

États des lieux des installations agrivoltaïques

Le concept d'installation agrivoltaïque recouvre un ensemble varié d'infrastructures dont l'objectif commun est de produire de l'électricité à partir de modules équipés de cellules photovoltaïques.

Actuellement, diverses technologies et configurations sont disponibles. Certaines sont déjà opérationnelles, tandis que celles pour le secteur bovin sont encore en phase de test.

Ainsi, les installations agrivoltaïques peuvent être classées par type de support :

- **Centrales solaires fixes conventionnelles** : les panneaux photovoltaïques sont installés en pans inclinés. Leur faible élévation les distingue des ombrières.
- **Ombrière** : Une ombrière est une structure surélevée. Elle consiste essentiellement en une surface, horizontale ou légèrement inclinée, placée en hauteur et soutenue par des poteaux ou des supports. Cette surface peut être fixe ou orientable.

Ces deux types de support sont eux-mêmes définis par **différentes technologies existantes** :

- Structures fixes orientées au sud ou orientées est et ouest
- Panneaux mobiles :
 - trackers 1 axe (variation de l'orientation ou l'inclinaison)
 - trackers 2 axes pour une modification de l'orientation et de l'inclinaison
- Panneaux verticaux, également nommés haies solaires

Selon l'IDELE, les technologies les plus couramment utilisées dans les parcs français actuellement pâturés par des ruminants sont les tables fixes, et, de manière moins fréquente, les trackers à un axe.

1. Centrales solaires fixes conventionnelles

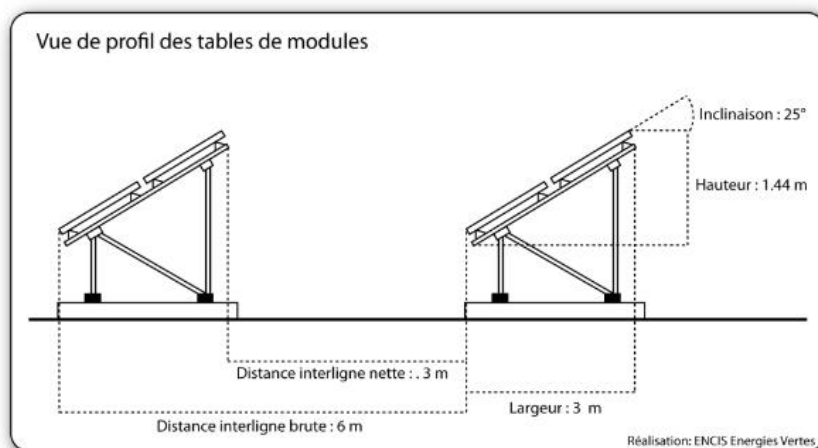
a- Installations fixes orientées Sud

Les **panneaux photovoltaïques fixes** sont généralement **orientés vers le sud** et **inclinés** pour s'aligner au mieux avec le soleil. L'inclinaison varie habituellement entre **15 et 20°** : plus la latitude est élevée, plus l'inclinaison doit augmenter. Cependant, cette inclinaison reste limitée afin de **réduire les pertes liées à l'ombrage** et la **prise au vent**. Les modules sont disposés en **rangées suivant l'axe est-ouest**.

Les centrales équipées de **tables fixes orientées sud** et disposées sur un **axe est-ouest** sont les plus répandues. Cette configuration nécessite un **espacement entre les rangées** afin de limiter l'ombre portée par le point le plus haut des tables situées devant.



Parc solaire de Grateyrolles (Source : ENCIS Environnement et Géoportail)



Exemple de coupes (Source : ENCIS Environnement)

b- Installations orientées est et ouest

Les tables sont généralement **disposées nord-sud dans leur longueur** et supportent des **modules orientés d'un côté vers l'est et de l'autre vers l'ouest**. La **densité de l'installation est plus élevée** que pour les configurations classiques. Cela réduit le **passage de la lumière** et limite le **ruissellement de l'eau de pluie**, ce qui peut avoir un impact sur la végétation ou les cultures situées en dessous.



Cestas, la plus grande centrale française (Source : Google Map et NEOEN)



Exemple d'application en horticulture (Source : Hélène GARDERE)

Avantages	Inconvénients et limites	Adéquation
- Simplicité de conception et d'installation, moins de maintenance nécessaire - Coût d'installation relativement compétitif, donc plus de valeur à répartir - Moins de maintenance nécessaire - Structures plus légères avec moins d'impact sur le sol (pieux battus) - Surface de projet maîtrisée Mais, il est nécessaire d'espacer suffisamment les rangées pour limiter les pertes par ombrage, mais cela requiert beaucoup d'espace disponible.	- Ombrage constant, pouvant impacter la photosynthèse - Moins de flexibilité face aux besoins spécifiques des cultures et la mécanisation des parcelles - Micro-climat plus fort (changement de milieu)	Elevage – fourrages

2. Dispositifs verticaux (souvent bifaciaux, orientation est-ouest)

Ce système consiste en l'**installation de panneaux photovoltaïques perpendiculaires au sol**. Les modules sont orientés **est-ouest**, ce qui les aligne sur un **axe nord-sud**. Cette disposition, souvent avec des modules bifaciaux, génère des **pics de production le matin et le soir**, tandis que la production reste plus faible en milieu de journée. Ces pics de production sont alignés avec les pics de consommation, permettent de vendre l'électricité légèrement plus chère.

Comme les panneaux produisent plus quand le soleil est bas, la production est plus affectée par les ombrages entre rangées, d'où la nécessité de mettre en place un espace inter-rangée plus important que pour les autres types d'installation.

Avantages	Inconvénients et limites	Adéquation agronomique
- Emprise au sol très limitée : système peu intrusif sur la parcelle - Répartition homogène de la lumière - Permet un meilleur ensoleillement du sol - Effet brise-vent important selon l'orientation des vents dominants - Moindre impact sur la mécanisation - Moins de pertes dues à l'encrassement : la disposition verticale des modules réduit l'accumulation de saletés, ce qui améliore légèrement la production et diminue le coût du nettoyage.	- Nécessité d'un écartement important entre les rangées de modules pour avoir une bonne production : comme les panneaux produisent davantage lorsque le soleil est bas, la production est plus sensible aux ombrages entre les rangées, ce qui limite la puissance installée par hectare et implique la nécessité de grandes surfaces. → Il faut un espacement de plusieurs mètres (souvent $\geq 8-10$ m) pour assurer un bon compromis entre production solaire et lumière suffisante pour les cultures. - Nécessite de laisser des bandes non productives (enjeu mécanique et de protection de panneaux) - Limitation des cultures : il est impossible de cultiver des plantes de plus de 90 cm de hauteur, afin d'éviter que l'ombre n'affecte la production électrique. - D'un point de vue économique, l'investissement est relativement élevé en raison des modules bifaciaux et des structures atypiques (espacement inter-rangées important entraînant câblage plus long, surcoût et pertes électriques plus importantes).	Cultures (plantes de moins de 90 cm) et élevage (rôle de clôture pour les ruminants et les volailles avec ajout de grillage)



Photo : Next2Sun

Variation de la production pour les panneaux verticaux

La **productivité des panneaux agrivoltaïques verticaux est très variable** et dépend de plusieurs facteurs : la **latitude** (qui influence la course du soleil), le **coefficient de bifacialité des modules**, l'**orientation et l'écartement des rangées** et l'**albédo du sol**. Selon ces paramètres, les gains ou pertes de production par rapport à une installation inclinée classique peuvent **aller de -20 % à +15 %**.

Sources	Conclusions
Next2Sun GmbH (2020)	Gain de rentabilité annoncé de 5 à 10 % par rapport à une installation conventionnelle (fixe, orientée Sud), avec espacement minimal de 8 m Explication : Pics de production le matin et le soir , alignés avec les pics de consommation, permettant de vendre l'électricité à un prix légèrement plus élevé .
Khan et al. (2019)	Pour une puissance installée identique, une installation verticale produira 10 à 30 % de moins qu'une installation inclinée vers le sud, selon l'écartement des panneaux et l'albédo.
Sun et al. (2018)	Gain de production avec panneaux verticaux possible à des latitudes > 30° , les installations classiques étant plus performantes en dessous de 30°.

3. Dispositifs mobiles

a- Tracker à un axe :

Les tables équipées d'un dispositif de suivi solaire à un axe permettent d'orienter les panneaux selon deux configurations :

1. Suivi Est-Ouest (axe nord-sud)

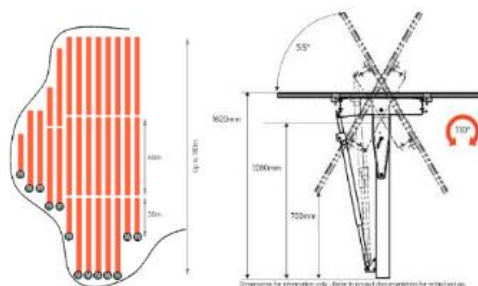
- Le panneau pivote **horizontalement**.
- Suit la **course du soleil d'est en ouest** au cours de la journée.

2. Variation d'inclinaison ($0^\circ \rightarrow 90^\circ$)

- Le panneau **bascule verticalement**.
- Suit la **hauteur du soleil** (angle solaire) selon la saison ou l'heure de la journée.

Suivi Est-Ouest :

Une production électrique plus constante au long de la journée



Trackers à un axe horizontal (Source : Exosun – Arcelor Mital)

b- Trackers à deux axes :

Ils permettent de garder un module photovoltaïque parfaitement perpendiculaire au rayonnement solaire à tout instant.

Avantages	Inconvénients et limites	Adéquation
- Possibilité de piloter les panneaux en fonction des besoins des cultures et des animaux - Permet de mieux partager la lumière - S'adapte mieux à différentes activités agricoles - Optimisation de la production énergétique (Production étalée sur la journée) - Tracker à un axe : un gain de productivité (électricité) par rapport aux centrales fixes (10 à 20 %) tout en limitant le surcoût lié au dispositif de suivi et en proposant une meilleure durée de vie que les trackers deux axes. - Tracker à deux axes : gains de productivité de 30 % à 50 % par rapport aux centrales classiques.	- Structures plus massives (impact sur le sol à l'implantation) - Technologies plus chères donc petit projet plus complexe économiquement - Maintenance plus complexe (systèmes motorisés, Risque que les animaux dégradent ou prennent leurs poils dans les mécanismes des trackers) - Risques de pannes mécaniques - Orientation est-ouest donc peu d'ombre au pic de chaleur (12h-14h)	Compatibilité avec plusieurs types d'agriculture : élevage (petit et gros bétail), vergers et grandes cultures. Attention : pour les grandes cultures, l'ombrage peut affecter la production agricole, surtout si la densité des trackers est élevée.

