AgrivoltaÃ¯Â¸sme, quand lâ€™Ã©nergie solaire rencontre lâ€™agriculture

Dans un monde oÃ¹ la population croÃ®t sans cesse et oÃ¹ les besoins en nourriture et en Ã©nergie augmentent simultanÃ©ment, la question de l'usage des terres agricoles se pose avec une intensitÃ© nouvelle. Faut-il rÃ©server ces espaces aux cultures destinÃ©es Ã l'alimentation ou bien y dÃ©ployer des infrastructures Ã©nergÃ©tiques, comme les fermes solaires, indispensables Ã la transition Ã©nergÃ©tique. Jusqu'Ã prÃ©sent, cette opposition semblait difficilement Ã©vitable. Une solution originale propose de dÃ©passer ce dilemme : l'agrivoltaÃ¯Â¸sme. Les tenants et les aboutissants de cette pratique avec Philippe DROBINSKI, co-auteur d'une Ã©tude rÃ©cente publiÃ©e dans Agricultural and Forest Meteorology. H2o septembre 2025.Â

AGRIVOLTAÃ•SME

Quand l'Ã©nergie solaire rencontre l'agriculture

Philippe DROBINSKI

directeur de recherche au CNRS et professeur Ã l'Ã‰cole polytechnique

version adaptÃ©e de l'article :

Rapella L., Viovy N., Polcher J., Faranda D., Badosa J., Drobinski P., 2025:

Simulating generic agrivoltaic systems with ORCHIDEE:

Model development and multi-case study insights

Agricultural and Forest Meteorology, Volume 371, 15 August 20251

ouverture :Â illustration extraite du magazine Ferme Solaire

H2o - septembre 2025

Â

RÃ©sumÃ© - Face Ã la pression croissante sur les terres agricoles, un dilemme s'impose : faut-il produire de la nourriture ou de l'Ã©lectricitÃ© ? L'agrivoltaÃ¯Â¸sme propose de dÃ©passer ce choix en combinant les deux usages : des panneaux photovoltaÃ¯Â¸ques installÃ©s au-dessus des cultures permettent de gÃ©nÃ©rer de l'Ã©nergie tout en continuant Ã exploiter les

champs. Une Ã©quipe de chercheurs menÃ©e par Lia Rapella a publiÃ© en 2025 une Ã©tude dans Agricultural and Forest Meteorology. Les scientifiques ont dÃ©veloppÃ© un modÃ¨le informatique capable de simuler l'impact des panneaux sur les cultures et sur l'eau Ã grande Ã©chelle. Ils ont testÃ© deux configurations (panneaux mobiles suivant le soleil, contre le soleil et panneaux fixes inclinÃ©s) dans deux rÃ©gions europÃ©ennes contrastÃ©es : l'Espagne mÃ©diterranÃ©enne et les Pays-Ba tempÃ©rÃ©s. Les rÃ©sultats rÃ©vÃ¨lent un fort contraste. En Espagne, l'agrivoltaÃ¯sme amÃ©liore la productivitÃ© agricole, su en annÃ©e sÃ¨che. L'ombre des panneaux rÃ©duit le stress hydrique, limite l'Ã©vaporation et augmente l'efficacitÃ© d'usage de l'eau. Le rendement global des terres, combinant production alimentaire et production d'Ã©nergie, est supÃ©rieur Ã celui obtenu par des usages sÃ©parÃ©s. Dans le nord de l'Europe, en revanche, l'ombre des panneaux limite la photosynthÃ¨se dans un climat dÃ©jÃ peu ensoleillÃ©. Les rendements agricoles diminuent et les bÃ©nÃ©fices hydriques sont minimes, l'eau Ã©tant abondante. Ces rÃ©sultats montrent que l'agrivoltaÃ¯sme n'est pas une solution universelle. Il se rÃ©vÃ¨le particuliÃ¨rement adaptÃ© aux climats secs et ensoleillÃ©s, oÃ¹ il protÃ¨ge les cultures et optimise l'usage des ressources. Dans les rÃ©gions plus humides, il conserve un intÃ©rÃªt stratÃ©gique : produire de l'Ã©nergie renouvelable sans rÃ©duire la surface agricole. En somme, l'agrivoltaÃ¯sme pourrait devenir l'un des piliers d'une agriculture durable, mais son succÃ¨s dÃ©pendra de son adaptation aux conditions locales.

Â

Dans un monde oÃ¹ la population croÃ®t sans cesse et oÃ¹ les besoins en nourriture et en Ã©nergie augmentent simultanÃ©ment, la question de l'usage des terres agricoles se pose avec une intensitÃ© nouvelle. Les dÃ©cideurs comme les scientifiques se demandent s'il faut rÃ©server ces espaces aux cultures destinÃ©es Ã l'alimentation ou bien y dÃ©ployer des infrastructures Ã©nergÃ©tiques, comme les champs de panneaux photovoltaÃ¯ques, indispensables Ã la transition Ã©nergÃ©tique. Jusqu'Ã prÃ©sent, cette opposition semblait difficilement Ã©vitable. Mais une solution originale, qui fait de plus en plus parler d'elle, propose de dÃ©passer ce dilemme : l'agrivoltaÃ¯sme.

L'agrivoltaÃ¯sme consiste Ã installer des panneaux solaires sur des terres agricoles tout en permettant la poursuite des cultures. Les parcelles deviennent alors Ã la fois productrices de nourriture et d'Ã©lectricitÃ©. Cette double vocation sÃ©duit, car elle promet de rÃ©pondre simultanÃ©ment aux dÃ©fis de la sÃ©curitÃ© alimentaire et de la production d'Ã©nergie renouvelable, tout en limitant la compÃ©tition pour les sols. Mais la question demeure : ce modÃ¨le hybride fonctionne-t-il partout et dans toutes les conditions ? Les bÃ©nÃ©fices sont-ils systÃ©matiques ou dÃ©pendent-ils des climats, des cultures et des amÃ©nagements ?

C'est prÃ©cisÃ©ment Ã ces questions qu'a tentÃ© de rÃ©pondre une Ã©quipe de chercheurs franÃ§ais dans une Ã©tude publ l'Ã©tÃ© 2025 dans la revue Agricultural and Forest Meteorology. Un outil de simulation inÃ©dit a Ã©tÃ© dÃ©veloppÃ© afin d'Ã© grande Ã©chelle l'effet des systÃ¨mes agrivoltaÃ¯ques sur les cultures, l'eau et l'Ã©nergie. Leurs rÃ©sultats mettent en lumiÃ¨re une rÃ©alitÃ© nuancÃ©e : si l'agrivoltaÃ¯sme peut reprÃ©senter une solution particuliÃ¨rement pertinente dans certaines rÃ©gions, il peut en revanche s'avÃ©rer moins avantageux, voire contre-productif, dans d'autres.

Contexte : le nexus Eau-Ã‰nergie-Alimentation-Ã‰cosystÃ¨mes

Pour comprendre l'intÃ©rÃªt de l'agrivoltaÃ¯sme, il est nÃ©cessaire de revenir Ã la notion de nexus Eau-Ã‰nergie-Alimentation Ã‰cosystÃ¨mes, souvent dÃ©signÃ©e par l'acronyme anglais WEFE. Ce concept rappelle que l'eau, l'Ã©nergie, la production alimentaire et la prÃ©servation des Ã©cosystÃ¨mes sont Ã©troitement liÃ©s. L'agriculture consomme d'Ã©normes quantitÃ©s d et dÃ©pend directement du climat, mais elle est aussi indispensable pour nourrir l'humanitÃ©. La production Ã©nergÃ©tique, notamment solaire, exige Ã©galement de vastes surfaces. Enfin, les Ã©cosystÃ¨mes doivent Ãªtre prÃ©servÃ©s pour garantir la

biodiversitÃ© et le bon fonctionnement du cycle global de l'eau et du carbone.

L'agrivoltaÃ¯sme se situe prÃ©cisÃ©ment Ã l'intersection de ces quatre dimensions. L'ombre des panneaux peut rÃ©duire l'Ã©vaporation des sols et protÃ©ger les plantes contre la chaleur, ce qui amÃ©liore l'usage de l'eau. Dans le mÃªme temps, les panneaux produisent de l'Ã©lectricitÃ© renouvelable, sans retirer les terres de la production agricole. Enfin, en modifiant le microclimat, ils peuvent aider Ã rendre les cultures plus rÃ©silientes face aux extrÃªmes climatiques, tout en maintenant la fertilitÃ© des sols.

Jusqu'ici, la plupart des recherches sur l'agrivoltaÃ¯sme Ã©taient menÃ©es Ã petite Ã©chelle, sur des parcelles expÃ©rimentales. Ces travaux ont permis de comprendre les effets de configurations particuliÃ¨res de panneaux sur certaines cultures. Mais pour planifier des politiques agricoles et Ã©nergÃ©tiques, il est indispensable de disposer d'Ã©valuations Ã grande Ã©chelle, qui intÃ¨grent la diversitÃ© des climats et des paysages. C'est ce qu'a permis cette Ã©tude.

