Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques 2017

Claire GOILLON, Elodie DERIVRY, Fanny de BOISVILLIERS, APREL –
Daniel IZARD, Sara FERRARA et Sylvia GASQ, Chambre d'Agriculture de Vaucluse (84).

Essai rattaché à l'action n°61.2017.4887 : Pratiques agro-écologiques en production maraîchère méditerranéenne sous abris.

1 – Thème de l'essai

Adaptation des cultures maraîchères aux serres photovoltaïques.

2 – Objectifs

Dans la région, les producteurs maraîchers sont démarchés pour des projets de serres photovoltaïques, mais se heurtent à un manque de références technico-économiques. En 2012 et 2013, les premières références sont acquises par l'APREL dans une serre ancienne où la moitié de la toiture a été remplacée par des panneaux photovoltaïques. En 2015, deux exploitations dans la région se sont équipées de nouvelles serres photovoltaïques plus hautes et on fait l'objet d'un suivi en 2016 pour caractériser les conditions climatiques et lumineuses de ces nouveaux outils et le comportement agronomique des cultures.
Ces travaux se sont poursuivis en 2017 pour compléter les données manquantes, tester des modalités techniques et définir les meilleures orientations de production possibles.
Ce rapport concerne le suivi réalisé sur la serre photovoltaïque à Pernes les Fontaines (84).

3 – Facteurs et modalités étudiées

L'essai consiste à caractériser les conditions de production et le comportement de différentes cultures dans la serre photovoltaïque. Il n'y a donc qu'une modalité étudiée et fait suite à une première année d'acquisitions de références sur une dizaine de cultures différentes.

4 – Matériel et méthodes

- **Site d'implantation**

- Lieu : Pernes les Fontaines (84), serre photovoltaïque construite en 2015 par la société REDEN SOLAR (ex FONROCHE)
La serre photovoltaïque vient en remplacement intégral d'un parc de tunnels plastiques avec lequel le producteur travaillait sur des cultures diversifiées, en majorité de la fraise, pour de la vente directe.

- Contrat photovoltaïque : Le producteur est propriétaire du terrain et a contractualisé un bail emphytéotique de 30 ans avec REDEN SOLAR (ex FONROCHE) qui est propriétaire de la serre. Le contrat impose une obligation de culture sous la serre. La production d'électricité de 2 mégawatts/an revient à la société REDEN SOLAR (ex FONROCHE) qui en tire les revenus. Le producteur ne tire aucun revenu de l'électricité, mais REDEN SOLAR (ex FONROCHE) lui met à disposition la serre photovoltaïque pour son activité agricole.

- Description de la serre :
Dimensions : serre verre hollandaise de 1,8 ha (160 m x 113 m).
La serre est constituée de 12 chapelles de 9,42 m de large, orientées Est/Ouest et réparties en 4 secteurs.
La hauteur sous chéneau est de 4,50 m et de 5,16 m au faîtage.
La pente est de 0,2 %.
Il y a 2 portes centrales, au nord et au sud, reliées par une allée centrale.
La serre n'est pas chauffée.

Les panneaux photovoltaïques occupent tout le versant sud de la toiture, soit 50 % de la surface, et sont de couleur blanche sur la face intérieure. Le versant Nord, où sont positionnés les ouvrants, est constitué de verre transparent comme en paroi (voir photos ci-dessous). Les ouvrants sont fermés automatiquement si le vent dépasse 70 km/heure et sont régulés en été pour éviter l'ombre portée sur les panneaux photovoltaïques.

Photos : paroi Nord de la serre et vue intérieure de la toiture

- **Dispositif expérimental**

Le dispositif de plantation est représenté ci-dessous.

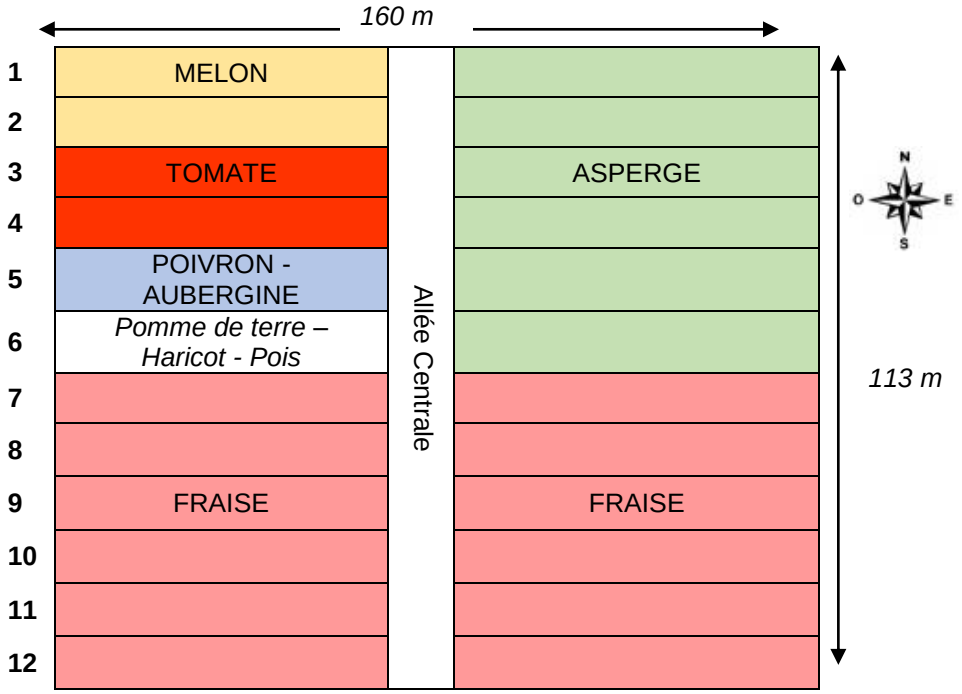


Figure 1 : Répartition des cultures dans la serre photovoltaïque de Pernes en 2017

Tableau 1 : Mises en culture dans la serre pour la saison 2017

Espèce	Date de plantation	Variétés
Melon	1er mars 2017	Godiva et Arapaho greffé
Tomate	8 mars et début avril 2017	Ananas, Cauralina, Cœur de Bœuf, Green Zebra, Rose de Berne, Cornabel, variété grappe, Sweet heart, Trilly
Aubergine	23 mars 2017	Flavine, Angela
Poivron	16 mars 2017	Lipari, Almuden
Pois	1er et 15 mars (semis)	Lincon (pois nain)
Pomme de terre	Début et mi-février 2017	Adora et Agata
Asperge	Début avril 2016	Vitalim, Darzilla, Rambo, Eros, Blacklim, Voltaire
Raisin	Mi mars 2016	Centenial et Muscat

- **Observations et mesures**

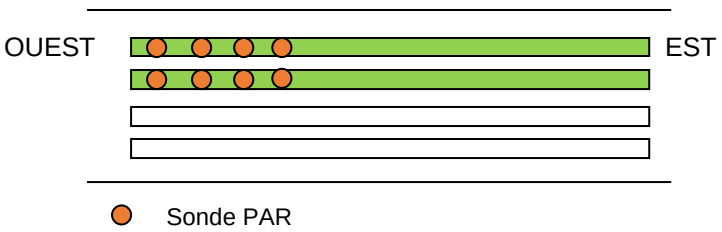
<u>Observations sur le climat et la lumière</u> : Mesures effectuées avec le matériel APREL

➢ <u>Lumière photosynthétique (PAR)</u> :

Le matériel utilisé est un enregistreur SKYE Lynx Datahog relié à des capteurs spécifiques de PAR. 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. La mesure est exprimée en µmol/m²/s^{-1}

Positionnement des sondes :

- Les sondes dans la serre sont disposées sur des piquets enfoncés dans le sol à environ 50 cm de haut. Cette année, elles sont positionnées dans la culture de poivrons (5e chapelle) au cours de deux périodes de 15 jours en avril et en juin. Deux séries de 4 sondes sont mises en place sur deux rangs de poivron distincts pour discerner d'éventuelles différences de luminosité au cours de la journée.



- Trois sondes sont également placées à l'extérieur, dans une zone dépourvue d'ombre pour obtenir la référence de luminosité locale.

➢ <u>Climat :</u>

La température et l'hygrométrie sont contrôlées avec des capteurs Hobo U12 programmés pour enregistrer les données toutes les heures en continu. Cette année, un seul capteur est disposé dans la culture de poivrons à 50 cm de hauteur.

<u>Observations agronomiques</u> :

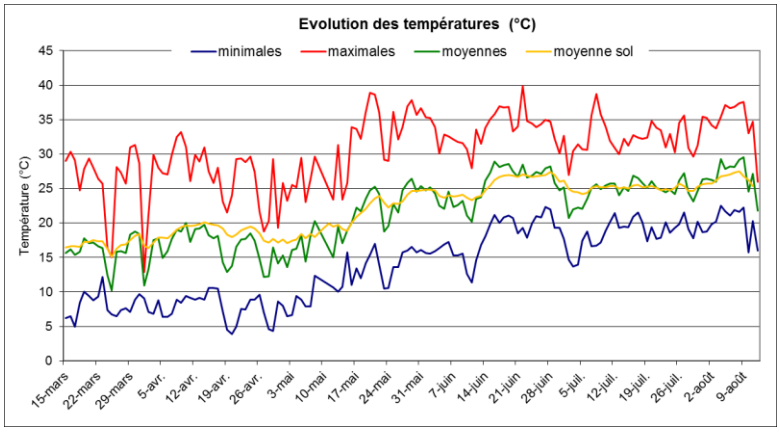
Des notations sont effectuées régulièrement sur :

- Le cycle de production : dates de plantation, stades clés, dates de récolte.
- La conduite culturale : densité de plantation, exposition dans la serre, palissage, fertilisation, irrigation…
- Le comportement des cultures : vigueur, nouaison, équilibre de plante, veille sanitaire.
- La production : estimation du rendement et de la qualité.
- La qualité : des mesures d'acidité sur les fraises et de l'indice réfractométrique (IR) sont réalisées sur les fraises.

Les observations doivent permettre d'avoir un jugement sur le comportement des cultures dans les conditions particulières des serres photovoltaïques.

5 – Résultats

5.1 Suivi climatique



Les relevés de températures ont été effectués dans un seul secteur en milieu de serre (culture de poivron). Les températures moyennes évoluent de 15 à 28°C. Les plus grosses chaleurs sont observées au mois de juin (figure 2).

Figure 2 : Evolution des températures dans la serre photovoltaïque

<u>Comparaison avec un tunnel plastique</u>

Les relevés climatiques ont été effectués de la même façon dans la culture de poivron sous serre photovoltaïque à Pernes (84) et dans une culture sous tunnel plastique à Graveson (13), plantée à la même date. Le tunnel plastique a été blanchi en mai pour modérer les montées en température.

La comparaison est faite sur la période du 23 mars au 8 août où les références sont disponibles (figures 3a et 3b). La première période de culture, de la plantation jusqu'à mi-mai révèle des conditions plus froides dans la serre malgré un volume d'air plus important. On mesure 3.8 °C d'écart jusqu'au 9 mai. Le réchauffement de l'air est plus long avec un ombrage plus important. Par contre, à partir de mi-mai, les températures moyennes sont très comparables dans les deux abris. On mesure 0.6°C de plus en moyenne dans la serre photovoltaïque.

Au niveau de l'hygrométrie, les différences sont peu importantes. On observe même une ambiance légèrement plus sèche dans la serre photovoltaïque en plein été. Contrairement aux mesures effectuées en 2016, les variations d'humidité dans la serre photovoltaïque sont moins importantes que dans l'abri classique. Les capteurs ne sont cependant pas positionnés de la même façon : en 2016, ils étaient sur les poteaux de la serre à 1.50 m du sol et en 2017, ils se trouvent dans la culture à 0.50 m du sol.

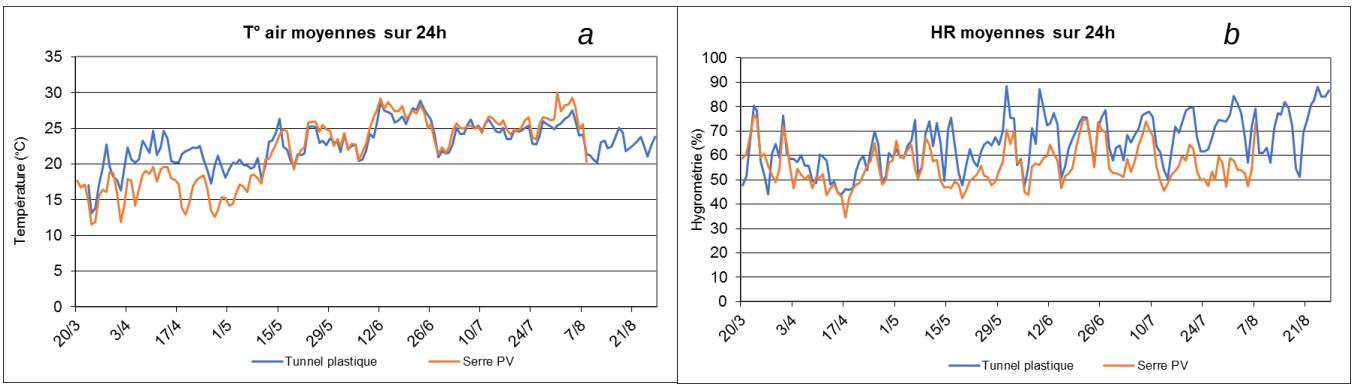


Figure 3a et 3b : Comparaison des températures moyennes (3a) et hygrométrie relative (3b) sur 24 heures dans la serre photovoltaïque et sous tunnel plastique

