



Tomate

Evaluation d'un système bioclimatique en production précoce

2024

Claire GOILLON, Hindi BOOLELL - APREL
Aurélie COSTE - CETA de St Martin de Crau

Essai rattaché au projet Serrilience « vers une production sous serre plus résiliente par une conduite économe en chauffage »

Action A826



Résumé

En Provence, les cultures bénéficient d'un ensoleillement et de températures qui permettent la production de tomates précoce sous abri. Les systèmes hors-sols plantés en novembre entrent en production en février grâce au chauffage des serres. En sol, les plantations à froid ne commencent que fin février/début mars mais peuvent être avancées d'un mois (fin janvier) avec un chauffage minimum maintenant des températures de 7-8°C la nuit.

Dans un contexte d'augmentation du coût de l'énergie et de réduction des ressources, le projet Serrilience a pour objectif d'évaluer des solutions permettant de réduire l'utilisation du chauffage tout en maintenant le niveau de production.

Cet essai vise à évaluer un équipement innovant (Thermitube) adapté aux productions sous abri froid pour remplacer le chauffage dans les cultures précoces. Deux parcelles précoces (plantations du 5 février) ont été équipées de Thermitube et ont fait l'objet d'un suivi agronomique. L'équipement bioclimatique a permis une avance de récolte d'1 semaine et une production de qualité en maintenant les températures supérieures à 8°C sur la période hivernale.

Mots-clés : tomate, énergie, chauffage, production précoce, serre bioclimatique

Réalisé avec le soutien financier de :



1 - Contexte et objectifs de l'essai

Le projet SERRILIENGE vise à adapter les systèmes de culture en production sous serres chauffées (tomate, concombre, fraise) avec pour ambition de réaliser au moins 30% d'économie d'énergie thermique. Les solutions étudiées sont co-construites avec les producteurs. Il s'agit volontairement d'adaptations de court terme, faciles et rapides à déployer.

Pour cela, les 2 leviers suivants sont évalués à la fois en stations expérimentales et chez les producteurs :

- **Évaluation d'équipements innovants** permettant de maintenir le niveau de production en minimisant le chauffage (améliorer l'efficacité énergétique) et sans impacter la gestion sanitaire
- **Évaluation de variétés** afin d'identifier les plus adaptées pour une conduite basse énergie.

Cet essai mené par l'APREL, rentre dans les objectifs du premier levier en évaluant l'intérêt du système thermitube (société Agrithermic) pour une production de tomate précoce sous abri froid en sol.

2 - Facteurs et modalités étudiés

Deux essais sont mis en place sur des cultures de tomate (allongées cœur) plantées le 5 février 2024, permettant de comparer plusieurs modalités.

Tableau 1 : Modalités étudiées sur les 2 sites d'essai

Site	Abri	Modalités comparées
Les Courlis	MC plastique 2600 m ² 100% Thermitube	<ul style="list-style-type: none"> Variété population Cardinale Variété hybride Diamandia
Le jardin de mon père	Serre verre 1ha 50% Thermitube	<ul style="list-style-type: none"> Production avec thermitube Production sans thermitube

3 - Matériel et méthodes

3.1 - Site d'implantation, parcelle

L'essai a été conduit sur 2 exploitations conduites en Agriculture Biologique, décrites ci-dessus :

- Site n°1 : Les Courlis chez M. Nania à Saint Martin de Crau (13)
- Site n°2 : Le jardin de mon père chez M. Marchand à Salon de Provence (13)

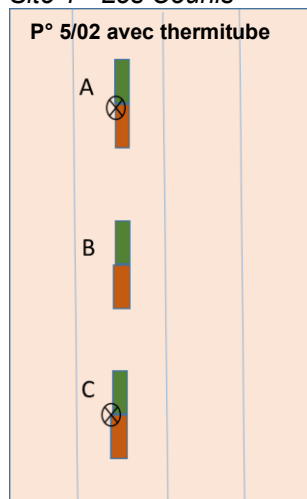
3.2 - Dispositif expérimental

Sur chaque site, des placettes de 7 à 8 plantes sont définies pour relever les observations de rendement et le suivi sanitaire.

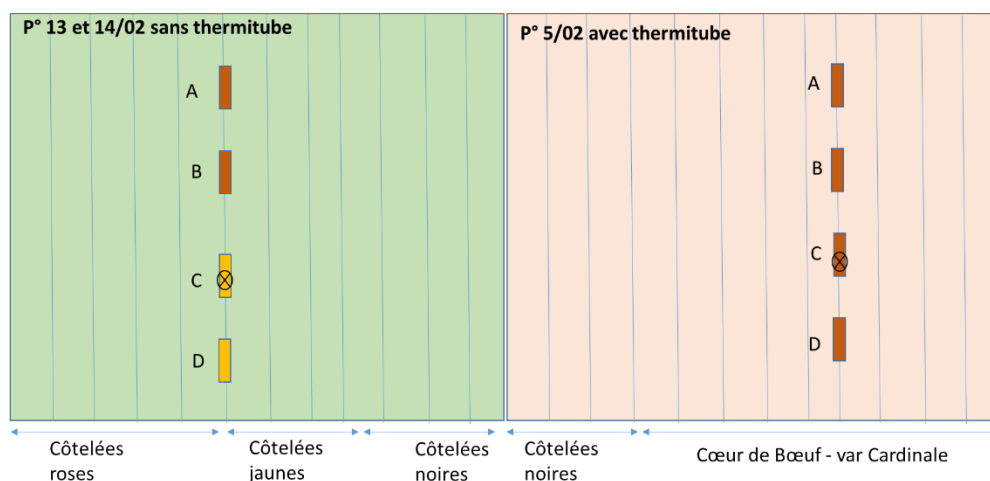
- Sur le site des Courlis, 3 répétitions de 8 plantes par modalité (variété) sont disposées sur un même rang de culture.
- Sur le site Le jardin de mon père, 4 répétitions de 7 plantes sont disposées dans chaque modalité (équipement thermitube). Pour comparer la même variété, des plants de la plantation du 5/02 ont été conservés 1 semaine et plantés dans la partie de la serre sans thermitube avec les autres typologies de tomate. Du fait d'un nombre de plants insuffisants proposés par la pépinière, des plants de la 1^{re} plantation conservés au hangar ont été récupérés pour compléter le dispositif.



Site 1 - Les Courlis



Site 2 – Le jardin de mon père



Placettes de 7 à 8 plantes, variétés Cardinale



Placettes de 8 plantes, variété Diamandia

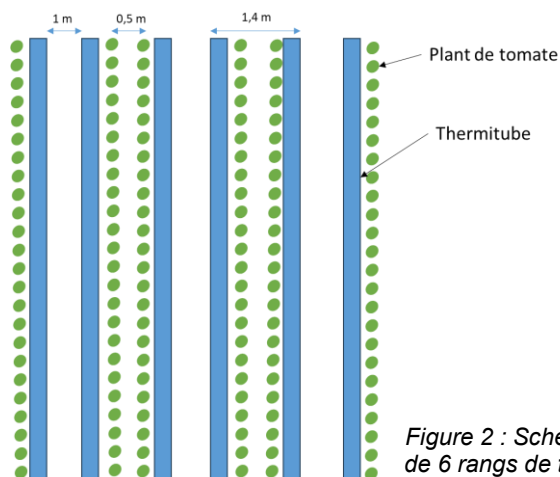


Placettes de 7 plantes, variété Cardinale



enregistreur de données climatiques

Figure 1 : Dispositifs expérimentaux dans les deux sites d'essais



Les thermitubes sont positionnés à l'extérieur des rangs de tomate et viennent empiéter sur l'inter-rang d'environ 30 cm de chaque côté. Ils reposent en bordure de paillage.

