

Réflexions sur l'Agrivoltaïsme : opportunités et problèmes.

Alain Carbonneau
ma2.carbonneau3@orange.fr

Plusieurs questions et éléments de choix sont à prendre en compte dans le développement de l'*agrivoltaïsme* : Pourquoi ? Quel type ? Ressource indispensable ? Priorité face au défi de l'eau ?

1) La justification de l'association avec une culture ou un élevage :

L'agrivoltaïsme s'inscrit parmi les systèmes de production d'énergies renouvelables, et est une branche du photovoltaïque. Il convient de noter d'emblée que la production électrique par des panneaux photovoltaïques – les modèles aérophotovoltaïques assurant en plus la récupération de la chaleur – doit avant tout concerner les bâtiments privés et publics, comme les maisons, les hangars ou les parkings. Ceci étant, l'association avec l'espace rural et l'agriculture mérite réflexion. Une centrale de panneaux photovoltaïques peut s'établir sur un *terrain inculte* en le valorisant seulement par sa production électrique. Elle peut aussi être installée sur un terrain cultivable ou cultivé avec l'avantage d'une présence humaine permanente, et ceci pose alors la question de la valorisation de la spéculation agricole associée.

Un premier cas qui semble être le plus représenté, est celui d'une *production agricole en difficulté* économique voire en péril dont la rentabilité peut être améliorée ou rétablie par l'apport du revenu électrique. Ce n'est sans doute pas un hasard si les premiers projets dans le sud de la France concernent des vignobles ou des vergers qui posent pour partie d'entre eux la question de leur survie. Ceci étant, le changement apporté par l'installation d'une centrale photovoltaïque est aussi l'occasion de développer une spéculation agricole mieux adaptée au marché.

Le second cas est celui d'une production agricole rentable, à laquelle on souhaite adjoindre un *revenu supplémentaire*. Ici la condition est que la production ou la rentabilité de la spéculation agricole ne soit pas affectée ou très peu. En grande culture, une limite de perte maximale de production de l'ordre de 20 % est avancée par l'Inrae avec une limitation du taux de couverture.

Le troisième cas, plus ambitieux, est la recherche d'une spéculation agricole qui peut profiter de l'installation photovoltaïque pour s'améliorer en production et/ou en qualité. Cette stratégie du '*gagnant-gagnant*' doit être celle que la recherche privilégie, en particulier dans le contexte de l'adaptation au changement climatique. Les pistes techniques à explorer découlent de l'analyse des éléments suivants.

2) L'échelle de la centrale photovoltaïque :

Deux conceptions existent :

- *L'agrivoltaïsme à microéchelle* (environ 1 ha). Dans ce cas, on se situe au niveau de la parcelle de culture et en phase avec la prise en compte de la diversité des sols. La gestion du microclimat de la culture se fait sur les mêmes bases que les choix culturels habituels, sans que l'environnement global ne soit sensiblement modifié. L'optimisation de la spéculation agricole est ici possible sur la base des raisonnements habituels.

- *L'agrivoltaïsme à mésoéchelle* (plusieurs dizaines ou centaines d'ha). Dans ce cas, la configuration de la centrale acquiert une dimension industrielle, ce qui est sans doute de nature à augmenter sa rentabilité intrinsèque, mais produit un réel impact environnemental en modifiant le mésoclimat.

La question première est de connaître la nature et la conséquence d'une telle modification. Sur une surface d'environ 50 à 500 ha, il se crée inévitablement une '*poche mésoclimatique*' qui développe ses propres caractéristiques relativement indépendamment du mésoclimat ambiant, ce qu'une surface d'environ 1 ha ne peut faire dans la mesure où physiquement elle ne peut s'isoler. Sur une grande surface en revanche, il peut par exemple se créer un espace véritablement indépendant, une poche d'air à plus faible turbulence, plus ombragé, parfois plus chaud en raison d'un 'effet serre' (un échauffement de 3 à 5°C en été est avancé, sous les panneaux et aussi au-dessus), mais aussi vraisemblablement plus frais en saison fraîche quand l'effet de l'ombrage est alors dominant, avec en tout cas des conditions d'évapotranspiration perturbées : au total, c'est un ensemble très différent de l'ambiance naturelle qui se crée.