Tableau 2 : Relevés climatiques moyens enregistrés du 23/03 au 8/08/2017 dans la serre photovoltaïque

	Relevés des moyennes de température du 23/03 au 08/08				**Relevés des moyennes d'hygrométrie relative du 23/03 au 08/08**			
	T° moy	**T° mini**	**T° maxi**	*Delta T° mini-maxi*	**HR moy**	**HR mini**	**HR maxi**	*Delta HR mini-maxi*
Serre PV	**21,8 °C**	**15.8 °C**	**31,6 °C**	*17.0 °C*	**55,9 %**	**43,8 %**	**67,5 %**	*23,7 %*
Tunnel	**22.8 °C**	**14.6 °C**	**32.0 °C**	*16.3 °C*	**64,1 %**	**47,3 %**	**78,3 %**	*30,9 %*
Ecart serre PV - tunnel	-1°C	1.2°C	- 0.4°C	*-0.7°C*	-8.2 %	-3.5 %	-10.8 %	*-7.2 %*

Si les contraintes de ventilation de la serre ont été mis en avant en 2016, le climat en 2017 se rapproche plus des conditions classiques. Des vitres ont été retirées en paroi Sud pour une meilleure circulation d'air. Les portes sont laissées ouvertes en permanence pour compenser la fermeture des ouvrants en fin de journée qui pourraient faire de l'ombre portée sur les panneaux photovoltaïques et réduire la production d'électricité.

5.2 Transmission lumineuse

Deux séries de mesures sont effectuées pendant 15 jours dans la culture de poivron sous serre photovoltaïque et sous tunnel plastique :

- 1ere série de mesures en avril : du 14 au 26 avril
- 2eme série de mesures en juin : du 17 au 30 juin

Les deux séries de mesures permettent de visualiser la luminosité dans la serre à deux périodes d'inclinaison différente du soleil. A chaque période, les capteurs sont positionnés de la même façon dans les cultures de poivron.

<u>Caractérisation de la luminosité globale de la serre</u>

L'ensemble des mesures réalisées dans cette serre depuis 2 ans permet de mieux appréhender le potentiel de lumière pénétrant au niveau des cultures. Le positionnement des sondes dans la largeur des chapelles a permis de montrer un gradient important au niveau de la première chapelle Sud mais à partir de la 2e chapelle, les conditions lumineuses sont identiques partout (figure 4), même en paroi Nord. On peut observer des taux de transmission légèrement variables selon les périodes de l'année mais la fourchette se situe entre 20% (février) et 35% (avril-mai-juin).

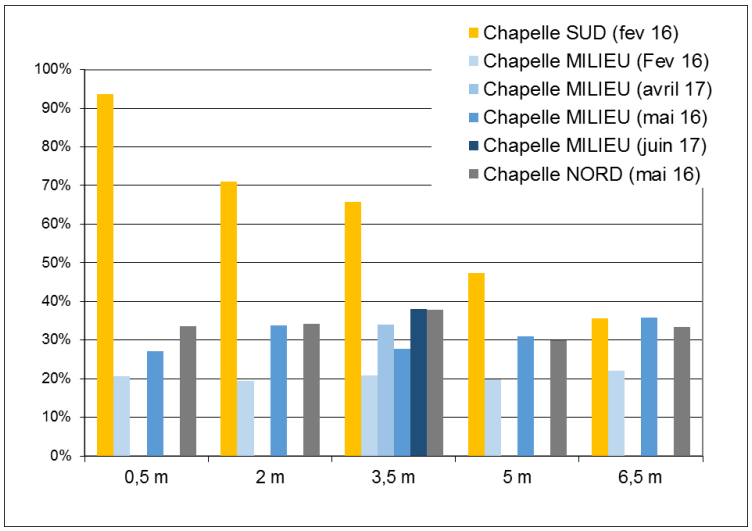


Figure 4 : Mesures du pourcentage de transmission de lumière photosynthétique (PAR) en différents points de la serre

La représentation graphique de la répartition de lumière dans cette serre est schématisée comme cela :

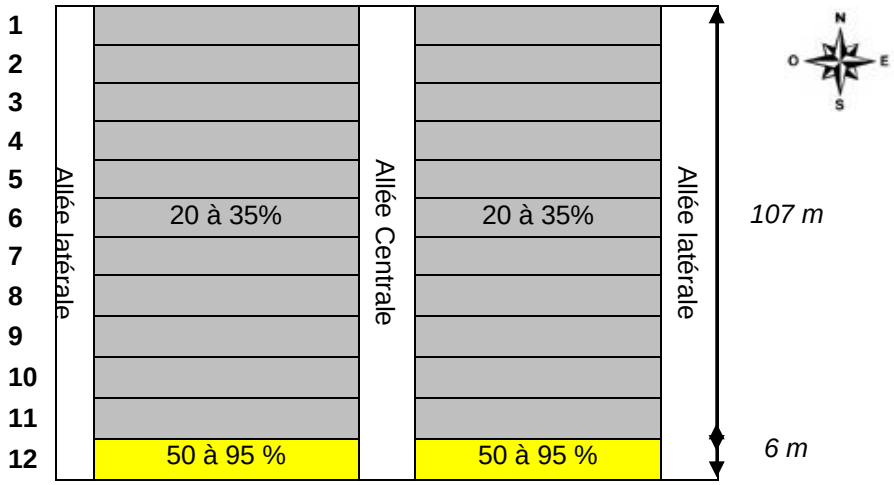
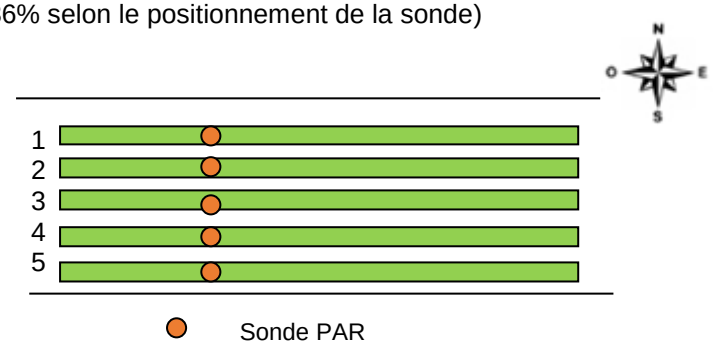


Figure 5 : Représentation schématique des gradients de luminosité (exprimés en % de transmission de PAR) dans la serre photovoltaïque à Pernes

La majeure partie de la serre (1,6 ha) soit 90% de la surface cultivée est soumise à une luminosité faible de 20 à 35% de transmission de PAR. Une faible partie en paroi Sud représentant 5% de la surface, bénéficie d'une bonne luminosité de 50 à 70% de transmission de PAR. Malgré la proximité des parois, les parties cultivées au Nord ne bénéficient pas de lumière supplémentaire. Les parois Est et Ouest ne sont pas exploitées du fait des allées latérales.