Figure 2 : Schéma de positionnement des thermitubes dans la culture sur une chapelle de 6 rangs de tomate. Dimensionnement sur la parcelle « Les Courlis »

3.3 - Données culturales

Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles d'essais

Site	Site N°1 Les Courlis	Site N°2 Le jardin de mon père
Abri	Multichapelle plastique 100% Thermitube	Serre verre ancienne 50% Thermitube
Surface	2600 m ² Dimension abri : 32 x 80m	10 000 m ² Dimension abri : 200 x 50m
Culture	Tomate de diversification (Allongée cœur, côtelées noires)	Tomates de diversification (Allongées cœur, côtelées noire, jaunes et roses)
Variété dans la parcelle d'essai	Cardinale (Prosem)	Cardinale (Prosem)
Date de plantation	5//02/2024	5/02/2024 sur 50% avec thermitube 13/02/2024 sur 50% sans thermitube
Protection thermique	Voile P17 Nuit et jour sur les 15 premiers jours Ouverture en journée sur les 15j suivants	Ecran thermique Voile P17 en sécurité sur les 15 premiers jours, ouverts en journée Retiré définitivement le 13/02
Densité	1.9 plants/m ² 50 cm entre plants Plants greffés 1 tête	2.34 plants/m ² 40 cm entre plants Plants greffés 1 tête
Dispositif	6 rangs/ chapelle de 8m 1-2-2-1	6 rangs/chapelle de 6.40 m 1-2-2-1
Paillage	Paillage intégral sur le rang et entre rangs	Paillage sur le rang
Thermitubes	1 tube par rang de culture, en position externe soit 92 tubes/ha Longueur : 74 m Diamètre : 0.37 m (0.26 m gonflé) Volume d'eau : 3.93 m ³ /tube soit 361 m ³ /ha Matière plastique : PVC d'environ 600 g/m ² (équivalent à 400 µm)	1 tube par rang de culture en position externe soit 186 tubes/ha Longueur : 47 m Diamètre : 0.37 m (0.26 m gonflé) Volume : 2.5 m ³ /tube soit 465 m ³ /ha Matière plastique : PVC d'environ 600 g/m ² (équivalent à 400 µm)

Conditions climatiques de la saison

Le climat observé au printemps 2024 s'est caractérisé par plusieurs épisodes de pluies en février (10-22-25) et en mars (3-9-27 au 31) et une douceur des températures. On a pu noter seulement 5 jours avec des températures <5°C sur quelques heures. Une dernière nuit froide est observée le 21 avril avant que les températures ne remontent significativement pour le reste de la saison.

Pendant quelques jours du 6 au 8, un épisode de vent chaud du Sahara, chargé de sable a été observé.

3.4 - Observations et mesures

- Notation des plantes : vigueur, nouaison sont évaluées plusieurs fois pendant la culture.
- Evaluation sanitaire : relevé de présence des différentes maladies et ravageurs dans la parcelle. Comptage des maladies et ravageurs principaux dans les placettes de contrôle
- Evaluation des résultats agronomiques : Les récoltes sont réalisées 3 fois par semaine afin de déterminer le rendement commercial et extra en comptabilisant le nombre de fruits déclassés ou non commercialisables.
- Relevés climatiques à l'aide d'enregistreurs type hobos (température, humidité relative) sur le site Les courlis (1 positionné au Nord, 1 positionné au Sud) et à l'aide de 2 sondes Sencrop (température, humidité, humectation foliaire) sur le site Le jardin de mon père (1 dans chaque modalité)

4 - Résultats

4.1 Evaluation de 2 variétés en parcelle précoce bioclimatique (Les Courlis)

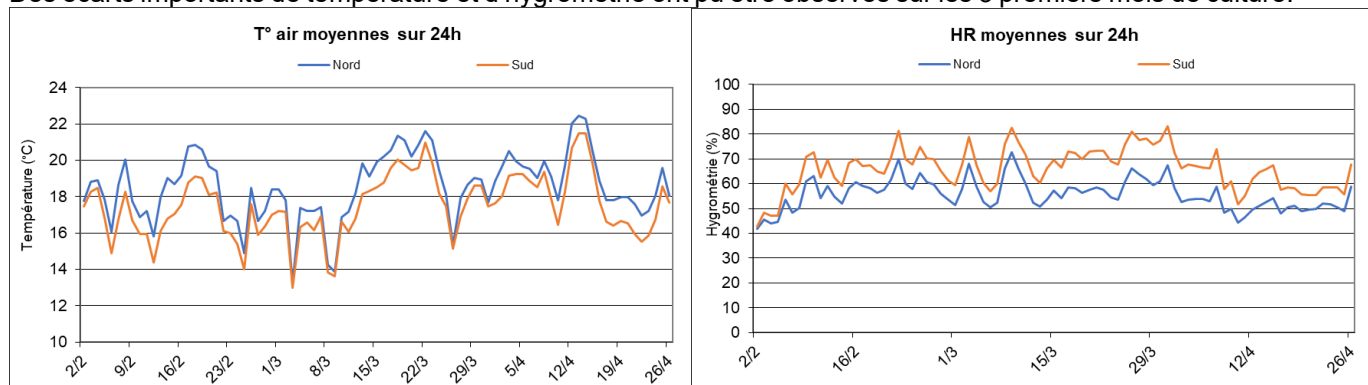
4.1.1 Déroulé de la culture

Tableau 3 : Relevé des observations de la culture

	Observations physiologiques	Observations sanitaires
15/2	Stade : bouquet apparent à dégagé. 1re fleur prête à s'ouvrir pour certains plants Diamandia : moins de drageons que Cardinale.	
29/2	Plants de 1m. Cardinale : 1r bouquet fleuri 75%, 2e bouquet dégagé. Diamandia pas encore fleuri. Grosse vigueur => effeuillage jusqu'à 3 feuilles sous le 1r bouquet	Fèves avec pucerons et soucis en bordure
15/3	Stade F2, plantes couchées Cardinale en avance : début F3. Déjà de gros fruits sur 1r bouquet	
27/3	Stade F4. 4e bouquet bien fleuri, 5e dégagé Cardinale plus gros fruits que Diamandia, plus fine en tête déjà Bourçons peu actifs (nuageux) Blanchiment des portes et parois fait Prélèvement de feuilles pour Nitrates	Aucun Macrolophus sur les tomates. Transfert des soucis prévu <u>Rang de bordure Ouest</u> : premières tâches de clado, thrips, pucerons (+momie praon), galerie Tuta et acariens !! Tout au bas des plantes => effeuillage à faire sous le 1r bouquet Piège Tuta : 3 individus
10/4	Stade F5, tout début F6. Bonne vigueur et grossissement Effeuilage de Diamandia 2e bouquet Peu de Bourçons et marquage	Augmentation des acariens en bordure, de Tuta dans les pièges (15 individus au lieu de 3) Pucerons parasités Début Botrytis !!
19/04	Stade F6, bonne vigueur 1rs fruits récoltés le 16/04 dans la serre sur Noire de Crimée. Diamandia fruits encore bien verts, vigueur > cardinale	Cladosporiose sur Cardinale + 1 botrytis sur placette Sud Mines de Tuta sur plantes

4.1.2 Relevés climatiques

Dans cette parcelle, 2 enregistreurs climatiques (hobos) ont été positionnés au Nord et au Sud de la chapelle. Des écarts importants de température et d'hygrométrie ont pu être observés sur les 3 premiers mois de culture.



Au Sud : températures froides et hygrométrie plus importante

Au Nord : températures plus douces, notamment avec des montées en températures plus importantes en journée (l'air chaud s'accumule en haut de pente) et hygrométrie plus faible

Les écarts de températures entre les 2 zones sont estimés à 1.1°C (-0.55°C la nuit côté Sud et +1.5°C la journée côté Nord). Les écarts d'hygrométrie avoisinent 10% de plus côté Sud.

Ces observations expliquent une répartition des problématiques sanitaires décrites plus loin. Le botrytis s'est développé côté Sud (froid, humide) et la cladosporiose s'est déclarée au Nord (plus chaud). On a pu également observer le développement de l'oïdium en milieu de rang sous les ventilateurs.

