



Tomate

Combinaison de leviers alternatifs pour la protection de la tomate contre les ravageurs

2025

Claire GOILLON, Louane CARRUOLO, APREL – Célia HEROGUEZ, Caroline CAPORALINO, Claire CARAVEL, Hélène GAUTIER, INRAE

Essai rattaché au projet CapZeroPhyto : Adaptation du concept d'immunité écologique à la protection des cultures
Action A956



Réalisé avec le soutien financier de :



Résumé

Le projet Capzerophyto (2021-2027) vise à combiner des leviers alternatifs pour améliorer la protection des cultures de tomate sans intrant phytosanitaire. Les travaux de recherche de l'INRAE sur 5 leviers étudiés seuls ou en combinaison depuis 2021 conduisent à valider les leviers les plus prometteurs en condition de production.

Dans cet objectif, l'APREL a donc mis en place un essai sur culture de tomate en intégrant la combinaison de plusieurs leviers : résistance génétique (porte-greffes résistants aux nématodes), plantes de services (Tagetes) et stimulateur de défense des plantes (Mycorhizes).

Le suivi des indices de galle racinaires montre un effet significatif de la résistance génétique des porte-greffes mais aussi des Tagetes associées aux tomates. Il n'y a pas d'autre effet observé sur les ravageurs et maladies.

Mots-clés : nématodes, ravageurs, porte-greffes, tagetes, mycorhizes, résistance

1- Contexte et objectif de l'essai

Le projet CapZeroPhyto (CZP) initié par l'INRAE en 2021 a pour objectif de travailler 5 leviers alternatifs pour parvenir à construire des stratégies de protection des cultures sans pesticides. Le projet intègre les filières maraichères (tomate, poivron, fraise) et la filière arboricole (pommier, pêcher)

Les 5 leviers étudiés sont :

- la résistance génétique
- Les plantes de service
- Les solutions de biocontrôle avec une action de stimulation de défense des plantes (SDP)
- Les flash UV-C
- La gestion de l'azote

Pour la tomate, les bioagresseurs étudiés sont le mildiou, le botrytis, l'oidium, les nématodes à galle, Tuta absoluta, les aleurodes et les pucerons.

Les résultats les plus prometteurs obtenus depuis 2021 sont utilisés pour construire un essai système en conditions de production, permettant de valider sur le terrain des solutions alternatives.

En tomate, deux leviers majeurs sont retenus : la résistance génétique des porte-greffes aux nématodes et l'utilisation de Tagetes comme plantes de service ayant un effet racinaire sur les nématodes et un effet répulsif sur aleurodes. Parmi les produits SDP étudiés, peu donnent des résultats suffisants pour être déployés sur le terrain. La mycorhization est donc choisi comme 3^e levier complémentaire.

2- Facteurs et modalités étudiés

Les modalités qui sont comparées dans cet essai sont :

Tableau 1 : Modalités dans l'essai

Modalité	Porte-greffe	Tagetes	Mycorhizes
Maxifort	Sensible	-	-
Maxifort T	Sensible	Oui	-
Maxifort TM	Sensible	Oui	Oui
Embajador	Résistant	-	-
Embajador T	Résistant	Oui	-
Embajador TM	Résistant	Oui	Oui
Sanaterra	Très résistant	-	-

3- Matériel et méthodes

3.1 - Matériel végétal

L'essai est conduit sur une variété de tomate population « Cardinale » dans la typologie Cœur de Boeuf

Les plants de tomate sont fournis par le pépiniériste du producteur « Meffre plants » à Monteux qui a fourni toutes les graines des variétés commerciales (greffon et porte-greffe).

- Maxifort est une variété de De Ruitter (Bayer seeds). Il ne possède pas de gène de résistance aux nématodes.
- Embajador est une variété de RijkZwaan. Il possède le gène majeur Mi-1 qui confère une résistance intermédiaire à *Meloidogyne incognita*
- Sanaterra est une variété de Takii, commercialisée par Prosem. Il a été observé depuis 2024 comme plus résistant à *M.incognita* que tous les porte-greffes commerciaux existant mais sa composition génétique n'est pas connue.

Les plants de Tagetes sont fournis par INRAE de Sophia Antipolis. Le choix s'est porté sur *Tagetes erecta* (variété Crackerjack) qui présentait les meilleurs résultats à la fois sur les nématodes à galle et sur les aleurodes, avec une attractivité des auxiliaires. Sur nématodes, les exsudats racinaires ont un effet ovicide et répulsif des larves. Les Tagetes ont été semés par le pépiniériste (Bernabei) mi-février. Un plant de tagetes est disposé entre chaque plant de tomate

Les mycorhizes utilisées ont été fournies par la société Premier Tech. Le produit est composé de *Rhizophagus irregularis* (*Glomus intraradices*) et de *Bacillus pumilus*. Il est appliqué sur les tagetes en pépinière, 1 semaine avant plantation. Les tagetes facilement mycorhizables sont destinées à partager la mycorrhizes aux tomates plantées à proximité et jouer leur rôle de stimulation de défense des plantes, facilitation de nutrition et blocage de la pénétration des nématodes

3.2 - Site d'implantation, parcelle

Les essais sont menés sur une exploitation en Agriculture Biologique à Entressen (EARL Bioval), connue de l'APREL pour son historique nématodes. L'essai est positionné dans une ancienne serre verre de 1ha en rotation tomate/herbes aromatiques. Il couvre une demi-chapelle avec un précédent coriandre cultivé jusqu'en février 2025.

Le sol est de type calcaire avec une texture sableuse-argilo-limoneuse et une forte proportion de cailloux (ancien lit de la Durance). Il se caractérise aussi par un taux de Matière organique assez élevé lié aux pratiques d'amendement biologique (4.2%). Le pH est élevé comme dans toute la région (pH eau de 8.3)

3.3 - Dispositif expérimental

L'essai est positionné dans la 10^e chapelle, sur la moitié Sud avec un précédent coriandre homogène. Le dispositif comprend 4 répétitions de 6 plantes pour chaque modalité (24 plants/modalité), sauf Sanaterra qui sert de séparation entre les blocs et composé de 16 répétitions de 3 plantes (48 plants) Les modalités avec Mycorhizes ont volontairement été regroupés pour éviter la propagation des mycorhizes sur les autres modalités.