Répartition de la lumière sur la culture

Dans ce type de serre, la lumière ne pénètre pas uniformément au cours de la journée du fait des structures et de la partie couverte par les panneaux qui créent des ombres portées importantes au sol (photo ci-dessous). Celles-ci se déplacent au fur et à mesure de la course du soleil dans la journée.
Les mesures en différents points sur la largeur d'une chapelle au cours d'une journée ensoleillée montrent que la lumière reçue par la culture n'est pas régulière mais concentrée sur 2 ou 3 plages lumineuses. On constate en chaque point une période obscure d'environ 2h en milieu de journée (figure 6). Au cumul d'une journée, chaque point reçoit finalement quasiment la même quantité de lumière : un léger écart d'environ 10% a été mesuré entre points par exemple sur la journée du 15/05/16 (transmission lumineuse entre 27 et 36% selon le positionnement de la sonde)



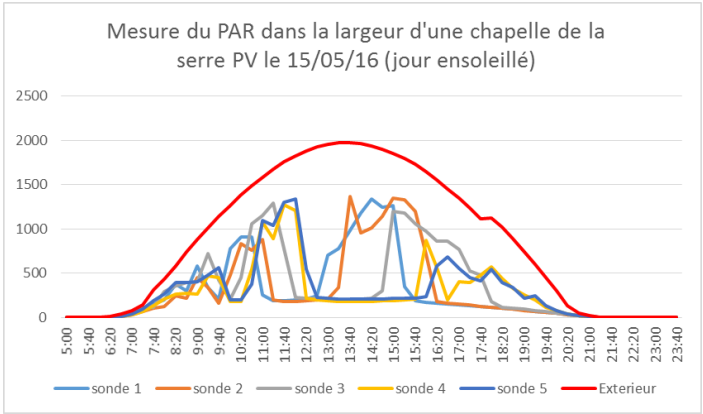


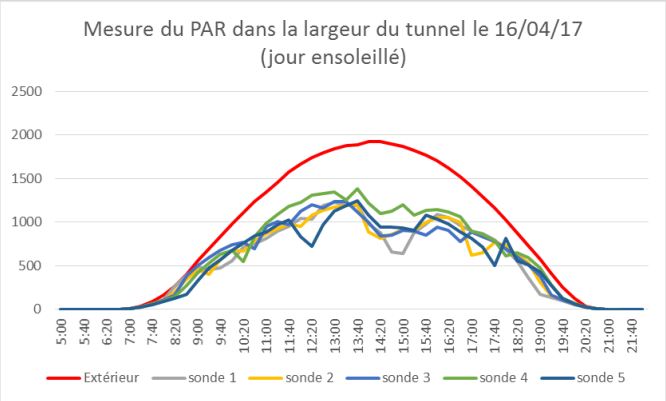
Figure 6 : Evolution de la pénétration de la lumière en différents points de la serre pendant une journée ensoleillée en Mai 2016

Tableau 3 : Relevés de PAR enregistré le 15/05/16 dans la largeur des chapelles de la serre photovoltaïque

	Extérieur	*sonde 1*	*sonde 2*	*sonde 3*	*sonde 4*	*sonde 5*
Cumul PAR du 15/05/16 (en µmol/m²/s^{-1})	50232	13598	17763	14308	16657	17913
% transmission		27%	35%	28%	33%	36%

Comparaison avec un tunnel plastique

Dans un tunnel plastique, le même dispositif de mesure de PAR a été réalisé cette année au printemps. La lumière reçue par la culture au cours d'une journée ensoleillée (16/04/17) suit globalement la même courbe linéaire du PAR extérieur. Les effets d'ombre portée de structure sont mineurs. Il est à noter cependant que l'orientation du tunnel et des rangs de culture est N/S, donc différente de la chapelle dans la serre.



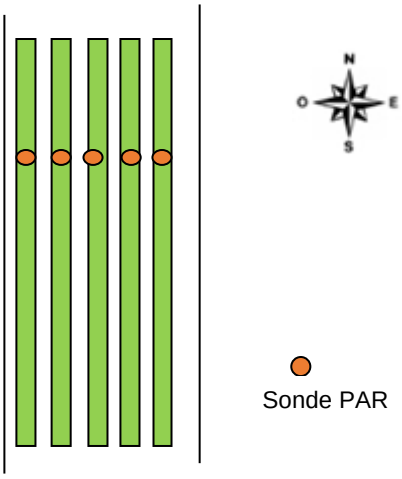


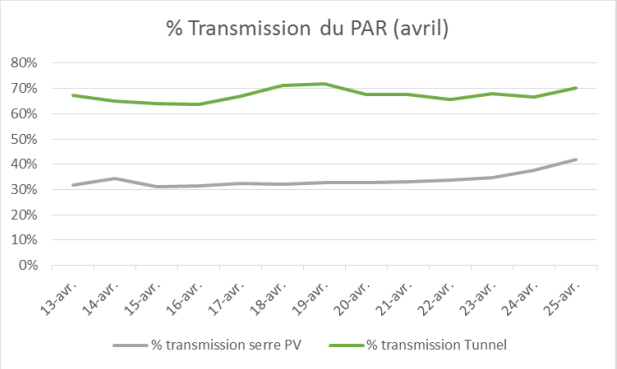
Figure 7 : Evolution de la pénétration de la lumière en différents points du tunnel pendant une journée ensoleillée en avril 2017

Tableau 4 : Relevés de PAR enregistré le 16/04/17 dans la largeur d'un tunnel plastique

	Extérieur	*Tunnel*	*sonde 2*	*sonde 3*	*sonde 4*	*sonde 5*
Cumul PAR du 16/04/17 (en µmol/m²/s⁻¹)	45506	26610	26869	27745	30909	26725
% transmission		58%	59%	61%	68%	59%

Dans cette situation, la transmission lumineuse se situe entre 58 et 68% selon le positionnement des sondes dans la largeur du tunnel, soit un écart de 10% entre les différentes sondes

La mesure du PAR en simultané dans la serre PV et le tunnel plastique permet d'évaluer les écarts de luminosité perçue par la culture de poivron. Les mesures ont été effectuées sur deux périodes de 15 jours à 2 mois d'intervalle. La première série de mesure en avril est réalisée sous une bâche de tunnel plastique neuve. La 2e série en juin est réalisée sous la même bâche mais blanchie à la chaux par le producteur en mai pour protéger la culture de poivron des fortes chaleurs. Les références extérieures sont prises respectivement dans les deux sites.



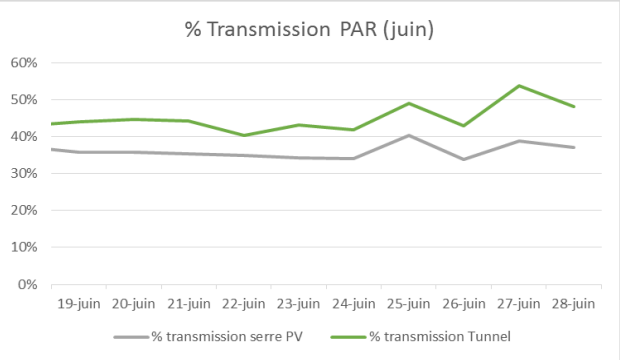


Figure 8a et 8b : Comparaison du taux de transmission lumineuse obtenu dans un tunnel et dans la serre PV en avril (Fig 8a) et en juin (Fig 8b)

La luminosité au printemps est nettement réduite dans la serre PV par rapport au tunnel plastique avec une perte de 33% de pénétration du PAR. L'écart est diminué en juin, après le blanchiment du tunnel puisque la transmission de lumière dans le tunnel est réduite de 22%. L'écart entre les deux structures n'est plus que de 9%, toujours en défaveur de la serre PV.

Tableau 5 : Comparaison du % de transmission de PAR entre la serre photovoltaïque (PV) et un tunnel plastique

% de transmission moyen du PAR	*Serre PV*	*Tunnel*	*Ecart serre PV / Tunnel*
du 14 au 25 avril	34%	67%	-33%
du 17 au 29 juin	36%	45% (tunnel blanchi)	-9%

5.3 Suivi agronomique

Le producteur commercialise en vente directe, d'où la diversification des cultures. La répartition des cultures est représentée sur la figure 1.
Les cultures sont implantées en sol, sans chauffage, sur paillage plastique, menées de façon classique en irrigation fertilisante localisée et en protection biologique intégrée. Le producteur limite au maximum les traitements phytosanitaires. Le suivi des observations est mensuel.

Pour toutes les cultures, l'entrée en récolte a été retardée de 3 à 4 semaines par rapport aux cultures sous abri classique.

- **Fraise**

La fraise occupe 6 chapelles, soit la moitié de la serre. Plusieurs variétés sont cultivées : Gariguette, Cléry, Dely, Naiad, Dream, avec plusieurs origines de plants pour une même variété. Il s'agit essentiellement de trayplants plantés le 16 décembre 2016, sur du paillage noir, avec une densité de 6,36 plants/m². Les minitrays ayant donnés de mauvais résultats en 2016, ont été réduits à 1 chapelle avec Clery.

7	Naïad - trayplants	Allée centrale	Naïad - trayplants
8	Dream - trayplants		Clery - trayplants
9	Dely - trayplants		Dream - trayplants
10	Dream - trayplants		Clery - minitrays
11	Clery - trayplants		Gariguette - trayplants
12	Clery - trayplants		Dely, Gariguette - trayplants

Figure 9 : Répartition des cultures de Fraise dans la moitié Sud de la serre en 2017

Comme l'an dernier, la vigueur des plantes est faible. La reprise est difficile et des dépérissements sont observés en mai surtout sur Cléry, sans doute liés à un mauvais enracinement en début de culture.
En paroi Sud (chapelle 12) dans des conditions de luminosité normales, la production est estimée par le producteur à 300 g/plant soit 1.9 kg/m². Le rendement est plus faible que l'an dernier et deux fois moins important qu'une culture dans des conditions comparables en tunnel plastique (rendement mesuré à 3.7 kg/m²). Les résultats pour les 3 variétés dans cette zone sont identiques (Clery, Dely et Gariguette). Cette année s'est caractérisée par des conditions très chaudes en paroi Sud qui ont conduit au blanchiment des vitres sur cette zone. Les plants ont souffert et peuvent expliquer les moins bons résultats cette année dans cette partie de la serre.
En zone sombre, la production de Clery passe à 190 g/plant (1,2 kg/m²) soit 40% de moins que dans la chapelle Sud et 68 % de moins que la référence sous tunnel plastique. Avec des minitrays, la production est encore réduite avec 160 g/plant (1 kg/m²) soit 50% de moins que la chapelle Sud. Ce type de plant n'est définitivement pas à retenir dans ces conditions. Le trayplant est à privilégier mais représente un coût plus élevé.
Parmi les autres variétés, Dely apporte les mêmes résultats que Clery. La variété Dream semble avoir un meilleur comportement avec une production de 200 à 250 g/plant (1,3 à 1,6 kg/m²) en zone sombre, soit légèrement plus que Clery.

L'état sanitaire de la culture cette année est meilleur que l'an dernier. Aucun dégât de botrytis ni de pucerons n'a impacté la culture mais l'expérience de la saison précédente a conduit le producteur à réaliser plus de traitements préventifs.

<u>Essai de paillage blanc sur fraise</u>.
L'hypothèse de l'influence d'un paillage blanc sur le développement des plantes et la production de fraise en conditions peu lumineuses a été testée en comparant le paillage blanc et le paillage noir sur deux variétés de fraise : Clery et Gariguette.
Pour cet essai, 4 répétitions de 10 plantes ont été positionnées dans chaque variété et des mesures de rendement et de qualité ont été réalisées

De manière générale, on observe un très faible rendement sur l'ensemble des modalités. Les plantes dans l'essai étaient peu vigoureuses avec un faible enracinement. Les conditions agro-climatiques lors de la plantation ont pu défavoriser l'ensemble des plants. Il n'y pas eu de différences visuelles de développement et de vigueur des plants entre les deux types de paillage. Les plants ont eu une précocité équivalente. Au niveau du rendement commercial on note une légère différence entre paillage blanc et noir notamment du 5 au 25 mai. Cette différence est d'autant plus marquée pour la variété Cléry.

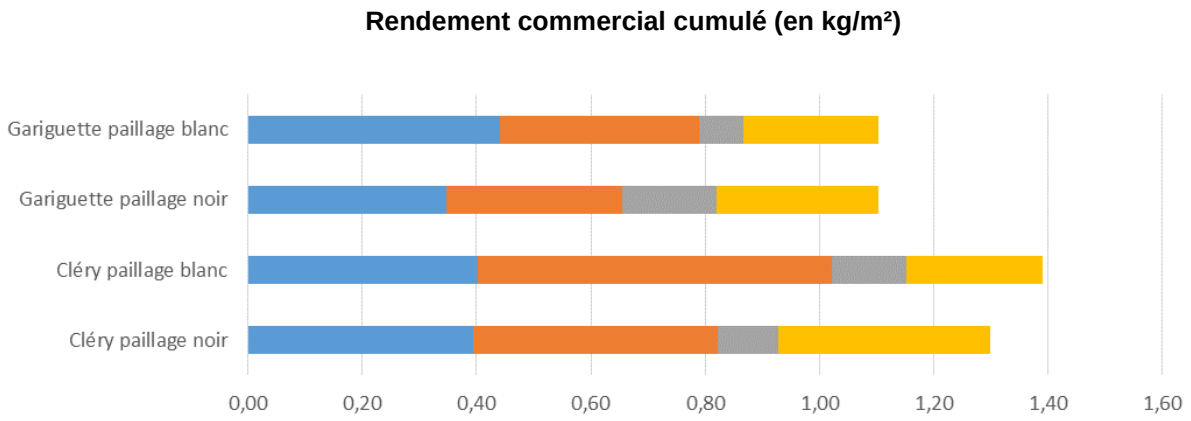


Figure 10 : Rendement commercial mesuré dans l'essai fraise sous serre PV

Au niveau qualitatif, les différences ne sont pas significatives. Les fruits provenant des plantes cultivées sur paillage noir semblent légèrement moins sucrés pour les deux variétés. La différence d'acidité est moins nette (tab 6).

Tableau 6 : Comparaison des indicateurs de qualité mesurés sur les fraises en serre photovoltaïque

	Indice réfractométrique (% Brix)			**Acidité eq NaOH (meq/100g)**		
Variétés	19/04	16/05	Moyenne	19/04	16/05	Moyenne
Cléry blanc	7,4	9,4	**8,4**	8,6	9,6	**9,1**
Cléry noir	6,2	9,0	**7,6**	8,5	9,1	**8,8**
Gariguette blanc	6,6	9,4	**8,0**	13,9	14,7	**14,3**
Gariguette noir	6,5	9,0	**7,8**	9,0	15,9	**12,5**

- **Melon**

Le melon occupe 2 chapelles au nord-ouest de la serre. Les variétés sont Godiva et Arapaho en plants greffés, plantées le 1r mars sur du paillage opaque thermique marron, avec une densité classique de 0,5 plants/m². Les plantes sont peu chargées et le rendement estimé est comme l'an dernier de 1.41 kg/m², alors que le rendement attendu est de 3 à 4 kg/m² pour une culture en conditions classiques. Le manque de production est de l'ordre de 60%.
La culture a subi des attaques de quelques acariens et de pucerons. Le parasitisme s'est fortement développé et a contrôlé les populations de pucerons

- **Tomate**

La tomate occupe 2 chapelles au nord-ouest de la serre.
La plantation est effectuée en 2 fois : le 8 mars, puis le 10 avril, avec plusieurs variétés de diversification : tomate ananas, rose de Berne, green zébra, noire de Crimée, cornue des Andes, cœur de bœuf. Les plants sont greffés, conduits en lyre sur 2 bras, avec une densité de 1 plant/m², soit 2 têtes/m².
Les plantes ont un développement végétatif correct mais la sortie des bouquets est difficile avec des pédoncules longs et fins qui se plient. En juillet, les coulures de fleurs sont nombreuses sur 4 à 5 bouquets quelles que soient les variétés.
Le rendement estimé est de 4 à 4.5 kg/plant soit 4 à 4.5 kg/m² pour la tomate Cœur de bœuf, Noire de Crimée et Ananas. Le plus faible rendement est observé avec la tomate Andine qui a produit 3.13 kg/m². Ces rendements sont extrêmement faibles au regard du potentiel de production de la tomate sous abri dans la région. Le manque de production est de l'ordre de 80%
Les problèmes sanitaires ont été moins nombreux qu'en 2016, notamment avec une pression *Tuta absoluta* moindre.

- **Poivron**

Le poivron occupe 2 rangées doubles dans la chapelle 5. Il s'agit principalement de la variété Almuden et un peu de Lipari. La plantation est effectuée le 16 mars, avec une densité de 1.5 plants/m². Les cultures ont présenté dès la plantation une forte hétérogénéité de croissance et un développement très lent. De nombreuses coulures ont été observées pendant tout l'été et la charge a été très faible, conduisant à un rendement de 1.7 kg/m², soit 80 % de moins qu'une production classique de 9 kg/m² cette année (essai

variétal sous tunnel plastique). Ce résultat est fortement pénalisant. Contrairement à l'an dernier, ce résultat est très pénalisant pour l'exploitation. Cette espèce est fortement affectée par le manque de lumière et par les conditions de reprise de la culture. Des ajustements d'irrigation sont nécessaires.

Essai variétal et greffage sur poivron

Le poivron a donné des résultats mitigés en 2016 qui ont motivé un essai pour tester le comportement de plusieurs variétés et l'effet du greffage sur le raccourcissement des entre-nœuds.
Cet essai comporte 3 modalités :

- Almuden (Syngenta) = témoin
- Raimu (Clause)
- Relys greffé (Clause)

Les plants de Raimu et Relys ont été fournis par un pépiniériste (EARL du Tilleul) différent de celui du producteur (Meffre plants) et avaient 1 semaine de moins environ.