Concernant la protection thermique générée par le Thermitube en début de saison, si l'on considère les températures minimales, on peut constater qu'elles ne sont pas descendues en-dessous de 8°C sur la période froide de février à avril. Les cultures ont donc été maintenues à un niveau supérieur au zéro végétatif de la tomate (7°C), en-dessous duquel la croissance s'arrête et la plante marque un stress (couleur violacée de la végétation). Le P17 installé sur la culture pendant tout le mois de février a aussi participé à ce résultat.

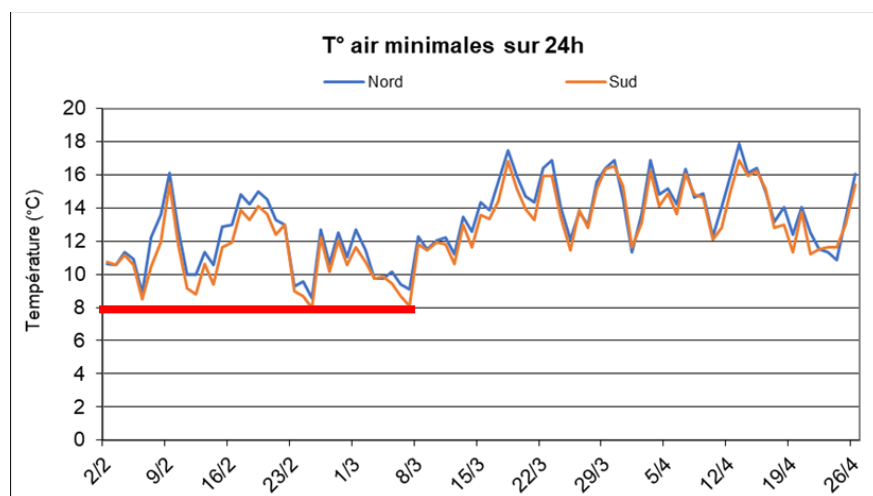


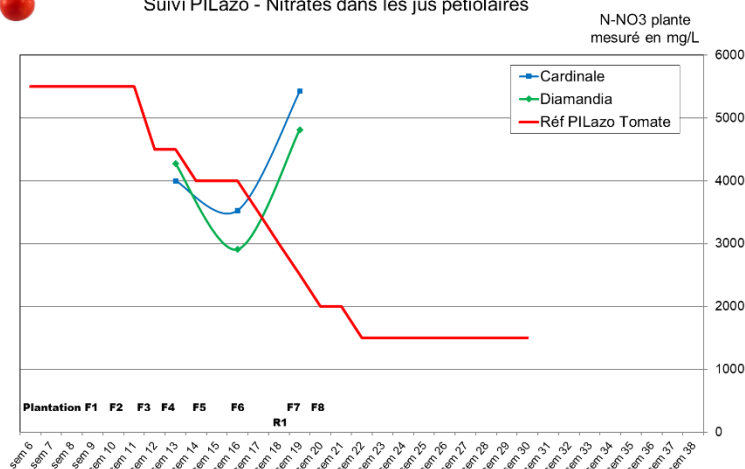
Figure 4 : Températures minimales sous abris mesurées du 5/2 (plantation) au 26/4 (début récolte)

4.1.3 Relevés agronomiques

• Statut azoté des cultures



Suivi PILazo - Nitrates dans les jus pétioleaires



Trois prélèvements de feuilles ont été réalisés pendant la culture pour vérifier le confort azoté des plantes. Avant la récolte au stade F4 (27/3), au début de la récolte (19/04) et en cours de récolte (7/05).

Les résultats montrent un niveau plutôt élevé en Nitrates, surtout après les premières récoltes.

Figure 5 : Mesures des Nitrates dans les jus pétioleaires de tomate – parcelle Les Courlis

- Rendement

Début des récoltes le 26/04 pour les deux variétés, soit 82 jours après la plantation.

Tableau 4 : Résultats de la production des deux variétés de tomate

	Rendement commercial (en kg/m ²)			Rendement Extra (en kg/m ²)		Second choix (en % du nb)	Poids moyen (en g)	
	au 31/05	au 2/7	Estimation finale*	au 31/05	au 2/7		au 31/5	au 2/7
Cardinale	6.65	11.31	13.77	4.13	7.64	26%	266	249
Diamandia	6.19	11.12	13.52	3.71	7.54	27%	224	271

*après la dernière récolte pesée du 2/7, un comptage du nombre de fruits noués restant par plante a été effectué, permettant d'estimer un rendement final du producteur.

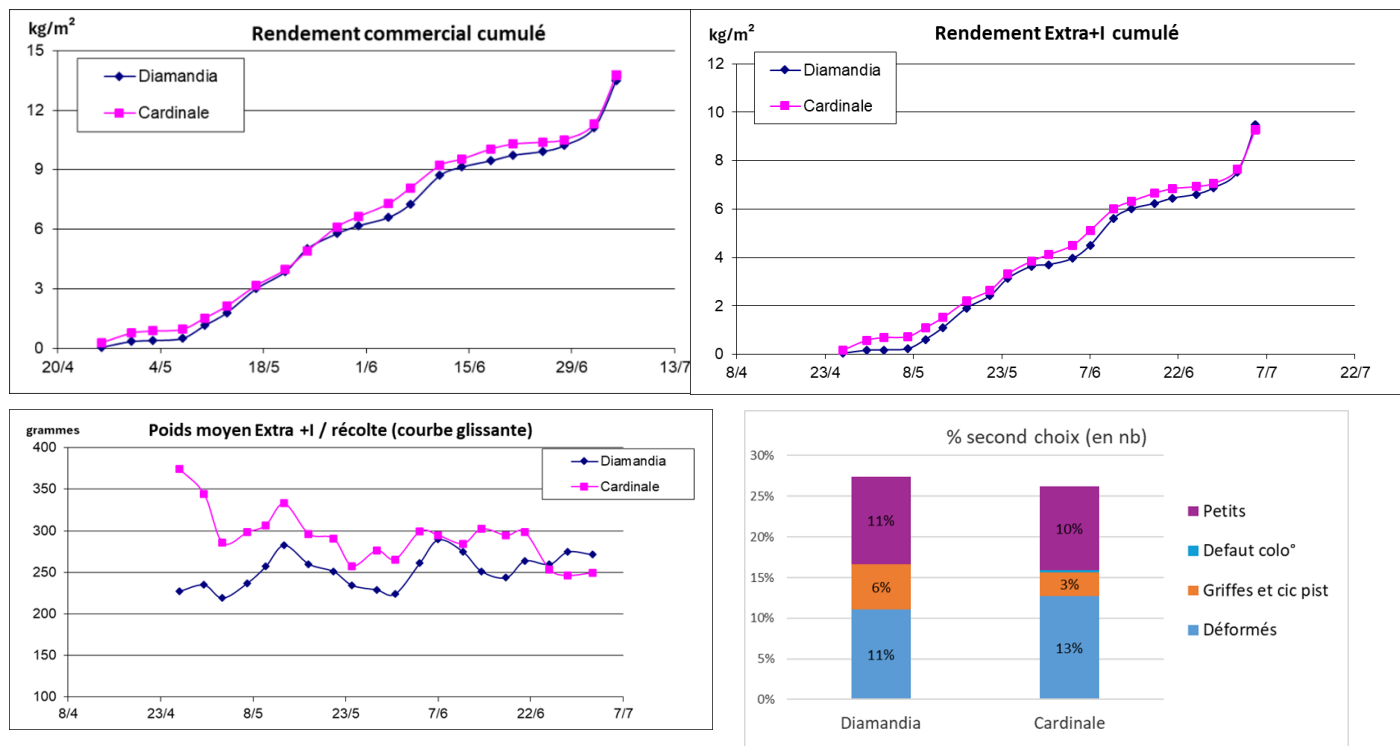


Figure 6 : Rendements et poids moyen des variétés de tomate – parcelle Les Courlis

Les résultats de production ne sont pas significativement différents entre les deux variétés. On note toutefois que la variété Cardinale est entrée en récolte plus tôt que Diamandia et présente des fruits de plus gros calibre (environ 300g) jusqu'à fin juin. Diamandia se situe plutôt autour de 250g.

