



Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques 2016

Claire GOILLON, APREL – Laurent CAMOIN, CA13 – Emeline FEUVRIER, Aurélie COSTE, CETA de St Martin de Crau.

Essai rattaché à l'action n° 04-2015-05 : 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 très peu de permis de construire sont accordés notamment par manque de références technico-économiques. En 2012 et 2013, des premières références sont acquises par l'APREL dans une serre ancienne où la moitié de la toiture a été remplacée par des panneaux photovoltaïques. Les nouveaux projets essaient d'améliorer la pénétration de la lumière, soit par des serres modernes, plus hautes, soit par des constructions asymétriques. En 2015, deux exploitations ont pu finaliser de tels projets dans la région. L'objectif du suivi cette année est de caractériser les conditions climatiques et lumineuses de ces nouveaux outils et de suivre le comportement agronomique des cultures pour définir les meilleures orientations de production à envisager. Il est prévu de poursuivre les travaux en 2017 pour expérimenter des adaptations techniques qui permettraient d'améliorer la production.

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 première 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

• Site d'implantation

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

Les serres viennent en complément d'un parc de serre 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 nouvelles 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. Seule une zone d'aération en haut de toiture est prévue pour réaliser un flux d'air, ainsi que les portes latérales Est et Ouest.

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

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 1b). 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 vent dominant de direction Nord-Nord/Ouest (Mistral).

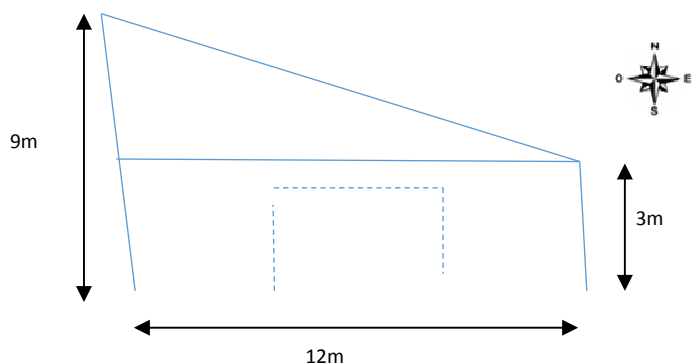


Figure 1a : profil de la serre déportée

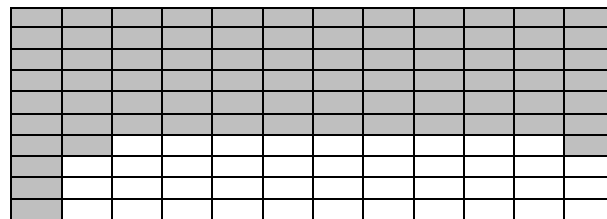


Figure 1b : Représentation de la toiture des serres déportées (panneaux photovoltaïques en grisé)



Photos 1a – 1b : modules de serre déportée

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

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 2b).

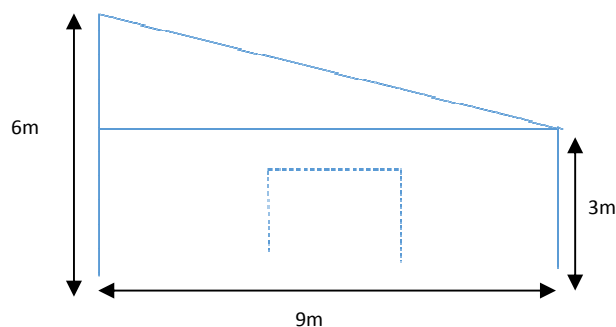


Figure 2a : profil de la serre damier

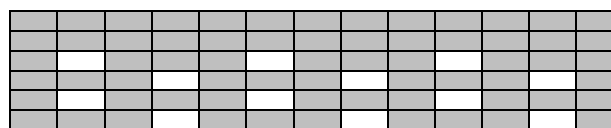


Figure 2b : Représentation de la toiture des serres damiers (panneaux photovoltaïques en grisé)



Photo 2a – 2b : modules de serre damier

- **Dispositif expérimental**

La première mise en culture des serres damier est réalisée en mars 2016 avec de l'asperge. Le retard de mise en place des portes a décalé les autres plantations qui se sont réalisées d'avril à septembre avec des cultures diversifiées. Les finitions dans les serres déportées ont été terminées au cours de l'été et seule une culture de fenouil plantée en septembre a été observée cette année.

- **Observations et mesures**

Observations sur le climat et la lumière : Mesures effectuées avec le matériel APREL

➤ Lumière photosynthétique:

Le matériel utilisé est un enregistreur SKYE Lynx Datahog relié à des capteurs spécifiques du PAR (Photosynthetically Active Radiation), c'est-à-dire des capteurs qui mesurent le rayonnement photosynthétique actif provenant de la lumière du soleil. Les enregistreurs sont programmés pour faire une mesure toutes les 30 secondes et une capture de donnée 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 :

- Les sondes dans la serre sont disposées sur des piquets enfoncés dans le sol à environ 50 cm de haut, placées à intervalle régulier sur la largeur des chapelles. Un enregistreur est positionné en même temps dans les deux types de modules.
- 3 sondes sont également placées à l'extérieur, dans une zone dépourvue d'ombre pour obtenir la référence de luminosité locale.

