

---

**PRODUIRE DES ALIMENTS OU DE L'ÉNERGIE : FAUT-IL VRAIMENT CHOISIR ?  
ÉVALUATION AGRONOMIQUE DE LA PRODUCTIVITE DE SYSTEMES  
AGRIVOLTAÏQUES<sup>1</sup>**

par Hélène **Marrou**

**Analyse du mémoire de thèse**

La question de la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale, ainsi que le développement envisagé de sources d'énergies contribuant le moins possible au réchauffement climatique, mettent une forte pression sur l'utilisation des terres agricoles : comment à la fois augmenter les surfaces cultivées et libérer des espaces pour implanter par exemple des centrales photovoltaïques ? C'est sur ce dilemme que se penche le travail de thèse de H. Marrou, en proposant une solution pour le moins innovante : pourquoi choisir, alors qu'on peut faire les deux sur un même champ ? Il s'agit en effet ici de tester la faisabilité, et pour cela d'en comprendre le fonctionnement, d'un système mixte consistant à cultiver des plantes sous un ensemble de panneaux solaires disposés suffisamment haut pour ne pas gêner les opérations culturales mécanisées. L'idée est très récente, et particulièrement attrayante.

Le travail de thèse est donc centré sur le fonctionnement agronomique d'un tel système de production, dit « agrivoltaïque », cherchant à combiner production d'électricité et production alimentaire sur la même surface et la même période de temps. La thèse est structurée autour de cinq chapitres : le premier en pose le contexte et la problématique. Les trois chapitres suivants présentent les résultats : le second porte sur la quantification de la productivité des cultures sous les PVP (panneaux photo-voltaïques) et son interprétation par la décomposition des efficacités d'interception et de conversion du rayonnement ; le troisième concerne une analyse du microclimat sous les PVP et les conséquences sur la dynamique d'émission des feuilles des cultures et les stades phénologiques ; le quatrième est centré sur une analyse de la consommation en eau des cultures au sein du système agrivoltaïque. Enfin, le dernier chapitre est composé d'une discussion générale des résultats acquis et de perspectives liées à l'évaluation économique de tels systèmes.

Sur ce sujet fortement innovant, le travail a été mené dans deux directions principales : (1) mieux comprendre les déterminants de la productivité des cultures en condition d'ombrage intermittent sous les panneaux photovoltaïques, (2) identifier les leviers d'action principaux pour optimiser la productivité totale de ces systèmes. Les résultats de la thèse sont remarquables et démontrent la « preuve du concept » agrivoltaïque. On retiendra en particulier les points suivants :

- l'auteur a montré que lorsque les plantes sont cultivées en condition d'ombrage sous les panneaux, elles peuvent compenser la réduction de la ressource lumineuse en augmentant leur capacité à intercepter la lumière ;
- à partir d'une analyse approfondie des changements microclimatiques observés sous les panneaux solaires, à la fois à l'échelle de temps horaire et journalière, elle a évalué l'impact de ces changements, notamment de la température du sol, sur la croissance et le développement des cultures ;

---

<sup>1</sup> Thèse soutenue en 2012. Médaille d'argent de l'Académie d'Agriculture en 2013.

- elle a montré que l'efficacité d'utilisation de l'eau est accrue à l'ombre des panneaux solaires ;
- elle a mis en évidence que ces systèmes peuvent être doublement productifs (la production d'énergie et de biomasse est élevée), en particulier lorsque les panneaux sont agencés de façon à laisser au moins 70% de la lumière incidente disponible pour les cultures.

Outre les résultats qu'il a produits, le travail de thèse comporte de nombreux points forts. On notera notamment les points suivants :

- la thèse repose sur un dispositif expérimental original, permettant de tester un système agrivoltaïque en grandeur nature, et consistant en un traitement à haute densité de panneaux, un traitement à mi-densité, et un traitement témoin sans panneau. Ce dispositif, fortement équipé en mesures, a permis à H. Marrou de quantifier l'impact de panneaux et de leur densité sur un grand nombre de variables liées au microclimat des cultures, à la consommation des plantes, à leur développement et à leur croissance, etc. Les protocoles expérimentaux sont bien conçus et plusieurs espèces et variétés ont été testées pendant des saisons climatiques différentes : céréales d'hiver, cultures légumières au printemps et en été, en climat méditerranéen (Montpellier) ;
- l'auteur a conduit à partir de ces données une remarquable analyse multidisciplinaire du système agrivoltaïque, en l'analysant dans les domaines de l'écophysiologie, de la micrométéorologie, de l'hydrologie et de l'économie ;
- au cours de son travail H. Marrou a développé des outils de modélisation (simulation de carte de lumière au niveau du sol, modèles conceptuels pour l'accumulation de biomasse) qui pourront être utiles pour évaluer de nouvelles dispositions des panneaux solaires afin d'optimiser les systèmes agrivoltaïques du point de vue de leur productivité totale ;
- elle a suivi une excellente stratégie de publication puisque chacun des cinq chapitres est bâti autour d'un article original en anglais ; deux sont actuellement publiés, deux sont soumis, un est en cours de finalisation ;
- enfin, H. Marrou conclut en évoquant des pistes de recherche judicieuses, montrant que le présent travail ne constitue pas l'aboutissement d'une idée mais bien au contraire le point de départ d'une future et prometteuse ligne de recherche.

