



Concertation publique sur le décret d'application de la loi APER concernant l'agrivoltaïsme

Contribution de chercheurs INRAE

16/01/2024

Dans sa version soumise à consultation publique, le décret d'application ENER2321918D de la loi APER concernant l'agrivoltaïsme présente trois faiblesses majeures, qui découlent de la non prise en compte des connaissances scientifiques acquises sur le fonctionnement des systèmes agrivoltaïques. Nous détaillons dans cette contribution ces faiblesses, et proposons des alternatives plus solides.

Ces faiblesses sont les suivantes :

- Utilisation d'un indicateur non pertinent pour caractériser la compétition pour la lumière exercée par les panneaux photovoltaïques sur la production agricole végétale
- Mise en place d'un seuil de puissance de l'installation électrique qui modifie les règles de validation et de contrôle, alors que rien ne justifie un tel seuil du point de vue du fonctionnement du système et de sa durabilité
- Incohérence entre le seuil maximal de réduction de rendement exigé et le taux maximal autorisé de couverture par les panneaux photovoltaïques. Cette incohérence est incompatible avec les exigences de la loi APER.

Par ailleurs nous soulignons trois points de vigilance majeurs inclus dans ce projet d'arrêté qui ralentiront fortement la mise en œuvre de l'agrivoltaïsme :

- Traitement de faveur accordé aux installations avec élevage ou sous serre, que rien ne justifie, et qui va tuer la filière agrivoltaïque avec cultures
- Inefficacité du système de contrôle, qui doit prévoir des contrôles inopinés, car des contrôles programmés à l'avance permettent tous les abus.
- Mise en difficulté de l'ADEME et des chercheurs à qui on va demander de définir une liste de technologies éprouvées sans avoir les moyens de le faire

Ces points sont explicités dans la note qui suit, avec pour chaque point une proposition de modification.

Préambule

L'agrivoltaïsme est une opportunité pour la transition énergétique de nos sociétés, à condition qu'il soit durable, et donc que la production agricole sous les installations agrivoltaïques soit rentable. Le dernier rapport du JRC [1] souligne que 50% de la production photovoltaïque européenne devra être installée sur des terres agricoles. C'est aussi le sens de l'article de Nijssse et al paru en 2023 dans Nature Communications [2]. Il est donc urgent de libérer ce potentiel, en proposant des trajectoires réalisables et socialement acceptables. Pour que l'agrivoltaïsme soit durable, il faut que la production agricole sous les installations soit économiquement viable. En effet, si elle ne l'est pas, les agriculteurs cesseront de cultiver, et on aura *in fine* artificialisé des terres agricoles et réduit la production agricole. Les revenus tirés du loyer payé par les opérateurs électriciens ne seront jamais une raison pour continuer à cultiver à perte sous les installations, faute de rendement.

L'échec initial des serres photovoltaïques (une grande partie des serres photovoltaïques de première génération ne sont pas cultivées, car elles sont trop sombres) ne doit pas se reproduire en agrivoltaïsme. Il faut donc partager le soleil de manière intelligente, et pour cela éviter les systèmes trop denses en panneaux photovoltaïques.

Le projet de décret d'application ENER2321918D de la loi APER concernant l'encadrement de la mise en œuvre des systèmes agrivoltaïques nécessite d'être corrigé pour tenir compte des connaissances scientifiques disponibles.