Les deux variétés ont des fruits déclassés à hauteur de 25%, avec majoritairement des fruits déformés ou de petit calibre (<150g). Diamandia présente un peu plus de griffes (cicatrice fermée longitudinale) qui est un défaut connu de cette variété.

Il est important de noter qu'aucun défaut de coloration n'a fait l'objet de déclassement, problématique souvent accentuée par des températures basses en plantations précoces (blotchy, taches immatures...).

Diamandia s'est montrée plus vigoureuse tout au long de la culture mais n'a pas été pénalisée par un excès de vigueur et il n'y a pas eu de problèmes de nouaison. Cette variété a été effeuillée à deux reprises plus précocement que Cardinale de manière à réguler la vigueur.

4.1.4 Relevés sanitaires

Les notations sont réalisées dans les placettes de contrôle (3x8 plantes pour chaque variété). Un comptage du nombre de plantes touchées par les principales maladies et ravageurs est effectué et le pourcentage est rapporté dans le tableau ci-dessous (tableau 5)

Pour l'oïdium et la cladosporiose, un niveau de contamination est défini par classe :

C1=1^{re} tâches sur de rares feuilles

C2=plusieurs feuilles touchées avec de petites taches

C3=plusieurs taches par feuille, assez étendues, encore des feuilles indemnes sur la plante

C4=contamination générale sur toutes les feuilles

Tableau 5 : Notation de contamination des plantes pour chaque variété

	Oidium			Cladosporiose			Botrytis		Tuta absoluta	
	Diam	Card	Classe	Diam	Card	Classe	Diam	Card	Diam	Card
22-avr				0	50%	C1				
26-avr				0	46%	C1				
30-avr				0	58%	C1	13%	17%		
03-mai				0	63%	C1	21%	25%		
07-mai				0	67%	C1				
13-mai				0	46%	C1				
21-mai	58%	33%	C1	0	67%	C2			17%	0%
28-mai	100%	92%	C1	0	67%	C3				
04-juin	100%	100%	C2	0	100%	C4			54%	39%

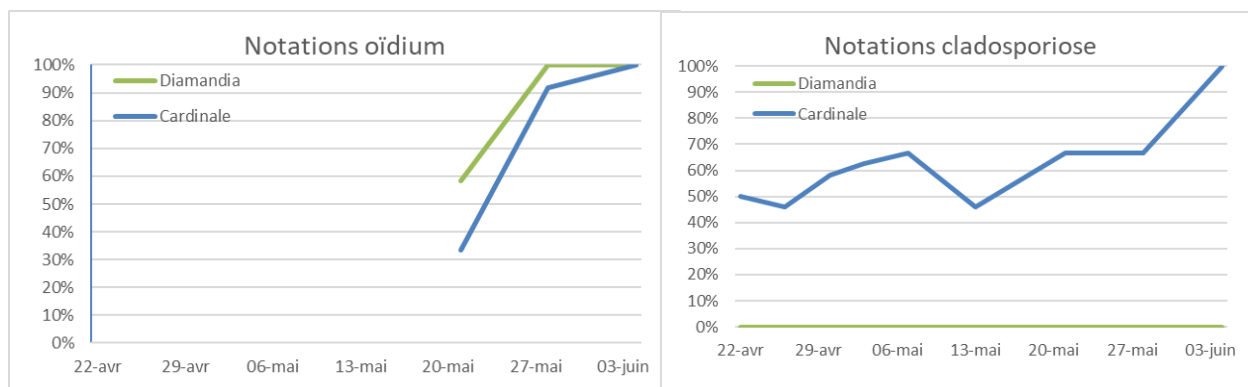


Figure 7 : Evolution de la contamination des plantes par l'oïdium et la cladosporiose

La cladosporiose a été la maladie la plus discriminante entre les deux variétés. Du fait de la résistance génétique de Diamandia, cette variété n'a pas été touchée. Cardinale a subi une progression de la maladie à partir de fin avril (50% des plantes touchées) qui a atteint la totalité des plantes début juin.

L'oïdium s'est surtout développé sur la placette centrale fin mai, sur Diamandia en premier.

Le botrytis s'est développé exclusivement sur la placette Sud fin avril et n'a plus évolué par la suite avec un climat plus favorable et l'application de cicatrisant directement sur les plaies. Cardinale a été impactée par la perte de 3 plantes sur 8 dans la placette, aucune plante perdue pour Diamandia.

Enfin, des galeries de *Tuta absoluta* ont été observé en fin de culture en faible proportion, surtout dans la placette Nord.

4.1.1 Bilan de l'essai N°1

Les deux variétés ont eu un bon comportement dans ces conditions de plantation précoce. La nouaison et la qualité des fruits n'ont pas été impactés par les jours courts et les températures froides sur cette saison. Le Thermitube associé au P17 a permis de maintenir des températures minimales supérieures à 8°C pendant la période froide. L'objectif de production précoce est atteint avec 6 kg/m² au bout d'un mois de récolte fin mai.

On note dans cet abri un gradient climatique qui semble avoir impacté le développement des maladies et la production des variétés testées.

Diamandia a été freinée par les températures plus froides (entrée en récolte plus tardive dans la placette C au Sud) mais ces plantes ont été ensuite nettement plus productives à partir de mi-mai (Fig 8a).

Cardinale s'est montrée aussi plus tardive dans la zone Sud et a rattrapé le retard à partir de mi-mai. Dans la placette au Nord touchée par la cladosporiose à partir de fin avril, on observe une production de plante nettement diminuée (Fig 8b). On mesure sans doute ici l'impact de la maladie sur la production. Cependant, si on compare la production de Diamandia résistante à la cladosporiose dans cette zone, on n'observe pas de différence (Fig 8c). La différence entre les variétés est surtout observée sur la placette du milieu où Diamandia a subi un peu plus d'oïdium.

Il est donc difficile d'en conclure un lien entre maladie et production à ce stade.

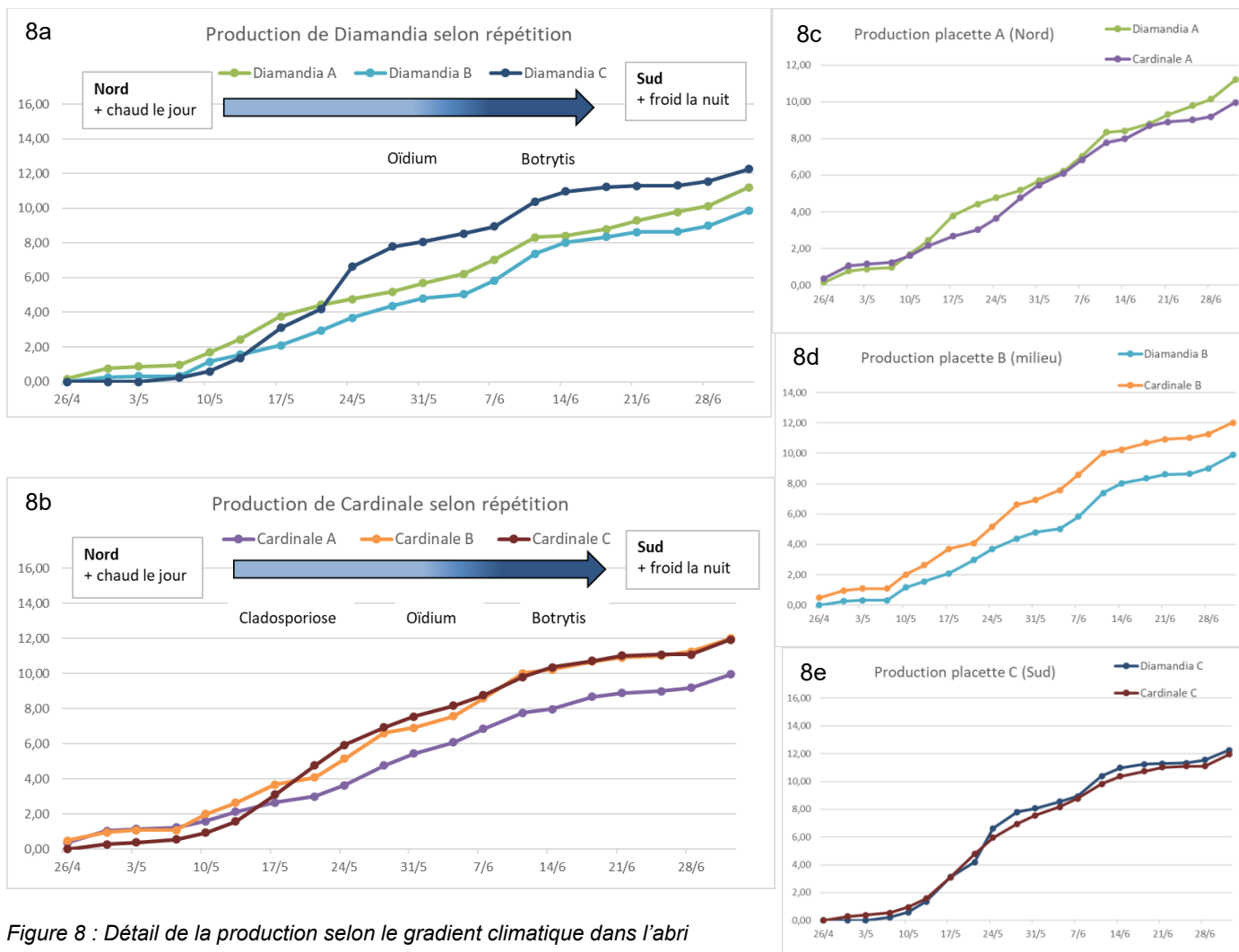


Figure 8 : Détail de la production selon le gradient climatique dans l'abri

4.2 Evaluation de l'effet du thermitube en parcelle précoce (Le jardin de mon père)

4.2.1 Déroulé de la culture

Tableau 6 : Relevé des observations de la culture aux Jardins de mon père

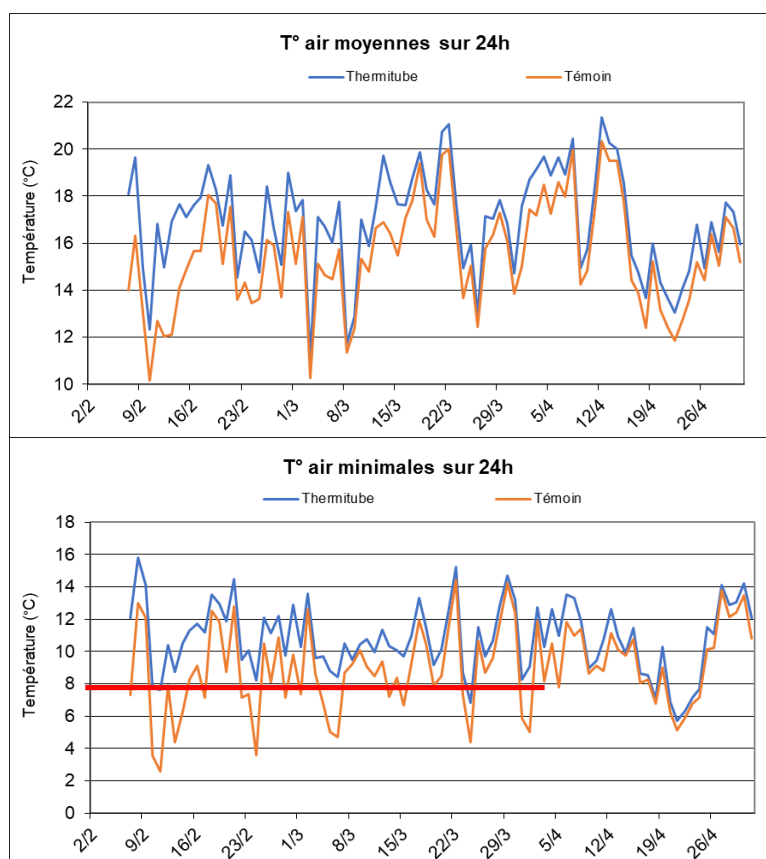
	Observations physiologiques	Observations sanitaires
13/2	Retrait définitif du P17	
15/2	Stade bouquet apparent (à peine) dans Thermitube Plantes vigoureuses, racines très développées sous le paillage	Avoine et soucis semés en bordure.
21/2	Pose des ruches dans la partie Thermitube	
26/2	Thermitube : plants de 1m, 1r bouquet fleuri 50% à 70 cm de haut, sortie du 2e bouquet, Témoïn Nord : plants de 55 cm, 1r bouquet fleuri 10% à 40 cm, 2e apparent Témoïn sud : 1r bouquet dégagé	Pucerons parasités sur Avoine en bordure Dans témoïn : Pucerons, 1 aleurode, thrips, cicadelle 10 à 15 Macrolophus/ plante sur les zones avec dépôt de brins de soucis.
15/3	Thermitube : plants de 1,50m. 3e bouquet fleuri, grossissement 1r bouquet. Témoïn : plants de 1m, 2e bouquet fleuri, 3e dégagé. Au Nord, 1r bouquet à 55 cm. Sud à 35 cm	1rs acariens en bordure. Macro adultes visibles partout mais faible quantité
27/3	Plus d'accès à la serre par crainte du Tobrfv (1 cas déclaré dans la crau). Selon producteur : Thermitube : Stade début floraison du 5e bouquet, 6e dégagé. Témoïn : 4e bouquet	

12/04	Blanchiment	
19/04	Application Prestop tous les 15j Témoins stade F5, plantes un peu fines. Bouquets très haut sur les placettes sud / nord Thermitube stade F6, pas de fruit tournant, très gros calibre. 1 ^{re} récolte en paroi (10 caisses)	Foyer pucerons dans Témoin Nord Thermitube : Qqs fruits avec Botrytis mais pas de plantes. Qqs mines de Tuta
7/5	Stade F7/8 pour Thermitube, en récolte Stade F6 pour témoin pas de récolte. 2 répétitions Nord : plantes très jaunes, excès d'eau localement. Pas encore d'effeuillage	Botrytis assez présent sur fruits.
11/6	Sortie des thermitube le 5 juin pour pouvoir traiter plus facilement (Prestop contre Botrytis)	Cladosporiose très présent sur témoin

4.2.2 Relevés climatiques

Dans cette parcelle, une sonde climatique Sencrop a été positionnée dans chaque modalité de manière à comparer la température sous abri, l'hygrométrie et l'humectation foliaire. Seule la période de la plantation (début février) à l'entrée en récolte (fin avril) est prise en compte dans l'analyse car les effets du thermitube sont attendus sur la période précoce.

- Analyse des températures



Sonde de température et d'hygrométrie à 1m



Capteur d'humectation à 30 cm

Figure 9 : Relevés climatiques du 5/2 (plantation) au 26/4 (début récolte)- Le jardin de mon père

Sur les 3 premiers mois de culture, on observe des écarts de température importants.

Les températures moyennes 24h sont supérieures de 1.5°C dans la modalité thermitube sur cette période. Sur les températures minimales, l'écart est de 1.9°C en moyenne, jusqu'à 4.6°C certains jours froids (tableau 7). Les écarts de température observés dans la modalité Thermitube s'atténuent toutefois avec le temps, (Figure 9 et 10). En début de culture, les températures minimales se sont maintenues supérieures à 8°C dans la modalité avec Thermitube, comme sur le premier site et ont permis de maintenir les plantes actives.

La journée froide tardive du 22 avril (5.1°C) montre qu'il n'y a presque plus de différence entre les modalités. A ce stade, les plantes sont en floraison du 5^e bouquet, et la végétation recouvre les tubes, empêchant la pénétration du rayonnement lumineux sur les tubes en journée.

Tableau 7 : comparaison des minimums enregistrés les jours les plus froids :

	Témoïn	Thermitube	Ecart
24/02	3.6 °C	8.2 °C	4.6 °C
23/03	4.4 °C	7.3 °C	2.9 °C
22/04	5.1 °C	6.0 °C	0.9 °C

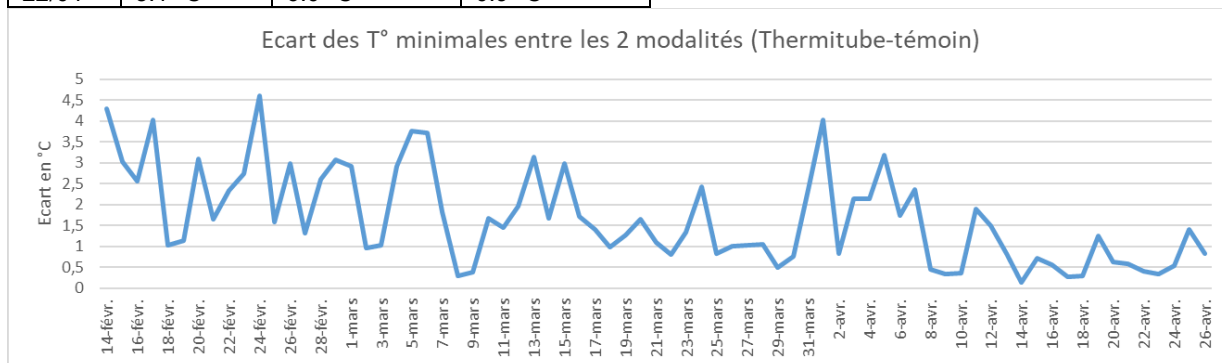
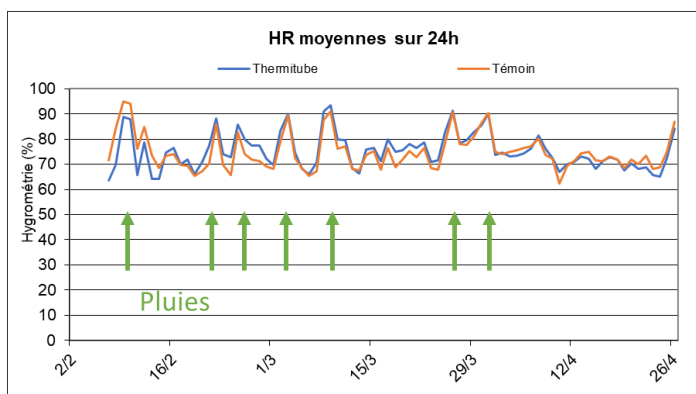


Figure 10 : Evolution des écarts de températures minimales entre les deux modalités de l'essai (Thermitube-témoïn) sur les 3 premiers mois de culture

- Analyse de l'hygrométrie et de l'humectation foliaire



On observe peu de différences d'hygrométrie entre les modalités.

Au cours des 15 premiers jours, l'hygrométrie est sensiblement plus basse dans la modalité thermitube (assèchement) mais la tendance s'inverse ensuite, certainement avec l'évapotranspiration des plantes.

L'hygrométrie est maintenue entre 70 et 80% en dehors des épisodes de pluie qui augmentent l'hygrométrie jusqu'à 90%

Figure 11 : Evolution de l'hygrométrie relative sous abri dans les 2 modalités – Le jardin de mon père



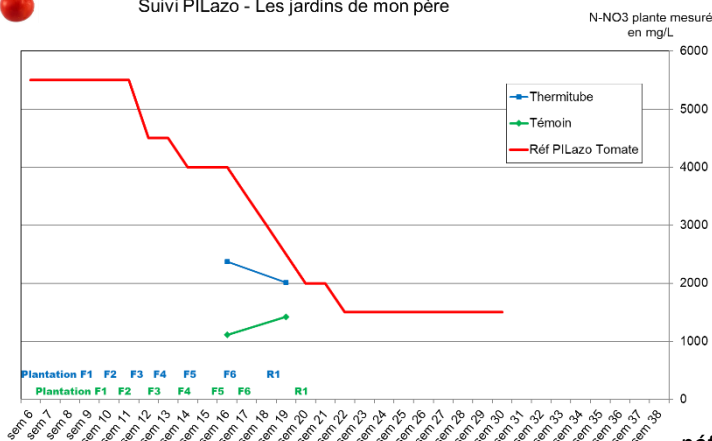
Figure 12 : Evolution de l'humectation foliaire et de la température dans les 2 modalités – Le jardin de mon père

Les capteurs d'humectation foliaire déterminent la durée pendant laquelle de l'humidité est détectée. Cela indique la durée d'humectation que subissent les feuilles. La comparaison des graphiques sur la figure 12 met en évidence une durée d'humectation quotidienne beaucoup plus importante dans la modalité témoin que dans la modalité thermitube. Les températures étant plus basses la nuit, la condensation est plus importante dans cette modalité et on peut supposer que le rayonnement de chaleur généré par les thermitubes assèche plus rapidement les feuilles à proximité.

- Statut azoté des cultures



Suivi PILazo - Les jardins de mon père



Deux prélèvements de feuilles ont été réalisés pendant la culture pour vérifier le confort azoté des plantes avant la récolte.

Les résultats montrent un niveau inférieur au seuil de référence de la grille PILazo. Cependant il est courant d'avoir ces valeurs sur des variétés de tomate autres que les variétés rondes qui ont servi à construire la grille de référence. Les plantes ne montrent pas de carence à ce stade.

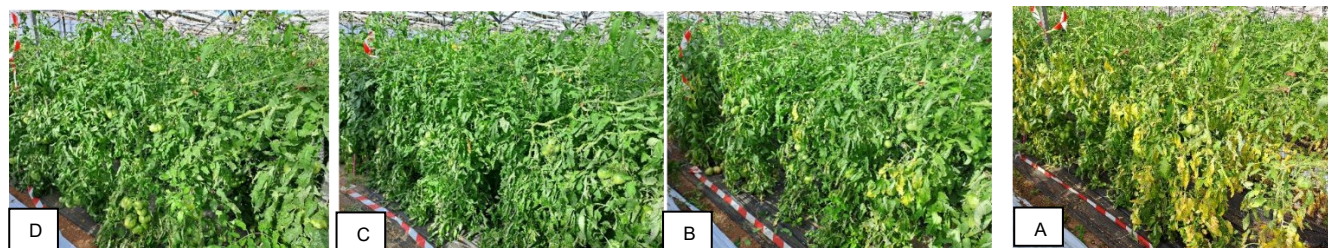
La culture est toutefois à un niveau de confort azoté inférieur à la culture du 1^{er} site.

Figure 11 : Mesures des Nitrates dans les jus pétiolaires de tomate – parcelle Le jardin de mon père

- Rendement

Début des récoltes le 26/04 pour la modalité thermitube (comme sur le 1^{er} site), soit 82 jours après la plantation. Début des récoltes le 9/05 pour la modalité témoin plantée 1 semaine plus tard, soit 90 jours après plantation.

Au cours du premier mois de culture, un biais est apparu sur la modalité témoin : les répétitions A et B correspondant à des plants conservés au hangar avant plantation ont montré une croissance réduite et des chloroses sont apparues à partir du mois d'avril. Un débordement de cheneau à cet endroit de la serre a généré un excès d'eau sur des plantes déjà stressées. La production s'est montrée fortement impactée sur ces répétitions. L'analyse des rendements est donc basée sur les deux répétitions C et D.



