



Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques

2017

Claire GOILLON, APREL –
Laurent CAMOIN, Chambre d'Agriculture 13 – Aurélie COSTE, Ceta de St Martin de Crau (13).
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 ils 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 des modules de serres asymétriques à Entressen (13).

3 – Facteurs et modalités étudiées

L'essai consiste pour la deuxième année à caractériser les conditions de production et le comportement de différentes cultures dans les serres photovoltaïques. Il n'y a donc qu'une modalité étudiée.

4 – Matériel et méthode

4.1 Site d'implantation

- Lieu : Entressen (13), serres photovoltaïques construites en 2015 par la société ENERIMMO.

Les serres viennent en complément d'un parc de serres existant, constitué d'une ancienne serre verre basse de 1 ha, dans laquelle le producteur a une activité de maraîchage de diversification en agriculture biologique.

- Description des serres : Les serres conçues par la société Enerimmo sont constituées de modules séparés et non d'une seule unité de serre. Deux types de modules sont installés avec des architectures asymétriques qui ont pour principe de déporter l'ombre des panneaux sur des zones non cultivées. Ce type de serre ne présente pas de système d'aération modulable. Une zone d'aération en haut de toiture est prévue pour réaliser un flux d'air, ainsi que les portes latérales Est et Ouest. Dans les serres déportées, une zone d'aération latérale au Sud a également été installée.

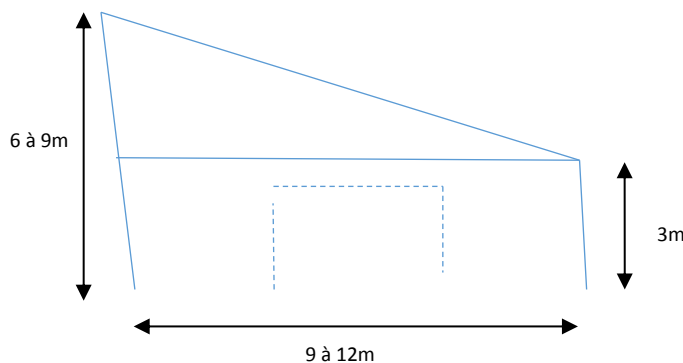


Figure 1 : profil des serres asymétriques

Serres déportées

Dimensions : 7 modules de 650 m² (12 m x 54 m)
 représentant un ensemble de 4550 m²
 Hauteur : 9 m côté Nord, 3 m côté Sud
 Orientation Est/Ouest

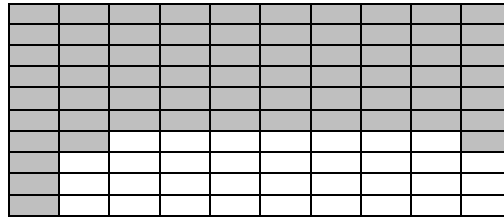


Figure 2 : Représentation de la toiture des serres déportées (panneaux photovoltaïques en grisé)

Seule la partie haute de la toiture et une partie des côtés est couverte de panneaux photovoltaïques, ce qui représente un peu plus de 60% de la surface de la toiture (figure 2). Les modules sont espacés de 20m entre eux pour éviter l'ombre portée. La structure asymétrique représente une forte prise au vent côté Nord et a nécessité une armature renforcée pour assurer la résistance de la structure au mistral.

Serres damier

Dimensions : 6 modules de 550 m² (9 m x 61 m)
 représentant un ensemble de 3300 m²
 Hauteur : 6 m côté Nord, 3 m côté Sud
 Orientation Est/Ouest

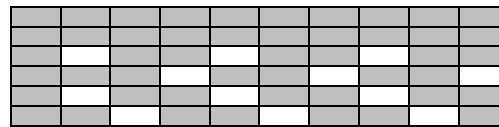


Figure 3 : Représentation de la toiture des serres damiers (panneaux photovoltaïques en grisé)

Ces modules asymétriques ont une couverture partielle de panneaux photovoltaïques en laissant des puits de lumière à intervalle régulier sur la toiture (insertion de vitres tous les 4 panneaux photovoltaïques). Les panneaux photovoltaïques représentent un peu plus de 80% de la surface de la toiture (figure 3).

4.2 Dispositif expérimental

Cultures diversifiées mises en place à différentes dates.