Incohérence du décret avec les connaissances scientifiques disponibles

Note méthodologique préalable

Une synthèse des connaissances scientifiques disponibles sur la productivité des cultures et pâtures sous systèmes agrivoltaïques a été publiée en septembre 2023, avec toutes les publications disponibles en mai 2023 [3]. Elle s'appuie sur une base de données expérimentales, qui est enrichie en continu par les nouvelles publications (8 publications supplémentaires depuis mai 2023). Nous faisons le choix de n'utiliser que les données publiées dans des revues scientifiques à comité de lecture, pour des raisons déontologiques évidentes. Il faut souligner que la plupart des recherches en agrivoltaïsme sont financées par les entreprises du secteur photovoltaïque, avec des engagements de confidentialité qui freinent les publications. Nous avons eu plusieurs témoignages indiquant que lorsque les résultats ne sont pas favorables (baisse significative de rendements sous les installations agrivoltaïques), les financeurs de ces études sont réticents à les publier. De ce fait, il est probable que notre synthèse est biaisée en faveur de bons rendements sous les systèmes agrivoltaïques. Il faut donc considérer nos estimations comme optimistes.

Utilisation d'un indicateur de couverture non pertinent

Le projet de décret stipule :

Le taux de couverture de l'installation agrivoltaïque est défini comme le rapport entre la surface maximale projetée au sol des modules photovoltaïques sur la parcelle agricole mentionnée l'article R. 314-108 et la surface de la parcelle agricole définie à l'article R. 314-108, dans des conditions normales d'utilisation.

Le décret doit s'appuyer sur des indicateurs pertinents. La surface des panneaux projetée verticalement au sol n'est pas un bon indicateur de l'ombrage induit par une installation photovoltaïque sur les plantes. Il faut utiliser pour cela le vrai taux de couverture, qui rapporte la surface **totale** des panneaux à la surface au sol, et est valable pour tous les systèmes, même ceux avec des panneaux verticaux (qui peuvent faire beaucoup d'ombre). Cet indice est utilisé partout dans le monde (sous le nom anglais de GCR, Ground Coverage Ratio). Il est encore temps de revenir à cet

indicateur pertinent, qui garantira un traitement équitable de toutes les technologies, y compris de nouvelles technologies non encore disponibles. Une note technique a été produite à partir de la synthèse des résultats scientifiques disponibles [4]. Elle propose un mode d'encadrement et de validation des projets agrivoltaïques, basée sur le calcul d'un taux de couverture ajusté qui tient compte des spécificités de chaque installation. Cette note a été ensuite simplifiée pour une inclusion aisée dans le décret d'application, et propose le mode de calcul de cet indicateur [5].

En conservant l'indicateur actuel, on aura des conséquences très néfastes et très rapides :

- Systèmes agrivoltaïques avec panneaux verticaux ou très inclinés non limités en taux de couverture, et pouvant donc adopter des densités de panneaux très élevées (en serrant les lignes de panneaux ou en mettant des panneaux plus hauts)
- Augmentation de l'inclinaison des panneaux fixes par les constructeurs pour obtenir des GCR plus élevés en respectant ce critère inapproprié
- Impossibilité d'évaluer objectivement les systèmes à panneaux semi-transparents
- Impossibilité d'évaluer objectivement avec ce critère les systèmes à panneaux mobiles qui suivent la trajectoire du soleil (tracking solaire), et notamment impossibilité de tenir compte de leur compétitivité très forte avec les cultures résultant de leur mobilité
- Impossibilité de valoriser les systèmes vertueux tels que les systèmes à panneaux mobiles avec effacement au profit des cultures aux moments où la culture a besoin de lumière (tracking agricole).

L'indicateur actuel est non seulement inapproprié, mais il biaise totalement la concurrence entre les technologies en favorisant les systèmes à panneaux verticaux ou mobiles sans tracking agricole.

Proposition : utiliser le taux de couverture ajusté basé sur le GCR, en suivant la méthodologie (très simple) explicitée dans nos notes techniques [4] [5].

Introduction d'un seuil de puissance pour changer de régime de validation

Le projet de décret indique :

Pour les technologies de plus de 10 MW n'étant pas couvertes par cet arrêté, ce taux de couverture n'excède pas 40%.

Pourquoi les centrales à puissance supérieure à 10 MWc seraient-elles limitées à un taux de couverture projetée de 40%, alors que les plus petites centrales pourraient aller au-delà ? Il n'existe aucune raison liée au fonctionnement de l'installation du point de vue agricole.