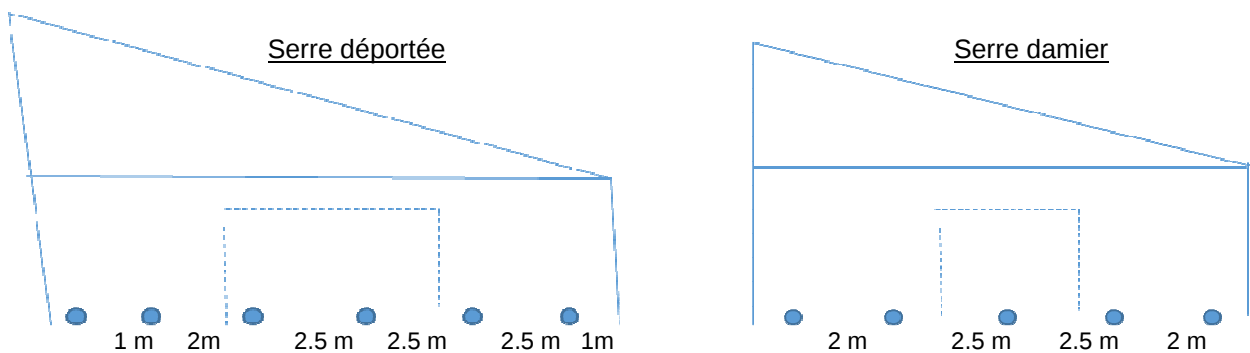


Figure 3 : Positionnement des capteurs de PAR dans la serre déportée et dans la serre damier

➤ 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 en hauteur et au sol dans les serres de façon à avoir une idée précise des gradients de températures dans ces abris.

Observations agronomiques :

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

- Cycle de production : dates de plantation, stades clés, date 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 24 Novembre au 6 avril dans les 2 modules en 3 points sur la largeur de la serre (Sud, milieu, Nord) et 1 point à 3 m de haut. A cette période, les portes n'étaient pas encore installées du fait de l'absence de culture. Les relevés ne représentent donc pas le climat en situation de production. Néanmoins, on constate une bonne homogénéité sur le climat au niveau du sol dans la largeur des chapelles que ce soit dans les serres damiers ou déportées.

Les relevés climatiques réalisés sur l'ensemble des suivis de parcelle de l'APREL sont regroupés pour donner une référence moyenne des températures et hygrométrie sous abri en 2016. La comparaison est faite sur la période du 18 décembre au 7 avril où les références sont disponibles.

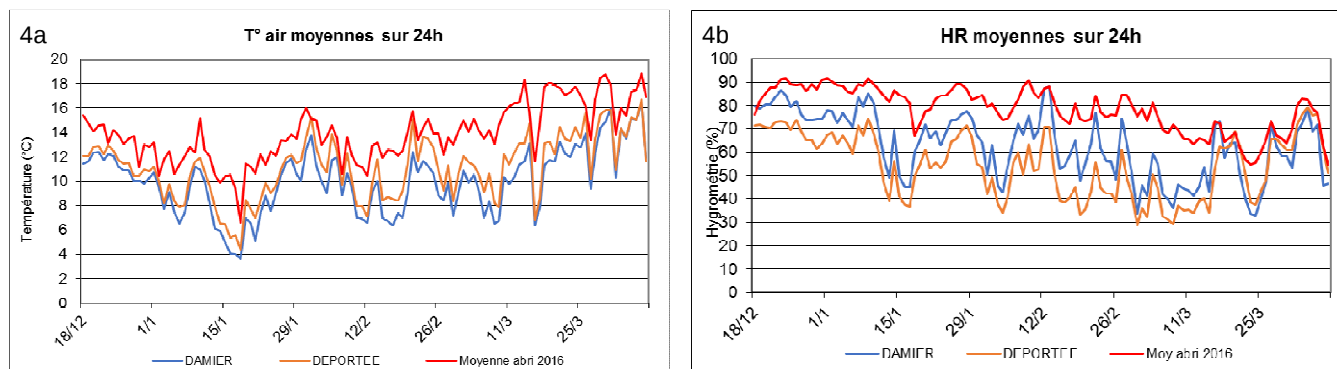


Figure 4a et 4b : Comparaison des températures moyennes (4a) et hygrométrie relative (4b) sur 24h dans la serre photovoltaïque et sous abri classique

Sans fermeture des portes, les températures moyennes sur cette période sont plus faibles dans les modules photovoltaïques que dans les abris classiques. L'hygrométrie y est plus faible. Il sera important de réaliser cette comparaison en conditions de production en 2017 à différentes périodes de l'année.

Néanmoins, la comparaison des deux modules dans les mêmes conditions semblerait montrer que le module damier est plus froid et plus humide que le module déporté.

5.2 Transmission lumineuse

Quatre séries de mesures sont effectuées pendant 10 à 15 jours pour couvrir des conditions lumineuses variées :

- 1^{re} série de mesures en septembre 2015 : du 9 au 22 septembre 2015
- 2^e série de mesures en novembre 2015 : du 24 novembre au 6 décembre 2015
- 3^e série de mesures en avril 2016 : du 7 au 21 avril 2016
- 4^e série de mesure en juin 2016 : du 10 au 23 juin 2016

Ces séries de mesures permettent de visualiser la luminosité dans la serre à quatre périodes d'inclinaison différente du soleil. A chaque période, des capteurs sont positionnés dans la largeur des chapelles de chaque module, espacés entre eux de 2m à 2.50 m (voir figure 3, photos en annexe). La référence est le PAR mesuré à l'extérieur.

Caractérisation de la lumière dans les chapelles à différentes périodes de l'année

Les graphiques ci-dessous représentent la quantité de lumière moyenne reçue en un point précis de la serre où sont positionnées les sondes. Le point intitulé 'SUD' correspond à la 1^{re} sonde contre la paroi Sud de la serre. Les suivantes sont distantes de cette paroi de 3.5 m (S+3.5), 6 m (S+6), 8.5 m (S+8.5) et 11 m (S+11) pour la serre déportée. La sonde 'Nord' est positionnée contre la paroi Nord de la serre.

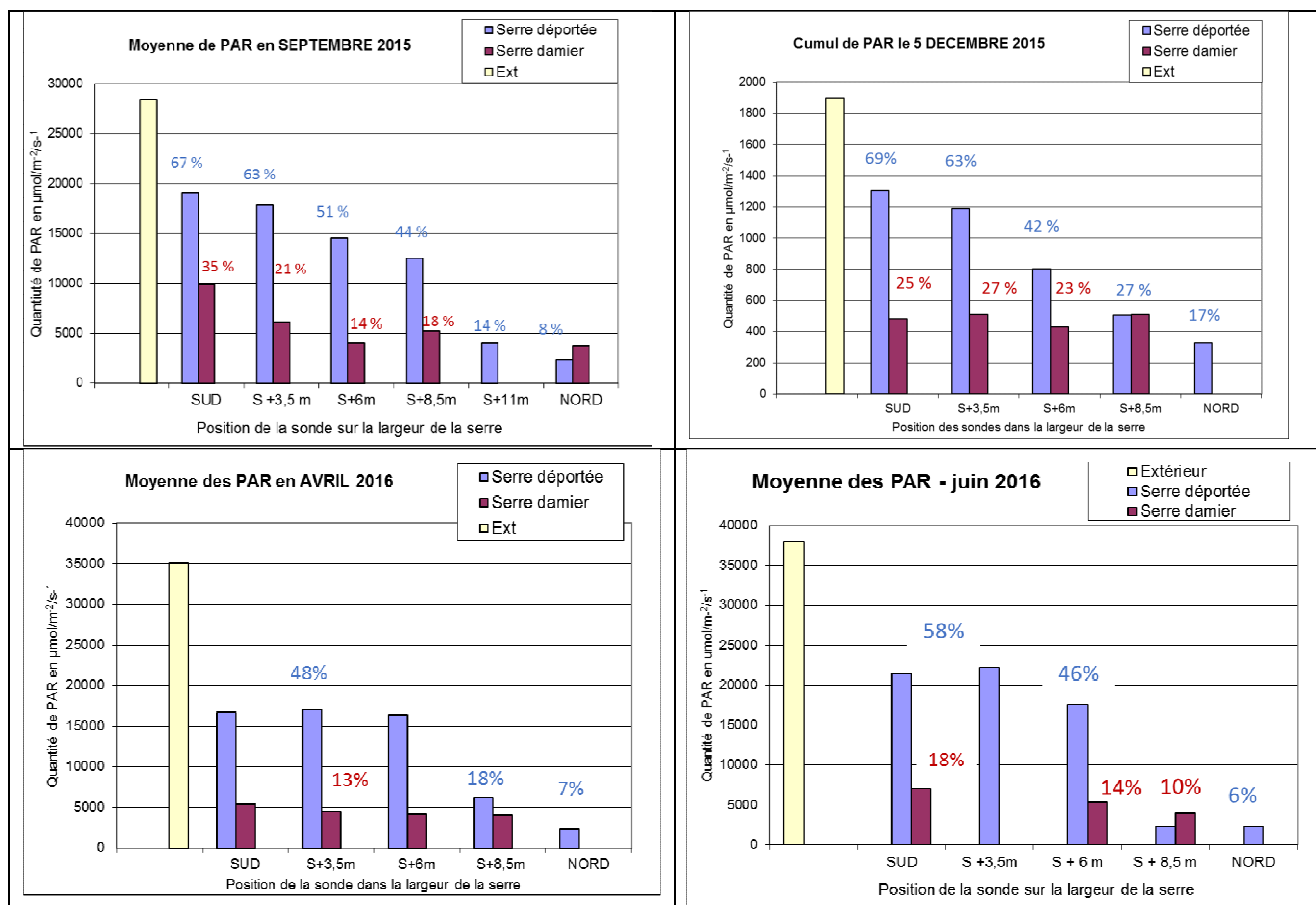


Figure 5 : Mesures de la quantité de lumière photosynthétique (PAR) en différents points de la serre sur 4 périodes de l'année

➤ Serre déportée

La pénétration de la lumière par la partie basse de la toiture et les parois est optimale lorsque l'inclinaison du soleil est basse (hiver). Les mesures effectuées fin septembre et début décembre montrent un gradient de PAR qui décroît à partir de la paroi Sud (70% de transmission) jusqu'à environ 9m. Au-delà, la transmission de PAR est très faible (15-20%). La zone d'ombrage au sol représente donc environ 3m de large sur la partie Nord, soit un quart de la surface.

Au printemps et en été, avec un rayonnement plus vertical, la zone d'ombrage est plus importante. Selon les mesures effectuées en avril et juin, elle représente environ 6 m de large au Nord, soit la moitié de la surface. La luminosité au Sud est plus homogène qu'en hiver mais on observe seulement 50% de transmission du PAR au niveau des 6 premiers mètres.

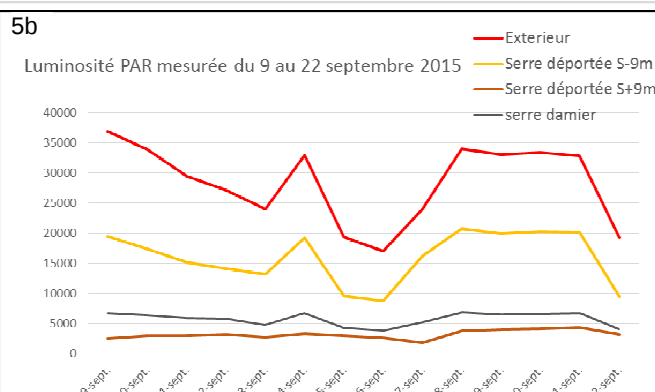
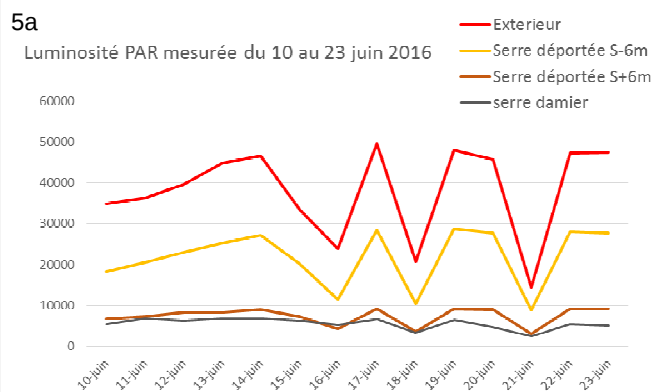
➤ Serre damier

Ce type de serre se caractérise par une quantité de lumière journalière équivalente en tout point de la surface au sol. Les mesures sont identiques quelle que soit la position de la sonde par rapport à la paroi. La transmission de PAR dans cette serre est évaluée entre 20 et 30% sur la période hivernale et entre 10 et 15% sur la période estivale.

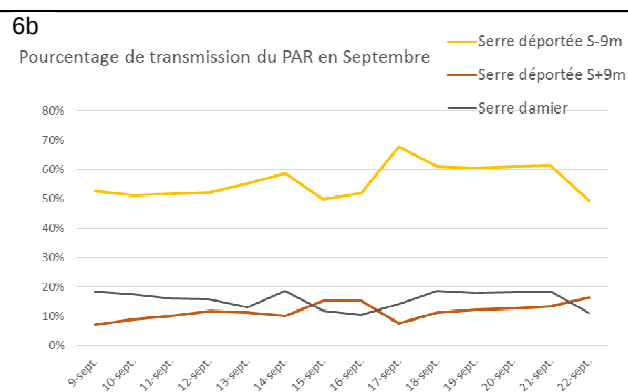
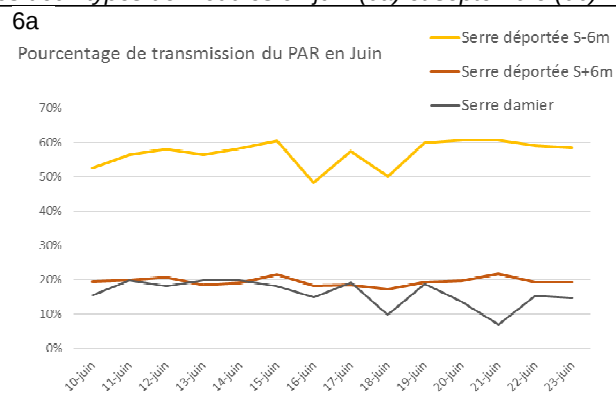
Dans les deux types de serres, il y a donc bien une meilleure transmission de lumière en hiver. La serre déportée marque un gradient important de lumière au niveau du sol mais bénéficie de la meilleure luminosité, au moins sur la moitié de la surface au sol. La serre damier se caractérise par une diffusion homogène de la lumière au niveau de la surface cultivée mais avec une transmission inférieure à 30% du PAR extérieur, la quantité de lumière est très restrictive.

Evolution de la lumière photosynthétique PAR et transmission dans la serre sur plusieurs jours

Figures 5a et 5b : Lumière photosynthétique (PAR) mesurée dans les deux types de modules en juin (5a) et septembre (5b)



Figures 6a et 6b : Pourcentage de transmission mesurée dans les deux types de modules en juin (6a) et septembre (6b)



Quel que soit le niveau de luminosité extérieure, la transmission du PAR dans la serre est plafonné entre 10 et 20% pour la serre damier et pour la zone Nord de la serre déportée sur une bande de 3m en hiver et 6m en été. La partie Sud de la serre déportée bénéficie de 50 à 60% du PAR extérieur, ce qui se rapproche des conditions habituelles sous abri.

Une première représentation graphique de la répartition de lumière dans les serres est ainsi obtenue :

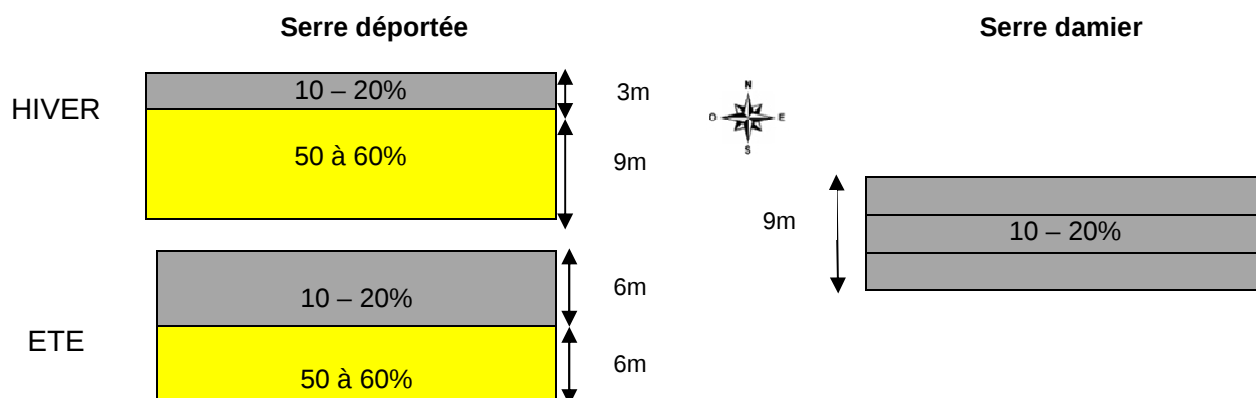


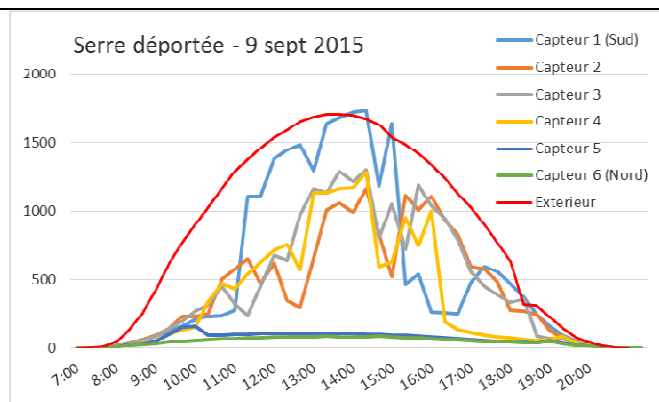
Figure 7 : Représentation schématique des gradients de luminosité (exprimés en % de transmission de PAR) dans les serres photovoltaïques à Entressen

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.

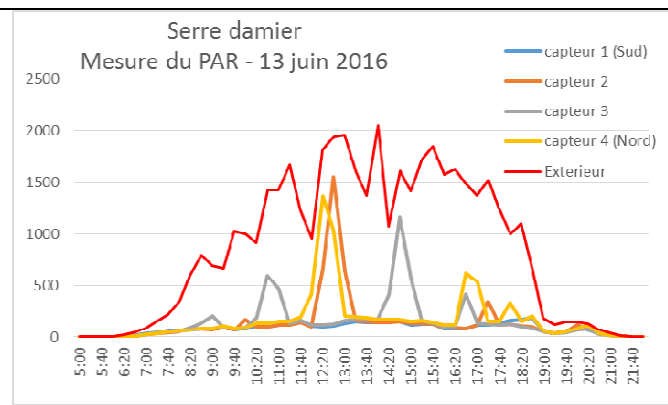
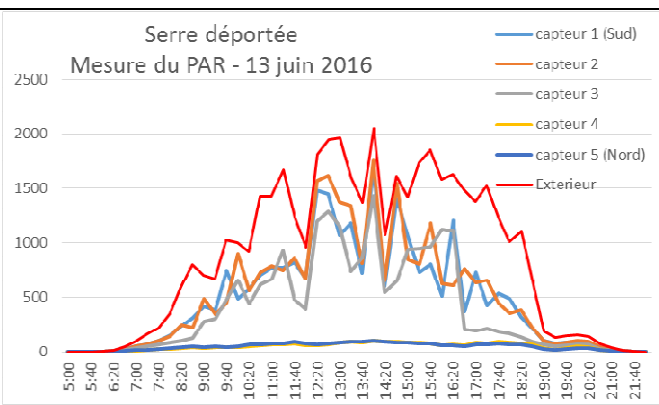
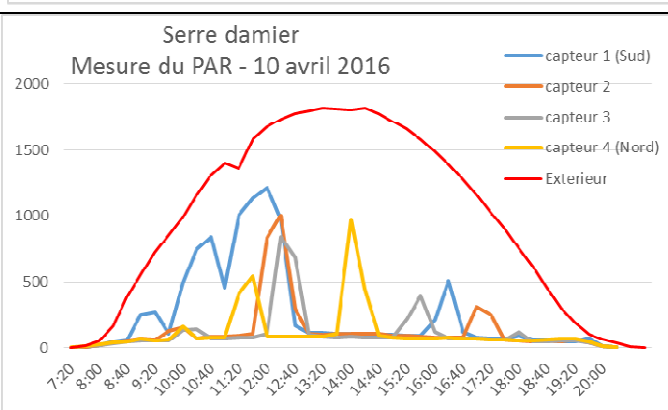
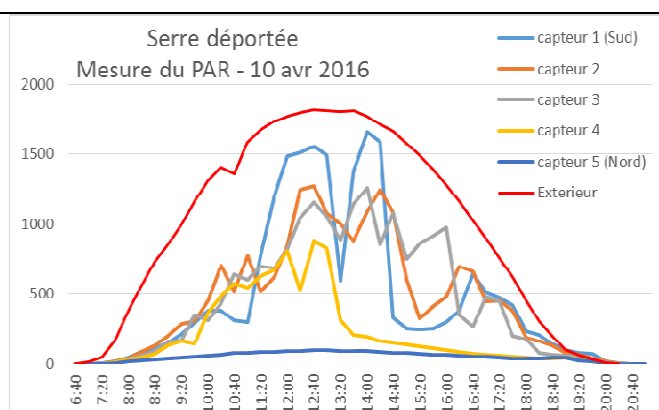
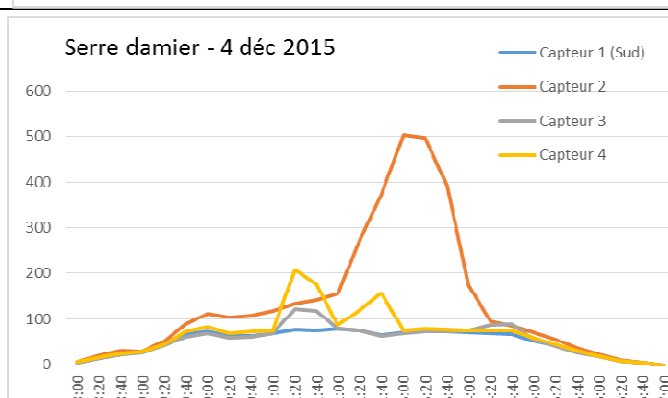
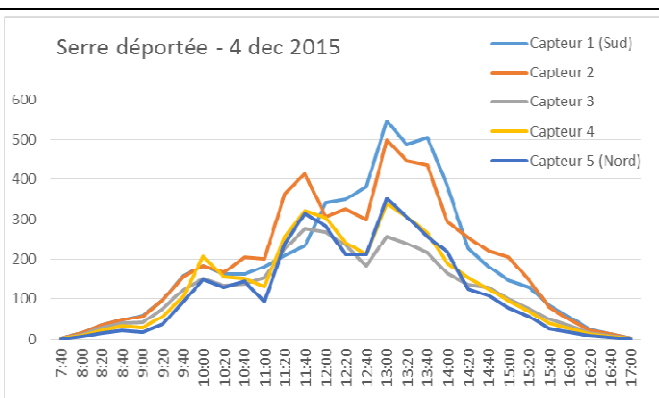
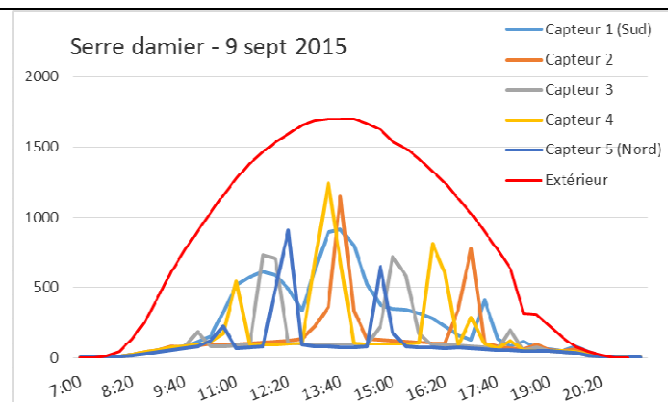
Répartition de la lumière dans la serre au cours d'une journée

Les courbes d'évolution de PAR sur 24h au niveau des différents points de la serre permettent de mettre en évidence l'homogénéité d'éclaireage au niveau de la surface cultivée.

Figures 8a, b, c, d : Evolution du PAR en différents points de la serre déportée sur 24h en septembre (8a), décembre (8b), avril (8c) et juin (8d)



Figures 9a, b, c, d : Evolution du PAR en différents points de la serre damier sur 24h en septembre (9a), décembre (9b), avril (9c) et juin (9d)



En décembre, le capteur extérieur est tombé au cours de la période de mesure et n'a pas fonctionné correctement pour établir la référence.

Quel que soit le type de serre, la lumière ne pénètre pas uniformément au cours de la journée du fait des structures de la serre qui créent des ombres portées au sol. Celles-ci varient au fur et à mesure de la course du soleil dans la journée.

Cependant, la serre damier est la plus affectée par des pics de lumière (figures 9 a, b, c, d). Chaque point au sol reçoit la lumière sur 2 à 3 périodes très courtes d'1h environ à des moments variables de la journée. Cet éclairage est directement lié à la position d'une vitre tous les 3 panneaux photovoltaïques qui représente un puits de lumière ponctuel sur la toiture.

Pour la serre déportée, on observe une luminosité à l'intérieur de la serre qui suit une courbe assez semblable à la luminosité extérieure (figures 8a, b, c, d). Le capteur N°4, en position éloignée de la paroi Sud est affecté par une baisse de luminosité en fin de journée. Ceci est lié à la couverture de panneaux photovoltaïques en bordure Ouest de toiture qui occasionne une ombre en fin de journée.

5.3 Suivi agronomique

Le producteur certifié AB, commercialise à la fois en vente directe (10% du CA au total) et chez un grossiste (90% du CA au total), 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 au printemps/été, et par aspersion à l'automne/hiver. Le suivi des observations est bimensuel.

Il n'y a pas eu de cultures sous les serres déportées en 2016 et les observations suivantes ne concernent que les serres en damier.

➤ Plantations de mars

Asperges : Les variétés plantées sont Grolim et Vitalim. Leur développement est correct avec 5 pousses/plant. Le manque de lumière a cependant provoqué des plantes plus hautes et plus sensibles à la verse. Elles ont subi des attaques de puceron en juin, un stress hydrique en août et des attaques de criocères en automne. Les récoltes sont prévues mi-février 2018.

➤ Plantations d'avril

Fenouil : Trois plantations ont été effectuées avec la variété Rondo : le 16 avril, le 28 mai et le 16 juin. Les premières récoltes ont débuté mi-juillet, 3 mois après la 1^{re} plantation. Quel que soit le créneau, les plants sont très étiolés et la montaison est observée au bout de 4 semaines. Les bulbes sont restés petits et n'ont pas pu être commercialisés

Betterave : La variété Alvro mono est plantée le 22 avril et récoltée fin juin après un cycle de 60 jours. Il y a eu un beau développement des plantes. Malgré un feuillage étioilé, le bulbe s'est bien formé avec un poids moyen de 300g, ce qui est correct. Des problèmes de déformation du bulbe ont cependant été observés, pouvant être la résultante du manque de lumière et de l'irrégularité de consommation en eau.

Chou rave : La variété Korist a été plantée le 22 avril. Le cycle de développement a été long mais il y a eu un bon comportement général. Au niveau sanitaire, des attaques importantes de punaises du chou et d'acaréens ont affecté la culture, notamment sur la fin de culture avec un stade de récolte dépassé. Des déformations de bulbe ont été observées et des attaques de lapins ont réduit fortement le rendement.

➤ Plantations de mai-juin

Epinard : Deux plantations ont été effectuées avec la variété Toucan. La première culture, plantée le 17 mai a été récoltée le 4 juillet, avec un cycle de 7 semaines. La 2^e culture plantée le 13 juin a été récoltée fin juillet. Les plantes sont légèrement étioilées, le feuillage reste clair et fin. Des problèmes de montaison sont visibles, surtout sur la 2^e culture au bout de 3 semaines après la plantation. Le rendement est faible : environ 1 kg/m² pour la plantation de printemps, il est réduit de moitié pour la plantation d'été. La 2^e coupe est difficile à effectuer.

Fenouil : voir plantation d'avril

➤ Plantations d'août - septembre

Blette : Plantées fin août, les blettes de sont bien développées mais les feuilles sont restées fines et les côtes cassantes.

Mâche : La variété Trophy a été plantée fin août à une densité de 24 plants/m². Son développement a permis de récolter environ 1 kg/m², ce qui est un rendement moyen (on considère un rendement moyen de

1.2 à 1.5 kg/m² pour une densité de 28 plants/m²). Les plants ont tendance à s'étioler et à être sensible à la montaison.

Poireaux : La croissance s'est montrée très différente entre les lignes au Nord et celles au Sud. Les 4 premières lignes au Sud ont eu un développement correct. Au Nord, les poireaux sont restés très fins et se sont étiolés et vrillés. Les récoltes se sont effectuées début 2017.

Persil : Le persil frisé s'est bien comporté sur des plantations de fin août et mi-septembre. Le persil plat a marqué des feuilles claires peu favorables à la commercialisation.

Salade : Des variétés multifeuilles ont été essayées mais elles sont restées petites et ont très vite marqué la montaison. De l'oïdium s'est développé sur les plantes.

6 – Conclusion

Cette première année de suivi a permis d'avancer sur la caractérisation des conditions de production sous les nouveaux modules de serres photovoltaïques asymétriques ENERIMMO.

Lumière : Les serres de type damier se caractérisent par des conditions lumineuses très faibles mais homogènes en tout point de la surface cultivée. Seulement 10 à 20% du PAR extérieur pénètre dans la serre et de façon très ponctuelle au cours de la journée. Ces conditions paraissent très contraignantes pour le développement des plantes.

Les serres de type déporté sont plus lumineuses mais présentent des zones très différenciées sur la surface cultivée. La partie Sud de la serre reçoit en moyenne 50 à 60% du PAR extérieur alors que la partie Nord reste dans l'ombre et ne reçoit que 10 à 20% du PAR. C'est en hiver que les conditions sont les plus favorables avec 75% de la surface au Sud qui est relativement bien éclairée. En été, cette zone est réduite à 50% de la surface utile de la serre.

Climat : Les observations réalisées cette année ne permettent pas vraiment de caractériser le climat dans des conditions de production. Néanmoins, les serres de type damier moins lumineuses, ont tendance à être plus froides que les serres de type déporté.

Au niveau agronomique : En 2016, seules les serres en damier ont été cultivées à partir du mois de mars. De manière générale, on observe que les cultures ont un cycle plus long, l'étiollement et la montaison sont rapidement observés et les rendements sont faibles selon les cultures. Certaines cultures n'ont pas pu être récoltées comme le fenouil. L'épinard, la mâche et la blette ont été récoltés avec des problèmes de qualité et un rendement faible par rapport aux moyennes régionales mais ont permis un revenu au producteur. Des adaptations de créneaux de culture peuvent être envisagées pour ces cultures. La betterave, le chou rave et le persil sont sans doute les cultures qui se sont mieux comportées mais il faut prendre en compte des cycles très longs et améliorer les conduites culturales, notamment l'irrigation.

De manière générale, les zones qui reçoivent moins de 15% de PAR (zone Nord des serres déportées et serres damier) seront difficiles à exploiter. Une réflexion importante doit être menée sur la configuration de plantation des serres déportées pour gérer l'hétérogénéité Nord-Sud mais le niveau de luminosité devrait permettre une production sur cette surface. Par ailleurs, la zone extérieure entre les modules est aussi une question à prendre en compte car la surface représentée est importante et dans un schéma d'utilisation des terres agricoles, il est important d'envisager une exploitation de cette surface en culture de plein champ.

Concernant le suivi sur cette exploitation, des travaux complémentaires doivent être faits

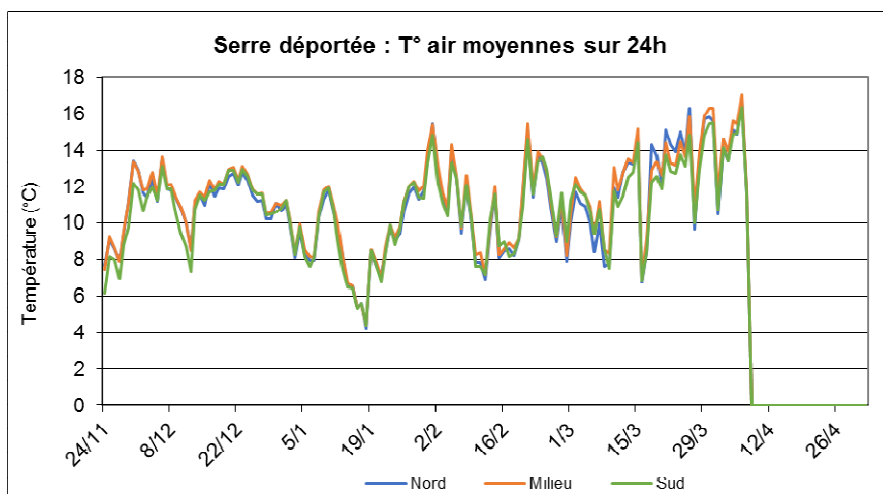
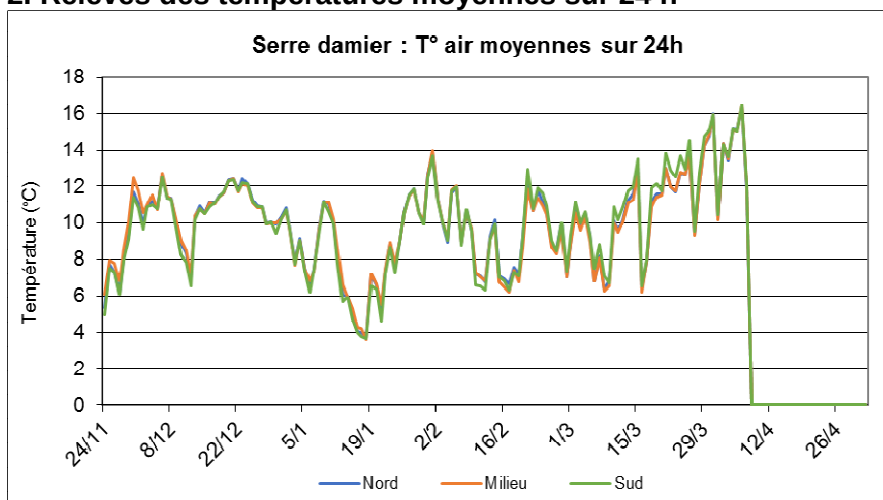
- Caractérisation du climat en conditions de production dans les deux types de serre
- Renouveler une série de mesures de PAR en hiver
- Suivi des nitrates dans le sol.
- Suivis de tensiométrie pour évaluer la variation de consommation d'eau dans ce type d'outil. Il semblerait que les apports d'eau soient réduits de moitié en relation avec une activité photosynthétique réduite.
- D'autres cultures seront observées en 2017 comme, la mâche, le fenouil, la tomate, le concombre et des légumineuses et alliacées en serre déportée

ANNEXES**1- Photos**

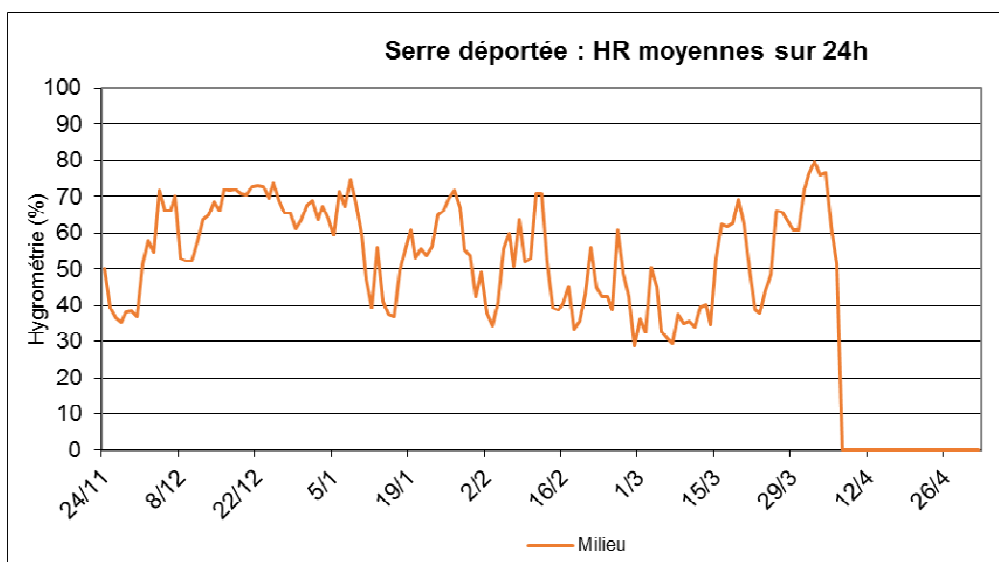
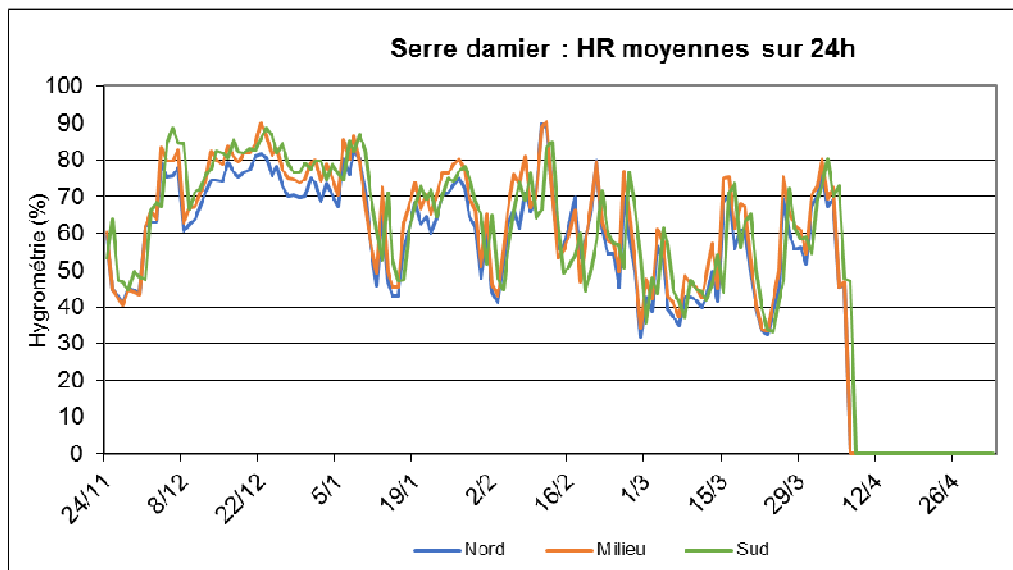
EPINARD 24 juin (9h)		
FENOUIL 24 juin (9h)		
CHOU RAVE 24 juin (9h)		
ASPERGE 24 juin (9h)		

Serre déportée		
Installation des sondes PAR		

2. Relevés des températures moyennes sur 24 h



3. Relevés des hygrométries relatives sur 24 h



Réalisé avec le soutien
financier de la société
ENERIMMO et de :



La responsabilité de FranceAgriMer ne saurait
être engagée



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE L'ALIMENTATION
DE LA PÊCHE
DE LA RURALITÉ
ET DE L'AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE

avec la contribution financière du
compte d'affectation spéciale
"Développement agricole et rural"

La responsabilité du Ministère chargé de
l'agriculture ne saurait être engagée