



Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques

2012

Claire GOILLON, APREL.

1 – Objectif

De nombreux producteurs maraîchers se sont intéressés à des projets d'installation de panneaux photovoltaïques sur les serres, en construction neuve ou ancienne.

Parmi les projets initiés, un des premiers à avoir vu le jour est une serre verre ancienne équipée de panneaux sur 50% de la surface de toiture.

L'objectif du suivi est de mesurer le rayonnement utile aux plantes (PAR) dans cette serre pour estimer la quantité de lumière photosynthétique disponible aux cultures et essayer d'adapter les cultures.

2 – Contexte

- **Description de l'exploitation**

Lieu : Aureille (13)

Exploitation en agriculture biologique depuis avril 2009.

Surface totale : 1,45 ha (6300 m² de SV, 3200 m² de MC plastique, 4950 m² de tunnels plastiques)

Productions : cultures maraîchères diversifiées ; tomates, poivrons, courgettes, salades....

- **Equipement photovoltaïque**

Historique du projet :

En 2008, le producteur a monté un projet de serre photovoltaïque sur sa serre existante. Après de nombreuses démarches, ce projet a vu le jour en 2011 sur la base d'un partenariat avec EDF. La société a signé un contrat avec le producteur pour la location de la serre sur un bail de 25 ans (contrat de 20 ans avec EDF et marge de 5 ans pour l'installation). La serre a été mise en service et reliée au réseau électrique depuis juin 2011.

Serre verre initiale :

- Marque LOMBROSI (type ABRAN) construite en 1981
- Orientation des chapelles N/S et ouvrants E/O
- Hauteur sous chéneaux : 2,50 m au Nord
- Surface : 6300 m²
- 13 chapelles de 6,40 m
- Verre martelé de 3,2 mm d'épaisseur
- Pente naturelle du sol de 1,5 % et pente de la structure 0,5% (écoulement)

Remarques : 3 chapelles à l'Est ont été construites dans un 2^e temps avec un verre martelé différent (3,6 mm d'épaisseur)

Installation des panneaux photovoltaïques (société TENESOL) :

Dimension d'un panneau : 72,5 x 70 cm avec 40 cellules.

2704 panneaux sur la serre, couverture à 50% de la surface totale de la toiture.

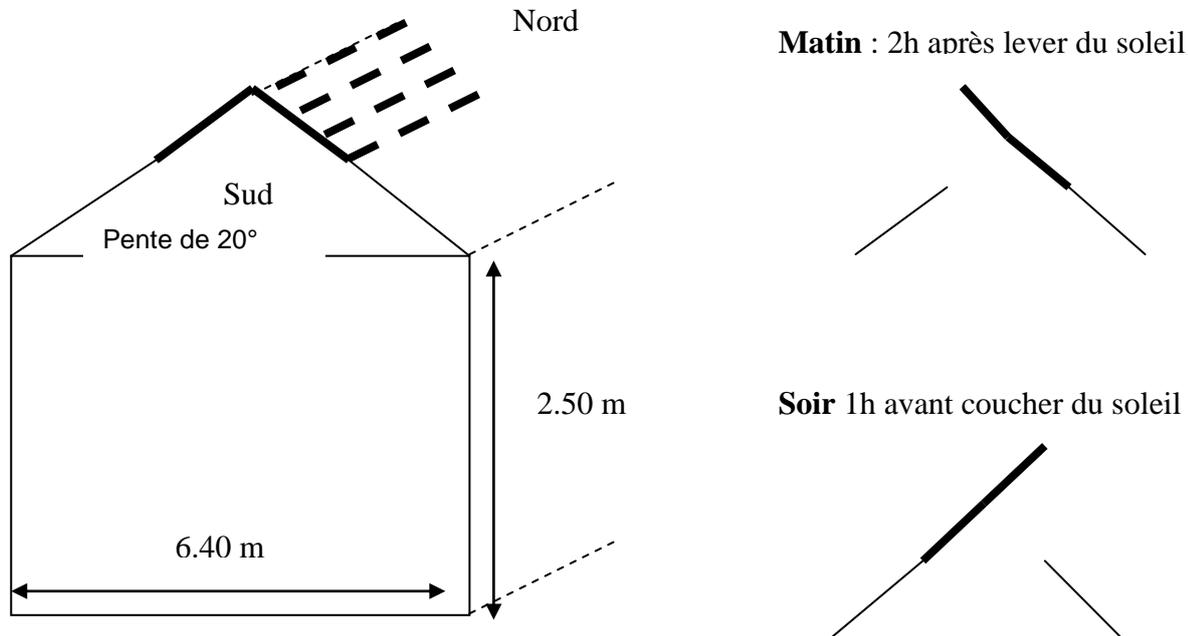
Composition : panneaux en 2 couches, verre et tevlar qui les rendent complètement opaques.

Toutes les crémaillères des ouvrants de la serre ont été changées et de nouvelles crémaillères ont été rajoutées sur le côté qui ne s'ouvre pas. Des poteaux supplémentaires ont été installés pour consolider la serre en hiver en cas de neige.

L'ouverture des ouvrants (avec panneaux PV) se fait en fonction du soleil : progressivement les panneaux s'orientent jusqu'à ouverture maximale côté Est 2 heures après le lever du soleil (en hiver) puis maximale côté Ouest jusqu'à 1 heure avant le coucher du soleil.

La gestion de l'inclinaison pendant la journée se fait par rapport à l'ombre sur le panneau inférieur. Lorsqu'une seule des 40 cellules du panneau est occultée, il y a perte de 90% de la production d'électricité, donc tout est fait pour optimiser la production d'électricité. La serre est ouverte en permanence en journée quel que soit le temps.

Schéma de la serre photovoltaïque et des ouvrants :



• **Cultures déjà pratiquées en 2011 :**

Plantations de juillet :

- courgette : variété Dunja, très belles plantes mais aucune fleur ouverte et pas de fruits (la fleur se forme mais n'arrive pas à s'ouvrir).
- concombre : variétés Defense, Dream Liner, Diapason. Plantes bien développées, production de concombres jusqu'à 1 m, puis le manque d'hygrométrie a provoqué des coulures et des fruits boisés.
- tomate : bon développement de plantes mais défauts sur les fruits, manque de calibre, hampes longues, cassantes, fleurs faibles...

Plantations d'hiver :

- salades : batavia rouge Mohican : montaison, pas de couleur.
- mâche : 1 mois de retard mais un rendement de 0,8 kg/m², ce qui est satisfaisant en hiver.
- épinard : correct.

3 – Protocole

Le suivi de cette serre est basé sur deux aspects : l'aspect environnement des plantes dans la serre (climat et lumière) et l'aspect agronomique (comportement des cultures).

Observations sur le climat et la lumière :

- Lumière photosynthétique (PAR) : Des mesures de PAR sont effectuées à l'aide de capteurs spécifiques et d'enregistreurs SKYE Lynx Datahog. Les enregistreurs sont programmés pour faire une mesure toutes les 30 secondes et une capture de données toutes les 5 minutes sur une période d'enregistrement définie. Les enregistrements sont ensuite récupérés sur un ordinateur grâce à un logiciel adapté. Une serre de même type (marque ABRAN), non équipée de panneaux photovoltaïques et située à 10 km sert de témoin.
- Climat : La température et l'hygrométrie sont contrôlées avec des enregistreurs Hobo U12 programmés pour enregistrer les données toutes les heures en continu.

Plusieurs séries de mesures sont effectuées sur des périodes différentes de l'année pour couvrir différentes conditions lumineuses :

- Fin mars : comparaison avec la serre témoin. Comparaison de PAR entre le Nord et le Sud de la serre photovoltaïque. Comparaison de PAR dans la largeur des chapelles. Contrôle de température et d'hygrométrie.
- Fin avril : comparaison avec la serre témoin. Contrôle de PAR au Sud dans la largeur des chapelles en comparaison à l'extérieur.
- Fin juin : Contrôle de PAR au Sud dans la largeur des chapelles en comparaison à l'extérieur.

Observations agronomiques : observations du comportement des cultures.

4 – Dispositifs

Un enregistreur Datahog relie 8 capteurs de mesures numérotés de 1 à 8.

Fin mars (du 26/03 au 01/04) :

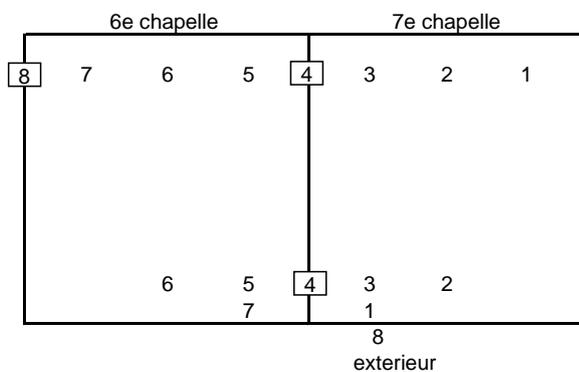
Dans la serre photovoltaïque :

- un enregistreur est disposé au Nord pour mesurer le PAR à différents points sur la largeur des chapelles,
- un enregistreur est disposé au Sud de la même façon. Un capteur est utilisé pour mesurer le PAR à l'extérieur (capteur 8) et deux capteurs sont placés plus proches des parois (capteurs 1 et 7),
- un enregistreur Hobo est placé au milieu de la serre.