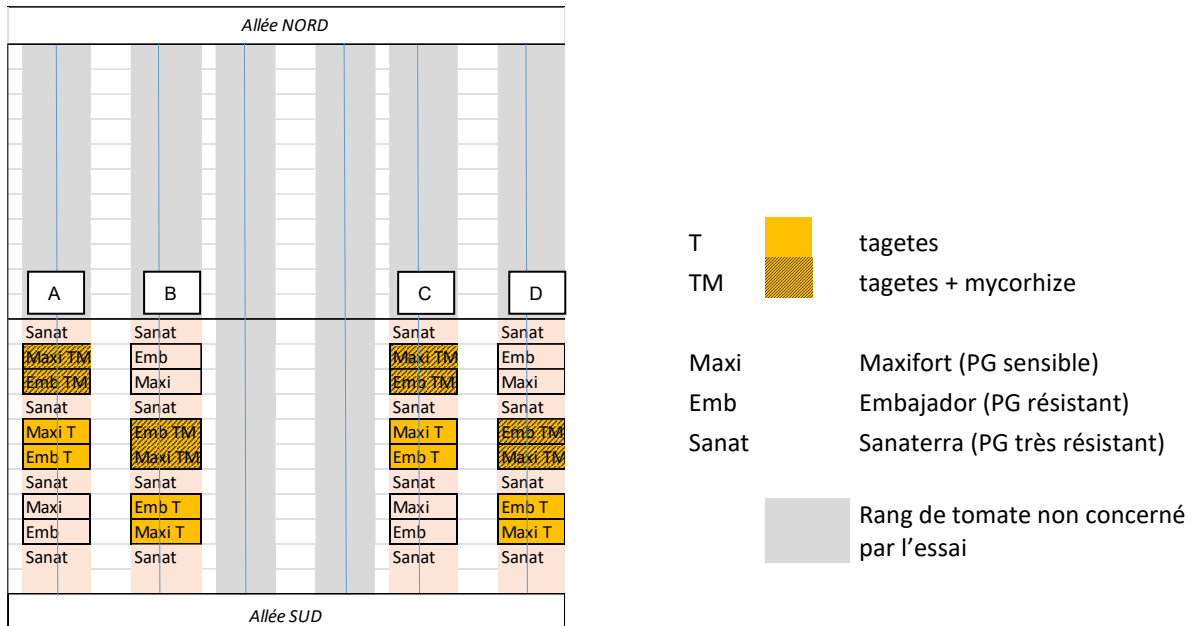


Figure 1 : Dispositif de l'essai CZP mis en place en 2025

3.4 - Données culturelles

Tableau 2 : Dates-clés de la culture

Plantation	Début de récolte	Fin de récolte
28 février	12 mai	14 août

Variété : Cardinale, greffée sur Embajador, conduite à 1 bras

Densité : 2.08 plants/m²

Paillage : sur rang

Précédent : Coriandre

Fertilisation : apport de fumier incorporé au sol et de broyat végétal laissé en surface avant plantation

Irrigation : 1 ligne de goutte à goutte par rang de tomate

Traitements : application préventive de soufre contre oïdium et cladosporiose

Mise en œuvre des modalités

➤ Tagetes

La plantation de tomates a eu lieu plus tôt que prévu (environ 1 semaine) alors que le semis de Tagetes a été effectué plus tard que prévu. Cela a conduit à un sous-développement des Tagetes au moment de la plantation, fragilisant leur reprise. Des remplacements ont été faits pendant 2 mois pour assurer la présence de Tagetes mais les stades de développement ont donc été très hétérogènes. Des attaques de fourmis sur les jeunes plants de Tagetes ont participé à leur destruction régulière.

Un état des lieux le 17 avril et le 30 avril permet d'évaluer la proportion de Tagetes non fonctionnelles (très petites ou mortes)

La plupart des modalités sont pénalisées par 40% de Tagetes non fonctionnelles. Seule la modalité Embajador TM est préservée avec 15% de Tagetes qui ont dû être remplacées dans la répétition B seulement.

Toutes les Tagetes ont été remplacées au fur et à mesure mais ce constat laisse à penser que l'effet des Tagetes a dû être minimisé par cette mauvaise implantation.

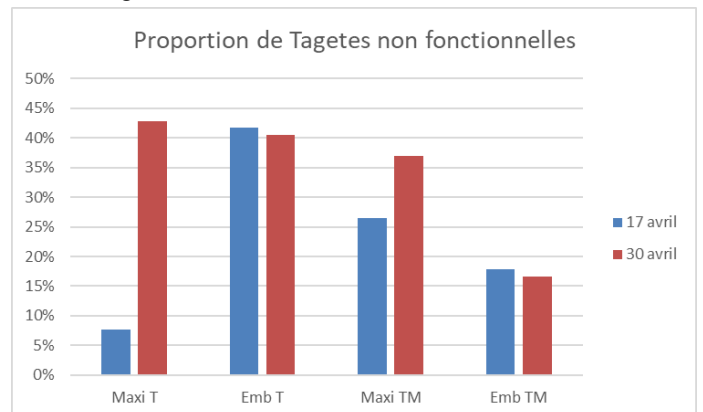


Figure 2 : Proportion de Tagetes non fonctionnelles au 17 et 30 avril dans chaque modalité

Selon INRAE, la production d'exsudats des Tagetes est réduite dès que les tagetes sont en fleurs. L'objectif étant de maximiser les exsudats contre nématodes, les bourgeons floraux ont systématiquement été retirés durant la culture, à partir de fin avril environ.

La croissance des Tagetes étant assez importante, elles ont rapidement basculé dans le rang de passage. Un palissage sommaire avec une ficelle a été installé le 7 mai pour éviter de gêner le passage au moment des récoltes qui ont débuté le 12 mai.

Enfin, l'apparition d'acariens en grande quantité à partir du 7 juillet, a conduit à l'arrachage de toutes les plantes de Tagetes pour préserver la culture de tomate. A cette date, 5 mois après plantation, l'effet attendu sur les nématodes était réduit.

➤ **Mycorhizes**

Du fait du délai de pépinière très court pour les Tagetes, la modalité Mycorhize a aussi été pénalisée. L'inoculation ayant été faite moins d'une semaine avant l'installation des plants en culture, le temps de d'installation des mycorhizes sur des racines peu développé n'a sans doute pas été suffisant. Après contrôle de mycorhization par l'INRAE en cours de culture, aucune mycorhize n'a été retrouvée. On considère donc dans cet essai que les modalités avec tagetes (T) et Tagetes Mycorhizées (TM) sont identiques et que seule la modalité Tagete est évaluée.

3.5 - Observations et mesures

➤ **Suivi climatique**

Un enregistreur automatique de température et d'hygrométrie ambiante (hobo) est positionné au cœur de l'essai (rang B) au pied des plantes.

Une sonde connectée Sencrop permet de relever la température, l'hygrométrie relative à 1.50m de haut ainsi que l'humectation au sein de la végétation.

Deux sondes tensiométriques Weenat sont positionnées dans le rang B entre 2 pieds de tomate à 15 et 25 cm de profondeur pour suivre l'humidité et la température du sol.

➤ **Suivi agronomique**

Les notations de stades physiologiques sont effectuées jusqu'à la récolte. Le nombre de plantes présentant le dernier bouquet fleuri est comptabilisé permettant d'estimer la précocité de chaque modalité.