Ces perturbations mésoclimatiques ont des effets directs sur la culture, et aussi des effets indirects sur la flore et la faune locales qu'il faut évaluer. Tous ces éléments sont d'ailleurs à prendre en compte aussi dans le cas d'une installation en terrain inculte – choix généralement fait – au niveau de la couverture végétale naturelle comme une garrigue, et de ses cycles concernant l'eau, le carbone, l'azote. Une analogie peut se faire avec certains effets urbains au milieu de la campagne. La question est de savoir si ce changement est positif notamment dans le cadre du changement climatique, ou au contraire facteur de risque nouveau lié aux échanges inévitables entre cette 'poche mésoclimatique' et l'environnement ambiant, surtout dans le contexte du changement climatique? A priori dans ce contexte, la création d'électricité 'verte' est un atout. Cependant ne prend-on pas le risque à certains moments d'un échange thermique intense avec un vent violent rééquilibrant l'important gradient de départ? Risque d'incendie également si chaleur et sécheresse sont exacerbées, voire impact électrique? Dommages collatéraux à l'environnement?

Les spécialistes du climat devraient se pencher sur le problème, établir des modèles climatiques avec diverses simulations (taux de couverture etc...), proposer des critères pour l'étude d'impact.

3) Le choix de la composante 'agri' :

Toutes les spéculations agricoles paraissent concernées, des plus classiques aux plus originales. Où peuvent se situer les améliorations possibles ?

Commençant pas les plus originales, l'*aquaculture* peut bénéficier de l'ombrage de panneaux photovoltaïques pour réduire les pertes d'eau par évaporation et favoriser la vie des espèces aquatiques dans une eau plus fraîche.

Les *prairies* peuvent produire une herbe plus abondante avec plus d'appétence pour le bétail. Des exemples existent en particulier dans l'élevage des petits herbivores à bonne valeur ajoutée.

Les *grandes cultures* sont aussi concernées. A priori l'avantage attendu serait une économie d'arrosage, à condition que la baisse de photosynthèse due à l'ombrage soit limitée et ne réduise pas trop le rendement (moins de 20 % annoncé).

Les *cultures horticoles* comme les fruits les légumes et les fleurs sont généralement fragiles, et ce fait, l'installation des panneaux apparaît comme un facteur de protection des excès radiatifs et thermiques, en plus d'être un facteur d'économie de l'eau.

La *viticulture* peut aussi bénéficier de certains avantages. Le raisin de table peut rejoindre le cas précédent. Le raisin de cuve, dans la mesure où il nécessite une irrigation, peut donc aussi bénéficier d'une économie d'eau, en rappelant que la gestion de la ressource en eau reste la grande priorité. Mais le point le plus original est sans doute celui d'effets attendus sur la date de récolte et la *maturité du raisin*. Certains cépages précoces ont sans doute avantage à être récoltés plus tardivement dans des conditions plus fraîches afin de mieux exprimer leur potentiel aromatique. Au moins à titre expérimental, leur culture à l'ombre de panneaux photovoltaïques (voir figure 1 en fin d'article) est de ce fait de nature à mieux valoriser leur potentiel qualitatif.

4) Le choix de la composante 'voltaïsme' :

Le premier élément est le *taux de couverture* en panneaux. Selon les besoins de la culture, il peut être total si l'ombrage est recherché, ou limité à environ la moitié de la surface si l'impact de la baisse d'éclairement sur la production agricole est important. Dans ce cas une recherche de compromis entre le revenu photovoltaïque et le revenu agricole est à trouver.

Par ailleurs, il existe une diversité dans les *types de panneaux photovoltaïques*, même si ceux destinés à l'association avec l'agriculture doivent sans doute répondre d'abord aux critères de robustesse et de rentabilité à long terme, plus qu'à celui de performance. Les panneaux peuvent être fixes (à diverses inclinaisons) ou orientables, mono-faces ou bifaces, opaques ou semi-transparents. Concernant ces dernières catégories, l'opacité est naturellement de mise dès lors qu'un effet d'ombrage est recherché. Mais des panneaux semi-transparents peuvent être utiles.

L'enjeu est ici de limiter la baisse du potentiel photosynthétique en laissant pénétrer de la lumière, en rappelant par exemple que la photosynthèse est déjà saturée aux environs du tiers du plein soleil dans le cas de la vigne. Mais un élément semble ne pas avoir été pris en compte jusqu'à présent : c'est la couleur de la lumière transmise. Ceci rejoint des essais de types de filets de protection anti-grêle ou de solarisation avec divers matériaux réfléchissant sous le rang, différant par leur couleur. Sur vigne, la couleur rouge s'est avérée favoriser la synthèse de certains composés de la couleur du raisin (éventuellement d'autres aussi). En particulier des raisins de table blancs accentuent leur nuance dorée lors de l'utilisation de filets rouges, ce qui est attractif sur le plan commercial. À l'opposé les couleurs bleues ou vertes ont des effets négatifs. Alors pourquoi ne pas expérimenter par exemple des *panneaux photovoltaïques semi-transparents colorés en rouge* ?

5) Les systèmes complexes – les serres voltaïques, l'agroforesterie voltaïque:

L'infrastructure d'une culture sous serre peut être associée à celle d'une centrale photovoltaïque : ce sont les *serres voltaïques*. Cette option est intéressante pour l'horticulture sous serre, d'autant qu'une partie de l'énergie produite sur place peut servir aux besoins courants de la serre en électricité, chauffage ou apport d'eau. Cette association génère une synergie d'investissement entre la serre et la centrale, ce qui explique probablement le soutien qui lui est accordé. Toutefois, il faut admettre qu'il s'agit davantage de favoriser les cultures habituelles qui ont avantage à être faite sous serre, que de produire ainsi sous serre des cultures qui sont normalement de plein champ.

Une autre idée, apparemment non avancée, est d'associer déjà une première association – l'*agroforesterie* – au photovoltaïsme. L'idée se justifie si auparavant l'agroforesterie est reconnue comme intéressante, par exemple en raison de la biodiversité de la faune auxiliaire ou du microclimat tempérant lié à la présence des arbres, considérés moins comme des concurrents pour la culture, que comme des 'coopérants'. La présence de panneaux au-dessus de la culture pourrait renforcer l'intérêt microclimatique de l'association avec les arbres, intérêt direct pour la culture ou indirect en favorisant une lutte biologique grâce aux auxiliaires.

De façon plus générale, pourquoi ne pas envisager un *agrivoltaïsme bocager* ? Ici l'intérêt agricole n'est pas évident, mais l'intérêt paysager semble bien le justifier, les haies du bocage rompant l'aspect artificiel de la centrale en l'intégrant mieux à une composante naturelle du paysage local.

6) Le degré d'autoconsommation pour la culture :

La production photovoltaïque est source de production électrique vendue sur le réseau de distribution. Mais, comme pour les particuliers, une partie peut être *auto-consommée* sur place,

soit pour les besoins habituels en énergie électrique, soit pour satisfaire des besoins nouveaux. Ces besoins nouveaux concernent sans doute en priorité *l'apport en eau*. Cette électricité peut servir à actionner des pompes d'un nouveau système d'arrosage, à traiter des eaux usées, voire à désaliniser l'eau de mer dans certaines situations. Une mutualisation de telles opérations au niveau local est sans doute optimale.

7) L'agrivoltaïsme et la protection physique de la culture :

La couverture en panneaux peut assurer une certaine protection directe de la culture contre des accidents climatiques : excès de chaleur et de sécheresse, mais aussi grêle, orages et vents violents, éventuellement certaines formes de gel en limitant le refroidissement par rayonnement nocturne. L'autoconsommation du courant électrique peut aussi servir à actionner des moyens de lutte antigel (ventilateurs, aspersion, éventuellement fils chauffants), phénomène de plus en plus fréquent au printemps en raison de l'avance du débourrement liée au réchauffement climatique.

8) La barrière au désert :

L'agrivoltaïsme peut aussi être un moyen de fournir l'énergie et la protection pour maintenir une culture menacée par la progression du *désert*. Des applications à grande échelle sont développées en particulier dans le nord-ouest de la Chine.

De façon plus globale, les déserts offrent des conditions importantes de production photovoltaïque en raison de leur ensoleillement exceptionnel. Ce sont des programmes planétaires à ce niveau.

9) Le terroir et l'agrivoltaïsme :

Il est évident que l'agrivoltaïsme viticole modifie profondément le mésoclimat qui est une composante essentielle du terroir naturel de base, avec le sol. De ce fait, l'appartenance d'un vignoble donné à son AOP ou IGP de rattachement se perd automatiquement. Toutefois, une juste solution consisterait à maintenir cette appartenance, notamment à une appellation, tout en adjoignant une mention spéciale 'agrivoltaïque'. Si ce choix technique s'avère pertinent, une telle disposition réglementaire serait une plus-value.

10) Le paysage et l'art mosaïque agrivoltaïque :

On touche certainement ici le point le plus sensible pour le grand public. Autant un changement de cépage ne se remarque pas, autant un changement d'architecture végétative se remarque à peine, autant l'installation d'un agrivoltaïsme notamment viticole explose véritablement dans le paysage. Trois stratégies se dessinent :

- On utilise la *microéchelle en intégrant* du mieux possible les panneaux dans le paysage environnant et en dispersant les centrales sur l'ensemble du territoire ; à ce niveau une installation sur des pentes aménagées en terrasses aide aussi à l'intégration des panneaux dans le paysage (figure 2) ; surtout, un système complexe d'agroforesterie ou de bocage voltaïque peut être particulièrement utile (la figure 3 donne une idée d'intégration des panneaux entre des haies).
- On joue délibérément la carte industrielle des unités géantes sur des dizaines ou centaines d'ha, un peu comme si on créait une nouvelle agglomération ; ceci à l'évidence *choque dans un paysage* viticole de qualité et provoque un rejet-réflexe contre le changement, l'effet-masque, voire la laideur, de la part de la population locale, vigneronne et associée. Faut-il pour autant se l'interdire ? Il y a peut-être des places dans des zones reculées à l'écart des passages fréquentés

et peu esthétiques en soi, et sans doute en priorité dans des zones incultes.

- On essaye de rendre la centrale photovoltaïque esthétique. *Y-a-t-il ici une place pour une esthétique ?* Vraisemblablement la microéchelle reste préférable. Osons un parallèle avec le 'street art' : dans certains cas, avec de vrais artistes, des rues lugubres peuvent se transformer en exposition de peintures à ciel ouvert. Alors pourquoi ne pas essayer d'ouvrir l'agrivoltaïque au ciel ? Pourquoi ne pas concevoir chaque panneau comme un carré de mosaïque et transposer aux temps modernes l'art gallo-romain de la mosaïque ? Pourquoi ne pas essayer de rendre une telle installation belle, vue du sol, ou surtout vue du ciel au lever ou au coucher du soleil ? Lancez des concours aux plus belles mosaïques agrivoltaïques, laissez le rêve irriguer notre viticulture... Par les temps qui courent, la beauté fait du bien... naturellement à condition d'atteindre ce niveau artistique !

Conclusion :

L'agrivoltaïsme divise en raison de son impact environnemental encore mal mesuré, dès lors que sa dimension le rend trop visible, surtout quand il n'est qu'un faire-valoir d'un photovoltaïsme uniquement industriel. Il présente cependant un enjeu énergétique majeur et peut aider à valoriser certaines régions. Il existe une diversité de modalités. Notre propos est d'aider à la réflexion sur ce sujet, en fixant le cadre des priorités au sein duquel l'eau tient la première place... L'occasion se présente dans le cadre de divers milieux viticoles méditerranéens.