Dans la serre témoin, avec une culture de tomates au stade F3 :

- un enregistreur est disposé au Sud de la même façon que dans la serre photovoltaïque. Une partie des capteurs est située à 1,5 m de haut, au-dessus des plantes de tomates (capteurs 2, 3, 4 et 6). L'autre partie est placée au pied des plantes (capteurs 1, 5 et 7). Un capteur est utilisé pour mesurer le PAR à l'extérieur (capteur 8).

Dispositif dans la serre photovoltaïque



Dispositif dans la serre témoin

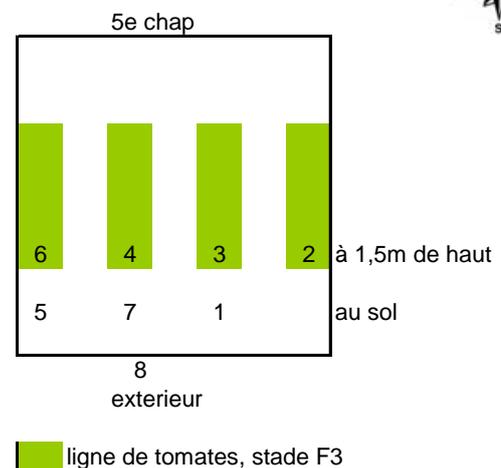


Photo 1 : dispositif de mesure avec les capteurs de lumière PAR disposés sur des piquets dans la largeur des chapelles

Fin avril

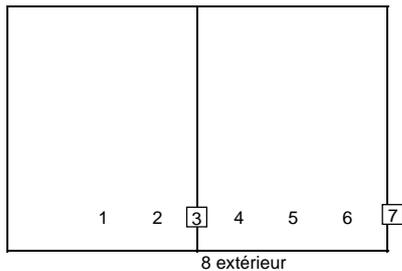
Dans la serre photovoltaïque :

- un enregistreur est disposé au Sud de la même façon qu'en mars. Un capteur est utilisé pour mesurer le PAR à l'extérieur (capteur 8) et deux capteurs sont placés plus proches des parois (capteurs 1 et 7).

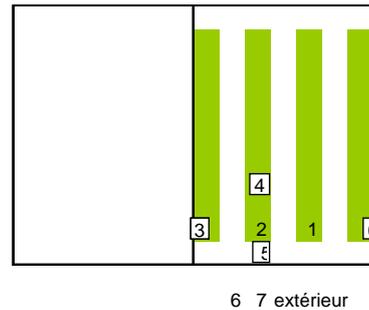
Dans la serre témoin, avec une culture de tomates au stade F7 :

- un enregistreur est disposé au Sud de la même façon que dans la serre photovoltaïque. Une partie des capteurs est située à 2,5 m de haut, au-dessus des plantes de tomate (capteurs 0, 3, 4 et 5). L'autre partie est placée au pied des plantes (capteurs 1 et 2). Deux capteurs sont utilisés pour mesurer le PAR à l'extérieur (capteurs 6 et 7).

Dispositif dans la serre photovoltaïque



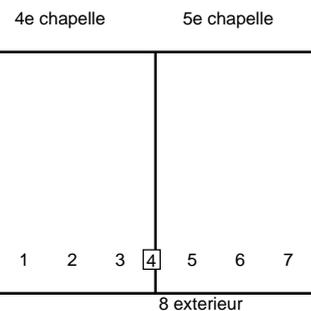
Dispositif dans la serre témoin



Fin juin

Dans la serre photovoltaïque :

