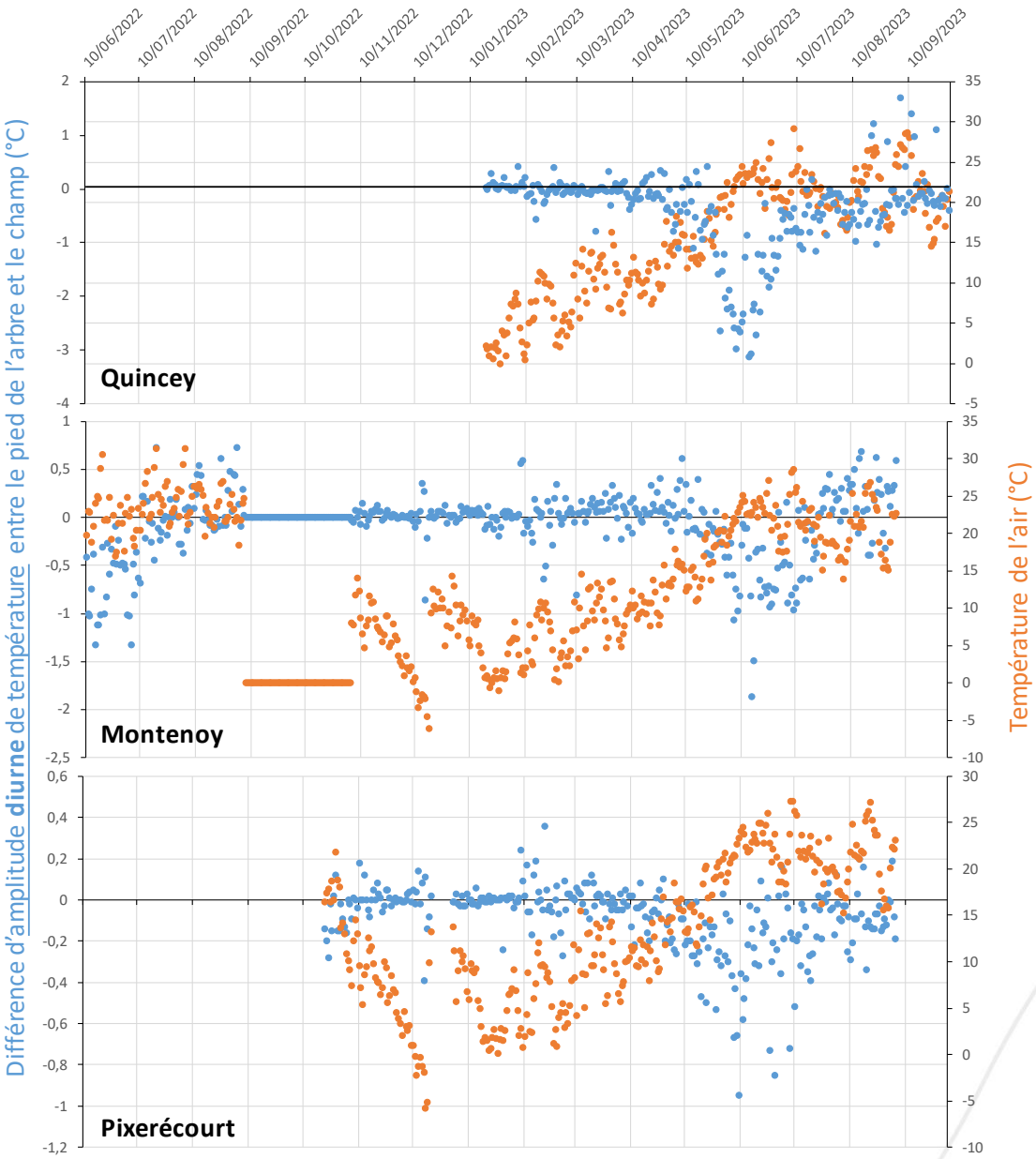


Figure 12. Évolution temporelle de la différence d'amplitude journalière diurne de température de l'air entre l'arbre et le champ (en bleu) en parallèle avec la température de l'air (en orange) sur les sites de Quincey (10, en haut), Montenoy (54, au milieu) et Pixerécourt (54, en bas).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Lorsque l'on fait un focus sur la période du printemps au cours de laquelle l'amplitude de température est la plus fortement atténuée par l'arbre (début juin), en parallèle avec la période où le fort effet d'atténuation a disparu (fin juin), on se rend compte que c'est au plus chaud de la journée (12h-18h) que la température est jusqu'à deux degrés plus faible près de l'arbre qu'en plein champ et que cet effet n'est plus observé quelques semaines plus tard (Figure 13). De la même façon, lorsque les températures sont les plus basses, la nuit, il fait jusqu'à deux degrés de plus sous l'arbre qu'en plein champ.

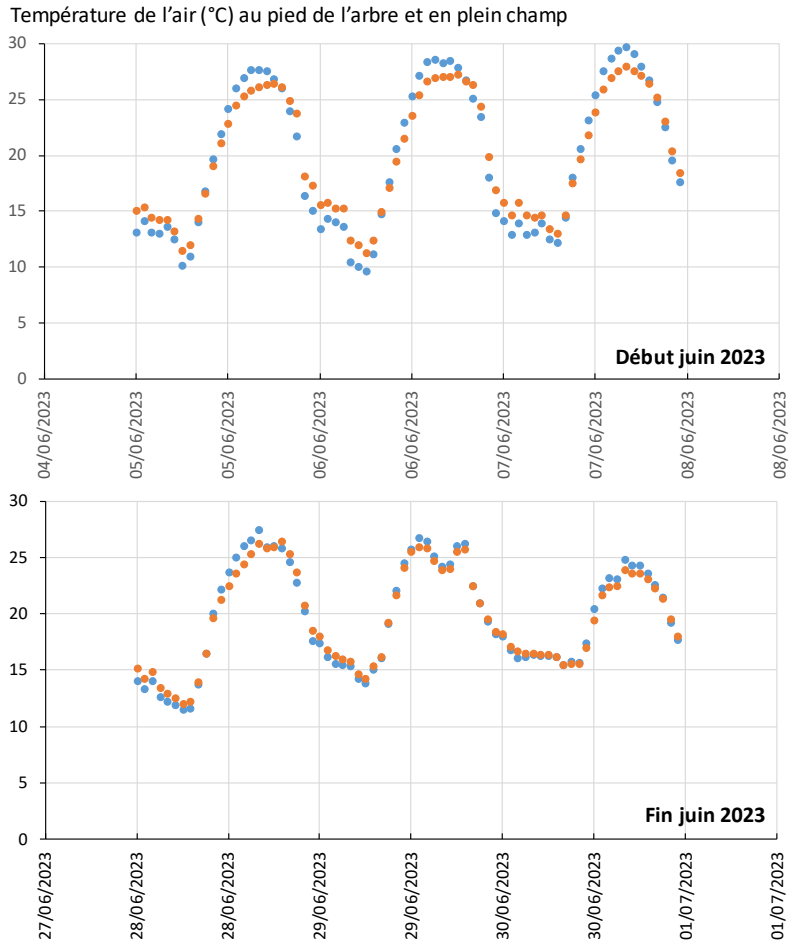


Figure 13. Évolution de la température de l'air au cours de trois journées consécutives début juin (pic de l'effet d'atténuation), en haut, et fin juin (après le pic d'atténuation), en bas, au pied de l'arbre (en orange) et en plein champ (en bleu) sur le site de Quincey.

Aucune tendance ne se dégage concernant l'effet de l'arbre sur l'amplitude de variation des températures nocturnes, quelle que soit la saison (Figure 14). Un effet « tampon » est cependant observé la nuit, avec des températures pouvant demeurer plus élevées de plusieurs degrés sous l'arbre qu'en plein champ (montré par exemple pour la période de juin sur la Figure 13).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

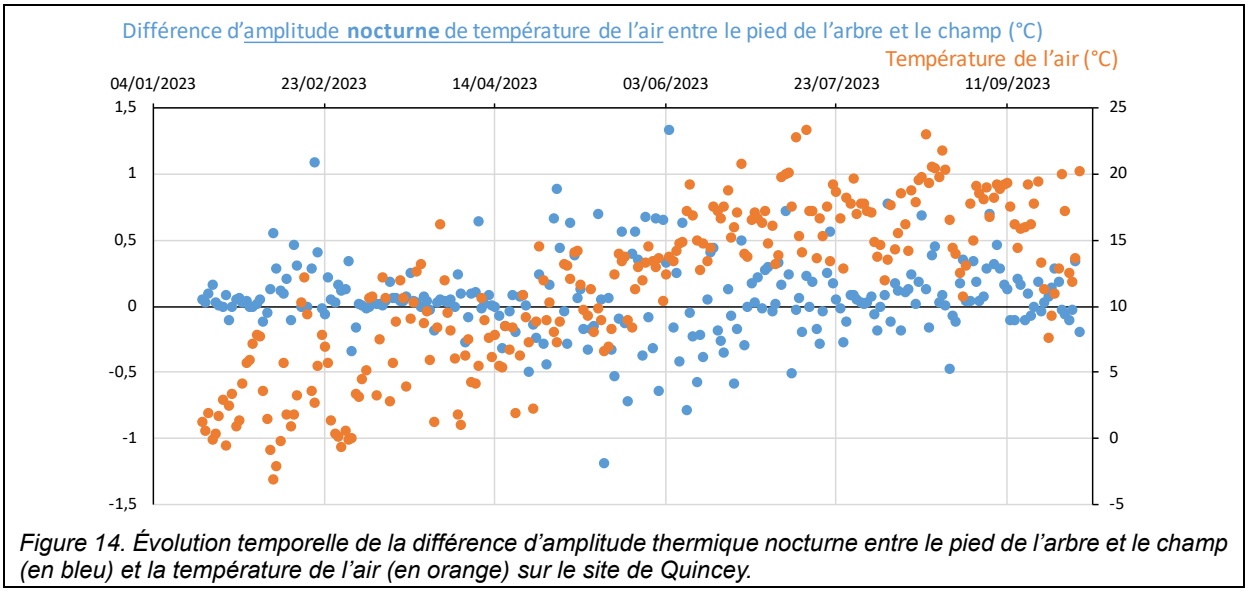


Figure 14. Évolution temporelle de la différence d'amplitude thermique nocturne entre le pied de l'arbre et le champ (en bleu) et la température de l'air (en orange) sur le site de Quincey.

En termes d'humidité relative de l'air, l'effet de l'arbre sur les amplitudes journalières de variation est similaire à celui observé pour la température : pendant une brève période lors de la reprise de croissance de l'arbre en juin, l'amplitude de variation journalière est très atténuée par la présence de l'arbre (jusqu'à 15% de variation journalière en moins sous l'arbre par rapport au plein champ, Figure 15). Lorsque la croissance de l'arbre ralentie au cours de l'été et lorsque la contrainte pour la ressource en eau augmente, l'effet « tampon » exercé par l'arbre sur les variations d'amplitude hygrométrique s'atténue mais l'effet « tampon » de l'arbre reste vrai tout au long de l'année, avec en moyenne, une amplitude hygrométrique journalière 5% plus faible à proximité de l'arbre (Figure 15).

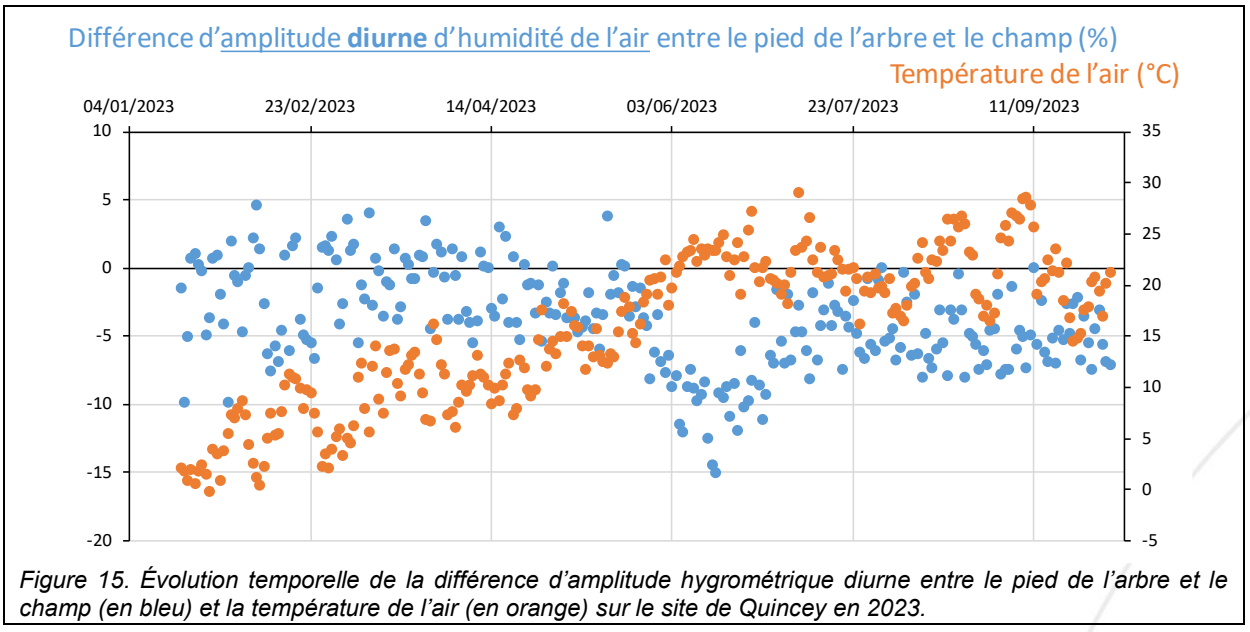


Figure 15. Évolution temporelle de la différence d'amplitude hygrométrique diurne entre le pied de l'arbre et le champ (en bleu) et la température de l'air (en orange) sur le site de Quincey en 2023.

Il est intéressant de noter que l'effet tampon exercé par l'arbre sur les amplitudes de variation journalières de température et d'humidité de l'air est d'autant plus fort que la température est élevée (Figure 16). **En d'autres termes, plus il fait chaud, plus l'arbre diminue l'amplitude journalière de température et d'humidité de l'air comparativement au champ.**

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

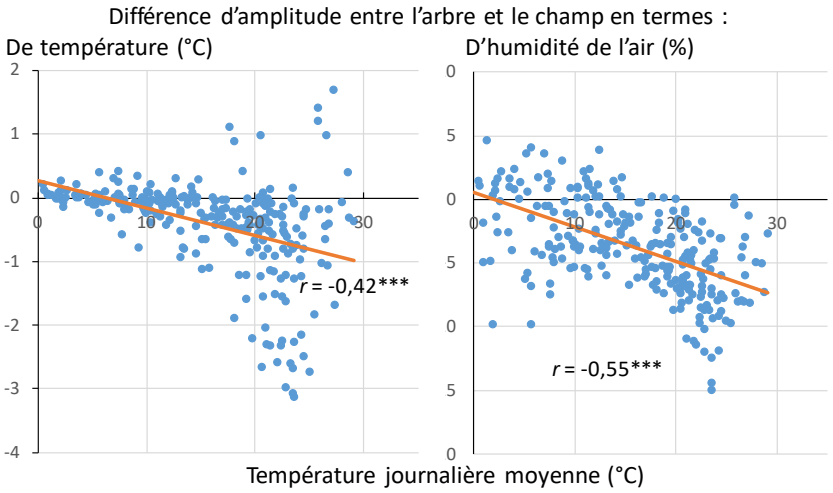


Figure 16. Relation entre la différence d'amplitude de variation thermique journalière (à gauche) ou hygrométrique journalière (à droite) avec la température journalière de l'air sur le site de Quincey de mi-janvier à début octobre 2023. La relation linéaire est représentée avec le coefficient de Pearson significatif à 1‰ (***).