---

### Fiche technique

Age de l'auteur : 27 ans (née le 24/03/1985)

Durée de la thèse : 3 ans

Lieu de réalisation : UMR System (Montpellier)

Directeurs de thèse : J. Wéry et C. Dupraz

Financement : bourse CIFRE (société Sun'R)

### Publications

- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y., 2010. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36 (10), 2725-2732.
- Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L., Dupraz, C., 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy* 44 (0), 54-66.
- Marrou H., Guillioni L., Dufour L., Dupraz C., Wéry J., 2013. Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology* (en révision).
- Marrou H., Dufour L., Ruelle P., Wéry J., 2013. How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system? *European Journal of Agronomy* (soumis).

Marrou H., Loisel P., Salle J.-M., Nogier A., Wery J., 2013. Sharing or splitting land? An economical assessment questioning profitability and Food:Energy ratio of production systems. *Global Food Security* (en préparation).

### Communication orales et posters dans colloques et conférences internationales

Marrou H, Wéry J., Dufour L, Dupraz C. 2012. Producing food and electricity in the same system: experimental evidences of the agrivoltaic systems potential. ESA 2012 Meeting, Aug. 20-24, 2012, Helsinki, Finland (oral presentation).

Marrou H, Dupraz C, Dufour L, Nogier A. 2011. Growth of Various Plant Species At Different Levels of Shade: Towards Optimisation of New Agrivoltaic Systems. 2011. ASA Annual Meeting, "Fundamental for Life: Soil, Crop, & Environmental Sciences, Oct. 16-19, 2011, San Antonio, TX (oral presentation).

Marrou H, Dupraz C, Dufour L, Nogier A. 2011. The growth of different plant species in the shade of solar panels: a preliminary assessment of agrivoltaic systems productivity. 12th North American Conference of Agroforestry, Athens (USA), June 4-9,2011 (poster and oral presentation).

Marrou H, Dupraz C, Dufour L, Nogier A. 2011. Growing lettuce under photovoltaic panels : a first in situ assessment of agrivoltaic systems. 12th North American Conference of Agroforestry, Athens (USA), June 4-9, 2011 (poster).

Marrou H., Dupraz C., Ferard Y. and Kohler T. 2010. Combining solar photo-voltaic panels and food crops for optimising land use : towards new agri-voltaic schemes. Agro2010. European Society of Agronomy Annual Meeting, Montpellier, pp 723-724 (poster).

Marrou H., Dupraz C., Talbot G., Dufour L.2010. Capacité de STICS pour la simulation de cultures semi ombragées. Colloque biennal STICS , Sorèze (82) (oral conference presentation).

### Activité de vulgarisation

#### *Communications grand public, support vidéo*

Reportage Journal Télévisé 7L TV 23/11/2010. 2'

[http://www.dailymotion.com/video/xfr3z8\\_7ltv-actu-du-23-11-2010\\_news#.USX-eje5pHk](http://www.dailymotion.com/video/xfr3z8_7ltv-actu-du-23-11-2010_news#.USX-eje5pHk) (min 2 à min 4)

Reportage Journal Télévisé, Fr3 journal des régions, Edition Languedoc-Roussillon, 06/03/2011

Participation à la réalisation d'un film (5') pour la société Sun'R sur la recherche en agrivoltaïque (bientôt disponible sur [www.sunr.com](http://www.sunr.com))

#### *Communications de vulgarisation, presse écrite*

Manger et s'éclairer. INRA Magazine, n°22, Octobre 2012

Agri-voltaïque, l'avenir agricole est ici. Journal « 20 minutes », Edition Montpellier, le 22-09-2010.

Caroline Rossignol

#### *Visites commentées du dispositif*

Jorge Luis Carizo (INTA, Instituto Nacional de Tecnologia AgroPecuaria, Argentina)

### Enseignement

#### *Cours*

Cours de Master 2, Supagro Spécialité d'ingénieur « Production Végétale durables » (3h), module Fonctionnement des Ecosystèmes Cultivés

#### *Encadrement de stagiaires*

Agathe Legendre, stage de M1 ingénieur agronome, AgroParisTech, 12 semaines

Elodie de Mondenard, stage BTS Technologies végétales (1<sup>e</sup> année), CNPR, 6 semaines

Alix Calvet, stage M1 Hydrologie, Université Montpellier II, 12 semaines

Antoine François, stage M1 Ingénieur agronome, ESA Anger, 14 semaines