Plants conservés 1 semaine en pépinière avant plantation

Plants conservés 1 semaine au hangar avant plantation + excès d'eau

Figure 12 : Illustration de l'hétérogénéité de la parcelle témoin (photos du 7 mai 2024)

Tableau 8 : Résultats de la production de tomate sur les deux modalités (2 répétitions C et D) – Le jardin de mon père

	Rendement comm (en kg/m ²)		Rendement Extra (en kg/m ²)		Second choix (en % du nb)	Poids moyen (en g)	
	au 31/05	au 2/7	au 31/05	au 2/7		au 31/5	au 2/7
Témoin	4.61	9.20	2.03	4.38	51%	354	324
Thermitube	7.07	12.78	3.82	6.58	43%	349	331

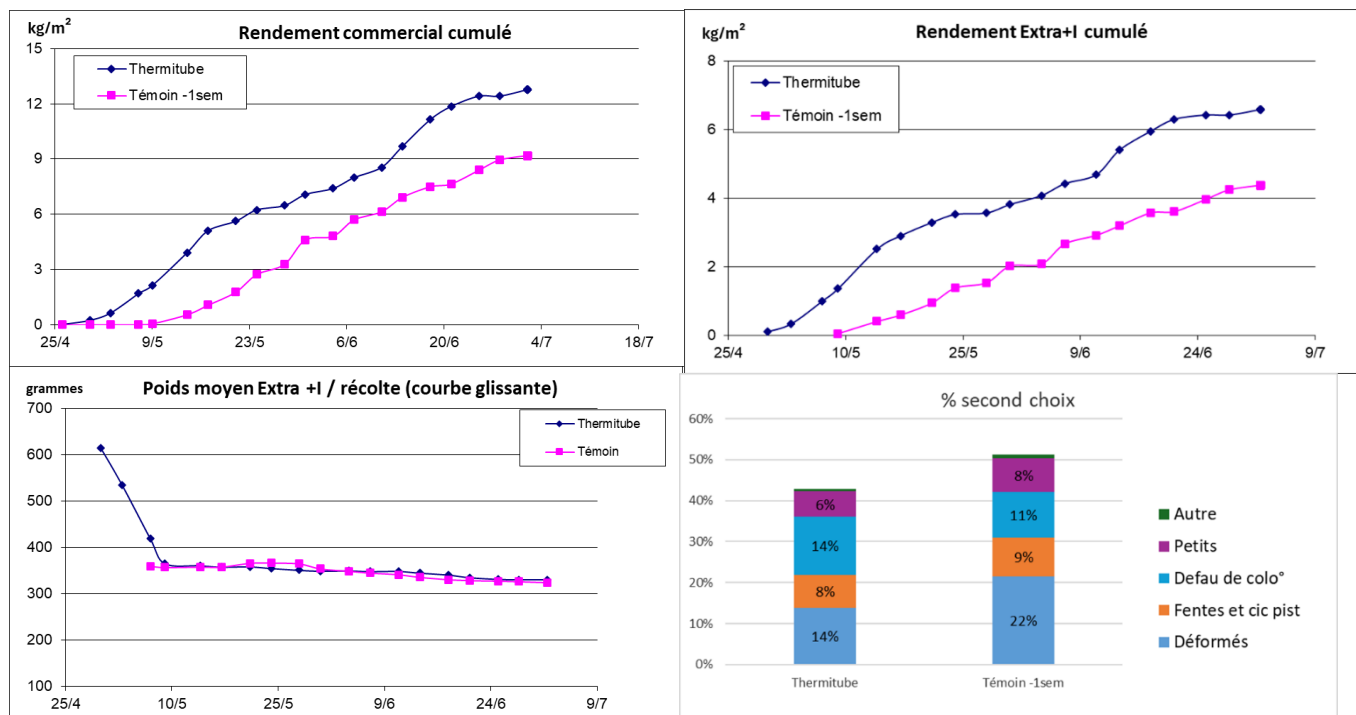


Figure 13 : Rendements et poids moyen relevés dans les 2 modalités – parcelle Le jardin de mon père

Les résultats de production montrent une avance de production significative pour la modalité Thermitube. L'entrée en récolte s'est faite avec 15 jours d'avance. Si on tient compte du décalage de plantation d'une semaine, on estime donc que le système thermitube a permis un gain de précocité d'une semaine. Le calibre des fruits est similaire.

Les deux modalités présentent un taux de déclassement plus élevé que sur le 1r site à 40% pour la modalité thermitube et 50% pour le témoin qui présente plus de fruits déformés. Les autres critères de déclassement sont des défauts de coloration, des cicatrices et des petits fruits. On peut avancer l'hypothèse que le système thermitube a permis d'améliorer la qualité de nouaison en condition froide et réduit la proportion de fruits déformés.

Les défauts de coloration présents dans les deux modalités contrairement au 1r site peuvent être expliqués par une densité de plantation plus élevée sur ce site, qui pénalise l'accès des fruits à la lumière.

4.2.4 Relevés sanitaires

Sur ce site, le botrytis a fait son apparition sur fruits mi-avril et a perduré longtemps mais n'a pas occasionné beaucoup de pertes de plantes. La densité de plantation élevée est aussi une explication à ce problème. La cladosporiose s'est développée dans un second temps en juin, en particulier dans la modalité témoin. Des interventions de biocontrôle (Prestop) ont dû être intensifiées et ont mis en avant la difficulté de circuler avec le microtracteur entre les rangs de thermitubes. Ceux-ci ont par conséquent été retirés en juin.

4.2.5 Bilan de l'essai N°2

Cet essai nous permet de mettre en évidence l'effet du thermitube sur la température sous abri dans les cultures précoces en Provence : la restitution de chaleur emmagasinée pendant la journée permet de maintenir des températures nocturnes plus élevées. Sur cette saison, le gain a été de 0.5 à 4.5°C selon les journées. Plus l'air est froid, plus la différence est importante.

Ce gain s'atténue toutefois avec la croissance des plantes : les feuilles finissent par recouvrir la gaine et ne permettent plus de capter suffisamment de rayonnement. Dans cet essai, il n'y avait plus de différence avec le témoin au bout de 2 mois, à un stade de floraison du 5^e bouquet environ.

L'objectif de production précoce est atteint avec 2 semaines d'avance par rapport à la modalité témoin sans thermitube qui s'expliquent par 1 semaine de plantation plus précoce et 1 semaine de croissance de plante plus rapide. La qualité de production est améliorée également avec une réduction de la proportion de fruits déformés. Fin mai, le rendement obtenu est de 7 kg/m² contre 4.6 kg/m² sur le témoin, soit 2,4 kg/m² de plus pouvant être valorisé par des prix plus intéressants.

4.3 Comparaison des différents systèmes de production

Cette étude peut être comparée à la production de tomate de saison pour évaluer l'intérêt des plantations précoces avec ou sans thermitube. Dans le cadre d'un autre programme de recherche de l'APREL (projet LIRRIQUE), le rendement d'une culture de tomate de saison, variété Diamandia a pu être disponible.

Nous pouvons alors comparer :

- 2 cultures précoces (plantation du 5/02) en AB, variété Cardinale, équipées de Thermitube
- 1 culture précoce (plantation du 5/02) en AB, variété Diamandia, équipée de Thermitube
- 1 culture précoce (plantation du 13/02) en AB, variété Cardinale
- 1 culture de saison (plantation du 6/03) en conventionnel, variété Diamandia

De manière à lisser les densités de plantation différentes entre les 3 sites, nous basons notre réflexion sur le rendement commercial par plante.

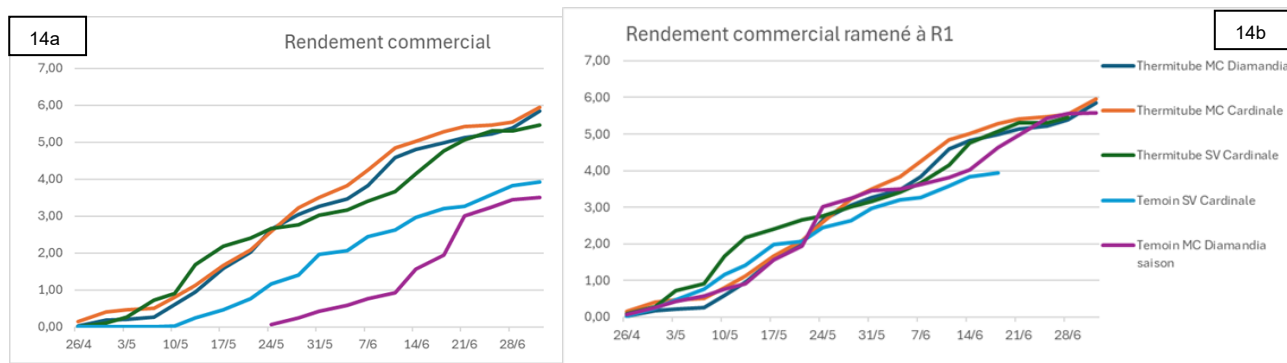


Figure 14 : analyse comparative de la production des différents systèmes étudiés

Les 3 cultures précoces avec thermitube ont une production très comparable et significativement plus élevée que les 2 autres parcelles (sans thermitube et en plantation de saison). Le potentiel de production est donc bien exploité et permet de fournir un volume intéressant en conditions précoces. Au moment où la culture de saison commence à récolter (fin mai), les cultures précoces avec thermitube ont déjà produit près de 3 kg/plante. Sans thermitube, le rendement est de 2 kg/plante à cette date (Figure 14a).

Le graphique 14b permet de montrer que la dynamique de production des plantes est toutefois identique si on les compare par rapport à leur entrée en récolte. Il s'agit donc bien essentiellement d'un décalage dans le temps.

4.4 Approche technico-économique

Caractéristiques techniques de l'utilisation de Thermitube proposé par la société Agrithermic

Caractéristiques des gaines :

Le dimensionnement des gaines est fait sur mesure, adapté à la longueur des rangs de culture de chaque serre. Il existe plusieurs diamètres : 31–37–41 ou 47 cm (à plat) soit 24-26-30-33 cm gonflés. La matière plastique est soit du PVC (recyclable) soit du polyéthylène tissé de 400 µm d'épaisseur, thermosoudé sur la longueur. La durabilité des gaines est annoncée pour 10 ans.

Coût : L'investissement est estimé entre 7 et 10 €/m² selon le diamètre, la longueur, le nombre de gaines et la matière plastique choisie pour l'installation dans la parcelle.

Thermitube est une technologie qui bénéficie aujourd'hui d'une fiche de Certificat d'Économies d'Énergie (CEE) permettant l'accès à des aides à l'investissement à hauteur de 40%. Le coût revient donc entre 4 et 6 €/m². Un dispositif avec une seule gaine entre 2 lignes de tomates peut permettre de réduire les coûts mais la performance peut être aussi différente.

Système d'installation et de retrait des gaines :

Du temps de préparation des parcelles est à prévoir en amont de la plantation.

- Profilage du sol : une ornière légère à l'emplacement des gaines (forme de rigole) permet de maintenir la gaine rectiligne une fois remplie

- déroulement des gaines. La fabrication d'un outil d'aide au déroulement est nécessaire pour faciliter la tâche et l'associer au déroulement du paillage et du goutte à goutte.
- Mise en place du système de fermeture aux extrémités : coude à 90°C, mâchoires en fer ou pinces
- Arceaux de maintien de la gaine (type M) si nécessaire
- Remplissage avec l'eau. Selon la surface et le volume des gaines, le débit des pompes et l'origine de la ressource en eau, le remplissage peut-être l'étape la plus longue.

L'installation au moins une semaine avant plantation est l'idéal pour permettre un réchauffement du sol avant l'installation des plants.

Le retrait du thermitube peut se faire en cours de culture ou en fin de culture.

- Vidage des gaines et récupération de l'eau
- Enroulement des gaines vides à l'aide d'un outil adapté (en cours de développement)
- Stockage à l'abri pour la prochaine saison

Le temps de main d'œuvre nécessaire sera estimé plus précisément en dernière année de suivi, lorsque la technique sera réalisée à plus grande échelle.

Volume d'eau nécessaire

Pour une gaine de 100 m de long et de 32 cm de diamètre, le volume d'eau nécessaire est de 2.56 m³.

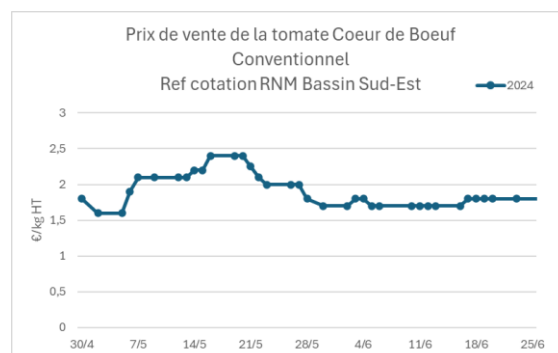
Sur une parcelle de 1 ha, équipée de 96 gaines, le volume total représente 246 m³

Cette quantité d'eau est maintenue en milieu fermé et opaque dans les gaines jusqu'à leur retrait. Une réflexion est en cours pour réutiliser cette eau : soit par restitution à la nappe, soit par réinjection dans le réseau d'irrigation à partir du moment où le gain thermique n'est plus recherché (mai à août)

Bilan technico-économique

Sur la base de la comparaison de production des modalités sur l'EARL Le jardin de mon père, et d'après les prix de vente donnés par le RNM Bassin Sud-Est (<https://rnm.franceagrimer.fr>- tomate allongée cœur Sud-Est plateau 1 rang conventionnel),

Revenu de production (en €/m ²)	Au 24/5	Au 2/7
avec thermitube	13.18 €/m ²	24.71 €/m ²
sans thermitube	5.90 €/m ²	17.27 €/m ²
Différence	7.28 €/m ²	7.44 €/m ²



D'après ce premier bilan, la vente de tomate précoce à un prix supérieur à 2 € semble permettre de rentabiliser l'investissement du thermitube avec les aides CEE. Néanmoins, d'autres données doivent être prises en compte pour un bilan technico-économique plus complet comme les charges de main d'œuvre d'installation et de retrait des gaines, le coût électrique de remplissage et vidage des gaines.

5- Conclusion

Pour cette première année d'étude du système bioclimatique Thermitube en Provence, plusieurs informations sont à retenir :

- Les plantations du 5/02 ont donné de bons résultats de production
- L'entrée en récolte a lieu au bout de 82 jours de culture fin avril, 1 semaine avant la culture sans thermitube
- L'objectif de production précoce est atteint avec 6 à 7 kg/m² fin mai au bout d'un mois de production
- Le système thermitube améliore la qualité de nouaison et permet de produire moins de fruits déformés
- Les 2 variétés testées sont adaptées à cette production. Cardinale est plus précoce mais moins endurente dans le temps du fait de sa vigueur moyenne et de sa sensibilité à la cladosporiose. Diamandia est plus tardive mais est capable de durer plus longtemps.

Ce suivi doit être renouvelé en 2025 pour valider les résultats dans un autre contexte climatique.

Des plantations en janvier pourront être envisagées de manière à entrer en production encore plus tôt.

De manière à évaluer le système thermitube comme une alternative au chauffage et à la possibilité de réduire les ressources énergétiques non renouvelables, la comparaison des performances d'une culture précoce chauffée et d'une culture précoce avec thermitube devra être menée en 2025.

Le développement de cette technique devra aussi être accompagnée de la recherche de solutions pour faciliter l'installation et le retrait des gaines, ainsi que d'une considération de la ressource en eau utilisée qui doit être recyclée.

Renseignements complémentaires auprès de :

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

ANNEXE :

Photos SCEA Les Courlis



Installation des gaines de Thermitube fin janvier. Deux systèmes de fermeture aux extrémités : pinces à gauche ou coude à 90° à droite



Culture de tomate après plantation le 5 février (gauche) et fin février après retrait du P17 (droite)



Culture au stade F4 fin mars (gauche) et début récolte le 26 avril (droite)

Photos Le jardin de mon père



Culture de tomate après plantation le 5 février (gauche) et fin février après retrait du P17 (droite)



Entrée en récolte le 26 avril