



CONCEPTION

D'UN SYSTÈME DE CULTURE

SOUS SERRE AGRIVOLTAÏQUE AUX CONDITIONS
LUMINEUSES DISTINCTES

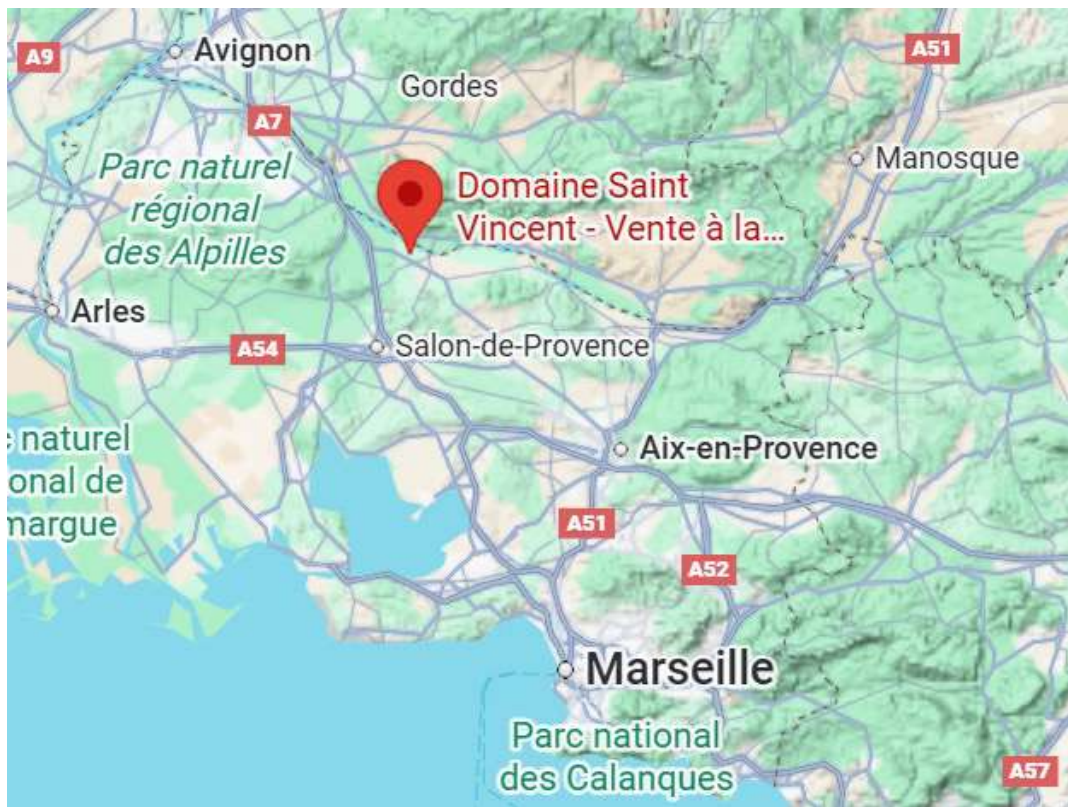


Solen LE POUHAËR, Aïx ROYER,
Anaïs SERVIÈRES



CONTEXTE

Domaine Saint Vincent, Mallemort
13370 (Bouches du Rhône).



Google map, 2025



Le Moniteur, 2017

Agriculteur : Laurent Chabert

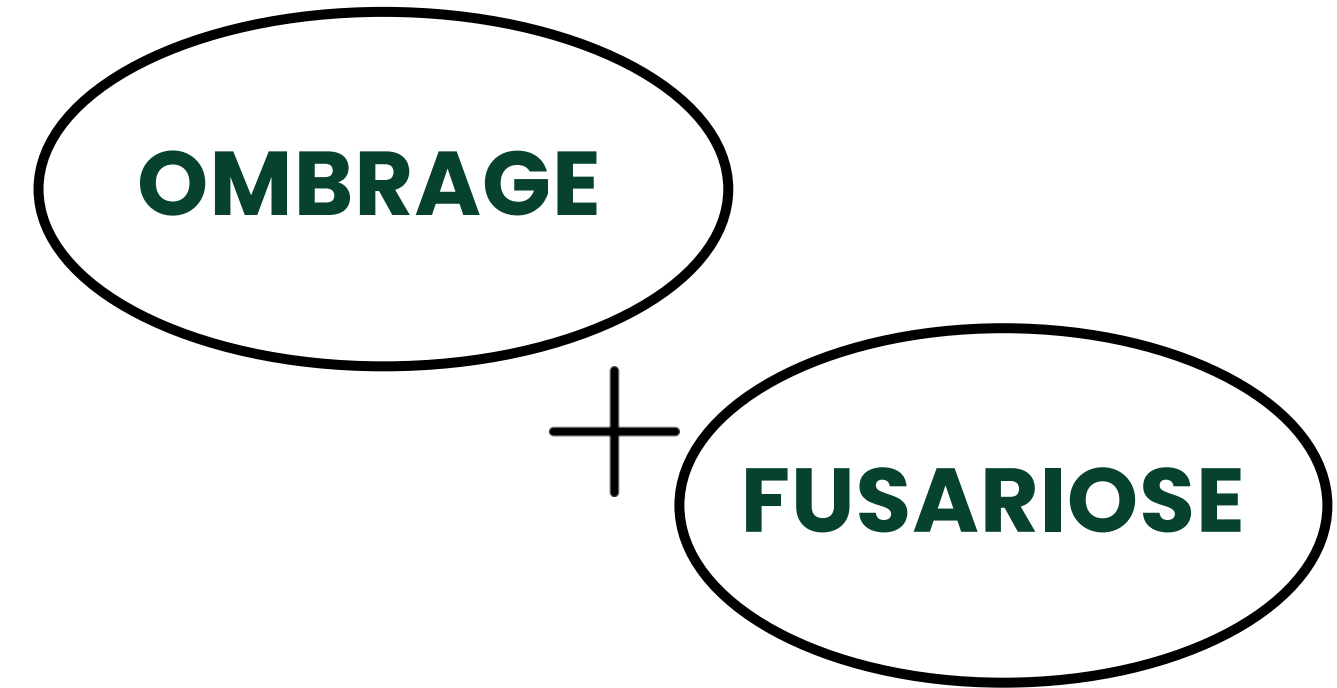
Constructeur : Ténergie



Culture principale : Asperge verte
vente directe et à des restaurants

- **Tenerlux 2** (fusariose) : $\left\{ \begin{array}{l} 0,7 \text{ ha} \\ 2,5 \text{ ha} \rightarrow 1,7 \text{ ha toujours en} \\ \text{asperge} \end{array} \right.$
- Une ambiance lumineuse :
3% de transparence + puits
de lumière
- **Tenerlux 3** (en construction) : 2,7 ha
- Deux ambiances lumineuses :
18% et 33% de transparence

PROBLÉMATIQUE



En remplacement ou en complément de l'asperge verte, quelles espèces maraîchères peuvent être cultivées sous les serre Tenairlux 2 et 3 en tenant compte des contraintes pédoclimatique et technico-économiques des installations et de l'exploitation ?

CADRE DE CONTRAINTES

Sur le plan technico-économique :

- Ombrage des panneaux solaires
- Différentes ambiances lumineuses sous les serres
- Impact sur les cultures (morphologie, rendement)
- Fusariose de l'asperge
- Indisponibilité d'octobre à novembre
- Peu de trésorerie => pas d'investissements possibles
- Système très diversifié et chronophage impossible
- Tolérance au risque limitée

La nouvelle serre sera complètement ou en partie plantée en asperge



CADRE DE CONTRAINTES

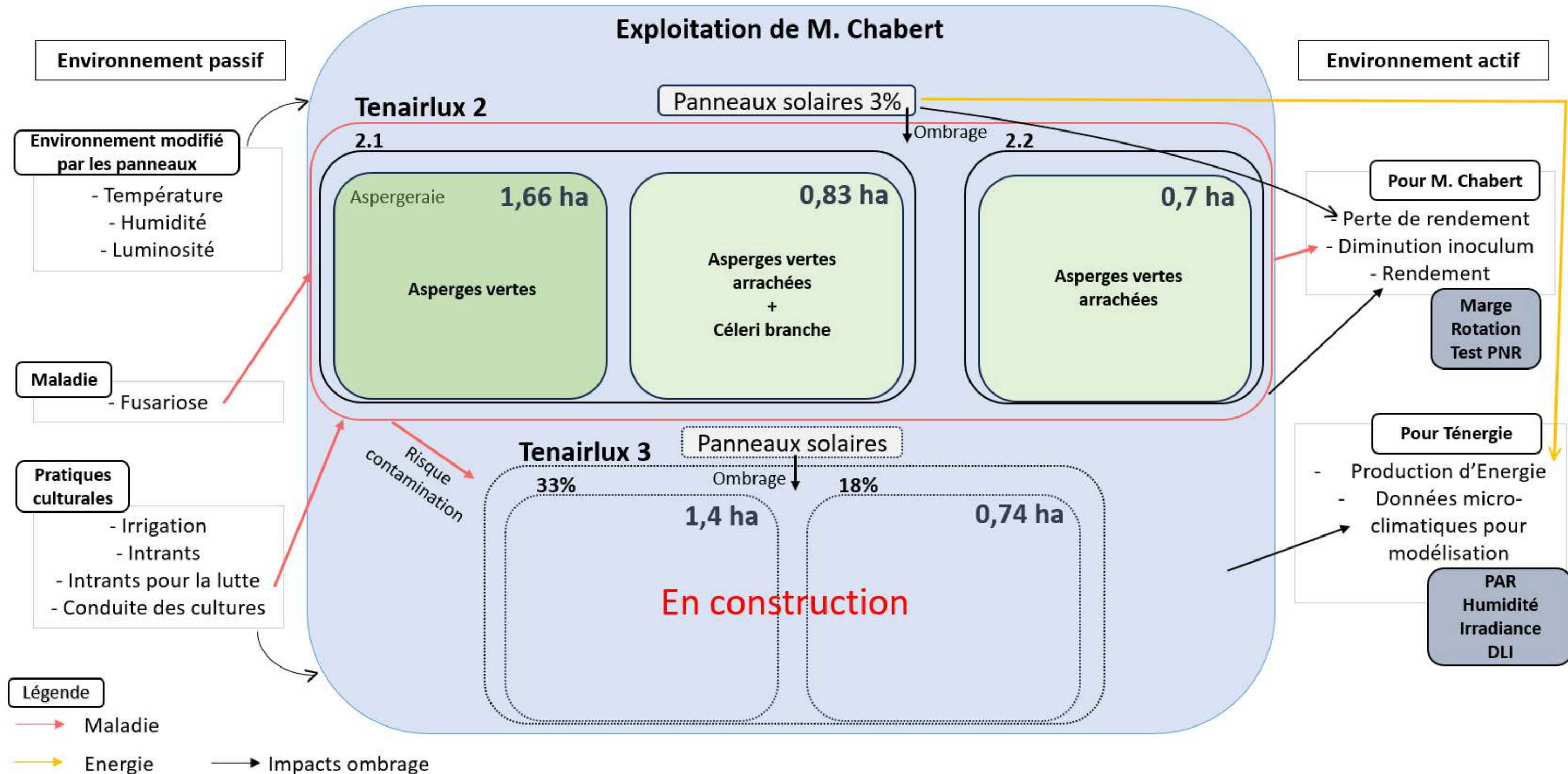
Sur le plan pédo-climatique

- Ombrage des panneaux solaires
- Conditions climatiques modifiées à l'intérieur des serres
- Cycles de cultures modifiés
- Sol Limono-argilo-sableux, profond (>90 cm) et faible pierrosité
- Fusariose de l'asperge

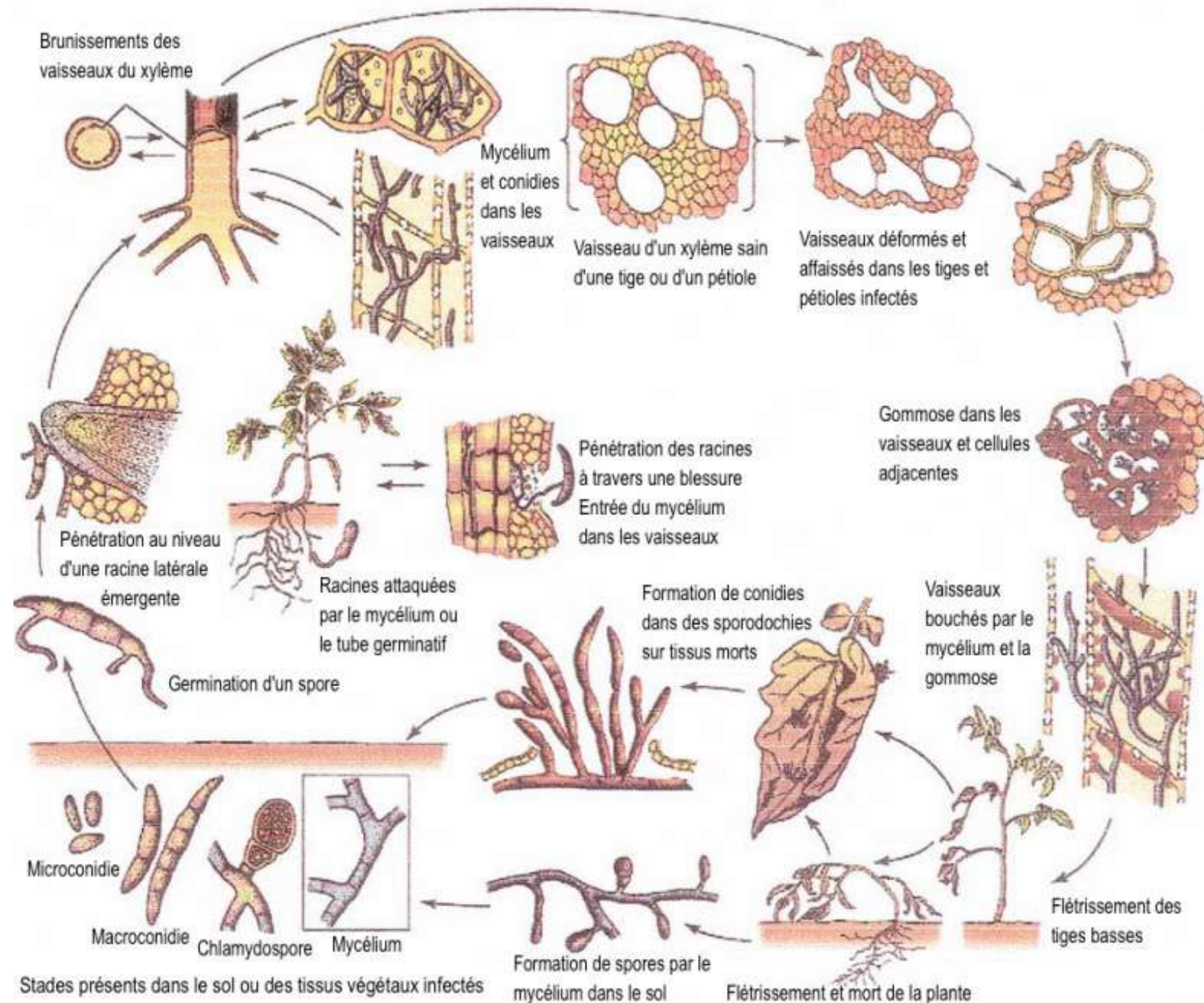


ANALYSE DE LA SITUATION DE DÉPART

Schéma conceptuel de la situation actuelle



ANALYSE DE LA SITUATION DE DÉPART



Agents responsables :

Fusarium oxysporum sp. *asparagi*
 Pathogène tellurique et saprophyte
 Survie longue dans le sol (chlamydospores)

Site d'infection

Infection via racines et rhizomes

Symptômes

Racines brunies, dépérissement progressif, baisse de rendement

Il n'existe pas de variété résistante. L'arrachage est inévitable.