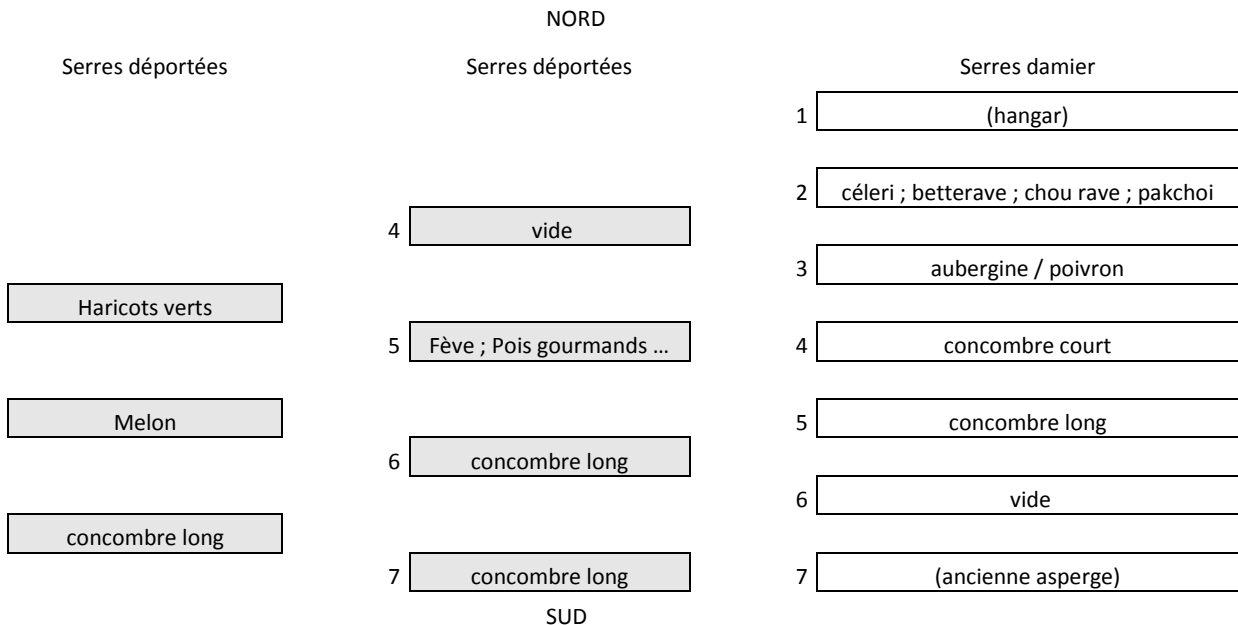


Figure 4 : Plan du parc de modules photovoltaïques et des cultures de printemps 2017

➤ Serres déportées

	Dates de plantation	variétés
Fenouil	25 septembre 2016	Solaris, Victorio
Mâche	Début janvier 2017	Trophy
Melon	10 mars – début avril – fin mars 2017	Arapaho, Godiva
Haricot	Fin février- mi-mars – début avril 2017	Non communiquées
Pois gourmand	De fin février à mi-mars 2017	
Fève		
Concombre	15 juin 2017	Kodiak

➤ Serres damier

	Dates de plantation	variétés
Asperge	Mars 2016	NC
Aubergine	20 avril 2017	Black Pearl greffée sur <i>S. torvum</i> , Rania greffée sur Maxifort
Poivron	24 avril 2017	Almuden + poivron long
Céleri	15 avril 2017	Tango
Betterave		Alvro
Chou rave		Korist
Pakchoï		Non communiqué
Aromatiques		Persil (Fidelio, Peione), Coriandre (Hardy), Aneth (Hera)
Concombre	Fin juin 2017	Noa, Caman, Kodiak

4.3 Observations et mesures

Observations sur le climat et la lumière : Mesures effectuées avec le matériel APREL➤ Lumière photosynthétique (PAR) :

Les serres ont pu être suffisamment caractérisées au niveau lumière en 2016. Il n'y a pas eu de nouvelles mesures de lumière cette année.

➤ Climat :

La température et l'hygrométrie sont contrôlées avec des hobos U12 programmés pour enregistrer les données toutes les heures en continu. Plusieurs hobos sont disposés dans la culture de melon en serre déportée et dans la culture d'aubergine en serre damier. Dans chaque culture deux hobos sont disposés, un au Nord et un au Sud, pour estimer les écarts au sein d'un module de serre.

Observations agronomiques :

Les notations sont effectuées régulièrement par les conseillers de la Chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône et du CETA qui accompagnent le producteur.

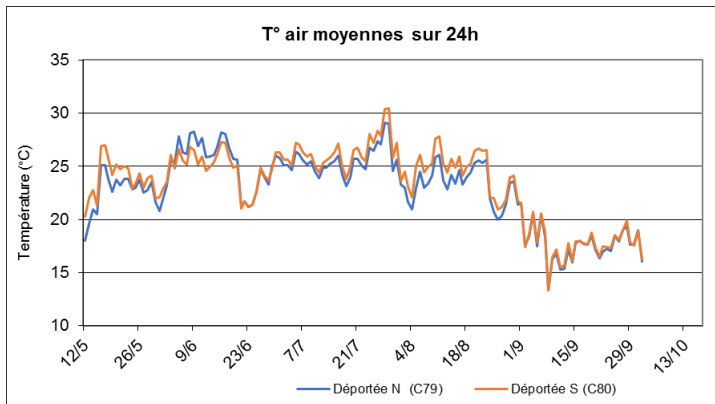
- Cycle de production : dates de plantation, stades clés, dates de récolte
- Conduite culturale : densité de plantation, exposition dans la serre, palissage, fertilisation, irrigation...
- Comportement des cultures : vigueur, nouaison, équilibre de plante, veille sanitaire
- Production : estimation du rendement et de la qualité

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

5 – Résultats

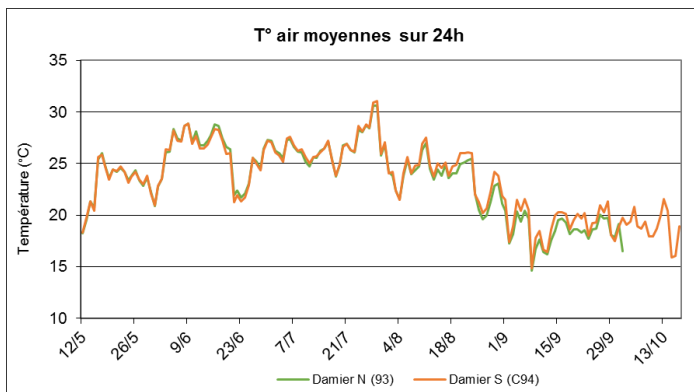
5.1 Suivi climatique

Les relevés de températures ont été effectués du 12 mai au 30 septembre dans les 2 modules en 2 points de chaque serre (Sud et Nord). Les hobos sont disposés à 40 cm du sol environ.



Dans la serre déportée, en culture de melon, les écarts observés sont essentiellement liés aux pics de températures observés en journée au niveau de la paroi Sud. Les températures moyennes mesurées au Sud sont par conséquent plus élevées. L'écart est d'autant plus important sur la période du 23 juin au 20 août. Le calcul de l'écart moyen sur cette période est de 3.6 °C de plus au Sud qu'au Nord.

Figure 5 : Relevés de températures moyennes dans les melons en serre déportée



Dans la serre damier en aubergine et poivron, les écarts sont moins importants entre Nord et Sud. Sur la période du 23 juin au 20 août, ils ont été mesurés de 0.9°C supérieur au Sud.

Figure 6 : Relevés de températures moyennes dans les aubergines et poivrons en serre damier

Entre les deux types de serres, on n'observe finalement que très peu d'écart de température.

5.2 Transmission lumineuse

Une première représentation graphique de la répartition de lumière dans les serres est obtenue à la suite des mesures réalisées en 2016:

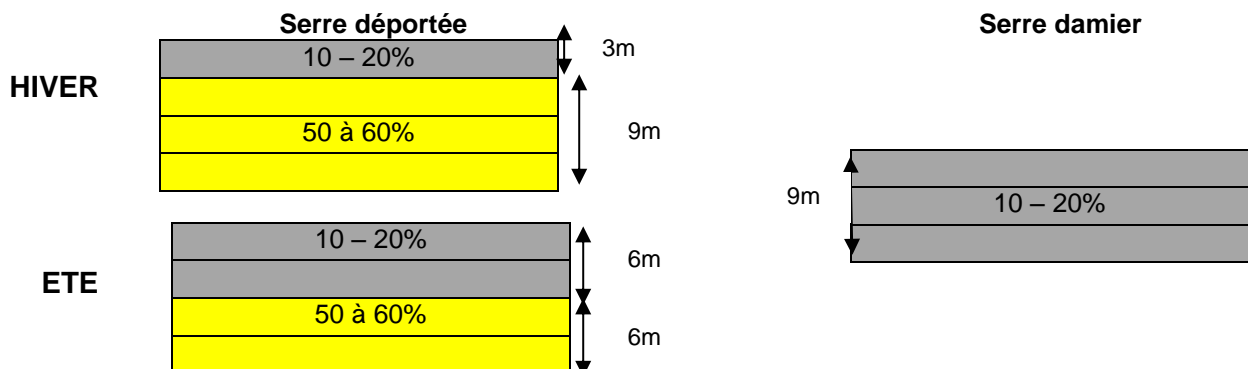


Figure 7 : Représentation schématique des gradients de luminosité (exprimés en % de transmission de PAR) dans les serres photovoltaïques à Entressen

La configuration la plus lumineuse est la serre déportée en hiver où 75% de la surface reçoit 50 à 60% du PAR extérieur. La configuration la plus sombre est la serre damier qui reçoit seulement 10 à 20% du PAR sur l'intégralité de la surface.

5.3 Suivi agronomique

Le producteur certifié AB, commercialise à la fois en vente directe et chez un grossiste, d'où la diversification des cultures. Les cultures sont implantées en sol, sur paillage plastique, menées de façon classique au goutte à goutte et en protection biologique intégrée. Le suivi des observations est bimensuel.

5.3.1 Serres damier

➤ Plantations de mars 2016

Asperges : La première année, la plante s'est développée normalement malgré le manque de lumière qui a donné des plantes plus hautes et plus sensibles à la verse. La culture a subi une forte attaque de pucerons à l'automne 2016, de nombreuses sapinières sont apparues. En février 2017, quelques asperges sont sorties, elles sont très fines avec tendance à la montaison. En avril, une attaque de pucerons et de criocères a eu lieu ; la culture est dans un très mauvais état, et plus particulièrement la partie ouest qui est quasiment morte. Le producteur prend la décision de ne plus poursuivre l'entretien de la culture.

➤ Plantations d'avril 2017

Céleri : L'arrosage se fait à l'aspersion et au goutte à goutte. En mai-juin, on observe une végétation foncée, le développement est correct, la culture est régulière et les cœurs sont bien remplis. Cependant, fin juin la culture est très en retard et les céleris semblent être en arrêt de croissance. Ils ne sont pas bien remplis. La récolte commence malgré tout mi-juillet, 3 mois après plantation : on note des côtes fines et plutôt cassantes avec un feuillage vert foncé. On observe des plants qui se couchent et des dégâts de thrips.

La récolte s'éternise jusqu'à fin août. De la pourriture à la base des plants se développe, les pucerons s'installent à partir de début août et les populations d'acariens finissent de dégrader les plantes en fin de culture.

Betterave : On note un bon développement pour la variété Alvro. La récolte a lieu à partir de mi-juin (2 mois après plantation) en fonction des besoins du magasin donc il y a tendance à avoir de gros calibres. La culture se termine mi-juillet. Au final, le producteur est satisfait du rendement et le poids moyen de 350-400g/pièce est satisfaisant.

Chou rave : La variété Korist est plantée le 15 avril. La culture se développe bien. On note la présence de pucerons (et d'auxiliaires) fin mai. La récolte a lieu en juin et est assez groupée (le 20 juin, la plus grande partie est récoltée). Quelques éclatements de bulbes sont observés début juin. Le rendement de cette culture est satisfaisant.

Packchoi : La culture présente de grandes feuilles avec des côtes assez larges. Les récoltes commencent début juin pour se terminer début juillet. Quelques dégâts d'escargots sont observés fin mai. Le rendement et le poids moyen (400-500g/pièce) sont satisfaisants.

Aromatiques : Persil (Fidelio, Peione), Coriandre (Hardy) et Aneth (Hera) sont semées directement le 12 avril. Le semis direct est peu concluant par rapport à l'homogénéité de levée. Cependant, la croissance a été bonne et a permis de récolter en juin des bottes de persil et coriandre, essentiellement pour l'export. Les récoltes sont terminées mi-juillet. Le bilan est plutôt positif pour ces espèces.

Aubergine : Les variétés Black pearl (porte greffe *Solanum torvum*) et Rania (porte greffe Maxifort) ont été plantées le 20 avril. Le développement des plantes semble « normal » au début de culture avec tout de même de grandes feuilles d'un vert un peu clair. Puis les plantes s'affaiblissent et s'étiolent au cours du mois de juin. Les feuilles restent fines, la floraison est faible et il n'y a aucune nouaison visible, ce qui conduit le producteur à restreindre l'irrigation pour favoriser la floraison. Début juillet quelques fruits sont récoltés en bas de plante mais le reste de la plante est vide de fruits. On observe toujours, peu de fleurs et de nombreuses coulures. Il n'y aura pas d'amélioration de la situation tout au long de la culture et une production insignifiante quelle que soit la variété. De nombreux rejets du porte-greffe *S. torvum* sont apparus au cours du mois d'août, comme si le greffon n'était pas assez puissant.

Au niveau sanitaire, les pucerons sont très rapidement présents sur les feuilles basses des jeunes plants. En mai, l'attaque est considérable et on observe aussi quelques galeries de *Tuta absoluta* sur feuilles. Les punaises (Nezara et Lygus) s'installent aussi dans la culture en juillet et en août ce sont les aleurodes qui sont en grand nombre.

Au final, la structure serre damier ne convient pas à l'aubergine et semble favoriser les ravageurs.

Poivron : Le comportement du poivron est assez similaire à l'aubergine disposée dans le même module. Les plants sont très étiolés, les fleurs sont très rares et il n'y a aucune accroche. Les plantes continuent de pousser et développent de grandes feuilles, vert foncé. A mi-juillet, 2 poivrons seulement ont pu être récoltés sur

l'ensemble de la culture. En août, suite au stress hydrique provoqué par le producteur pendant 1 mois, quelques poivrons supplémentaires ont réussi à se former. La pression sanitaire sur cette culture a également été très forte avec notamment un fort développement des pucerons. Comme l'aubergine, le poivron n'a donné aucun rendement dans cette structure serre damier.

➤ **Plantations fin juin 2017**

Concombre : Deux serres sont mises en place : une de concombre long (Kodiak) et une de concombre court épineux (Noa, Caman). Dès la plantation, les plants sont très étiolés avec de petites feuilles ; la quasi-totalité des fleurs coulent ; les plants consomment très peu d'eau et on observe même de la mortalité. Le phénomène est encore plus marqué pour les concombres Noa. Du point de vue sanitaire, la culture a également subi une forte pression en pucerons avec des dégradations de plantes. L'oïdium s'est aussi installé fin août sur la dernière partie de la culture. Le rendement est nul (0,1 pièce/m²). La structure n'est pas du tout adaptée à la culture du concombre.

5.3.2 Serres déportées

Les serres déportées ont été plantées en hiver (fenouil, mâche...) au printemps (melon, haricot, pois gourmands, fèves) et en juin (concombre).

➤ **Cultures d'hiver**

Fenouil : Les plantations sont réalisées le 25 septembre 2016 dans 4 modules :

- 2 modules avec une variété à cycle court (Solaris, 75j), récoltée le 15 décembre 2016
- 2 modules avec une variété à cycle long (Victorio, 120j), récoltée le 15 janvier

Pour améliorer la luminosité sur la culture, la densité a été réduite à 10 plants/m² (soit 4 plants/m² de moins que sous serre classique) et la plantation s'est faite sur paillage blanc micro-perforé.

L'irrigation est réalisée par aspersion et la fertilisation organique couvre les besoins de la culture.

A cette époque, la luminosité dans la serre est bonne et pénètre sur l'ensemble de la surface au sol.

On observe un très beau développement des 2 variétés. Pas de montaison. Un peu d'étiollement des feuilles pour Victorio mais pas de perte de récolte. Les bulbes pèsent 350g minimum.

La récolte représente 100% des plants plantés dont 95% pour la vente grossiste et 5% en vente directe (plus petits). Par contre, la baisse de densité par rapport à une serre classique (10 pl/m² au lieu de 14pl/m²) a conduit à une perte de 28,5%.

Mâche : Deux modules sont plantés début janvier à une semaine d'intervalle.

Comme pour le fenouil, la plantation a lieu sur paillage blanc et la densité est réduite à 24 plants/m² (au lieu de 28/m² dans une serre classique)

La 1^{ère} serre est récoltée du 5 au 10 mars 2017 avec un rendement de 1,5 kg/m², très satisfaisant. L'intégralité de la serre est récoltée et le produit est de très bonne qualité.

La 2^e serre est récoltée du 15 au 20 mars avec un rendement de 1 kg/m². L'intégralité de la serre est récoltée même si les plants marquent un début de montaison. Le phénomène est plus lié au contexte climatique régional qu'à la structure de la serre photovoltaïque. Toutes les cultures de mâche ont subi de la montaison sur cette période dans cette zone de production qui a occasionné une perte de poids.

➤ **Melon**

Les plantations de melon (Arapaho et Godiva) se sont échelonnées en 3 fois, en commençant par les lignes les moins éclairées au Nord de la serre :

- 10 mars : Arapaho sur 3 lignes au nord,
- Début avril : Arapaho 2 lignes au centre
- Mi avril : Godiva 2 lignes au sud

La plantation au Nord est très peu développée, la croissance est lente, il manque de la végétation, les plants s'étiolent et ne développent pas d'axillaires ; la nouaison est faible. Le phénomène s'atténue pour le rang le plus proche du centre de la serre (3^e Nord), donc le plus proche de la lumière.

Les plantations au centre et au sud présentent un développement correct. De l'oïdium apparaît début juillet.

Au niveau qualitatif, les melons sont petits, assez côtelés, parfois déformés, notamment ceux les plus à l'ombre. Ils ne correspondent pas aux standards commerciaux. Cependant, le producteur qui les vend en direct a d'excellents retours sur la qualité des melons.

Un comptage de nouaison a été effectué sur 6 mètres linéaires pour chaque rang de la semaine 21 (22 mai) à la semaine 31 (début août) tous les 15 jours. Le graphique ci-dessous représente le cumul du nombre de fruits noués par mètre linéaire pour chaque rang.

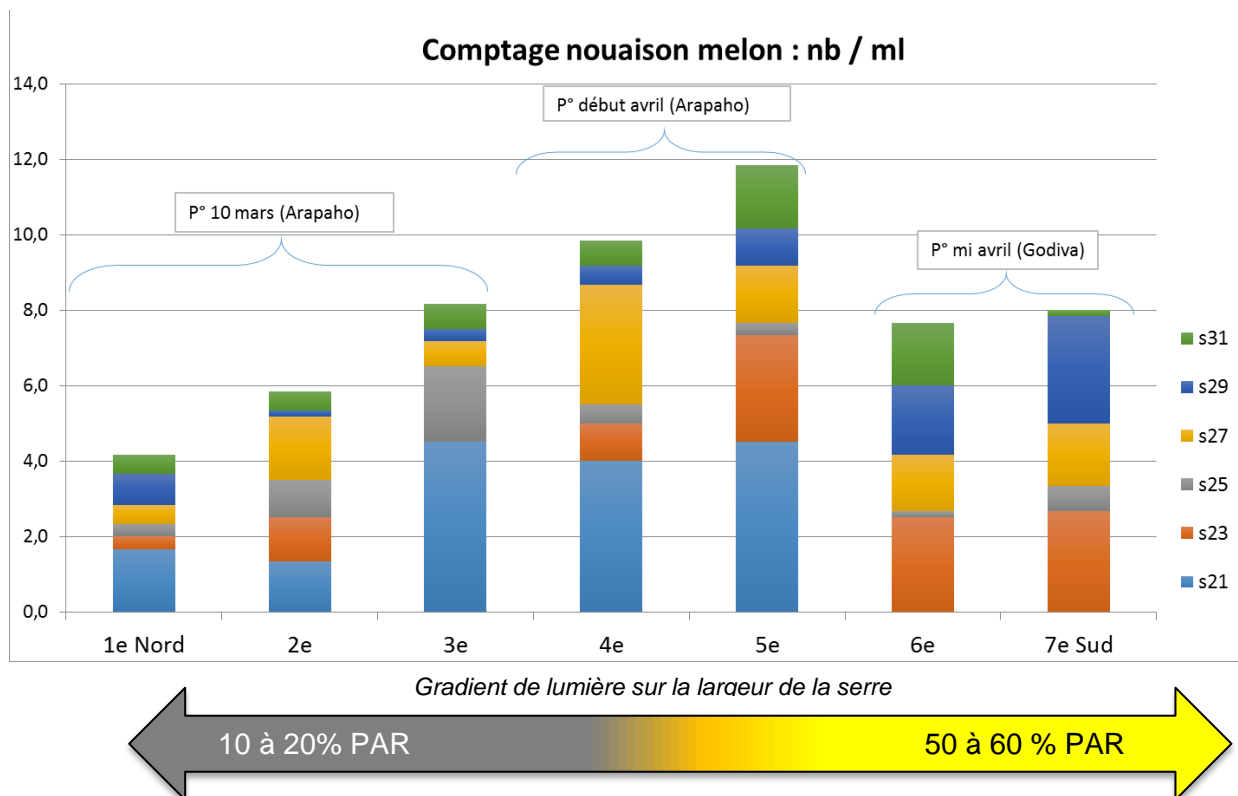


Figure 8 : Comptage des nouaisons sur le melon dans une serre déportée et gradient de lumière mesurée

En mars-avril, la lumière pénètre jusqu'à environ 7 m de la largeur de la serre (12m) et diminue progressivement jusqu'à 6 m en été.

Le gradient de nouaison est significatif dans la serre : la nouaison est croissante dans le sens Nord / Sud et donc vers la lumière. Les rangs du centre et les rangs au Sud parviennent à rattraper les nouaisons obtenues sur les 3 rangs au Nord malgré un décalage de plantation de 20 et 30 jours. Compte tenu de l'ensoleillement normal sur la moitié Sud de la serre, les rangs centraux (en particulier le 5^e) bénéficie de l'ensoleillement et de la précocité de plantation. Les 2 rangs Sud ont une nouaison moins importante du fait du décalage de plantation et des variétés différentes.

Le taux de nouaison sur 1 mètre linéaire permet d'estimer le rendement potentiel obtenu fin juillet (semaine 31). En prenant une densité à 0.5 pl/m² et un poids moyen du melon de 800g, les rendements calculés vont de 0.8 kg/m² (1^r rang Nord) à 2.4 kg/m² (5^e rang) sur la variété Arapaho. La référence sur cette variété en plantation de mi-mars sous tunnel plastique est de 4 kg/m². Le rendement estimé est inférieur de 40% (5^e rang) à 80% (rang Nord). L'écart est même encore plus important car les melons issus de la serre photovoltaïque étaient de calibre inférieur à 800g, particulièrement petits sur les rangées Nord.

Sur les rangs au Sud (Godiva planté mi-avril), les comptages de nouaison donnent une estimation de 1.6 kg/m² mais la nouaison n'était pas terminée au dernier comptage semaine 31.

➤ Haricots, pois gourmands, fèves

Les rangs sont plantés de manière échelonnée de fin février à mi-mars dans un module.

Il y a eu un bon développement des haricots ainsi qu'une bonne charge avec des gousses régulières. La nouaison est effective mi-avril et les récoltes s'enchaînent jusqu'à fin juin. La récolte est estimée bonne mais sans rendement enregistré.

Des thrips sont apparus sur haricots dès le 15 mars sur feuilles ; la population a fortement augmenté fin mai avec de gros dégâts notés mi-juin. Les pucerons étaient aussi bien présents début juin.

Les pois gourmands ont montré une floraison importante et une forte charge apparente. La culture a été touchée très rapidement par l'oïdium dès mi-avril, ce qui a asséché la partie basse des plantes et a pénalisé la culture jusqu'au bout. Le rendement n'a pas été mesuré.

En revanche, la fève qui a été plantée le plus au nord, donc le plus à l'ombre, est apparue très étiolée avec une récolte très faible.

➤ **Concombre**

La reprise du concombre (variété Kodiak) est bonne et suit un bon développement dans les serres déportées. Cependant le mois d'août est marqué par de nombreuses coulures. Les parois Sud ont dû être blanchies mi-juin pour limiter les brûlures des plantes. On note des différences significatives de développement pour les rangs disposés au Sud, au centre et au Nord, comme pour le melon.

Un comptage du nombre d'entre-nœuds a été réalisé le 9/08 sur les différentes lignes de concombre. Le nombre d'entre-nœuds donne une indication de développement et de récolte potentielle. Ces notations montrent des différences de croissance du concombre selon son emplacement dans la serre (Fig 9).

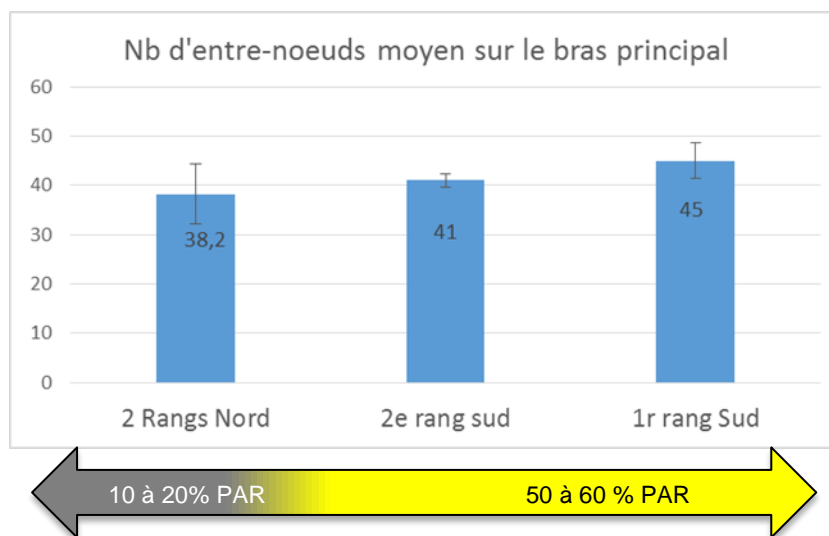


Figure 9 : Comptage du nombre d'entre-nœuds sur le concombre dans la serre déportée (9/08)

Les rangs Nord poussent moins vite que les rangs Sud, et sont donc potentiellement moins productifs. Le rendement final est très faible : 10 pièces/m² soit 3 fois moins que la production sur la même exploitation réalisée sous serre verre non photovoltaïque.

Au niveau sanitaire, les pucerons sont également très présents dès la plantation (fin juin) et ont été en partie gérés par des produits de contacts.

Les concombres se comportent mieux que dans la serre damier mais le rendement est trop faible et ne permet pas une rentabilité de production dans cet outil.

6 – Conclusion

Cette deuxième année de suivi a permis d'avancer sur l'observation du comportement de différentes cultures dans les modules photovoltaïques du site BIOVAL.

Pour les serres en damier, après deux années de tentatives de production, quelle que soit la culture on observe un allongement du cycle, les plants sont sujets à l'étiollement et à la montaison, enfin les rendements sont faibles voire inexistantes. Les conditions lumineuses trop limitantes (10 à 20% de transmission de PAR) quelle que soit la saison empêchent un développement normal de nombreuses cultures.

- Les cultures d'asperge, de concombre, aubergine, poivron, fenouil et poireau ont été des échecs de production.
- Epinard, mâche, blette, céleri sont récoltés mais avec des problèmes de qualité et un faible rendement.
- Betterave, chou rave et herbes aromatiques (persil, basilic, coriandre, aneth) semblent être les cultures les moins impactées par le manque de lumière mais il faut prendre en compte des cycles plus longs et améliorer les conduites culturales, notamment l'irrigation.

Pour les serres déportées, l'hétérogénéité de lumière et donc de culture entre le Nord et le Sud a bien été mise en évidence cette année sur les cultures de printemps-été. Le gradient de croissance et de production est considérable. Les cultures d'été ne peuvent finalement s'envisager que sur la moitié de la surface au Sud. Cela réduit donc par conséquent de 50% la surface utile de ces serres pour la production. Il reste également des problèmes de qualité à résoudre comme le calibre et la qualité des melons.

En hiver, la configuration de la serre permet une meilleure pénétration de la lumière et apporte des conditions normales sur l'ensemble de la surface. Les cultures de mâche et fenouil se comportent très bien et donnent satisfaction en termes de rendement. Néanmoins, une adaptation de la densité de plantation (réduction à 10/m² pour le fenouil et 24/m² pour la mâche) ainsi que l'utilisation d'un paillage blanc ont permis d'obtenir des rendements de qualité avec un taux de récolte de 95%.

De manière générale, les zones qui reçoivent moins de 20% de PAR (zone Nord des serres déportées et serres damier) seront difficiles à exploiter. En l'état, les possibilités de production de printemps-été sont restreintes, elles ne donnent pas un niveau de rendement satisfaisant et ne sont envisageables que pour des marchés de niche (vente directe, circuits courts). Seule la configuration des serres déportées donne de bons résultats pour des cultures d'octobre à février.

Les suivis ont mis en évidence également une pression exacerbée de ravageurs dans les cultures sous ces serres, en particulier le puceron et le thrips qui ne sont pas sans poser problème pour la production. Il semblerait que la pression soit d'autant plus importante dans les serres moins lumineuses (damier).

Par ailleurs, l'espacement nécessaire pour ne pas créer de l'ombre portée entre chaque module (environ 20 m) représente à ce jour une surface non exploitée. Cette configuration doit être prise en compte dans un schéma d'utilisation des terres agricoles. Il est important de trouver une possibilité d'exploitation de ces parcelles extérieures pour éviter les surfaces perdues.

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

Action A136

Réalisé avec le soutien financier de :

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur