



GreenResilient : Vers un système de production de légumes bio plus écologique sous serre

J. LAMBION – H. VEDIE – A. SASSI – C. ROCHAT – M. CHABOT

1- CONTEXTE ET OBJECTIFS :

La conception de systèmes agroécologiques adaptés à la production de légumes bio sous serre répond à un enjeu important de réduction de l'impact de ces systèmes sur l'environnement. Ces systèmes, conçus pour être résilients en favorisant la biodiversité aérienne et tellurique, peuvent également contribuer à une plus grande autonomie des producteurs vis-à-vis des intrants extérieurs, tout en étant productifs et économiquement viables.

L'essai mis en place sur la station expérimentale du GRAB pour 3 ans dans 2 tunnels vise à comparer un système « classique » à un système innovant, où 3 leviers principaux sont mobilisés :

- L'utilisation de bandes fleuries en bord de tunnel pour favoriser la biodiversité fonctionnelle, en hébergeant les auxiliaires des cultures. Cette technique vise à limiter les traitements phytosanitaires et l'introduction d'auxiliaires exogènes.
- La complexification du système de culture en cultivant plusieurs espèces de façon simultanée : mélange de 2 espèces en été (tomate+concombre en 2018) et de plusieurs légumes feuilles en automne/hiver. Ce levier doit réduire la sensibilité du système de culture aux problèmes de pathogènes aériens et telluriques.
- L'utilisation de « mulch de transfert », matière organique végétale épandue en couche de plusieurs centimètres sur le sol. Cette technique vise à limiter le développement des adventices en alternative au paillage plastique, à stimuler l'activité biologique du sol et à contribuer à la nutrition des cultures, tout en réduisant le recours aux engrais extérieurs.

2- MATERIEL ET METHODES :

2.1 Conditions de culture :

- Plantation : 12 Avril 2018
- Tomate : Tomate ronde variété Fiorentino (Enza) greffé sur Emperador (RZ). 1 plant/m². Conduite sur 2 bras - 3 rangs
- Concombre : Long lisse variété Diapason (RZ) greffé sur Flexifort (RZ). Densité de 1plant/m² au total (0,5 tomate + 0,5 concombre). Conduite sur 2 bras - 3 rangs
- Début récolte : concombre : 21 mai ; tomate : 20 juin
- Fin des récoltes : concombre : 16 juillet (arrachage des plantes le 17) ; tomate : 12 septembre
- Paillage PE sur le rang de culture – Irrigation goutte à goutte (2 rampes/rang de culture) + quelques aspersion en début de culture

2.2 Dispositif expérimental :

- Site : 2 tunnels froids (T5 et T6) en AB – Station expérimentale du GRAB à Avignon (84)
- Surface de l'essai : 800 m² (2 tunnels de 8x 50m)
- Dispositif : Essai à 2 facteurs croisés et un sous-facteur : 6 modalités

Facteur 1 : Bande fleurie (FS : flower strip), 2 modalités :

- ⇒ 1. Bandes fleuries sur les 2 bordures de tunnel : tunnel 5
- ⇒ 2. Témoin Pas de bandes fleuries : tunnel 6

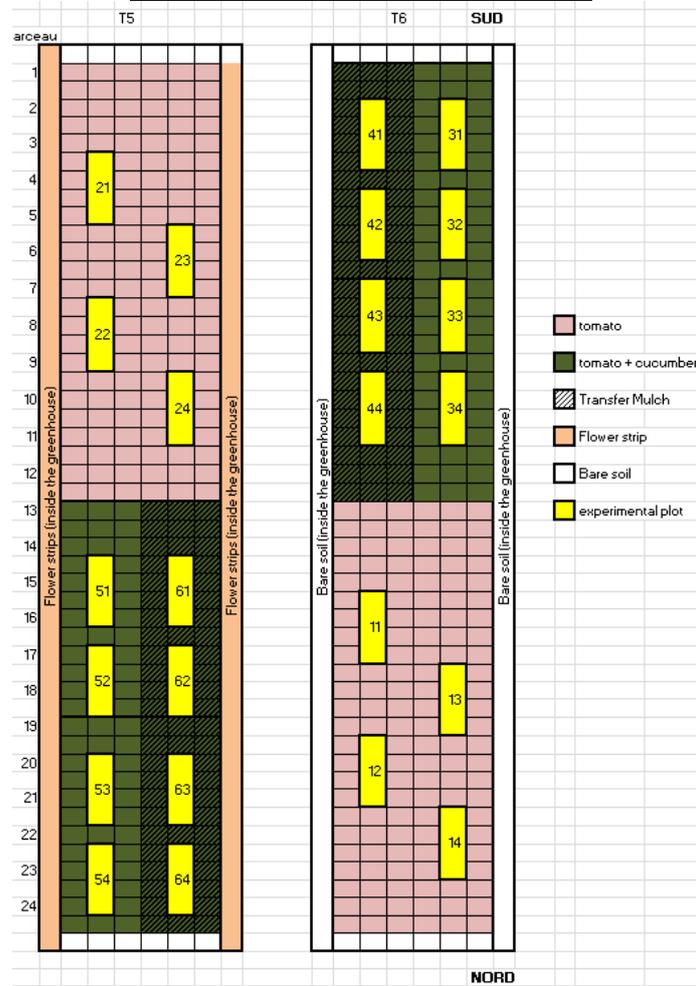
Facteur 2 : Association de cultures – Diversification (MC : mixed crop), 2 modalités

- ⇒ 1. Association tomate – concombre 1 plant sur 2 sur la ligne de plantation (1/2 tunnel dans chaque tunnel)
- ⇒ 2. Témoin : monoculture tomate (1/2 tunnel dans chaque tunnel)

Sous-Facteur : Mulch de transfert en paillage de surface (TM : transfert mulch), 2 modalités

- ⇒ 1. Mulch de transfert : foin de luzerne à 25t/ha (environ 6 cm épaisseur) disposé après travail du sol et avant plantation
 - ⇒ 2. Témoin : paillage plastique
- Le sous facteur n'est étudié que sur l'association de cultures, un rang dans chaque tunnel.

Plan de l'essai (6 systèmes) : Plan A

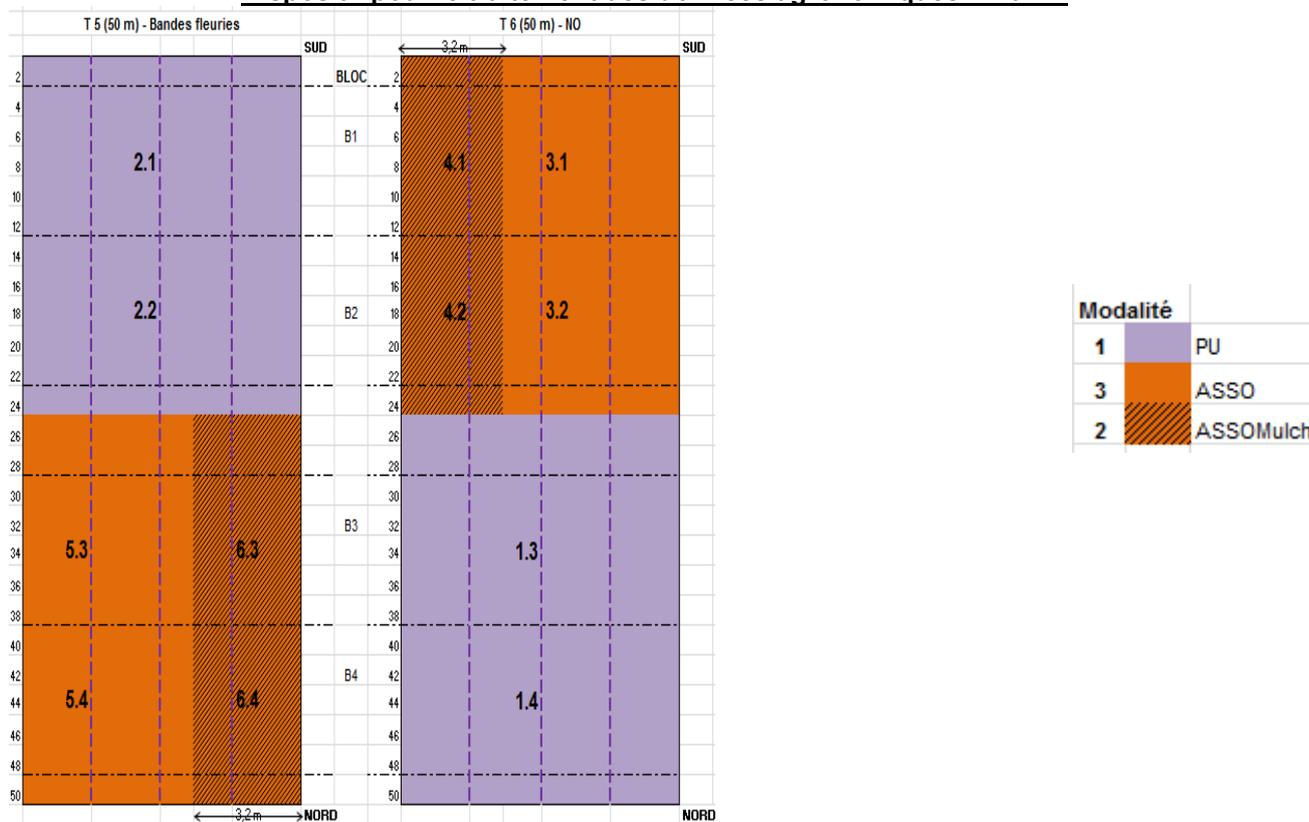


Combinaisons des leviers pour les 6 systèmes étudiés :

	Système	Bande Fleurie (BF/FS)	Association de cultures (ASSO/MC)	Mulch de transfert (MT/TM)
BAU =	1			
	2	X		
	3		X	
	4		X	X
INN =	5	X	X	
	6	X	X	X

Pour les mesures agronomiques sur le sol, le dispositif d'analyse est simplifié de façon à avoir un dispositif à 3 traitements et 4 répétitions en blocs. On fait l'hypothèse pour cette analyse que la bande fleurie influence les résultats aériens (présence de maladies et ravageurs) mais n'influe pas sur les résultats des mesures sol et la productivité globale de la culture (hors dégâts sur récoltes). Les 3 traitements sont alors PU (culture pure = tomate en 2018), ASSO (culture associée = tomate + concombre en 2018) et ASSOMulch (culture associée + mulch de transfert).

Dispositif pour le traitement des données agronomiques : Plan B



2.3 Mesures et observations :

2.3.1 : Suivi Sol (WP3, tâche 1 du projet)

- **Mesure de la température du sol** : sondes hobo disposées à 10 cm de profondeur, mesures horaires
- **Mesure de l'humidité du sol** : Tensiomètres watermark disposés à 15, 30 et 45 cm de profondeur, mesures horaires
- **Mesures de l'azote minéral du sol (et plantes)** :
 - * Azote minéral total sur les horizons 0-30 et 30-60 cm de sol : mesures avant plantation, au milieu et en fin de culture – échantillons composites de 8 prélèvements par parcelle agronomique (plan B) – analyses de laboratoire (AUREA).
 - * Azote nitrique sur 0-25 cm : échantillons composites de 15 prélèvements par quart de tunnel toutes les 3 semaines du 5 avril au 18 septembre. Dosage au nitrachek + mesure du taux d'humidité.
 - * Azote nitrique du jus p étioilaire (indicateur de nutrition azotée): mesures tous les 15 jours sur 12 pétioles de jeunes feuilles adultes/culture prélevés par quart de tunnel. Dosage au nitrachek
- **Mesures de la composition chimique du sol** : pH, teneurs en C, N, P, K. une analyse par parcelle agronomique (plan B) au début (2018) et à la fin de l'essai (2020).

2.3.2 : Suivi des performances culturales (WP2) et du bilan imports/exports en minéraux des systèmes (WP3-tâche 2 du projet)

- Mesures des rendements en fruits sur 4 placettes de mesures de 10 plantes par modalité : 5 concombres et 5 tomates ou 10 tomates. Rendement total, rendement commercialisable, déchets par catégories (défauts de forme ou de coloration, dégâts de ravageurs...). Mesure de la biomasse sèche des fruits sur 5 séries (dates de récoltes) de 2 fruits par placette.
- Mesure de la biomasse totale aérienne des plantes en fin de culture : pesée de 2 plantes entières par placette + teneur en matière sèche sur un échantillon aliquote.