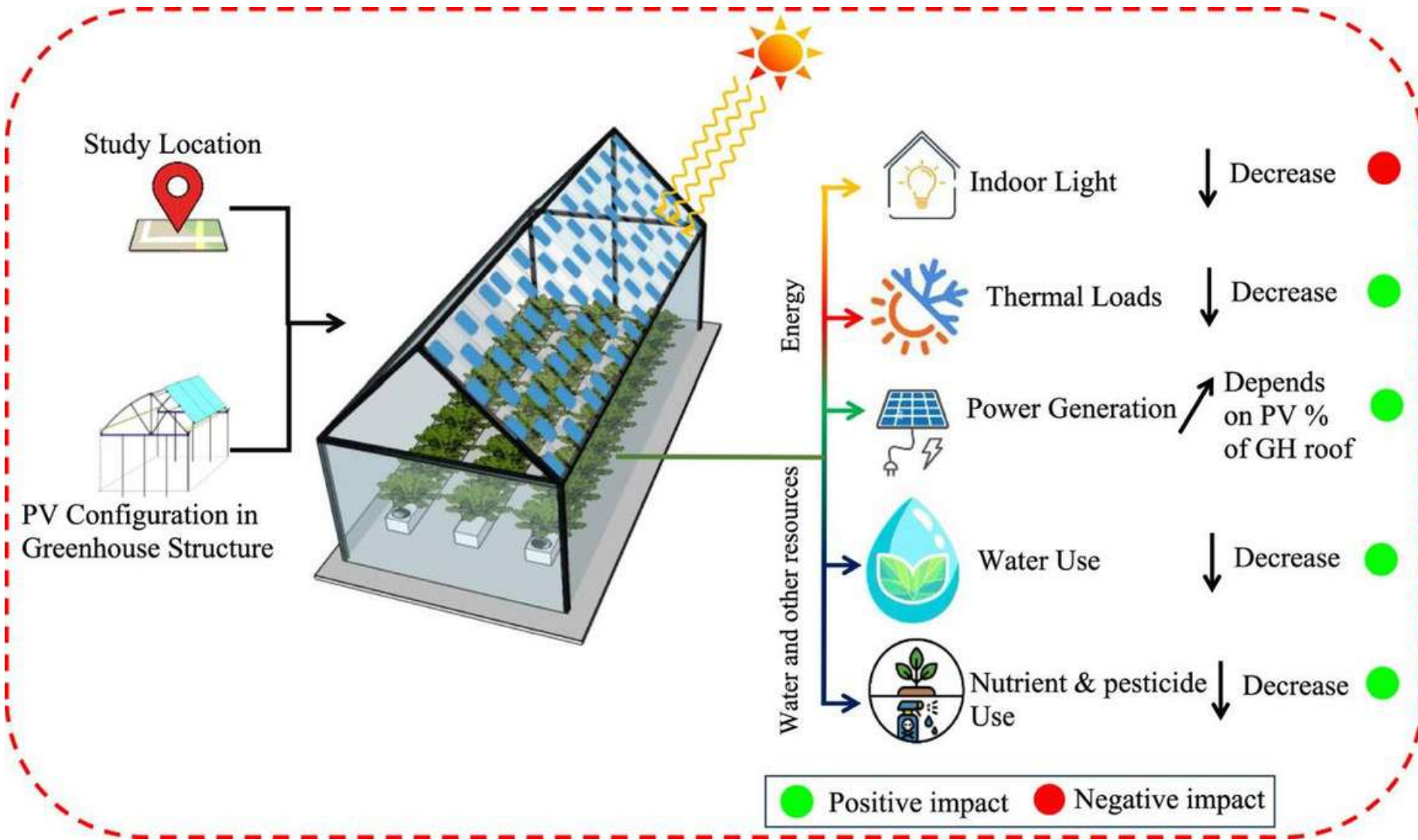


- ↓ Rendements
- ↑ Risques sanitaires
- Asperges non commercialisables

ANALYSE DE LA SITUATION DE DÉPART



Calcul des PVR
Calcul des DLI



Sous serre agrivoltaïque

- Humidité ↑ (-30% du besoin en eau)
- Température ↓ (-2 à -5°C)
- Luminosité ↓ (-40%)

Impact sur les **rendements et la qualité** de la récolte mais aussi sur les **risques sanitaires**

Améliorer la quantité de fraises → plus de solides solubles
Augmenter la proportion d'eau dans le céleri

ANALYSE DE LA SITUATION DE DÉPART



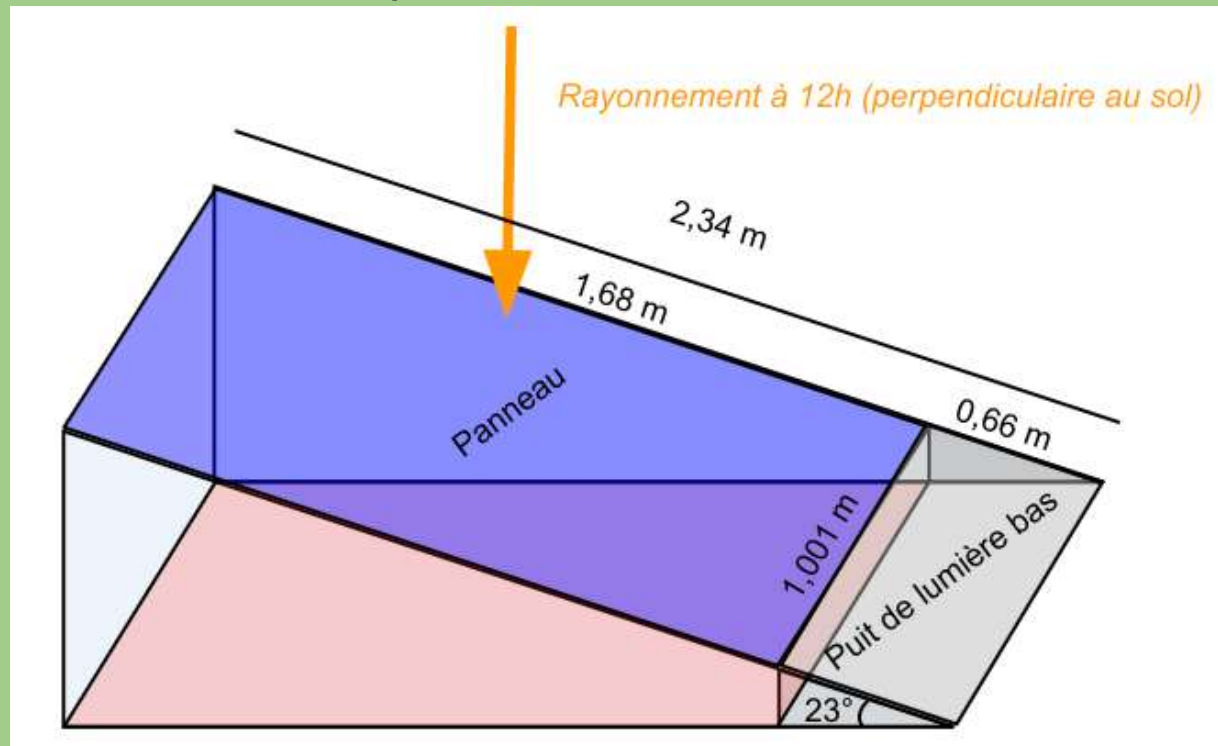
Photovoltaic Cover Ratio

$$PVR = \frac{\text{Surface des panneaux projetée au sol}}{\text{Surface au sol de la serre}} \times (1 - \text{taux de transparence})$$

☑ Calcul des PVR

Tenairlux 2

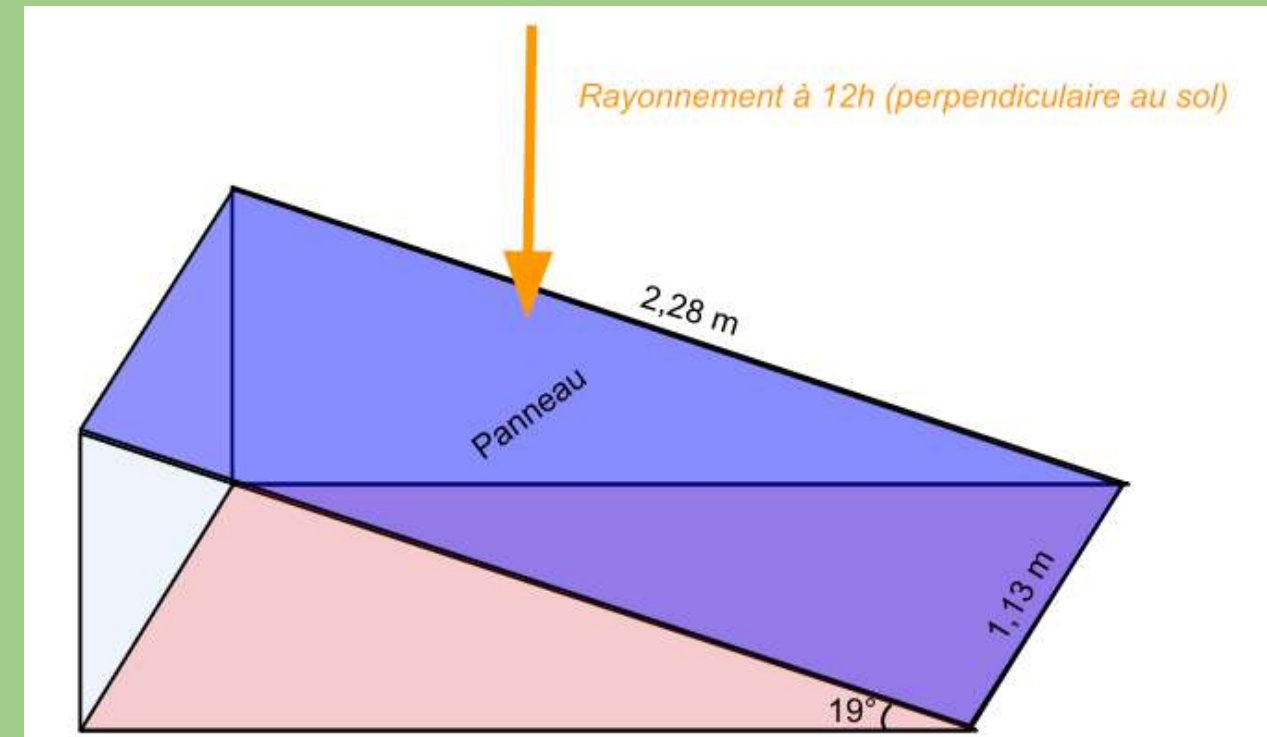
Surface projetée au sol : 1,55 m²/ module
 Nombre de module : 6 210 et 1 817
 Surface au sol de la serre : 2,5 et 0,7 ha
 Taux de transparence : 3%



PVR = 0,40

Tenairlux 3

Surface projetée au sol : 2,43 m²/ module
 Nombre de module : 3 804 et 2 016
 Surface au sol de la serre : 1,40 et 0,74 ha
 Taux de transparence : 33% et 18%



PVR = 0,44 et 0,54

ANALYSE DE LA SITUATION DE DÉPART



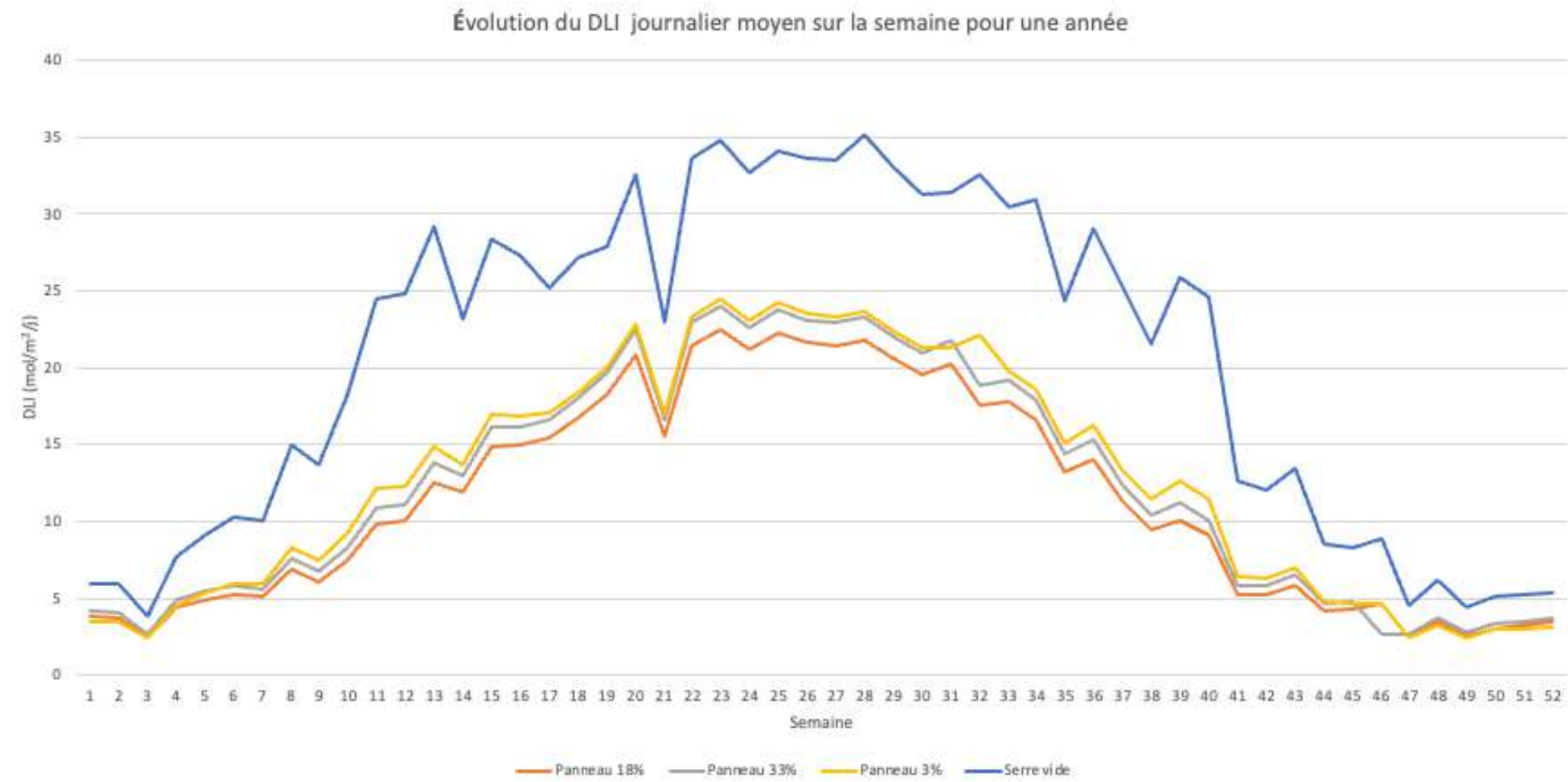
Le DLI représente la quantité totale de lumière photosynthétiquement active (PAR) reçue par une culture sur 24 heures.

Calcul des DLI

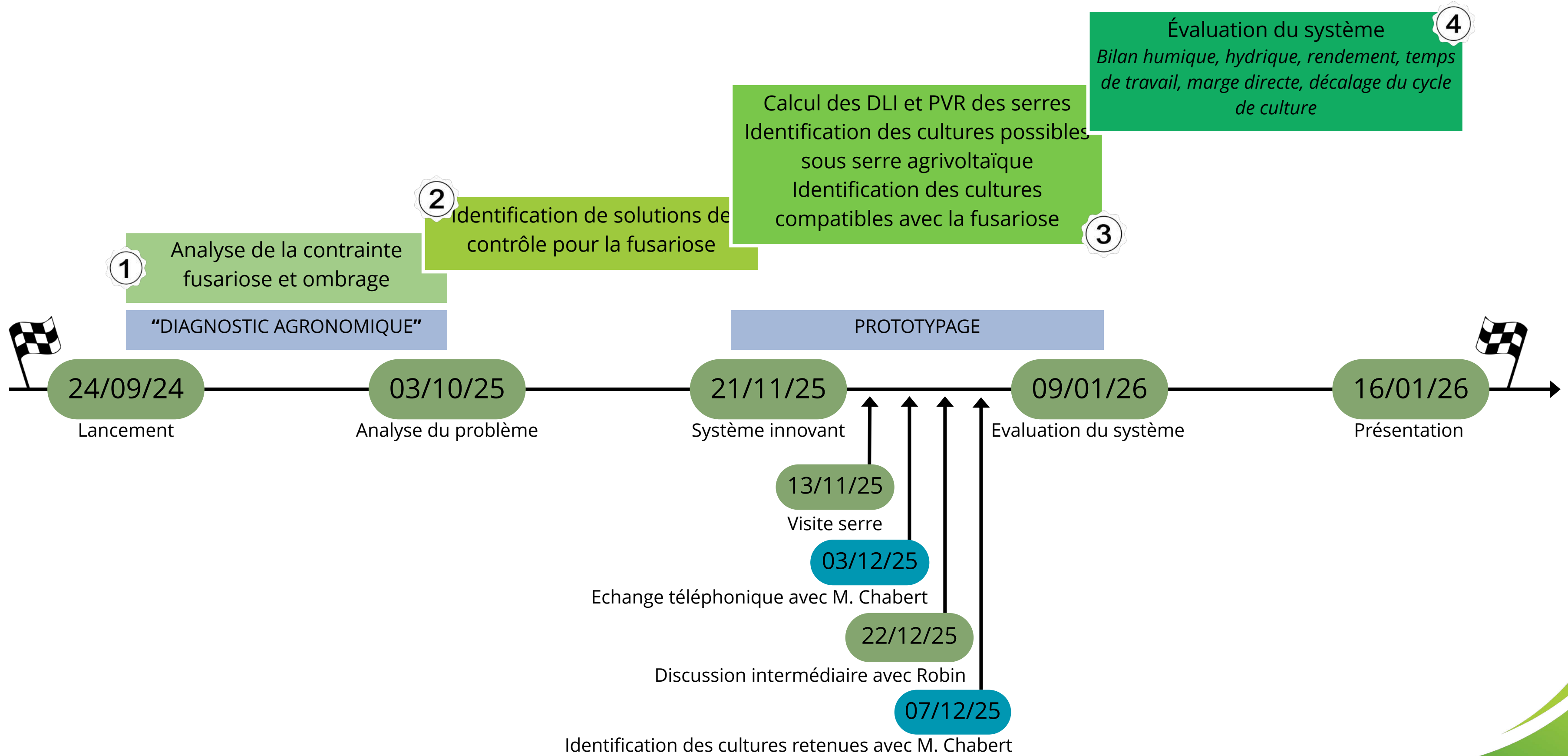
Irradiance globale
 Irradiation (Wh/m²) = $\frac{\text{Irradiance (W/m}^2\text{)}}{24}$

