



Evaluation de la production maraîchère sous serre photovoltaïque

2018

Claire GOILLON, Fanny DE BOISVILLIERS, APREL – Jean-Luc DELMAS, CETA Durance Alpilles
Essai rattaché à l'action n°2018_02197

1. Thème de l'essai

Production maraîchère sous serre photovoltaïque.

2. But de l'essai

Caractériser les conditions de production et le développement agronomique de cultures maraîchères sous serre photovoltaïque.

3. Facteurs et modalités étudiés

L'essai doit permettre d'acquérir des références techniques sur le comportement d'une culture de courgette conduite dans un modèle de serre photovoltaïque innovant Tenairlux®, conçu par la société Tenergy. Il y a une seule modalité étudiée. Deux créneaux de culture de courgette sont suivis.

4. Matériel et méthode

4.1 Site d'implantation

Lieu : Domaine Saint Vincent à Mallemort (13).

La surface de serre photovoltaïque constituée sur l'exploitation par la société Tenergy Développement représente 3.3 ha sur le modèle de serre Tenairlux® : une unité de serre principale (objet du suivi) de 2.6 ha et un bloc secondaire de 0.7 ha (Figure 1). L'ensemble de ce parc représente 8027 panneaux photovoltaïques pour une production électrique de 3.1GWh. Le constructeur de serre est Artigienfer (société italienne).



Figure 1: Vue par satellite du site

Description de la serre :

La serre principale est constituée de 15 chapelles de 9.60 m de large et 140 m de long, orientées Est/Ouest. Les portes sont situées aux 4 angles de la serre sur les faces Nord et Sud. Les panneaux photovoltaïques sont disposés sur le pan Sud des chapelles.

La conception de la serre cherche à améliorer la pénétration de la lumière par :

- Une structure en polycarbonate diffusant
- Un espacement de 20 cm entre chaque panneau photovoltaïque sur le versant Sud
- Une face intérieure des panneaux de couleur blanche
- Des toitures asymétriques offrant plus de surface pour la partie Nord dépourvue de panneaux

L'ombre portée au sol est donnée par la société à 36% de la surface.

La serre n'est pas équipée de système de chauffage, ni de support de culture.

L'aération de la serre se fait par une ouverture intégrale au faîtage et non aux chéneaux. Les côtés Est et Ouest de la serre sont équipés d'une double paroi avec bâches plastiques sur enrouleur et filets insect-proof pour permettre une aération latérale.

4.2 Dispositif

Le sol a été fortement altéré par les travaux de construction de la serre en 2017. Pour la mise en culture, un couvert végétal (sorgho fourrager) a été mis en place de septembre à décembre 2017. Il a ensuite été travaillé sommairement et aucun apport de matière organique n'a été réalisé avant plantation de la courgette.

La culture de courgettes a été échelonnée sur 2 créneaux de plantation, le plus précoce occupe les deux tiers de la serre (16 mars 2018), le second occupe le tiers restant (plantation du 16 juin 2018). Ces plantations échelonnées ont pour objectif d'assurer une continuité de production.

Dans une chapelle de 9.60m de large, 8 lignes de courgettes (3 doubles au centre et 2 simples en bordure) sont disposées sur du paillage blanc. La densité est de 1.66 plants/m². L'irrigation s'effectue par goutte à goutte, chaque goutteur est espacé de 40 centimètres. Les plants sont palissés sur des cannes de Provence qui servent de soutien à la tige.

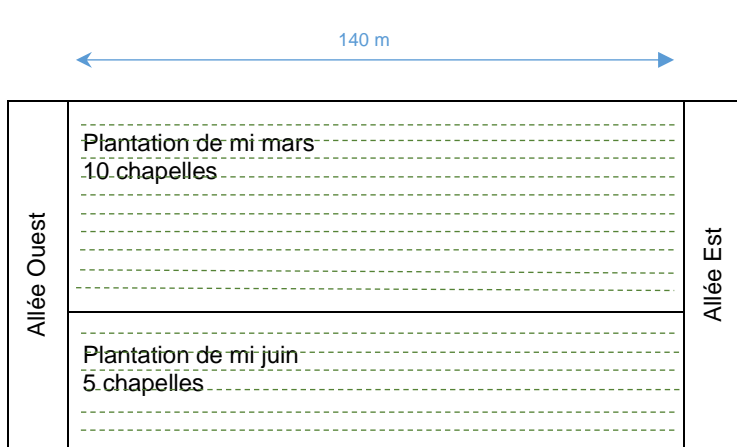


Figure 2: Schéma de plantation de la serre

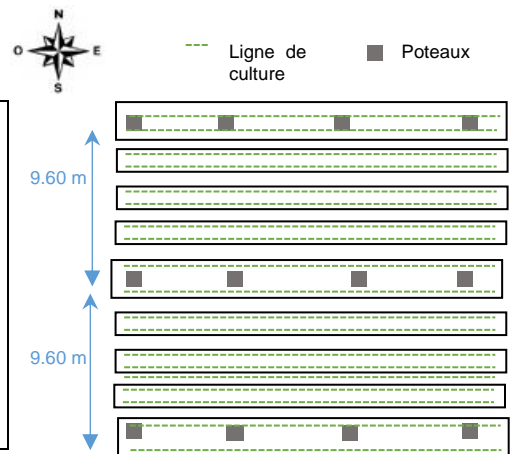


Figure 3: Schéma de plantation dans les chapelles

4.3 Observations et mesures

Observations sur le climat et la lumière : Mesures effectuées avec le matériel de l'APREL.

➤ Climat :

La température et l'hygrométrie sont mesurées avec des capteurs Hobo U12 programmés pour enregistrer les données toutes les heures en continu. Un seul capteur est disposé dans la culture de courgettes à 50 cm de hauteur pendant toute la durée de la culture.

➤ Lumière photosynthétique (PAR) :

Des capteurs mesurant le rayonnement actif pour la photosynthèse (PAR) ont été installés dans la serre photovoltaïque afin d'étudier la répartition de la lumière. D'autres capteurs ont été placés à l'extérieur et dans un tunnel plastique de la même exploitation pour obtenir des références sous abri classique.