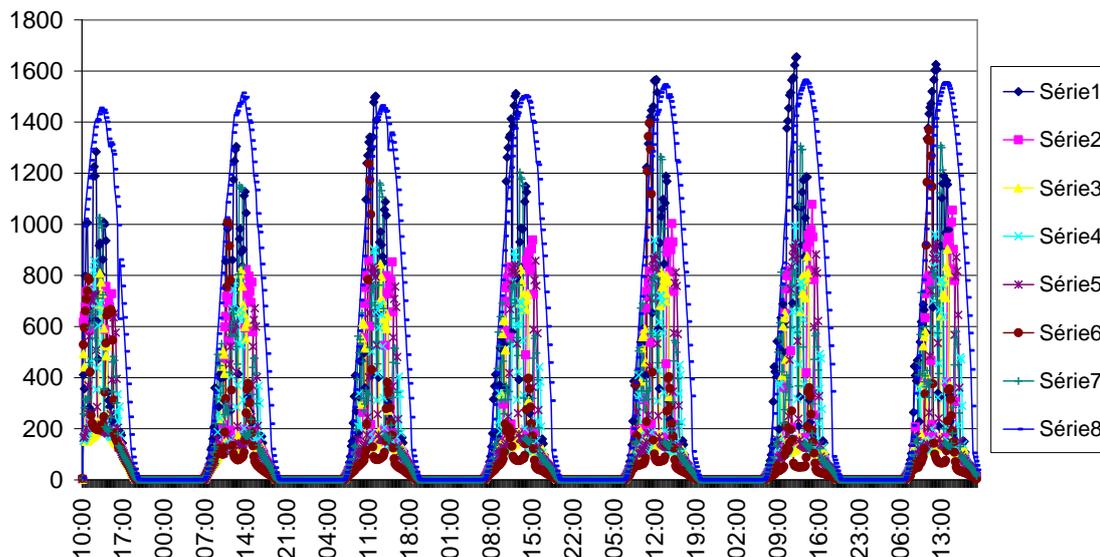
- un enregistreur est disposé au Sud de la même façon qu'en mars. Tous les capteurs sont répartis dans la largeur des chapelles sauf un qui est utilisé pour mesurer le PAR à l'extérieur de la serre (capteur 8).



5 – Résultats

• Relevés fin mars

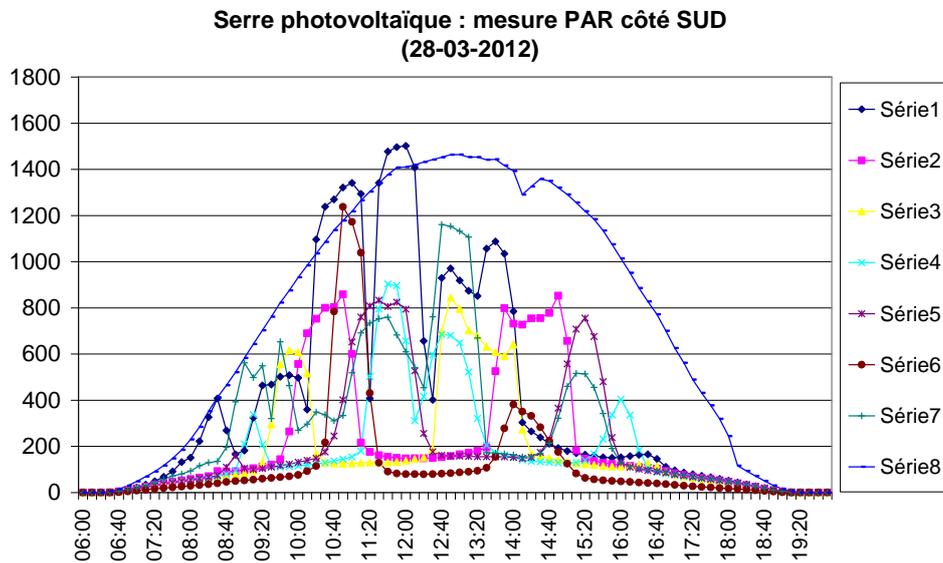
**Serre photovoltaïque : mesure de PAR côté SUD
(du 26-03 au 01-04-12)**



Sur la période considérée, le temps a été stable et les courbes sont très similaires d'un jour à l'autre.