- Dosage des éléments N (et P et K) sur fruits et parties aériennes – analyse de laboratoire (AUREA)
- Calcul et analyse de tous les intrants azotés (amendements, engrais, mulch de transfert...)

2.3.3 : Suivi de la biodiversité (WP4)

- **Biodiversité du sol (tâche 1)** : 1) mesures de la biomasse et de la diversité microbienne et 2) mesures des communautés de nématodes. Ces mesures sont assurées par 2 partenaires du projet : Université d'Aarhus en Suède pour 1) et ILVO en Belgique pour 2) ; elles sont réalisées au début, milieu et fin du projet.

- **Suivi des maladies et ravageurs sur la culture (tâche 2)** :

*** Suivi des ravageurs**

Le comptage est effectué sur 5 bras par placette et sur 5 feuilles par bras. Pour chaque espèce de ravageur, une classe d'intensité de présence de 0 à 5 est attribuée à chaque feuille.

Classe	0	1	2	3	4	5
Nombre d'insectes	Aucun	1-3	4-10	11-30	31-100	>100

***Suivi des maladies**

Le suivi des maladies telles que l'oïdium, le mildiou ou la cladosporiose est réalisé par une estimation de la surface d'un bras entier de la plante touchée par les maladies. Pour chaque placette, 10 bras de concombre et 10 bras de tomates sont observés, et une classe d'intensité est attribuée à chaque bras

Classe	0	1	2	3	4	5
Surface touchée (%)	Pas de symptômes	Traces	2-10%	10-20%	20-30%	Plus de 30

- **Suivi de la biodiversité aérienne et des arthropodes du sol** :

Biodiversité aérienne : pose de bols jaunes à 1 m de hauteur (4 par modalité) du 25/05 au 03/09

Biodiversité du sol : pose de pièges Barber (4 par modalité) du 05/06 au 28/08

Les bols jaunes et pièges sont remplis toutes les 2 semaines avec une solution savonneuse salée et relevés après une semaine.

3- RESULTATS

3.1 Indicateurs sol :

3.1.1 Températures du sol :

Les moyennes journalières des températures de sol à 10 cm de profondeur sont globalement plus élevées sous paillage plastique que sous sol nu ou mulch de foin de luzerne (graphique 1). Le paillage occasionne une température plus élevée de 2 à 3°C pendant le 1^{er} mois de la culture, puis d'environ 1°C pendant la suite de la culture. En été, le foin de luzerne tamponne les températures élevées, et occasionne des températures de 1 à 2 °C plus faibles.



Graphique 1 : Températures moyennes journalières sol à 10 cm sous les différents paillages

Si on regarde les valeurs mensuelles des valeurs de température moyenne, minimale et maximale (tableau 1), on constate que :

- Entre le sol nu sans paillage et le mulch de foin : La température moyenne est proche, sauf en période chaude (juillet et août) où la température est moins élevée d'1 degré sous le foin. L'effet tampon du foin est néanmoins particulièrement visible, avec des températures minimales qui restent de 1 à 3°C plus élevées, et des maxima de 2 à 3°C moins élevés notamment en période chaude. Sous mulch de foin, la température du sol à 10 cm de profondeur a oscillé entre 14 et 25,5°C, alors qu'elle a oscillé entre 12 et 28°C sous le sol nu.
- Entre le paillage plastique et le sol nu : Le paillage plastique permet un réchauffement du sol de 2 à 4 degrés pendant les premières semaines de culture, puis d'environ 1 degré jusqu'à la fin du mois d'août. Par la suite, les températures sont sensiblement les mêmes.

Globalement, sur la durée des cultures, la température moyenne du sol est donc de 1,2°C moins élevée sous le foin de luzerne que sous le paillage plastique.

Tableau 1 : Valeurs mensuelles des températures sol mini, maxi et moyennes à 10 cm

Mois	Températures moyennes			Températures mini			Températures maxi		
	Mulch	Plastique	Sol nu	Mulch	Plastique	Sol nu	Mulch	Plastique	Sol nu
Avril	21,1	22,3	20,0	14,3	14,4	12,0	25,5	27,3	26,0
Mai	19,5	20,6	19,4	16,3	15,9	13,0	21,6	23,9	24,0
Juin	20,3	21,3	20,2	18,8	19,1	17,0	21,8	23,8	24,0
Juillet	21,9	23,6	23,1	19,7	21,1	20,0	24,3	26,8	28,0
Août	22,5	23,6	23,4	18,9	19,2	17,0	24,9	27,7	28,0
Septembre	20,7	21,5	20,7	19,0	19,6	18,0	22,6	23,8	23,0
Moyenne	21,0	22,2	21,3	14,3	14,4	12,0	25,5	27,7	28,0

3.1.2 Humidité du sol :

Les courbes des valeurs tensiométriques sous les différents traitements et aux différentes profondeurs figurent en annexe 1. On constate les évolutions suivantes :

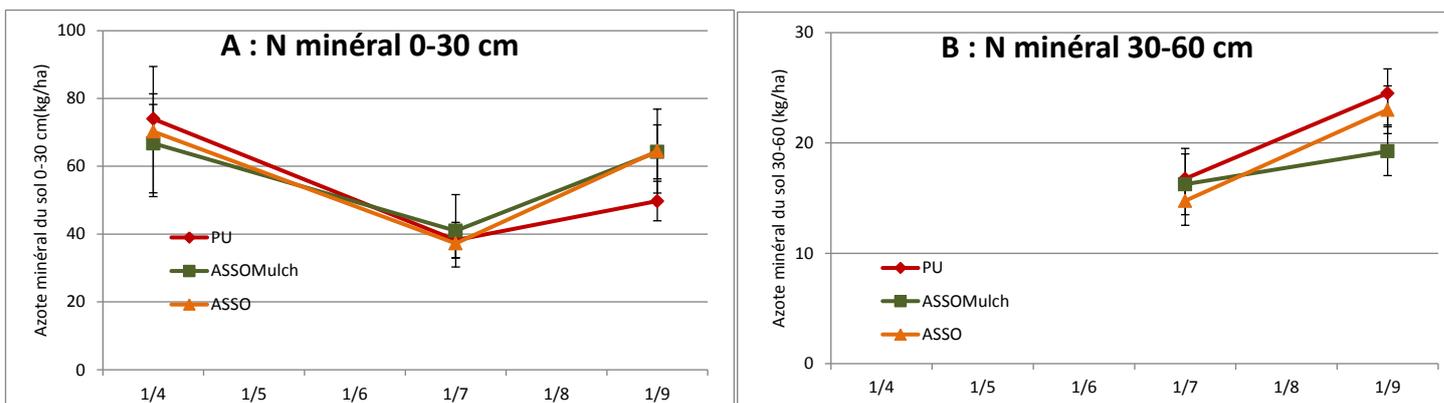
- T6 Sud : la comparaison des tensions entre les différents paillages de sol montre des évolutions similaires entre le sol nu et le paillage plastique, avec un sol qui est resté très humide tout le long de la culture et sur tous les horizons, et notamment une saturation du sol importante après la plantation pendant 2 à 3 semaines. Sous le mulch de foin le sol, après saturation initiale, s'est asséché progressivement, avec des tensions très élevées à partir de fin juillet, même dans les horizons inférieurs.
- T5 : les tensiomètres révèlent des valeurs plus élevées et donc une alimentation en eau réduite par rapport au T6, notamment au sud (comparaison T5S et T6S).
- Dans les 2 tunnels, on note des tensions plus élevées dans les ½ tunnels nord que dans les ½ tunnels sud.

Malgré l'utilisation des sondes watermark pour piloter l'irrigation sous les différents traitements, on constate qu'il y a eu des différences de disponibilité de l'eau selon les traitements. Ainsi, dans le T6, l'irrigation a été restreinte sous le foin de luzerne après une saturation initiale trop importante, mais il est ensuite apparu rapidement que malgré un rétablissement de régimes d'irrigation similaires, le sol s'asséchait davantage que sous paillage plastique. Entre les 2 tunnels, on note une différence de disponibilité en eau, avec une offre globalement trop importante dans le T6 (sauf sous foin). Enfin, la différence de disponibilité de l'eau dans les 2 tunnels entre le Nord et le Sud provient probablement de la compétition avec une haute haie de cyprès situés au nord des tunnels. Ces évolutions, et notamment l'assèchement important sous le mulch, devront être confortées par les suivis des années suivantes sur cet essai.

3.1.3 Mesures de l'azote minéral du sol (et plantes)

* Azote minéral total sur les horizons 0-30 et 30-60 cm

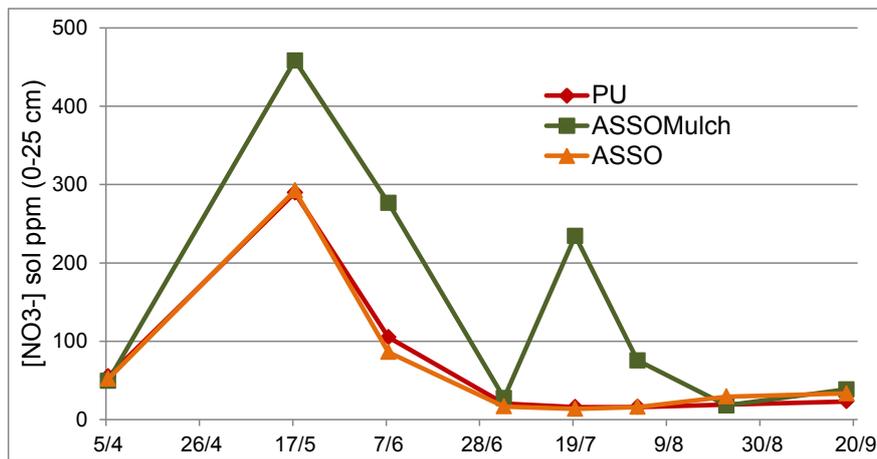
Les mesures de l'azote minéral, nitrique et ammoniacal, contenu dans le sol avant la plantation (avril), au milieu de la culture (juillet) et en fin de culture (septembre) de tomate ne montrent aucune différence entre les différents traitements agronomiques. Les valeurs oscillent autour de 60 kg/ha dans l'horizon supérieur et 20 kg/ha dans l'horizon inférieur (graphique 2).



Graphique 2 : Azote minéral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) en kg/ha dans les horizons 0-30 (A) et 30-60 (B) au début, milieu et fin de la culture de tomate 2018

* Azote nitrique sur 0-25 cm

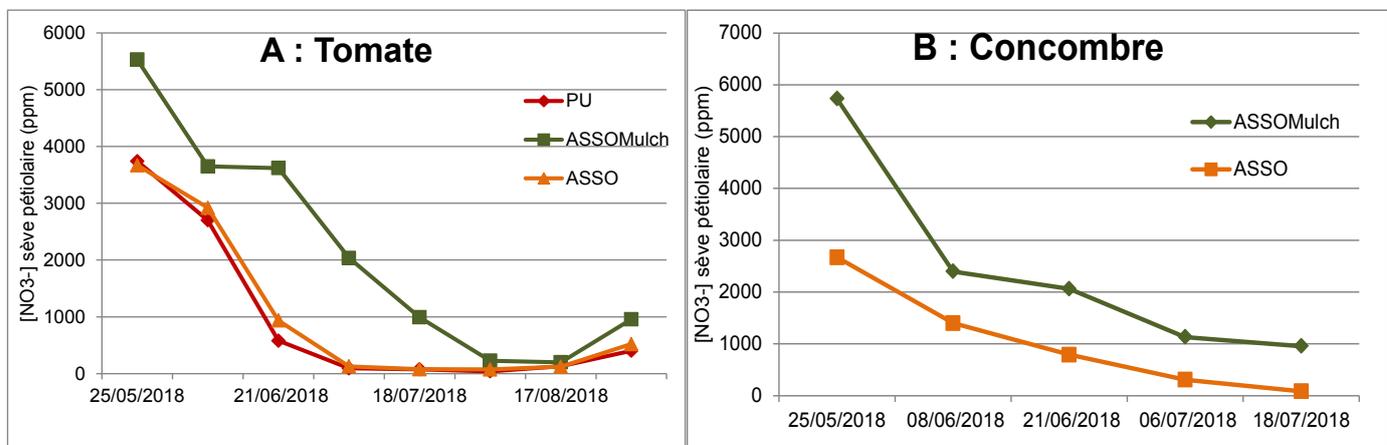
Les mesures d'azote nitrique dans l'horizon supérieur réalisées de façon régulière pendant la culture de tomate révèlent des différences entre le traitement « ASSOMulch » et les traitements PU et ASSO. Les mesures montrent que la présence de foin de luzerne en surface a occasionné environ 200 unités de nitrates de plus dans le sol à partir de la mi-mai, et que la teneur reste plus élevée jusqu'à la mi-août environ (graphique 3). Il n'y a aucune différence entre les traitements PU et ASSO. Ces résultats montrent donc que, même laissé en surface, le foin de luzerne a contribué à la fourniture d'azote à relativement court-terme.



Graphique 3 : Concentration en azote nitrique (ppm) du sol dans l'horizon 0-25 cm pendant la culture de tomate 2018

*** Azote nitrique du jus pétioleaire**

Cette mesure, basée sur la méthodologie PILAzo, reflète le statut de nutrition azotée des plantes. Le suivi réalisé sur les cultures montre que les tomates étaient significativement plus alimentées en azote sur la modalité ASSOMulch, avec des différences importantes, jusqu'à début août (graphique 4A). Les plantes de tomates étaient visiblement plus vigoureuses sur le foin de luzerne à partir de juillet. De même, sur la culture de concombre, la sève des pétioles est plus concentrée en nitrates dans la modalité ASSOMulch. Le foin de luzerne a donc positivement contribué à la nutrition des plantes pendant leur croissance jusqu'à début août, ce qui conforte les résultats d'analyse de nitrates dans le sol. Il n'y a par contre pas de différence de nutrition des tomates entre les modalités où elles sont cultivées seules (PU) et celles où elles sont associées au concombre (ASSO).



Graphique 4 : Concentration en azote nitrique (ppm) de la sève pétioleaire des plantes pendant la culture de tomate (A) et concombre (B)

*** Analyses chimiques de terre**

L'ensemble des analyses réalisées sur les différentes parcelles agronomiques figure en annexe 2. Elles révèlent une assez forte hétérogénéité des valeurs initiales au sein des tunnels, et des différences de valeurs moyennes entre les 2 tunnels, le tunnel 6 étant globalement plus riche en matière organique (3% contre 2,6%) et en éléments nutritifs (N,P,K) que le tunnel 5. Néanmoins, les moyennes des valeurs initiales entre les traitements sont homogènes (tableau 2). Ces analyses seront à nouveau réalisées en fin d'essai pour juger de l'évolution de la composition chimique du sol sur les différents traitements.

Tableau 2 : Valeurs moyennes des caractéristiques chimiques du sol par traitement à T0 (avril 2018)

	pH KCl	C (g/kg)	%N	P2O5 (Olsen) (g/kg)	K2O (g/kg)
PU	7,85 (±0,13)	15,7 (±4,7)	0,18 (±0,02)	0,038 (±0,009)	0,268 (±0,061)
ASSOMulch	7,93 (±0,13)	17,9 (±2,7)	0,19 (±0,01)	0,037 (±0,006)	0,225 (±0,035)
ASSO	7,78 (±0,13)	16,0 (±3,4)	0,19 (±0,02)	0,040 (±0,012)	0,260 (±0,062)

3.2 Performances culturales et bilan en minéraux des systèmes :

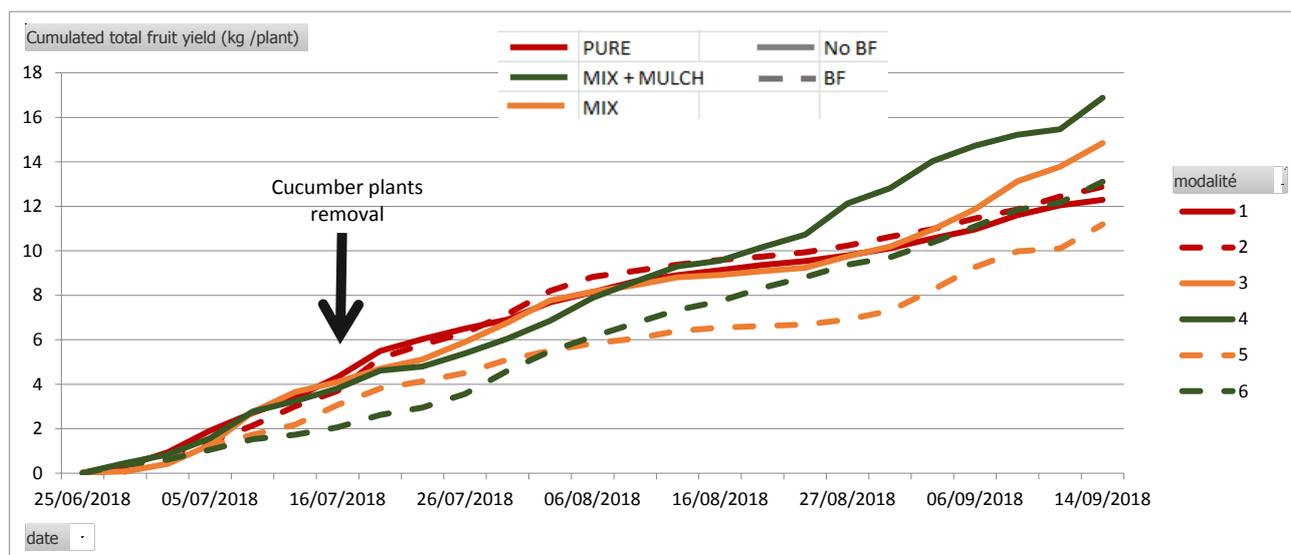
3.2.1 Rendement des cultures

* Rendement de la culture de tomate

L'analyse des courbes du rendement total cumulé en fruits sur les différents traitements (graphique 5) montre les évolutions suivantes au cours du temps :

- Le rendement initial est plutôt supérieur sur la culture pure que la culture associée, mais la différence est faible et s'amenuise par la suite, notamment après l'arrachage des concombres de l'association le 17 juillet
- Le rendement initial est légèrement inférieur sur le mulch au début de la culture mais la tendance s'inverse au début du mois d'août avec un rendement supérieur sur le mulch.
- Il y a une différence importante de productivité entre le tunnel 5 (BF) et le tunnel 6 (sans bande fleurie) pour les traitements ASSO et ASSOMulch. Cette différence ne s'exprime pas sur les performances de la tomate cultivée seule.

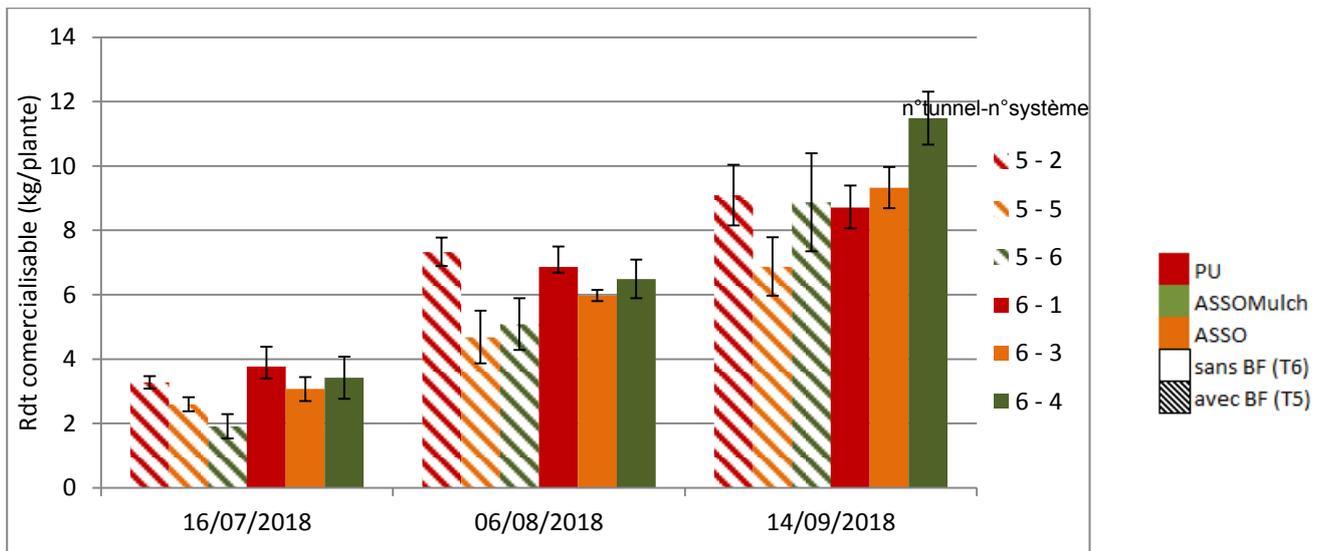
Sur la durée de la culture, la tomate a produit 12,6 ; 13,1 et 15 kg/plante sur les modalités PU, ASSO et ASSOMulch respectivement. Ces différences ne sont néanmoins pas significatives ($p=0,07$), alors qu'il y a un effet bloc significatif (blocs 3 et 4 inférieurs). Cet effet bloc, particulièrement marqué pour le B4, peut probablement s'expliquer par l'assèchement important dans les parties N du tunnel, visible sur les suivis tensiométriques (voir 3.1.2).



Graphique 5 : Rendement total cumulé des fruits de tomates sur la totalité de la période de récolte

Les rendements commercialisables cumulés peuvent être analysés à 3 dates, correspondant au rendement jusqu'à arrachage de la culture de concombre (16 juillet), soient 3 semaines de récoltes ; 3 semaines après (6 août) ; et au rendement total (12 septembre) (graphique 6).

- Jusqu'au 16 juillet, le rendement de la tomate est similaire en culture pure (systèmes 1, « PU », et 2, « PU-BF ») et en culture associée (systèmes 3 à 6)
- Le 6 août, 3 semaines après l'arrachage des concombres, le rendement de la tomate est significativement plus élevé en culture pure, ce qui peut refléter un impact négatif de l'association sur les premiers stades de la culture. On note également une plus faible productivité des systèmes associés (ASSO et ASSOMulch) dans le tunnel avec bande fleurie (T5)
- Sur le rendement commercialisable total de la culture au 12 septembre, on constate à nouveau la forte différence des systèmes associés entre les 2 tunnels alors qu'elle n'est pas visible sur la tomate cultivée seule (PU). Cette différence est probablement liée au fait que les systèmes associés sont positionnés au nord dans le tunnel 5 et au sud dans le tunnel 6. Les tomates ont pu souffrir de manque d'eau dans le nord du tunnel 5, comme c'était visible sur le rendement total.