Par ailleurs, la terminologie « technologies » n'est pas appropriée. Ce ne sont pas les « technologies » qui sont visées ici, mais les « installations ». Une technologie n'a pas de puissance, une installation en a une.

Il est étonnant de spécifier en fin d'exposé une limite de puissance aux installations leur prévoyant un régime dérogatoire. Il serait plus clair de le préciser en début d'exposé. Mais nous proposons de supprimer cette distinction, que rien ne justifie du point de vue de la production agricole, et de mettre le même taux maximal de couverture pour toutes les installations. Soit une technologie est compatible avec une production agricole satisfaisante, soit elle ne l'est pas. La dimension de l'installation ne change rien à ce critère. Cette disposition induit un effet de seuil énorme, avec le risque de voir les projets artificiellement saucissonnés pour rester en dessous de la limite de 10 MWc, afin de pouvoir bénéficier de l'absence de plafond de taux de couverture. On rentre alors dans des raisonnements très pervers.

Proposition : supprimer cette distinction, et indiquer un plafond de taux de couverture unique pour toutes les installations

Utilisation d'un taux maximal de couverture beaucoup trop élevé

L'indication d'un taux maximal de couverture en surface projetée de 40% (pour les grandes installations), donc un GCR proche de 50% (compte tenu des inclinaisons moyennes des panneaux fixes en France métropolitaine), et l'absence de taux de couverture maximale pour les petits projets sont de très mauvais signaux qui vont justifier des projets désastreux pour l'image de la filière agrivoltaïque.

Une installation à 50% de GCR est quasiment identique à une centrale photovoltaïque au sol (GCR de 50 à 60%) et entrainera inéluctablement une forte diminution de la production agricole moyenne [1]. De telles installations menacent directement à la fois notre souveraineté alimentaire, et l'objectif de production renforcée de biomasse, nécessaire à la transition agro-écologique de notre agriculture.

Pour évaluer l'impact des systèmes agrivoltaïques sur la production agricole, il sera nécessaire de distinguer les cultures récoltées pour leur biomasse totale et celles dont on ne récolte qu'une partie (grain, fruit, tubercule). Il sera également important de distinguer les cultures pérennes (pour lesquelles les réserves jouent un rôle important, entrainant des effets interannuels à moyen terme) et les plantes annuelles. L'impact ne sera également pas le même sur les cultures d'hiver (sensibles à l'ombre très forte induite par les systèmes agrivoltaïques quand le soleil est bas en hiver) et les cultures d'été. Nous disposons pour l'instant d'une base de données restreintes, qui ne permet pas de mettre en évidence des différences significatives entre ces différents cas de cultures.

La première synthèse des résultats disponibles, publiée en septembre 2023, a été depuis affinée et complétée avec la prise en compte de nouveaux résultats expérimentaux dans une publication qui sera disponible très prochainement. Il s'agit du chapitre 5 (The agronomy of crops in agrivoltaic systems) de l'ouvrage « Varieties of Agrivoltaics », dont les éditeurs sont Constantin Klyk et Stephan Schindele, et qui sera publié aux éditions IET en 2024 [6]. La figure ci-dessous en est extraite.