Les récoltes sont effectuées selon le protocole APREL deux fois par semaine. A chaque récolte, le nombre, le poids et la qualité des fruits sont mesurés par bloc. Le calcul du rendement cumulé est réalisé au fur et à mesure en catégorie Extra et commerciale.

➤ **Suivi sanitaire**

Tous les 15j, les observations sanitaires des maladies et ravageurs aériens sont réalisés sur 3 plantes/répétition. Des comptages d'individus sont effectués pour les aleurodes et punaises mirides (*Macrolophus*, *Nesidiocoris*, *Dicyphus*). Une notation présence/absence sur chaque plante est réalisée pour les autres ravageurs et maladies : acariens, pucerons, mineuses, cochenilles, *Tuta absoluta*, oidium, cladosporiose, botrytis. Ceci permet d'obtenir un pourcentage de plantes touchées.

Pour les nématodes, une notation d'indices de galle racinaires (IGR) selon l'échelle de Zeck de 0 à 10 est effectuée sur la totalité des plants en fin de culture sur le précédent cultural (Cordiandre) et la tomate.

Des prélèvements de sol intermédiaires sont réalisés et envoyés à l'INRAE pour quantification des Meloidogynes.

4- Résultats

4.1 Conditions climatiques

Les relevés de température dans la culture montrent des températures moyennes entre 10 et 27°C. Les minimales ont été enregistrées ponctuellement le 15 mars (15j après plantation) à 1.1°C et les maximales à 33°C fin juin.

L'hygrométrie relative moyenne sous abri évolue de 60 à 90% avec des extrêmes à 30% en début de culture et 100% à partir de mai.

Les détails des relevés figurent en annexe. Les graphiques ci-dessous résument les moyennes mensuelles observées dans la culture. Le capteur d'hygrométrie du hobo défectueux n'a pas permis de relever les valeurs en bas de plante

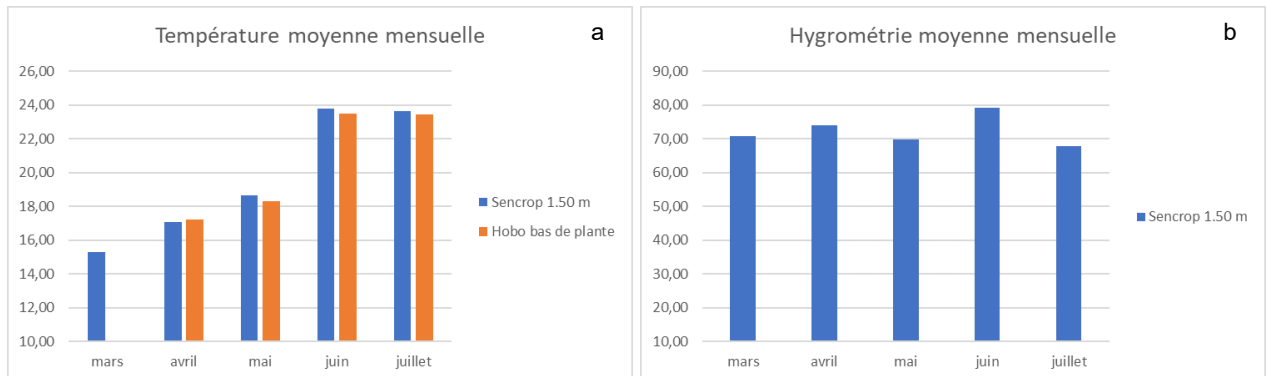


Figure 3 : Relevés de température (a) et d'hygrométrie (b) moyennes mensuelles dans la culture de tomate

Dans le sol à environ 25 cm, les températures évoluent de 14 à 24.6°C avec moins de variabilité du fait de l'effet tampon du sol. Ces données sont importantes pour estimer le développement des nématodes. Le calcul des degrés-jour est effectué sur la base des cycles de *Meloidogyne incognita* prenant en compte une température seuil de 10°C et un cycle accompli en 40 degrés-jours ($\text{Degré-jour} = [(T^{\circ} \text{ min} + T^{\circ} \text{ max})/2 - 10]$)

Il est difficile d'établir précisément le nombre de cycles effectués par les nématodes en condition naturelle. Sur la base des relevés à 25 cm (courbe verte du graphique ci-dessous), le 1^{er} cycle de nématode serait accompli au bout de 8 semaines le 25 avril. 4 cycles de nématodes ont pu se réaliser dans la culture. Ces données sous-estiment sans doute l'activité des nématodes se situant plus en surface où la majorité du système racinaire se trouve.

Sur la base des relevés de température moyenne dans la culture (courbe orange), le 1^{er} cycle de nématodes serait accompli au bout de 4 semaines, le 30 mars. Il y aurait eu 7 à 8 cycles durant la culture. Ces relevés sont sans doute sur-estimés.

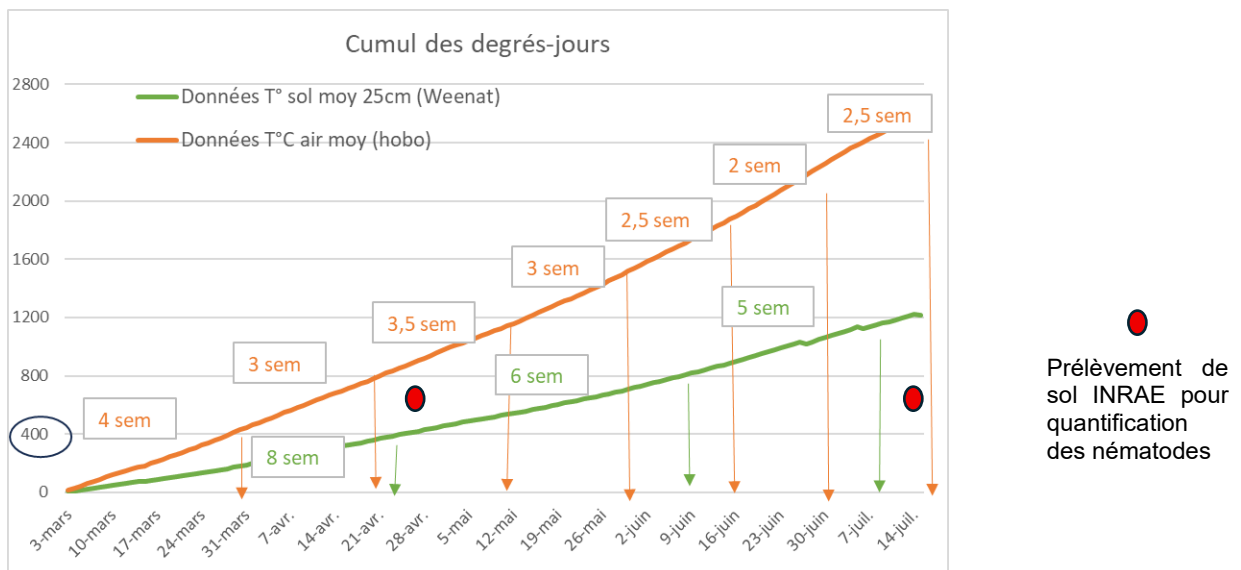


Figure 4 : Calcul des cumuls de degrés-jours issus des relevés de température dans le sol à 25 cm (Weenat) ou dans les plantes (hobo)

Les prélèvements de sol pour quantification à l'INRAE ont été effectués le 28 avril après 1 ou 2 cycles de nématodes et le 15 juillet, après plusieurs cycles.