Si l'on s'intéresse au site présentant les arbres les plus chétifs, Orbigny-au-Mont (52), l'effet transitoire au printemps sur les amplitudes de variations thermiques et hygrométriques journalières n'est pas retrouvé, mettant à nouveau en évidence un probable effet de proportionnalité de cet effet avec la dimension de l'arbre (Figure 17). Néanmoins, même sur ce site, l'amplitude de variation journalière des températures est quasiment toujours plus faible près de l'arbre que dans le champ. L'amplitude de variation journalière de l'humidité de l'air est quant à elle plus faible près de l'arbre que dans le champ en été, mais plus forte en hiver, montrant que même des arbres de petite taille ont un effet sur le microclimat.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

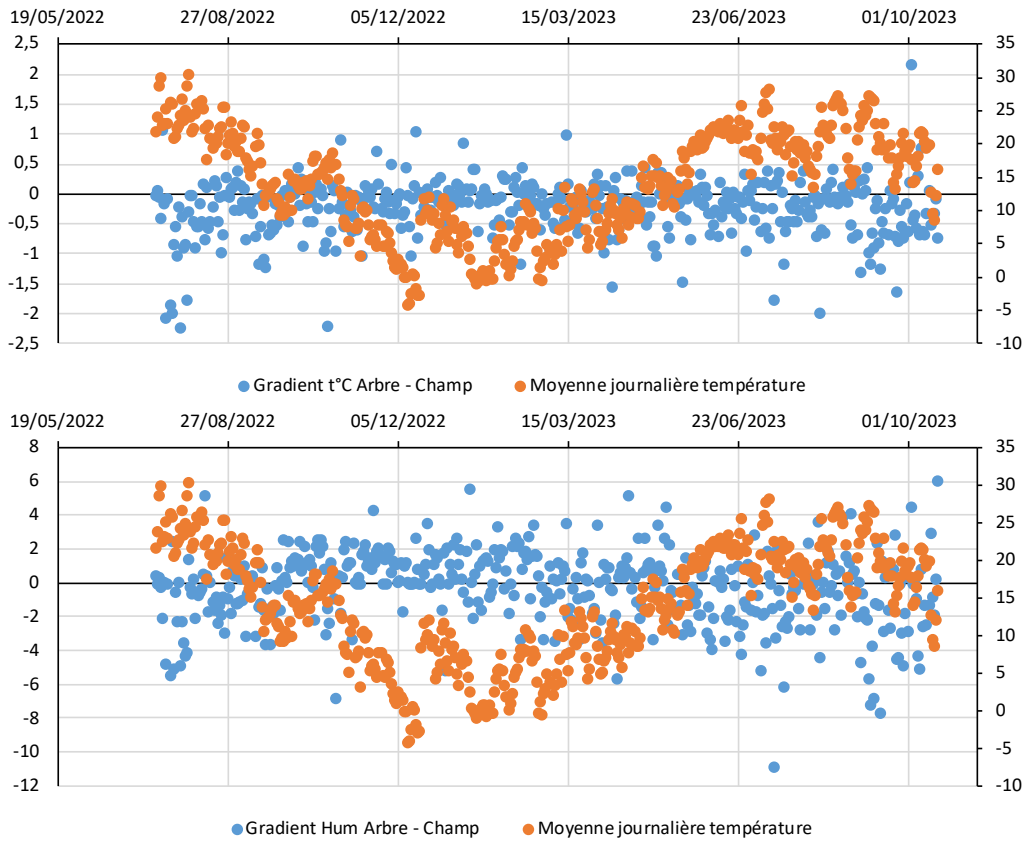


Figure 17. Évolution temporelle de la différence arbre – champ d'amplitude journalière de variation de température (en haut, °C) et d'humidité relative (en bas, %), en bleu (axe de gauche), en parallèle avec les températures journalières moyennes dans chaque cas (en orange, °C, axe de droite) sur le site d'Orbigny en 2022 et 2023.

Ce qu'il faut retenir : sur la période 2022-2024 dans les parcelles du Grand Est, l'arbre tamponne les extrêmes climatiques et peut réduire les stress thermiques pour les cultures. Il fait jusqu'à deux degrés plus frais près de l'arbre en été, les températures sont plus stables en journée et parfois plus chaudes en hiver. En moyenne, l'humidité de l'air est 4% supérieure sous les arbres que dans le champ avec un effet tampon hygrométrique plus marqué au printemps. L'arbre permet une réduction jusqu'à 3°C de l'amplitude de température journalière ainsi qu'une humidité de l'air et une demande évaporatrice de l'air (VPD) moins fluctuantes.

IV.4 L'arbre, facilitateur d'un partage optimisé de la ressource en eau avec la culture ?

Bien que les arbres d'Orbigny-au-Mont (52) soient parmi les plus petits du réseau, nous avons choisi de présenter ici des résultats issus de ce site pour illustrer l'effet de l'arbre sur la ressource en eau du sol car les sondes WaterMark ont été maintenues en place sans interruption depuis juillet 2022 sur ce site en prairie permanente. Nous disposons donc à ce site d'un suivi long, sans interruption. La phase de stabilisation des sondes dans le sol après l'installation ou la réinstallation est très longue, qui plus est pendant les périodes sèches, ce qui peut provoquer des interruptions de l'acquisition des données pendant des périodes assez longues pour les autres sites.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Pour faciliter l'interprétation des données, les figures ci-dessous comparent les données recueillies au pied de l'arbre et en plein champ ; les données des sondes positionnées à mi-distance ne sont pas présentées. Pour mémoire, plus la valeur de tension est élevée, plus le sol est sec, jusqu'à un plateau seuil de 240 centibars (cb, Figure 18). Il est considéré que des valeurs autour de 0 cb dénotent un excès d'eau (saturation de la macroporosité), des valeurs autour de 20 cb correspondent à l'humidité à la capacité au champ, des valeurs autour de 40 cb sont indicatrices de conditions dites « de confort » (autour de 70-80% de la capacité au champ) et que des valeurs autour de 100 cb sont révélatrices de conditions d'assèchement (d'après la notice fournie avec les sondes). Ces valeurs sont cependant à moduler en fonction du type de sol (cf. page 11). Pour le couvert prairial, que ce soit à 30 ou 60 cm de profondeur, les 100 cb ne sont que rarement dépassés. Par contre, au pied de l'arbre, les valeurs de tensions augmentent beaucoup plus rapidement que dans la prairie quand la saison devient sèche et pour atteindre le plateau seuil assez vite, surtout à 30 cm de profondeur, indiquant un asséchement du sol très nettement accéléré par la présence de l'arbre. De façon logique les valeurs de tension décrochent vers le haut plus rapidement en surface (30 cm) qu'en profondeur (60 cm) suggérant une forte colonisation racinaire dans les premiers cm du sol.

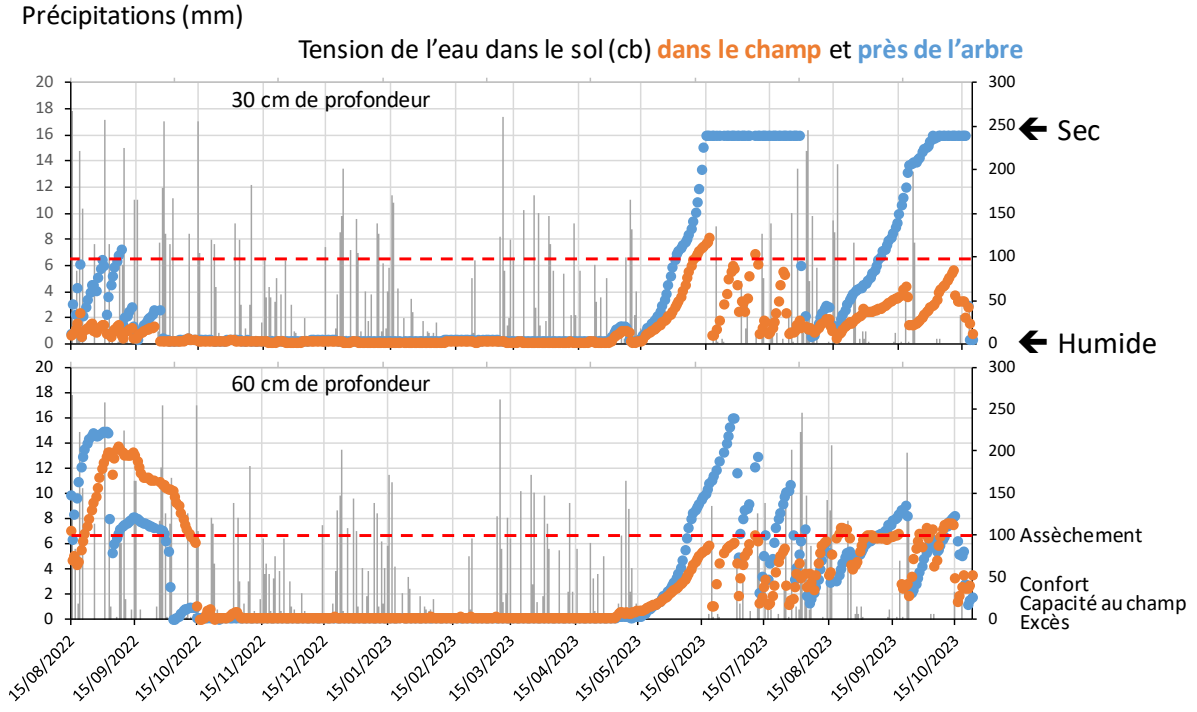


Figure 18. Évolution temporelle de la tension de l'eau dans le sol dans le champ (en orange) et près de l'arbre (en bleu) à 30 cm (en haut) et 60 cm (en bas) de profondeur, en parallèle avec les précipitations (histogrammes gris) sur le site d'Orbigny-au-Mont (52).

Une autre façon de représenter ces paramètres est de calculer le pourcentage que représente la différence de tension arbre – champ par rapport à la tension du champ (Figure 19). À partir de cette représentation, on s'aperçoit que pendant la saison estivale (mi-juin à mi-août), le sol est plus sec près de l'arbre en surface comme en profondeur, avec une différence beaucoup plus forte en surface (30 cm). Cela laisse présager une compétition pour la ressource en eau à faible profondeur. Le reste de l'année (mi-septembre à mi-mai), le comportement est différent selon la profondeur observée : à faible profondeur, le sol est plus sec près de l'arbre que dans le champ (dans une moindre mesure que

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

pendant la période estivale), alors qu'à plus grande profondeur, le sol est plus humide près de l'arbre qu'en plein champ. Ce dernier point pourrait suggérer que lorsque l'eau est présente en abondance, les racines de l'arbre pourraient favoriser son infiltration vers les horizons profonds ; cela avait été montré dans le cadre du projet PotA-GE dans le linéaire sous arboré. Contrairement à ce que prédisaient nos hypothèses et à ce qui avait été observé dans le cadre du projet PotA-GE dans le linéaire sous arboré, il semblerait que l'introduction de l'arbre dans les parcelles ait essentiellement pour effet d'accentuer la compétition pour la ressource en eau du sol plutôt que de permettre un partage entre les composantes agricoles et forestières du système.

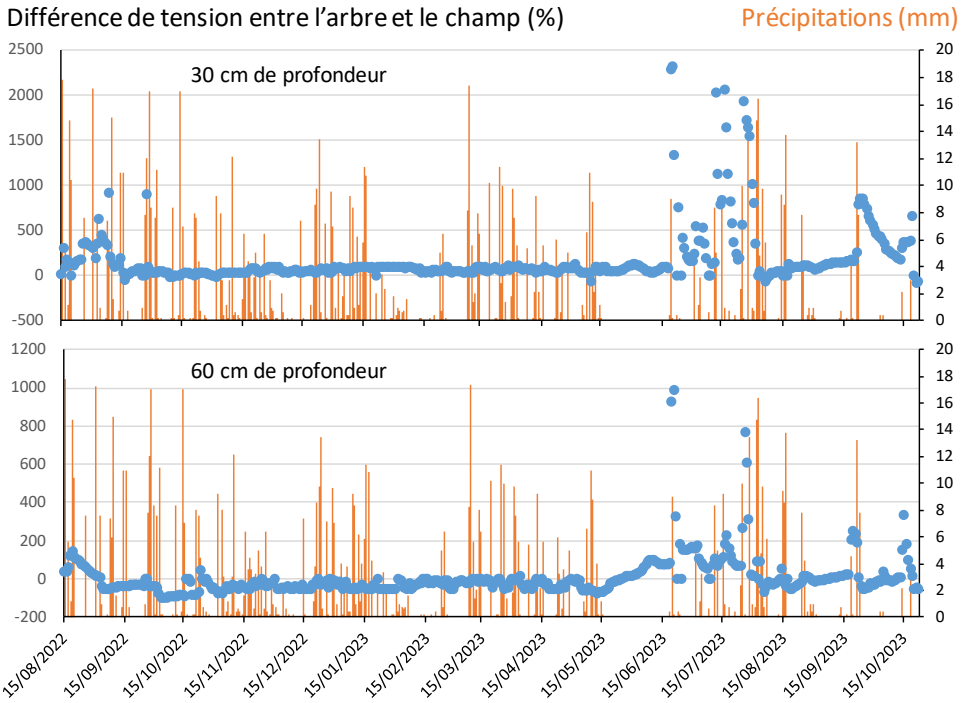


Figure 19. Évolution temporelle de la différence de tension entre l'arbre et le champ exprimée en pourcent de la tension du champ (en bleu) à 30 cm (en haut) et 60 cm de profondeur (en bas), en parallèle avec les précipitations (histogrammes orange) sur le site d'Orbigny-au-Mont.

Lorsque les résultats obtenus dans le cadre de FR-eau-MAGE (effet de l'arbre sur la ressource en eau dans la culture) sont associés aux résultats obtenus dans le cadre du précédent projet, PotA-GE (effet de l'arbre sur la ressource en eau sur le linéaire sous arboré), les conclusions suivantes peuvent être tirées (Figure 20) : *(1)* dans les deux cas (champ et linéaire sous arboré), l'arbre accélère l'assèchement du sol au printemps, quelle que soit la profondeur considérée mais de manière plus marquée en profondeur, suggérant une compétition avec les herbacées en surface mais un accès à des ressources hydriques plus profondes ; *(2)* dans les deux cas (champ et linéaire sous arboré), en automne/hiver lorsque les conditions hydriques redeviennent favorables voire abondantes, le sol se réhumidifie plus rapidement en profondeur et plus lentement en surface à proximité de l'arbre, laissant supposer un drainage facilité de l'eau redevenue non limitante vers les horizons profonds grâce aux racines de l'arbre ; *(3)* dans les deux cas (champ et linéaire sous arboré), en été lorsque la ressource en eau est limitante, le sol est moins humide en profondeur à proximité de l'arbre par rapport au plein champ, suggérant des prélèvements de l'eau par l'arbre en profondeur (partage de niche). C'est par contre au

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

cours de cette dernière saison que l'influence de l'arbre se différencie entre le plein champ et le linéaire sous arboré : sur le linéaire sous arboré, le sol est plus humide en surface près de l'arbre, suggérant le maintien d'une atmosphère plus fraiche sur la ligne ; par contre côté champ, le sol est plus sec en surface près de l'arbre, laissant supposer une compétition pour l'eau avec la culture dans les horizons superficiels de sol. Il semblerait donc que les herbacées agricoles, sans doute plus demandeuses en eau, soient plus compétitrices avec l'arbre que les herbacées spontanées du linéaire. Ces grandes lignes de conclusions se basent sur l'analyse de l'ensemble des données des sites (même si seul ceux d'Orbigny-au-Mont ont été présentés à titre d'exemple ci-dessus) ainsi que sur les données de PotA-GE (versions complète et résumée du rapport final disponibles) ; la mise en relation de ces résultats avec les conditions des sites sera détaillée plus loin.

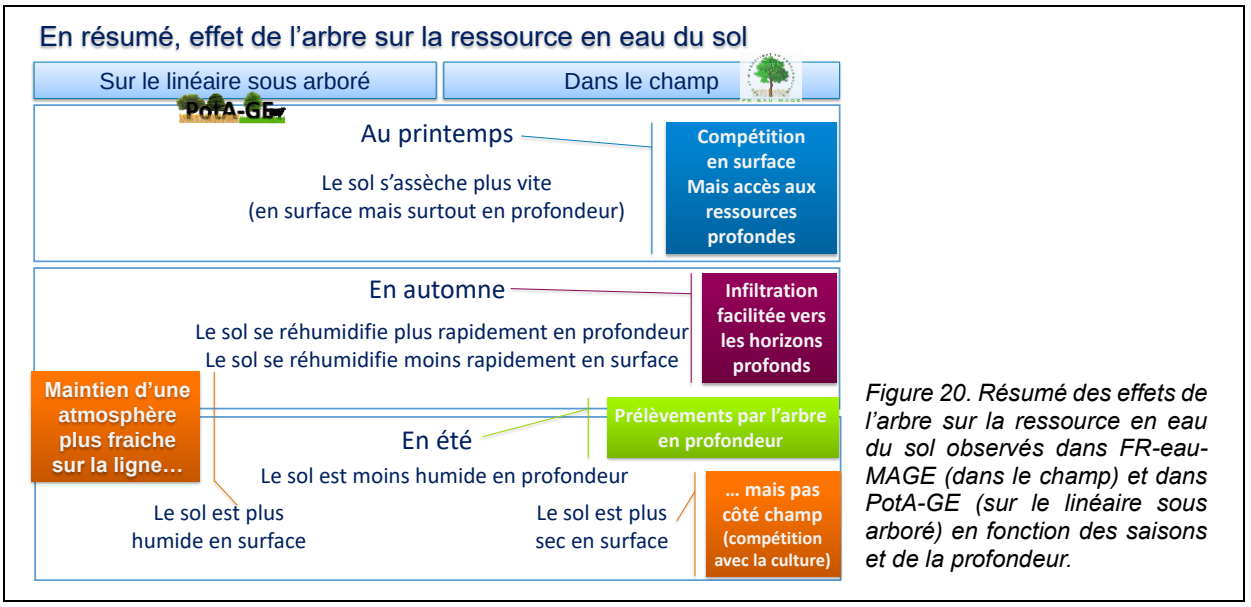


Figure 20. Résumé des effets de l'arbre sur la ressource en eau du sol observés dans FR-eau-MAGE (dans le champ) et dans PotA-GE (sur le linéaire sous arboré) en fonction des saisons et de la profondeur.