Étude de cas :

Analyses et propositions sur les possibilités photovoltaïques en milieu viticole méditerranéen.

a) Préambule :

Les informations de base sur les centrales photovoltaïques en milieu méditerranéen ont été fournies par l'ECCLA (Écologie du Carcassonnais des Corbières et du Littoral Audois) et des données générales sur l'agrivoltaïsme par l'Inrae. J'interviens en tant que professeur de Viticulture retraité de l'Institut Agro Montpellier, spécialiste d'écophysiologie et de climatologie de la vigne. Nous traitons ici le cas d'implantations liées d'une centrale photovoltaïque et d'un agrivoltaïsme viticole.

b) Problèmes à régler à mésoéchelle :

Concernant l'installation de *centrales photovoltaïques à mésoéchelle en milieu viticole méditerranéen*, le choix du site est primordial. Quels peuvent en être les critères objectifs ?

- La volonté locale de développer cet outil.
- L'existence préalable d'un environnement à caractère industriel.
- L'absence d'une esthétique ou d'une harmonie paysagère notoire voire unique.
- L'absence de monuments à caractère historique ou de lieux de visite à caractère culturel.
- L'absence d'espèces protégées animales ou végétales.
- La possibilité de trouver un terrain inculte ou en déprise agricole.
- L'intérêt de profiter de cette technologie pour valoriser l'agrivoltaïsme en marge du site.

La décision d'une telle installation, positive ou négative, doit résulter d'un *débat démocratique* au niveau des instances concernées. En cas de conflit entre partisans et opposants à un projet, au niveau de la protection d'un environnement ou d'un paysage, il convient d'en référer au droit. En particulier, la *loi 'Paysage' du 8 janvier 1993* généralise la notion d'intérêt paysager dans les études d'aménagement et d'occupation des sols ainsi que la délivrance des permis de construire. En général c'est la jurisprudence, au cas par cas, qui définit si un paysage doit être protégé ou pas.

Par exemple, une plaine occupée essentiellement par des vignobles, entourée de collines de garrigues, où siège en évidence un monument à valeur historique, exprimant une harmonie typique de la région, doit sans conteste être légalement protégée d'une défiguration qu'entraînerait l'apposition d'une structure d'une autre nature sur une surface importante, telle notamment une centrale photovoltaïque d'une centaine d'ha par exemple. Il serait dommageable dans ce cas, voire inacceptable, de défigurer ce type de paysage, d'autant que souvent d'autres emplacements adaptés à l'accueil d'une telle centrale existent dans le secteur considéré. En fait la conciliation porte sur l'intérêt de développer les ressources locales grâce au photovoltaïque à caractère industriel, et en même temps de préserver le paysage local qui est à la fois élément de culture, de qualité de vie et lui aussi de richesse.

Une fois un accord trouvé sur l'implantation d'une centrale photovoltaïque à mésoéchelle (quelques dizaines ou centaines d'ha), il est judicieux de programmer l'utilisation des retombées que cet investissement peut engendrer.

c) Retombées techniques et économiques :

Beaucoup de vignobles méditerranéens souffrent de sécheresse en raison du *changement climatique*. Par exemple la station météorologique de Ferrals-les-Corbières a enregistré en 2022 et 2023 une pluviométrie de l'ordre de 330 mm alors que les statistiques moyennes de plusieurs décennies passées se situent à 660 mm. Les vignes de telles zones ont particulièrement souffert de *sécheresse* jusqu'à présenter des cas de mortalité sur des surfaces assez importantes. Ce phénomène était d'ailleurs prévisible au vu des études climatiques réalisées à l'Inrae Pech Rouge par Hernan Ojeda depuis une vingtaine d'années.

Les chercheurs de cette région se sont investis dans les réponses de la vigne à la contrainte hydrique, les ressources en eau (utilisation des eaux usées traitées, réseau de retenues collinaires), les méthodes d'irrigation. Il faut constater que tout ce savoir-faire n'a pas encore été véritablement exploité. Une des raisons est le découragement de certains vigneron à poursuivre leur activité sans repenser la conduite de leur vignoble. Mais pour cela, des moyens importants sont nécessaires et il convient de trouver des ressources nouvelles.

Ne serait-il pas opportun, une fois résolu le problème du choix de son site d'implantation, d'utiliser une bonne partie des retombées financières d'une centrale photovoltaïque pour développer réellement une nouvelle viticulture irriguée, également d'opérer les changements de cépages nécessaires, notamment grâce à des variétés résistantes et qualitatives ? Ne serait-il pas aussi opportun de profiter de l'introduction de cette nouvelle technique photovoltaïque pour développer avec des outils similaires, cette fois à microéchelle (parcelle de culture) et de façon intégrée à l'environnement, un agrivoltaïsme qui offrirait les avantages déjà présentés ?

d) Intérêt de développer une forme d'agrivoltaïsme :

Nous proposons donc d'investir dans une viticulture d'avenir grâce à la richesse dégagée par la centrale photovoltaïque locale, et à terme d'améliorer encore la rentabilité viticole par le revenu et l'autoconsommation générés par des *installations agrivoltaïques à microéchelle*. Le modèle proposé est celui de *l'agroforesterie voltaïque* qui intègre le mieux les panneaux à l'environnement, et offre en fait un triple revenu : celui de la culture de base comme la vigne, celui de l'arbre (essence à définir comme le cormier, le pin, le noyer, l'olivier aussi...), celui du photovoltaïsme. Naturellement l'investissement est conséquent, mais avec ici l'argument de la rentabilité à terme, et aussi de l'innovation et, en cas de franc succès, de la réputation.

Concernant les choix viticoles, trois pistes sont possibles, et toutes avec une *irrigation* disponible si le sol le nécessite :

- La viticulture de cépages à maturité adaptée (vendange en septembre ou plus tard), classiques (ex : Syrah, Mourvèdre) ou nouvelles variétés résistantes (voir Inrae Pech Rouge), avec souci d'une optimisation de l'ombrage par le taux de couverture des panneaux.
- La viticulture de cépages plus précoces (selon les demandes du marché) bénéficiant d'un retard de maturité, avec ici utilisation aussi poussée que possible de l'ombrage pour induire un prolongement du cycle végétatif (une expérimentation est ici à concevoir de prime abord).
- La viticulture du raisin de table, avec expérimentation de panneaux semi-transparents rouges, à des fins de production de raisins de haut de gamme.

À terme il est possible d'espérer que ces spéculations dégagent un revenu suffisant permettant d'amortir les investissements proposés, avec toujours l'eau en priorité : traitement des eaux usées et réseau de lacs collinaires. Il convient aussi de rappeler que les panneaux peuvent offrir une certaine protection aux vignes face à la grêle, au gel de printemps par rayonnement, possiblement à une sécheresse excessive, risques existant dans ce type de région. Pour tous ces sujets, il est important de développer les liens avec l'Inrae Pech Rouge (Nicolas Saurin et Hernan Ojeda).

Mais face à ces opportunités innovantes, y-a-t-il **la volonté pour un changement** ? La discussion est ouverte en espérant une dynamique porteuse d'innovation technique, d'aide publique locale ou à un autre niveau, et de progrès pour les vigneronns...



Figure 1. Essai d'agrivoltaïsme viticole à Tresserre – Pyrénées Orientales. (© Christian Dupraz).



Figure 2. Disposition sur une pente. (<https://www.energielibre.ch/comment-lagrivoltaïsme-en-suisse-peut-il-contribuer-a-la-transition-energetique/>).



Figure 3. Agrivoltaïsme de type bocager. (<https://enez-solutions.fr/agrivoltaïsme-melons-protection-des-cultures-a-la-production-denergie/>).