Parmi les 2 sondes tensiométriques implantées dans la culture à 15 cm et 25 cm, seule la sonde 25 cm a bien fonctionné. Les relevés montrent une humidité du sol qui est volontairement restrictive en début de culture (augmentation des valeurs jusqu'à fin mars témoignant de l'assèchement de l'environnement racinaire), avant de rétablir une situation de confort.

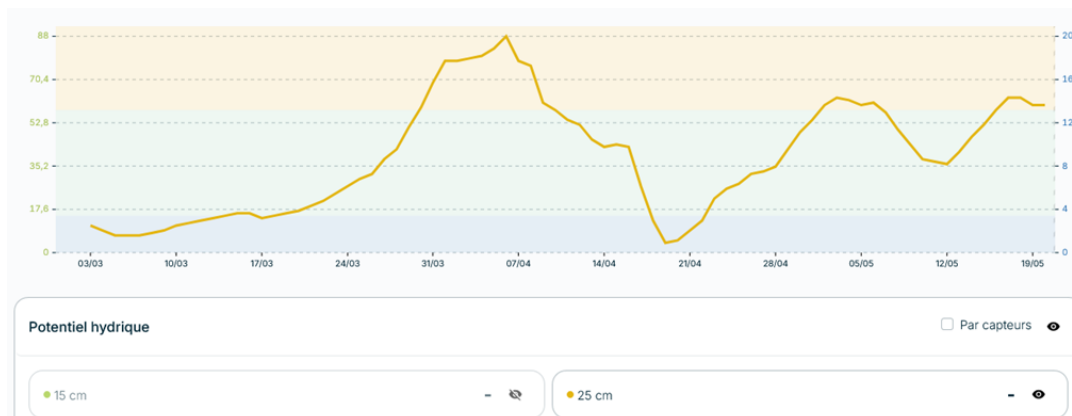


Figure 5 : Evolution du potentiel hydrique mesurée en cbar par la sonde Weenat à 25 cm de profondeur

4.2 Suivi physiologique

A la plantation, les plantes greffées sur Maxifort et Sanaterra semblent plus vigoureuses qu'Embajador.

La floraison du 1^{er} bouquet a lieu environ 2 semaines après plantation. Les notations de floraison sont effectuées tous les 15 jours pour déterminer la proportion de plantes fleuries sur le dernier bouquet (sur les 24 plantes de chaque modalité)

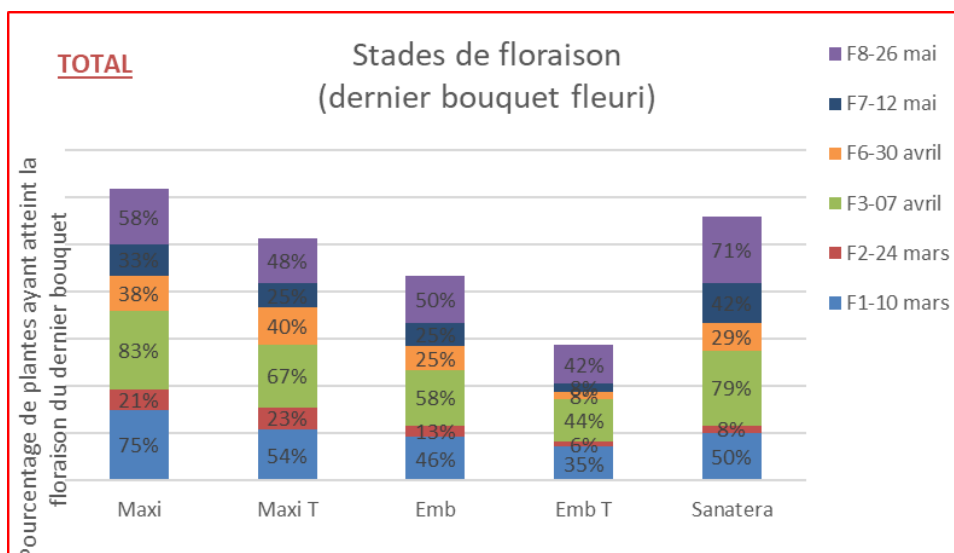


Figure 6 : Evolution du stade de floraison moyen des plantes de chaque modalité (24 plantes)

Ces relevés mettent en avant plusieurs constats :

- Les modalités avec Embajador sont plus tardives que Maxifort et Sanaterra
- Les modalités avec Tagetes sont plus tardives que sans Tagetes

Quelle que soit la répétition, Embajador avec Tagete semble toujours plus tardive

Un contrôle d'azote est réalisé dans le sol début mars et début avril révélant plus de 100 unités en réserve. Dans les plantes, un nitrates mi-mai permet de vérifier que les plantes sont en situation de confort azoté avec 6000 mg/L de N-NO₃⁻ mesuré.

4.3 Rendement

Les récoltes ont été effectuées du 12 mai au 14 août 2025 avec une production importante jusqu'à début juillet. Ensuite, les têtes de plante basculent par-dessus le support de culture et les nouaisons sont plus difficiles. L'étêtage a eu lieu vers le 20 juin au niveau du 12^e bouquet. La production ne représente qu'1 kg/m² environ supplémentaire sur le dernier mois de culture.

Tableau 3 : Résultats de rendement obtenus dans l'essai

	Rendement commercial		Rendement Extra		% second choix (en poids)	Poids moyen cumulé (en g)
	Précoce au 11/06	Final au 7/8	Précoce au 11/06	Final au 14/8		
Maxi	6.11	11.44	1.26	2.91	75%	301
Maxi T	5.57	10.12	1.11	2.54	75%	289
Emb	5.12	9.71	1.14	2.74	72%	303
Emb T	5.00	10.63	1.19	3.21	70%	314
Sanaterra	6.29	11.75	0.92	2.60	78%	278