IV.5 L'arbre, draineur des précipitations dans le linéaire sous arboré ?

Aux sites d'Orbigny (52) et de Montenoy (54), les précipitations sont systématiquement plus importantes au pied de l'arbre que dans le champ, et la différence peut être très importante (Figure 21). Contrairement à ce que prédisait notre dernière hypothèse (Figure 8), l'arbre a tendance à exercer un effet drainant des précipitations occasionnant une concentration de l'eau de pluie dans le linéaire sous arboré plutôt qu'une réduction par rapport au champ comme nous nous y attendions. Il est probable que les précipitations soient réparties de manière plus homogène en plein champ qu'à proximité de l'arbre. Il faut cependant noter que ce résultat n'est pas retrouvé sur tous les sites et qu'il est difficile de déterminer pourquoi.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

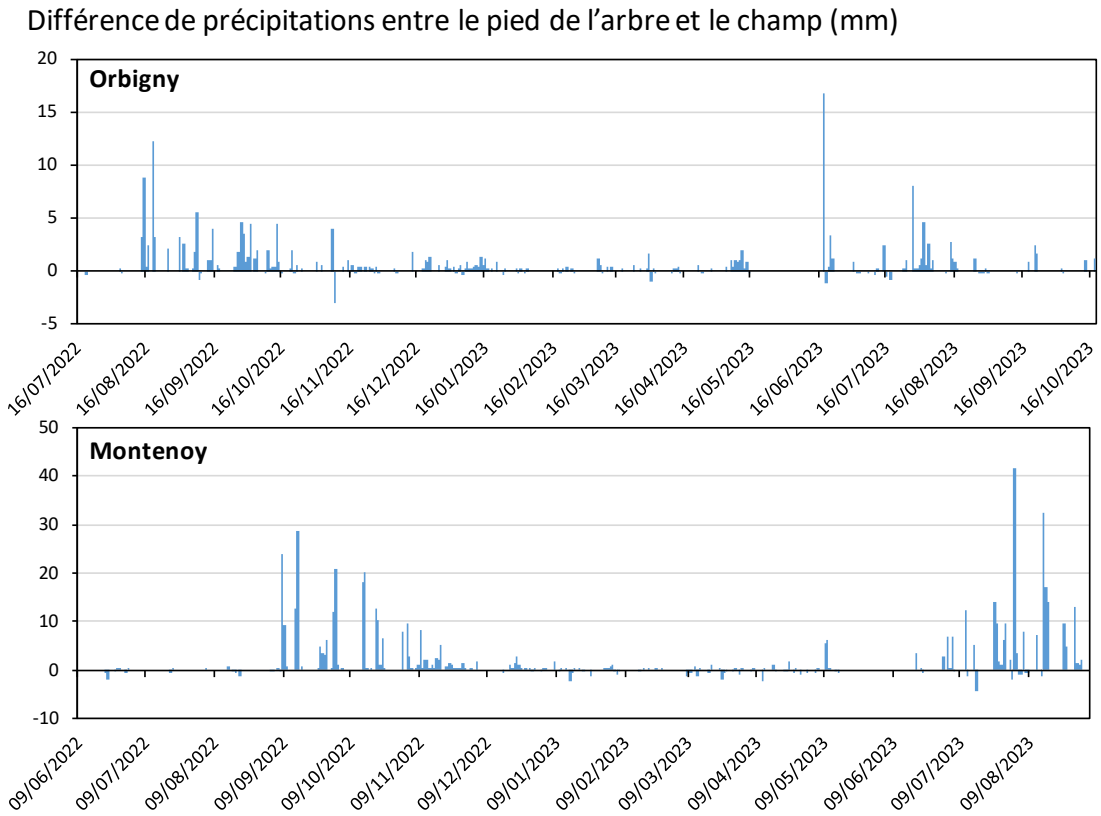


Figure 21. Évolution temporelle de la différence de précipitations entre le pied de l'arbre et le champ sur les sites d'Orbigny-au-Mont (52) et de Montenoy (54) en 2022 et 2023.

IV.6 Quels facteurs pour expliquer l'effet plus ou moins marqué de l'arbre selon les sites ?

Cinq des six sites suivis dans le cadre du projet avaient été abondamment décrits dans le cadre du projet PotA-GE (nature et composition du sol, fertilité, stocks de carbone, etc.). Les données ont été en partie complétées pour le site ayant rejoint le réseau dans le cadre de FR-eau-MAGE, Monthureux-le-Sec dans les Vosges (cf. Matériel et Méthodes). Les données concernant l'emprise des arbres dans les parcelles et les rendements des herbacées ont été acquises dans le cadre de FR-eau-MAGE afin de pouvoir les associer aux effets des arbres sur le microclimat et la ressource en eau du sol des parcelles (Figure 4).

IV.6.1 Comment les sites de différencient en termes d'emprise des arbres sur la parcelle ?

Les arbres sont les plus grands et les plus volumineux aux sites de Pixerécourt, Quincey puis Montenoy (Tableau 3). Outre le site d'Orbigny, les arbres sont les plus petits, toutes essences confondues, à Banogne qui est la parcelle la plus jeune du réseau (2016). Le site le plus ancien est Quincey (2012) mais il faut aussi noter que les arbres de ce site ainsi qu'à Montenoy et Banogne sont élagués régulièrement par l'agriculteur ce qui influe sur la profondeur et le volume des houppiers. Les arbres sont les plus petits à Orbigny ; sur ce site, les noyers n'ont pu être mesurés qu'en hauteur et diamètre à hauteur de poitrine car leurs houppiers sont, dans la plupart des cas, inexistants.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Tableau 3. Dimensions moyennes des arbres (± erreurs standards) aux sites du réseau en 2025 : DBH = diamètre à hauteur de poitrine, Hauteur = hauteur totale de l'arbre, CPA = aire de projection de la couronne, Rayon moyen = longueur moyenne des branches, Profondeur de houppier = différence entre la hauteur totale et la hauteur de la branche la plus basse, Volume de houppier = volume de la couronne considérée comme une ellipse.

	Montenoy	Pixerécourt	Monthureux	Orbigny	Banogne	Quincey
Nombre d'essences mesurées	3	2	4	2 (1 pour le houppier)	9	5
DBH (cm)	11.8 ± 0.9	15.7 ± 3.5	9.8 ± 0.7	5.3 ± 0.6	9.1 ± 0.4	12.2 ± 0.6
Hauteur (m)	6.3 ± 0.3	5.9 ± 0.2	4.7 ± 0.2	3.9 ± 0.4	5.1 ± 0.2	7.1 ± 0.3
CPA (m^2)	7.1 ± 1.1	7.8 ± 0.9	5.5 ± 0.7	2.8 ± 0.6	5.5 ± 0.4	7.3 ± 0.7
Rayon moyen (cm)	138 ± 11	159 ± 10	126 ± 9	85 ± 11	130 ± 5	144 ± 8
Profondeur de houppier (m)	4.1 ± 0.3	3.9 ± 0.2	3.3 ± 0.2	2.6 ± 0.2	3.3 ± 0.1	4.2 ± 0.2
Volume de houppier (m^3)	20.3 ± 3.8	23.3 ± 3.2	16.0 ± 2.6	4.9 ± 1.2	13.6 ± 1.2	21.8 ± 2.8

Lorsque l'essence des arbres présents sur les six sites est prise en compte (Figures 22 et 23), les robiniers, merisiers et érables sont les plus volumineux. La variabilité est plus forte pour le volume de houppier, en trois dimensions, que pour l'aire de projection de la couronne qui ne prend en compte que deux dimensions ou que la hauteur et le diamètre (une seule dimension).

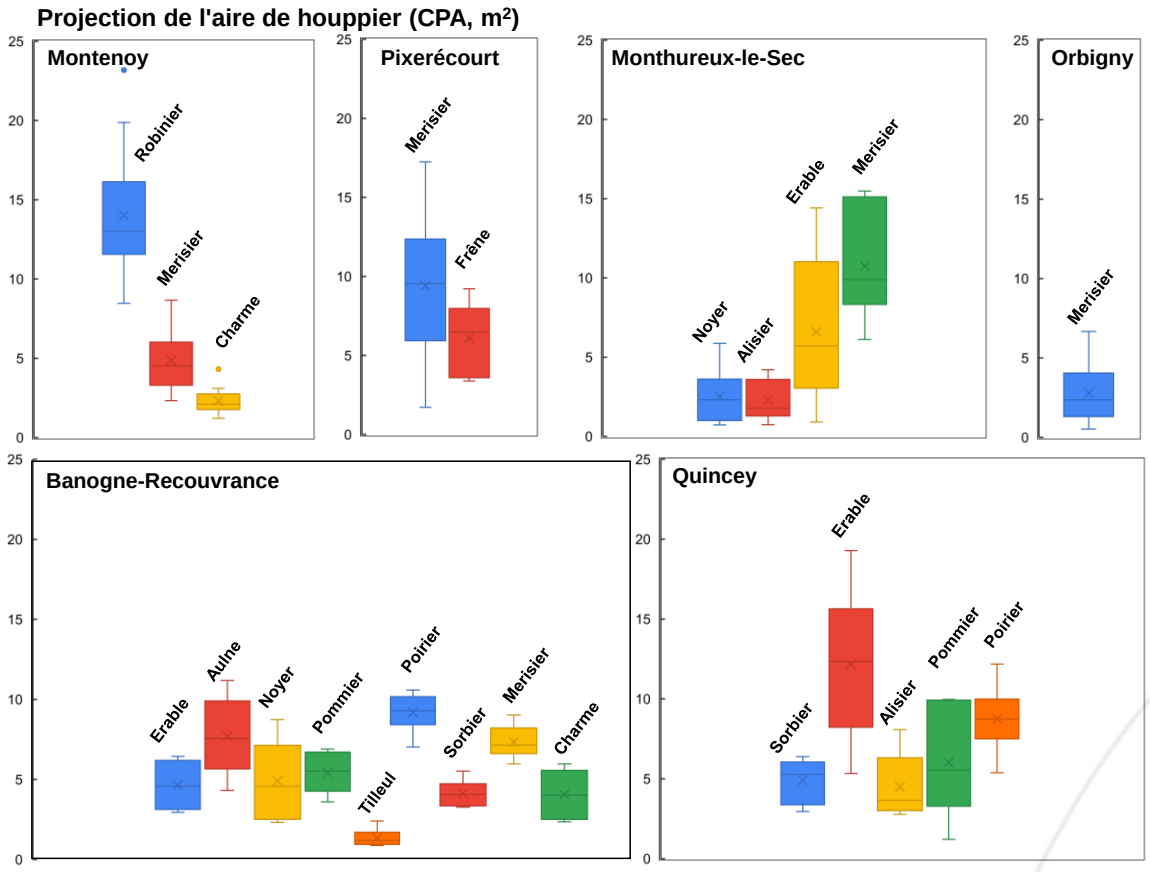


Figure 22. Boites à moustaches présentant les aires de projection des houppiers (Crown Projection Area, m^2) des arbres des six sites du projet FR-eau-MAGE au printemps 2025 en fonction de l'essence. Moyennes ± erreurs standards, n=10 quand nombre d'essences < 4 ou 6 quand nombre d'essences ≥ 4.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

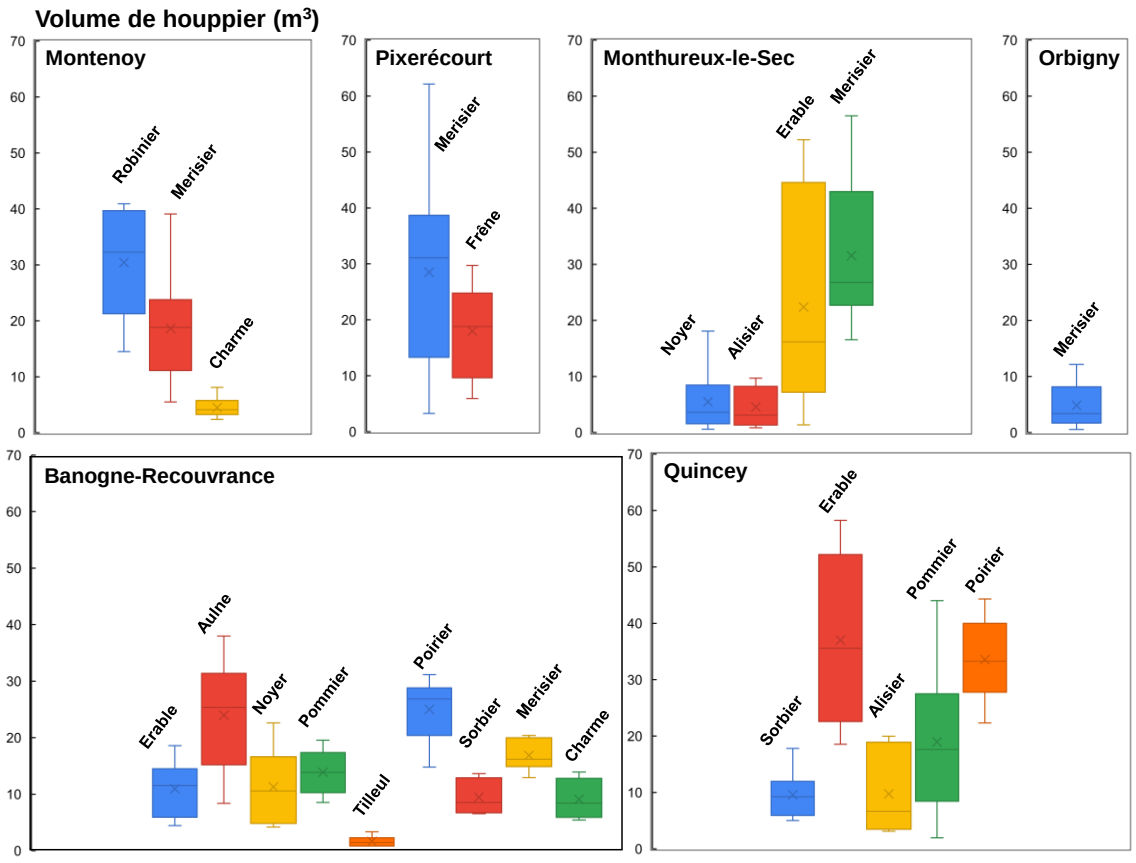


Figure 23. Boites à moustaches présentant les volumes des houppiers (m^3) des arbres des six sites du projet FR-eau-MAGE au printemps 2025 en fonction de l'essence. Moyennes ± erreurs standards, n=10 quand nombre d'essences < 4 ou 6 quand nombre d'essences ≥ 4.

Il est intéressant de s'attarder sur l'essence la plus présente, le merisier, afin de pouvoir comparer les sites sur la base d'une essence commune (Figure 24, le merisier n'est cependant pas présent au site de Quincey). Les merisiers sont plus grands à Banogne et Montenoy ; à ces deux sites, un élagage régulier a permis de faire monter la grume en hauteur pour une production de bois d'œuvre optimisée. Mais les merisiers sont moins touffus à Banogne et Montenoy (Figure 24, aires de projection et volumes des houppiers) et l'effet des arbres sur le microclimat des parcelles est susceptible d'être moindre que pour des arbres non élagués, dont les houppiers se développent librement comme à Monthureux et Pixerécourt où le bien-être animal lié à l'ombrage des houppiers peut-être le service attendu plutôt que la production de bois. **L'objectif de l'exploitant pour ses arbres, et la façon dont il va gérer la strate arborée en conséquence, est donc primordiale pour définir l'impact que va avoir l'arbre sur le microclimat de la parcelle**.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

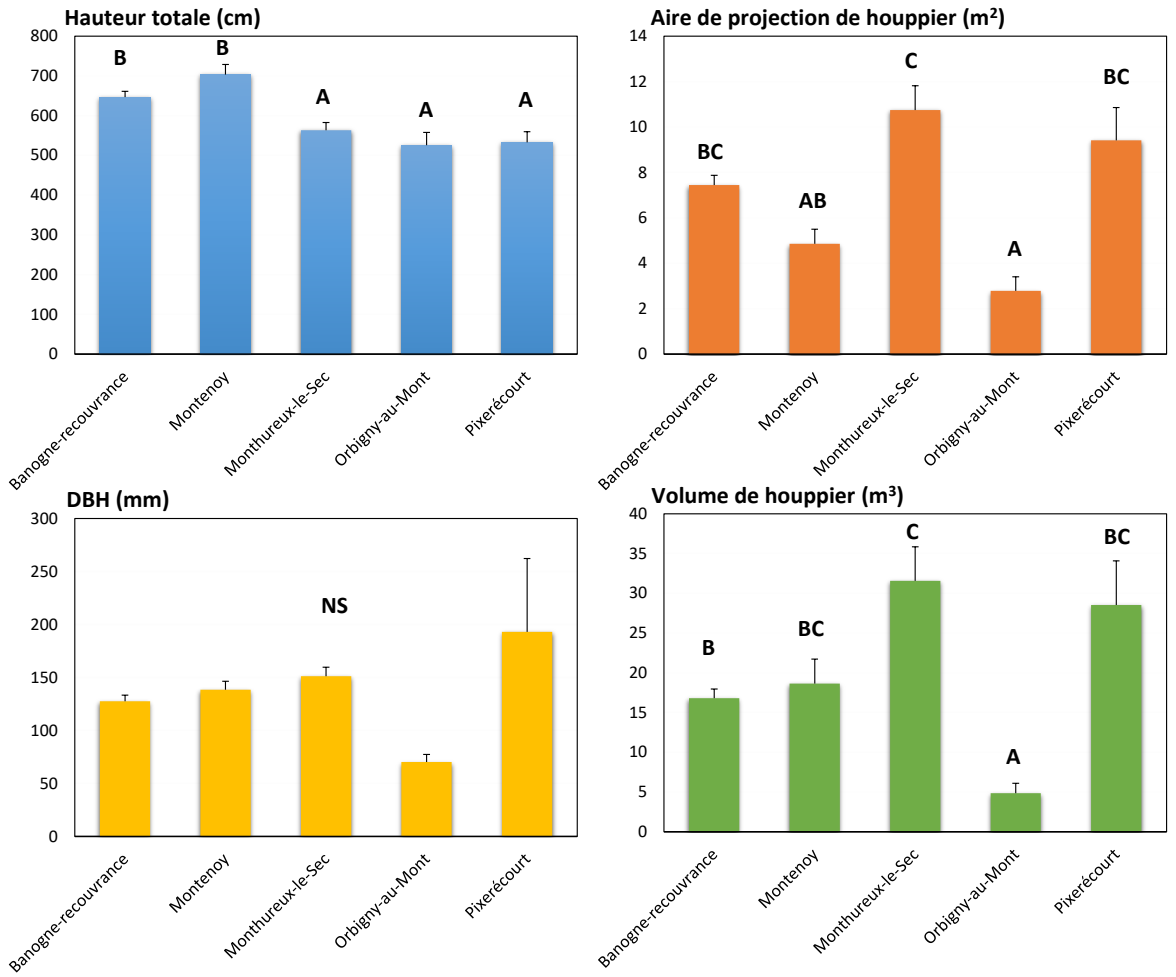


Figure 24. Dimensions des merisiers sur les six sites du projet FR-eau-MAGE au printemps 2025 : hauteur totale (cm), diamètre à hauteur de poitrine (DBH, mm), aire de projection du houppier (m^2) et volume de houppier (m^3). Moyennes ± erreurs standards, n=10 quand nombre d'essences au site considéré < 4 ou n=6 quand nombre d'essences ≥ 4. Des lettres différentes indiquent des différences significatives (P<0,05) entre les sites pour chaque paramètre, NS = non significatif.

IV.6.2 Comment les sites se différencient-ils en termes de production de la strate herbacée ?

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence en termes de biomasse herbacée du linéaire sous arboré aux différents sites, ni entre les sites, ni en fonction de la distance à l'arbre (Figure 25). Néanmoins, il est intéressant de noter qu'une tendance à un gradient montrant une augmentation de la biomasse lorsque l'on s'éloigne de l'arbre apparait aux sites où les arbres ont la couronne la plus touffue, en l'absence d'élagage, Monthureux et Pixerécourt (voir la section précédente). L'arbre semble donc avoir un effet négatif sur le développement de la strate herbacée, d'autant plus que le houppier fait de l'ombrage. **Il est donc primordial de définir qu'elles sont les attentes vis-à-vis de l'arbre (production de bois, ombrage, autre) ou de trouver un équilibre en termes d'élagage pour préserver à la fois la productivité de l'arbre, celle de la culture et les services attendus (par ex. l'ombrage pour le bien-être du bétail)**.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

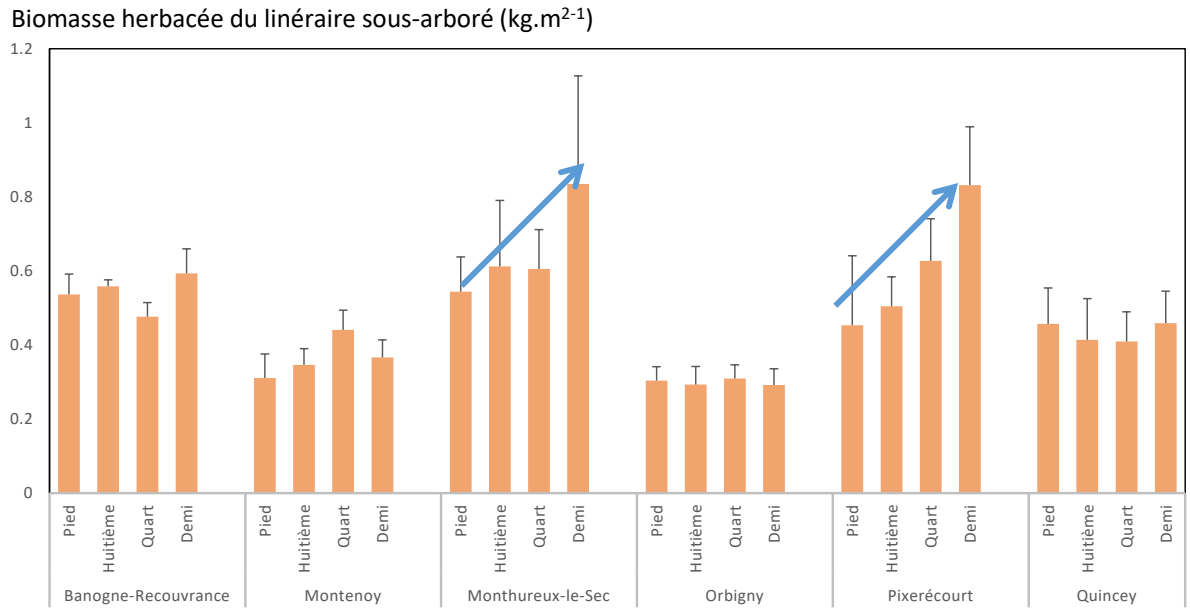


Figure 25. Biomasse herbacée du linéaire sous arboré (LSA, $kg_{MS}.m^{-2}$) au printemps 2025 aux sites du projet FR-eau-MAGE et à des distances croissantes de l'arbre : pied de l'arbre, huitième, quart et demi distance de l'arbre voisin. Moyennes ± erreurs standards, n=4.

IV.6.3 Comment les conditions de sites vont influencer l'effet que l'arbre va avoir sur la modulation du microclimat et de la ressource en eau du sol ?

Afin de visualiser comment l'effet de l'arbre sur le microclimat et la ressource en eau du sol est modulé par les conditions de sites (conditions climatiques et édaphiques, rendements herbacés et croissance des arbres, âge des parcelles et densité de plantation des arbres, etc.), des analyses en composantes principales ont été réalisées pour mettre en relation ces paramètres en 2023 et 2024. Les effets sur le microclimat ont été intégrés sous la forme de l'atténuation (ou accélération) par l'arbre (valeurs près de l'arbre par rapport aux valeurs dans le champ) des variables « température maximale », « VPD » (demande évaporatrice de l'air), « amplitude de variation journalière de la température » et « vitesse d'assèchement du sol » (voir le Matériel et Méthodes pour des détails des calculs).

Les plans principaux des analyses en composantes principales (ACP) réalisées en 2023 et 2024 et associant les effets de l'arbre sur le microclimat et la ressource en eau du sol aux caractéristiques des parcelles (en termes d'emprise des arbres, de nature et de fertilité des sols, de rendements de la strate herbacée et de conditions climatiques globales) expliquaient plus de 67% de la variabilité en 2023 (46.6% pour F1 et 20.5% pour F2) et presque 66% en 2024 (42.8% pour F1 et 23% pour F2) (Figure 26). Un des résultats marquants est l'orthogonalité entre les variables indicatrices du climat global des parcelles, de la nature et fertilité des sols et du rendement des herbacées, d'une part, avec l'effet que l'arbre va avoir sur les conditions microclimatiques et l'eau du sol, d'autre part, dans les parcelles du Grand Est. Cette absence de lien entre ces facteurs peut être expliquée par le fait que toutes les parcelles situées dans le Grand Est, bien qu'étant une région étendue, n'étaient pas suffisamment variées / différentes en termes de climat et de conditions édaphiques pour que ces facteurs soient discriminants.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

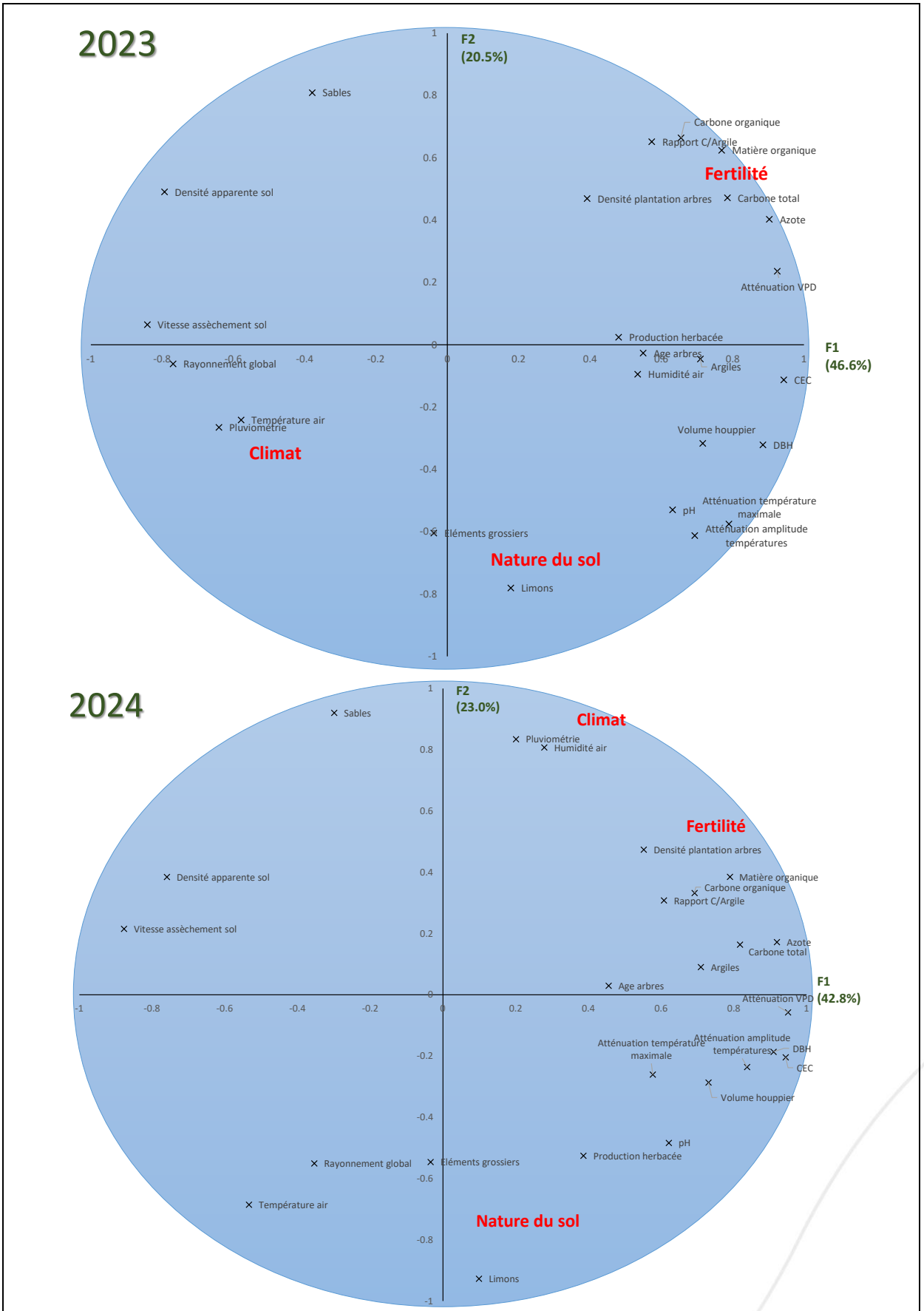


Figure 26. Plan principal de l'analyse en composantes principales (ACP) réalisée en 2023 et 2024 en associant les données d'atténuation du microclimat et d'accélération de l'assèchement du sol par l'arbre aux caractéristiques des six parcelles : dimensions des arbres, rendements herbacés, composition et fertilité des sols, climat, etc.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Les atténuations de la température maximale, de l'amplitude journalière de température et de la demande évaporatrice de l'air (VPD) sont toutes trois positivement corrélées aux dimensions des arbres et plus précisément à la taille de leurs houppiers : plus l'arbre est gros, plus il atténue ces paramètres. Outre les plans principaux des ACP réalisées en 2023 et 2024 qui montrent ces relations, la Figure 27 (A à D) présente une illustration de ces relations.

En termes d'asséchement du sol, plus la variable utilisée dans l'ACP est élevée (voir la Figure 7 pour le calcul), plus l'arbre accélère l'asséchement du sol. Comme montré précédemment, l'arbre accélère l'assèchement du sol dans tous les cas ; néanmoins, plus l'arbre est gros, moins il accélère ce dessèchement. Cela est dû au fait que plus l'arbre est gros, plus il atténue la demande évaporatrice de l'air (VPD) pour la végétation herbacée (il maintient un air plus humide au niveau de la strate herbacée) et donc moins il accélère l'assèchement du sol. Cela est vrai en 2023 et en 2024 bien que les deux années aient été distinctes en termes de précipitations (2023 globalement sèche et 2024 globalement humide). Il est également probable que le vieillissement de l'arbre et l'accroissement de son système racinaire lui permette d'aller puiser l'eau dans les horizons plus profonds, distincts de ceux de surface au sein desquels il était en concurrence avec la culture lors des stades précoces de développement du système. Ces relations sont résumées par le schéma de la Figure 28.

Il est intéressant de signaler que l'ACP montre également une relation positive entre les dimensions de l'arbre et la fertilité du sol (matière organique, azote total, carbone organique) et négative avec l'assèchement du sol. L'arbre enrichit donc le sol et cet apport de matière organique a un effet sur bénéfique sur la rétention de l'eau dans le sol. En effet, il est connu que la présence des matières organiques dans l'horizon de surface augmente la macroporosité, favorise l'infiltration de l'eau lors des épisodes pluvieux et accroît la vitesse de réhumidification du sol, notamment en fin d'été et en automne. Cette fonction est particulièrement importante dans la moitié sud de la France où les pluviométries hivernales ne sont pas toujours suffisantes pour reconstituer la réserve en eau du sol. De la même manière, l'incorporation de matière organique dans le sol augmente la capacité du sol à stocker l'eau. La réserve en eau utile, c'est-à-dire la quantité d'eau disponible dans le sol pour la plante, est donc également augmentée (Laboubée 2007).

Lorsque l'arbre se développe, il aurait donc un triple effet positif sur l'économie de l'eau dans le système : *(1)* il puise la ressource en eau dans des horizons de sols distincts de ceux de surface où sont cantonnées les herbacées, *(2)* il réduit la demande évaporative des herbacées par effet d'ombrage, et *(3)* il enrichit le milieu en matière organique par la chute de ses feuilles et la décomposition de ses racines fines ce qui va favoriser le stockage ou l'infiltration de l'eau dans le sol, selon l'abondance de la ressource, en jouant sur la macroporosité.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

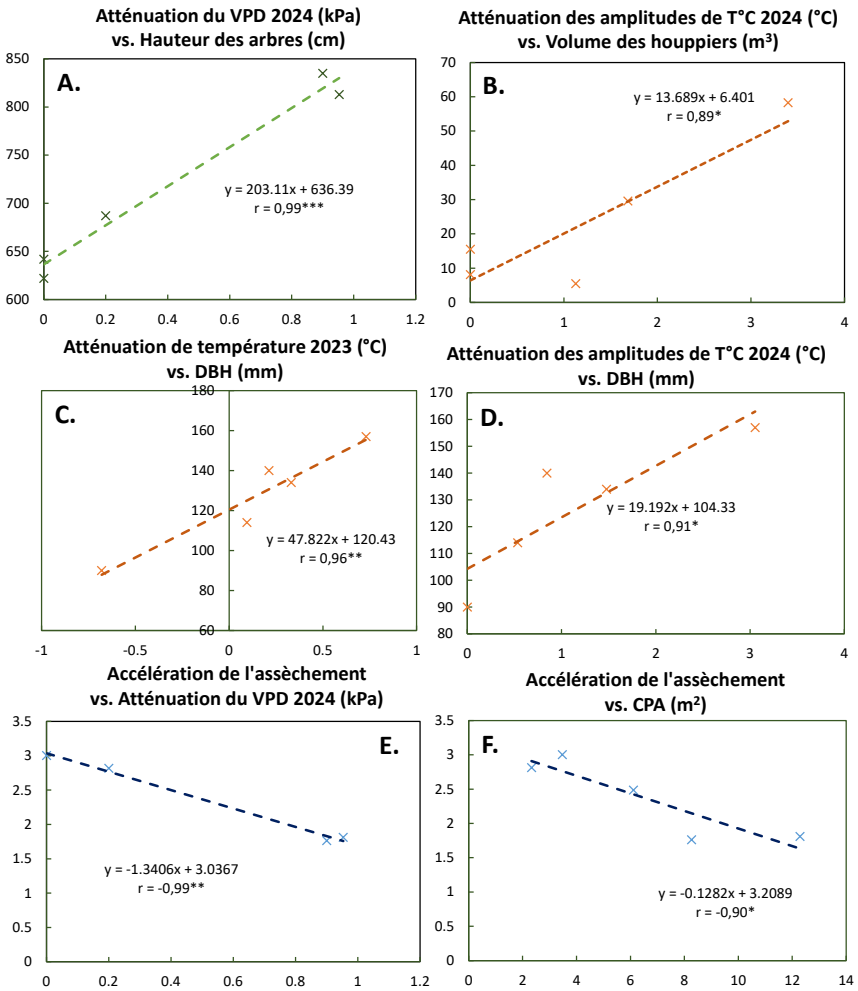


Figure 27. Corrélations entre les paramètres microclimatiques (A. demande évaporatrice de l'air (VPD), B. à D. température de l'air, E. et F. humidité du sol) et les dimensions des arbres aux sites du projet FR-eau-MAGE. Dans chaque cas, les droites de régression, leurs équations et les coefficients de corrélation sont indiqués.

La projection des six sites dans le plan des ACP réalisées en 2023 et 2024 (Figure 29) montre d'une part, une opposition entre Quincey et Orbigny en termes de vigueur des arbres et d'effet positif sur le microclimat et d'autre part, une opposition entre Pixerécourt et Banogne en termes de fertilité du sol (Pixerécourt le plus fertile, Banogne le moins fertile) mais pas de relation des indicateurs de fertilité ni avec la productivité (arbres et herbacées) ni avec l'effet de l'arbre sur le microclimat. Montenoy, proche de l'origine des axes, présentant des valeurs moyennes, est peu discriminé.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

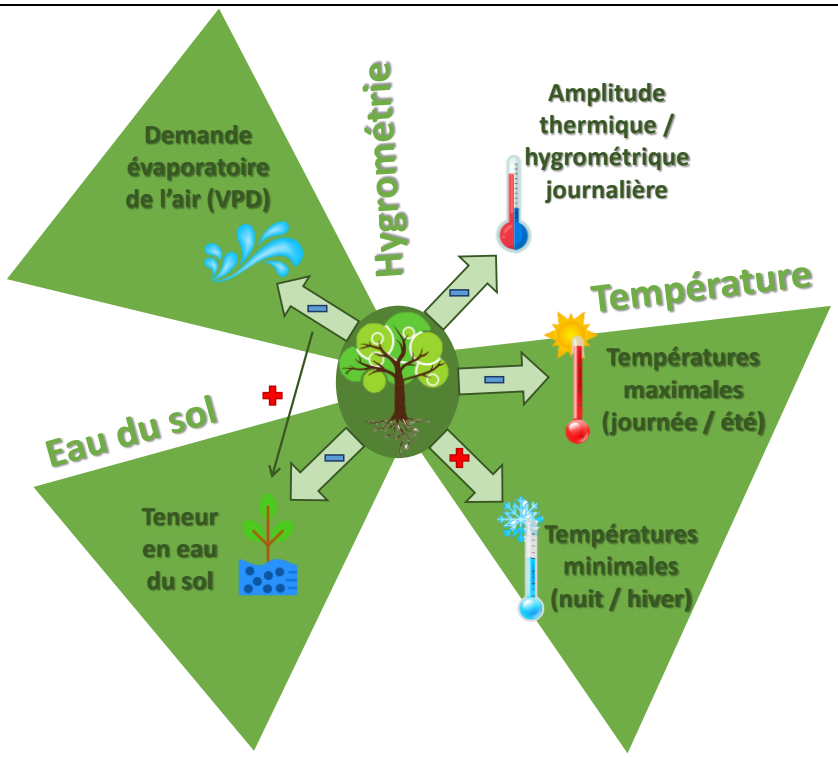


Figure 28. Schéma représentant les impacts positifs (+) ou négatifs (-) de l'arbre en milieu agricole sur les paramètres thermiques et hydriques du microclimat des parcelles : températures minimales et maximales, amplitudes journalières de variation de la température et de l'hygrométrie, demande évaporatoire de l'air (vapor pressure deficit, VPD), teneur en eau du sol. À noter que la réduction du VPD par l'arbre va avoir un effet bénéfique sur le maintien de la teneur en eau du sol bien que l'effet direct de l'arbre soit une accélération de l'assèchement du sol par rapport au plein champ (cet effet direct s'atténue avec l'âge des arbres).

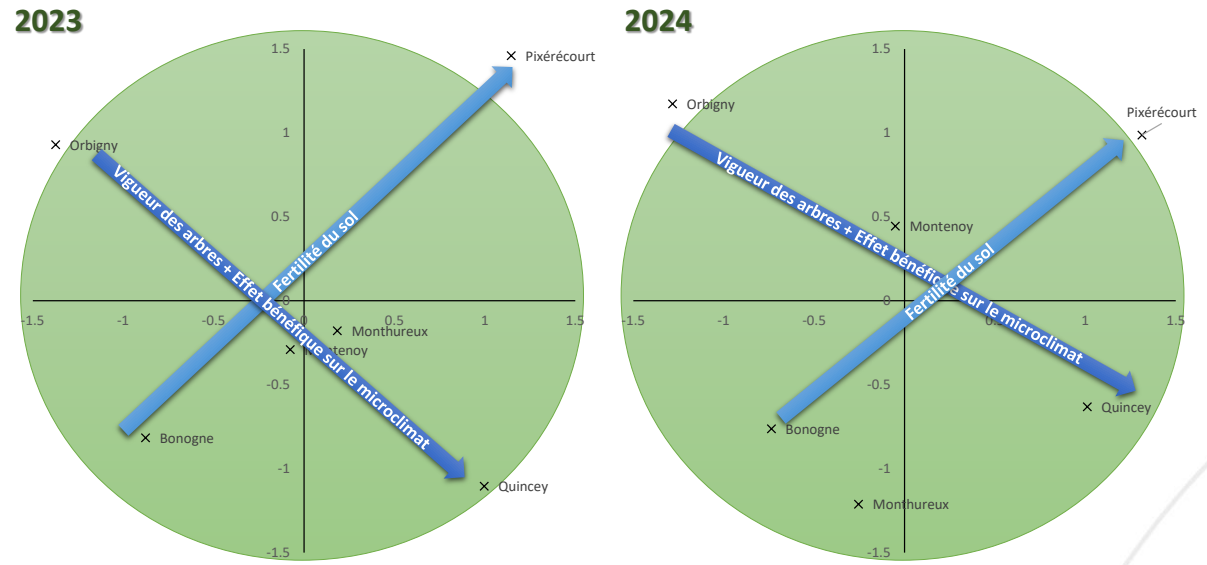


Figure 29. Projection des six sites du projet FR-eau-MAGE dans le plan principal de l'analyse en composante principale (ACP) réalisée en 2023 et 2024 et associant les caractéristiques des parcelles aux effets atténuateurs ou accélérateurs de l'arbre sur le microclimat et l'eau du sol. Les principaux facteurs discriminants les sites sont symbolisés par les flèches bleues.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

V. Bilan critique et perspectives

Le tableau ci-dessous (4) synthétise les réponses aux principales questions / hypothèses formulées dans le cadre de FR-eau-MAGE.

Tableau 4. Réponses aux hypothèses formulées dans le cadre du projet.

L'ARBRE, TAMPON DES EXTREMES THERMIQUES (CHAUD) ?	Oui !	Effet potentiellement très fort au printemps, moins le reste de l'année
L'ARBRE, TAMPON DES EXTREMES THERMIQUES (FROID) ?	Non	Rien de clair, ni les nuits, ni pendant la saison froide
L'ARBRE, TAMPON DES EXTREMES HYGROMETRIQUES ?	Oui !	Effet toute l'année, exacerbé au printemps et en été
L'ARBRE, ATTENUATEUR DES AMPLITUDES THERMIQUES ET HYGROMETRIQUES ?	Oui !	Effet surtout très marqué au printemps, plus diffus le reste de l'année
L'ARBRE, FACILITATEUR D'UN PARTAGE OPTIMISE DE LA RESSOURCE EN EAU AVEC LA CULTURE ?	Oui et non	Plus d'eau accessible en profondeur mais plus de compétition en surface
L'ARBRE, DRAINEUR DES PRECIPITATIONS DANS LE LINEAIRE SOUS ARBORE ?	Oui !	Concentration des précipitations dans le linéaire sous arboré, drainage le long des troncs
QUELS FACTEURS POUR EXPLIQUER L'EFFET PLUS OU MOINS MARQUE DE L'ARBRE SELON LES SITES ?	La taille des arbres avant tout	Plus l'arbre est gros, plus son effet bénéfique sur le microclimat est fort, et plus son effet négatif sur l'eau du sol va s'amenuiser ; Peu d'influence des autres facteurs dans le Grand Est (nature du sol, climat, strate herbacée…)

Des réorientations ont été nécessaires en cours de projet en raison des difficultés rencontrées pour atteindre certains de nos objectifs, notamment en termes de modélisation des bilans hydriques des parcelles du Grand Est comme prévu initialement. La mise en œuvre des approches de modélisation, lourde à développer sur de multiples parcelles en raison de la paramétrisation nécessaire, pourra être réalisée dans les années à venir pour la parcelle atelier agroforestière de la Bouzule (Agro-TCR), pour laquelle une description très fine est déjà réalisée (sol) ou sera plus facile à mettre en œuvre ou à compléter rapidement (couvert).

Le projet nous a permis d'apprendre de nos erreurs, par exemple en ce qui concerne l'utilisation pour atteindre nos objectifs de matériels tels que les sondes WaterMarks ; ces sondes qui mesurent l'humidité du sol ne sont absolument pas adaptées à la réponse à des questionnements scientifiques comme nous avons pu le constater en cours de projet à nos dépens. Nous avons néanmoins essayé de tirer le meilleur parti des données acquises par l'intermédiaire de ces sondes (cf. résultats présentés ci-dessus). Les avantages de ce matériel résidaient dans leur facilité d'installation et de désinstallation au gré des travaux réalisés par l'agriculteur dans la parcelle (contrairement aux sondes PR2 utilisées dans le cadre du projet PotA-GE qui devaient rester en place mais dont l'unité mesurée était « prête à l'emploi ») ainsi que dans leur acquisition en continu ; les inconvénients étaient une unité de mesure inutilisable en l'état que nous n'avons pas réussi à étalonner/calibrer dans le cadre du projet.

Les suivis microclimatiques à la plupart des sites se sont arrêtés fin 2025 en raison de la fin du projet

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

mais aussi de la déliquescence d'un matériel pourtant sensé être fait pour être soumis à des aléas climatiques divers et variés (ainsi qu'aux dégâts de gibiers). Il est probable que de tels suivis microclimatiques ne soient plus poursuivis à l'avenir sur ces parcelles en raison de la lourdeur que cela a pu représenter pour des parcelles distribuées dans toute la région Grand Est et malgré la bonne volonté des agriculteurs concernés pour nous épauler. Les suivis d'autres services écosystémiques rendus par les arbres agricoles pourront être initiés en complément de ceux déjà documentés dans le cadre de projets PotA-GE et FR-eau-MAGE, comme par exemple la biodiversité entomologique des parcelles et l'impact de l'arbre sur cette dernière. Cela pourrait être initié dans le cadre d'un projet SEQUOIA (Services Écosystémiques QUantifiés pour l'Optimisation de l'Agroforesterie) soumis au CASDAR en 2026 et coordonné par l'IRBI, institut de recherche sur la biologie de l'insecte, à Tours. Ce projet pourrait également permettre de réaliser des mesures de capacités photosynthétiques des cultures en fonction de la distance à l'arbre afin de quantifier l'effet négatif de l'ombrage sur les herbacées agricoles.

Un point extrêmement positif de FR-eau-MAGE, et de PotA-GE avant lui, est le partenariat développé avec un réseau d'agriculteurs motivés dans la région. L'intégration du consultant agroforestier SylvaTerra dans FR-eau-MAGE a permis de faciliter le dialogue avec ces exploitants. Il est fortement souhaitable de poursuivre cette collaboration dans le cadre de futurs projets traitant de l'agroforesterie du Grand Est.

VI. Valorisation, diffusion et communication

Une valorisation des résultats sous forme d'article scientifique est en cours de rédaction : H. Mohieddinne, P. Priault, S. Piutti, E. Dallé, D. Princet and N. Marron. Alley cropping benefits for microclimate in the Grand Est region in France.

Le projet et ses résultats ont été présentés à de multiples occasions, notamment lors des rencontres organisées par le Réseau Mixte Technologique (RMT) AgroforesterieS, le congrès européen d'agroforesterie ou des séminaires de recherche organisés par l'ADEME et l'OFB :

1. Marron, N., E. Dallé, S. Piutti, D. Princet et P. Priault. 2026. FR-eau-MAGE: Figuring water Resources and Microclimate of Alley cropping plots in the Grand Est region of France. 8ème congrès européen d'agroforesterie (EURAF), Neuchâtel (Suisse), 22 au 26 juin (présentation orale), session "*Potential of Agroforestry Systems to deliver Ecosystem Services. Evidence and Case studies*" (Annexe 2).

2. Marron, N., S. Piutti, P. Priault, E. Dallé et D. Princet. 2025. Les projets PotA-GE et FR-eau-MAGE. Séminaire de recherche ADEME - OFB « *Évaluer et améliorer la santé des sols agricoles* », Paris, 19-20 novembre.

3. Marron, N., S. Piutti, P. Priault, E. Dallé et D. Princet. 2025. Figurer la Ressource en EAU et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand Est : le projet FR-eau-MAGE. Séminaire de recherche OFB « *Eau et agriculture* », Vincennes, 27 juin.

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

4. Marron, N., S. Piutti, P. Priault, E. Dallé et D. Princet. 2023. Figurer la Ressource en EAU et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand-Est : premiers résultats du projet FR-eau-MAGE. Journée du RMT AgroforesterieS - Croisons les regards, PARIS, France, 14 novembre.

5. Marron, N., S. Piutti, T. Lacroix, P. Cochard, E. Dallé et C. Plain. 2022. Évaluer les potentialités de l'agroforesterie dans le Grand-Est (le projet PotA-GE). Journée du RMT AgroforesterieS - Croisons les regards, Paris, France, 8 novembre.

6. Marron, N., S. Piutti, P. Priault, H. Mohieddinne, E. Dallé et D. Princet. 2022. Figurer la ressource en eau et le microclimat des parcelles agroforestières du Grand Est (le projet FR-eau-MAGE). Journée du RMT AgroforesterieS - Croisons les regards, Paris, France, 8 novembre.

En outre, les résultats du projet ont également été présentés dans le cadre de l'Ecole Française d'Agroforesterie auprès des techniciens et techniciennes en formation en décembre 2025 par SylvaTerra ainsi que d'une conférence – débat sur l'agroforesterie au Tiers-Lieu Pôle Coopératif de Revigny-sur-Ornain (55) animé par Dempsey Princet (SylvaTerra).

Une page web dédiée au projet a été créée (https://potage.hub.inrae.fr/fr-eau-mage). Elle permet de centraliser les présentations réalisées à propos du projet, les actualités, les flyers, posters et tous documents visant à diffuser les résultats issus du projet aux utilisateurs, ainsi que les rapports d'avancement de FR-eau-MAGE, dont :

- Un **article** rédigé et diffusé dans les différentes déclinaisons départementales de la **presse agricole régionale** (le Paysan Lorrain, le Paysan Vosgien…) à l'automne 2025 (Annexe 3). Les revues agricoles du Grand Est ciblées et contactées sont listées dans l'Annexe 4.
- Une **plaquette** réalisée par SylvaTerra et diffusée courant 2025 (Annexe 5A). Elle propose une présentation vulgarisée des principaux résultats du projet, à destination du grand public. Cette plaquette a également été déclinée sous forme de kakémonos qui pourront être utilisés lors des futures visites de terrain animées par les partenaires de FR-eau-MAGE (Annexe 5B).
- Une **journée de rencontre et de discussion avec les agriculteurs** du réseau de sites organisée en juin 2025 à la ferme de Pixerécourt. La journée s'est articulée autour de la présentation des résultats du projet, d'ateliers visant à améliorer de futures collaborations et projets, de la visite de la parcelle de la ferme, de la restitution d'une enquête auprès des agriculteurs à propos de leur ressenti sur la façon dont se passe la collaboration entre les scientifiques et eux, etc. (Figure 30). Le compte rendu de cette journée, le diaporama des résultats, des photos, etc. sont disponibles sur le site web du projet.
- Les résultats de FR-eau-MAGE présentés aux agriculteurs lors du **rallye d'agroforesterie du Grand Est** organisé par les Chambres d'Agriculture régionales en septembre 2024 et constitué de visites de nombreuses parcelles agroforestières de la Région (poster présenté autour des

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

résultats de FR-eau-MAGE en Annexe 6) (Figure 30).

- Une **table ronde** organisée sur le stand de Nestlé Waters **lors du salon international de l'agriculture** (SIA) à Paris le 27 février 2025 sur le thème de « *mieux connaitre l'arbre agricole pour mieux l'implanter* » en présence de divers intervenants et notamment de Nicolas Marron (INRAE) et Aude Lamerandt (Agrivair) pour parler de l'apport de FR-eau-MAGE dans ce contexte (Annexe 7).
- Une **plaquette cherchant à associer les résultats des différents projets français** traitant de l'atténuation de la température par l'arbre en milieu agricole, dont ceux de FR-eau-MAGE, actuellement en cours de rédaction dans le cadre du groupe de travail (GT) sur l'élevage du RMT AgroforesterieS. Il s'agit d'un travail délicat en raison de l'hétérogénéité des méthodes mises en œuvre dans les différents projets et de la diversité des situations agroforestières considérées ; la plaquette est en cours de réécriture par l'IDELE (Institut de l'élevage) qui coordonne ce travail afin d'essayer de standardiser la façon de présenter les résultats.
- Les résultats issus de FR-eau-MAGE et PotA-GE sont **intégrés dans l'offre de formation de l'Université de Lorraine**, notamment dans le cadre de l'Unité d'Enseignement en Agroforesterie du Master AETPF (Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt) au travers de la présentation d'initiatives locales pour la promotion de l'agroforesterie dans le Grand Est parmi lesquelles les deux projets trouvent leur place.

Les résultats obtenus dans le cadre du projet FR-eau-MAGE ont fait l'objet d'une **campagne de communication orchestrée par Unys** (« *Recherche et compétences pour la société* », initiative associant notamment l'Université de Lorraine, le CNRS, INRAE, Inria et le CHRU de Nancy) sous la forme d'entretiens, d'articles de vulgarisation, de plaquettes, de posts Instagram et LinkedIn, etc. (Annexes 8A et 8B). Les publications sont accessibles en ligne sur www.unys-sciences.fr. https://www.unys-sciences.fr/ete-plus-chaud-larbre-peut-il-redevenir-un-allie-des-parcelles-agricoles/

Le RMT Agroforesteries s'est fait le relai en France des présentations réalisées au cours du congrès EURAF de Neuchâtel (Suisse) en proposant dans sa lettre d'information du 22 septembre 2026 des traductions en français des résumés de la délégation française, dont le résumé de la présentation des résultats de FR-eau-MAGE (Annexe 9).

Deux étudiantes ont réalisé des stages dans le cadre du projet : Zoé Dubois (ENS Paris) en début de projet (juin 2022), plutôt sur les aspects de ressource en eau du sol, et Chloé Goudard (Master 1 AETPF Nancy) en fin de projet (avril-juillet 2025), plutôt sur les aspects de microclimat. Ces stages bornant les quatre années de FR-eau-MAGE ont permis une contribution à l'instrumentation des sites et à l'analyse des premières données acquises puis une aide pour la finalisation des mesures notamment pour la caractérisation des sites. Les rapports de stage sont disponibles sur demande.

- **Zoé Dubois. 2022.** Interaction entre arbres et cultures pour la ressource en eau du sol en agroforesterie dans la région Grand Est. Troisième année de licence au Département de géosciences de l'ENS-PSL (École Normale Supérieure – Paris Sciences et Lettres).
- **Chloé Goudard. 2025.** Influence de l'arbre sur le microclimat des parcelles agroforestières du

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Grand Est. Première année de Master AETPF (Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt) de l'Université de Lorraine.



A. Présentation des données FR-eau-MAGE lors du rallye d'agroforesterie du Grand Est – Pixerécourt, 19 septembre 2024



B. Rencontre avec les agriculteurs à Pixerécourt le 11 juin 2025



C. Visite à Montenoy lors du séminaire de clôture de PotA-GE le 13 juin 2023

Figure 30. Visites des parcelles du réseau lors de diverses manifestations entre 2023 et 2025.

VII. Références

Barradas, V. L., & Fanjul, L. (1986). Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (Coffea arabica L.) plantations in Mexico. Agricultural and Forest Meteorology, 38(1), 101-112. https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90052-3

Böhm, C., Kanzler, M., & Freese, D. (2014). Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. Agroforestry Systems, 88(4), 579-591. https://doi.org/10.1007/s10457-014-9700-y

Carrier, M., Rhéaume Gonzalez, F.-A., Cogliastro, A., Olivier, A., Vanasse, A., & Rivest, D. (2019). Light availability, weed cover and crop yields in second generation of temperate tree-based intercropping systems. Field Crops Research, 239, 30-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.004

Dupraz, C., Blitz-Frayret, C., Lecomte, I., Molto, Q., Reyes, F., & Gosme, M. (2018). Influence of latitude on the light availability for intercrops in an agroforestry alley-cropping system. Agroforestry Systems, 92(4), 1019-1033. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0214-x

Dupraz, C. & Liagre, F. (2018). Agroforesterie : des Arbres et des Cultures (éd). La France Agricole. 414p.

Ehret, M., Graß, R., & Wachendorf, M. (2018). Productivity at the tree-crop interface of a young willow-grassland alley cropping system. Agroforestry Systems, 92(1), 71-83. https://doi.org/10.1007/s10457-016-0015-z

Gosme, M., Dufour, L., Inurreta-Aguirre, H.D., & Dupraz C. (2016). Microclimatic effect of agroforestry on diurnal temperature cycle. 3rd European Agroforestry Conference. Montpellier, 23-25 May.

Graves, A. R., Burgess, P. J., Palma, J. H. N., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., de Nooy, A. K., & van den Briel, J. P. (2007). Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. Ecological Engineering, 29(4), 434-449. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.018

Inurreta-Aguirre, H. D., Lauri, P.-É., Dupraz, C., & Gosme, M. (2022). Impact of shade and tree root pruning on soil water content and crop yield of winter cereals in a Mediterranean alley cropping system. Agroforestry Systems, 96(4), 747-757. https://doi.org/10.1007/s10457-022-00736-9

Jacobs, S. R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., Breuer, L., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2022). Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

temperate cropping systems. Agricultural and Forest Meteorology, 323, 109065. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065

Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. Agroforestry Systems, 76(1), 1-10. https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7

Kanzler, M., Böhm, C., Mirck, J., Schmitt, D., & Veste, M. (2019). Microclimate effects on evaporation and winter wheat (Triticum aestivum L.) yield within a temperate agroforestry system. Agroforestry Systems, 93(5), 1821-1841. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4

Karki, U., & Goodman, M. S. (2013). Microclimatic differences between young longleaf-pine silvopasture and open-pasture. Agroforestry Systems, 87(2), 303-310. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9551-3

Kumar, A. (2022). Chapter 4—Coping with climate change. In A. Kumar (Éd.), Ecosystem-Based Adaptation (p. 143-233). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815025-2.00004-6

Laboubée, C. (2007) Rapport : Retour au sol des matières organiques nécessaires à leur maintien en état en sols agricoles. GIE Arvalis / Onidol. 47 pages.

Liagre, F., Dupraz, C., Angeniol, C., Canet, A., & Ambroise, R. (2009). Agroforestry adoption in France: A take off. World Congress of Agroforestry. https://hal.inrae.fr/hal-02755299

Lin, B. B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, 150(4), 510-518. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010

Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity1. Plant Physiology, 160(4), 1686-1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

Locatelli, B., Pavageau, C., Pramova, E., & Di Gregorio, M. (2015). Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: Opportunities and trade-offs. WIREs Climate Change, 6(6), 585-598. https://doi.org/10.1002/wcc.357

Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., et al. (2007) Global Climate Projections. In IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007; pp. 747–846.

Ministère de l'Agriculture. (2016). Plan de Développement de l'Agroforesterie. Pour le développement et la gestion durable de tous les systèmes agroforestiers. https://afac-agroforesteries.fr/wp-content/uploads/2015/12/151215-ae-agrofesterie-v2_plan-2.pdf

Paul, C., Weber, M., & Knoke, T. (2017). Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. Science of The Total Environment, 587-588, 22-35. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.037

Pretzsch, H. (2019). Gestalt von Bäumen. In: Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. pp. 37-119. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-58155-1_2

Quinkenstein, A., Wöllecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B. U., & Hüttl, R. F. (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. Environmental Science & Policy, 12(8), 1112-1121. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008

Reyes, F., Gosme, M., Wolz, K. J., Lecomte, I., & Dupraz, C. (2021). Alley Cropping Mitigates the Impacts of Climate Change on a Wheat Crop in a Mediterranean Environment : A Biophysical Model-Based Assessment. Agriculture, 11(4), Art. 4. https://doi.org/10.3390/agriculture11040356

Schulze, E. D., Stupak, I., & Hessenmöller, D. (2019). Chapter 7—The climate mitigation potential of managed versus unmanaged spruce and beech forests in Central Europe. In J. C. Magalhães Pires & A. L. D. Cunha Gonçalves (Éds.), Bioenergy with Carbon Capture and Storage (p. 131-149). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816229-3.00007-7

Stigter, K. (2015). Agroforestry and (Micro)Climate Change. In Tree-Crop interaction, Agroforestry in Changing Climate (2nd éd., p. 119-145).

Swieter, A., Langhof, M., & Lamerre, J. (2022). Competition, stress and benefits: Trees and crops in the transition zone of a temperate short rotation alley cropping agroforestry system. Journal of Agronomy and Crop Science, 208(2), 209-224. https://doi.org/10.1111/jac.12553

Thomas, A., Priault, P., Piutti, S., Dallé, E. & Marron, N. (2023). Crown morphology of *Populus deltoides* × *P. nigra* and *Alnus glutinosa* growing in agroforestry and forest mixture plantations. Agroforestry Systems. 97(4), 673-686. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00818-2

Wolz, K. J., & DeLucia, E. H. (2018). Alley cropping: Global patterns of species composition and function. Agriculture, Ecosystems & Environment, 252, 61-68. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.005

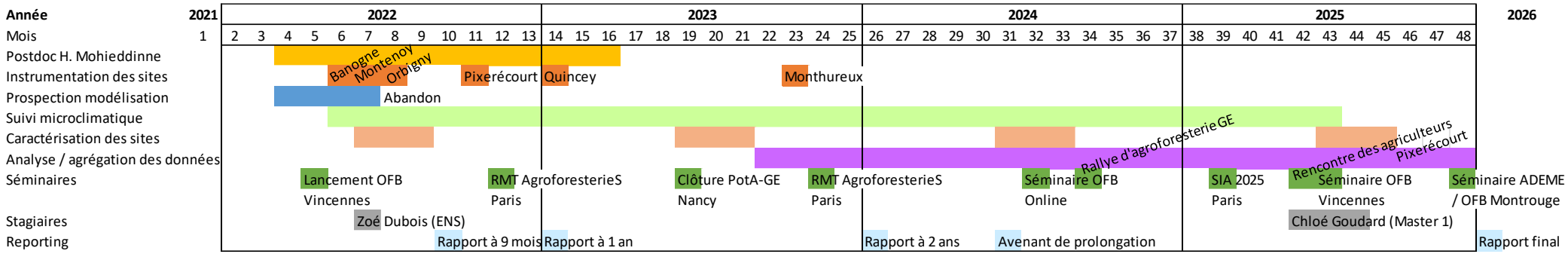
Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

Yang, T., Ma, C., Lu, W., Wan, S., Li, L., & Zhang, W. (2021). Microclimate, crop quality, productivity, and revenue in two types of agroforestry systems in drylands of Xinjiang, northwest China. European Journal of Agronomy, 124, 126245. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126245

Zhang, Y., & Ayyub, B. M. (2021). Chapter 2—Temperature extremes in a changing climate. In A. Fares (Éd.), Climate Change and Extreme Events (p. 9-23). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822700-8.00001-9

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

VIII. Annexes



Annexe 1. Chronogramme des activités menées dans le cadre de FR-eau-MAGE de fin 2021 à début 2026.



Annexe 2.1

46

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

FR-eau-MAGE: Figuring water Resources and Microclimate of Alley cropping plots in the Grand Est region of France

Nicolas Marron[1], Erwin Dallé[1], Séverine Piutti[2], Dempsey Princet[3], Pierrick Priault[1]

[1]UMR Silva, Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, 54000 Nancy, France, [2]UMR Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE), Université de Lorraine, INRAE, 54518 Vandoeuvre, France, [3]SylvaTerra, 55800 Laheycourt, France

nicolas.marron@inrae.fr

Highlights

- Even in a rather cool and wet region such as northeastern France, air temperature and its range of variation during the day can be lowered by 2-3°C near trees as compared to open field.
- Trees are in competition with grass/crop for water resources in the top soil horizons; this negative effect decreases as tree grows.
- In this region, with a limited environmental gradient, tree effect on microclimate and soil water resources is mostly influenced by tree size, and almost not impacted by soil characteristics and global climatic conditions.

Context

In the Grand Est region of France, alley cropping agroforestry is gradually developing. The regional context indicates that the annual water deficit is increasing year after year. While theory suggests a positive effect of trees on water resources in agroforestry stands, as well as a cooling effect of the atmosphere near trees (Jacobs et al. 2022), concrete evidence to convince farmers of these beneficial effects is still lacking, particularly in the Grand Est.

Objectives

Our objective was to demonstrate the effect of trees on water availability and microclimate of a network of six agroforestry plots in the Grand Est region in France. These plots have been monitored since 2018 in terms of productivity, soil physicochemical and biological properties, floristic composition of the understory, etc. The ultimate goal is to produce quantifiable performance indicators for the studied plots for these services (codes 2.3.6.2. Microclimate and 2.2.2.1. Regulation runoff and base flows in the Common International Classification of Ecosystem Services, CICES 5.2).

Methodology

Plots were instrumented during the summer and autumn of 2022. Air temperature and humidity as well as volumetric soil water content (30 and 60 cm in depth) were monitored continuously in 2023 and 2024 using meteorological stations and soil probes. These parameters were measured close to a tree and in the middle of the crop, where the tree has no influence anymore. The difference between these two locations for the microclimatic parameters was associated to site characteristics (production, global climate and soil conditions, etc.) using correlation analyses, notably Principal Component Analysis (PCA).

Results - Microclimate

The effect of the trees obviously depends on the characteristics of the plot: tree age, row orientation, type of crop cover, etc. On plots with the densest trees, the temperature can vary by 2 to 3 degrees Celsius near the tree compared to the open field, and the air humidity by more than 10%. A cooling and humidifying effect on the atmosphere is observed near trees during early summer days, and this effect is even more pronounced on hot days. Conversely, in winter, a buffering effect is observed near the trees,

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

where temperatures are higher than in the middle of the field. Unsurprisingly, these effects appear to be proportional to the size of the tree crowns and are therefore also dependent on the degree of pruning carried out by farmers at the different sites.

Results – Soil water resources

At all sites, trees accelerate soil drying, but this effect diminishes as the tree grows probably due to the combination of three factors: *(1)* as the tree grows, it draws water from deeper, distinct soil horizons than the herbaceous layer; *(2)* the shade caused by trees on the crop or pasture increases over time, reducing the evaporative demand of the air for herbaceous plants and therefore their transpiration; *(3)* the tree's litter production (aerial and root) increases with tree growth, thus further influencing soil macroporosity and water retention capacity.

Conclusion

The impact of trees on both the microclimate and soil water resources of the plots is almost not influenced by soil type or by the overall climate, likely because the selected plots exhibit a limited environmental gradient, but characteristic of the Grand Est region (Figure 1). It appears that the tree's footprint on the plot is the predominant factor impacting the microclimate and soil water. While the tree's impact on the microclimate is generally positive (mitigating extremes), its effect on soil water is rather negative (competition between the tree and the crop layer) until the tree is sufficiently big for these negative effects to diminish.

Keywords: Air temperature and humidity, soil water content, buffering effect, tree growth and vigor, correlation analysis

Acknowledgments: This research was funded by the French Office for Biodiversity (OFB) through the project FR-eau-MAGE (*Figurer la Ressource en eau et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand Est*, 2022-2026).