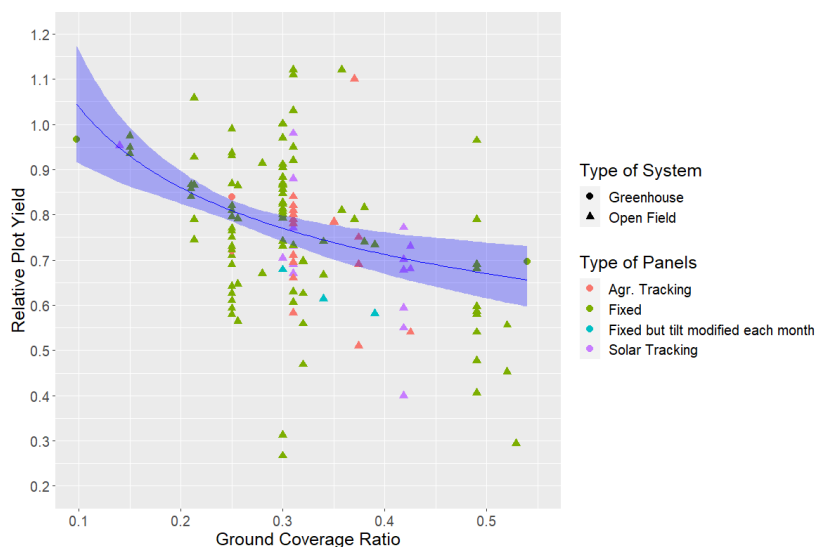


Figure 1 : Relation entre le taux de couverture (GCR) et le rendement de la zone cultivée dans des parcelles agricoles sous système agrivoltaïque. Figure actualisée avec l'ensemble des résultats disponibles au 30 novembre 2023 [6].

Cette figure utilise un ajustement allométrique ($RPY = \alpha \cdot GCR^{\beta}$). Cet ajustement surestime les rendements pour de forts GCRs. Nous travaillons actuellement sur des ajustements plus adaptés, passant par le point [0,1] (pas de panneaux, rendement relatif égal à 1) et par le point [1,0] (100% de couverture, pas de lumière au sol, rendement nul). Un tel ajustement va beaucoup mieux rendre

compte de la baisse du rendement aux forts GCRs. Il est donc probable que nos prochaines publications seront plus pessimistes sur les rendements avec de forts GCRs, sauf, probablement, avec des systèmes mobiles avec effacement au profit des cultures.

Après correction pour tenir compte de la partie de la parcelle non cultivable ou récoltable (estimée ici à 10%, valeur maximale retenue par le décret), on obtient les valeurs suivantes de pertes de rendement parcellaire pour différents taux de couverture.

GCR (en %)	Taux de couverture selon le projet de décret pour une inclinaison des panneaux de 30° (en %)	Baisse moyenne de rendement sur la zone cultivée (en %)	Baisse moyenne de rendement parcelle pour 10% de parcelle non cultivée/récoltée (en %)	Intervalle de confiance à 5% de la baisse de rendement parcelle (en %)
10	9	0	10 (limite projet décret)	-2/17
20	17	17	25	22/27
30	26	26	33	31/35
40	35	31	38	34/43
46	40 (taux max projet décret)	34	40	35/44
50	43	(35)	(42)	(36/47)

Tableau 1 : Valeurs de rendement parcellaire prévisibles pour différentes valeurs de GCR sous des systèmes agrivoltaiques (d'après [6])

Les valeurs de rendements pour un GCR de 50% sont entre parenthèses, car leur estimation est médiocre avec la forme de l'ajustement utilisé et le manque de données disponibles. Les deux lignes colorées correspondent à l'exigence de baisse maximale de rendement prévue par le projet de décret (fond jaune) et au taux de couverture maximale prévue par le projet de décret (fond rouge).

On voit que pour limiter la perte de rendement parcellaire à 10%, il faudrait des taux de couverture très faibles, de l'ordre de 10%. Et inversement, si on applique des taux de couverture de 40%, on aura des baisses de rendements parcellaires de l'ordre de 40%.

Cette synthèse montre donc que, pour garantir une production agricole économiquement viable, on ne doit pas faire trop d'ombre aux cultures, ce qui est en soi une évidence. Mais cette synthèse donne des indications précises sur ce qui est possible, sachant que la progression des connaissances permettra d'affiner ces règles. Selon les études disponibles, pour 20% de taux de couverture par les panneaux, on observe en moyenne une baisse des rendements agricoles de 25%, en tenant compte des zones des parcelles qui ne sont plus cultivables à cause des installations. Pour des taux de couverture plus élevés, les rendements diminuent fortement, et les cultures seront abandonnées car non économiquement viables. C'est pourquoi le taux de 40% proposé comme valeur maximale pour les projets agrivoltaiques est incompatible avec une production agricole durable.