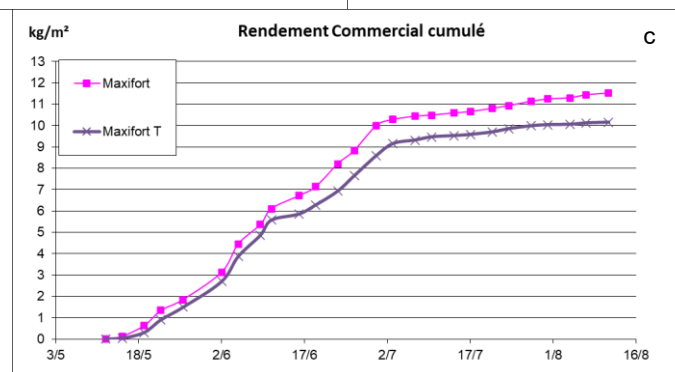
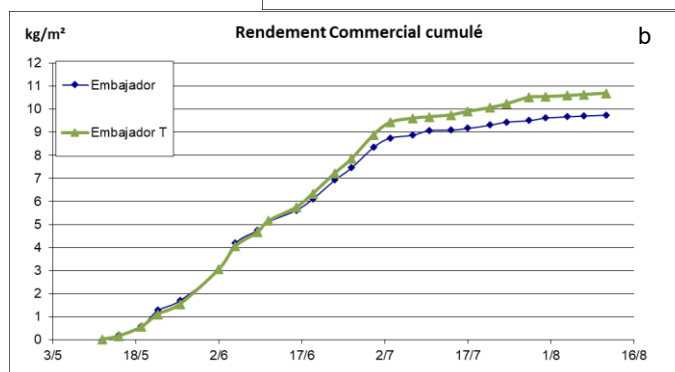
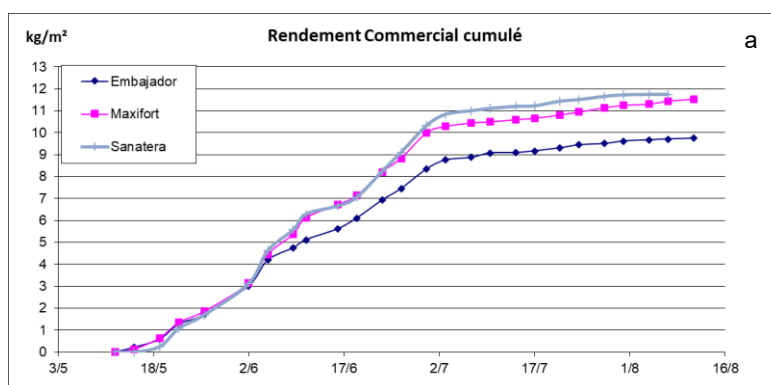


Figure 7 : Evolution des rendements commerciaux au cours de la saison de production. Comparaison des modalités porte-greffes (a), des modalités Embajador (b) et des modalités Maxifort (c)

La comparaison de la production sur les différents porte-greffes met en avant un retard d'Embajador, cohérent avec les notations physiologiques de floraison. Concernant les modalités avec Tagetes, la production est plus importante avec Embajador et moins importante avec Maxifort. Cependant, les différences entre blocs ne permettent pas de faire ressortir un résultat significatif sur ces comparaisons. Les illustrations par répétition figurent en annexe.

A chaque récolte, un tri qualitatif des fruits est effectué selon les défauts observés, permettant de distinguer les fruits Extra du second choix. Pour chaque modalité, une proportion de 70 à 78% des fruits est écartée, majoritairement à cause des problèmes de coloration et de déformation (fig 8). Il n'y a pas de différence notable observée entre les modalités.

Etant donné que le marché de commercialisation des variétés anciennes est assez tolérant, l'ensemble de la production a été commercialisé de la même façon. La proportion de second choix affiché dans l'essai ne reflète pas la réalité de l'exploitation mais une notation qualitative stricte pour l'essai.

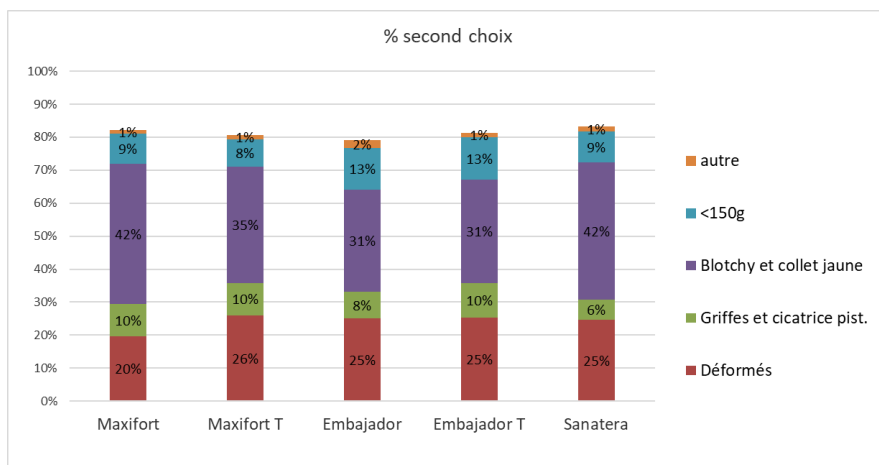


Figure 8 : Répartition du second choix (en nombre de fruits) selon les défauts observés

4.2 Suivi sanitaire

Le suivi sanitaire a été réalisé tous les 15j de la plantation jusqu'au 21 juillet.

➤ Maladies

Des traitements préventifs à base de cuivre et de soufre ont été appliqués à 3 reprises en mai contre les maladies fongiques. Ensuite la végétation étant difficilement pénétrable, il n'y a pas eu d'applications jusqu'en juillet.

La cladosporiose est apparue dans la parcelle à partir du 26 mai sur presque toutes les modalités et progresse jusqu'à la fin de la culture. Le contrôle de cette maladie est très compliqué.

L'oïdium a été observé 1 semaine plus tard mais a contaminé plus rapidement la culture. Par contre, les interventions du producteur permettent de réduire la pression en fin de culture.

Aucune différence n'est observée entre les différentes modalités (voir annexes)

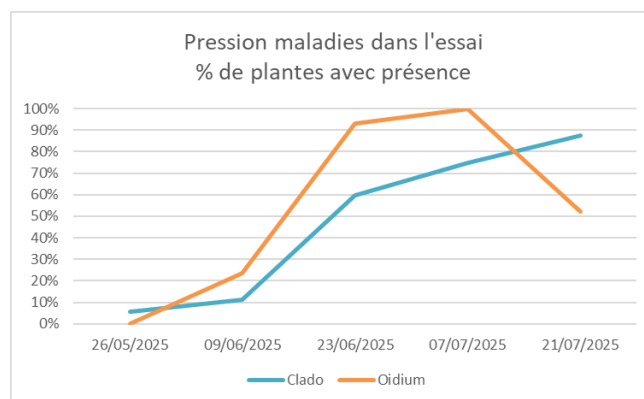


Fig 9 : Evolution de la proportion de plantes touchées par les maladies fongiques

➤ Ravageurs

La culture n'a pas présenté de problème sanitaire majeur pénalisant la production. La PBI (confusion sexuelle pour Tuta + auxiliaires *Macrolophus*) a donné satisfaction.

Cependant, de nombreux ravageurs ont été observés tout au long de la période de production, et particulièrement à partir de mi-juin avec l'augmentation des températures.