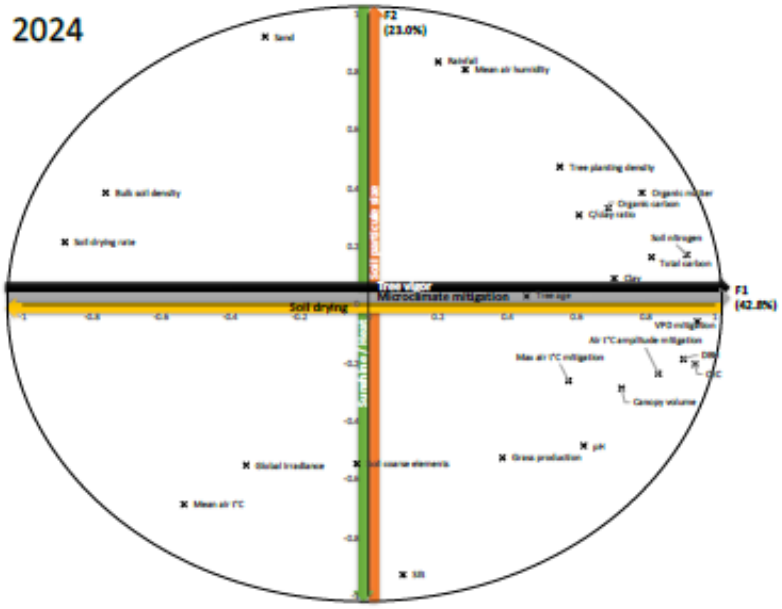


Figure 1. F1×F2 plan of the principal component analysis (PCA) realized in 2024 by associating data on microclimate mitigation and soil drying due to the tree, with the characteristics of the six plots: tree dimensions, herbaceous yields, soil composition and fertility, climate. The plan shows (1) an antagonism between soil drying on one hand, and microclimate mitigation and tree vigor on the other hand and (2) orthogonality between these parameters and soil and climate conditions.

Bibiography: Jacobs S.R., Webber H., Niether W., Grahmann K., Lüttschwager D., Schwartz C., Breuer L., Bellingrath-Kimura S.D. 2022. Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into cropping systems. Agricultural and Forest Meteorology 323 DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109065

Annexe 2.3. Couverture du « Book of Abstract » et résumé relatif à la présentation des résultats de FR-eau-MAGE lors du congrès européen d'Agroforesterie de Neuchâtel, Suisse du 22 au 26 juin 2026.

48
Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

PROJETS DE RECHERCHE INRAE

Quand l'arbre régule climat et eau dans les champs du Grand Est

MÉTIER

Les projets PotA-Ge et Fr-eau-Mage documentent depuis plusieurs années l'impact des arbres plantés au sein des parcelles agricoles. Les chercheurs mesurent microclimat, humidité du sol, productivité et biodiversité pour convaincre les agriculteurs de l'intérêt de l'agroforesterie intra-parcellaire.

Dans le Grand Est, l'agroforesterie intra-parcellaire progresse pas à pas. En 2022, 70 parcelles recensées dans le cadre du projet PotA-Ge (2017-2023, financé par l'Ademe) présentaient des alignements d'arbres au milieu des champs. Ce développement intervient dans un contexte climatique tendu : le déficit hydrique régional augmente année après année.

Les modèles théoriques attribuent aux arbres une influence positive sur la ressource en eau et un effet rafraîchissant sur l'atmosphère locale. Pourtant, les preuves concrètes destinées aux exploitants restaient limitées, notamment dans cette région.



Les résultats mettent en lumière une régulation nette du microclimat en présence d'arbres intraparcellaires.

Un projet scientifique sur mesure

Lancé en 2021, et financé jusqu'en 2026 par l'Office français de la biodiversité, le projet Fr-eau-Mage mobilise l'unité de recherche Silva (Inrae Nancy, Université de Lorraine, AgroParisTech), le Laboratoire Agronomie-Environnement (Université de Lorraine, Inrae Colmar), le conseiller SylvaTerra et six agriculteurs du territoire. Objectif : quantifier l'effet de l'arbre intra-parcellaire sur le microclimat (température, hygrométrie) et sur la disponibilité en eau des sols.

Le réseau de parcelles étudiées reflète la diversité des pratiques locales : prairies et grandes cultures, systèmes conventionnels et biologiques, production de bois d'œuvre avec environ 30 à 40 arbres par hectare âgés de 10 à 12 ans.

Depuis 2018, les suivis couvrent productivité, propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, composition floristique sous couvert arboré, stocks de carbone, partage de l'eau entre strate herbacée et ligneux. Les mesures s'effectuent en lien étroit avec les exploitants, grâce à un dispositif instrumenté : stations météo au pied d'arbres représentatifs et en plein champ, sondes d'humidité installées à 30 et 60 cm de profondeur. La plupart des sites a été équipée durant l'été et l'automne 2022.

Deux années contrastées servent déjà de référence : 2023, particulièrement sèche, et 2024, plus humide. L'analyse compare systématiquement conditions au pied des arbres et en zone ouverte et cherche à relier les effets observés aux caractéristiques de chaque parcelle.



Des suivis sont réalisés depuis 2022 dans des parcelles réparties sur le Grand Est afin d'évaluer l'effet de l'alignement d'arbres intra-parcellaire.

Températures tempérées, sols sous tension

Les résultats mettent en lumière une régulation nette du microclimat. Au pied des houppiers les plus étoffés, la température chute de 2 à 3 °C par rapport au champ nu et l'humidité grimpe de plus de 10 %. Les contrastes s'accentuent au printemps, lors du déploiement du feuillage, puis s'atténuent en été. En période chaude et sèche, le refroidissement et l'humidification de l'air s'avèrent plus prononcés. En hiver, les arbres jouent un rôle de tampon, avec des températures plus douces que dans les zones découvertes.

Les mesures soulignent également une réduction des amplitudes journalières : jusqu'à 3 °C de moins pour la variation thermique et 15 % de moins pour la variation d'humidité. Le houppier canalise par ailleurs les précipitations, concentrées davantage au pied de l'arbre. La taille et l'élagage influencent fortement l'ampleur de ces effets.

Concernant l'humidité du sol, les données montrent un assèchement accéléré sous les arbres, plus marqué en surface qu'en profondeur. Ce phénomène, constaté sur l'ensemble des sites, se réduit toutefois avec la croissance des houppiers. En parallèle, la diminution de la demande évaporatoire de l'air sous couvert limite la transpiration de la végétation voisine, ce qui atténue partiellement l'assèchement.

Les caractéristiques du sol (texture, densité, fertilité) et le climat local (précipitations, rayonnement) n'influencent pas significativement les variables étudiées, sans doute en raison d'une relative homogénéité entre parcelles. Les effets observés en 2023, plus intenses, se retrouvent néanmoins en 2024 malgré un contexte plus humide.

Le suivi scientifique s'achèvera en décembre 2025. La dernière phase du projet consistera à finaliser les analyses et diffuser largement les résultats. Rapports, posters, vidéos et documents de vulgarisation sont déjà disponibles en libre accès sur les sites de PotA-Ge et Fr-eau-Mage.

Nicolas MARRON, Séverine PIUTTI, Pierrick PRIAULT, Erwin DALLÉ, et Dempsey PRINCET

AGROFORESTERIE

Entre passion, paysage et anticipation du climat

L'agroforesterie attire des agriculteurs motivés par la volonté de diversifier leurs pratiques, de préserver l'environnement et de valoriser le paysage. «*Ma carte de visite c'est : créer de l'oxygène et du paysage*», annonce Sébastien Lorlette, agriculteur dans les Ardennes.

«*Avant de planter, trois éléments clés sont à prendre en compte : l'objectif recherché (bois d'œuvre, biodiversité, brise-vent, production fruitière, etc.), les caractéristiques de la parcelle (orientation, type de sol, exposition) et le cadre juridique et réglementaire (statut foncier, densité autorisée, contraintes liées aux haies et plantations)*», explique Dempsey Princet, technicien SylvaTerra. Ces choix déterminent la réussite technique, et la durabilité du projet.

Passionné par les arbres et les paysages, Sébastien a intégré l'agroforesterie sur 10 % de son exploitation, malgré les doutes de ses collègues. Au total, ce ne sont pas moins de 700 arbres sur «*sa meilleure parcelle*» de 14 hectares. Les essences des arbres ont été choisies selon les objectifs et les intérêts du projet de l'agriculteur. «*Les instruments de mesure ont été installés en veillant aux besoins de l'agriculteur pour ses travaux agricoles : un compromis entre les deux parties qui sont aujourd'hui ravis des résultats*», souligne Nicolas Marron, chargé de recherche Inrae Silva.

Au-delà de l'aspect économique, l'agroforesterie est, pour Sébastien, une démarche esthétique et environnementale, qui crée un équilibre écologique et anticipe le réchauffement climatique. La mise en œuvre reste exigeante : choix des essences adaptées, organisation de la taille, gestion des racines et compatibilité avec le travail mécanique. «*L'accompagnement technique des chambres d'agriculture et l'entraide entre agriculteurs sont indispensables pour réussir*», souligne l'agriculteur.

Enfin, le technicien SylvaTerra indique que «*les aides financières sont souvent limitées à la plantation, sans réel soutien pour l'entretien à long terme*». Le cadre réglementaire peut freiner les initiatives, alors que les bénéfices (pas tous quantifiables économiquement) agronomiques et sociétaux sont nombreux : amélioration du microclimat, maintien de la biodiversité, stockage de carbone et embellissement du paysage. Pour ceux qui s'engagent, l'agroforesterie reste avant tout un projet de conviction et de passion, apportant autant au bien-être humain qu'à l'équilibre agricole. Sébastien conclut : «*le bonheur n'a pas de prix et c'est plaisant de voir la société se réconcilier avec le monde agricole avec ce type de projet*».

Annexe 3. Article présentant les grandes lignes et résultats de FR-eau-MAGE dans la presse agricole du Grand Est (ici, le Paysan Lorrain en septembre 2025).

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

49

PRESSE AGRICOLE GRAND-EST

Presse	Site internet	Contact	Date envoi mail pour demande article
Agri Ardennes	https://www.agriardennes.com/	contact@agriardennes.com	04/08/2025
Revue Agricole de l'Aube	https://www.revueagricole10.com/	contact@revueagricole10.com	
L'Avenir Agricole et Rural de la Haute-Marne	https://avenir52.fr/	avenir52@avenir52.com	
La Marne Agricole	https://la-marne-agricole.fr/	https://la-marne-agricole.fr/nous-contacter/	
Paysan du Haut-Rhin	https://www.phr.fr/	redaction@phr.fr	
Agri Info Nordest	https://www.agri-info-nordest.fr/	https://www.agri-info-nordest.fr/contact	
Le Paysan Lorrain	https://paysanlorrain.agri-info-nordest.fr/	https://paysanlorrain.agri-info-nordest.fr/contact	
La Moselle Agricole	https://moselleagricole.agri-info-nordest.fr/	https://moselleagricole.agri-info-nordest.fr/contact	
La Paysan Vosgien	https://paysanvosgien.agri-info-nordest.fr/	https://paysanvosgien.agri-info-nordest.fr/contact	
Est Agricole	https://www.est-agricole.com/	redaction@est-agricole.com	
La Vie Agricole de la Meuse	https://www.vieagricole-meuse.fr/	contact@vieagricole-meuse.fr	
REUSSIR Nourrir notre performance	https://www.reussir.fr/	communication@reussir.fr	

Annexe 4. Coordonnées des revues agricoles de la région Grand Est contactées pour leur proposer un article sur FR-eau-MAGE.

FR-eau-MAGE

Figurer la Ressource en eau et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand-Est

L'ARBRE, ALLIÉ FACE AU CLIMAT

Objectifs du projet

FR-eau-MAGE (2021–2025) vise à :

1. Mieux comprendre l'**impact des arbres dans les parcelles agricoles** sur :
   - Le microclimat (température, humidité)
   - La ressource en eau (sol, atmosphère)
2. Identifier des **indicateurs agroécologiques utiles** pour les agriculteurs du Grand-Est

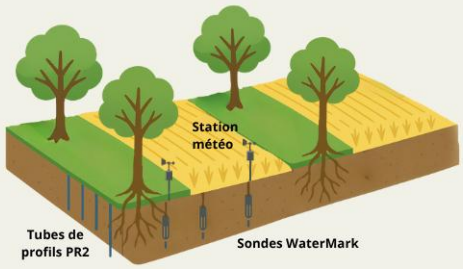
Partenaires

laé laboratoire agronomie et environnement · UMR Silva · SylvaTerra Diagnostic - Conseil Agroforesterie · agrivair · OFB Office Français de la Biodiversité

et les agriculteurs engagés



6 sites étudiés dans le Grand-Est



Méthode

- Stations météo pour mesurer **température, humidité, précipitation**
- Sondes dans le sol (30 cm et 60 cm) pour mesurer l'**humidité**
- Comparaison entre **zone arborée et zone sans arbre**
- Suivi sur plusieurs années (2022–2025)

Résultats clés et bénéfices pour les agriculteurs

Effets observés (2022–2024)

Température :
- Jusqu'à 2°C plus frais près de l'arbre en été
- Températures plus stables en journée et parfois plus chaudes en hiver

Humidité de l'air :
- En moyenne +4 % sous les arbres
- Effet tampon hygrométrique plus marqué au printemps

Amplitudes journalières :
- Réduction jusqu'à -3°C en température
- Humidité journalière moins fluctuante

Précipitations localisées :
- Quantités parfois plus élevées au pied des arbres (effet canalisation)

État du sol :
- Plus sec en surface près des arbres en été → compétition racinaire ?
- Plus humide en profondeur en hiver → infiltration facilitée

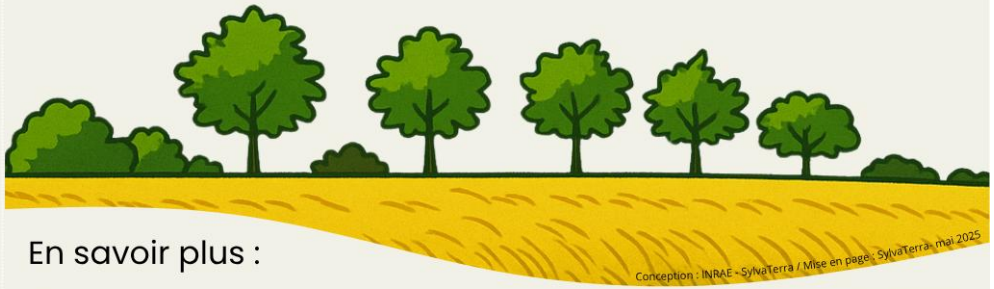
À retenir

- ✓ L'arbre **tamponne les extrêmes climatiques**
- ✓ Participe à **maintenir une humidité favorable au sol**
- ✓ Peut **réduire les stress thermiques** pour les cultures
- ✗ Compétition possible en surface en période sèche

Témoignages

"La présence régulière d'arbres permet de façon globale de mieux résister à la sécheresse. On sent bien qu'il fait plus frais sous les arbres. C'est un levier d'adaptation au changement climatique"

"Au delà de l'effet microclimat, je constate au quotidien que les arbres apportent le gîte et le couvert pour tous les auxiliaires des cultures"



En savoir plus :

Site du projet :
https://potage.hub.inrae.fr/fr-eau-mage

Contact : Nicolas Marron - INRAE : nicolas.marron@inrae.fr

Conception : INRAE - SylvaTerra / Mise en page : SylvaTerra, mai 2025

Annexe 5A. Plaquette de présentation du projet et de ses principaux résultats, réalisée en 2025.

Annexe 5B. Plaquette de présentation du projet et de ses principaux résultats au format « kakémono ».

FR-eau-MAGE

Figurer la Ressource en eau et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand-Est

L'ARBRE, ALLIÉ FACE AU CLIMAT

Objectifs du projet

1. Mieux comprendre l'**impact des arbres dans les parcelles agricoles** sur :
   - Le microclimat (température, humidité)
   - La ressource en eau (sol, atmosphère)
2. Identifier des **indicateurs agroécologiques utiles** pour les agriculteurs du Grand-Est

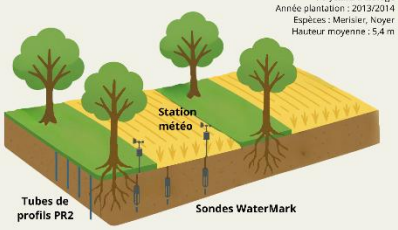
Partenaires

laé laboratoire agronomie et environnement · UMR Silva · SylvaTerra · agrivair · OFB Office français de la biodiversité

et les agriculteurs engagés

6 sites étudiés dans le Grand-Est





Des capteurs mesurent température, humidité, et tension de l'eau dans le sol

Méthode

- Stations météo pour mesurer **température, humidité, précipitation**
- Sondes dans le sol (30 cm et 60 cm) pour mesurer l'**humidité**
- Comparaison entre **zone arborée et zone sans arbre**
- Suivi sur plusieurs années (2022–2025)

Résultats clés et bénéfices pour les agriculteurs

Effets observés (2022-2024)

Température :
- Jusqu'à 2°C plus frais près de l'arbre en été
- Températures plus stables en journée et parfois plus chaudes en hiver

Humidité de l'air :
- En moyenne +4 % sous les arbres
- Effet tampon hygrométrique plus marqué au printemps

Amplitudes journalières :
- Réduction jusqu'à -3°C en température
- Humidité journalière moins fluctuante

Précipitations localisées :
- Quantités parfois plus élevées au pied des arbres (effet canalisation)

État du sol :
- Plus sec en surface près des arbres en été → compétition racinaire ?
- Plus humide en profondeur en hiver → infiltration facilitée

À retenir

- ✓ L'arbre **tamponne les extrêmes climatiques**
- ✓ Participe à **maintenir une humidité favorable au sol**
- ✓ Peut **réduire les stress thermiques** pour les cultures
- ✗ Compétition possible en surface en période sèche

Témoignages

"On sent bien qu'il fait plus frais sous les arbres, même pour les bêtes."
William, agriculteur à Orbigny-au-Mont (52)

"L'effet microclimatique est net. C'est un vrai levier d'adaptation au changement climatique."
Maxence, agriculteur à Quincey (10)

En savoir plus :

Site du projet :
https://potage.hub.inrae.fr/fr-eau-mage

Contact : Nicolas Marron - INRAE : nicolas.marron@inrae.fr

Conception : INRAE - Sylvaterra / Mise en page : Sylvaterra mai 2025

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr

FR-eau-MAGE

Figurer la Ressource en EAU et le Microclimat des parcelles Agroforestières du Grand-Est

Nicolas Marron[1], Séverine Piutti[2], Pierrick Priault[1], Erwin Dallé[1], Dempsey Princet[3]

1. UMR Silva, 2. UMR Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE), 3. SylvaTerra

Dans le Grand-Est, l'agroforesterie intra-parcellaire se développe lentement (73 parcelles répertoriées en 2023)

➔ Besoin d'indicateurs des services rendus par l'arbre en milieu agricole

Les effets de l'agroforesterie sont plus ou moins connus sur le stockage de carbone, la lixiviation de NO_3^-, les flux de GES, la biodiversité et... le microclimat (température et humidité)

➔ Est-ce que l'arbre en milieu agricole a le potentiel de réduire les effets néfastes du changement climatique sur les cultures dans le Grand-Est ?

Dans le Grand-Est, on observe :

- Une augmentation moyenne de 0,3°C par décennie depuis 50 ans
- Une augmentation continue du déficit hydrique (ETP / précipitations)

➔ Stress thermique et hydrique réduisant les rendements et augmentant la consommation en eau des cultures

Objectifs

- Quantifier l'impact de l'arbre sur la dynamique journalière et saisonnière du microclimat (température et humidité de l'air)
- Produire des indicateurs chiffrés de la performance des parcelles en termes de bilan hydrique

dans des conditions pédoclimatiques et des systèmes de culture représentatifs du Grand-Est

Aspects novateurs

1. Des services rendus par l'arbre en milieu agricole peu étudiés
2. Qui plus est dans les conditions du Grand-Est
3. Sur un réseau unique de plantations « *in natura* » progressivement instrumenté et caractérisé

Fiche d'identité du projet

- Financement : Office Français de la Biodiversité (OFB)
- Durée : 4 ans (décembre 2021 – décembre 2025)
- Partenariat : Silva (coordinateur), Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE), SylvaTerra + Six agriculteurs du Grand-Est

Réseau de parcelles agroforestières

- Biologiques *vs.* conventionnelles
- Grandes cultures *vs.* prairies
- Bois d'œuvre (merisier, frêne, érable)
- Environ 40 arbres par hectare
- Arbres plantés entre 2012 et 2016



Instrumentation des parcelles

- Stations météo MicroMetos de Pessl Instrument ➔ Suivi continu d'humidité et de température atmosphérique
- Sondes WaterMark (30 et 60 cm de profondeur) ➔ Suivi continu d'humidité du sol

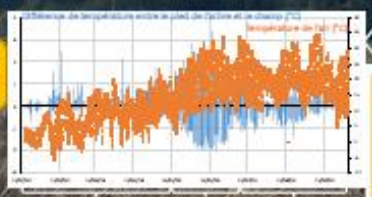
dans le champ (témoin non affecté par l'arbre) et au pied de l'arbre

- Tubes pour sondes de profil PR2 sur le linéaire sous-arboré (LSA) (10, 20, 30, 40, 60 et 100 cm de profondeur) à quatre distances de l'arbre ➔ Suivi ponctuel de teneur en eau du sol





Hypothèses et éléments de réponse : L'arbre en milieu agricole va...

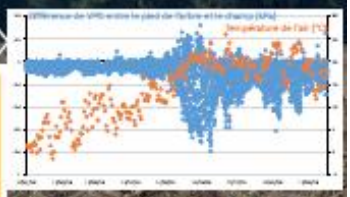


Jusqu'en mai, abords de l'arbre plus chauds que le plein champ (+0,4°C)

Phase la plus active de croissance de l'arbre : effet plus marqué mais erratique

Effet s'estompe quand la croissance de l'arbre ralentit

Tamponner les températures extrêmes



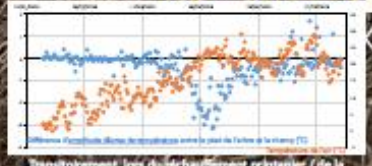
Le déficit de pression de vapeur de l'air (VPD) est toujours plus faible près de l'arbre

L'effet est exacerbé au printemps

Maintenir une humidité de l'air

Réduire les amplitudes de variation (température et humidité)

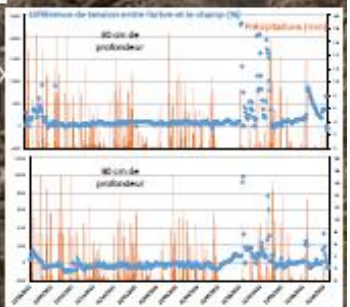
Permettre un partage optimisé de l'eau avec la culture



Transitoirement, lors du réchauffement printanier / de la reprise de végétation de l'arbre, la température journalière varie beaucoup moins près de l'arbre

Cet effet s'estompe lorsque la température de l'air reste forte pendant l'été

➔ Effet tampon de l'arbre transitoire lorsque sa croissance ralentit



Pendant la saison sèche, plus sec près de l'arbre (différence de tension plus élevée), en surface comme en profondeur (mais différence beaucoup plus marquée à 30 cm)

Pendant la saison humide, également plus sec près de l'arbre (dans une moindre mesure) en surface

Mais plus humide près de l'arbre en profondeur



Plus d'infos : https://potage.hub.inrae.fr/fr-eau-mage

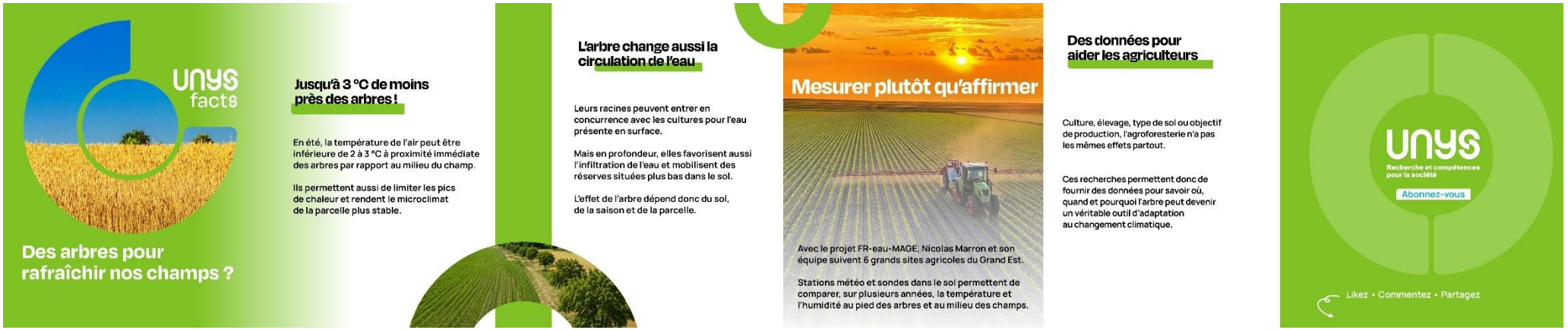
Annexe 6. Poster scientifique réalisé en 2024 pour présenter les premiers résultats de FR-eau-MAGE, notamment lors du rallye d'agroforesterie du Grand Est en septembre 2024.

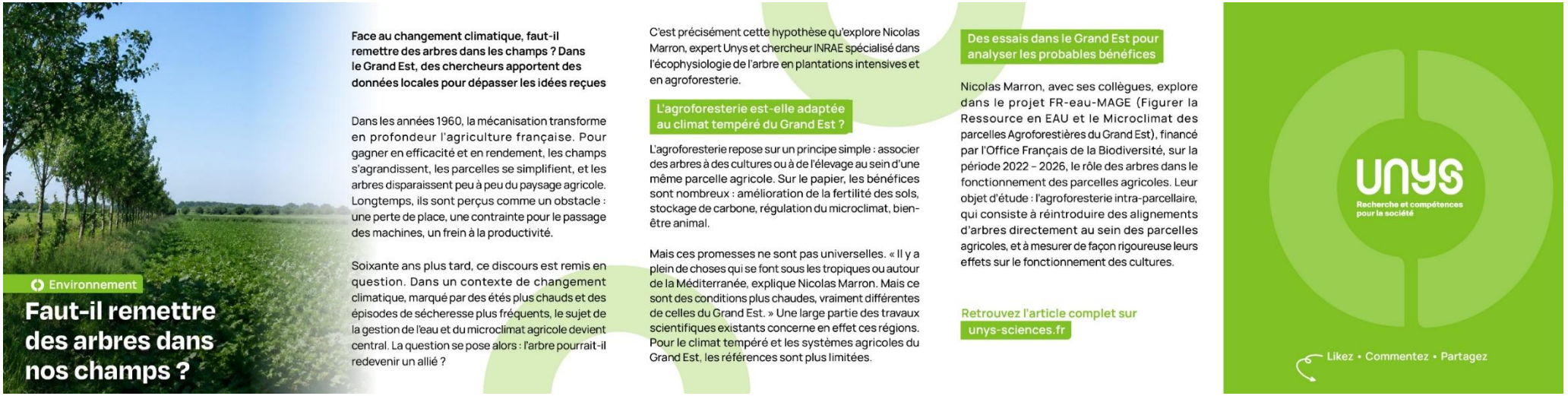
Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr



Annexe 7. Annonce des tables rondes organisées sur le stand de Nestlé Waters lors du salon international de l'agriculture (SIA 2025) autour du thème de l'agroforesterie.

54
Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr





Annexe 8A. Visuels Unys d'introduction aux entretiens et articles autour des résultats de FR-eau-MAGE.

INSTAGRAM :

🌳 **Et si quelques degrés pouvaient changer la donne dans nos champs ?**

Face à des étés plus chauds et à des épisodes de sécheresse plus fréquents, les arbres pourraient jouer un rôle dans l'adaptation des parcelles agricoles au changement climatique.
Nicolas Marron, expert Unys et chercheur INRAE, étudie leur impact sur le microclimat et la ressource en eau dans les champs du Grand Est. Et les premières observations sont concrètes : en été, la température de l'air peut être inférieure de 2 à 3 °C à proximité immédiate des arbres.

Mais sous terre, les interactions entre arbres, cultures et eau sont plus complexes. C'est tout l'enjeu du projet FR-eau-MAGE : mesurer ces effets en conditions réelles pour dépasser les idées reçues sur l'agroforesterie.

👉 **Découvrez notre article complet sur unys-sciences.fr (lien en bio).**
#Environnement #Agriculture #Agroforesterie
Unys, avec le soutien de l'ANR TAGS :
ANR
Inrae
Univ Lorraine
Agroparistech https://www.instagram.com/agroparistech/?hl=fr

LINKEDIN :

🌳 **L'arbre peut-il devenir un outil d'adaptation des parcelles agricoles au changement climatique ?**

Dans le Grand Est, Nicolas Marron, expert Unys et chercheur INRAE spécialisé dans l'écophysiologie de l'arbre en agroforesterie, cherche à apporter des données concrètes à cette question.

Avec le projet FR-eau-MAGE, six sites agricoles sont suivis afin de comparer ce qui se passe à proximité des arbres et au milieu des parcelles. Les premiers résultats montrent notamment qu'en été, la température de l'air peut être inférieure de 2 à 3 °C près des arbres. Leur présence modifie également la circulation de l'eau dans le sol, avec des effets qui varient selon la profondeur, la saison et les conditions de la parcelle.

L'objectif n'est donc pas de présenter l'agroforesterie comme une solution universelle, mais de mesurer ses effets en conditions réelles afin de fournir aux agriculteurs des indicateurs adaptés à leurs productions et à leurs objectifs.

👉 **Découvrez notre article complet ici : LIEN**
#Environnement #Agroforesterie #Agriculture
Unys, avec le soutien de l'ANR TAGS :
ANR
INRAE Grand Est-Nancy & INRAE Grand Est-Colmar
Univ Lorraine
Nicolas Marron https://www.linkedin.com/in/nicolas-marron-9412aa33a/
UMR Silva https://www.linkedin.com/in/umr-silva/
https://www.linkedin.com/school/agroparistech/?originalSubdomain=fr

Annexe 8B. Posts INSTAGRAM et LINKEDIN relatifs aux entretiens et articles Unys autour des résultats de FR-eau-MAGE.

.

8e CONGRÈS EUROPÉEN DE L'AGROFORESTERIE

Présentation des interventions françaises - juin 2026

4ème résumé

FR-eau-MAGE : Figurer la ressource en eau et le microclimat des parcelles agroforestières du Grand Est

par Nicolas Marron (Inrae)

Dans la région Grand Est, l'agroforesterie intraparcellaire se développe progressivement. Le contexte régional fait état d'une augmentation constante du déficit hydrique annuel. Si la théorie suggère un effet positif des arbres sur les ressources en eau dans les systèmes agroforestiers, ainsi qu'un effet rafraîchissant de l'atmosphère à proximité des arbres, des preuves concrètes permettant de convaincre les agriculteurs de ces effets bénéfiques font encore défaut, notamment dans le Grand Est.

Notre objectif était de démontrer l'effet des arbres sur la disponibilité en eau et le microclimat d'un réseau de six parcelles agroforestières dans la région Grand Est. Ces parcelles sont suivies depuis 2018 en termes de productivité, de propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, de composition floristique du sous-bois, etc. Le but final est de produire des indicateurs de performance quantifiables pour les parcelles étudiées, relatifs à ces services.

La température et l'humidité de l'air, ainsi que la teneur en eau volumique du sol (à 30 et 60 cm de profondeur), ont été suivies en continu en 2023 et 2024 à l'aide de stations météorologiques et de sondes dans le sol. Ces paramètres ont été mesurés à proximité d'un arbre et au milieu de la culture, là où l'arbre n'exerce plus d'influence. La différence entre ces deux emplacements pour les paramètres microclimatiques a été associée aux caractéristiques du site (production, climat global, conditions du sol, etc.) par des analyses de corrélation, notamment l'analyse en composantes principales (ACP).

L'effet des arbres dépend évidemment des caractéristiques de la parcelle : âge des arbres, orientation des rangs, type de couverture végétale, etc. Sur les parcelles les plus densément arborées, la température peut varier de 2 à 3 °C à proximité des arbres par rapport au champ ouvert, et l'humidité de l'air de plus de 10 %. Un effet de refroidissement et d'humidification de l'atmosphère est observé à proximité des arbres en début d'été, et cet effet est encore plus marqué par temps chaud. Sans surprise, ces effets semblent proportionnels à la taille des houppiers des arbres et dépendent donc également du degré d'élagage pratiqué par les agriculteurs sur les différents sites.

Sur tous les sites, les arbres accélèrent le dessèchement du sol, mais cet effet diminue avec la croissance de l'arbre, probablement en raison de la combinaison de trois facteurs : **(1)** en grandissant, l'arbre puise l'eau dans des horizons du sol plus profonds et distincts que la couche herbacée ; **(2)** l'ombrage projeté par les arbres sur la culture ou le pâturage augmente avec le temps, réduisant la demande évaporative de l'air pour les plantes herbacées et donc leur transpiration ; **(3)** la production de litière (aérienne et racinaire) augmente avec la croissance de l'arbre, influençant ainsi la macroporosité du sol et sa capacité de rétention de l'eau.

Il apparaît que l'**emprise de l'arbre sur la parcelle** est le **facteur prédominant influençant le microclimat et l'eau du sol**. Si l'impact de l'arbre sur le microclimat est **généralement positif** (atténuation des extrêmes), son **effet sur l'eau du sol est plutôt négatif** (compétition entre l'arbre et la strate herbacée) jusqu'à ce que l'arbre atteigne une taille suffisante pour que ces **effets négatifs s'atténuent**.

Le projet, mené en collaboration entre les unités Silva et LAE (Nancy) et le consultant agroforestier SylvaTerra, était financé par l'OFB (Office Français de la Biodiversité) entre 2022 et 2026.

Mots-clés : Température et humidité de l'air, teneur en eau du sol, effet tampon, croissance et vigueur des arbres, analyse de corrélation, services écosystémiques

Annexe 9. Diffusion via le RMT Agroforesteries du résumé en français de l'intervention réalisée sur les résultats de FR-eau-MAGE au cours du congrès européen d'agroforesterie de Neuchâtel, Suisse (22-26 juin 2026).

57

Office français de la biodiversité
Pôle de Vincennes
« Le Nadar » Hall C - 5 Square Félix Nadar
94300 Vincennes
www.ofb.gouv.fr