Détail sur la journée du 28/03

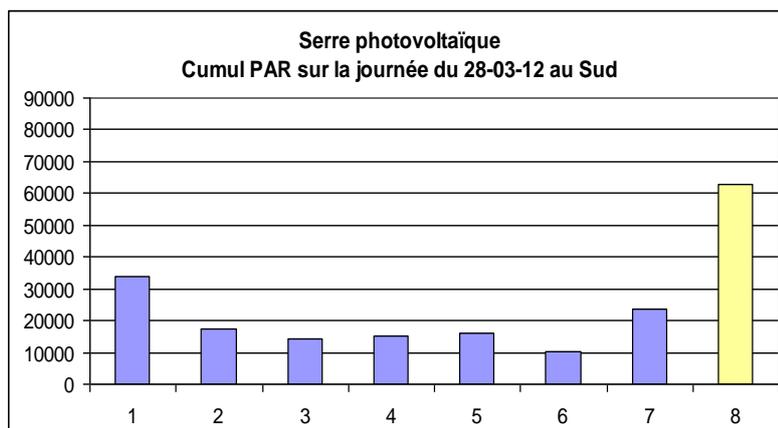
Sur une journée, on peut voir que la courbe de mesures du capteur à l'extérieur est linéaire. A l'intérieur de la serre, les différents capteurs disposés dans la largeur des chapelles marquent des pics à différents moments de la journée.



Cumul comparatif dans la serre sur 24 heures

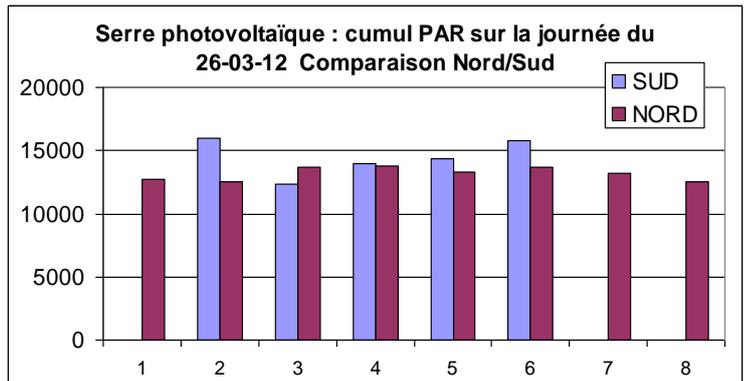
- Au Sud

On constate peu de différence sur la largeur des chapelles : toutes les sondes ont reçu la même quantité de PAR. Les écarts sont plus liés à l'orientation peu précise des capteurs qu'à une différence de luminosité. Les sondes 1 et 7 étant positionnées au niveau du chemin, plus près de la paroi, semblent cependant se démarquer avec plus de PAR reçue. Si l'on exclut ces mesures, la transmission de PAR dans la serre par rapport à l'extérieur est seulement de 23 %.



- Comparaison Nord/Sud

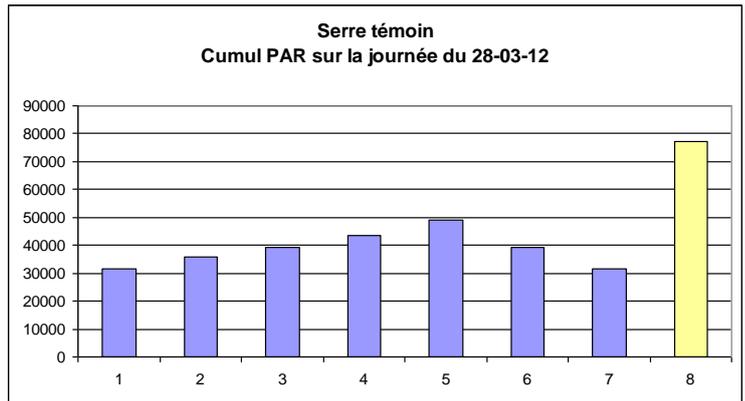
Les différences de PAR entre le Nord et le Sud sont peu importantes. Il semblerait néanmoins que le Nord soit un peu pénalisé en milieu de chapelle (sondes 2 et 6) avec 17 % de PAR en moins.



- Serre témoin

Sur cette série, plusieurs mesures sont surprenantes :

- La référence extérieure (8) est plus élevée que celle prise le même jour sur l'autre exploitation, pourtant située dans le même secteur
- La sonde 5 située au pied des plantes donne une mesure plus élevée que les autres sondes situées en tête de plante.

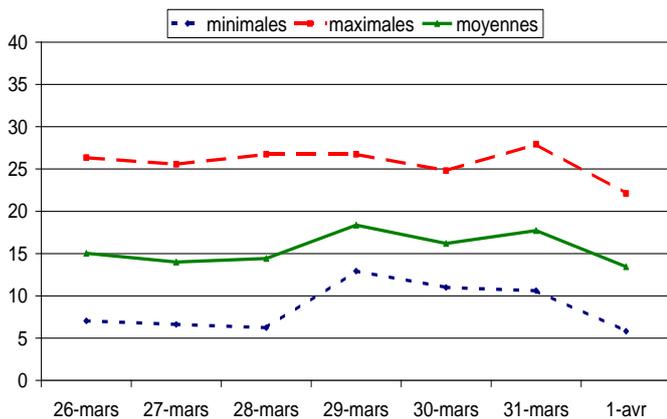


Le positionnement des sondes à l'aide de ficelle n'assure peut-être pas une stabilité adéquate. La transmission de PAR calculée par rapport à la moyenne des mesures est de l'ordre de 51%, soit deux fois plus que dans la serre photovoltaïque.

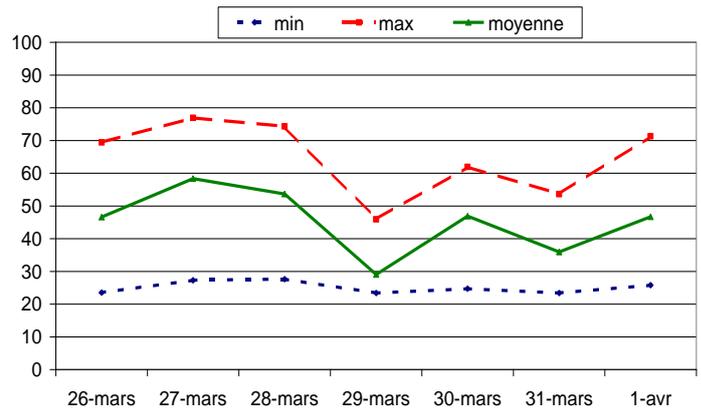
Contrôle du climat

La serre témoin héberge une culture de tomate chauffée alors que la serre photovoltaïque n'est pas chauffée et produit des salades à cette période. La comparaison n'est donc pas intéressante. Il s'agit seulement d'une mesure complémentaire pour la serre photovoltaïque conduite à froid.

Evolution des T° air (°C)



Evolution des RH (%)

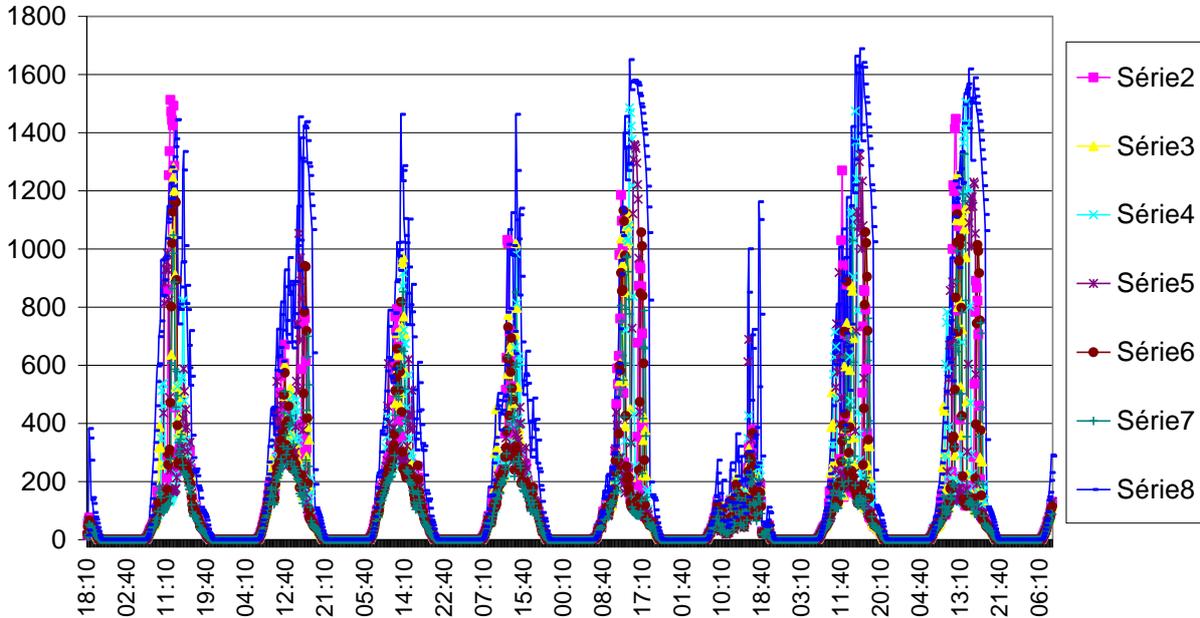


Les écarts de température et d'hygrométrie (RH) sont importants à cette période : 15 à 20°C et 35 à 45% entre le minimum et maximum. Les variations sont également importantes d'un jour à l'autre comme du 28 au 29 mars par exemple.