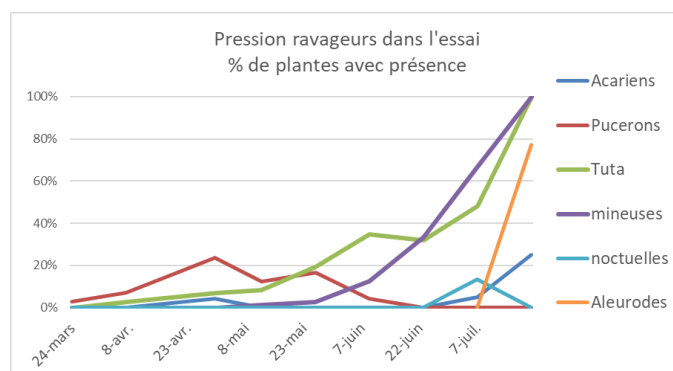


Fig 10 : Evolution de la proportion de plantes touchées par les principaux ravageurs dans l'essai

Les pucerons ont été présents assez tôt dans la culture mais ne se sont jamais installés. Un maximum de 20% des plantes touchées a été comptabilisé fin avril. Les modalités avec Tagetes hébergent plus de pucerons que les modalités sans Tagetes, quel que soit le porte-greffe (Fig 9). Du parasitisme (Praon et momie dorée) est fréquemment observé dans la culture.



Fig 11 : Evolution de la proportion de plantes touchées par les pucerons selon les modalités

Les mineuses et Tuta Absoluta sont observées assez tôt dans la culture mais n'évoluent significativement qu'à partir de début juin et touchent rapidement 100% des plantes. Les mineuses n'ont pas généré de dégâts sur les fruits. La protection contre *Tuta absoluta* a été contenue grâce à la confusion sexuelle installée avant plantation et renouvelée le 3 juin, sans doute un peu trop tardivement puisque les populations augmentent à partir de ce moment. Cela n'a pas empêché quelques impacts sur les fruits mais en faible proportion. Les différences entre les modalités ne sont pas très marquées. On remarque toutefois qu'au moment de la progression de ces ravageurs (juin), les modalités avec Tagetes sont plus touchées.

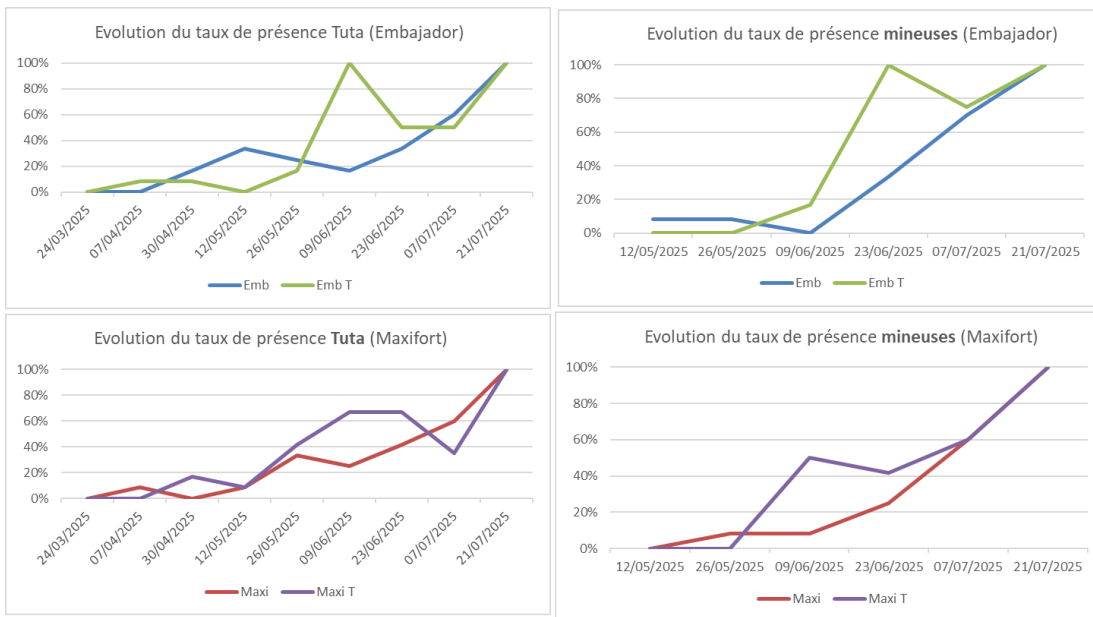


Fig 12 : Evolution de la proportion de plantes touchées par les mineuses et Tuta absoluta selon les modalités

Les aleurodes arrivent tardivement, avec des populations qui n'augmentent que début juin. Les populations de *Macrolophus* en quantité significative dans la culture ont permis de contrôler ce ravageur. Il peut être intéressant de noter toutefois que les populations ont tendance à augmenter plus rapidement sur les modalités avec Tagetes.

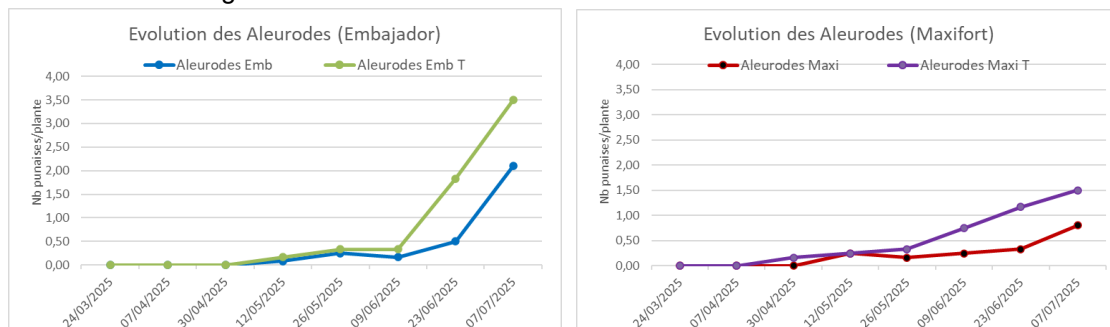


Fig 13 : Evolution de la proportion de plantes touchées par les aleurodes selon les modalités

Les acariens et les noctuelles ont été détectées mais très tardivement et la pression faible ne permet pas de comparer les modalités entre elles. La présence d'acariens sur les Tagetes début juillet qui a conduit à leur arrachage est toutefois un point de vigilance : en effet, les premières plantes de tomate détectées avec de l'acarien correspondent aux plantes des modalités avec Tagetes.

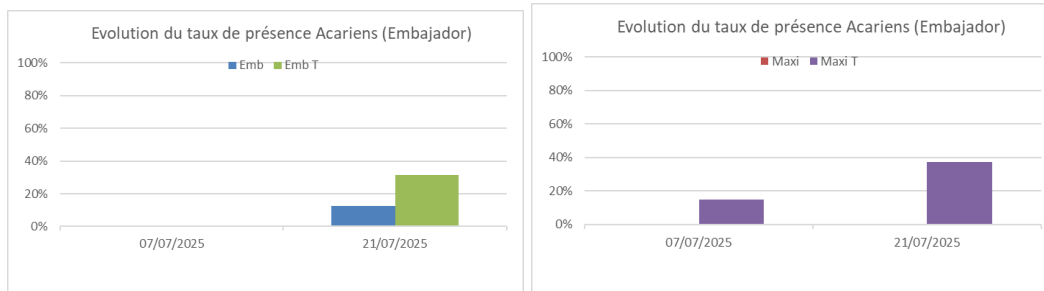


Fig 14 : Comparaison des contaminations d'acariens en juillet après arrachage des Tagetes selon les modalités

Enfin, des cochenilles ont aussi été observées dans les modalités avec Tagetes (Maxifort et Embajador) à partir du 12 mai et ont atteint 13% des plantes touchées. Aucune n'a été observée dans les modalités sans tagetes.

➤ Auxiliaires

La culture est conduite en PBI avec entretien d'une bande fleurie de soucis en bordure pour héberger les punaises prédatrices *Macrolophus pygmaeus*, destinées à prédater les aleurodes mais aussi d'autres ravageurs. Les *Macrolophus* très présents dans les soucis ont été lâchés dans les tomates environ 1 mois après plantation (début avril) en déposant des bouquets issus de la bande fleurie. D'autres punaises prédatrices, les *Dicyphus*, arrivent naturellement dans la culture à partir de début mai.

Lors du comptage de l'essai aucune différence d'effectif n'est constatée. Les *Macrolophus* sont d'abord plus nombreux sur les zones de lâchers puis se répartissent uniformément. Les *Dicyphus* sont retrouvés eux plus fréquemment dans les modalités avec Tagetes où les aleurodes sont plus nombreuses (recherche de proies). Voir annexes

➤ Nématodes

L'étude de l'effet nématicide d'une technique quelle qu'elle soit, se base dans un premier temps sur le suivi des indices de galles sur les cultures sensibles mises en place autour de cette technique et dans un 2^e temps sur l'évolution du nombre de larves de *Meloidogyne* dans le sol. L'analyse quantitative a été réalisée par l'INRAE. Les IGR ont été réalisés en collaboration entre l'APREL et INRAE (Cartographie en annexe)

Avant implantation de l'essai, un premier échantillonnage de sol dans la chapelle le 1/10/2024, analysé à l'INRAE permet de confirmer la présence de *Meloidogyne* à hauteur de 200 /dm³ de sol. Y sont associés 80 *Tylenchorhynchus* et 1320 nématodes non phytoparasites. Sur 100 femelles prélevées sur les racines de coriandre, 99% de *M.incognita* ont été identifiés et 1% de *M.hapla*

Les notations des IGR sont réalisées sur la culture sensible précédente (coriandre) où sera implantée la tomate de l'essai. Un total de 184 plants est noté le 24 janvier 2025 et permettent de confirmer une contamination homogène de la parcelle (97% des racines avec galles) avec un IGR moyen de 1.5/10 allant de 0.5 à 5. Une ligne de bordure est déjà identifiée avec une plus forte pression (IGR =2).

La tomate est ensuite observée en fin de culture le 18 août sur les mêmes emplacements. Cela permet de constater l'évolution de la contamination en fonction des modalités.

Suite au constat d'absence de mycorhizes, les modalités T et TM ont été regroupées pour l'analyse.

Tableau 4 : IGR moyens observés sur tomate dans chaque modalité

	Rang A	Rang B	Rang C	Rang D	Moyenne	Ecart type
Maxi	5,17	2,50	2,67	7,08	4,35	2,19
Maxi T	5,66	2,67	1,33	7,08	4,19	2,646
Emb	3,00	2,67	4,00	6,60	4,07	1,781
Emb T	0,75	0,75	2,82	6,38	2,67	2,653
Sanaterra	0,20	0,60	0,30	0,70	0,45	0,238

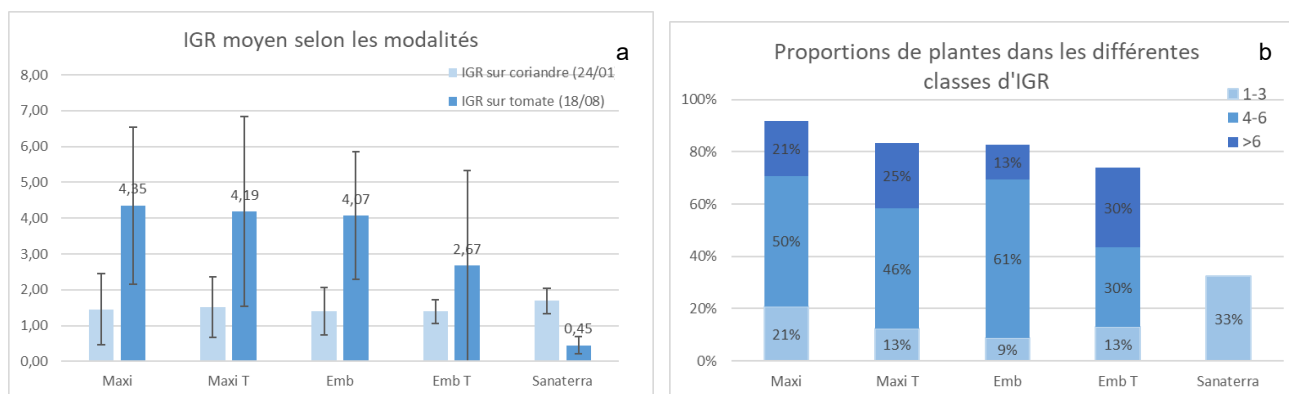


Fig 15 : Représentation des IGR moyens observés sur la parcelle d'essai (a) et de la répartition en classe d'intensité (b)

Malgré un écart-type élevé (ce qui est courant pour les notations d'IGR qui peuvent fortement varier d'un plant à l'autre), on constate un résultat marqué pour le porte-greffe Sanaterra qui ne présente que quelques plants avec des galles. Seulement 33% des plantes présentent des galles. L'INRAE a pu identifier une pénétration exclusive de l'espèce *Meloidogyne hapla* dans les racines présentant des galles. Le blocage de *Meloidogyne incognita* par ce porte-greffe semble avoir bien fonctionné.

Les résultats sont plus nuancés avec les autres modalités. Le porte-greffe Embajador avec tagetes présente un IGR plus faible : 2.67 contre 4.07 sans tagetes. Les deux modalités de Maxifort ont les IGR les plus élevés, avec ou sans présence de Tagetes. Pour ces deux porte-greffes, *Meloidogyne incognita* est le seul nématode identifié sur les femelles ayant pénétré les racines. Il y a donc eu contournement de la résistance apportée par le gène Mi-1 dans Embajador.