Pour être cohérent avec l'objectif de faible diminution de la production agricole (baisse maximale de 10%), des taux de couverture n'excédant pas 10% devraient être retenus. Mais compte tenu de l'incertitude forte sur les estimations pour de faibles valeurs de taux de couverture, il n'est pas absurde de tolérer des taux de couverture allant jusqu'à 20%.

Rappelons (cf note méthodologique introductive) que nos estimations sont probablement optimistes, car les mauvais résultats de production sont souvent non publiés, et notre ajustement surestime les rendements aux forts taux de couverture.

Le décret peut bien entendu prévoir des dérogations à ce taux maximal, avec engagement de suivi annuel des rendements agricoles en comparaison à une zone témoin. De tels projets enrichiront la base de données expérimentales et permettront d'affiner les règles de validation des projets.

En autorisant des installations à fort taux de couverture, on introduit un avantage compétitif énorme pour ces projets, qui vont générer des revenus électriques bien supérieurs, et donc permettre d'offrir aux propriétaires des terrains des revenus bien plus élevés. Un propriétaire qui recevra deux offres, l'une pour un projet à fort taux de couverture avec un loyer très élevé (disons 40% de GCR et un revenu de 10k€/ha/an), et l'autre pour un projet vertueux à taux de couverture raisonnable et un revenu plus modeste (disons 20% de GCR et 5 k€/ha/an) ne va pas hésiter longtemps et choisira l'offre favorisant son revenu, au détriment de la production agricole. Cela aura également des conséquences sur la disparition de l'activité agricole dans les territoires à faible productivité, alors que l'objectif de notre politique agricole est bien de maintenir une répartition équilibrée de notre agriculture sur l'ensemble du territoire.

Le décret prévoit cependant des taux de couverture différents pour les technologies « éprouvées ». Compte tenu des connaissances actuelles, il semble impossible de valider des technologies à fort taux de couverture. Il y a donc fort à parier que les développeurs vont tous prétendre que leurs technologies ne sont pas éprouvées, afin de ne pas avoir de plafond de taux de couverture. Il est également probable que l'ADEME va avoir besoin de temps pour définir des technologies « éprouvées », faute de données disponibles. En attendant de cet arrêté définissant les technologies éprouvées, toutes les entreprises vont proposer des projets à très fort taux de couverture, ce que le projet de décret permet. Avec un gros risque d'abandon rapide des cultures agricoles, qui ne seront pas rentables.

Proposition : instituer un taux maximal général de couverture à 20%, seul compatible avec l'objectif de rendement indiqué par le décret. Prévoir un régime dérogatoire pour les projets plus denses, avec obligation de contrôle annuel de la production agricole.

Autres dispositions du décret qui créent des situations délicates, risquant de nuire à l'adoption de l'agrivoltaïsme

Traitement de faveur pour les systèmes avec élevage et serre

Les installations agrivoltaïques sous serre ou avec élevage font l'objet dans l'arrêté de dispositions particulières qui les favorisent délibérément, alors que rien ne justifie, du point de vue scientifique, ce traitement de faveur.

Le projet de décret n'est pas clair sur la baisse maximale de rendement de 10% : elle doit s'appliquer à tous les systèmes, y compris les systèmes avec élevage ou sous serre.

Le projet de décret exonère les installations avec élevage et sous serre de mettre en place des zones témoins :

2° Si une installation agrivoltaïque, hors installation sur élevage et sur serre, ne correspond pas aux caractéristiques listées dans cet arrêté, elle est tenue de comporter une zone témoin ou de justifier d'un cas d'installation agrivoltaïque similaire existant au niveau départemental ou de justifier d'un cas d'installation agrivoltaïque similaire existant au niveau régional et connaissant des conditions pédoclimatiques équivalentes.

Les installations agrivoltaïques sur cultures sont soumises à une comparaison de rendement avec une zone témoin ou un référentiel, mais pas les installations sous serre ou avec élevage. C'est une

distorsion de concurrence évidente, et ce n'est pas justifié du point de vue scientifique. Les données disponibles montrent que la baisse de production sous les systèmes agrivoltaïques est probablement la même pour les fourrages que pour les cultures. Il est faux de dire que les parcelles témoins sont plus compliquées à mettre en œuvre pour les systèmes d'élevage ou les serres. Nous avons à l'INRAE des suivis qui en attestent.

Le projet de décret propose par ailleurs des critères erronés pour évaluer la productivité des systèmes d'élevage agrivoltaïques :

Pour les installations agrivoltaïques sur élevage, le caractère significatif de l'activité agricole peut être notamment apprécié au regard du volume de biomasse fourragère, du taux de chargement ou encore du potentiel reproductif du cheptel.

La productivité agricole de l'installation agrivoltaïque en élevage ne peut s'apprécier que sur la production fourragère de la parcelle. Le décret envisage d'autres indicateurs (taux de chargement ou potentiel reproductif du cheptel) qui ne dépendent que de très loin de la production de la parcelle. On pourrait donc, avec ces indicateurs, tolérer la transformation de parcelles productives en simples abris pour le bétail sans production fourragère. Ce serait par exemple le cas si l'éleveur améliore ses performances par la distribution de fourrages dans les parcelles agrivoltaïques, ce que nous observons souvent dans la réalité. Cela irait complètement à l'encontre de l'esprit de la loi. Le taux de chargement dépend d'un choix opérationnel de l'exploitant, de la complémentation apportée, et ne témoigne donc pas d'une amélioration des qualités agronomiques d'une parcelle. De même l'évolution du potentiel reproductif du cheptel ne peut être liée de manière étroite à l'installation photovoltaïque, sauf si l'élevage était conduit sur 100% de parcelles agrivoltaïques, ce qui ne sera jamais le cas.

Enfin, la définition des avantages apportés par les installations agrivoltaïques d'élevage prête à sourire : bien sûr qu'il fait moins chaud à l'ombre. Avec cette rédaction, tous les projets agrivoltaïques en élevage sont automatiquement justifiés. Certains éleveurs font d'ailleurs passer le message qu'une vache est en souffrance dès qu'il fait plus de 20°C (intervention au Forum IFE2023 de Strasbourg). Dans ces conditions, toutes les vaches de France ont besoin d'abris sur toutes les parcelles pâturées.

Proposition : rien ne permet de justifier un système dérogatoire pour les installations avec élevage ou sous serre. Nous proposons de simplifier le décret en supprimant ces dérogations. La règle doit être la même pour tous. Ces dispositions tuent l'avenir de l'agrivoltaïsme sur cultures annuelles ou pérennes de plein champ, alors que ces cultures peuvent beaucoup bénéficier des services agronomiques prévus par la loi.

Un régime de contrôles inopinés est indispensable

La bonne efficacité du décret dépend du régime de contrôles et des sanctions. Le décret prévoit des contrôles annoncés, à des fréquences variables selon les cas. Cette disposition est inopérante, voire ridicule. Tout contrôle annoncé est évidemment sans portée. Il faut absolument revenir à des contrôles inopinés, par un organisme indépendant, et dont la fréquence peut effectivement être modulée en fonction des technologies (selon qu'elles sont éprouvées ou pas).

Mise en difficulté de l'ADEME et des chercheurs à qui on va demander de définir une liste de technologies éprouvées sans avoir les moyens de le faire

Le décret renvoie finalement l'essentiel à de futurs arrêtés, dont l'un concernera la définition des technologies « éprouvées », exemptées de prouver leur niveau de production agricole, et soumises à

des contrôles moins fréquents. On peut cependant penser qu'avoir une technologie éprouvée aura surtout un impact majeur : obtenir plus facilement le feu vert de la CDPENAF.