• **Relevés fin avril**

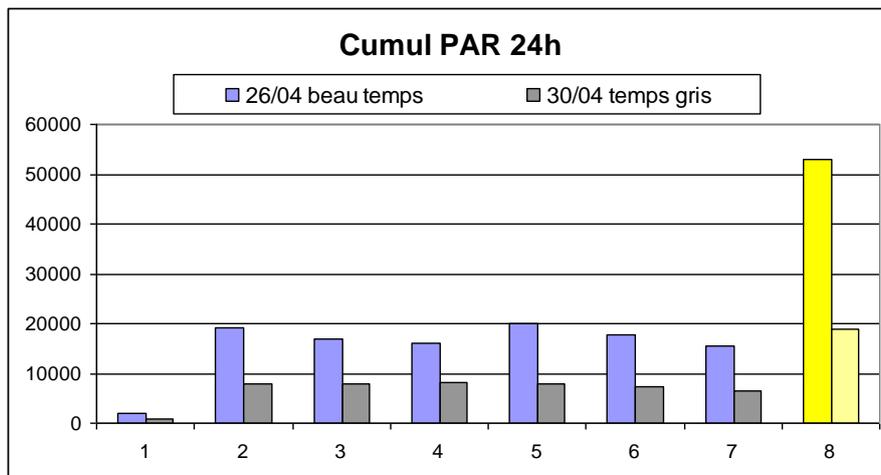
Les valeurs sont proches de celles relevées en mars. Néanmoins, sur cette série de mesures, on constate des variations liées au changement de climat d'un jour à l'autre.

Serre photovoltaïque :
Mesure du PAR côté SUD (du 24-04 au 03-05)



Cumul comparatif dans la serre sur 24h

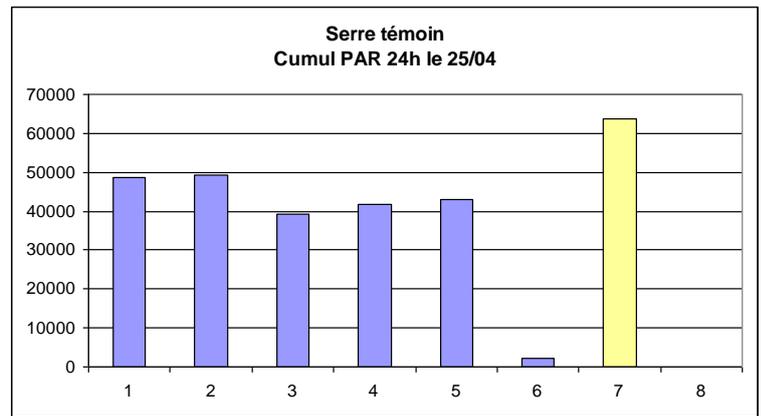
La sonde 1 étant tombée donne des mesures aberrantes et doit être mise de côté. Pour les autres sondes, quelle que soit la journée, il n'y pas de différence de luminosité PAR dans la largeur des chapelles, même au niveau des poteaux (sondes 3 et 7). Par contre, la différence est importante entre un jour clair et un jour nuageux. La comparaison avec l'extérieur donne une transmission de 33% par beau temps et 40 % par temps gris.



Dans la serre témoin, les mesures sont plus cohérentes que dans la 1^{re} série en mars. Par beau temps, on obtient des mesures de PAR à l'extérieur plus proches (sonde 7). La sonde 6 n'est pas à prendre en compte puisqu'elle est tombée de sa fixation.

Dans la serre, les différentes sondes mesurent également des valeurs de PAR comparables.

La transmission de PAR dans cette serre est estimée cette fois à 70%.

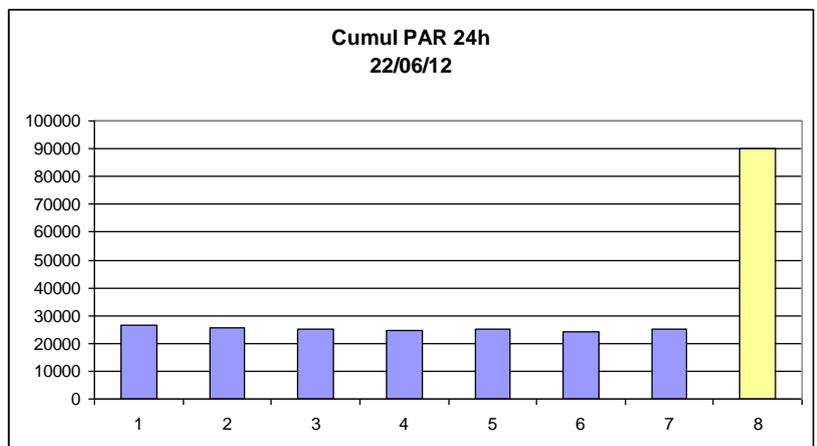


• **Relevés fin juin**

Les valeurs sont nettement supérieures à celles relevées en mars et avril dans la serre photovoltaïque et à l'extérieur, la période étant favorable à un ensoleillement maximum. La transmission de lumière PAR dans la serre est estimée à 28 %.



Photo 2 : dispositif de mesure de lumière PAR disposés dans la largeur des chapelles en juin



• **Observations des cultures**

Printemps 2012

- Laitues batavia : variétés Grinie et Notilia, type « vert ». Bon comportement.
- Laitues rouges : pas d'intérêt, manque de coloration.

Du paillage blanc a été essayé pour gagner en lumière, mais n'a pas montré d'intérêt, il est plus pénalisant avec des températures froides.

Eté 2012

Suite aux premières observations des cultures en 2011, une des grosses contraintes dans la conduite de la serre est le manque d'hygrométrie en été puisque les ouvrants sont en permanence ouverts pour optimiser la production d'électricité. Une installation de brumisateurs a été faite pour compenser.

- Courgette : variété Cassiopée, plantation d'avril. Bon comportement, bonne nouaison contrairement à 2011.
- Concombre : variétés Airbus et Diapason. Avec les brumisateurs, moins de problèmes de coulures.
- Piment : nouaison importante.

- Aubergine : plantation fin juin. Très bon comportement en paroi Est plus lumineuse. Rendement estimé à 6 kg/m².
- Melon : charentais vert : culture d'automne peu concluante.
- Tomate cerise : correct.

Hiver 2012

- Navet : plantation d'automne, type boule, blanc-violet, très bon comportement.
- Brocoli : bon comportement mais culture peu rentable sous abri compte-tenu du prix de vente.
- Chou-fleur : variété Canis, limite de créneau, cycle long (5 mois).

6 – Conclusion

Les premières mesures de transmission lumineuse à l'aide de capteurs de PAR montre que 23 à 40% de la PAR extérieure pénètre dans la serre photovoltaïque selon la période ou la journée d'observation. Par rapport à une serre témoin sans panneau photovoltaïque, cela représente environ deux fois moins de PAR.

Tableau : estimation de la PAR transmise dans les serres à différentes périodes :

	Serre photovoltaïque	Serre témoin
Fin mars 2012	23 %	51 %
Fin avril 2012	Beau temps : 33 % Temps gris : 40 %	70 %
Fin juin 2012	28 %	-

Une certaine variabilité des mesures doit être attribuée à la sensibilité des capteurs par rapport à leur position.

On ne mesure pas de différence sur la lumière transmise au cours d'une journée dans la largeur des chapelles. On peut constater des variations dans la journée du fait des ombres portées de la structure ou des périodes d'ensoleillement par l'ouverture des ouvrants mais la quantité de lumière reçue est homogène d'Est en Ouest.

On constate une légère hétérogénéité entre le Nord et le Sud, notamment au centre des chapelles. La partie Nord reçoit moins de PAR que la partie Sud. Au niveau des parois Sud, à proximité des parois, la quantité de PAR est plus importante. Ces différences doivent être confirmées par d'autres mesures.

En termes de climat, les mesures effectuées en mars montrent des écarts importants de température et d'hygrométrie. Les variations sont brusques également d'un jour à l'autre.

Les observations effectuées sur les cultures laissent penser qu'une production estivale et hivernale peut être réalisée dans ces conditions en réalisant certaines adaptations : brumisation ou bassinages pour remonter le niveau d'hygrométrie, choix de variétés de laitue ne nécessitant pas beaucoup de lumière... Il reste à évaluer le potentiel de rendement possible dans ces conditions ainsi que les conduites culturales les plus adaptées.

En 2013, il serait intéressant de réaliser un suivi plus précis des cultures et de mettre en place des essais variétaux afin d'orienter le choix sur certaines variétés tolérantes à un manque de lumière et des conditions sèches.