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 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$

Positionnement des sondes :

- Dans la serre photovoltaïque :

Pour les mesures de printemps dans la première culture, les capteurs ont été mis en place dans les 6^e et 7^e chapelles. Ils ont été placés sur chaque rang entre les lignes de courgettes de la façon suivante :

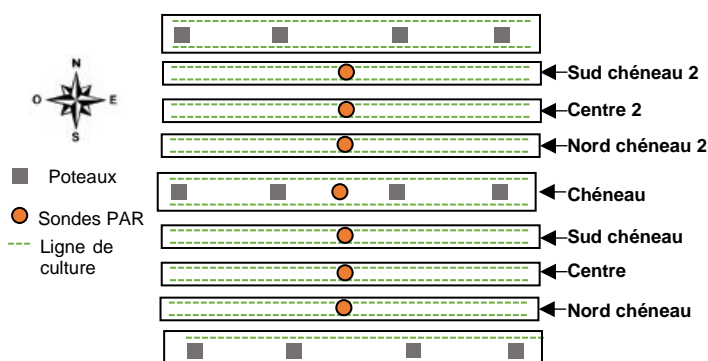


Figure 4: Schéma de positionnement des sondes sur la 1re culture

Pour les mesures d'été dans la deuxième culture, les capteurs ont été mis en place dans les 11^e et 12^e chapelles. Ils ont été placés sur chaque rang entre les lignes de courgettes de la façon suivante :

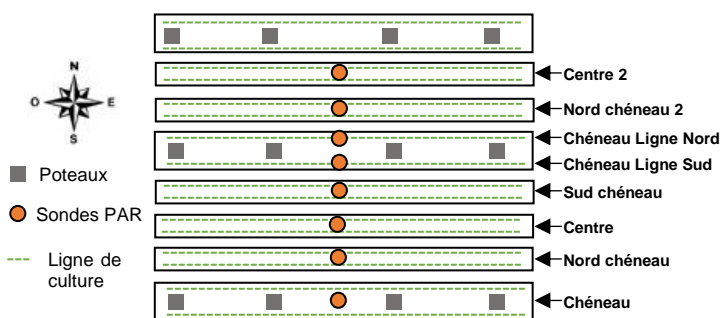


Figure 5: Schéma de positionnement des sondes sur la 2e culture

- Mesures de références

Lors des deux périodes de mesures, d'autres capteurs ont été placés sur l'exploitation pour relever les valeurs de référence sous tunnel plastique et à l'extérieur : 5 capteurs sont placés dans une culture d'asperge sous tunnel plastique et positionnés dans la largeur du tunnel, 3 capteurs sont placés en haut d'un ouvrant pour capter la lumière extérieure.

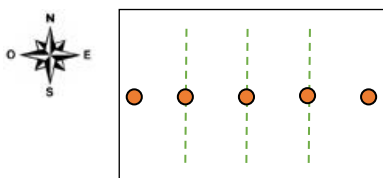


Figure 6: Schéma de positionnement des sondes sur le tunnel

Observations agronomiques :

Des notations sont effectuées régulièrement sur les cultures de courgettes entre mars et août

- 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, floraison, nouaison, équilibre de plante, veille sanitaire.
- production : estimation du rendement et de la qualité avec le producteur

Les observations doivent permettre d'avoir un jugement sur le comportement des cultures dans les conditions particulières de la serre photovoltaïque.

5. Résultats

5.1 Climat de la serre

L'année s'est caractérisée par un printemps difficile, pluvieux et peu lumineux jusqu'en juin. Des journées ont été particulièrement fraîches avec des températures ne dépassant pas 15° C sous abri les 12 et 29 avril et le 12 mai (Tableau 1).

Sur la 1^{re} culture de printemps, quelques rangs montrent un retard de croissance en raison du problème de froid à l'implantation. Les aérations latérales sont bloquées à 20-30 cm du sol suite à une détérioration du système d'enroulage et le passage de l'air au sol affecte les courgettes de bout de rang sur environ 10m.

Les données climatiques ont été relevées grâce à deux hobos mis en place sur les 2 périodes de culture. Des périodes de changement de matériel induisent des manques de mesure début mai et mi-juillet (Fig. 7 et 8).

Tableau 1 : Moyennes des relevés de température et d'hygrométrie sur les différentes périodes

	Moyennes des Températures (°C)			Moyenne de l'humidité relative (%)		
	Moyenne	mini	maxi	HR moyenne	HR mini	HR maxi
Du 13/04 au 26/04	20.5	12.4	31.9	61	40.3	77.5
Du 16/05 au 10/07	22.8	16.5	30.7	71.9	59.4	84.2
Du 17/07 au 22/08	26.2	19.5	34.2	65.3	46.2	81.2

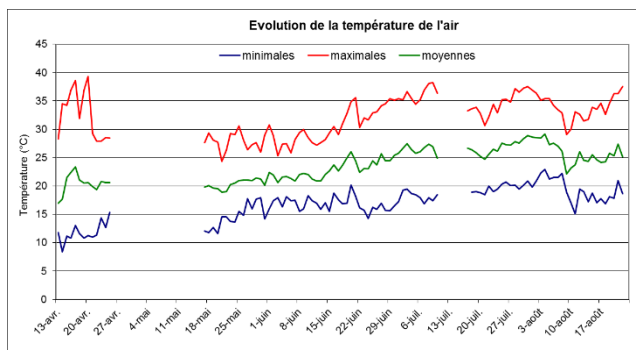


Figure 7 - Température de l'air dans la serre photovoltaïque

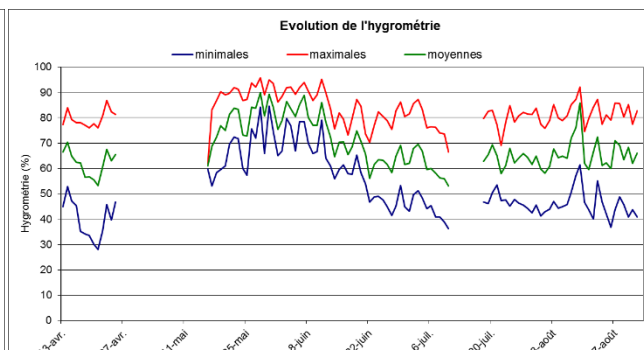


Figure 8 - Hygrométrie dans la serre photovoltaïque

Les températures moyennes évoluent de 17 à 27°C. L'hygrométrie est globalement élevée dans la serre en mai en raison du mauvais temps printanier. Ce climat a pu favoriser le développement de champignons.

La comparaison avec les tunnels à proximité et des abris classiques dans la région ne montre pas de différences marquées sur la température et l'hygrométrie avec la serre photovoltaïque (Annexe 1). On peut relever toutefois un taux d'hygrométrie assez élevé de fin mai à début juillet sur la 1^{re} culture qui est sans doute à l'origine de problèmes fongiques observés à cette période (Sclerotinia, Botrytis, Oïdium). L'aération n'a pas été suffisante pour réduire l'humidité dans la serre : la longueur des chapelles ne permet pas de ventiler le cœur de serre avec les aérations latérales.

En période estivale sur la 2^e culture, il a fait significativement plus chaud et sec que dans un tunnel de tomate référence (les températures maximales atteignent 5°C de plus dans la serre PV) mais la culture de tomate est plus apte à réguler le climat que la courgette, comme le montre la différence d'hygrométrie également.

5.2 Caractérisation de la lumière

Les mesures ont été réalisées sur deux périodes, au printemps sur la 1^{re} culture et en été sur la 2^e culture :

- 1^{re} série de mesure : du 13 au 26 avril. Prise en compte des journées complètes du 14 au 25 avril.
- 2^e série de mesure : du 11 au 26 juillet. Prise en compte des journées complètes du 12 au 25 juillet

Les capteurs de la serre photovoltaïque se sont retrouvés sous les feuilles de courgettes en fin de période au printemps (Fig. 9). Au vu des relevés, on a considéré que les deux derniers jours de mesures (24 et 25 avril) ne sont pas exploitables pour la mesure dans la serre.

Dans le tunnel, les capteurs ont été placés au milieu de la culture d'asperge, qui a pu également réduire l'exposition des capteurs à la lumière. On considère cependant que l'impact est minoré car la végétation se trouvait à un stade jeune et peu dense.



Figure 9 - Capteur PAR à l'ombre des feuilles de courgettes

➤ **Transmission journalière du PAR :**

A l'extérieur, le cumul du PAR sur une journée ensoleillée est de l'ordre de 45 000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ au printemps et 50 000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ en été. Par temps couvert, il se situe entre 10 000 et 20 000 (Fig. 10).

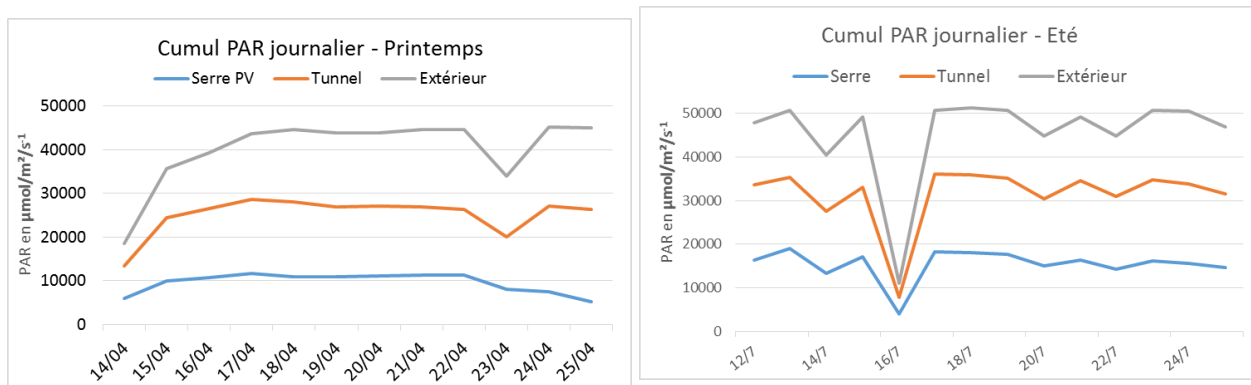


Figure 10 : Cumul de PAR journalier à l'extérieur et dans les abris de Mallemort au printemps et en été

Tableau 2 : Cumul de PAR journalier (en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$) mesuré sur les différentes périodes (moyenne des différents capteurs pour chaque situation)

Date	Extérieur		Tunnel		Serre	
	Somme PAR	Somme PAR	Transmission	Somme PAR	Transmission	
Printemps						
14/04/2018	18507	13305	72%	5996	32%	
15/04/2018	35647	24365	68%	9976	28%	
16/04/2018	39290	26599	68%	10808	28%	
17/04/2018	43727	28584	65%	11585	26%	
18/04/2018	44642	28011	63%	10879	24%	
19/04/2018	43755	26965	62%	10849	25%	
20/04/2018	43750	26993	62%	11119	25%	
21/04/2018	44644	26899	60%	11356	25%	
22/04/2018	44687	26253	59%	11297	25%	
23/04/2018	33887	20037	59%	7968	24%	
24/04/2018	45232	27049	60%	7410*	16%*	
25/04/2018	45045	26290	58%	5254*	12%*	
MOYENNE	40235	25112	63%	10183	26%	
				<i>*Capteurs sous les feuilles</i>		
Été	Somme PAR	Somme PAR	Transmission	Somme PAR	Transmission	
12/07/2018	47846	33603	70%	16420	34%	
13/07/2018	50690	35311	70%	18919	37%	
14/07/2018	40514	27553	68%	13290	33%	
15/07/2018	49146	32985	67%	17207	35%	
16/07/2018	11062	7923	72%	3967	36%	
17/07/2018	50686	36148	71%	18217	36%	
18/07/2018	51289	35868	70%	18136	35%	
19/07/2018	50566	35152	70%	17612	35%	
20/07/2018	44851	30377	68%	15053	34%	
21/07/2018	49124	34623	70%	16411	33%	
22/07/2018	44751	30912	69%	14261	32%	
23/07/2018	50687	34722	69%	16118	32%	
24/07/2018	50459	33810	67%	15514	31%	
25/07/2018	46787	31517	67%	14562	31%	
MOYENNE	45604	31465	69%	15406	34%	

Les mesures réalisées montrent que la couverture plastique d'un tunnel offre une transmission de 58 à 72% du PAR extérieur. Sous la serre photovoltaïque, cette transmission est de 24 à 37%. La transmission moyenne en été est meilleure de 6% environ dans les deux abris (ensoleillement plus vertical).

➤ **Répartition du PAR dans l'abri:**

La disposition des capteurs (Fig. 4,5,6) permet de caractériser l'homogénéité de pénétration de lumière au niveau de la surface du sol et donc de la culture.

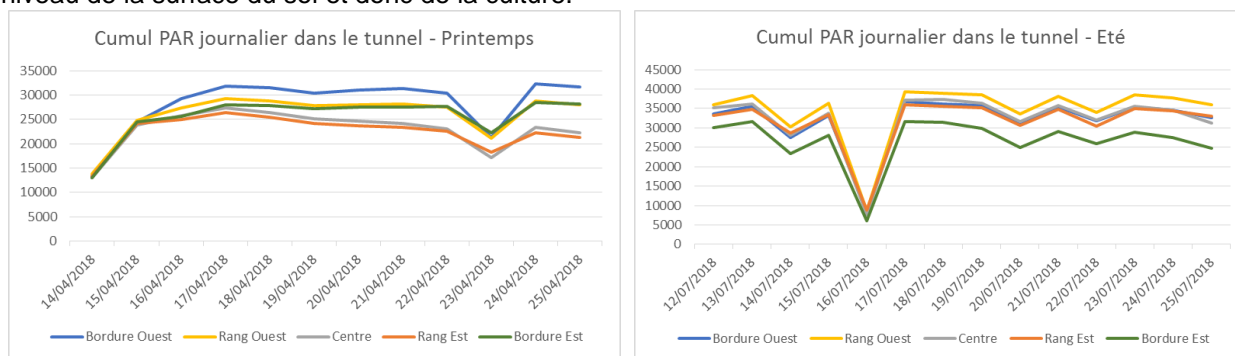


Figure 11 : Répartition spatiale du PAR journalier dans le tunnel au printemps et en été

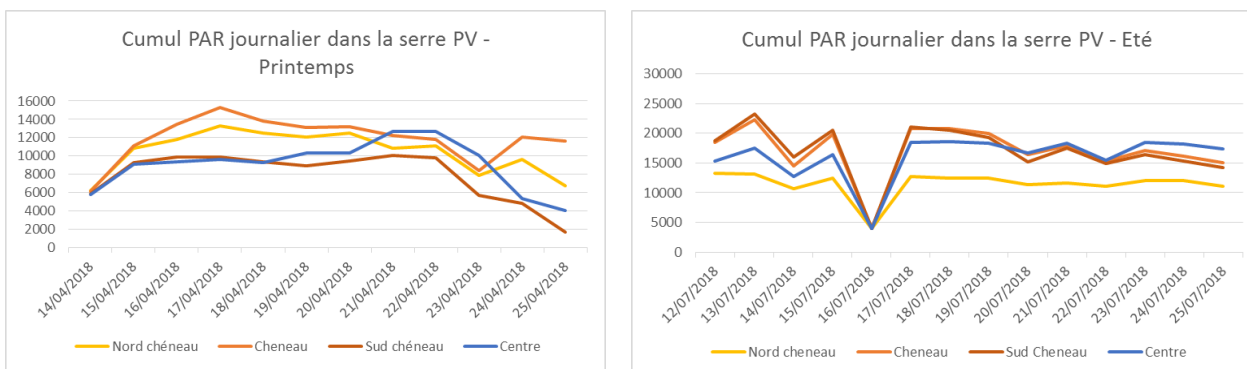


Figure 12 : Répartition spatiale du PAR journalier dans la serre PV au printemps et en été

Les relevés dans le tunnel mettent en évidence que la partie exposée à l'ouest semble toujours plus avantagee au niveau de la lumière que la partie exposée au soleil levant (Figure 11). Cependant, la différence se joue à 5000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ par jour.

Dans la serre PV, les capteurs situés sous les chéneaux sont comparables à ceux situés sur les lignes au Nord des chéneaux au printemps, alors qu'en été, ils sont plutôt associés aux lignes au Sud des chéneaux. En été les lignes au Nord des chéneaux sont légèrement désavantagées. Le centre des chapelles se positionne de façon intermédiaire (Figure 12).

Pour mieux caractériser les différences de luminosité au sol, des répétitions de mesures devraient être faites pour s'affranchir des variations des capteurs. En effet, le positionnement du capteur sur des piquets n'exclut pas une inclinaison légère qui peut expliquer de légers écarts entre les mesures.

➤ **Caractérisation du PAR sur 24h :**

La photosynthèse est directement dépendante de l'intensité et de la qualité de la lumière, mais aussi de la température et du CO_2 (Fig. 13). Nous utiliserons les plages de valeurs de PAR définies par Hamrick et Debbie (2003) pour définir si nos valeurs mesurées se situent dans une plage favorable ou non à l'activité photosynthétique. Il faut cependant garder à l'esprit que ces plages n'ont qu'une valeur indicative, le PAR optimum pour la photosynthèse pouvant varier entre espèces végétales.

On considère les données suivantes :

Niveau de PAR (en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)	Niveau de photosynthèse et de croissance
>800	Optimal
400 à 800	Moyenne et proportionnellement réduite par rapport à une baisse d'intensité lumineuse
100 à 400	Activité minimale
<100	Pas de photosynthèse

Source: HAMRICK, DEBBIE, ED. BALL RED BOOK. BATAVIA, IL: BALL PUBLISHING, 2003

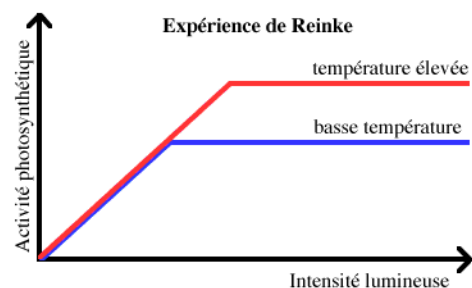


Figure 13: Lien entre l'intensité lumineuse et la température avec l'intensité de l'activité photosynthétique

a) Conditions ensoleillées

Relevés de PAR sur les journées du 18 avril et du 19 juillet

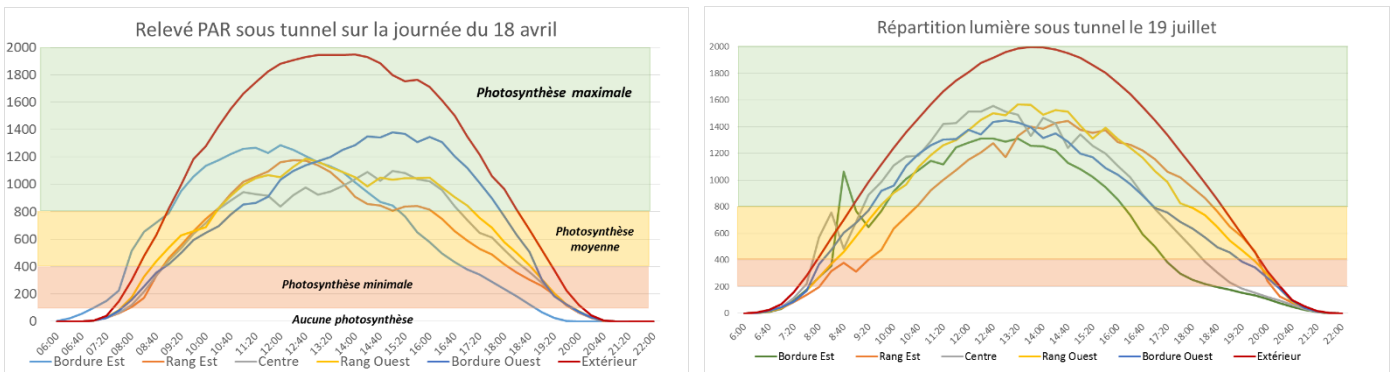


Figure 14 : Evolution du PAR au cours d'une journée ensoleillée dans le tunnel au printemps et en été

Dans le tunnel l'intensité lumineuse est progressive et relativement continue au long de la journée, elle suit assez bien la courbe de lumière extérieure. Le léger décalage entre les courbes correspond à l'orientation des capteurs situés d'Est en Ouest. L'activité photosynthétique est efficace de 9h à 18h avec un optimum de 10h à 17h environ au printemps (18 avril). En été, elle est active de 8h30 à 18h30 et optimale de 9h à 18h environ.

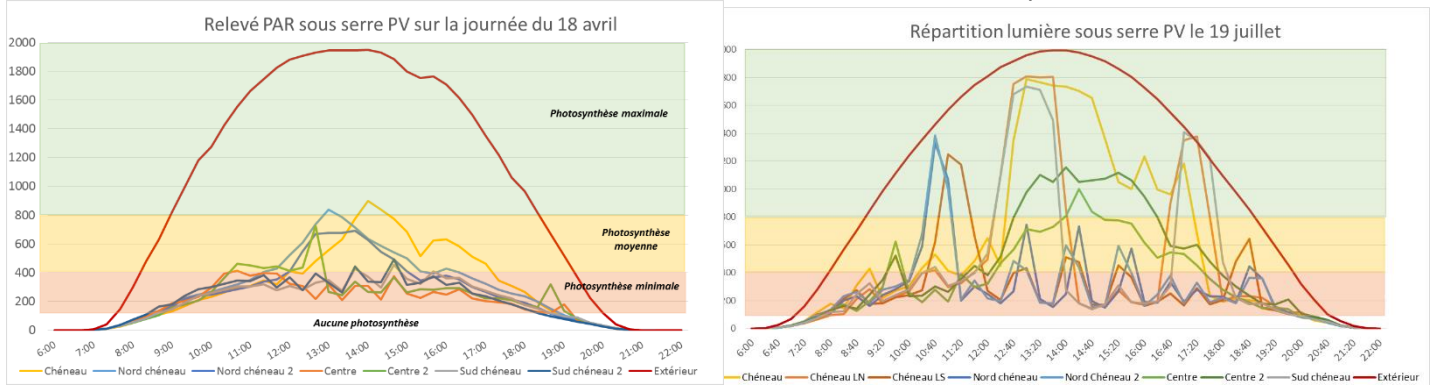


Figure 15 : Evolution du PAR au cours d'une journée ensoleillée dans la serre PV au printemps et en été

Dans la serre photovoltaïque la situation est différente, la présence des panneaux solaires crée de l'ombre sur la culture, nous observons ainsi des courbes dentées correspondant au passage du soleil entre les panneaux. Aucun point dans la serre ne permet de se situer dans la plage de PAR correspondant à une photosynthèse optimale au printemps. La plupart des capteurs indiquent une situation de photosynthèse réduite, en particulier au centre des chapelles. La lumière semble plus facilement pénétrer au niveau des chéneaux. Les rangs situés sous les chéneaux et au nord des chéneaux semblent être exposés à la lumière de manière plus continue et reçoivent en moyenne plus de PAR que les autres rangs entre 10h et 17h.

En été, la photosynthèse devient optimale en certains points seulement et de façon transitoire : au Nord des chéneaux de 10h30 à 11h30, au Sud des Chéneaux et au centre des chapelles de 12h à 16h30.

On peut ainsi visualiser de manière spatiale le manque de lumière dans la serre photovoltaïque. L'activité photosynthétique y est réduite du fait d'une moindre transmission globale, mais aussi d'une pénétration très ponctuelle qui stimule la plante sur un temps court de façon intense et sans montée progressive de l'intensité lumineuse, comme c'est le cas en extérieur ou sous le tunnel plastique. De plus la période de PAR optimal pour la photosynthèse ne correspond pas toujours à la période de température optimale.

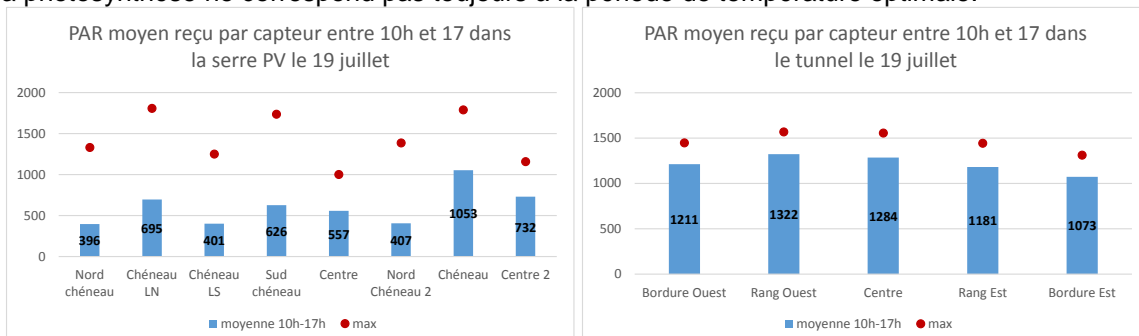


Figure 16 : Cumul du PAR journalier et valeur maxi relevée au cours d'une journée ensoleillée dans le tunnel et dans la serre PV

En analysant une autre journée lumineuse (le 21 avril), nous pouvons constater la présence de plusieurs pics de PAR. Ces « fenêtres » plus lumineuses peuvent correspondre aux périodes où les ouvrants sont relevés au faîtage et laissent pénétrer la lumière directement sur une partie de la culture. Le niveau des rangs bénéficiant de cette lumière change au cours de la journée : les rangs au sud des chéneaux sont exposés vers 10h puis les rangs centraux vers 12h. Sur ces périodes, l'intensité lumineuse est plus proche des conditions extérieures et atteint des valeurs supérieures à 1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ pour les rangs centraux.

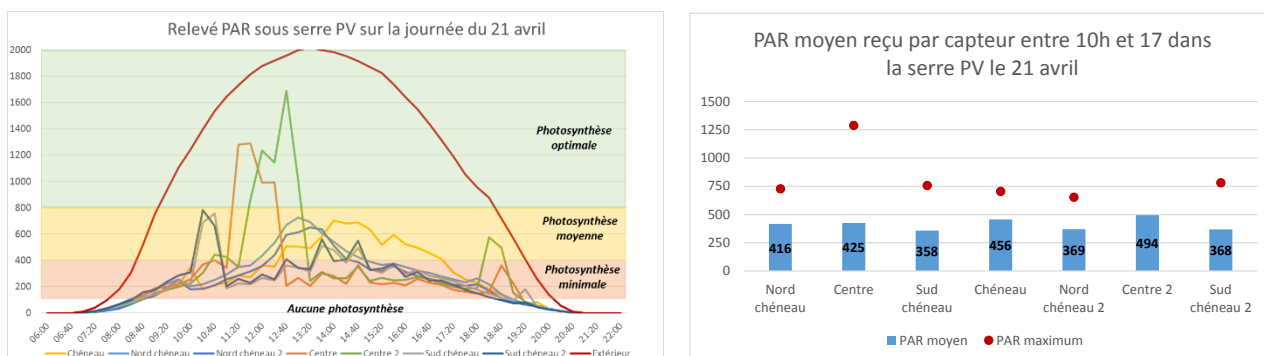


Figure 17 : Relevés au cours d'une journée ensoleillée dans la serre PV avec pics de lumière suite à ouverture des ouvrants

b) Conditions nuageuses

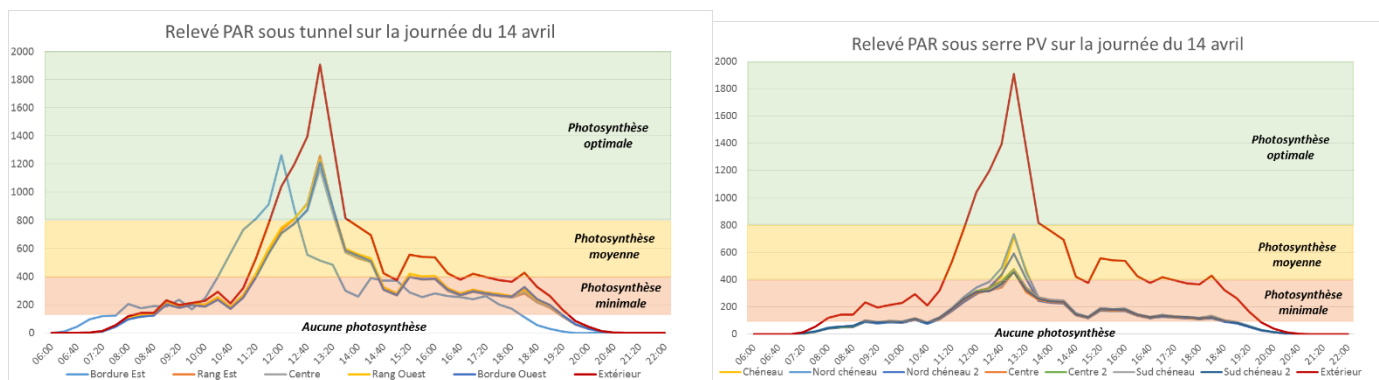


Figure 18 : Relevés au cours d'une journée couverte (14 avril) dans le tunnel et dans la serre PV

Lorsque les conditions sont nuageuses, l'intensité lumineuse permet une photosynthèse significative sous tunnel de 11h à 15h. Dans la serre photovoltaïque, seuls deux capteurs situés sous les chéneaux reflètent une activité photosynthétique très réduite de 12h à 13h. Les autres rangs de culture étant en conditions de photosynthèse minimale. L'ombre créée par les panneaux est moins prononcée et on observe plus d'homogénéité spatiale de lumière au sol.

5.3 Observations agronomiques

L'installation de la culture s'est faite de manière normale et il y a eu un bon développement végétatif, que ce soit sur la 1^{re} ou la 2^e culture. A l'échelle de la serre, il n'y a pas eu de différence visuellement décelable en rapport avec les mesures de lumière effectuées. La seule hétérogénéité perçue est celle liée aux températures plus froides en bout de rang à l'implantation de la première culture.

➤ Irrigation et fertilisation :

Le sol est dépourvu de réserves organiques et ne permet pas d'alimenter correctement la culture. La quantité d'azote dans le sol est faible avec 11,7 unités fin avril et 7 unités mi-mai. La conduite adoptée est donc un apport au goutte à goutte de manière très régulière pour satisfaire les besoins des plantes en direct. Le sol étant également très caillouteux, le fractionnement des arrosages est nécessaire.

Le pH du sol est de 7,5 et la conductivité de 0,25 mS.

➤ Floraison et pollinisation

La qualité de floraison de la courgette et l'activité des pollinisateurs sont directement impactées par les conditions climatiques. L'apparition des fleurs femelles est stimulée par des jours courts et des températures basses alors que les fleurs mâles sont favorisées par des conditions chaudes et lumineuses. Des études ont évalué la température de floraison optimale à 20°C la nuit et 25° C le jour. Lorsque les températures sont inférieures à 10°C, les risques d'apparition de désordres physiologiques augmentent (Erard, 2002).

Pour assurer la pollinisation, 4 ruches d'abeilles ont été introduites fin avril dans la serre. Les ruches sont orientées Sud, deux sont placées au Nord et deux au Sud de la serre.

En début de floraison, les abeilles sont peu actives dans la culture et se retrouvent agglutinées contre la paroi. Le printemps couvert et froid n'a pas favorisé leur activité. Ce comportement s'est ensuite atténué et les abeilles ont repris une activité normale mi-mai. Pour compenser l'activité réduite des abeilles, 6 ruches de bourdons ont été installées à deux reprises en mai.

Sur la première culture, la floraison a bien débuté avec près de 7 fleurs femelles en développement et 3 fleurs mâles en développement / plante (Figure 19), mais les conditions difficiles de ce printemps ont provoqué plusieurs épisodes de coulures de fleurs entraînant un retard de production. Des désordres physiologiques ont également été observés : sur les premières floraisons à la fin du mois d'avril, certaines fleurs mâles ne contiennent pas de pollen et quelques fleurs femelles sont doubles (figure 20).

La variété Parador ne semble pas souffrir d'un déficit de floraison mâle au cours du mois de mai comme cela a pu être observé sur d'autres cultures de la région en typologie de courgette longue verte. La quantité de fleurs mâles reste constante au long de la culture et on observe une légère augmentation avec l'arrivée des chaleurs. La floraison femelle s'essouffle à la fin du mois de juin (figure 19). Sur la 2^e culture, les fleurs mâles sont toujours aussi nombreuses mais les fleurs femelles ne parviennent pas à s'ouvrir. Ce problème est à l'origine d'un rendement insignifiant obtenu sur cette culture

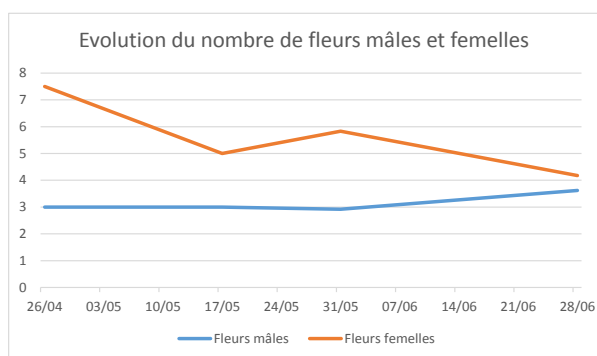


Figure 19 - Evaluation de la floraison de courgettes



Figure 20- Fleur femelle double observée fin avril

➤ Production

La récolte a commencé le 6 mai (51 jours après plantation), 10 jours plus tard qu'une référence sous tunnel plantée le même jour pour laquelle la récolte a commencé le 26 avril (41 j après plantation). Dans la serre photovoltaïque, les premiers fruits ont coulé suite au mauvais temps de la semaine 17. Un autre épisode de mauvais temps lors de la semaine 20 a entraîné de nouvelles coulures de fleurs avant même leur ouverture. Ces premières récoltes par vagues ont pénalisé le rendement total.

A partir de mi-mai les récoltes s'améliorent : 6 tonnes ont été récoltées en 4 jours équivalant à un rendement de 0.37 kg/m² soit environ 90 g/m² par jour. Une culture voisine possédait un rendement de 150 g/m² par jour le 11-12-13 mai puis est retombé à 40g/m² la semaine suivante.

Un comptage de cicatrices (zone de coupure du fruit sur la tige) le 31 mai indique une récolte moyenne de 5.8 fruits par plante pour 4 semaines de récolte. Cette observation permet d'estimer un rendement à 1.95 kg/m² pour un poids moyen des fruits de 200g. Une référence de la même variété plantée à la même date sous tunnel atteint un rendement de 15 fruits par plante à cette même date. L'écart est considérable.

Lorsque les conditions climatiques se sont améliorées (journées chaudes et lumineuses), la production a été plus stable et sans à-coups. Le rendement final estimé par le producteur est de 38 t/ha soit 3.8 kg/m².

A la fin du mois de juin, certaines plantes possèdent encore des têtes vigoureuses et fleuries mais les plantes sont couchées par la longueur des tiges et les cannes de palissage ne suffisent pas au maintien de la culture. Les plantes sont couvertes d'oïdium. La culture est arrêtée tandis que la 2^e plantation est en cours de développement.

La 2^e culture est plantée dans des conditions chaudes et lumineuses le 19 juin. L'oïdium est présent très tôt sur cette culture avec une contamination issue de la 1^{re} culture. La floraison semble normale. L'entrée en récolte se fait le 14 juillet avec toujours un retard lié à des premières coulures de fleurs. Les récoltes n'ont duré que 4 jours, plus aucun fruit n'a été récolté sur les plantes. On constate beaucoup de fleurs mâles mais aucune fleur femelle ne parvient à s'ouvrir. Les températures sont en hausse, les abeilles travaillent peu à partir de 10h, il n'y a plus de bourdons. La culture est arrachée fin août avec un rendement de 2T/ha.

Tableau 3 : Bilan des deux cultures de courgette sous serre PV

	1 ^{er} Culture	2 nd culture
Variété	Courgette longue jaune, variété Parador (Gautier)	Courgette longue jaune, variété Parador (Gautier)
Densité	1.66 plt/m ²	1.66 plt/m ²
Plantation	16/03 et 17/03/2018	19/06/2018
Récolte	06/05/2018 (51 jours après plantation)	14/07/2018 (26 jours après plantation)
Arrachage	17/07/2018 (10 semaines de récolte)	21/08/2018 (4 semaines de récolte)
Rendement final	38 t/ha	2 t/ha

➤ Aspect sanitaire

L'oïdium a été le problème majeur de la culture, la pression a été maintenue jusqu'au mois de juin avec des applications de soufre mais a fini par s'étendre à l'ensemble de la culture avec une forte contamination en fin de culture. Les conditions climatiques du mois de mai et l'hygrométrie importante dans la serre ont entraîné une augmentation du botrytis sur fruits et du sclerotinia sur tige. L'aération latérale de la serre n'ayant qu'une action à proximité ne permet pas d'assainir le cœur de serre. Quelques pucerons et aleurodes sont également présents en fin de culture mais n'ont pas posé de problème particulier.

A l'arrachage, les racines ont une faible ampleur mais sont globalement saines. Quelques nécroses ont été observées.

L'excès d'hygrométrie fin mai est certainement aussi à l'origine de problèmes de conservation constatés au cours de cette période : certains fruits se flétrissent, les fleurs restent accrochées aux fruits et provoquent une pourriture à l'extrémité des courgettes.

Sur la 2^e culture, l'oïdium est présent très rapidement compte tenu de la contamination forte de la vieille culture à proximité. Il est géré par des applications de soufre qui le contiennent mais ne l'éradiquent pas. Quelques pucerons et thrips dans les fleurs sont observés en début de récolte. Fin juillet, des pourritures humides sur tige sont observées sur plusieurs plantes, faisant penser à une contamination bactérienne (photos en annexe 2) mais les résultats d'une analyse confiée au LDA13 ne permettent pas d'expliquer les symptômes observés par la présence d'un agent fongique ou d'une bactérie pathogène (tests négatifs). Un *Fusarium sp.* isolé ne possède pas les caractéristiques morphologiques du *Fusarium oxysporum* ou du *Fusarium solani*. Le séquençage de la bactérie majoritaire isolée sur les isollements bactériologiques a donné à 97%: *Pseudomonas putida*, qui est plus une bactérie rhizosphérique antagoniste qu'un agent phytopathogène.

6. Conclusion

Les principaux résultats du suivi de cette serre photovoltaïque sont les suivants :

- **Les relevés climatiques dans la serre sont assez comparables à ceux sous abri classique.** Cependant, l'hygrométrie peut être supérieure car la dimension de la serre ne permet pas d'exploiter suffisamment la ventilation latérale pour gérer les problèmes fongiques.

- **La quantité lumineuse perçue par les cultures sous la serre photovoltaïque est plus de deux fois plus faible que sous tunnel plastique.** On estime un taux de transmission de PAR de 26% (printemps) à 36% (été). Les espaces entre les panneaux solaires et l'asymétrie des toitures ne permettent pas de compenser suffisamment l'ombrage du versant Sud.

- **Au niveau de la surface au sol, le cumul de lumière est assez homogène à l'échelle de la serre,** il n'existe pas de zones très différenciées. Par contre, au cours d'une journée, la lumière pénètre de manière très irrégulière du fait de l'importance des ombres portées. Ceci est d'autant plus marqué en été lorsque le rayonnement est plus vertical.

- Dans cette serre, l'activité photosynthétique en rapport avec la lumière reçue par les plantes est rarement optimale et se produit sur un laps de temps très court. En plein été, le PAR mesuré permet une photosynthèse optimale entre 12h et 16h30 (durée de 4h30) alors qu'elle est dure 9h sous tunnel plastique (de 9h à 18h). Les plantes de jours longs comme la courgette n'ont donc pas l'énergie lumineuse nécessaire pour satisfaire leurs besoins.

- La serre PV Tenairlux® n'a pas permis de rentabiliser la mise en place des 2 cultures de courgette.

En 2018, l'instabilité climatique et le manque de lumière sur le printemps ont rendu difficile la production de courgette de manière générale. Ce contexte peu lumineux est accentué dans la serre photovoltaïque et occasionne des problèmes de floraison, pollinisation et nouaison. Le rendement obtenu sur la culture précoce est de 38 t/ha pour 10 semaines de récolte avec une production très irrégulière. Il n'a pas été possible de comparer avec un rendement en serre classique car la courgette jaune est moins référencée que la courgette longue verte. Néanmoins une comparaison ponctuelle au bout de 4 semaines de récolte a permis d'évaluer un manque de production de 60% par rapport à une conduite classique. La deuxième partie de production en juin a été plus intéressante. La 2^e culture de courgette estivale s'est avérée totalement improductive : les fleurs femelles ne sont jamais parvenues à s'ouvrir malgré l'ensoleillement et des températures plus favorables. Après avoir écarté des problèmes de conduite d'irrigation, de fertilisation ou de climat, il semble que le manque de lumière et la physiologie variétale soient les facteurs principaux à l'origine de ce problème.

Les innovations techniques de la serre Tenairlux® n'ont pas montré d'amélioration notable sur le comportement agronomique des cultures maraîchères par rapport à d'autres serres photovoltaïques étudiées précédemment. Même avec l'utilisation de matériaux diffusants, la faible transmission lumineuse maintient l'activité photosynthétique à un niveau faible, insuffisant pour obtenir un rendement intéressant. Les courgettes sont particulièrement impactées par ces conditions, comme la plupart des cultures légumières étudiées. La recherche de production agricole sous serre photovoltaïque doit s'orienter sur des espèces peu exigeantes en lumière et doit surtout faire évoluer les outils serre vers un meilleur compromis entre production électrique et rentabilité agricole.

Renseignements complémentaires auprès de :

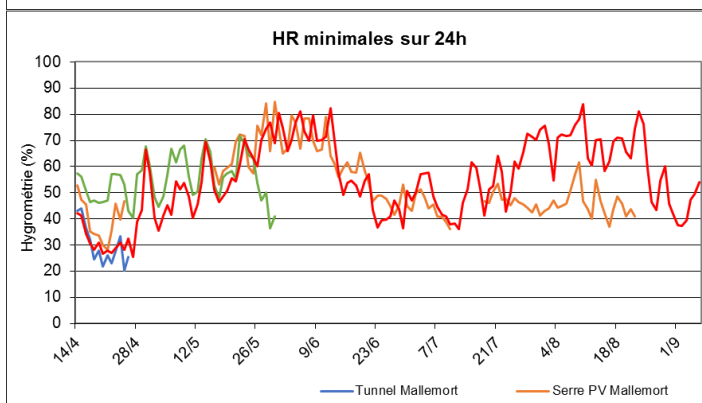
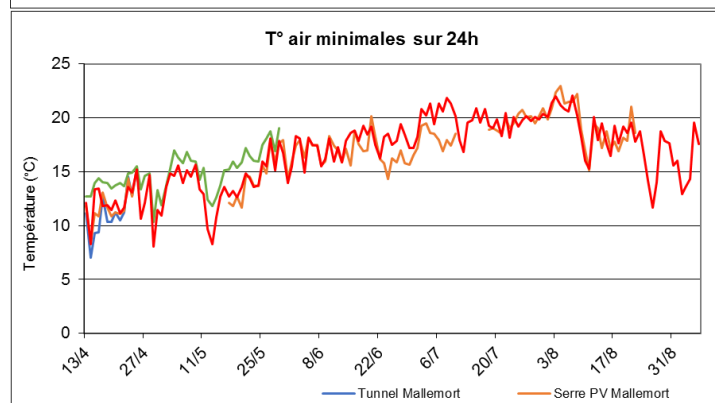
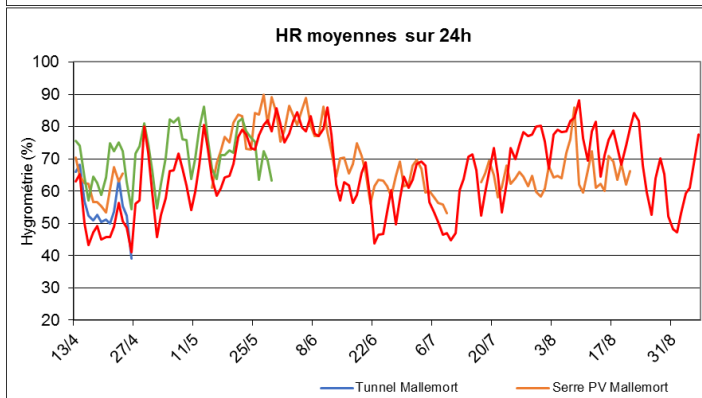
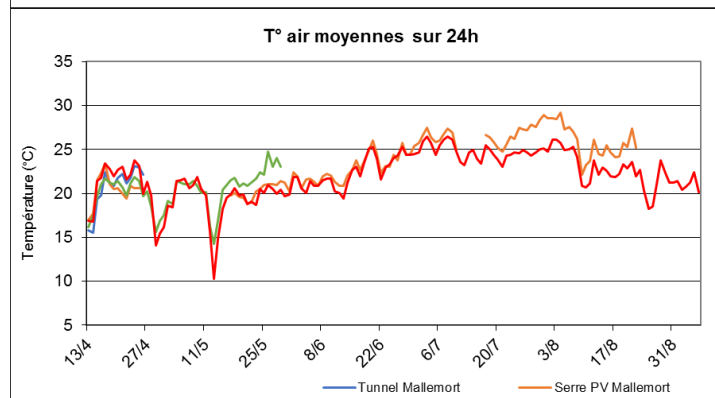
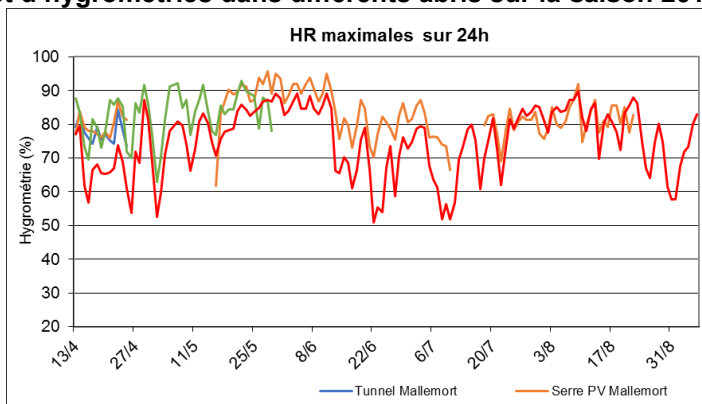
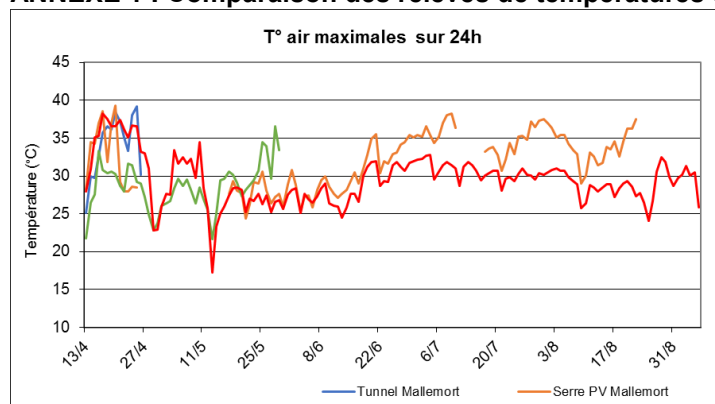
Action A250

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

Réalisé avec le soutien
financier de :



ANNEXE 1 : Comparaison des relevés de températures et d'hygrométries dans différents abris sur la saison 2018



ANNEXE 2

Illustrations des cultures de courgette dans la serre photovoltaïque de Mallemort



18 avril 2018, 1^{re} culture



26 avril 2018, 1^{re} culture



26 avril 2018, fleurs mâle et femelle



17 mai 2018, stade récolte 1^{re} culture



17 mai 2018, stade récolte avec irrégularité de production



17 mai 2018, floraison mâle et absence de floraison femelle



31 mai 2018, 1^{re} culture



31 mai, Oïdium



Sclerotinia



31 mai, Botrytis



1^{er} août, pourriture sur tige, 2^e culture