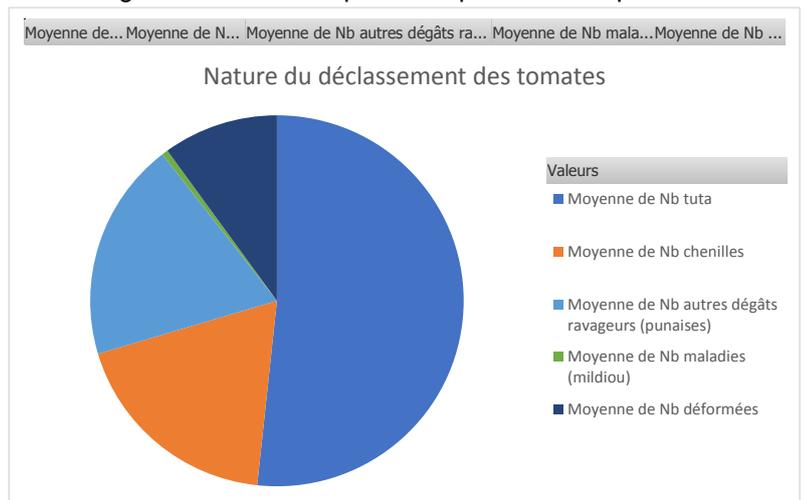


Graphique 6 : Rendement commercialisable cumulé de la tomate à 3 (16/7) et 6 (6/8) semaines de récolte et sur la durée de la culture (12/9) sur les 6 systèmes – Les barres d'erreur représentent l'écart-type

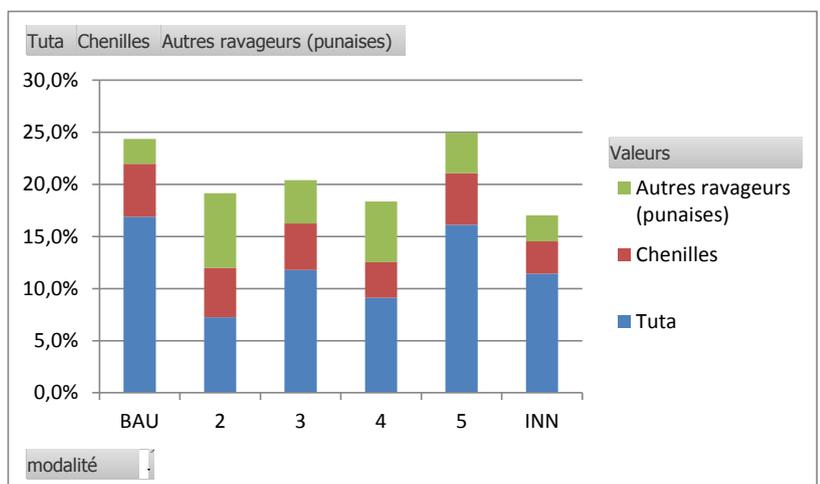
Globalement, les tomates ont produit un rendement commercialisable de 8,9 kg/plante, 8,1 et 10,2 pour les modalités PU, ASSO et ASSOMulch respectivement. L'impact du mulch est significatif sur le rendement de la tomate ($p=0,028$) et permet de produire environ 2 kg de tomates de plus lorsque l'on compare les modalités ASSO et ASSOMulch.

Le déclassé des tomates, qui représente environ 1/3 de la production, est en grande partie lié à des dégâts de ravageurs, et notamment de tuta absoluta (graphiques 7 et 8).

Aucun effet des facteurs ne peut cependant expliquer les différences observées entre les systèmes, sauf le mulch qui expliquerait la moindre proportion de dégâts de tuta absoluta entre ASSO et ASSOMulch (comparaison des systèmes 3 et 4 ; 5 et 6) dans chaque tunnel [$p=0,006$, test de Wilcoxon sur échantillons appariés].



Graphique 7 : nature du déclassé des tomates



Graphique 8 : Pourcentage de dégâts des 3 principaux ravageurs sur les 6 systèmes de l'essai

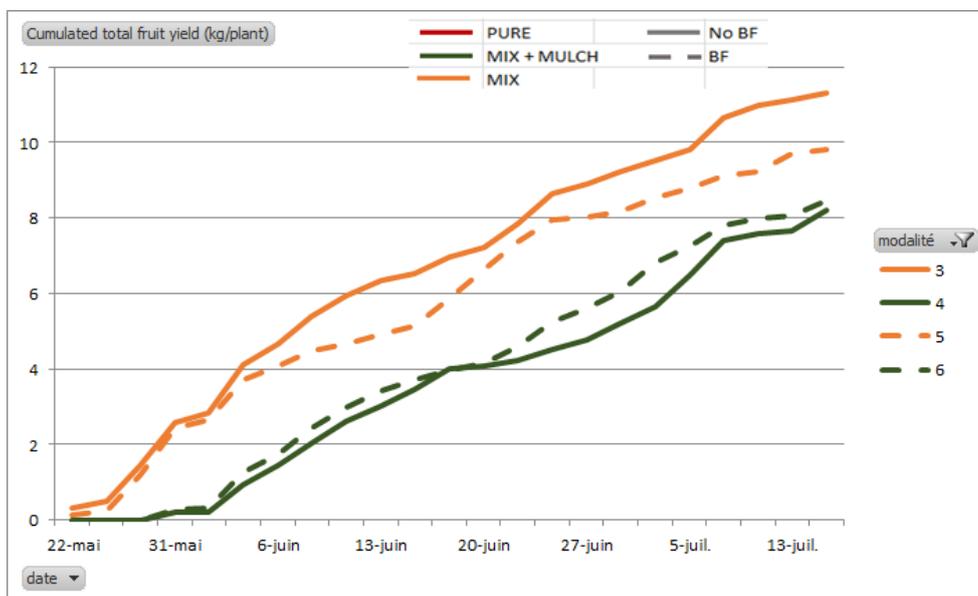
* Rendement de la culture de concombre

L'observation des courbes de rendement total cumulé du concombre sur les 4 systèmes associés (graphique 9) montre que :

- Les concombres sur les modalités « mulch » commencent à produire environ 10 jours après les modalités

sur plastique, la différence de rendement est alors de 2,5 kg/plante environ.

- Les courbes suivent ensuite une pente similaire, ce qui signifie que la récolte hebdomadaire est la même dans tous les traitements
- On n'observe pas sur le concombre la différence de productivité entre les 2 tunnels observée sur la tomate. Il n'a donc a priori pas souffert du manque d'eau.



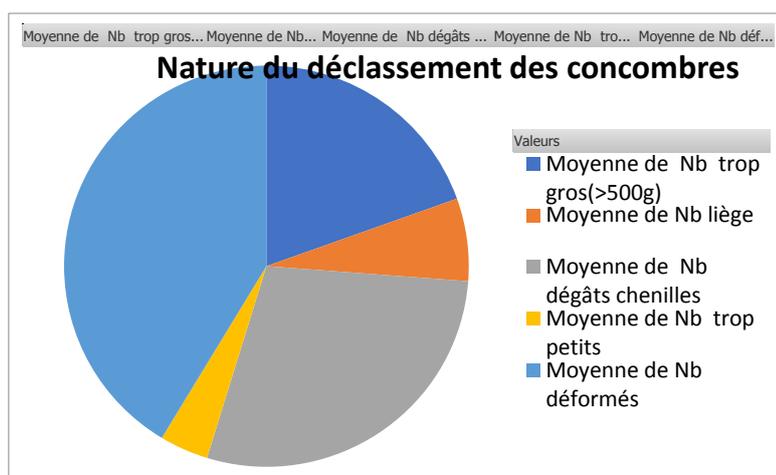
Graphique 9 : Rendement total cumulé de concombres

Pour la culture précoce et courte qu'est le concombre comparativement à la tomate, l'impact du mulch de foin de luzerne s'est donc avéré négatif sur le rendement. L'effet résulte à la fois de la différence de température entre le paillage plastique et le paillage organique (voir 3.1.1) et également d'une humidité excessive sous le foin les semaines qui ont suivi la plantation (voir 3.1.2). Globalement, le rendement du concombre est de 11 kg/plante dans la modalité ASSO, contre 8,5 dans la modalité ASSOMulch. La différence est statistiquement significative.

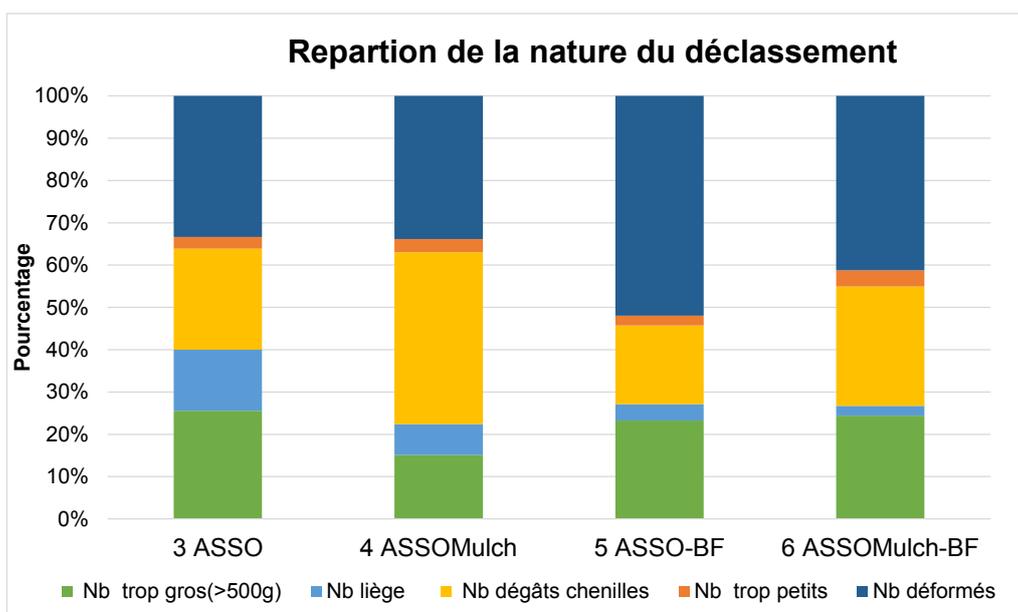
Le déclassement des concombres représente globalement environ 1/3 de la production, comme pour la tomate, et est principalement dû à des problèmes de calibre ou de déformations (graphique 10). Le rendement commercialisable est significativement plus important sur plastique que sur mulch, avec 7,2 et 4,9 kg/plante respectivement.

Le % de déchets est significativement moins élevé dans le tunnel bande fleurie, mais avec proportionnellement plus de concombres déformés (graphique 11). Les dégâts sur fruits liés aux ravageurs sont essentiellement ceux de chenilles ayant « brouté » l'épiderme. Sur le pourcentage de fruits touchés par les chenilles, on observe des effets significatifs des facteurs :

- Bande fleurie : Moins de dégâts dans le tunnel bande fleurie (6,8%) que dans le tunnel sans (13%) ; $p=0,013$ test de Wilcoxon
- Mulch : Plus de dégâts sur mulch (14%) que sur plastique (6,7%) ; $p=0,006$ test de Wilcoxon



Graphique 10 : nature du déclassement des concombres



Graphique 11 : Répartition de la nature du déclassement sur les 4 systèmes avec concombre

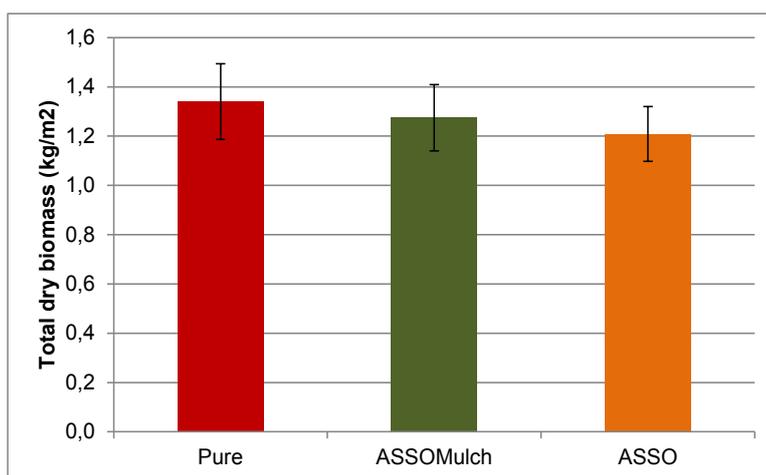
3.2.2 Productivité globale des systèmes

Sur les cultures de l'été 2018, il n'y a pas de différence de productivité totale (fruits+plantes) entre les systèmes, celle-ci étant de 1,34 ; 1,27 et 1,21 kgMS/m² pour les modalités PU, ASSOMulch et ASSO respectivement (graphique 12).

La moindre productivité des concombres cultivés sur mulch est compensée par une production de biomasse sèche plus importante des tomates (tableau 3).

On remarque que les plantes de tomates en fin de culture sont significativement plus développées sur les modalités associées (8,3 et 9,8 kg/plante) que dans la culture pure (5,3 kg/plante). La différence résulte sans doute du plus grand espace dont ont bénéficié les tomates après arrachage des concombres adjacents mi-juillet.

Dans l'association de cultures, la biomasse sèche des concombres représente 20 à 27% de la biomasse totale produite.