RÃ©sultats principaux de l'Ã©tude

Les chercheurs ont intÃ©grÃ© dans le modÃ¨le de surfaceÂ ORCHIDEEÂ [Organising Carbon and Hydrology In Dynamic Ecosystems - Institut Pierre Simon Laplace, IPSL], incluant les processus hydriques et le fonctionnement de la vÃ©gÃ©tation, un module simulant l'effet de panneaux solaires, en considÃ©rant trois configurations : des panneaux mobiles qui suivent la trajectoire du soleil ("Sun Tracking", ST), qui vont contre la trajectoire du soleil ("Sun Anti-Tracking", SAT), et des panneaux fixes inclinÃ©s. Ils ont appliquÃ© ces configurations Ã deux contextes climatiques contrastÃ©s : la pÃ©ninsule IbÃ©rique, marquÃ©e par un climat mÃ©diterranÃ©en sec et ensoleillÃ©, et les Pays-Bas, caractÃ©risÃ©s par un climat plus hu et moins lumineux. Les simulations concernaient deux grands types de cultures : les plantes de type C3 comme le blÃ©, le riz ou le soja, et les plantes de type C4 comme le maÃ¯s ou le sorgho.Â [nota - Les plantes C3, qui sont les plus courantes, utilisent la voie de la photosynthÃ¨se C3 oÃ¹ le dioxyde de carbone est fixÃ© une fois pour produire un composÃ© Ã trois carbones ; ces plantes sont plus efficaces dans les conditions de tempÃ©rature modÃ©rÃ©e et d'humiditÃ© Ã©levÃ©e. plantes C4 utilisent pour leur part la voie de la photosynthÃ¨se C4, oÃ¹ le dioxyde de carbone est fixÃ© deux fois pour produire un composÃ© Ã quatre carbones. Elles sont plus efficaces dans les conditions de tempÃ©rature Ã©levÃ©e et de faible humiditÃ©.]

Trois dimensions du nexus ont Ã©tÃ© Ã©tudiÃ©es. La premiÃ¨re concerne le lien entre climat et alimentation, Ã travers la productivitÃ© nette des cultures. La deuxiÃ¨me porte sur l'efficacitÃ© de l'usage de l'eau, paramÃ¨tre crucial dans les rÃ©gions arides. La troisiÃ¨me explore la synergie entre agriculture et Ã©nergie grÃ¢ce au rendement Ã©quivalent des terres, indicateur qui combine la production agricole et la production photovoltaÃ¯que.

La figure 1 illustre l'impact sur la productivitÃ© agricole. Dans la pÃ©ninsule IbÃ©rique, l'agrivoltaÃ¯sme amÃ©liore nettement les rendements, surtout en annÃ©e sÃ¨che. La configuration "Sun Tracking" est la plus efficace, car l'ombre partielle protÃ¨ge les plantes du stress thermique et hydrique. Les cultures de type C3 voient leur productivitÃ© augmenter de prÃ¨s de 40 % dans certaines conditions. Ã€ l'inverse, aux Pays-Bas, l'ombre des panneaux rÃ©duit la photosynthÃ¨se et entraÃ®ne une baisse de rendement. Ce qui est bÃ©nÃ©fique sous un climat mÃ©diterranÃ©en devient donc dÃ©favorable sou un climat ocÃ©anique humide.Â

Figure 1 - Diagramme en violon des valeurs annuelles de production primaire nette (Net Primary Production, NPP) [gC m-2 y-1], en points de grille, sur la pÃ©ninsule IbÃ©rique (panneau a : C3, panneau b : C4) et les Pays-Bas (panneau c : C3,

panneau d : C4), pour chaque configuration analysÃ©e. Les points indiquent la valeur moyenne pour chaque configuration. Les lignes noires en pointillÃ©s correspondent Ã la valeur moyenne de contrÃ´le pour chaque annÃ©e.

Â

La figure 2 prÃ©sente l'efficacitÃ© d'utilisation de l'eau. En Espagne, les panneaux amÃ©liorent considÃ©rablement l'efficacitÃ© hydrique, car les plantes maintiennent une photosynthÃ¨se Ã©levÃ©e tout en transpirant moins. L'ombre rÃ©duit l'Ã©vaporation du sol et protÃ¨ge les feuilles du rayonnement excessif, ce qui permet de produire davantage de biomasse par litre d'eau utilisÃ©. Aux Pays-Bas, les bÃ©nÃ©fices sont faibles, car l'eau y est abondante et l'agrivoltaÃ¯sme ne change pas fondamentalement la donne.