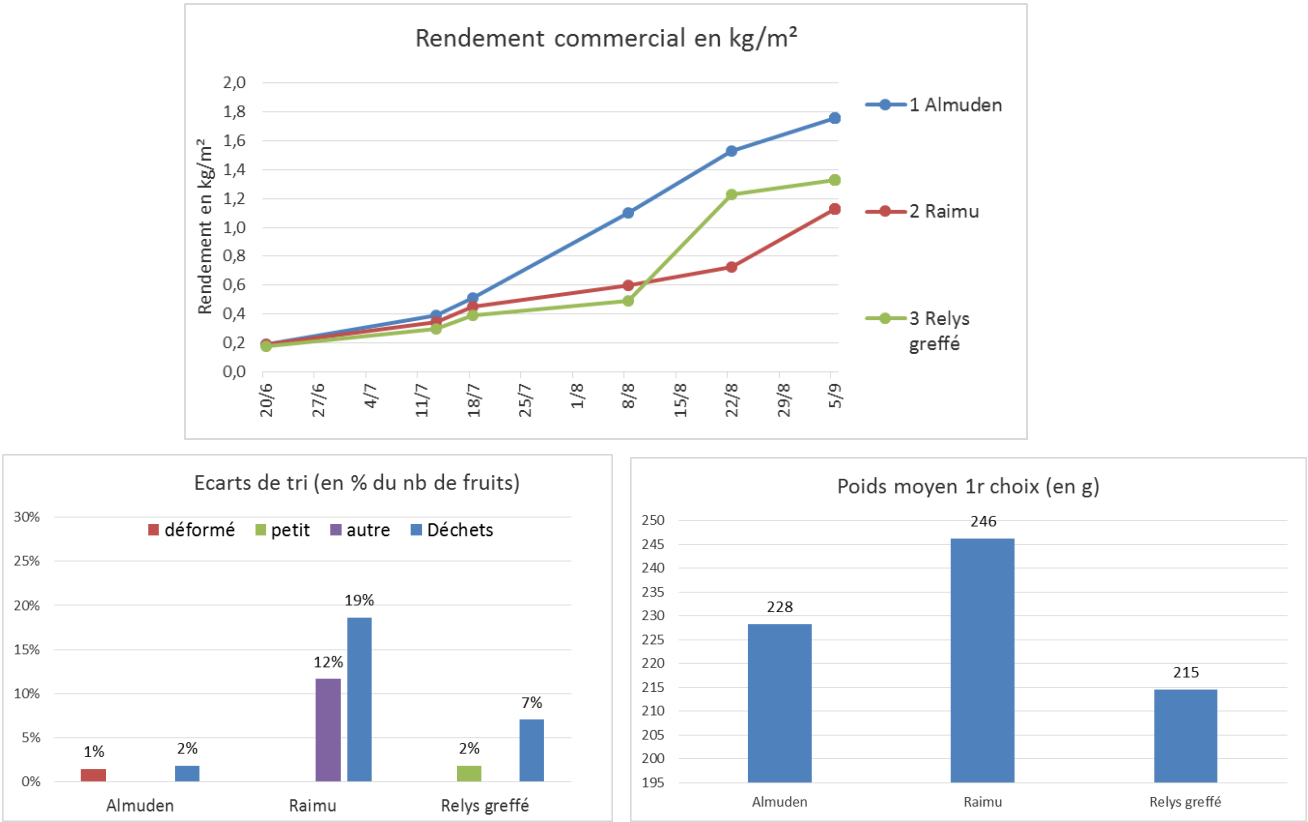


Figure 11a, 11b, 11c : Rendement commercial (11a), Ecarts de tri (11b) et Poids moyen des poivrons (11c) obtenus dans l'essai poivron commercial mesuré sous serre PV

Les résultats ne montrent aucune amélioration possible pour la production de poivron avec les modalités testées. La variété Raimu est moins productive et affectée par des écarts de tri importants. Le poids moyen des fruits récoltés est plus élevé du fait d'une charge moins importante sur la plante. La variété Relys greffée produit des fruits plus petits et a un rendement encore plus faible que le témoin.

Suivi de la fertirrigation

Des mesures de Nitrates dans les plantes ont été réalisées régulièrement dans les cultures de tomate et de poivron pour évaluer la situation par rapport aux références PILazo.
Il ressort en poivron une situation d'excès de Nitrates pendant toute la durée de la culture. En tomate, la situation est plus contrastée, les variations sont importantes. Il est difficile d'interpréter précisément ces résultats mais les apports nutritifs de la plante ne semblent pas cohérents avec une situation confortable.

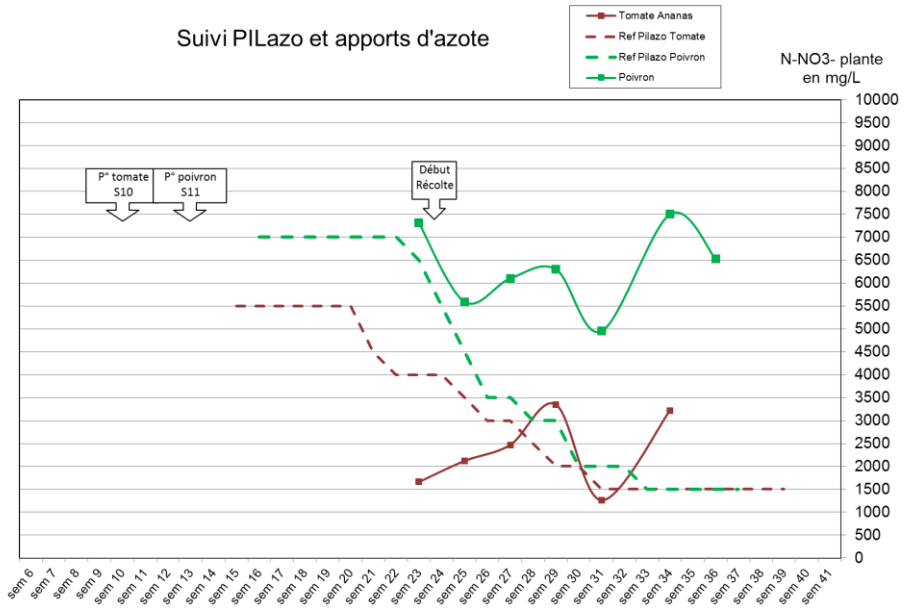


Figure 12 : Relevés des teneurs en Nitrates dans les plantes (méthode PILazo) en tomate et en poivron dans la serre PV

Des tensiomètres (Monitor) ont également été positionnés dans la culture de poivron. Il ressort une tendance générale à la saturation en eau dans la parcelle qui n'a sans doute pas permis un bon fonctionnement des racines. Ces résultats mettent en évidence la difficulté à arroser des cultures qui n'ont pas une activité photosynthétique classique.