Mais sur quelle base de données l'ADEME va-t-elle pouvoir se baser pour définir des technologies éprouvées ? Interrogée, l'ADEME confirme ne pas avoir de données spécifiques. Ce seront donc probablement les données scientifiques publiées qui seront utilisées, donc celles sur lesquelles nous fondons notre analyse. Dans ces conditions, il est probable que les technologies « éprouvées » auront des taux de couverture maximale raisonnables, de l'ordre de 15 à 25%.

Quelle sera la stratégie des entreprises ? Probablement de ne pas chercher à avoir une technologie « éprouvée », afin d'être libre de son taux de couverture. Avec le risque de voir les CDPENAF refuser leurs projets. Dans ce cas, la parade est déjà trouvée : beaucoup d'entreprises se préparent à contester devant les tribunaux des refus de permis de construire, en avançant que ces refus sont incohérents avec la loi et les arrêtés. On va entrer dans une judiciarisation très problématique de l'agrivoltaïsme, qui va nous faire perdre de nombreuses années, alors que l'urgence de la transition énergétique est là.

Conclusion

La rédaction actuelle du projet de décret est très dommageable pour la recherche d'innovation et le développement d'un agrivoltaïsme vertueux. En exonérant beaucoup d'installations de l'obligation d'avoir une zone témoin, en favorisant trop la filière élevage, elle va rendre difficile l'acquisition de connaissances nouvelles, indispensables pour affiner les connaissances et améliorer l'encadrement des projets dans le futur.

Nous proposons d'abaisser le taux maximal de couverture à un niveau raisonnable, de calculer ce taux avec un indice pertinent, et de limiter les dérogations à l'obligation d'avoir une zone témoin sans panneaux. Ainsi corrigé, le décret permettrait véritablement le maintien de la production agricole tout en assurant la transition énergétique avec une production photovoltaïque compétitive, et en maintenant l'avance technologique actuelle de la France en agrivoltaïsme.

Signataires par ordre alphabétique :

Cyrille Bach, Bruno Cheviron, Angélique Christophe, Didier Combes, Cyril Dejean, Christian Dupraz, Abraham Escobar-Guttiérrez, Michel Génard, Marie Gosme, Claude Christian Huyghe, Murat, Catherine Picon-Cochard, Philippe Pieri, Gilles Vercambre, Thierry Simonneau

Tous les signataires de cette communication sont chercheurs au sein de l'INRAE et travaillent sur les systèmes agrivoltaïques.

Références

1. Chatzipanagi, A., N. Taylor, and A. Jaeger-Waldau, *Overview of the potential and challenges for agri-photovoltaics in the European Union*, ed. C.J.R.C. European. Vol. EUR 31482 EN. 2023, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 57.
2. Nijse, F.J.M.M., et al., *The momentum of the solar energy transition*. Nature Communications, 2023. **14**(1): p. 6542. 10.1038/s41467-023-41971-7.
3. Dupraz, C., *Assessment of the ground coverage ratio of agrivoltaic systems as a proxy for potential crop productivity*. Agroforestry Systems, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00906-3>.
4. Dupraz, C., *Utilisation du taux de couverture pour qualifier et encadrer les projets agrivoltaïques*. 2023: 6 pages. Disponible sur demande à christian.dupraz@inrae.fr

5. INRAE, *Proposition de méthodologie de calcul du taux de couverture pour le décret d'application relatif à l'agrivoltaïsme*. 2023: Montpellier. 2 pages. Disponible sur demande à christian.dupraz@inrae.fr
6. Dupraz, C., *The agronomy of crops in agrivoltaic systems*, in *Varieties of Agrivoltaics*, C. Klyk and S. Schindele, Editors. 2024, IET. 44 pages.