Photosynthetically Active Radiation
 PAR = $\frac{\text{Irradiance}}{0.52}$ En μmol/m²/s

Daily Integrate light
 DLI = $\frac{\text{PAR}}{0.086}$ En mol/m²/j



DEMARCHE POUR LA CONCEPTION DU SYSTEME INNOVANT



LEVIERS D'ACTION

1. Identifier des cultures possibles sous serres agrivoltaïques
 - a. Calcul des DLI
 - b. Recherche de DLI pour cultures maraichères, arboricoles, floricoles et PAM
 - c. Filtre des cultures non compatibles

2. Identifier des moyens de lutte contre la fusariose
 - a. Lutte chimique
 - b. Lutte biologique
 - c. Lutte via les pratiques

3. Identifier des cultures non sensibles à la maladie parmi celle du point 1

LEVIERS D'ACTION

✓ Levier retenu

Type	DLI Optimal	Cycle	Type	DLI Optimal	Cycle
Maraîchage			Herbes Aromatiques		
Asperge	16,70	Février - Juin	Cerfeuil	10-16	Février - Novembre
Laitues	14-15	Février - Octobre	Thym	20 - 28	Toute l'année
Micropousses (mizuna, moutarde etc)	15-16	Mars - Novembre	Romarin	20 - 28	Toute l'année
Chou-fleur	10-15	Avril - Novembre	Persil	10 - 16	Mars - Novembre
Chou kale	15,00	Février - Septembre	Coriandre	20 - 28	Avril - Septembre
Epinard	15-20	Mars - Juin	Aneth	20 - 28	Avril - Novembre
Radis	12-15	Mars - Septembre	Menthe	15,00	Février - Octobre
Carottes	18-24	Mars - Décembre	Origan	20 - 28	Mars - Octobre
Tomate	25-30	Février - Septembre	Ciboulette	15 - 20	Mars - Juillet
Poivron	25,00	Mars - Octobre	Basilic	15-20	Mars - Octobre
Concombre	20-30	Mars - Septembre	Verveine	14-30	Mars - Septembre
Aubergines	20-30	Mars - Octobre	Sauge	16,00	Mars - Septembre
Ail	15-25	Octobre - Octobre	Arboriculture		Période de récolte
Courgette	25-30	Avril - Août	Mandarine	22-30	Janvier - Février
Roquette	15-20	Mars - Novembre	Pêche	8-14	Juillet - Août
Pak-choï	10 -12	Juillet - Octobre	Orange	22-30	Novembre - Février
Brocoli	15-35	Février - Juillet	Citron vert	21-28	Octobre - Décembre
Laitue Buttercrunch	14-17	Février - Novembre	Citron jaune	21-28	Toute l'année
Melon	25-30	Mars - Septembre	Mandarines	22 - 30	Janvier - Février
Chicorée	10-16	Juin - Novembre	Kumquat	22 - 30	Février - Mai
Citrouille	25-35	Mars - Novembre	Orange douce	22 - 30	Décembre - Mars
Courge	25-30	Avril - Octobre	Pamplemousse	22 - 30	Janvier - Avril
Cresson	14-25	Mars - Octobre	Avocat	18-24	Novembre - Avril
Pastèque	25-30	Mars - Septembre	Kiwis (verts, jaune, rouge)		Octobre - Novembre
Pois	9 - 11	Février - Octobre	Raisin de table		Août - Octobre
Céleri	9-13	Février - Décembre	Petits Fruits		Période de récolte
Patate douce	11,5-17,3	Mars - Octobre	Fraises	20-25	Mars - Juillet
Mâche	10-14	Juillet - Décembre	Myrtilles	14-24	Juin - Août

Tableau : Espèces végétales, DLI et cycles de culture

LEVIERS D'ACTION

ÉVITER LES CULTURES HÔTES

 Levier retenu

Table 4. Colonization by *Foa* of externally disinfested roots of plants grown in a climate chamber in field soil artificially infested with *Foa* CWB 1 (host range study, series 3).

Plant species	Inoculum	Colony-forming units of <i>F. oxysporum</i> per gram air-dry roots ^a	No. of pathogenic isolates	No. of isolates tested	Colony-forming units of <i>Foa</i> per gram air-dry roots ^b
Alfalfa	1	174bcd	13	16	141
Annual bluegrass	1	4d	5	6	3
Asparagus	1	124 881a	17	20	106 149
Bean	Control	229	0	13	0
Bean	1	2 461ab	8	20	984
Carrot	1	21cd	7	9	16
Chickweed	1	1 218bc	13	20	792
Lamb's-quarters	1	112bcd	20	20	112
Leek	1	0	—	—	0
Lupin	1	41bcd	11	18	25
Maize	1	22	—	—	—
Onion	1	0	—	—	0
Perennial rye-grass	1	110bcd	6	16	41
Sugar beet	1	475bc	17	20	404
Wheat	7	508	1	10	51

- Pas de légumineuses : fortes lésions racinaires dûes à *F.oxysporum sp. aspergi*
- Privilégier légumes feuilles et à cycles courts limite le risque de contamination

LEVIERS D'ACTION

LES AMENDEMENTS ORGANIQUE

✓ Levier retenu

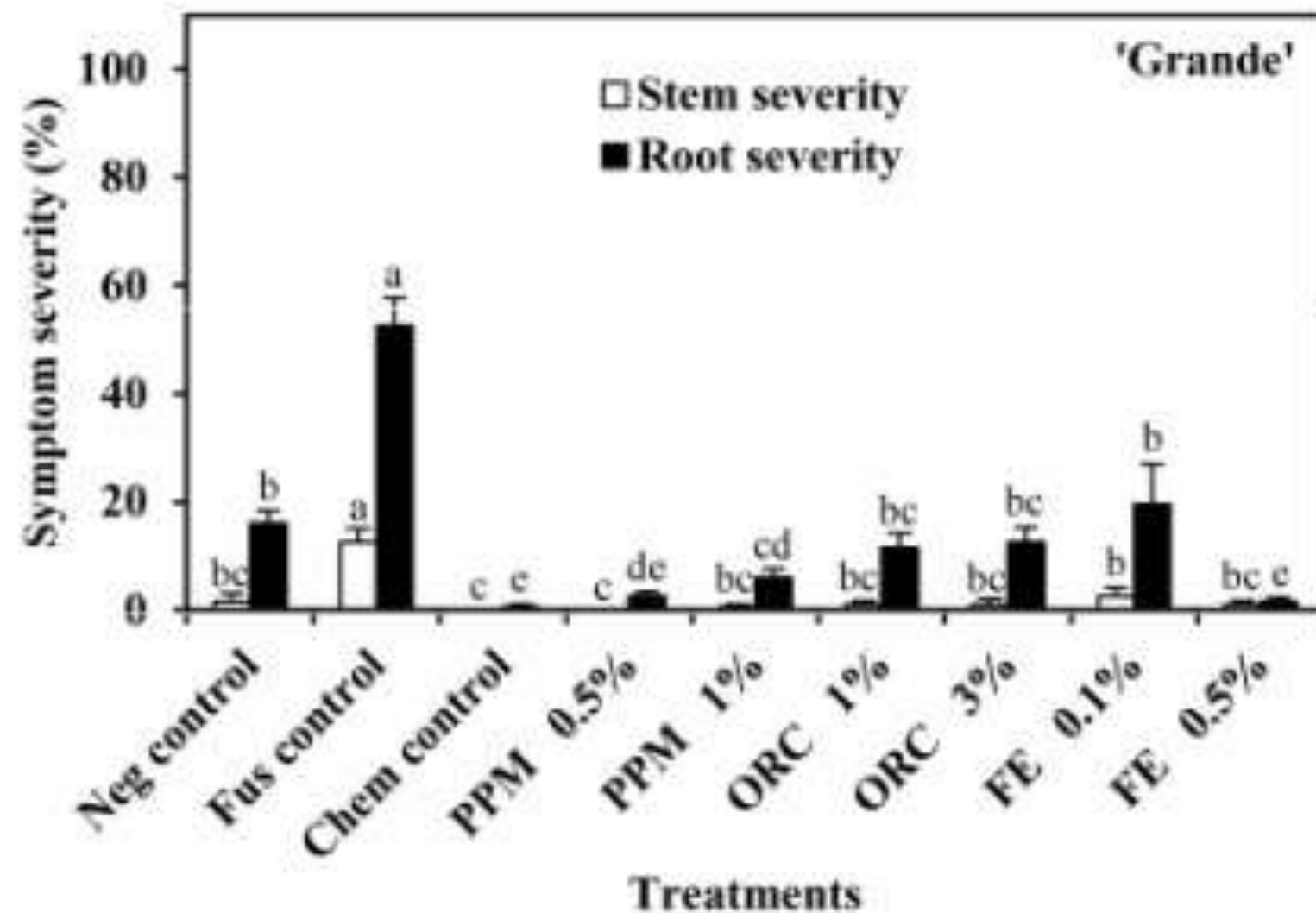


Fig. 6. Severity of symptoms in stem and root of asparagus 'Grande'. Seedlings were grown in *Fs*-1.12-infested soils treated with benomyl (0.5 g liter⁻¹ of soil) or amended with pelleted poultry manure (PPM; 0.5 and 1%), olive residue compost (ORC; 1 and 3%), or fish emulsion (FE; 0.1 and 0.5%) after 10 days of incubation. Error bars represent standard error and different letter notation indicates significant difference according to the least significant difference test ($P = 0.05$). Values are the average ($n = 10$) of two experiments, with five replications for each treatment.

- Les pellets de fiente de volaille réduisent l'incidence de la pourriture de la couronne et des racines de 92 % et la sévérité de la maladie de 42 % pour 20t/ha de fiente

Environ 4 à 9 t/ha de produit et par an
 Prix de la tonne : 150€

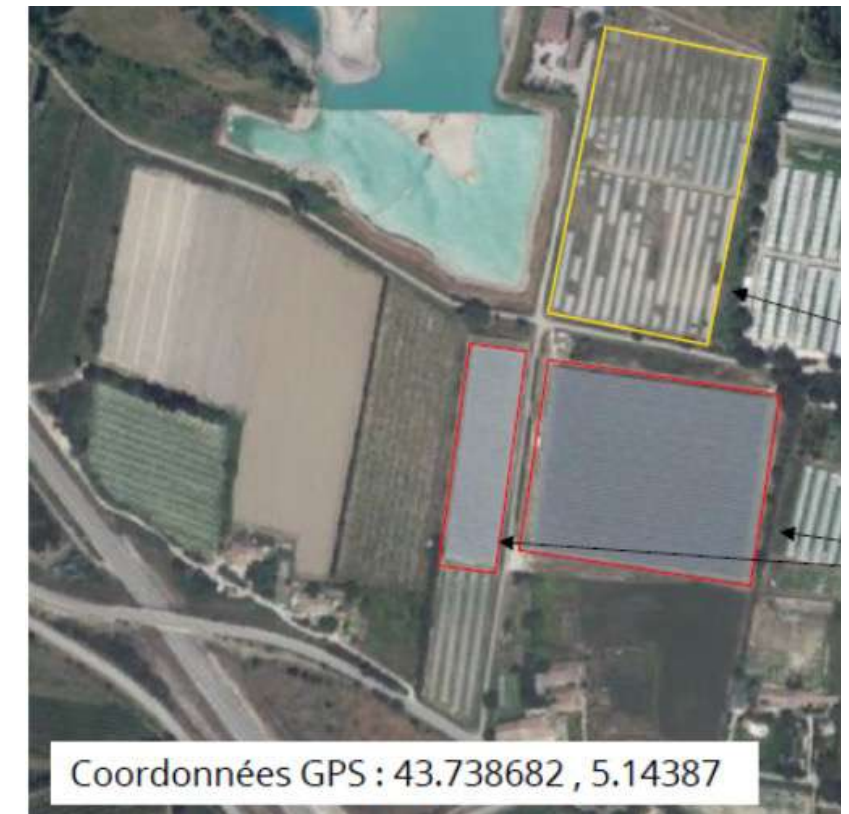
LEVIERS D'ACTION

LES PRATIQUES PROPHYLACTIQUES

✓ Levier retenu

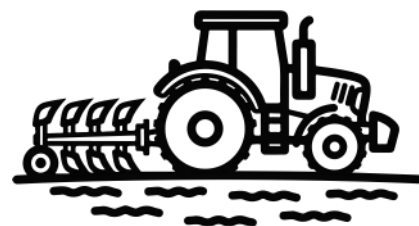
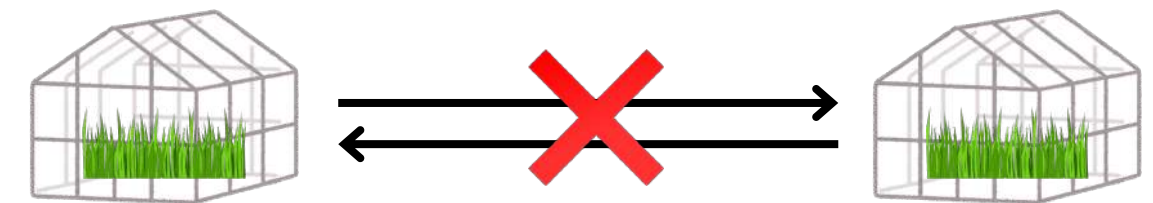
- Choisir plusieurs variétés d'asperges avec une très bonne vigueur (VITALIM F1, ASPALIM F1)
- Effectuer une test de potentiel nécrotique du sol

Fredon Centre, Clinique du végétal,
13, avenue des Droits de l'Homme, 45 921
ORLEANS Cedex 9 Tel : 02 38 71 95 73
cliniqueduvegetal@fredon-centre.com



- Limiter les excès d'humidité
- Laver et désinfecter les outils ayant été en contact avec la terre contaminé et les chaussures
- Ne pas mélanger les résidus de culture entre les serres

Limiter risques de transmission



LEVIERS D'ACTION EXPERIMENTATION



Tableau : Calendrier de culture des propositions de cultures d'expérimentation

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb	Octobre	Novemb	Décembr
Tomate		Yellow	Yellow	Yellow		Green	Green	Green	Green			
Poivron			Yellow	Yellow	Yellow		Green	Green	Green	Green		
Aubergine			Yellow	Yellow			Green	Green	Green	Green		
Courgette				Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green				
Courge				Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green		
Citrouille			Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	
Melon			Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green			
Pastèque			Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green			
Carotte			Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Radis			Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green			
Ail		Yellow	Yellow					Green	Green			
Oignon	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow			Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Fenouil				Yellow	Yellow		Green	Green	Green			

Yellow : Période de semis
 Green : Période de récolte

Culture : Culture potentiellement sensible à la fusariose
Culture : Culture sensible à l'ombrage

LEVIERS D'ACTION

CHAMPIGNON ANTAGONISTE

 Levier non retenu

Effect of chitosan and *T. harzianum* on Fusarium crown and root rot in asparagus plant in the greenhouse

Treatments incidence [%]	Crown and root rot incidence [%]	Biocontrol efficacy [%]
<i>F. oxysporum</i> + Chitosan (20 mg/mL)	6.50 ^c	92.19 ^a
<i>F. oxysporum</i> + <i>T. harzianum</i>	22.50 ^b	72.99 ^b
<i>F. oxysporum</i> + Propiconazole	45.33	45.60
<i>F. oxysporum</i> + Distilled water (control)	83.33 ^a	0.00 ^c

Estimation du couts : *T. Harmonium*
 Trianum-P ou Trianum-G de chez Koppert
 =>environ 300€/ha

LEVIERS D'ACTION

BIOFUMIGATION

 Levier non retenu

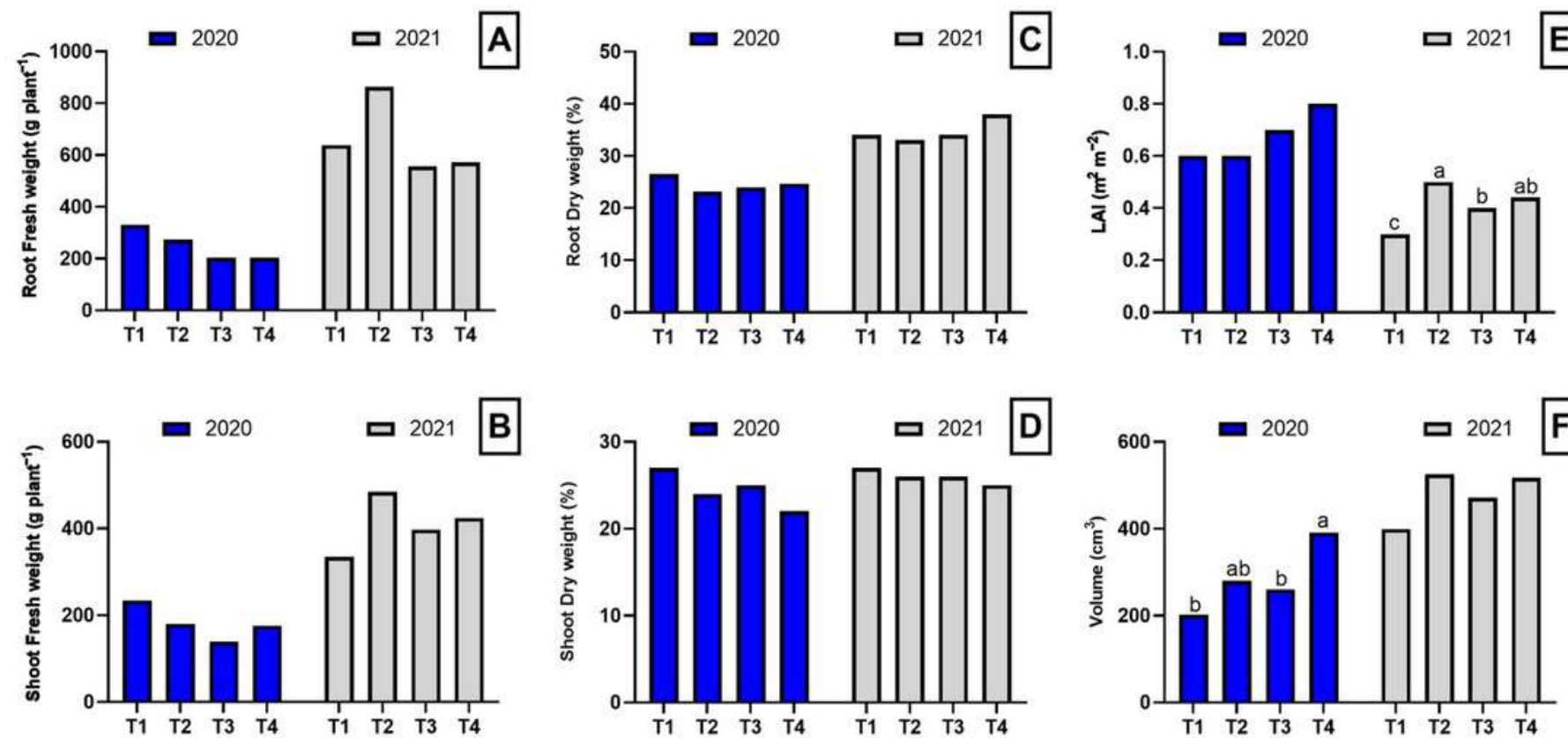


Figure 1. Biomass parameters in the root and shoot of asparagus plants subjected to the different treatments tested during two years of study (2020–2021). Root fresh weight (A), shoot fresh weight (B), root dry weight (C), shoot dry weight (D), leaf area index (E), and volume (F). Values with different letters indicate significant differences. Column groups without letters indicate no significant differences among treatments. The applied treatments were: control without any application (T1), biosolarization with *Brassica* pellets (T2), biosolarization with poultry manure pellets (T3), and chemical disinfection with dazomet (T4).

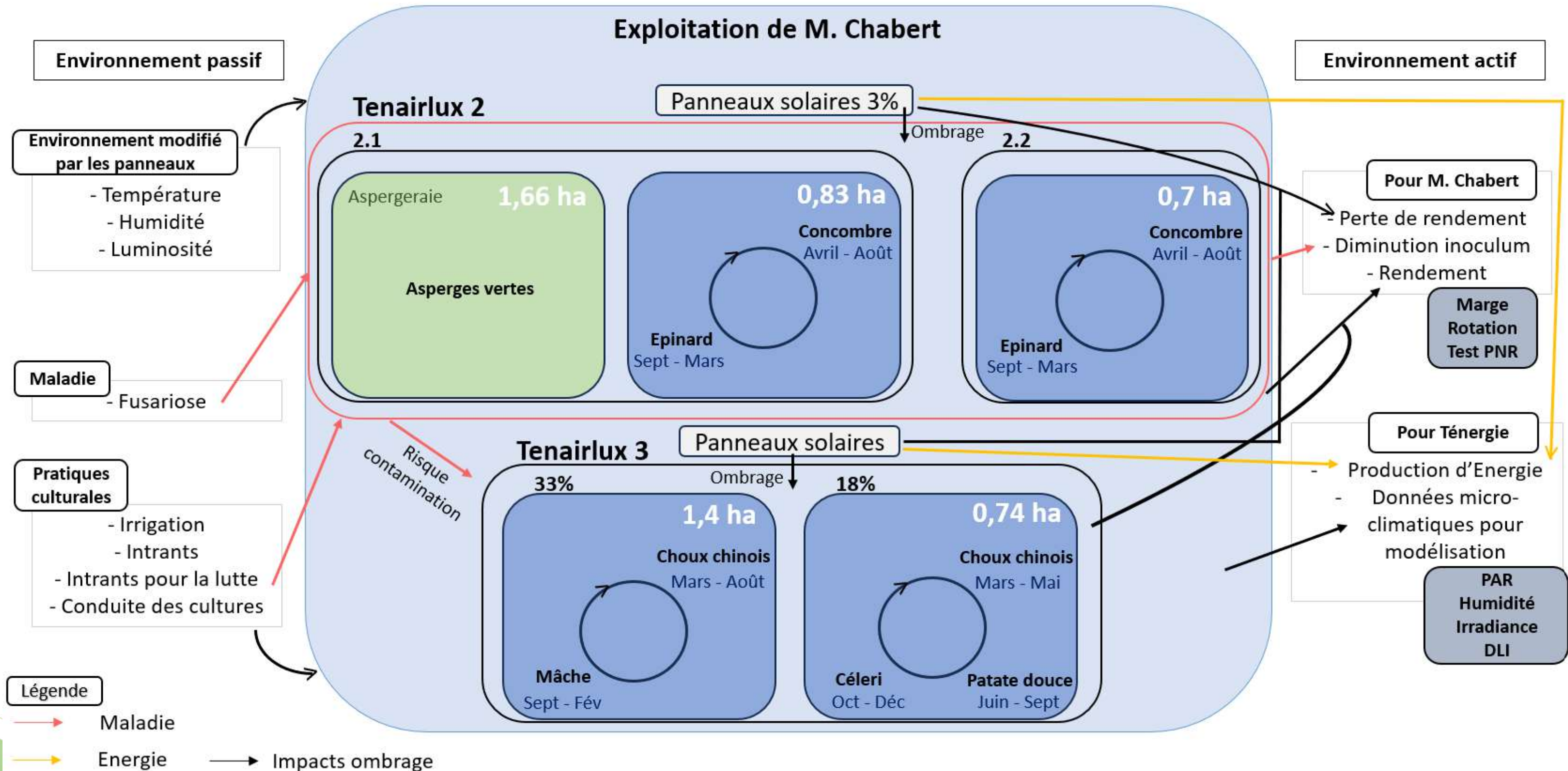
Résultats influencés par :

- type de sol
- conditions climatiques
- durée de couverture

Nécessité de couverture du sol pendant 25 à 45 jours avec des températures supérieures à 25°C

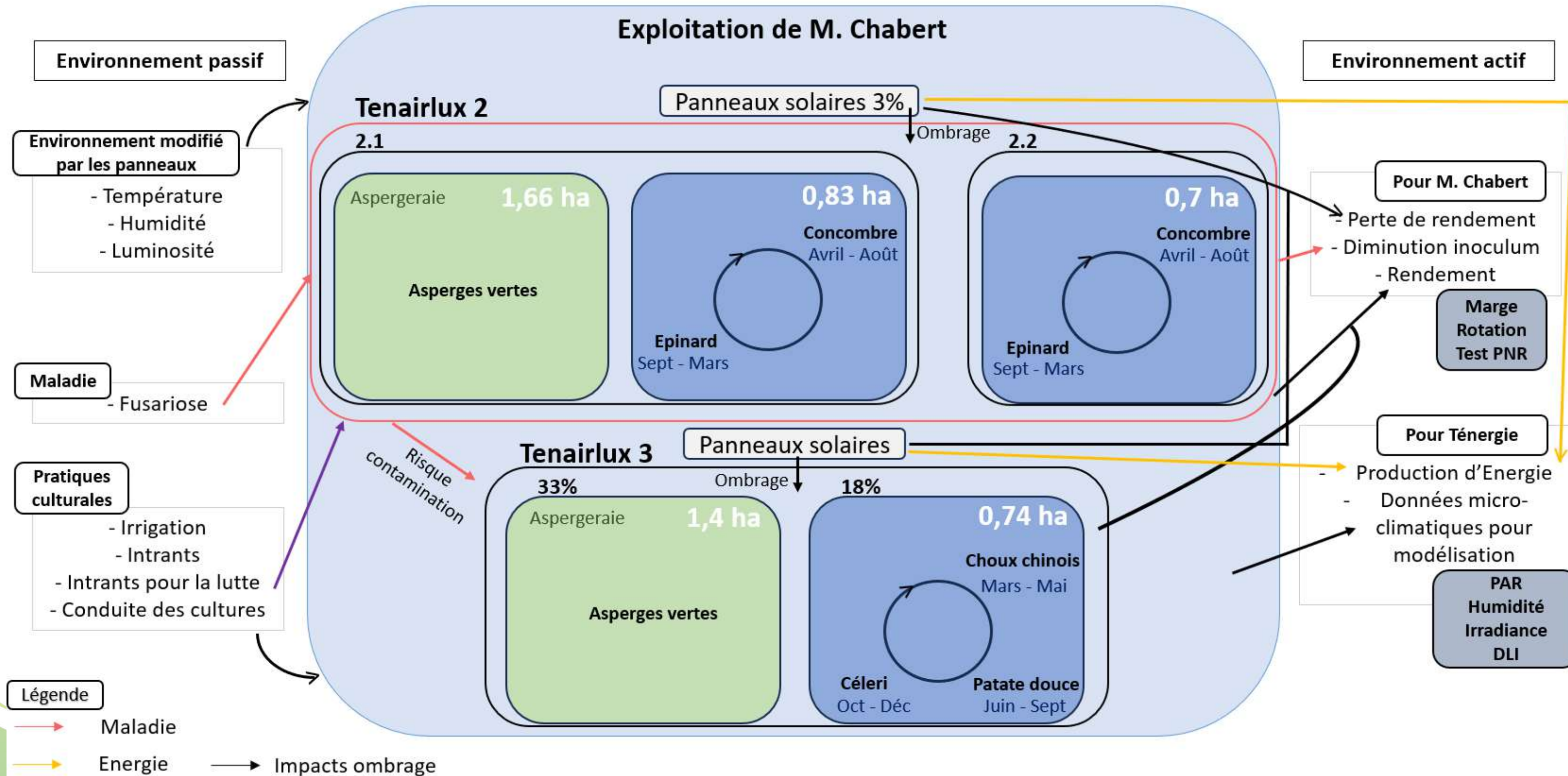
MODÈLE CONCEPTUEL DU SYSTÈME

À court terme



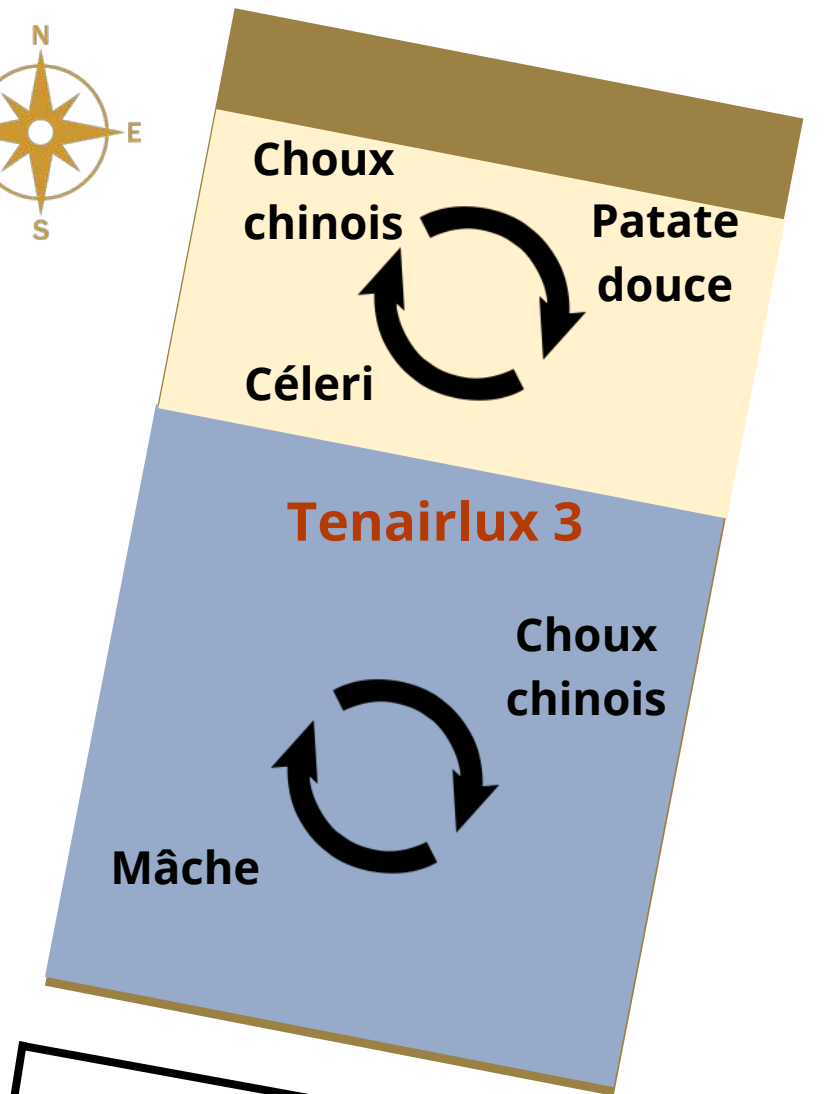
MODÈLE CONCEPTUEL DU SYSTÈME

À long terme

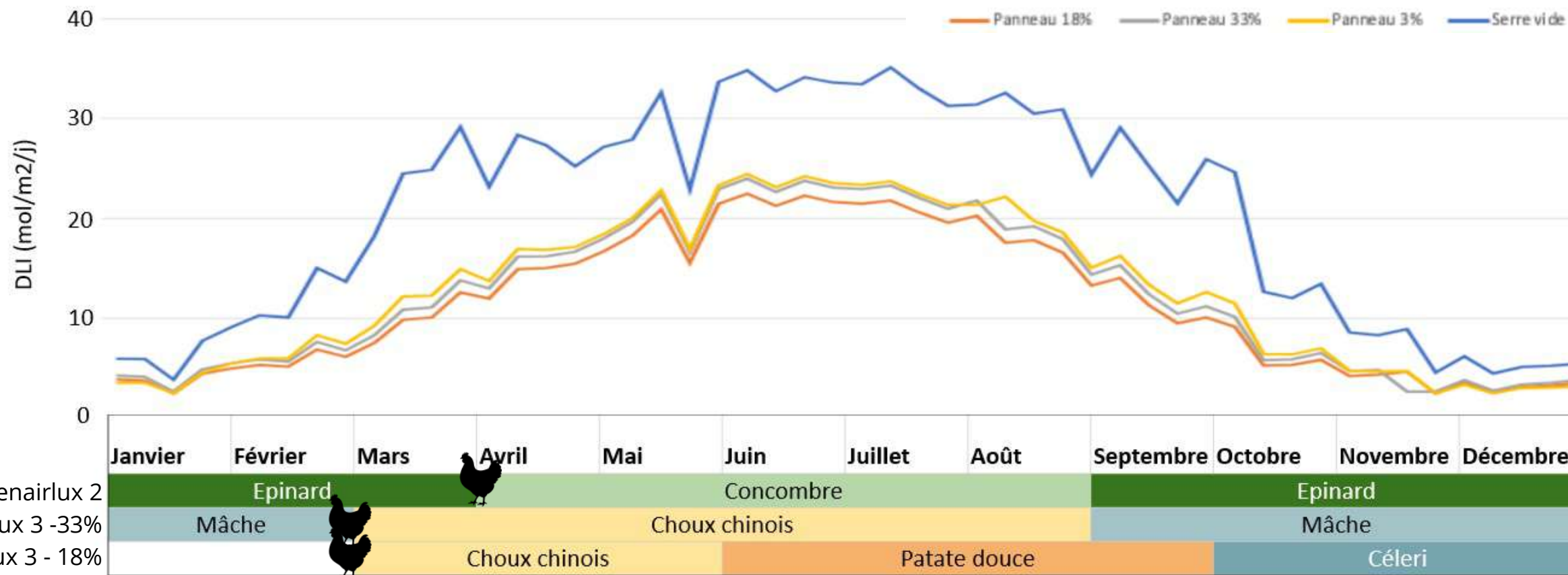


SYSTÈME INNOVANT

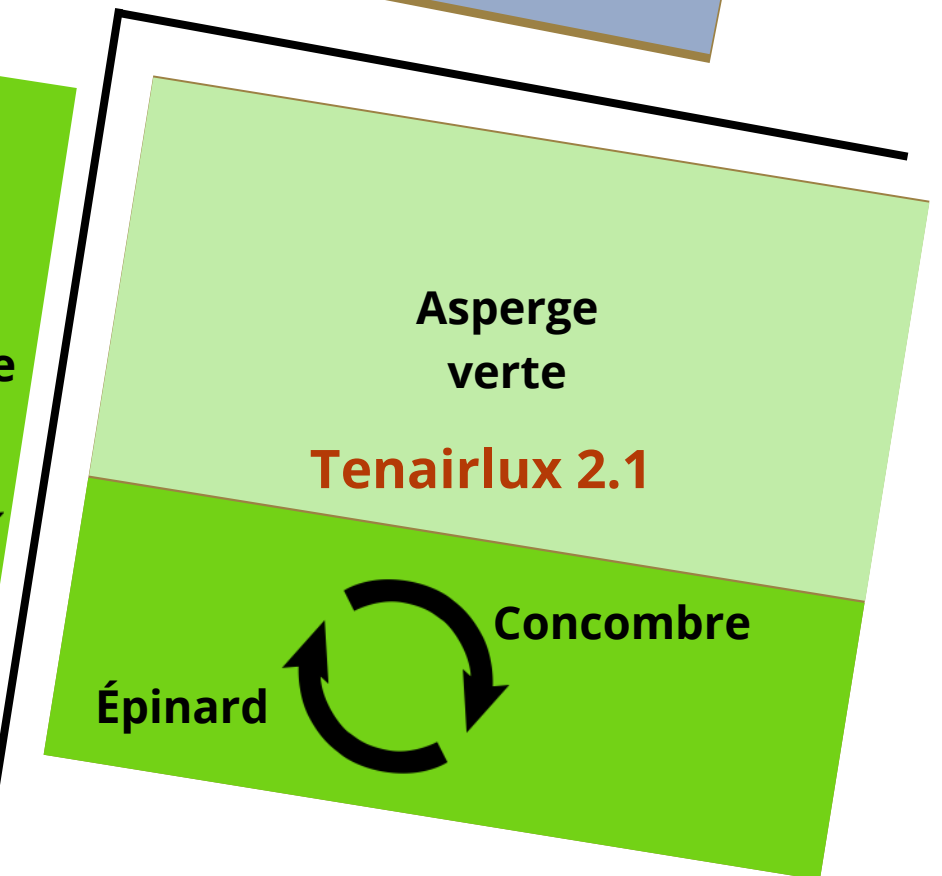
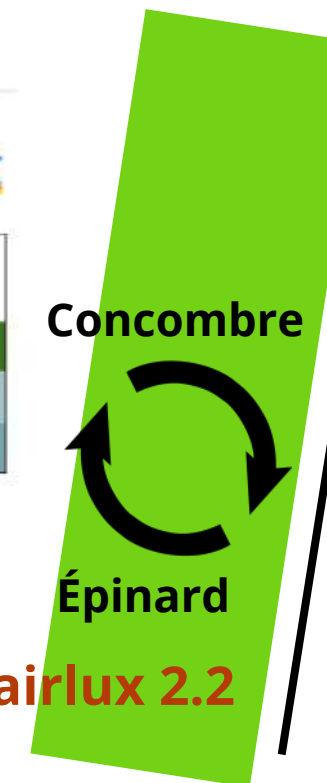
Etablissement des rotations



Evolution du DLI journalier moyen sur la semaine pour une année



+ apport de 4t/ha de fiente de volaille



SYSTÈME INNOVANT **Etablissement des rotations**



Tableau comparatif : Points de vigilance entre cultures et rotations

		Points postifs	Points de vigilance
Mouche du semis, pucerons ↙	Asperge	- Développements végétatifs différents (légume fruit, feuille). - Différent type de système racinaire (C : fasciculé, E : pivotant).	- Maladies communes : Pythium, Virus Mosaïque du concombre, Virus de la jaunisse de la betterave. - Ravageurs communs : Pucerons, Noctuelles défoliatrices. - Besoins en amendement semblables (plantes exigeantes).
	Concombre		
	Rotation 1 Epinard		
↗	Choux Chinois	- Différent type de système racinaire (CC : pivotant, M : fasciculé). - Besoins en amendement différents (CC : plante exigeante, M : plante peu exigeante).	- Mêmes développements végétatifs (légumes feuilles). - Maladies communes : Botrytis cinerea. - Ravageurs communs : Pucerons.
	Rotation 2 Mâche		
Botrytis ↗	Choux chinois	- Développements végétatifs différents (légumes feuilles, tubercule). - Différent type de système racinaire (CC : pivotant, PTD : fasciculé, CL : fasciculé).	- Même type de système racinaire (fasciculé). - Maladies communes : Sclerotinia, Botrytis cinerea. - Ravageurs communs : Pucerons, Nématodes, Charançons, Noctuelles défoliatrices. - Besoins en amendement semblables (plantes exigeantes).
	Patate douce		
	Rotation 3 Céleri		

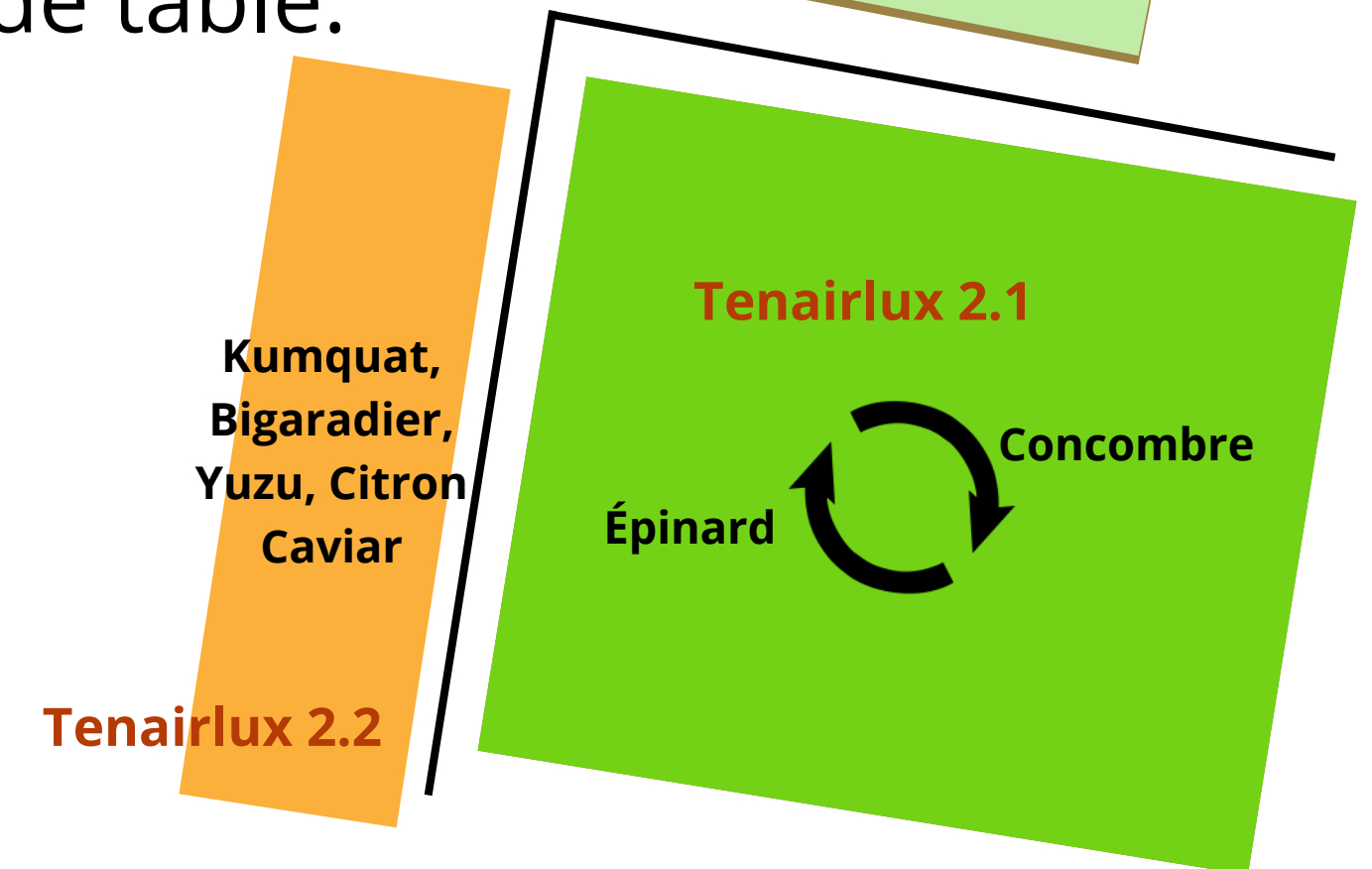
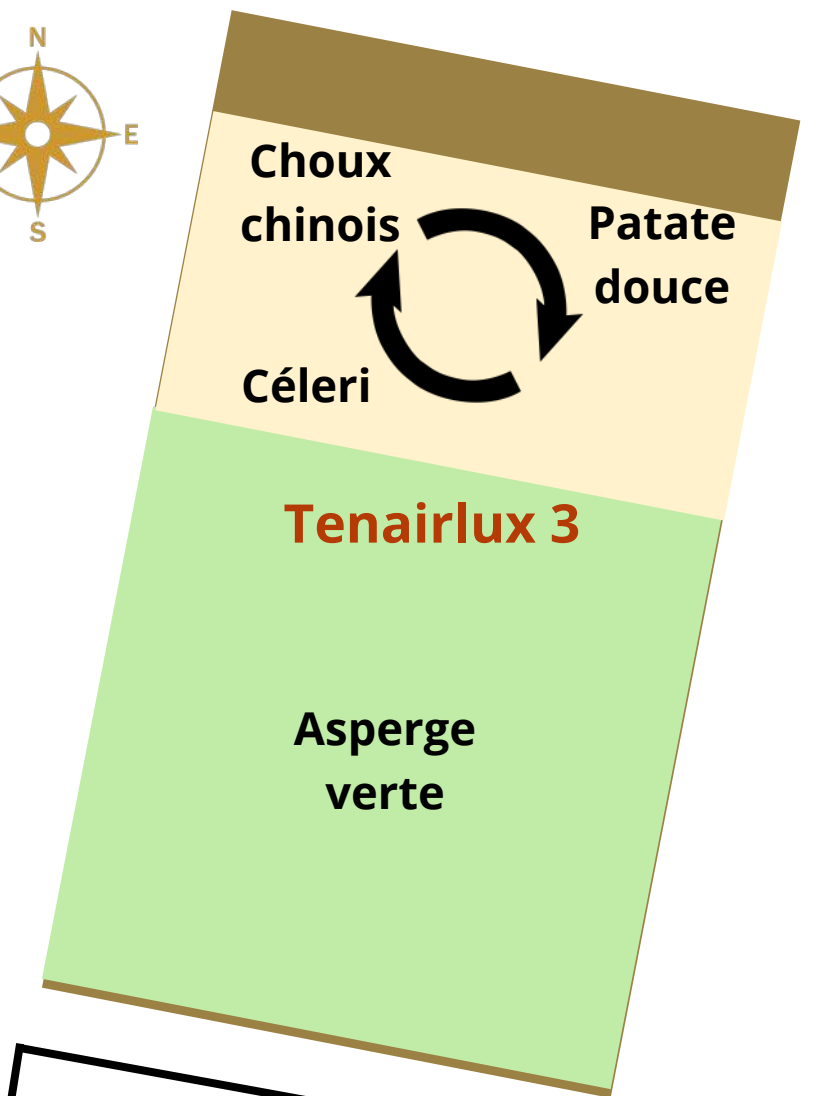
SYSTÈME INNOVANT

Et dans 10 ans ?



Année prochaine : partie 33% de Tenerlux 3 plantée en asperges

Proposition à long terme ~10 ans : Arboriculture dans Tenerlux 2.2, possibilité de planter des agrumes, kiwi et raisin de table.



ÉVALUATION DU SYSTÈME **Bilan hydrique**

MÉTHODE


Coût de l'irrigation à Mallemort : 106€/ha

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

- ET_c : Évapotranspiration de la culture égale au besoin en eau.
- ET_0 : Évapotranspiration de référence égale au besoin en eau du gazon tondu, bien irrigué, en croissance active, sans stress hydrique (station météo de Marignane)
- K_c : Coefficient cultural est un facteur permettant de relier l'évapotranspiration de référence à l'évapotranspiration réelle d'une culture donnée
- $(1 - 0,3)$: Coefficient de réduction de la demande en eau sous serre agrivoltaïque

	K_c	Besoin en eau (mm)
Asperge	0,9	487
Celeri	0,95	85
Concombre	1	451
Choux chinois	1	731*
Épinard	0,9	81
Mâche	0,95	221
Patate Douce	1,05	321

Total = 23 770 m³

* Pour l'ensemble des cycles

ÉVALUATION DU SYSTÈME

Perte de rendement

MÉTHODE

1% de réduction du rayonnement global = 1% de perte de rendement

	Rendement sous abri froid	Réduction moyenne du DLI sur le cycle	Rendement estimé (t/ha)
Asperge	4,5 t/ha	-35%	2.6-3.25 t/ha
Celeri	50 t/ha	-47%	26.5 t/ha
Concombre	140 t/ha	-35%	91 t/ha
Choux chinois	30 t/ha	-35%	19.5 t/ha
Épinard	20 t/ha	-48%	10.4 t/ha
Mâche	10 t/ha	-48%	5.2 t/ha
Patate Douce	30 t/ha	-40%	18 t/ha



Ne prend pas en compte la tolérance à l'ombre des cultures

ÉVALUATION DU SYSTÈME Marges directes

MÉTHODE

Marges Directes = Vente de marchandise – Coût d'approvisionnement – Main d'œuvre

Dans la vente de marchandise est inclus :

- La production espérée sur la surface de production, multiplié par le prix de vente
Hypothèses : Prix de vente venant du Marché aux cadrans de Cavaillon

Au sein des coûts d'approvisionnement, sont considérés les coûts pour :

- Les semences & plants
Hypothèses : Prix surestimés car dépend du volume de la commande chez le grossiste
- La fertilisation et amendement
Hypothèses : Besoin unitaire de chaque culture en NPK x le prix de l'unité de l'ammonitrate/ du Super 46 et du chlorure de potassium
- La protection des cultures
Hypothèses : Coût moyen de la lutte phytosanitaire en maraîchage 300€/ha
- Coût de la main d'oeuvre
Hypothèses : Smic horaire + 40% de charges patronales

ÉVALUATION DU SYSTÈME DLI

Risque	Légume	DLI Min	DLI inférieur au DLI minimum estimé	DLI opt	DLI inférieur au DLI optimum estimé
	Concombre	13	1 semaine	22-30	14 semaines
	Chou 18%	9	1 semaine	12-18	4 semaines
	Chou 33%	9	0 semaine	12-18	3 semaines
	Patate douce	9	0 semaine	11-17	0 semaine
	Céleri	5	9 semaines	9-13	4 semaines
	Mâche	5	16 semaines	10-14	20 semaines
	Epinard	5	20 semaines	10-15	24 semaines

**Grande plage selon les cultures avec des DLI inférieurs au DLI optimum sur le cycle
 → risque d'impact sur les cultures comme l'allongement du cycle de culture**

ÉVALUATION DU SYSTÈME Marges directes

Tableau des coûts et marges pour le nouveau système

	Concombre	Asperge	Choux Pak Choi	Patate Douce	Céleri branche	Mâche	Épinard	Total
Surface	1,50	1,66	2,14	0,74	0,74	1,4	1,53	
Rendement (t/ha)	95	5	20	18	35	6	14	
Prix de vente (€/kg)	3	20	7	2,80	1,8	7,5	3,58	
Total produit (€/surface)	377 625	166000	292 110	37 296,00	46620	63000	76683,6	1059334,6
Semences (€/surface)	30 600	11 000	154 080	17 124	29 600	44 800	64 260	
Fertilisation (€/surface)	1 120	753	1 242	266	429	285	306	
Protection des cultures (€/surface)	459	498	642	222	222	420	459	
Main d'oeuvre (€/surface)	33 672	22 087	12 511	2 685	1 367	3 833	3 367	
Total des charges (€/surface)	65 851	34 338	168 476	20 297	31 618	49 338	68 392	438 310
Marge direct (€/surface)	311 774	131 662	123 634	16 999	15 002	13 662	8 292	621 025



Moitié du chiffre d'affaire dépendant d'une culture



Prix des semences surestimé

Tableau des coûts et marges pour l'ancien système

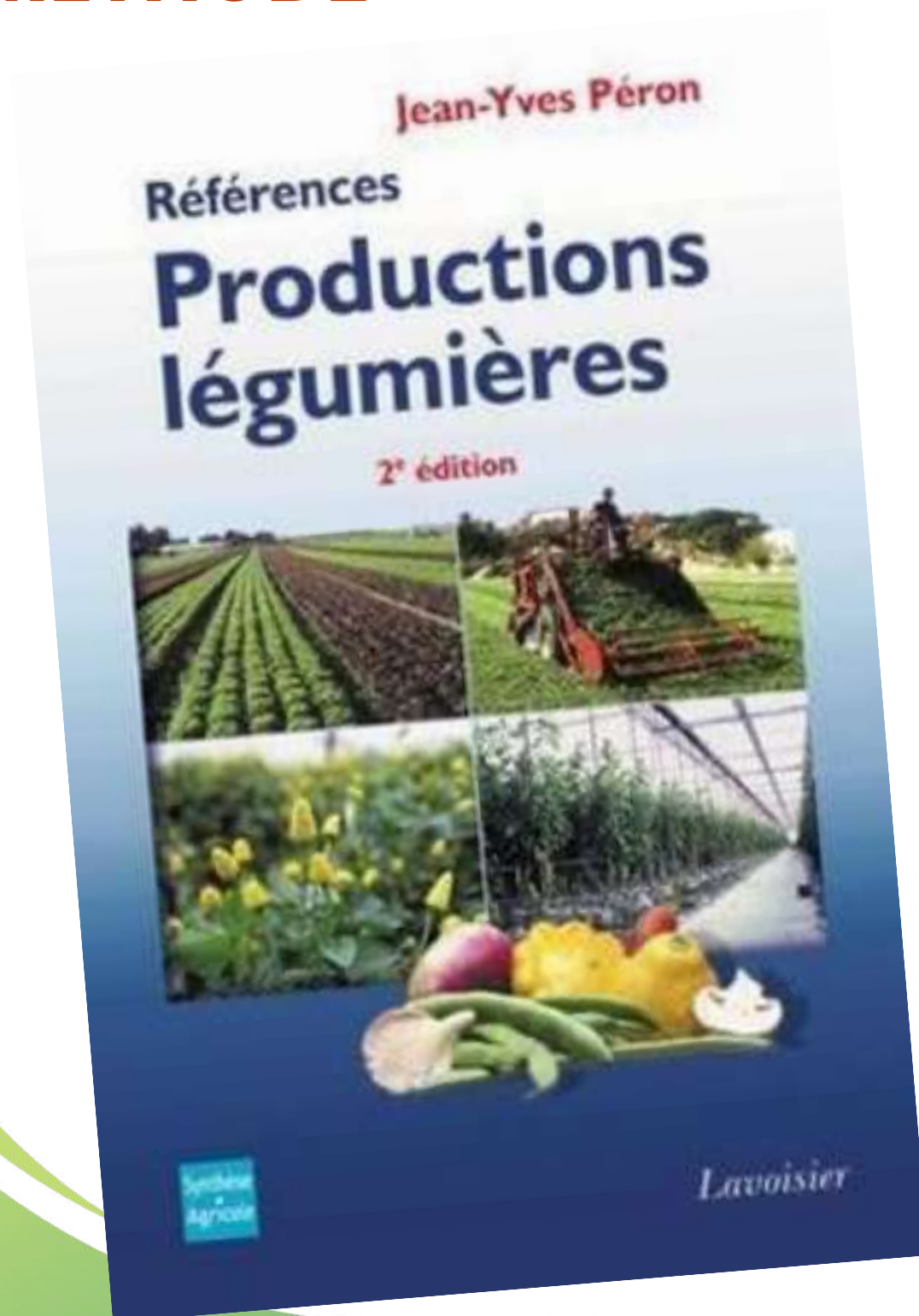
	Asperge
Surface	5,9
Rendement (t/ha)	5
Prix de vente (€/kg)	20
Total produit (€/surface)	590000
Semences (€/surface)	41300
Fertilisation (€/surface)	2677
Protection des cultures (€/surface)	1770
Main d'oeuvre (€/surface)	78 503
Total des charges (€/surface)	124 250
Marge direct (€/surface)	465 750



+ 155 275 €

ÉVALUATION DU SYSTÈME Temps de travail

MÉTHODE



Analyse de différentes sources techniques puis recoupement avec notre calendrier de culture



Réseau **Gab • Frab**
Les Agriculteurs **BIO** de Bretagne

ÉVALUATION DU SYSTÈME Temps de travail

	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Patate douce												
Celeri branche												
Concombre												
Choux chinois												
Mâche												
Épinard												
Total en h	72	29	108	348	434	414	873	648	268	32	32	82
UTA nécessaire	1	0,2	1	2	3	3	6	5	2	0,2	0,2	1

Plantation
Récolte

→ Activité de M.Chabert

→ Besoin en main d'œuvre important lié au concombre



Charge de travail sous estimée car prise en compte uniquement des serres

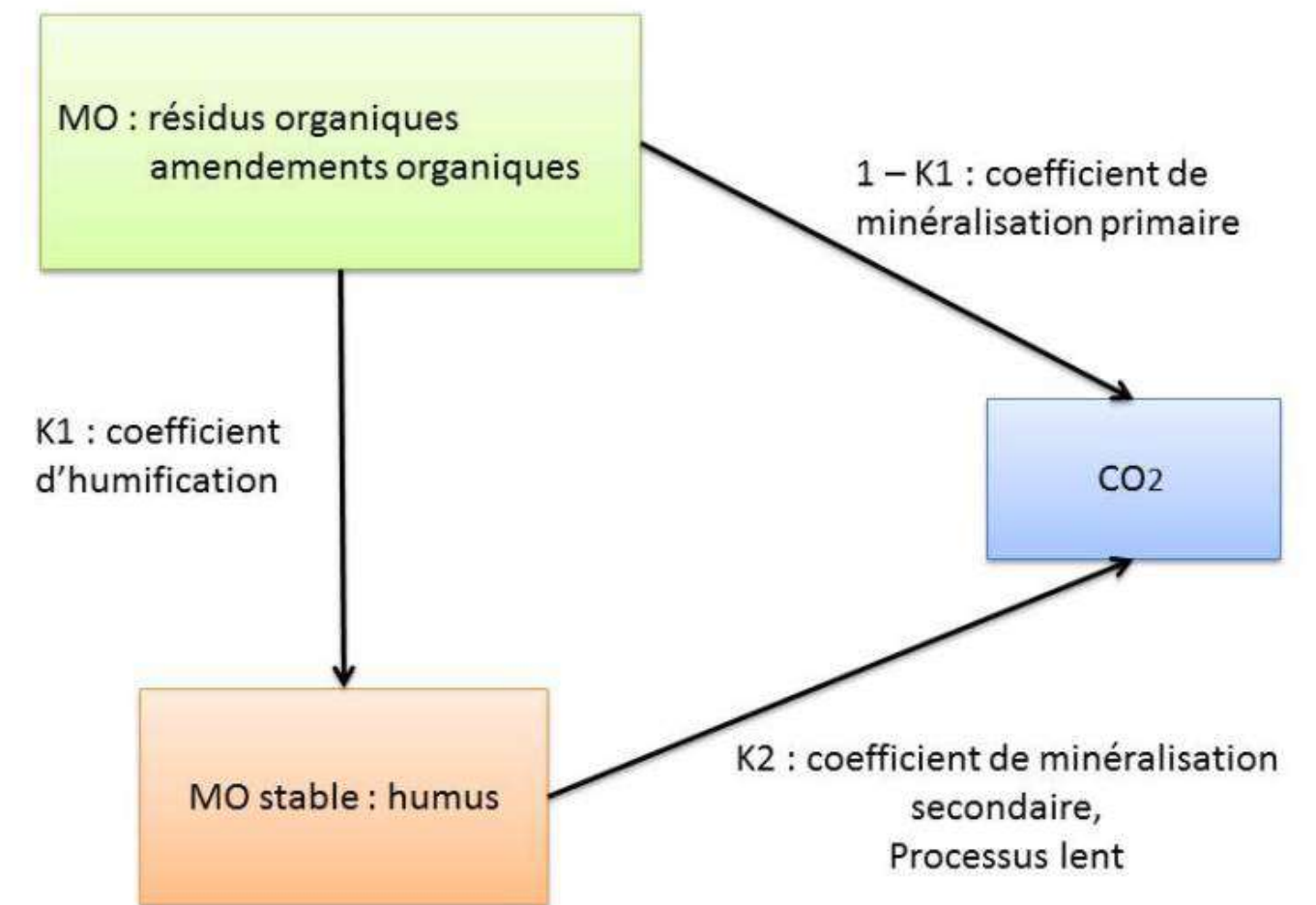
ÉVALUATION DU SYSTÈME

Bilan humique, Hénin Dupuis

MÉTHODE

Contexte Parcelle	
Surface concernée (m2)	10000
Profondeur de sol concernée (cm)	30
Texture	Limoneux argileux ▼
Cailloux (%)	0
Taux d'argile (g/kg)	150
Taux de calcaire (g/kg)	300
pH	7,5
Département	13 ▼
Taux de M.O. (%)	2,7
Taux de C org (t/ha)	70,0
Pratique culturale	Labour ▼

Le modèle Hénin-Dupuis



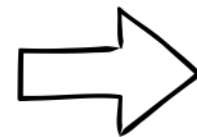
ÉVALUATION DU SYSTÈME **Bilan humique**

Etape de calcul	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Stock MOS (t/ha)	120,68	117,34	114,1	110,96	107,92
Sortie Minéralisation (t/ha)	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3
Entrée Compost de déchets verts (t/ha)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Bilan humique (t/ha)	-3,34	-3,24	-3,14	-3,04	-2,94
Bilan humique (t/ha)	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08

Etape de calcul	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Stock MOS (t/ha)	108	106	104,1	102,2	100,5
Sortie Minéralisation (t/ha)	3,3	3,2	3,2	3,1	3
Entrée Compost de fiente de volaille (t/ha)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Bilan humique (t/ha)	-2	-1,9	-1,9	-1,8	-1,7
Bilan humique (%)	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05

Systeme initial

- pas de restitution de la biomasse végétale
- système déficitaire



Systeme final

- système pas à l'équilibre
- travail de maintien important

ÉVALUATION DU SYSTÈME **Bilan humique**

Etape de calcul	1ère année	2ème année	3ème année	4ème année	5ème année
Stock MOS (t/ha)	108	108,2	108,4	108,6	108,8
Sortie Minéralisation (t/ha)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Entrée Compost de fiente de volaille + compost de déchets verts (t/ha)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Bilan humique (t/ha)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Bilan humique (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01



- 5t de déchets verts
- 5t de fiente de volaille



CONCLUSION ET PERSPECTIVES



CONCLUSION

- Les serres agrivoltaïques sont à leur début
- Peu d'évaluation de ces systèmes, une première synthèse fait un premier bilan mais soulève un grand nombre de point d'interrogation.
- Agriculteur → expérimentateur
- Besoin d'analyser et de mieux comprendre ce qui est fait de façon régionale pour mieux conseiller

CONCLUSION

- Exemple d'indicateurs mesurables :
 - LAI
 - Taux de chlorophylle
 - Teneur en nitrate
 - Longueur de l'entre nœud
 - Quantifier les rendement et les compostantes
 - Quantifier caractéristiques qualitatives des fruits
 - Quantifier les légumes non-commercialisables

 - Mesurer les paramètres environnementaux
 - Etc...



MERCI !



Bibliographie :

Agrios G. N. (2008). Plant diseases caused by fungi. In : Plant Pathol. Amsterdam, Elsevier Academic Press, 522-526

AeroGrow International. (n.d.). Daily Light Integral (DLI) for commonly grown vegetables. <https://aero-gro.com/daily-light-integral-dli-for-commonly-grown-vegetables/>

[AGROSEMENS. \(2026\). AGROSEMENS - La Semence au Coeur du Monde. https://www.agrosemens.com/](https://www.agrosemens.com/)

Agrumes de l'Armagnac. (n.d.). Citrons Yuzu. <https://agrumes-armagnac.fr/citrons-yuzu/>

Agrumiverse. (s.d.). Calendrier de plantation des calamondins en France. <https://www.plants-agrumes.com/pages/calendrier-de-plantation-des-calamondins-en-france> Agrumiverse - Econome à Légumes

[ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., & SMITH, M. \(1998\). FAO Irrigation and Drainage Paper. https://www.professormendoncauenf.com.br/wp-content/uploads/2021/03/ag_fao_56_ingles.pdf](https://www.professormendoncauenf.com.br/wp-content/uploads/2021/03/ag_fao_56_ingles.pdf)

Ali Abaker Omer, A., Li, M., Zhang, F., Hassaan, M. M. E., El Kolaly, W., Zhang, X., Lan, H., Liu, J., & Liu, W. (2025). Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield : A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 221, 115930. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115930>

Bio 46, C. (2019). FicheTechEco_FermeHorizon_PatateDouce. https://docs.bio-occitanie.org/wp-content/uploads/2023/03/FicheTechEco_FermeHorizon_PatateDouce_2020.pdf

Blok, W. J., & Bollen, G. J. (1996). Inoculum sources of *Fusarium oxysporum* f.sp. Asparagi in asparagus production. *Annals of Applied Biology*, 128(2), 219-231. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1996.tb07318.x>

Blok, W. J., & Bollen, G. J. (1997). Host specificity and vegetative compatibility of Dutch isolates of *Fusarium oxysporum* f.sp. Asparagi. *Canadian Journal of Botany*, 75(3), 383-393. <https://doi.org/10.1139/b97-041>

Borrego-Benjumea, A., Basallote-Ureba, M. J., Melero-Vara, J. M., & Abbasi, P. A. (2014). Characterization of *Fusarium* isolates from asparagus fields in southwestern Ontario and influence of soil organic amendments on *Fusarium* crown and root rot. *Phytopathology*, 104(4), 403-415. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-13-0231-R>

Brizuela, A. M., Gálvez, L., Arroyo, J. M., Sánchez, S., & Palmero, D. (2023). Evaluation of *Trichoderma* spp. On *Fusarium oxysporum* f. Sp. Asparagi and *Fusarium* wilt Control in Asparagus Crop. *Plants*, 12(15), 2846. <https://doi.org/10.3390/plants12152846>

CECPA. (2022). ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE SECTEUR Production spécialisée de légumes-feuilles au Québec. https://assets.mangezquebec.com/Rapport-final_l%C3%A9gumes-feuilles_septembre-2022.pdf

Chambre d'Agriculture Bouches-du-Rhône. (2015, avril). Guide de l'asperge blanche ou verte. https://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/upload_00017672_pdf.pdf

Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine. (2021, octobre). Guide kiwi bio [PDF]. [https://nouvelle-aquitaine.chambres-](https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/251_chambre_regionale_dagriculture_nouvelle-aquitaine/PRODUIRE/AB/Chambre_d'Agriculture_Bouches-du-Rhône._(2015,_avril)._Guide_de_l'asperge_blanche_ou_verté._https://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/upload_00017672_pdf.pdf)

[agriculture.fr/fileadmin/user_upload/251_chambre_regionale_dagriculture_nouvelle-aquitaine/PRODUIRE/AB/Chambre d'Agriculture Bouches-du-Rhône. \(2015, avril\). Guide de l'asperge blanche ou verte. https://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/upload_00017672_pdf.pdf](https://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/upload_00017672_pdf.pdf) publication_bio_arboriculture/GUIDE_KIWI_BIO_CHAMBRES_NOUVELLE-AQUITAINE_OCT_2021__2_.pdf

Cossu, M. et al, 2020. Agricultural sustainability estimation of the European photovoltaic greenhouses. In : *European Journal of Agronomy* [en ligne], 118. [Consulté en novembre 2025].

DOI:10.1016/j.eja.2020.126074. Disponible sur : https://iris.univpm.it/bitstream/11566/286589/8/Cossu_etal_2020_AgriculturalSustainability-post-print.pdf

De la Lastra, E., Camacho, M., & Capote, N. (2021). Soil Bacteria as Potential Biological Control Agents of *Fusarium* Species Associated with Asparagus Decline Syndrome. *Applied Sciences*, 11(18), 8356. <https://doi.org/10.3390/app11188356>

Elmer, W. H. (2015). Management of *Fusarium* crown and root rot of asparagus. *Crop Protection*, 73, 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.12.005>

[Économe à légumes. \(2026\). Econome a legume—Plants. https://economiealegumes.fr/](https://economiealegumes.fr/)

Fertitrade. (2025). GREENFERT 4-3-3 (fientes) – Engrais organique UAB [Fiche produit]. <https://www.fertitrade.fr/engrais/organiques/68-greenfert-4-3-3-fientes-engrais-organique-uab.html>

[FranceAgriMer. \(2026, 01\). LÉGUMES - RNM - prix cours marchés—Fruits et Légumes. FranceAgriMer. https://rnm.franceagrimer.fr/prix?LEGUMES](https://rnm.franceagrimer.fr/prix?LEGUMES)

GAB/FRAB. (2016). Fiche N°36—Organiser le travail en maraîchage. https://www.agrobio-bretagne.org/voy_content/uploads/2021/12/Web_36-TEMPS_DE_TRAVAIL_MARAICHAGE.pdf

GAB/FRAB, (2015). Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB Fruits et légumes fiche n°16. [https://www.agrobio-bretagne.org/voy_content/uploads/2021/12/Web_16-ROTATION_MARAICHAGE.pdf](https://www.agrobio-bretagne.org/voy_content/uploads/2021/12/Web_16-ROTATION_MARAICHAGE.pdf)

Gis sol, (s.d.). Partageons la connaissance des sol. <https://www.gissol.fr/>

Google Maps, (2026). Google Maps. <https://www.google.com/maps>

Graines de Légumes. (n.d.). Graines de légumes : Chicorée frisée de Meaux. https://www.grainesdelegumes.fr/graines-de-legumes-chicoree-frisee-de-meaux/?srsltid=AfmBOooOyK7ZloPatbuJPAki-uVsbbc4Cm_KO66LcChGvpDIVx3pfd9

Growlightmeter. (2025, 18 mars). Light requirements for plants: Find your plant's PPF and DLI. GrowLightMeter. <https://growlightmeter.com/light-requirements-for-plants/>

Horti-Génération. (n.d.). Daily Light Integral : introduction à l'éclairage artificiel. <https://horti-generation.com/fr/daily-light-integral-introduction-a-leclairage-artificielle/>

Jardin-Écologique / Pépinières Quissac. (s.d.). Résistance au froid des agrumes. <https://www.jardin-ecologique.fr/resistance-au-froid>

Jung, D., Schönberger, F., & Spera, F. (2023). Effects of Agrivoltaics on the Microclimate in Horticulture : Enhancing Resilience of Agriculture in Semi-Arid Zones. *AgriVoltaics Conference Proceedings*, 2. <https://doi.org/10.52825/agripv.v2i.1033>

Kashif, M, Thakur A M, Ahsan, TM A, et all, (2025). Food-energy-water nexus with agrivoltaics integration in greenhouses for sustainable food production: A review. *Energy Nexus*. 19. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100469>

Koppert France. (2018). Trianium : fongicide de biocontrôle préventif et stimulateur du développement racinaire [Fiche technique]. <https://www.koppert.fr>

Koppert. (2025). Trianium-P – Fongicide biologique des cultures [Fiche produit]. CRISOP. https://www.crisop.shop/gestion-des-maladies/93-330-trianum-p.html#/122-conditionnement-boite_de_500_g

La Ferme de Sainte Marthe. (s.d.). Comment réussir la culture de... La Ferme de Sainte Marthe. <https://www.fermedesaintemarthe.com/blogs/comment-reussir-la-culture-de/>

La Maison du Citron. (s.d.). Calendrier récoltes. <https://www.lamaisonducitron.com/blogs/news/calendrier-recoltes#:~:text=L'Orange%20douce%20%3A%20de%20mi,Pomelo%20%3A%20de%20Janvier%20%C3%A0%20Avril>

[López-Moreno, F. J., Navarro-León, E., de Cara, M., Soriano, T., & Ruiz, J. M. \(2025\). Physiological Responses of Asparagus Plants to Soil Disinfection Strategies Targeting Asparagus Decline Syndrome. *Plants*, 14\(13\), 1992. https://doi.org/10.3390/plants14131992](https://doi.org/10.3390/plants14131992)

Météo France. (2026). Données météorologiques décadaire agro 2020—2024. Fichier csv. meteo.data.gouv.fr. <https://meteo.data.gouv.fr/form>

Moreno, D. A., Vállora, G., Hernández, J., Castilla, N., & Romero Monreal, L. (2002). Yield and chemical composition of Chinese cabbage in relation to thermal regime as influenced by row covers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3), 343–348. <https://www.researchgate.net/publication/277828770>

M. Muleke E et all. (2014). Enhancing Cabbage (*Brassica oleraceae* Var capitata) Yields and Quality Through Microclimate Modification and Physiological Improvement Using Agronet Covers. *Sustainable Agriculture Research*; 3(2) https://agritrop.cirad.fr/573376/1/document_573376.pdf

Pereira, L. S., Paredes, P., López-Urrea, R., Hunsaker, D. J., Mota, M., & Mohammadi Shad, Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management*, 243, 106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>

Péron, J.-Y. (1999). Productions légumières. Synthèse agricole. Plant Light Database. (s. d.). The internet's source of plant light requirements. <https://plantlightdb.com/>

[Plants-pro. \(2026\). Plants-pro : Spécialiste des plants agricoles | Bio et conventionnel. https://plants-pro.com/?gad_source=1&gad_campaignid=22724790397&gbraid=0AAAAAC4Tsvblzqqk1t5C0vAt99H02_KOy&gclid=Cj0KQCQiAyP3KBhD9ARIsAAJLnnbpbEs-9uh4va2Cx2Yxlaek92q8lxNhB6stH83aF_Y3CK_Ef49CiRoaAj1FEALw_wcB](https://plants-pro.com/?gad_source=1&gad_campaignid=22724790397&gbraid=0AAAAAC4Tsvblzqqk1t5C0vAt99H02_KOy&gclid=Cj0KQCQiAyP3KBhD9ARIsAAJLnnbpbEs-9uh4va2Cx2Yxlaek92q8lxNhB6stH83aF_Y3CK_Ef49CiRoaAj1FEALw_wcB)

Qin, Y, Liu, X, Li, C et all. (2024). Effect of light intensity on celery growth and flavonoid synthesis. *Frontiers in Plant science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1326218>

[Préfecture de la Somme. \(s. d.\). COUVER03—ENHERBEMENT SOUS CULTURES LIGNEUSES PERENNES \(ARBORICULTURE - VITICULTURE - PEPINIERES\). Consulté 8 janvier 2026, à l'adresse https://www.somme.gouv.fr/contenu/telechargement/12789/79880/file/cahiers_des_charges.pdf?](https://www.somme.gouv.fr/contenu/telechargement/12789/79880/file/cahiers_des_charges.pdf?)

Ruberti, I., Sessa, G., & Carabelli, M. (2012). Plant adaptation to dynamically changing environment: The shade avoidance response. *Biotechnology Advances*, 30(5), 1047–1058. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.08.014>

Shirazi, K., Ramesh, N. K., & Asef, M. R. (2022). Chitosan and Trichoderma harzianum a new Challenge for managing Fusarium crown and root rot in asparagus plant. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 68(2), 75-86. <https://doi.org/10.2478/agri-2022-0007>

Société Nationale d'Horticulture de France. (s.d.). Citron caviar. <https://www.snhf.org/fiche-plante/citron-caviar/>

Syngenta, [sans date]. Fusarioses de l'asperge. In : Syngenta France [en ligne]. [consulté en octobre 2025]. Disponible sur : <https://www.syngenta.fr/traitements/fusarioses-de-lasperge>

[Terre-net. \(2026\). Prix des engrais agricoles. Terre-net. https://www.terre-net.fr/marche-agricole/engrais](https://www.terre-net.fr/marche-agricole/engrais)

Triple performance, (s.d.), Réaliser son bilan humique. https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/R%C3%A9aliser_son_bilan_humique

Voltz Maraichage, (s.d.). Gamme et offre de produit, notre offre d'asperge. <https://fr.voltz-maraichage.com/notre-offre-dasperges>

Vijayalaxmi K. 2024. Leaf area index (LAI) and yield. <https://cid-inc.com/blog/leaf-area-index-and-yield/>

Xue W. (2010). Effects of shading on leaf morphology and response characteristics of photosynthesis in *Alhagi sparsifolia*. *Chinese journal of plant ecology*. 35(1). <https://www.plant-ecology.com/EN/10.3724/SP.J.1258.2011.00082>

Wanaverbecq, C, Garcia, C et Dejeu, M. (2017). Malle-mort expérimente un nouveau type de serre photovoltaïque. [<https://www.lemoniteur.fr/article/malle-mort-experimente-un-nouveau-type-de-serre-photovoltaïque.958454>]

ÉVALUATION CHOUX CHINOIS

Évolution du DLI journalier moyen sur la semaine pour une année



Période de plantation : Mars/Avril

Durée de cycle : 45 à 60 jours

DLI min : 9

-35% de rayonnement global

DLI opt : 12 - 18

Rendement sous abri : 30 t/ha

Perte de rendement estimée : 0 à 9t/ha

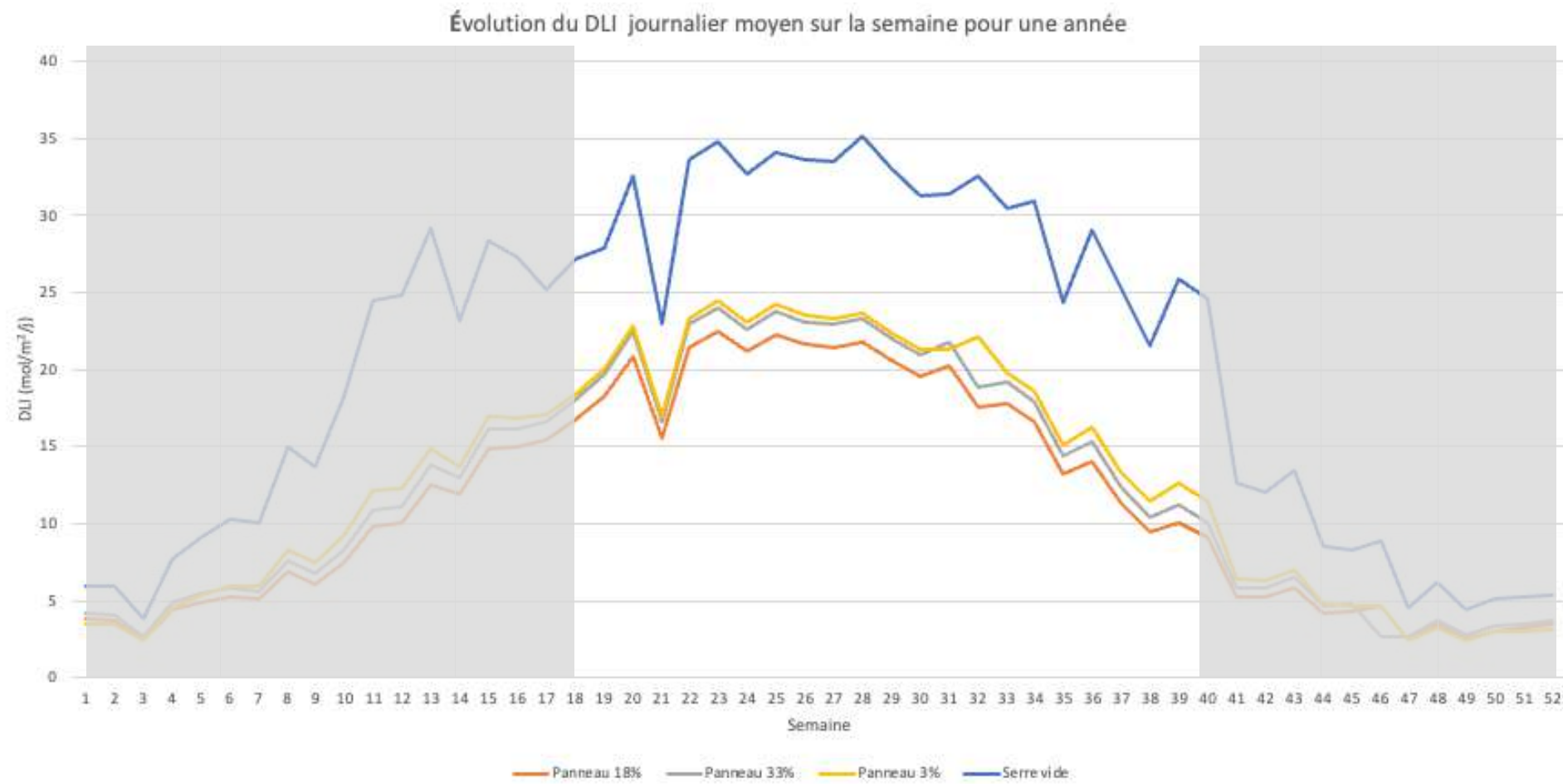
	Choux Pak Choi
Surface	2,14
Rendement (t/ha)	20
Prix de vente (€/kg)	7
Total produit (€/surface)	292 110
Semences (€/surface)	154 080
Fertilisation (€/surface)	1 242
Protection des cultures (€/surface)	642
Main d'oeuvre (€/surface)	12 511
Total des charges (€/surface)	168 476
Marge direct (€/surface)	123 634



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
731 mm

ÉVALUATION PATATE DOUCE



Période de plantation : Mai

Durée de cycle : 154 jours

DLI min : 9

-40% de rayonnement global

DLI opt : 11 - 17

Rendement sous abri : 30 t/ha

Perte de rendement estimée : 0 à 12t/ha

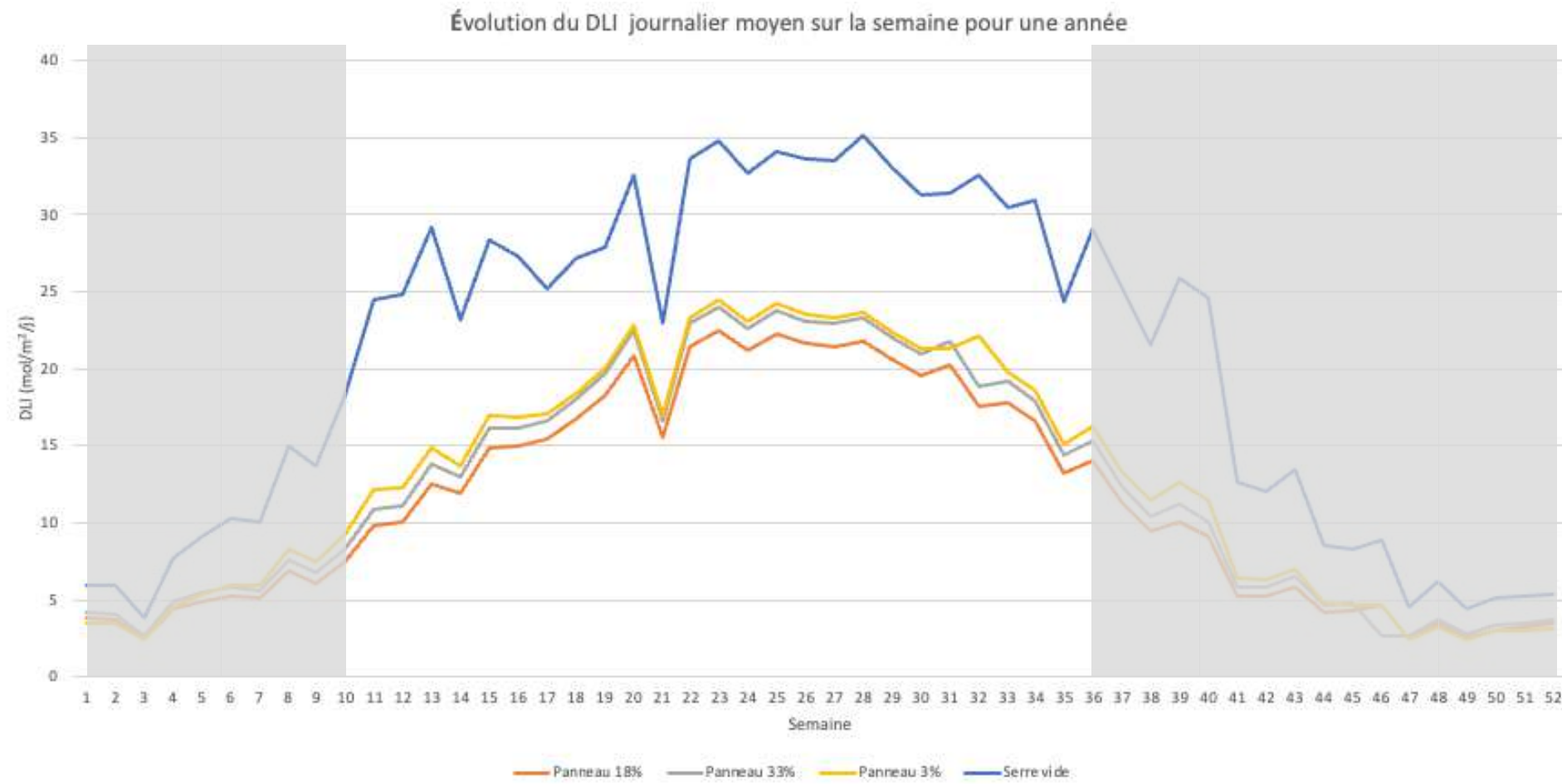
	Patate Douce
Surface	0,74
Rendement (t/ha)	18
Prix de vente (€/kg)	2,80
Total produit (€/surface)	37 296,00
Semences (€/surface)	17 124
Fertilisation (€/surface)	266
Protection des cultures (€/surface)	222
Main d'oeuvre (€/surface)	2 685
Total des charges (€/surface)	20 297
Marge direct (€/surface)	16 999



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
321 mm

ÉVALUATION CONCOMBRE



Période de plantation : Mars

Durée de cycle : 182 jours

DLI min : 13

-35% de rayonnement global

DLI opt : 20 à 30

Rendement sous abri : 140 t/ha

Perte de rendement estimée : 45 t/ha

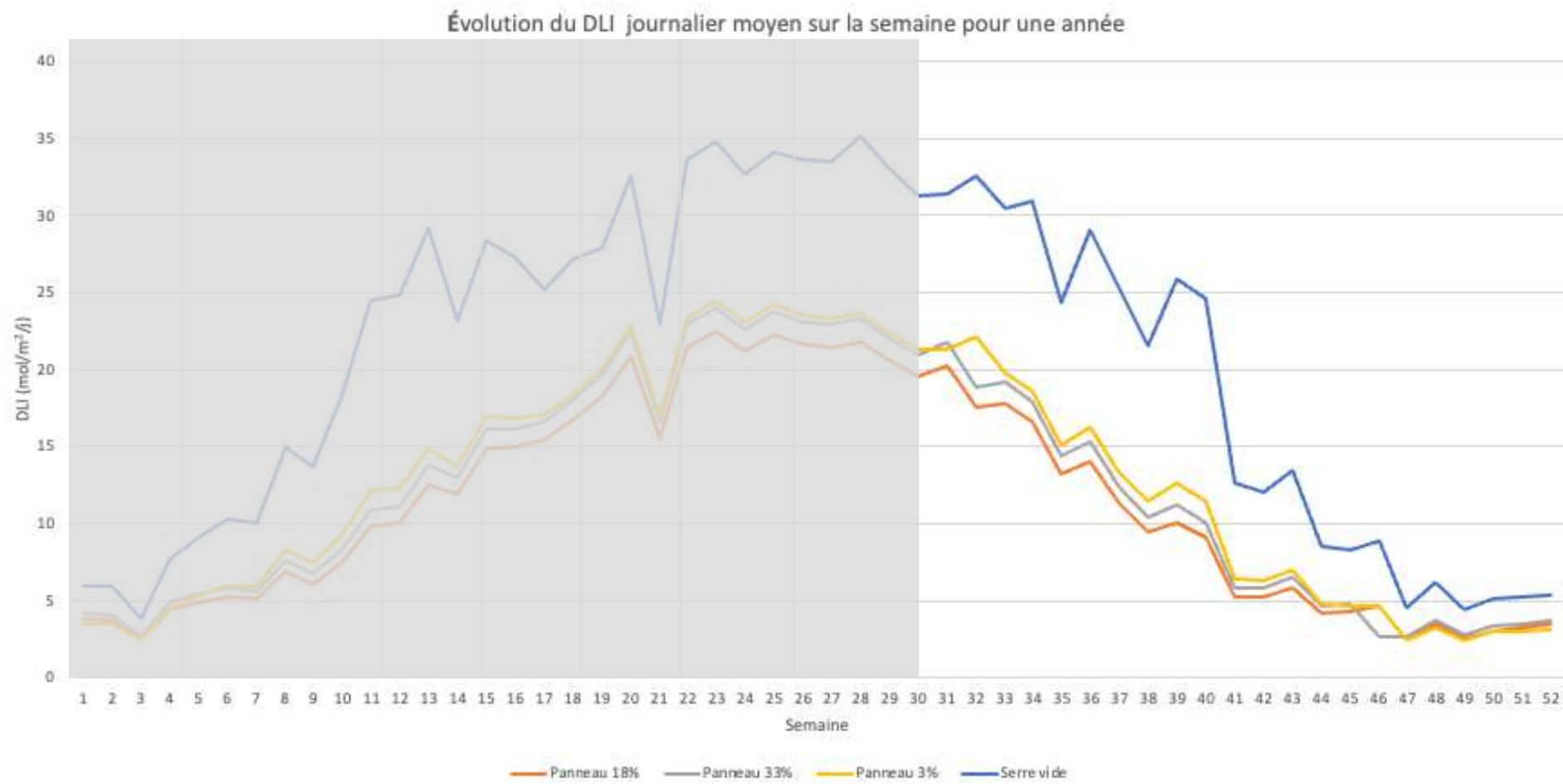
	Concombre
Surface	1,50
Rendement (t/ha)	95
Prix de vente (€/kg)	3
Total produit (€/surface)	377 625
Semences (€/surface)	30 600
Fertilisation (€/surface)	1 120
Protection des cultures (€/surface)	459
Main d'oeuvre (€/surface)	33 672
Total des charges (€/surface)	65 851
Marge direct (€/surface)	311 774



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
451 mm

ÉVALUATION CÉLERI BRANCHE



Période de plantation : Aout/Septembre

Durée de cycle : 85 jours

DLI min : 5

-47% de rayonnement global

DLI opt : 9 à 13

Rendement sous abri : 50 t/ha

Perte de rendement estimée : 0 à 23,5 t/ha

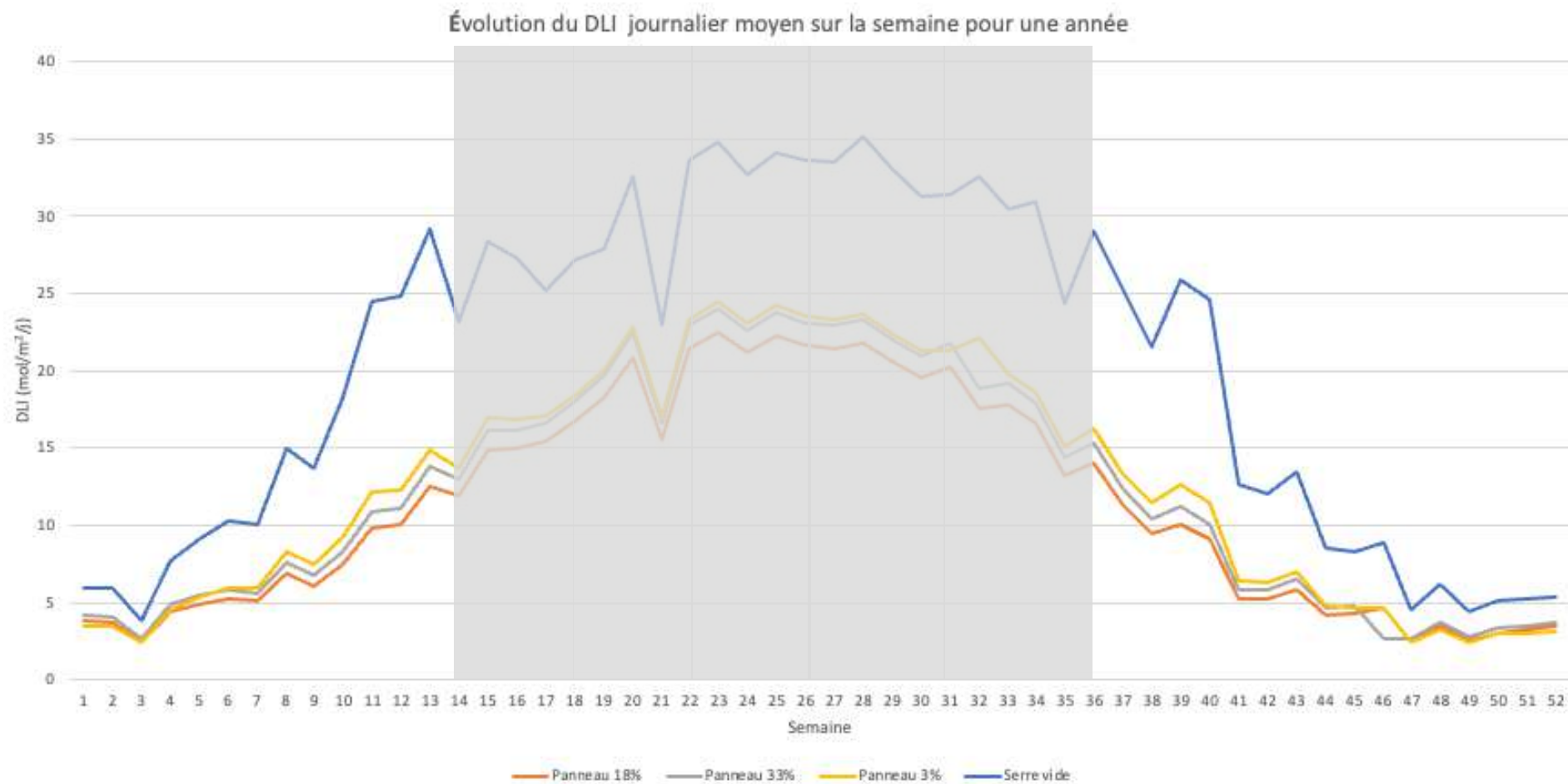
	Céleri branche
Surface	0,74
Rendement (t/ha)	35
Prix de vente (€/kg)	1,8
Total produit (€/surface)	46620
Semences (€/surface)	29600
Fertilisation (€/surface)	429
Protection des cultures (€/surface)	222
Main d'oeuvre (€/surface)	1 367
Total des charges (€/surface)	31 618
Marge direct (€/surface)	15 002



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
85 mm

ÉVALUATION ÉPINARD



Période de plantation : Aout/Septembre

Durée de cycle : 90 à 120 jours

DLI min : 9

-48% de rayonnement global

DLI opt : 10 à 15

Rendement sous abri : 20 t/ha

Perte de rendement estimée : 0 à 10 t/ha

	Épinard
Surface	1,53
Rendement (t/ha)	14
Prix de vente (€/kg)	3,58
Total produit (€/surface)	76683,6
Semences (€/surface)	64260
Fertilisation (€/surface)	306
Protection des cultures (€/surface)	459
Main d'oeuvre (€/surface)	3 367
Total des charges (€/surface)	68 392
Marge direct (€/surface)	8 292

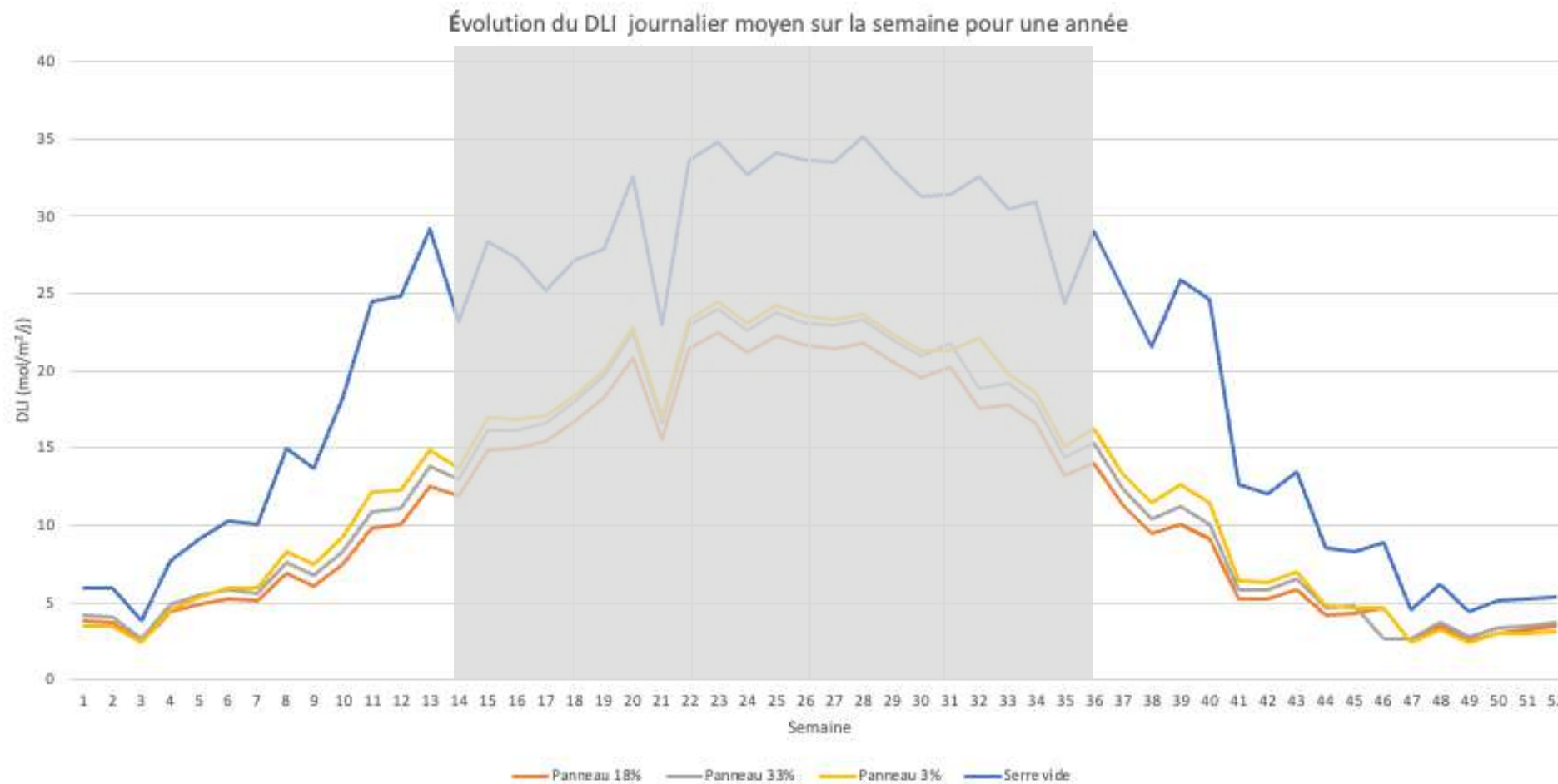


$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :

81 mm

ÉVALUATION MÂCHE



Période de plantation : Août/Septembre

Durée de cycle : 70 à 120 jours

DLI min : 5

-48% de rayonnement global

DLI opt : 10 à 14

Rendement sous abri : 10 t/ha

Perte de rendement estimée : 0 à 5 t/ha

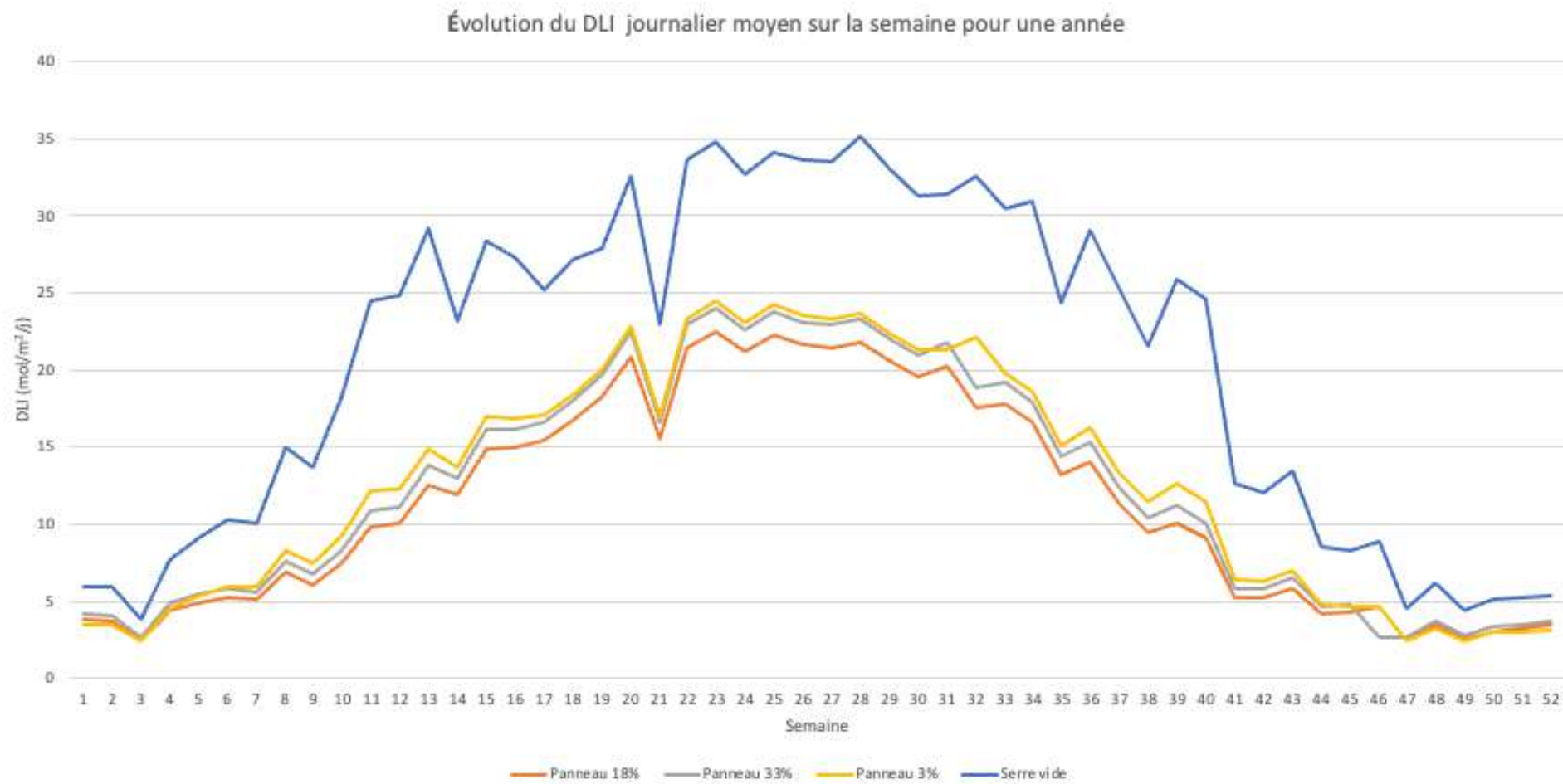
	Mâche
Surface	1,4
Rendement (t/ha)	6
Prix de vente (€/kg)	7,5
Total produit (€/surface)	63000
Semences (€/surface)	44800
Fertilisation (€/surface)	285
Protection des cultures (€/surface)	420
Main d'oeuvre (€/surface)	3 833
Total des charges (€/surface)	49 338
Marge direct (€/surface)	13 662



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
221 mm

ÉVALUATION ASPERGE



Période de plantation : Mars

Durée de cycle : Pérenne, récolte n+2

DLI min : 9

-35% de rayonnement global

DLI opt : 16,70

Rendement sous serre agrivoltaïque : 4 à 5 t/ha

	Asperge
Surface	1,66
Rendement (t/ha)	5
Prix de vente (€/kg)	20
Total produit (€/surface)	166000
Semences (€/surface)	11000
Fertilisation (€/surface)	753
Protection des cultures (€/surface)	498
Main d'oeuvre (€/surface)	22 087
Total des charges (€/surface)	34 338
Marge direct (€/surface)	131 662



$$ET_c = ET_0 \times K_c \times (1 - 0,3)$$

Besoin en eau estimé :
487 mm