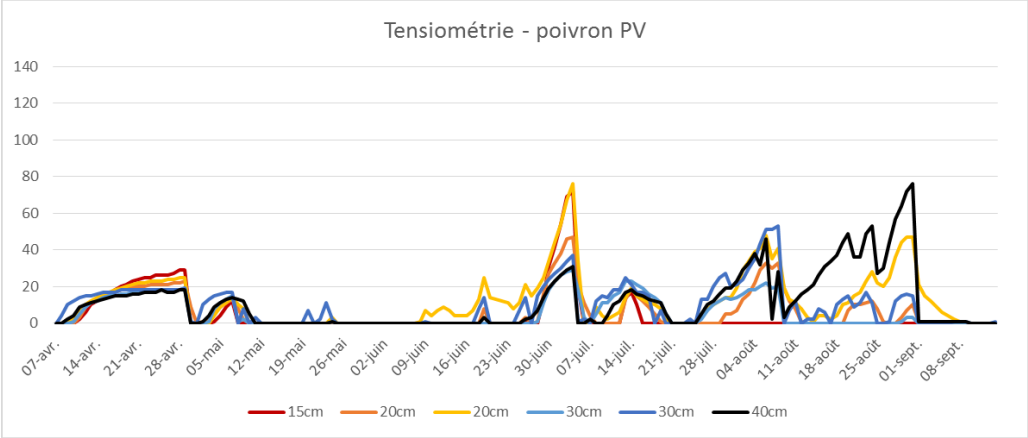


Figure 13 : Relevés des sondes tensiométriques positionnées dans le poivron dans la serre PV

- **Aubergine**

L'aubergine occupe une seule rangée dans la chapelle 5 avec une densité de 0,75 plants/m². Les plantes se caractérisent par une bonne vigueur mais une faible charge en fruits. Le rendement estimé est de 5.5 kg/m² pour l'aubergine longue et de 4 kg/m² pour l'aubergine graffiti. Il est donc réduit de plus de 50 % par rapport à un rendement sous abri classique.
Au niveau sanitaire, les cultures sont restées saines jusqu'en fin de production. Quelques mortalités et des symptômes de verticilliose ont été observés.

- **Asperges**

L'asperge occupe 6 chapelles, au Nord-Est de la serre. Plusieurs variétés ont été plantées début avril 2016 : Vitalim, Darzilla, Rambo, Eros, Blacklim, Voltaire. Les pucerons ont été le problème principal de cette culture avec un impact conséquent sur le développement des plantes. Une première récolte a été réalisée au printemps 2017 limitée à 0.1 kg/m² pour ne pas épuiser les plantes.

- **Raisin**

Des ceps de vigne ont été plantés en 2016 entre les poteaux sous le faîtage. Il s'agit des cépages Centenial et Muscat pour la consommation en frais.

6 – Conclusion

Cette deuxième année de suivi a permis d'avancer sur la caractérisation des conditions de production sous une serre photovoltaïque REDEN SOLAR (ex FONROCHE).

Climat : Les mesures réalisées dans les cultures cette année mettent en évidence des conditions plus froides au printemps (-3.8 °C mesuré dans les poivrons jusqu'à mi-mai en comparaison d'un abri plastique), qui participe au manque de précocité observé dans cet outil. Les excès d'hygrométries ont été moins ressentis qu'en 2016 malgré les contraintes de confinement des ouvrants en fin de journée et le manque de ventilation dans la serre. Des panneaux vitrés ont été retirés pour pallier à ce problème.

Lumière : Les mesures complémentaires de PAR effectuées cette année confirment une transmission lumineuse à l'intérieur de la serre photovoltaïque de 20 à 35% du PAR extérieur. Au printemps, cela représente moitié moins qu'un tunnel plastique, ce qui, combiné avec des températures plus froides ralentit l'installation des cultures et retarde l'entrée en production. En plein été, la luminosité se rapproche des conditions sous tunnel plastique blanchi, permettant l'ombrage des cultures sensibles (poivron, tomate, concombre). Seule la chapelle située contre la paroi Sud bénéficie de conditions normales mais cette zone ne représente que 5% de la surface de la serre.

Un point important à souligner est la répartition de la lumière pendant la journée qui n'est jamais linéaire du fait des bandes d'ombrage au sol provoquées par les panneaux. Les cultures peuvent avoir une activité photosynthétique par intermittence, sur des plages horaires de 2h30 environ en 2 ou 3 fois dans la journée. Elles subissent à l'inverse des périodes obscures en milieu de journée. Les conséquences de cette répartition de lumière restent à creuser.

Au niveau agronomique : Les résultats de production sont à l'identique de l'an dernier, très faibles. Avec un retard d'entrée en récolte de 3 à 4 semaines et des coulures observées dans la plupart des cultures, les rendements obtenus se situent entre 20 et 50% du rendement potentiel sous abri classique. Le poivron, qui avait donné des résultats mitigés en 2016 met en évidence cette année d'énormes difficultés de floraison et de nouaison. Le tableau ci-dessous reprend les rendements calculés par le producteur et les références régionales considérées pour l'année 2017

Tableau 7 : Bilan des rendements obtenus sous serre photovoltaïque et écarts par rapport aux références régionales

	Rendement 2017 sous serre PV (kg/m²)	Rendement référence (kg/m²)	Différence
FRAISE (Clery)	1.9 (Sud) – 1.2 (centre)	3.7	-49% à -69%
MELON	1.41	4	-65%
TOMATE Cœur de Bœuf	4.46	13.8	-68%
TOMATE Ananas	4.08	10.5	-61%
POIVRON rouge	1.7	9	-81%
AUBERGINE ovoïde	5.5	16.2	- 66%
AUBERGINE graffiti	4	7.5 (AB non greffé)	-46%

Les essais qui ont pu être menés cette année n'ont pas apporté de solutions intéressantes, que ce soit le paillage blanc sur fraise ou le greffage sur poivron.

De manière générale, l'équilibre de plante est difficile à obtenir avec des comportements très végétatifs, un étiolement important et des difficultés de nouaison. La conduite de fertirrigation n'est toujours pas maîtrisée par rapport à des besoins des plantes très faibles.

Des installations d'éclairage sur fraise sont envisagées par le producteur mais représentent un investissement considérable sans promesse de résultat. Les marges de manœuvre pour améliorer la production maraîchère dans cet outil sans modification importante de la structure semblent très faibles. Une étude technico-économique devra compléter les références techniques acquises sur ces 2 années de suivi pour évaluer les orientations les moins périlleuses à prendre en fonction du contexte de l'exploitation.
Des ajustements de densité, de variétés et de créneaux peuvent toutefois être travaillés.

Renseignements complémentaires auprès de : *Action A137*
Claire GOILLON, APREL, 13210 St Rémy de Provence, tel 04 90 92 39 47, goillon@aprel.fr

Réalisé avec le soutien financier de :

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur