

Décret d'application relatif à agrivoltaïsme : Participation de Sun'Agri et OKwind à la consultation publique

Synthèse

- L'article 54 de la loi APER définit l'agrivoltaïsme comme un **outil agricole**, en cohérence avec les positions du gouvernement et du législateur qui ont fait de la **souveraineté alimentaire** leur priorité lors des débats parlementaires.
- Cette **vocation agricole est aujourd'hui remise en question** par le projet de décret d'application en consultation. Plusieurs **points d'attention critiques** sont en particulier identifiés : concernant le taux de couverture, les obligations de rendement des projets sur serre et élevage, les zones témoins, la remise en activité d'un terrain agricole inexploité, l'autoconsommation et l'instruction des projets.
- En particulier, les paramètres autorisés dans le projet de texte induisent des niveaux d'ombrage très importants sur les parcelles agricoles (moins de 50% de lumière laissée à la parcelle agricole), rendant **très difficile voire impossible toute activité agricole**.
- Ainsi, la publication de ce texte en l'état **compromettrait gravement l'appropriation des projets** agrivoltaïques dans les territoires, alimentant les mouvements d'opposition déjà existants et mettant à risque l'avenir de la filière agrivoltaïque.

Contexte de cette note

Cette note a pour objectif de détailler la contribution de Sun'Agri à la consultation publique concernant le projet de décret relatif au développement de l'agrivoltaïsme et aux conditions d'implantation des installations photovoltaïques sur terrains agricoles, naturels ou forestiers. Elle comporte ainsi :

- Un rappel des **objectifs donnés à l'agrivoltaïsme dans la loi APER**, remis en question par le présent projet de décret (partie I) ;
- Une synthèse des **points d'attention les plus critiques** identifiés dans le projet de décret (partie II) ;
- Des **modélisations d'ensoleillement** pour comprendre l'impact des caractéristiques d'installations agrivoltaïques autorisées dans le décret (partie III).

I. Un projet de décret qui détourne la loi APER de son objectif premier : l'agrivoltaïsme en tant qu'outil agricole

L'article 54 de la loi APER définit l'agrivoltaïsme comme un **outil agricole ayant pour objectif de protéger et d'adapter l'agriculture au changement climatique**. Le gouvernement et le législateur ont également clairement défini la souveraineté alimentaire comme priorité lors du débat parlementaire au Sénat et à l'Assemblée nationale autour du projet de loi. La ministre de la transition énergétique, Madame Agnès Pannier-Runacher a ainsi déclaré au Sénat le 4 novembre 2022 : « *nous gardons à l'esprit qu'il faut savoir trouver un équilibre entre souveraineté alimentaire et souveraineté énergétique. Cette position est sans ambiguïté : la souveraineté alimentaire doit être à tout prix préservée* » ; et à l'Assemblée nationale le 14 décembre 2022 : « *Le texte vise précisément à encadrer et à resserrer cette pratique, pour faire en sorte que l'agrivoltaïsme reste bien une activité au service des agriculteurs et ne devienne pas un prétexte pour les transformer en énergéticiens ou faire de leurs exploitations des propriétés énergétiques* ».

Cette souveraineté alimentaire est cependant mise en danger par l'écriture du décret d'application. En effet, l'application de ce projet de texte en l'état sans modifications :

- Induirait une **inégalité de traitement** entre projets agrivoltaïques, au bénéfice de l'élevage et des serres et au détriment des projets sur culture malgré leur forte valeur ajoutée dans l'adaptation au changement climatique ;
- Provoquerait un **effondrement des rendements** (cf. *partie III*), qui aboutira inévitablement sur le blocage de la filière agrivoltaïque en confirmant la défiance du monde agricole envers la filière énergétique et en alimentant les mouvements d'opposition déjà existants (ex : Confédération paysanne, Région Normandie, Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc...) pouvant aller jusqu'à un moratoire ;
- Provoquerait une **spéculation sur les terres agricoles et induirait une concurrence effrénée entre les développeurs, qui seront incités à maximiser les taux de couverture** et les tailles de projets. Cela éliminera les vrais projets agrivoltaïques (au sens de la loi) à valeur ajoutée agricole. L'agrivoltaïsme sera confisqué par « qui est capable de payer le loyer le plus cher ».

Les points d'attention du décret sont détaillés ci-dessous et accompagnés de recommandations ainsi que de preuves scientifiques en annexe.

II. Points d'attention critiques identifiés dans le décret

1. Un taux de couverture trop élevé, voire illimité, provoquerait inévitablement un effondrement des rendements agricoles

Le projet de décret en l'état propose de limiter le taux de couverture maximal à 40% uniquement pour les installations agrivoltaïques non-éprouvées d'une puissance supérieure à 10 MW. Le reste, c'est-à-dire les installations agrivoltaïques non-éprouvées d'une puissance inférieure à 10 MW et les installations agrivoltaïques éprouvées ne font pas l'objet de limite de taux de couverture.

De plus, la définition du calcul du taux de couverture utilisée dans le projet de décret s'appuie sur la surface projetée au sol des panneaux (au numérateur), et non la surface totale de panneaux, ce qui ne permet pas de refléter la lumière interceptée par les panneaux. Avec cette méthode, on autorise ainsi des panneaux verticaux très rapprochés et sans limite de hauteur, ou encore des panneaux inclinés de 30° avec une densité de 4600m² par hectare (une densité proche de celle d'une centrale photovoltaïque au sol classique) ce qui est injustifié et risqué.

Ces paramètres sont parfaitement incompatibles avec l'objectif de rendement agricole, limité à 10% de perte dans ce même décret : l'INRAE estime ainsi que pour 40% de taux de couverture calculé selon ces termes, on aurait une perte de rendement de l'ordre de 40% sur la parcelle agricole¹. Et cela est sans compter toutes les installations « non éprouvées » de moins de 10 MW qui pourront pratiquer des densités encore plus hautes, incitant ainsi tous les développeurs à retarder la qualification de leur technologie² et à découper les terrains sécurisés en plusieurs projets inférieurs à 10 MW, donc sans limite de densité et au détriment des rendements agricoles.

¹ Voir partie III de ce document & annexe 1

² Les leviers pour retarder la qualification d'une technologie risquent d'être nombreux : retarder la communication des données fiables auprès de l'Ademe, prétexter une combinaison technologie – mode de culture – zone géographique différente de celles mentionnées dans l'arrêté technologies, demander d'attendre plusieurs années avant le verdict pour avoir un recul et des résultats fiables sur une technologie, ...

Recommandations :

- Appliquer la **méthodologie de calcul du taux de couverture proposée par l'INRAE³** pour protéger les rendements agricoles et limiter ce taux de couverture « ajusté » à 25% (en utilisant la surface de panneaux et non la surface projetée au sol) ;
- Appliquer cette limite de taux de couverture à toutes les installations, **indépendamment de la puissance installée** ;
- Permettre des **exceptions pour les certaines technologies laissant plus de lumière** à la parcelle (panneaux semi-transparents, pilotage agronomique, ...), comme intégré dans la méthodologie de calcul INRAE ;
- Prévoir certains **mécanismes dérogatoires**, à la main de la préfecture, pour des **expérimentations** (de taille limitée) avec de plus fortes densités de panneaux, à condition de pouvoir le justifier et d'accepter des contrôles renforcés sur la production agricole.

2. Les installations agrivoltaïques d'élevage et sur serre sont exonérées d'obligation de rendement minimale, sans raison valable et ce qui induit des risques de dérive importants

Le projet de décret n'impose **aucune limite de perte de rendement pour les installations agrivoltaïques d'élevage et sur serre**. Seules les installations agrivoltaïques sur culture ont pour obligation de limiter les pertes de rendements à 10%. Rien ne justifie que l'élevage et les serres en soient exemptés alors que ces structures sont également contraintes par la loi d'avoir une production agricole significative⁴.

Le projet de décret en l'état vide ainsi de son sens la loi votée par les parlementaires, étant censée protéger la production agricole. Celui-ci permet de maximiser la production d'électricité photovoltaïque au détriment de la production agricole.

Ainsi ces critères peu contraignants du décret favorisent largement les projets sur serre et sur élevage, qui n'ont aucune obligation de rendement (et peuvent pratiquer des taux de couverture libres si <10MW). Ceci au détriment de tous les autres projets agrivoltaïques qui ne sauraient être compétitifs dans cet environnement, malgré leur valeur ajoutée pour l'agriculture.

Par ailleurs, la productivité agricole de l'installation agrivoltaïque en élevage ne peut s'apprécier QUE sur la production fourragère de la parcelle, alors que 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, si, par ailleurs, l'éleveur améliore ses performances, par exemple par l'achat de fourrages. Cela irait complètement à l'envers de l'esprit de la loi.

Ces mesures représentent également un risque majeur d'appropriation, en permettant des projets « alibis » sans objectif de rendement, alors même que les serres photovoltaïques ont été à l'origine des premiers mouvements d'opposition à l'agrivoltaïsme observés dans les territoires.

³ Prise de position INRAE : [Mise en œuvre de l'agrivoltaïsme dans le cadre de la loi APER](#)

Méthodologie INRAE : [Méthodologie de calcul du taux de couverture](#)

⁴ Concernant l'élevage, on peut lire dans le projet de décret que : « 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. ». Ainsi, aucun critère de rendement clair n'est établi, marquant une complète absence d'engagement de résultat en comparaison aux projets sur culture.

Recommandation : Restaurer les **objectifs de maintien de rendement pour les installations agrivoltaïques d'élevage et sur serre**, limités à 10% de perte.

3. Une exonération de zone témoin est obtainable pour de nombreux motifs et donc risquée

Sont exonérées de présence de zone témoins :

- i. Les technologies éprouvées
- ii. Les installations sur élevage
- iii. Les installations sur serre
- iv. Les installations justifiant d'un cas d'installation similaire au niveau départemental ou régional
- v. Les installations de taux de couverture inférieur à 40% avec une incapacité technique

Si l'exonération de zone témoin est justifiée pour technologies éprouvées (i), et peut être compréhensible pour l'élevage (ii), les trois autres exonérations (iii, iv & v) **représentent des risques de dérives injustifiés**. En effet, la collecte de données fiables à l'aide des zones témoins :

- Doit permettre la qualification des « technologies éprouvées » dans l'arrêté concerné ;
- Doit permettre de prévenir des risques de fraudes et de dégradation de l'activité agricole, avec des contrôles se basant sur des référentiels cohérents ;
- Doit permettre à la France de maintenir son avance mondiale en matière d'agrivoltaïsme à travers la collecte de données pertinentes et opposables ;

Recommandations : 1) rétablir l'obligation de zone témoin pour les **serres** ; 2) limiter les **installations exonérées** de zone témoin aux projets de **taux de couverture inférieur à 25%** (cas d'installation similaire au niveau départemental ou régional ou cas d'incapacité technique)

4. La remise en activité d'un terrain agricole inexploité depuis plus de 5 années ne peut pas être une condition suffisante à l'amélioration du potentiel agronomique

En effet, cette possibilité représente un **risque important de contournement en cessant volontairement de cultiver des terrains** pendant le développement d'un projet, pour répondre ensuite de manière automatique au critère de qualification agrivoltaïque sans apporter aucun service à l'activité agricole.

Cette disposition flèche spécifiquement des terres faiblement productives et non rentables (puisque non cultivées). Or l'agrivoltaïsme doit protéger - non exclusivement mais en priorité - les filières et bassins d'emploi ruraux économiquement rentables ou à forte valeur ajoutée menacés par les changements climatiques.

Pour finir, que cette possibilité soit mentionnée ou non dans le décret, il sera toujours possible de remettre en état une terre inexploité pour y développer un projet agrivoltaïque, elle n'est donc pas nécessaire.

Recommandation : **supprimer** cette mention du décret

5. Les contrôles doivent être plus flexibles pour garantir la bonne application de la loi et des décrets

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 et risquée : tout contrôle annoncé est évidemment sans portée. Il est donc nécessaire de permettre des

contrôles inopinés, dont la fréquence peut effectivement être modulée en fonction des technologies (selon qu'elles sont éprouvées ou pas), ou d'incidences négatives notables suspectées ou identifiées.

Recommandation : permettre des **contrôles inopinés et non à fréquence régulière**, et conserver les fréquences de contrôles selon les cas en tant que fréquence moyenne cible par catégorie.

6. Le projet de décret prive les mairies de la délivrance de permis de construire, compromettant l'appropriation des projets dans les territoires

Une instruction des projets agrivoltaïques en préfecture, quelle que soit leur taille :

- Ne tient pas compte du **régime dérogatoire accordé aux installations nécessaires à l'exploitation agricole**, et donnerait ainsi le signal que ces installations ne sont **pas nécessaires à l'exploitation agricole** et n'ont qu'une vocation de production d'énergie⁵ ;
- Déposséderait les mairies de leur pouvoir d'approbation des installations agrivoltaïques sur leurs propres territoires, affectant **l'appropriation** des projets agrivoltaïques à l'échelle locale.

C'est pourquoi il semble primordial d'introduire un seuil de taille en-dessous duquel les projets seraient instruits en mairie et non en préfecture, comme cela est prévu dans le code de l'urbanisme⁶.

Recommandation : **Les projets de petite taille doivent pouvoir bénéficier d'une instruction en mairie**, en conformité avec le régime dérogatoire accordé aux installations nécessaires à l'exploitation agricole (Code de l'urbanisme) : seuil à définir, pouvant être fixé à 10 MW ou 40 000m² de panneaux.

7. L'autoconsommation, levier de pérennisation de l'activité agricole et d'appropriation dans les territoires, n'est pas suffisamment valorisée dans le décret

Les exploitations agricoles et notamment les élevages ont des consommations d'électricité significatives et sont confrontées à l'augmentation structurelle des coûts de l'énergie qui peuvent représenter jusqu'à 15% des coûts d'exploitation. L'autoconsommation individuelle peut leur permettre de **reconquérir des marges de manœuvre en termes de compétitivité économique** et **d'améliorer leur résilience** dans une logique de partage de la valeur locale au bénéfice des exploitants agricoles.

Les installations photovoltaïques en toiture sont rarement efficaces pour l'autoconsommation photovoltaïque car elles sont rarement bien exposées, sous dimensionnées pour supporter le poids des panneaux photovoltaïques et posent des problèmes d'assurabilité.

A contrario, la technologie des trackers photovoltaïques et ombrières mobiles, implantée à moins de 100 mètres des bâtiments agricoles, répondent à l'exercice effectif de d'une activité agricole significative et permet de contourner les obstacles situés ce dessus avec une production beaucoup plus importante que les installations photovoltaïques fixes en toiture (+70% à iso puissance) et tout en permettant la polyculture et l'élevage sous les trackers photovoltaïques.

La technologie des trackers et ombrières mobiles est aujourd'hui la plus déployée en France pour l'autoconsommation des exploitations agricoles et des élevages

⁵ Compte tenu du champ d'application de l'article L. 422-2 du code de l'urbanisme

⁶ L'article L. 422-2 du code de l'urbanisme renvoie le soin à un décret en Conseil d'Etat de préciser « la nature et l'importance » des ouvrages de production d'énergie concernés par la compétence du préfet

L'article 54 de la loi Accélération production Energies renouvelables adoptée le 9 mars 2023 et plus précisément le projet de décret associé ne permet, dans sa forme actuelle, l'installation de trackers et ombrières mobile à 100 mètres d'un bâtiment agricole que si la surface est inexploitée.

Recommandation : Pour ne pas pénaliser les projets destinés à l'autoconsommation des exploitations agricoles, nous proposons d'intégrer les modifications ci-dessous dans le projet de décret (article 3, sous section 1, 1°), dernier alinéa) :

« Sont inclus d'office dans le document-cadre les surfaces en zone agricole et situées à moins de 100m d'un bâtiment d'une exploitation agricole, destinées principalement à une installation d'autoconsommation (taux d'autoconsommation minimal de 60%) et de puissance maximale 300kWc, à condition de respecter les conditions définies dans l'arrêté relatif à la consommation d'espace naturels, agricoles et forestiers⁷ et de ne pas perturber l'activité agricole (passage des engins, parcours, ...). »

A défaut d'une modification du décret une circulaire interministérielle pourrait préciser la possibilité exprimée ci-dessus et assimiler les trackers photovoltaïque à des ombrières.

⁷ Arrêté du 29 décembre 2023 définissant les caractéristiques techniques des installations de production d'énergie photovoltaïque exemptées de prise en compte dans le calcul de la consommation d'espace naturels, agricoles et forestiers

III. Impact du taux de couverture de 40% sur l'ensoleillement & l'activité agricole

a) Impact sur l'ensoleillement moyen & la productivité agricole

En utilisant le taux de couverture de 40% tel que proposé dans le projet de décret, on autorise des installations avec **panneaux fixes inclinés de 30° (angle optimal en France) et de densité 4 600m² de panneaux à l'hectare.**

Une telle configuration impliquerait que seulement 47% de quantité de lumière serait en moyenne⁸ reçue par la parcelle agricole sur une année complète (les panneaux en interceptant 53%), comme représenté sur la figure ci-dessous. Soit moins d'ensoleillement sous les panneaux que celui du centre de la Norvège, en partant de l'ensoleillement du Sud de la France (Montpellier).

Selon l'INRAE une telle densité de panneaux provoquerait une **chute de rendement agricole estimée de l'ordre de 40%** (cf. *Annexe 1*), incompatible et incohérente vis-à-vis des objectifs de rendement fixés dans le décret.

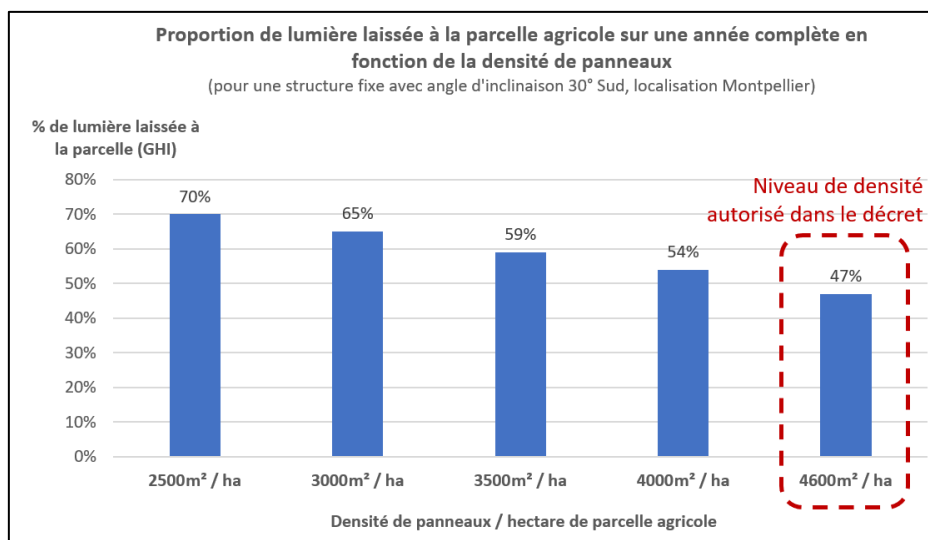


Figure 1- Lumière laissée à la parcelle en fonction de la densité de panneaux (localisation : région de Montpellier)⁹

b) Impact sur l'hétérogénéité spatiale et la proportion de zones cultivables sur la parcelle

Si la hauteur n'a pas d'impact sur la quantité de lumière moyenne reçue par la parcelle agricole, elle impacte l'homogénéité de lumière reçue en différents points de la parcelle agricole.

Des modélisations sont réalisées dans le but d'illustrer cet impact, toujours avec des panneaux de densité 4 600m²/ha et inclinés de 30°. Les résultats sont présentés dans un graphe ci-dessous (Figure 3) illustrant l'hétérogénéité spatiale de la lumière reçue par la parcelle agricole, en fonction de la hauteur des panneau (et selon la configuration représentée sur la Figure 2) :

- En ordonnée : on peut y lire la quantité de lumière laissée à la parcelle
- En abscisse : la position spatiale au sein de l'inter-rangée (le panneau étant situé en position 5 mètres, au milieu de la courbe, et l'inter-rangée étant de 10 mètres).

⁸ La lumière reçue au sol varie selon la position relativement aux panneaux, mais la lumière reçue en moyenne en tout point de la parcelle est de 47% selon cette configuration (en GHI = rayonnement direct & diffus).

⁹ Remarque : Des modélisations complémentaires sont réalisées et montrent que l'écart est très faiblement corrélé au positionnement géographique : pour la configuration 4600m² de panneaux /ha : 47% de lumière est transmise à la parcelle à Montpellier, vs. 48% au Mans. Cf paramètres de modélisation en annexe.

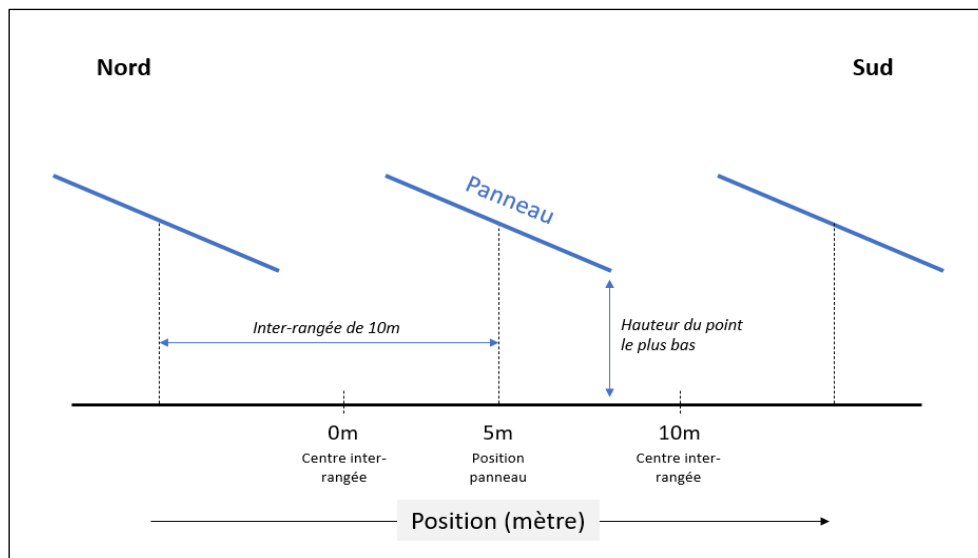


Figure 2 - Vue en coupe de l'infrastructure agrivoltaïque modélisée (Figure 3), avec la position des panneaux et du centre des inter-rangées (illustration ici pour une orientation 30°)

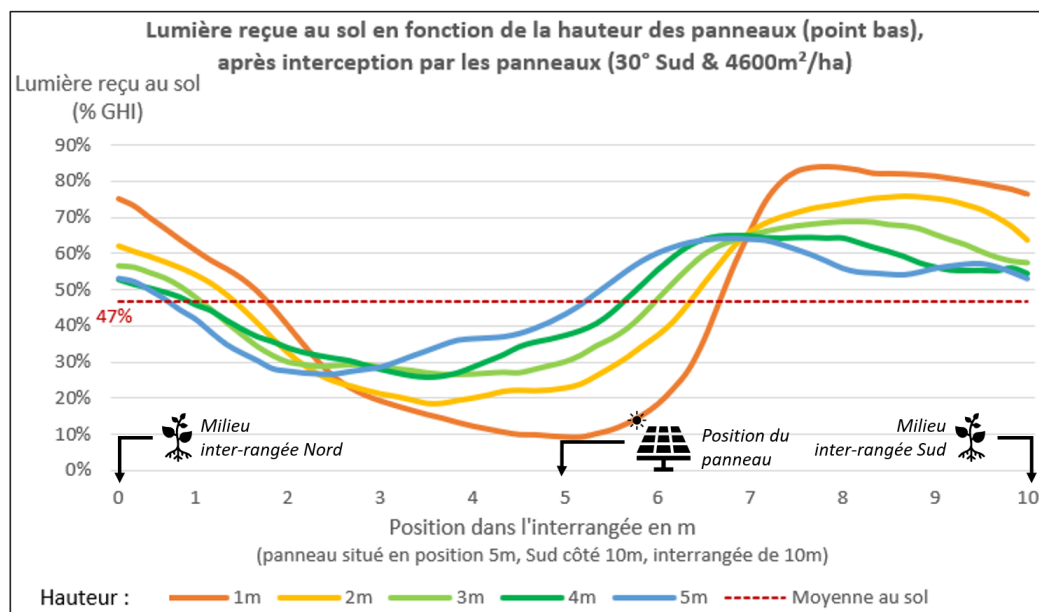


Figure 3 - Proportion de lumière reçue au sol en fonction de la hauteur des panneaux (mesurée au point bas), après interception par les panneaux (inclinés 30° Sud & avec 4600m²/ha) sur une année complète. Localisation : région de Montpellier¹⁰

Ces courbes illustrent l'impact de la hauteur de la structure sur l'homogénéité de la lumière reçue par la parcelle, en sachant que :

- Lorsque l'on a **moins de 60% de lumière** transmise laissée à la parcelle, les rendements sont significativement affectés et rendent difficilement pérenne l'activité agricole¹¹ ;
- **En dessous de 40% de lumière**, les rendements des plantes à fruits / à tubercule s'effondrent (céréales, légumes fruits, arbres fruitiers, ...) car la lumière n'est pas suffisante pour assurer floraison, fructification, ... ;

¹⁰ Résultats présentés pour une localisation à Montpellier, faiblement dépendant de la localisation géographique : écart de seulement 1% observé pour une localisation au Mans

¹¹ Lorsque le rendement d'une parcelle agricole baisse, très rares sont les coûts variables qui sont également réduits. Les marges nettes à l'hectare sont généralement faibles en agriculture, on imagine bien les conséquences économiques d'une perte de rendement à 2 chiffres sur la pérennité de l'activité agricole. Pourquoi cultiver à perte ?

- **En dessous de 20%-30%**, le manque de lumière rend l'activité végétale trop faible pour permettre la culture.

Par exemple, on peut voir sur ces courbes que si la structure considérée est à 2 mètres de haut (au point le plus bas) et avec les critères de densité autorisés par le décret, on a **presque 40%¹² de la surface de la parcelle (i.e. 4 000m² par hectare) qui reçoit moins de 30% de lumière**, ce qui rend impossible toute culture sous ces panneaux.

En outre, en étudiant plus en détail la lumière reçue au sol sous l'installation agrivoltaïque selon ces mêmes paramètres (4 600m² de panneaux et inclinaison 30° Sud) en fonction des saisons (données en *Annexe 2*), on constate que la proportion de lumière interceptée est particulièrement importante en hiver où seulement 27% de lumière sont en moyenne laissés à la parcelle agricole, rendant impossible toute culture d'hiver (ex : céréales, colza, prairies permanentes ou temporaires) sur la parcelle concernée.

On tire ainsi de ces modélisations plusieurs enseignements :

- i. Le **taux de couverture autorisé dans le décret implique une proportion importante de la parcelle agricole qui n'est pas cultivable du fait du manque de lumière**, pour les hauteurs généralement pratiquées pour les projets agrivoltaïques (entre 1 et 5 mètres de haut, entre un tiers et la moitié de la parcelle reçoit un niveau de lumière critique).
- ii. Ces **modalités impliquent de pratiquer des hauteurs très importantes, pour limiter cette proportion de zones non cultivables du fait du manque de lumière** (condition nécessaire, mais non suffisante, pour respecter les 10% maximum de perte de rendement agricole).
- iii. Toutefois, **même avec des hauteurs importantes, les dégradations de rendement à prévoir avec une telle densité de panneaux sont majeures.**

Conclusion

Le présent projet de décret en consultation présente plusieurs incohérences vis-à-vis de la priorité agricole donné à l'agrivoltaïsme dans l'article 54 de la loi APER. Pour garantir une bonne appropriation locale et un développement vertueux de la filière agrivoltaïque, il est primordial de traiter ces différents points en particulier en :

- Limitant le **taux de couverture** autorisé
- Généralisant les **obligations de rendement** pour les serres et l'élevage
- Limitant les **possibilités d'exonération de zones témoins**
- Ne considérant pas la **remise en état d'un terrain agricole** comme une amélioration du potentiel agronomique
- Permettant des **contrôles inopinés** et non à fréquence fixe
- Instaurant un seuil en-deçà duquel les **projets agrivoltaïques seront instruits en mairie**
- Favorisant **l'autoconsommation**.

¹² Entre les positions 2m et 6m, soit 4 mètres sur une inter-rangée de 10m, i.e. 40%

ANNEXES

Annexe 1 : Impact des taux de couverture autorisés sur le rendement agricole (Source INRAE)

Une synthèse des connaissances scientifiques mondiales disponibles sur la productivité des cultures et pâtures sous systèmes agrivoltaïques a été publiée en septembre 2023¹³. Elle s'appuie sur une base de données expérimentales, qui est enrichie en continu par les nouvelles publications (8 publications supplémentaires depuis). Cette première synthèse des résultats disponibles, a été depuis affinée et actualisée dans une nouvelle publication partagée par l'INRAE¹⁴ dans le cadre de cette consultation publique, et dont les résultats sont présentés ci-dessous. A noter que le taux de couverture de ces résultats emploie un mode de calcul différent de celui du décret car s'appuie sur la surface totale de panneaux et non la surface projetée au sol (indice utilisé partout dans le monde sous le nom anglais de GCR, Ground Coverage Ratio).

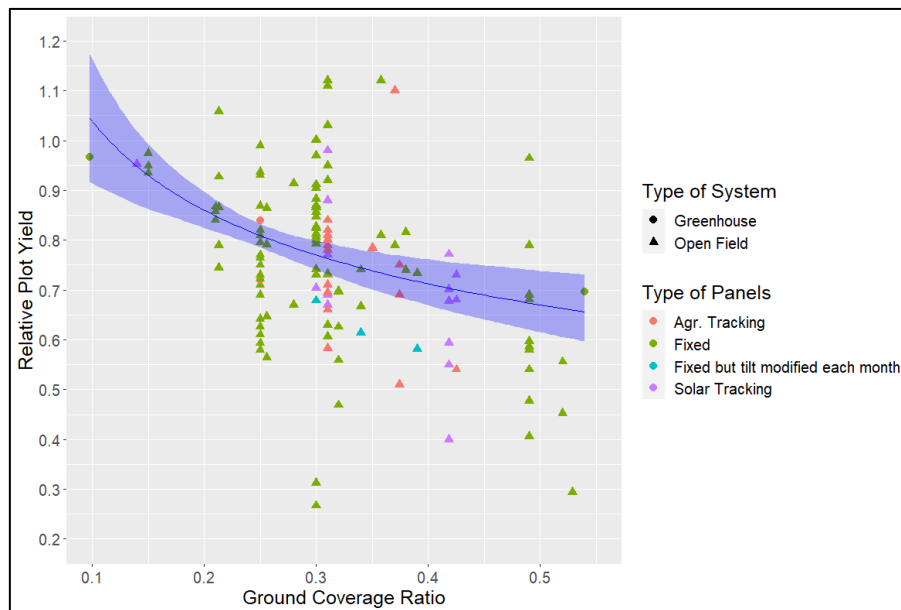


Figure 4 : Relation entre le taux de couverture (GCR) et le rendement de la zone cultivée dans des parcelles agricoles sous système agrivoltaïque [6].

L'INRAE précise que ces résultats étant basés uniquement sur des publications rendues publiques, et la plupart du temps financées par des entreprises du secteur agrivoltaïque (réticents à publier les résultats lorsque non favorables), il est probable que cette synthèse soit biaisée en faveur de bons rendements sous les systèmes agrivoltaïques. Il faut donc considérer ces estimations comme optimistes.

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), les valeurs suivantes de pertes de rendement sont obtenues pour différents taux de couverture, en se basant sur les données présentées ci-dessus :

¹³ 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>.

¹⁴ Dupraz, C., The agronomy of crops in agrivoltaic systems, in *Varieties of Agrivoltaics*, C. Klyk and S. Schindele, Editors. 2024, IET., chapitre 5 (The agronomy of crops in agrivoltaic systems) – *publication à venir*

GCR (en %)	Taux de couverture selon le projet de décret pour une inclinaison des panneaux de 30° (en %)	Baisse moyenne de rendement sur 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	19/24
30	26	26	33	28/33
40	35	31	38	31/40
46	40 (taux max projet décret)	34	40	33/42
50	43	(35)	(42)	(33/44)
60	52	(39)	(45)	(35/48)

Tableau 1 : Valeurs de rendement parcelaire prévisibles pour différentes valeurs de GCR sous des systèmes agrivoltaïques

Les valeurs de rendements pour des GCR de 50 et 60% 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 parcelaire 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 parcelaires de l'ordre de 40%.

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 plus élevés de taux de couverture, 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 agrivoltaïques est incompatible avec une production agricole durable.

Annexe 2 : Détail des simulations d'ombrage par saison

Saison (météorologique)	Proportion moyenne de lumière reçue sous les panneaux (% GHI)	Exemples de culture de saison
Printemps (mars à mai)	49%	Maïs, orge de printemps, pois, soja, tournesol...
Été (juin à août)	54%	
Automne (septembre à novembre)	39%	Céréales, colza, prairies permanentes ou temporaires
Hiver (décembre à février)	27%	
Année complète	47%	Cultures pérennes (arboriculture, viticulture, ...)

Modalités de modélisation : cf. détails *Annexe 3*

Annexe 3 : méthodologie de modélisation

- Modélisation **sur une année complète**
- **Position & données utilisées** : Montpellier, données météorologiques sur une année type (modèle Météonorm)
- **Ombrage pris en compte** : uniquement ombrage des panneaux, l'ombrage de la structure n'est pas modélisé
- **Pas de prise en compte des effets de bord**
- **Rayonnement** : rayonnements directs + diffus (GHI – Global Horizontal Irradiance)
- **Inter-rangée** : 10 mètres
- **Largeur des panneaux & angle** : 4,6 mètres & angle d'inclinaison 30°, orienté Sud → taux de couverture 40%
- **Hauteur** : variable de 1m à 5m (mesurée au point bas), impactant l'hétérogénéité de la lumière reçue sur la parcelle mais pas la lumière reçue en moyenne