Graphique 12 : Production de biomasse sèche totale (fruits+plantes) en kg/m² pour les différentes modalités. La barre d'erreur représente l'écart-type

Tableau 3 : Biomasses fraîches, %MS et biomasse sèche des fruits et plantes de tomates et concombres sur les différentes modalités. Moyenne (±écart-type) ; les chiffres suivis d'une lettre sont statistiquement différents (test de Newman-Keuls au seuil de 5%).

	Biomasse fraîche totale fruits/plante (kg)	Biomasse fraîche 1 plante (kg)	% MS fruits	% MS plante	Biomasse sèche totale (kg/plante)
CO-ASSOMulch	8,48 (± 0,65) B	2,37 (± 0,32)	3,0 (±0,09)	10,6 (±1,1) B	0,51 (±0,06) A
CO-ASSO	10,67 (± 1,38) A	2,42 (±0,42)	3,1 (±0,22)	13,1 (±0,8) A	0,65 (±0,07) B
Moy Concombre	9,54 (±1,50)	2,40 (± 0,35)	3,1 (±0,17)	11,8 (±1,5)	0,58 (±0,09)
TO-PURE	12,60 (±0,98)	5,29 (± 1,21) B	5,5 (±0,09)	12,3 (±0,7)	1,34 (±0,18) C
TO-ASSOMulch	14,99 (± 2,90)	9,84 (± 2,39) A	5,6 (±0,30)	12,3 (±0,8)	2,04 (± 0,34) A
TO- ASSO	13,06 (±2,18)	8,27 (± 1,70) A	5,4 (±0,33)	12,9 (±0,9)	1,76 (±0,25) B
Moy Tomate	13,49 (± 2,30)	7,74 (± 2,56)	5,5 (±0,27)	12,5 (±0,8)	1,71 (±0,39)

3.2.2 Bilan entrées-sorties des systèmes

* Entrées d'éléments nutritifs dans les systèmes (apports)

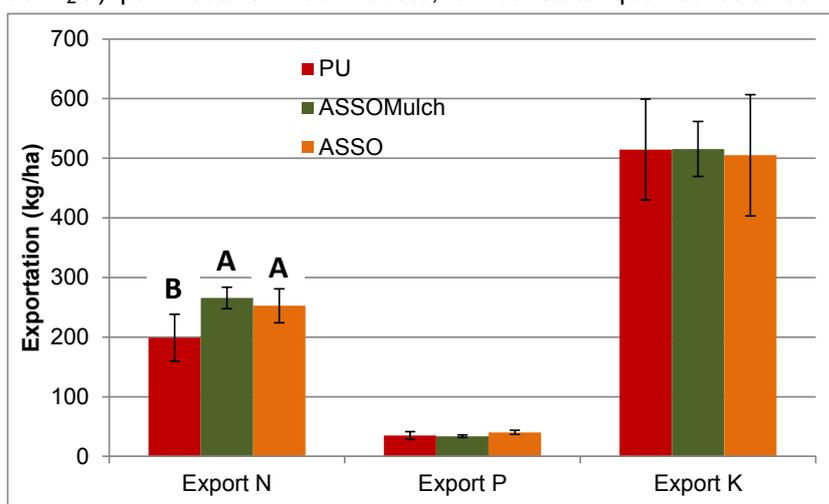
Pour la première culture de l'essai Greenresilient, nous avons fait l'hypothèse que le foin de luzerne disposé en surface dans le traitement ASSOMulch minéraliserait trop lentement pour contribuer de façon significative à la nutrition des plantes. Les doses d'amendement et d'engrais apportées avant la plantation ont donc été les mêmes sur tous les traitements. Ils correspondent à une fertilisation relativement standard en AB et sont récapitulés dans le tableau 4. Sur les traitements PU et ASSO, 2 apports de vinasses ont également été réalisés par fertirrigation le 24/7 et le 4/8 car les tomates manquaient de vigueur et les teneurs en nitrates du jus pétiolaire étaient très basses (voir graphique 4).

Tableau 4 : Détail des apports de fertilisants apportés avant et après plantation sur les différents traitements

Produit	Nom	Société	Dose (t/ha)	Composition (%)				Nutriments apportés (kg/ha)			
				N	P2O5	K2O	C/N	N	P2O5	K2O	
Amendement	Humicoop 13	Germiflor	5	2,1	1,6	2	12	105	80	100	
Engrais	AB Flor 6 bouchon	Germiflor	2	6	7	10	4	120	140	200	
Engrais	AB Flor 13 poudre	Germiflor	0,875	13	0	0	?	114	0	0	
Total éléments apportés avant plantation								339	220	300	
Foin de Luzerne	Sur modalité ASSOMulch		21,8	2,8	0,46	2,1	16,8	620	101	457	
Sur modalité PU et ASSO, 2 apports en cours de culture :					kg/100l						
Vinasses	Plantain	Plantain	2*500 l/ha	4	0	8		40		80	
TOTAL des apports par traitement											
								PU	379	220	380
								ASSO	379	220	380
								ASSOMulch	959	321	757

* Sorties d'éléments nutritifs dans les systèmes (exportations)

Les exportations totales par traitement sont similaires pour les éléments P et K et sont de l'ordre de 40 unités P (83 P₂O₅) et 500 unités K (600 K₂O) par hectare. Pour l'azote, on constate que les cultures associées dans les traitements ASSO et ASSOMulch ont exporté davantage que la culture de tomate seule, avec environ 260 et 200 kg/ha respectivement (graphique 13). La différence résulte surtout d'une productivité de la tomate supérieure sur ces traitements notamment pour les plantes (tableau 3), la concentration en azote des plantes étant proches entre traitements (voir annexe 3). L'annexe 3 présente le détail des teneurs en NPK des différentes cultures et organes et les exportations totales par culture. On constate que la tomate a exporté davantage de N et K sur les cultures associées et notamment dans le traitement ASSOMulch, ce qui a compensé en partie les exportations inférieures du concombre, liées à une productivité plus faible, dans ce traitement.



Graphique 13 : Exportations totales (fruits et plantes) par traitement (kg/ha).

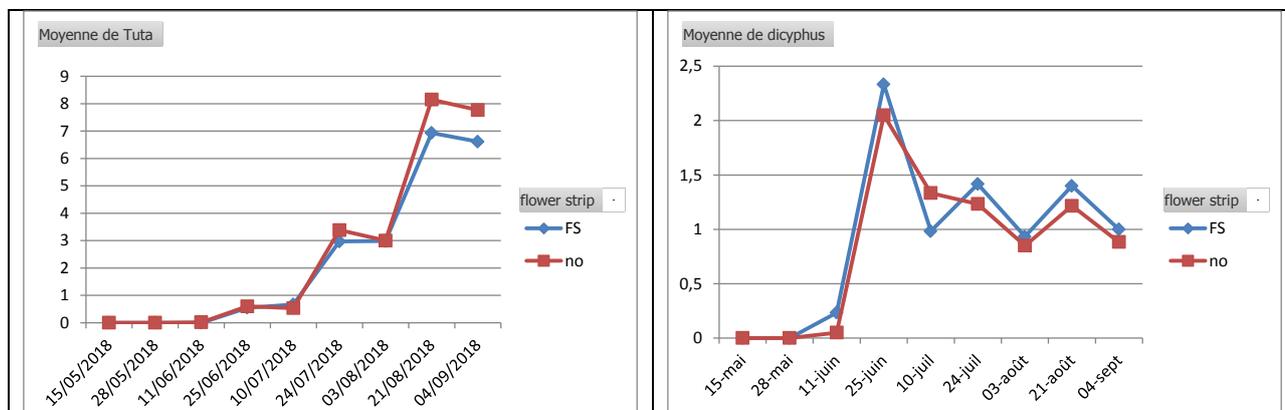
La barre d'erreur représente l'écart-type. Les lettres indiquent des groupes statistiquement différents (test de Newman-Keuls au seuil de 5%)

3.3 Suivi des maladies et ravageurs sur les cultures

3.3.1 Suivi des ravageurs et des auxiliaires sur tomate :

Le principal ravageur de la tomate est la mineuse, *Tuta absoluta*.

* Effet des bandes fleuries (FS)

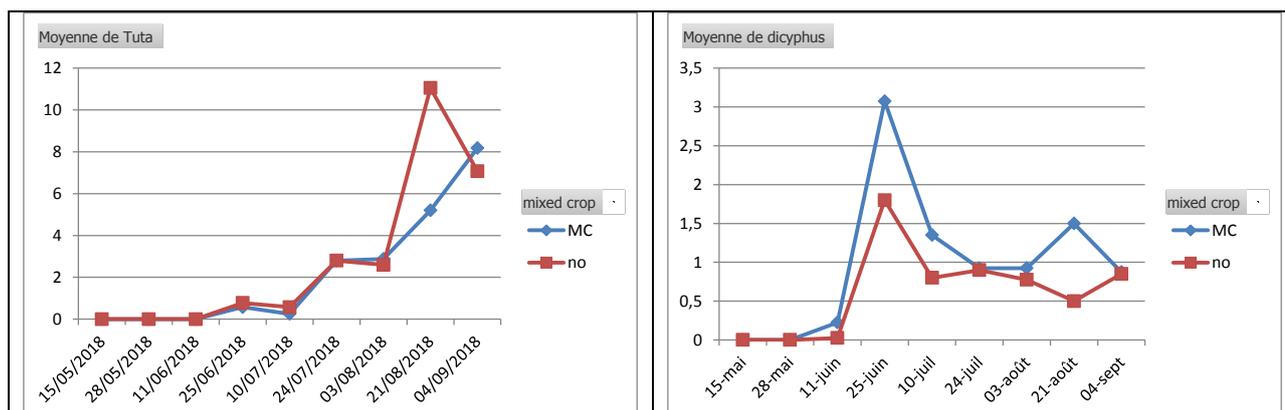


Les dégâts de *Tuta* sur feuille sont faibles jusqu'au 10/07. A partir de cette date, ils augmentent rapidement pour atteindre 8 mines par plante dans les parcelles sans bandes fleuries, et 7 mines par plantes dans les parcelles avec bandes fleuries. Les effectifs de *Dicyphus* sont faibles jusqu'au 11/06, et atteignent environ 2 ind./plant le 25/06.

	FS	no FS	Probabilité
Nb <i>Tuta</i>	2,30	2,59	0,248
Nb <i>Dicyphus</i>	0,92	0,85	0,206
ratio <i>Dicyphus/Tuta</i>	0,45	0,39	0,248

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur bande fleurie n'a pas d'effet sur le nombre de mines par plante et sur les effectifs de *Dicyphus*. L'équilibre auxiliaire sur ravageur est identique.

* Effet des cultures associées (MC) :

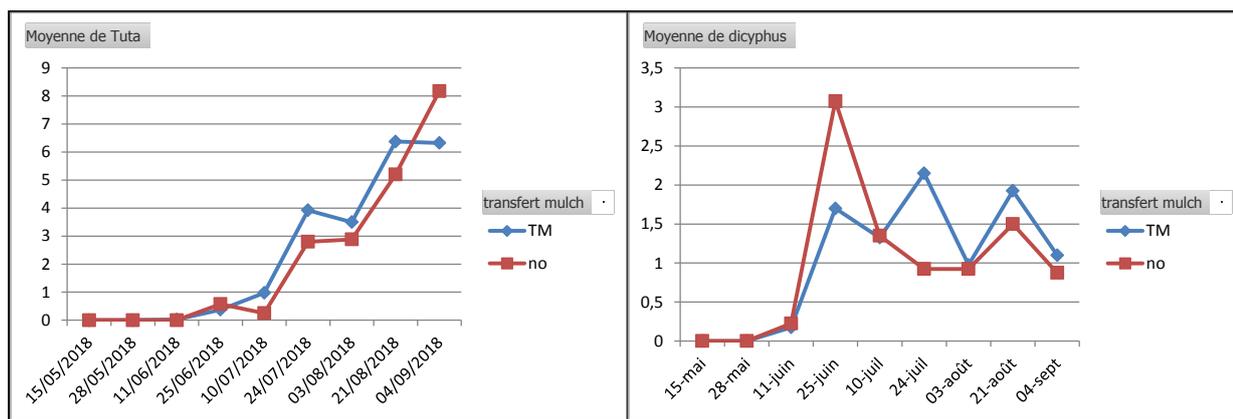


Les dégâts de *Tuta* sur feuille sont faibles jusqu'au 10/07. A partir de cette date, ils augmentent rapidement pour atteindre 8 mines par plante dans les parcelles en association de culture, et 7 mines par plantes dans les parcelles de tomate pure le 04/09. Le 21/08, les parcelles en tomate pure sont plus touchées par *Tuta* (11 mines contre 5 mines). Les effectifs de *Dicyphus* sont faibles jusqu'au 11/06. A partir de cette date, ils augmentent et se situent à environ 1,5 ind./plant. Ils sont plus nombreux dans les parcelles en association de culture les 25/06, 10/07 le 21/08.

	MC	No MC	Probabilité
Nb Tuta	2,18	2,76	1
Nb Dicyphus	0,99	0,63	0,005
ratio <i>Dicyphus/Tuta</i>	0,49	0,26	0,034

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur association de culture n'a pas d'effet sur l'attaque foliaire de Tuta, mais a un effet positif et sur les effectifs de Dicyphus. L'équilibre auxiliaire sur ravageur est significativement plus favorable dans le cas des cultures associées.

* Effet du mulch de transfert (TM) :



Les attaques de Tuta sont très similaires, sur paillage plastique ou sur mulch de transfert. Les effectifs de Dicyphus sont supérieurs sur paillage plastique le 25/06, alors qu'ils sont supérieurs sur mulch de transfert les 24/07 et 21/08.

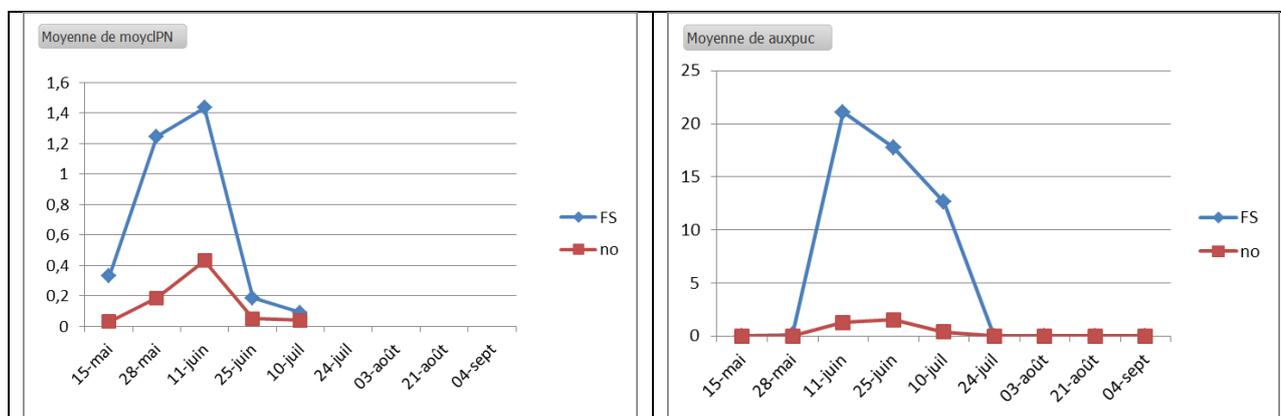
	TM	no TM	Probabilité
Nb <i>Tuta</i>	2,39	2,18	1
Nb <i>Dicyphus</i>	1,04	1,99	0,480
ratio <i>Dicyphus/Tuta</i>	0,46	0,49	1

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur mulch de tranfert n'a pas d'effet sur l'attaque foliaire de Tuta, et sur les effectifs de Dicyphus.

3.3.2 Suivi des ravageurs et des auxiliaires sur concombre :

Le principal ravageur du concombre est le puceron noir *Aphis gossypii*.

* Effet des bandes fleuries (FS)

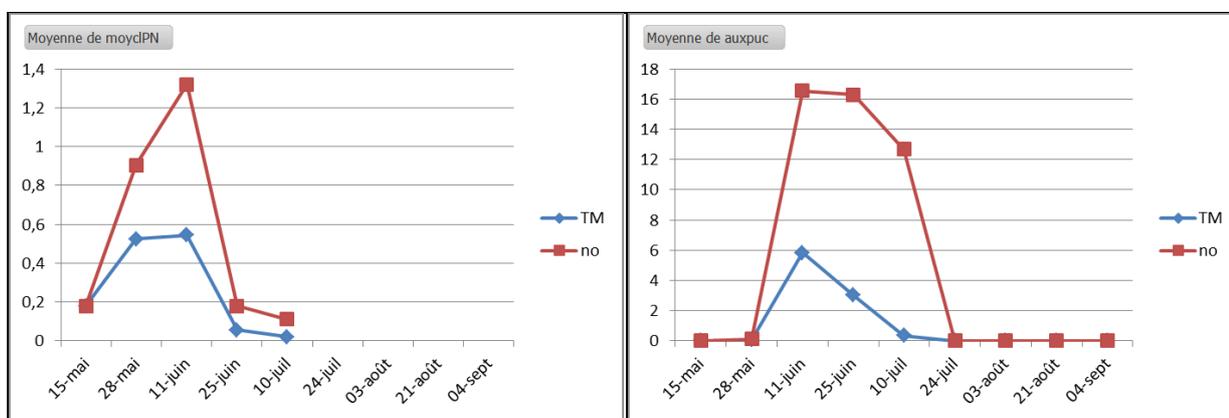


Les populations de pucerons sont beaucoup plus élevées dans les parcelles avec bandes fleuries que dans les parcelles sans bandes fleuries. La moyenne des classes de puceron atteint 1,4 le 11/06 dans les parcelles avec bandes fleuries, contre 0,4 le 11/06 dans les parcelles sans bandes fleuries. Les auxiliaires prédateurs ou parasitoïdes de pucerons sont beaucoup plus nombreux dans les parcelles avec bandes fleuries (22 individus le 11/06) que dans les parcelles sans bandes fleuries (2 individus le 25/06).

	FS	no FS	proba
Moy classes pucerons	0,66	0,15	0,005
Nb auxiliaires	5,74	0,37	0,034
ratio aux/puc	7,98	3,54	0,157

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur bande fleurie a un effet significatif positif sur les effectifs de pucerons et d'auxiliaires. L'équilibre auxiliaire sur ravageur est plus favorable dans les parcelles avec bandes fleuries mais l'effet n'est pas significatif.

* Effet du mulch de transfert (TM)



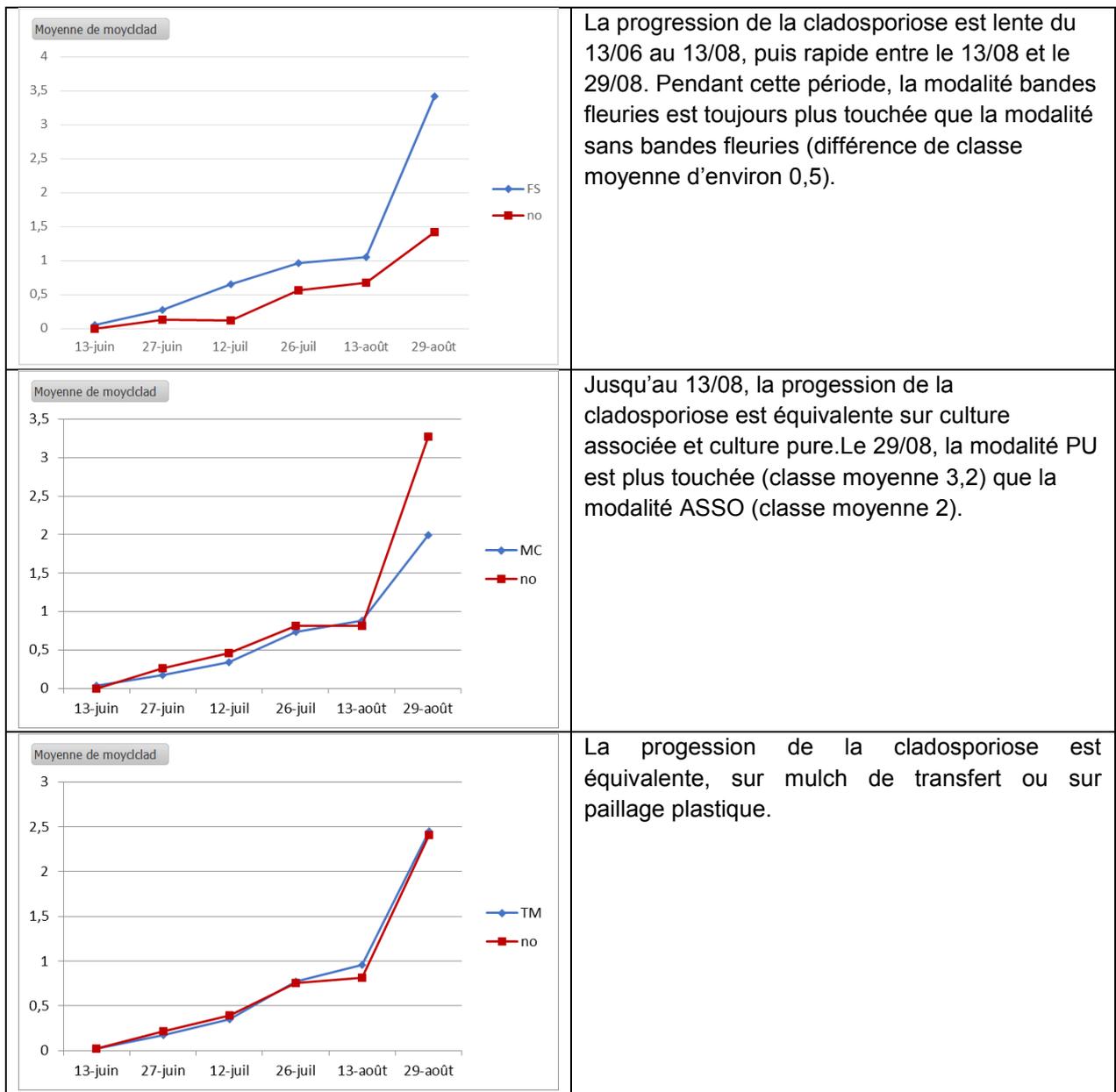
Les populations de pucerons sont beaucoup plus élevées dans les parcelles sans mulch de transfert que dans les parcelles avec mulch de transfert. La moyenne des classes de puceron atteint 1,3 le 11/06 dans les parcelles sans mulch de transfert, contre 0,5 le 11/06 dans les parcelles avec mulch de transfert. De même, Les auxiliaires prédateurs ou parasitoïdes de pucerons sont beaucoup plus nombreux dans les parcelles sans mulch de transfert (16 individus le 11/06) que dans les parcelles avec mulch de transfert (6 individus le 11/06).

	TM	no TM	proba
Moy classes pucerons	0,27	0,54	0,005
Nb auxiliaires	1,03	5,07	0,008
ratio aux/puc	4,23	7,29	1

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur mulch de transfert a un effet significatif négatif sur les effectifs de pucerons et d'auxiliaires. L'équilibre auxiliaire sur ravageur est cependant plus favorable dans les parcelles sans mulch de transfert mais l'effet n'est pas significatif.

3.3.3 Suivi des maladies sur tomate :

La cladosporiose est la principale maladie observée sur tomate.



La progression de la cladosporiose est lente du 13/06 au 13/08, puis rapide entre le 13/08 et le 29/08. Pendant cette période, la modalité bandes fleuries est toujours plus touchée que la modalité sans bandes fleuries (différence de classe moyenne d'environ 0,5).

Jusqu'au 13/08, la progression de la cladosporiose est équivalente sur culture associée et culture pure. Le 29/08, la modalité PU est plus touchée (classe moyenne 3,2) que la modalité ASSO (classe moyenne 2).

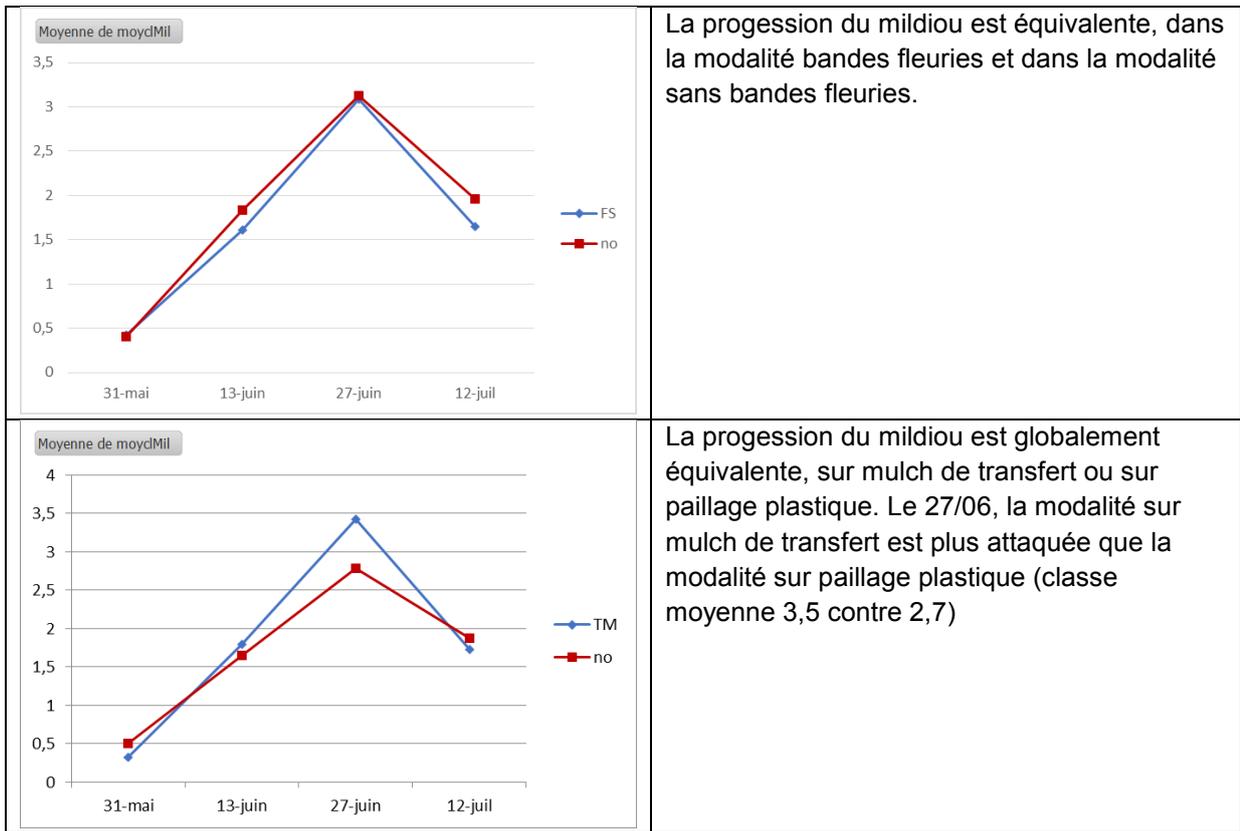
La progression de la cladosporiose est équivalente, sur mulch de transfert ou sur paillage plastique.

	FS	no FS	proba	MC	No MC	proba	TM	no TM	proba
Moy classes Cladosporiose	1,07	0,48	53,20E-05	0,60	0,94	0,005	0,79	0,60	0,157

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que le facteur bande fleurie a un effet significatif positif sur l'attaque de cladosporiose, que le facteur cultures associées a un effet significatif négatif sur l'attaque de cladosporiose, et que le facteur mulch de transfert n'a pas d'effet sur l'attaque de cladosporiose.

3.3.4 Suivi des maladies sur concombre:

Le mildiou est la principale maladie observée sur concombre.

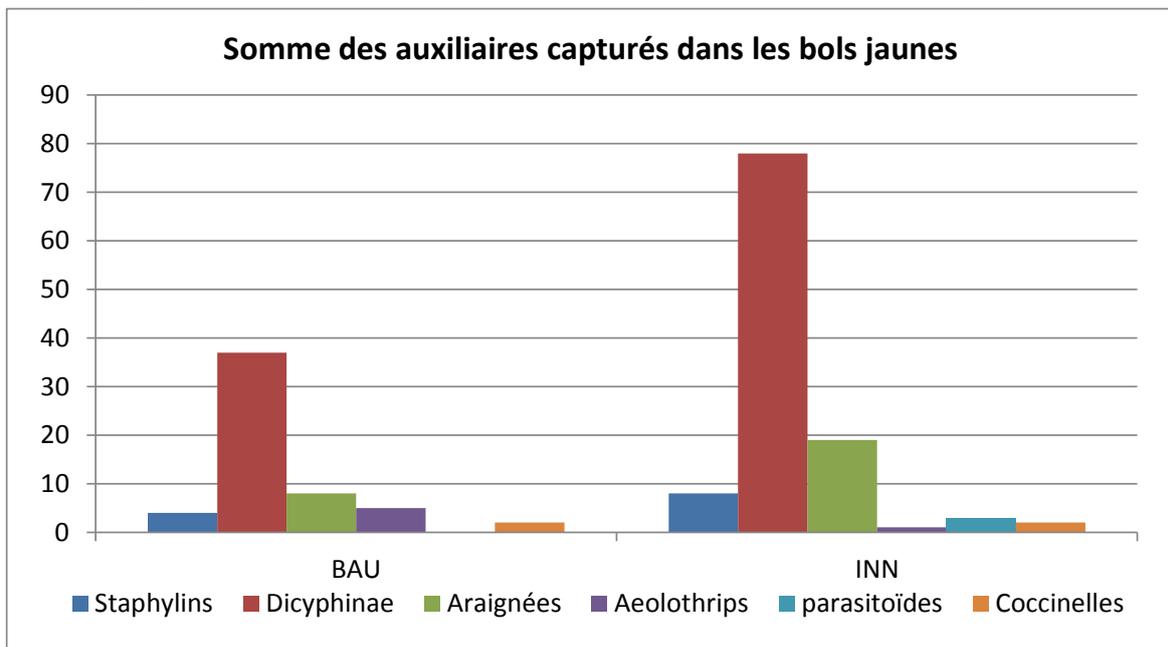


	FS	no FS	proba	TM	no TM	proba
Moy classes mildiou	1,69	1,83	0,480	1,82	1,70	0,480

En considérant la moyenne sur les dates, il apparaît (Test de k échantillons appariés (Friedman)) que ni le facteur bande fleurie, ni le mulch de transfert n'ont un effet significatif sur l'attaque de mildiou.

3.4 Suivi de la biodiversité aérienne et des arthropodes au sol : Comparaison des systèmes « BAU » (système 1) et INN (système 6)

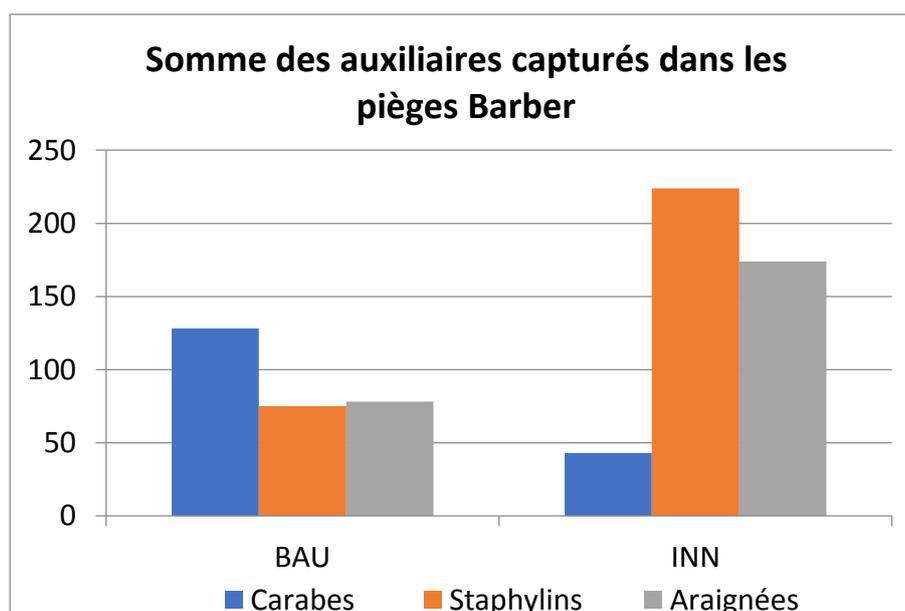
3.4.1 Auxiliaires aériens



Les punaises prédatrices Dicyphinae sont de loin les auxiliaires les plus piégés. Le système de culture le plus innovant INN a permis une augmentation des populations de staphylins, de Dicyphinae, d'araignées et de micro-hyménoptères parasitoïdes par rapport au système témoin BAU (respectivement 8 vs 4, 78 vs 37, 19 vs 8, 3 vs 0 ind. piégés). L'effet est significatif au seuil de 5% pour les Dicyphinae et les parasitoïdes. Les coccinelles sont présentes de façon équivalente dans les deux systèmes ; les aélothrips sont significativement plus abondants dans le système témoin BAU.

modalité	Staphylins	Dicyphinae	Araignées	Aeolothrips	parasitoïdes	Coccinelles
BAU	4	37 a	8	5 a	0 a	2
INN	8	78 b	19	1 b	3 b	2
	P=0,266	P=0,043	P=0,165	P=0,003	P=0,02	P=0,99

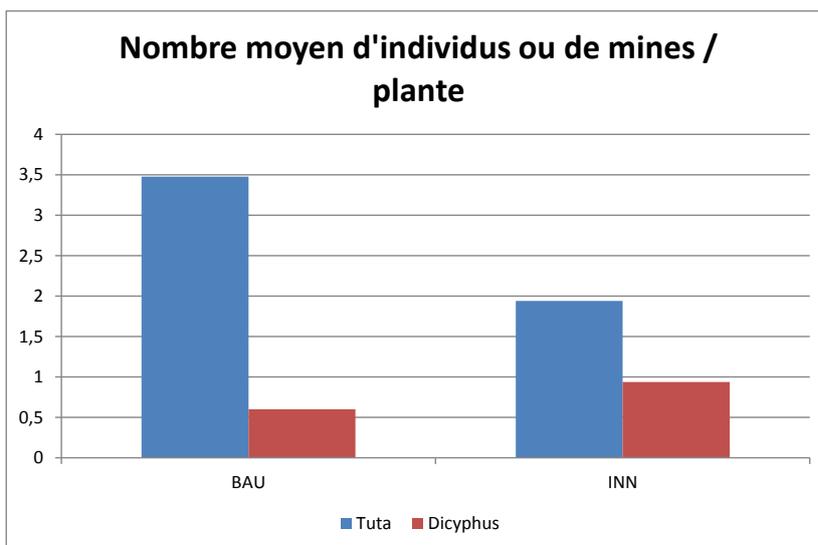
3.4.2 Auxiliaires au sol



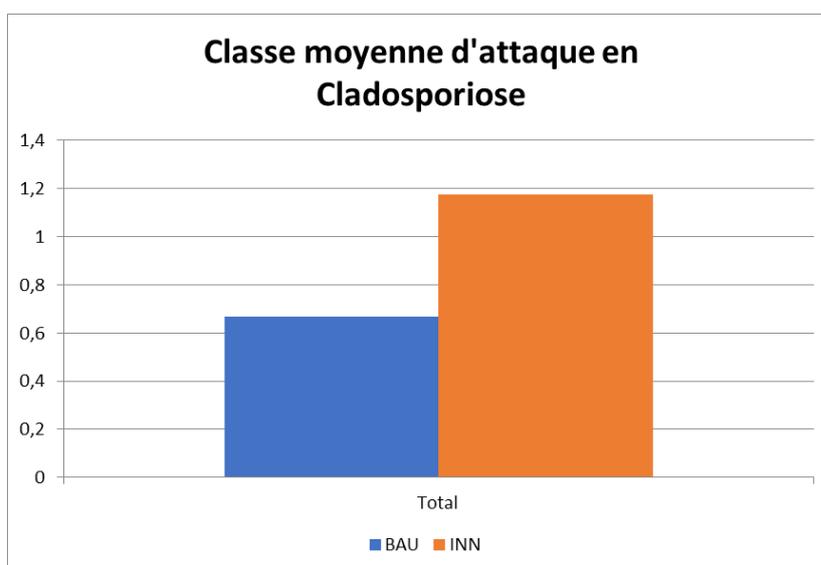
Le système de culture le plus innovant INN a permis une augmentation des populations de staphylins, et d'araignées par rapport au système témoin BAU (respectivement 224 vs 75, 174 vs 78 ind. piégés). L'effet est significatif au seuil de 5% pour les staphylins et les araignées. Les carabes sont significativement plus abondants dans le système témoin BAU.

modalité	Carabes	Staphylins	Araignées
BAU	128	75	78
INN	43	224	174
	P=0,002	P=0,004	P=0,003

3.4.3 Dégâts de maladies et ravageurs sur tomate :



Le Système de culture le plus innovant INN a permis une attaque moindre de Tuta sur les organes aériens, vraisemblablement liée à une présence accrue de son principal prédateur, *Dicyphus errans*.



Le Système de culture le plus innovant INN a subi une attaque supérieure de cladosporiose.

Les déclassements les plus importants sont provoqués par les dégâts de *Tuta*. La modalité témoin BAU est plus touchée que la modalité INN (resp. 17% de fruits touchés par *Tuta*, vs 11,2%). Les dégâts provoqués par d'autres lépidoptères (*Helicoverpa*, *Autographa*...) sont aussi plus importants dans la modalité BAU que dans la modalité INN (resp. 5%, vs 3%).

Globalement, le système de culture le plus innovant INN (bande fleurie + association de cultures + mulch de transfert) s'est montré plutôt intéressant pour la gestion des ravageurs sur tomate. Les populations d'auxiliaires au sol, et dans la végétation de la culture sont dans l'ensemble supérieures dans la modalité INN, comparée à la modalité BAU. La régulation de *Tuta*, principal ravageur de la tomate, est plus efficace dans la modalité INN, avec une forte réduction des dégâts sur fruits. La cladosporiose est la seule maladie ayant touché la tomate. Les symptômes sur feuilles sont plus importants pour la modalité INN, mais cela semble attribuable à un tunnel globalement plus touché.

CONCLUSION

Les premiers résultats de l'essai « Greenresilient » conduit au GRAB montrent diverses performances du système et des leviers mis en oeuvre.

- L'effet de la bande fleurie n'est pas évident à distinguer de façon nette car il se superpose à un effet « tunnel » qui a été visible sur la teneur en eau du sol et sur les performances culturales. Ainsi, la présence accrue de pucerons sur concombre ou de cladosporiose sur tomates peut sans doute être attribuée à un effet « tunnel ». Néanmoins, on observe une plus grande diversité d'auxiliaires et moins de dégâts de chenilles sur concombre qui peuvent être dus à la bande fleurie.
- L'association de culture a eu peu d'impact sur les performances agronomiques des cultures, mais a favorisé des populations plus importantes de dicyphus dans la culture.
- Le mulch de transfert, en l'occurrence du foin de luzerne, est à l'origine d'un décalage de production lié à un réchauffement de sol plus lent qui pénalise les cultures précoces comme le concombre. Il a également favorisé les dégâts de chenilles sur cette culture. A l'inverse, il a augmenté le rendement total de la tomate en contribuant positivement à sa nutrition azotée à partir de la mi-mai, et le rendement commercialisable en diminuant les dégâts de tuta absoluta sur fruits. Le foin de luzerne a également permis de maîtriser totalement les adventices et favorisé les auxiliaires du sol comme les staphylins et araignées.

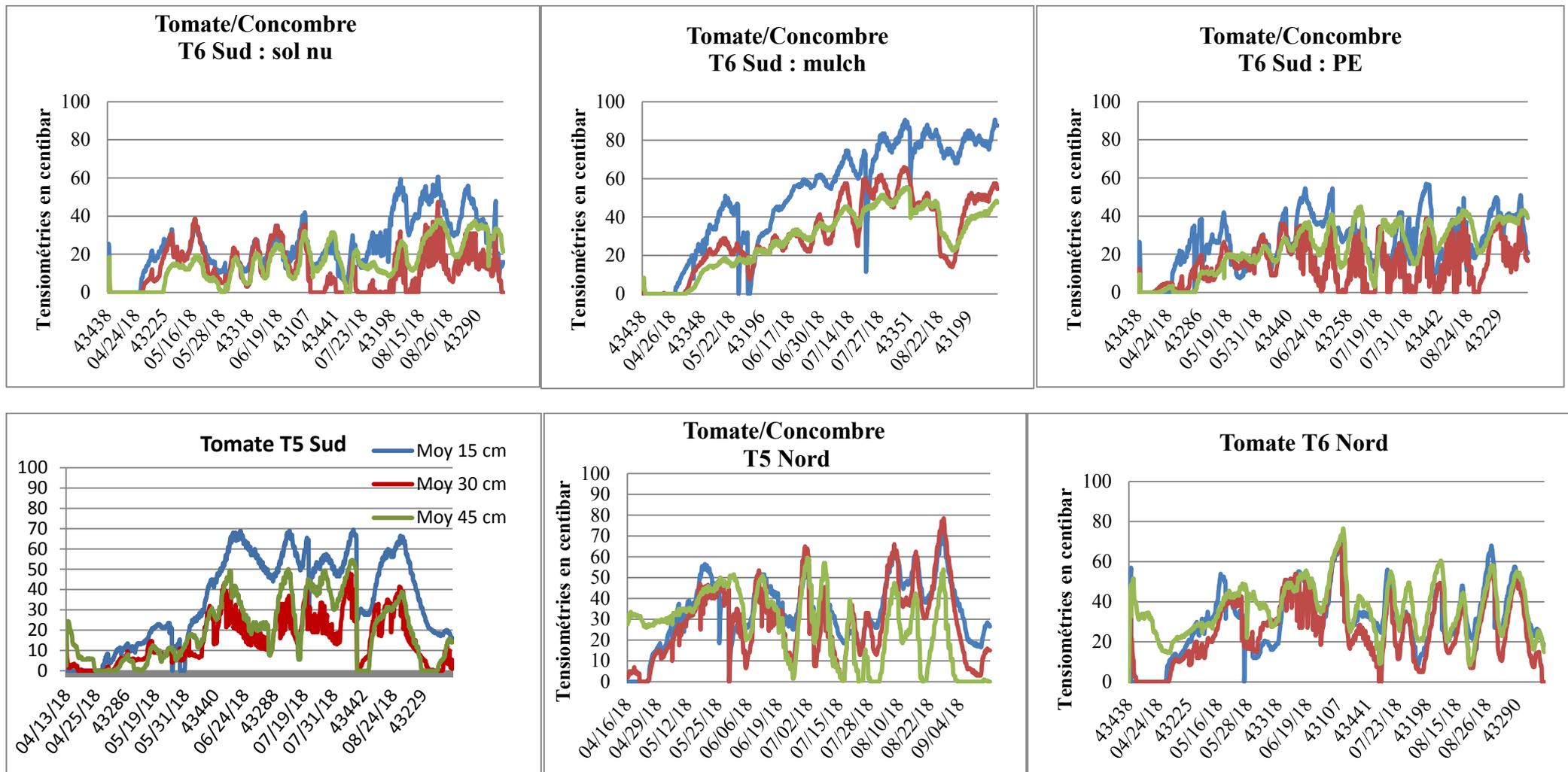
Globalement le système le plus innovant, qui combine les facteurs bande fleurie, association de cultures et mulch de transfert présente donc des intérêts certains en termes de performances écologiques et agronomiques. La poursuite du dispositif dans le temps permettra de conforter ces premiers résultats et de voir l'évolution de ce système sur les différents indicateurs de performances comparativement à un système « classique » moins résilient.

— Moy 15 cm

— Moy 30 cm

— Moy 45 cm

Annexe 1 : Courbes des sondes tensiométriques installées dans les différents tunnels et différentes modalités de l'essai



- T6 Sud : la comparaison des tensions entre les différents paillages de sol montre des évolutions similaires entre le sol nu et le paillage plastique, avec un sol qui est resté très humide tout le long de la culture et sur tous les horizons, et notamment une saturation du sol importante après la plantation pendant 2 à 3 semaines. Sous le mulch de foin le sol, après saturation initiale, s'est asséché progressivement, avec des tensions très élevées à partir de fin juillet, même dans les horizons inférieurs.
- T5 : les tensiomètres révèlent des valeurs plus élevées et donc une alimentation en eau réduite par rapport au T6, notamment au sud (comparaison T5S et T6S).
- Dans les 2 tunnels, on note des tensions plus élevées dans les ½ tunnels nord que les ½ tunnels sud

Annexe 2 : Analyses chimiques sur les parcelles de l'essai à T0 – 5 Avril 2018

	C (g/kg)	%N	C/N	C.E.C (meq/100g)	pH KCl	P2O5 Olsen (g/kg)	K2O (g/kg)	MgO (g/kg)
PU (moy)	15,70	0,180	8,9	8,5	7,85	0,038	0,268	0,56
Bloc 1	11,05	0,185	5,9	8,8	7,70	0,029	0,246	0,52
Bloc 2	15,70	0,156	10,2	7,5	8,00	0,034	0,195	0,54
Bloc 3	22,09	0,178	12,5	8,2	7,80	0,049	0,294	0,60
Bloc 4	13,95	0,202	6,9	9,3	7,90	0,038	0,337	0,58
ASSOMulch (mo)	17,88	0,185	9,7	8,6	7,93	0,037	0,225	0,54
Bloc 1	16,86	0,192	8,7	8,8	7,90	0,044	0,274	0,54
Bloc 2	15,12	0,194	7,7	8,7	7,90	0,039	0,227	0,55
Bloc 3	18,02	0,182	10,0	8,1	7,80	0,033	0,195	0,57
Bloc 4	21,51	0,173	12,5	8,8	8,10	0,032	0,205	0,49
ASSO (moy)	15,99	0,188	8,5	8,9	7,78	0,040	0,260	0,56
Bloc 1	18,60	0,208	9,0	8,8	7,80	0,053	0,317	0,55
Bloc 2	19,19	0,177	10,8	8,7	7,80	0,047	0,310	0,56
Bloc 3	12,21	0,193	6,3	8,7	7,60	0,030	0,209	0,58
Bloc 4	13,95	0,175	7,9	9,2	7,90	0,030	0,203	0,56
Moyenne tunnel 5	15,41	0,177	8,80	8,5	7,85	0,031	0,209	0,54
Moyenne tunnel 6	17,64	0,192	9,27	8,8	7,85	0,045	0,293	0,56

Annexe 3 : Teneurs des fruits et plantes en N, P, K (%) et exportations associées (Kg/ha).
 Les chiffres suivis d'une lettre sont statistiquement différents au seuil de 5% (test de Newman Keuls)

	Teneur C fruits (%MS)	Teneur N fruits (%MS)	Teneur N plante (%MS)	Teneur P fruits (g/kgMS)	Teneur P plantes (g/kgMS)	Teneur K fruits (g/kgMS)	Teneur K plantes (g/kgMS)	Total export N (kg/plante)	Total export K (kg/plante)	Total export P (kg/plante)
CO-TOCO	44,9	4,0	2,4	7,2	4,1	63,0	34,4	0,0213 A	0,032 A	0,0037 B
CO-TOCOmulch	43,2	3,6	3,3	6,4	3,9	60,1	42,0	0,0175 B	0,026 B	0,0026 A
Moyenne Concombre	44,0	3,8	2,9	6,8	4,0	61,6	38,2	0,0194	0,0292	0,0032
TO-TOCO	45,0	1,6	1,7	3,2	2,0	45,3	34,2	0,0293 A	0,0687 AB	0,0043
TO-TOCOmulch	49,4	1,9	1,6	2,7	1,6	45,4	32,3	0,0357 A	0,0771 A	0,0041
TOMATES	48,5	1,7	1,2	3,3	1,9	46,5	29,2	0,0199 B	0,0515 B	0,0035
Moyenne Tomate	47,6	1,7	1,5	3,1	1,8	45,7	31,9	0,0283	0,0658	0,0040