Figure 2 -Â Graphique en violon de la variation relative annuelle d'efficacitÃ© d'usage de l'eau (Water Use Efficiency, WUE), valeurs en points de grille, sur la pÃ©ninsule IbÃ©rique (panneau a : C3, panneau b : C4) et les Pays-Bas (panneau c : C3, panneau d : C4), pour chaque configuration analysÃ©e. Les points indiquent la valeur moyenne pour chaque configuration. La ligne grise en pointillÃ©s correspond Ã la valeur 0.

Â

La figure 3 montre le rendement Ã©quivalent des terres. Cet indicateur dÃ©passe largement 1 dans la pÃ©ninsule IbÃ©rique, ce qui signifie que la combinaison agriculture-Ã©nergie est plus efficace que les deux usages sÃ©parÃ©s. Les rÃ©sultats sont particuliÃ¨rement marquÃ©s pour les cultures C3 en annÃ©e sÃ¨che. Aux Pays-Bas, le rendement Ã©quivalent est proche de 1, parfois lÃ©gÃ¨rement infÃ©rieur, ce qui indique que l'intÃ©rÃªt se limite surtout Ã la possibilitÃ© de produire de l'Ã©nergie sa sacrifier de surfaces agricoles.

Figure 3 -Â Diagramme en violon des valeurs annuelles de rendement Ã©quivalent des terres (Land Efficiency Ratio, LER), en points de grille, sur la pÃ©ninsule IbÃ©rique (panneau a : C3, panneau b : C4) et les Pays-Bas (panneau c : C3, panneau d : C4), pour les configurations SAT et ST. Les points indiquent la valeur moyenne pour chaque configuration.

Â

Implications pour l'Europe et au-delÃ

Ces rÃ©sultats mettent en lumiÃ¨re une rÃ©alitÃ© essentielle : il n'existe pas de recette universelle. Dans les rÃ©gions sÃ¨ches et ensoleillÃ©es, comme le sud de l'Europe, le Maghreb, le Moyen-Orient ou certaines zones d'Asie et d'AmÃ©rique, l'agrivoltaÃ¯sme apparaÃ®t comme une innovation prometteuse. Il permet de protÃ©ger les cultures contre les canicules et la sÃ©cheresse, d'Ã©conomiser l'eau et de maximiser la valeur des terres. Dans les rÃ©gions plus humides et nuageuses, comme l'Europe du Nord ou le Canada, ses bÃ©nÃ©fices agricoles sont limitÃ©s. L'agrivoltaÃ¯sme conserve malgrÃ© tout un intÃ©rÃªt, car il permet de produire de l'Ã©lectricitÃ© renouvelable sans rÃ©duire les surfaces cultivÃ©es, ce qui est crucial dans des pays densÃ©ment peuplÃ©s. Cette diversitÃ© de rÃ©sultats appelle Ã des stratÃ©gies diffÃ©renciÃ©es. Les configurations panneaux doivent Ãªtre adaptÃ©es aux climats et aux cultures. Les dÃ©cideurs doivent intÃ©grer ces rÃ©sultats dans leurs politiques agricoles et Ã©nergÃ©tiques, en tenant compte des compromis entre production alimentaire, Ã©nergie et prÃ©servation des ressources en eau.

Conclusion

L'agrivoltaÃ¯sme incarne la complexitÃ© de la transition Ã©cologique. Il ne suffit pas d'additionner des solutions dites vertes, il faut les adapter aux rÃ©alitÃ©s locales et aux conditions climatiques. L'Ã©tude montre que l'agrivoltaÃ¯sme peut, dans certaines rÃ©gions, reprÃ©senter une rÃ©ponse puissante aux dÃ©fis conjoints de l'eau, de l'Ã©nergie et de l'alimentation. Dans d'autres, son intÃ©rÃªt se limite au gain foncier et Ã la production d'Ã©nergie renouvelable. En dÃ©finitive, cette recherche nous invite Ã penser l'usage des terres de maniÃ¨re plus intelligente, partagÃ©e et rÃ©siliente. Elle rappelle que la durabilitÃ© ne se dÃ©crÃ¨te pas de maniÃ¨re uniforme, mais qu'elle se construit en fonction des contextes et des choix collectifs. L'agrivoltaÃ¯sme n'est pas une solution miracle, mais il pourrait devenir, s'il est bien pensÃ©, l'un des piliers d'une agriculture et d'une Ã©nergie compatibles avec les grands dÃ©fis du XXIe siÃ¨cle. â–„