Il peut être intéressant d'approfondir l'effet des Tagetes au niveau statistique.

Compte tenu de la difficulté d'installation des Tagetes, une partie des tomates n'a pas bénéficié réellement d'un plant de tagete fonctionnel à proximité. Un travail sur les données réalisé par l'INRAE a permis de ne conserver que les notations d'IGR de tomate à proximité de tagetes fonctionnelles.

L'analyse statistique confirme alors :

- Un effet très significatif du porte-greffe Sanaterra
- Un effet significatif de la modalité Embajador avec Tagetes
- Embajador a des IGR significativement moins élevés que Maxifort
- Les modalités avec Tagetes ont des IGR significativement moins élevés que sans tagetes (tout porte-greffe confondu)

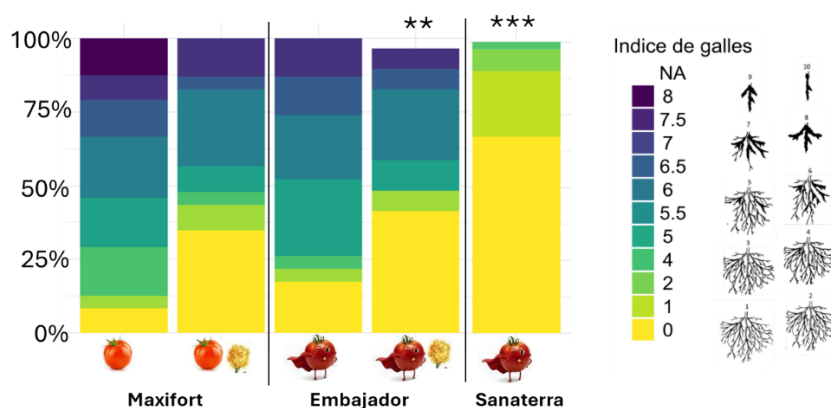


Fig 16 : Répartition des IGR par modalité observés sur tomate. ** et *** indiquent les modalités statistiquement différentes (graphiques INRAE)

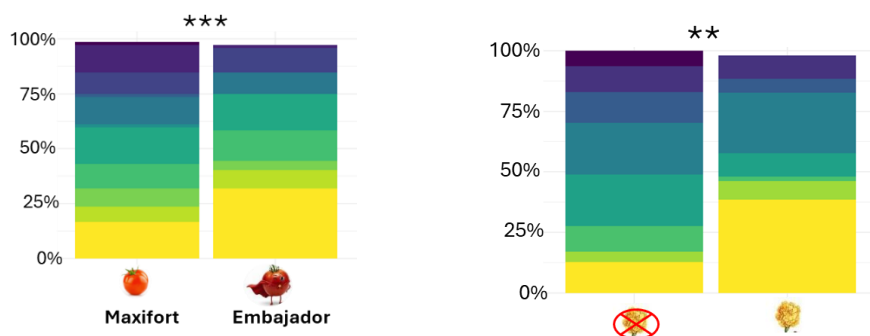


Fig 17 : Comparaison de la répartition des IGR sur les modalités porte-greffes (Maxifort sensible // Embajador résistant) et des modalités avec ou sans Tagetes. ** et *** indiquent les modalités statistiquement différentes (graphiques INRAE)

Ces résultats nous confirment bien le niveau de résistance plus élevé à *Meloidogyne incognita* de Sanaterra, la résistance partielle d'Embajador et la sensibilité de Maxifort.

Les tagetes montrent aussi un intérêt en association avec les porte-greffes pour freiner le développement des nématodes.

5- Conclusion

Le dispositif de cet essai permettait d'évaluer 3 leviers de protection de manière indépendante et combinée au sein d'un système de production de tomate. Cependant, des difficultés de mise en œuvre n'ont pas permis d'évaluer le levier « Mycorhize comme stimulateur de défense des plantes ».

Le levier Tagetes a aussi été fragilisé par des plants trop jeunes à la date de plantation.

Les infestations naturelles de nématodes à galle ont toutefois permis d'évaluer le levier génétique et permettent de confirmer la résistance supérieure du porte-greffe Sanaterra aux nématodes *Meloidogyne incognita*. Il apporte une réduction de 90% des indices de galls racinaires moyens et de 65% de plantes contaminées par rapport au porte-greffe Maxifort. Cependant, la présence de quelques galls provoquées par *M.hapla* montre bien que sa résistance n'est pas complète et que la protection n'est pas durable. Une différence significative a aussi été démontrée entre Embajador et Maxifort sur les IGR, permettant de positionner Embajador comme plus tolérant que Maxifort à *M.incognita*.

Après sélection des Tagetes suffisamment développées, le levier « plante de service Tagetes » a aussi montré des résultats significatifs sur la réduction des IGR des tomates associées. L'effet est plus marqué sur le porte-greffe tolérant Embajador que Sanaterra.

L'effet des Tagetes sur les ravageurs aériens est moins évident. Les tendances observées vont plutôt dans le sens d'une attractivité supérieure des ravageurs dans les modalités avec Tagetes (Pucerons, aleurodes, Tuta, mineuses, cochenilles). Les tagetes ont été clairement attractifs des acariens, ce qui a conduit à leur arrachage pour préserver les tomates. Une étude approfondie serait nécessaire pour isoler les données des plantes voisines de tagetes suffisamment développées comme cela a été fait avec les IGR. Sinon, un autre essai pourrait être conduit en améliorant la reprise des Tagetes avec des plants plus âgés.

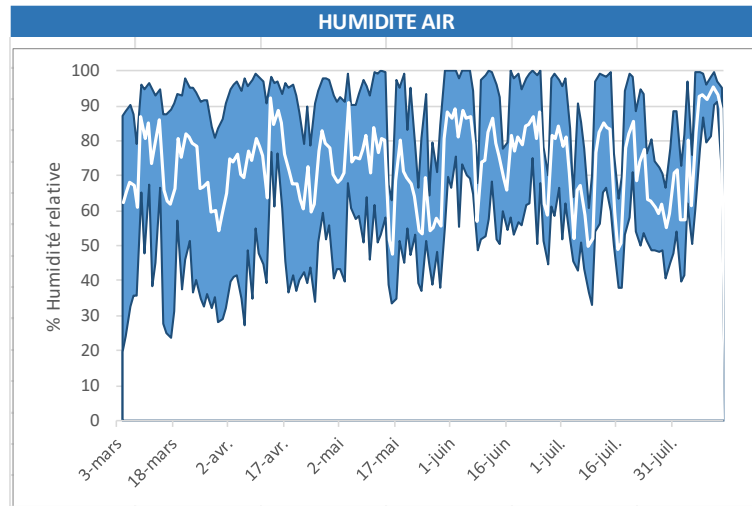
Tableau 5 : Bilan des tendances de présence des bioagresseurs selon les modalités observées en tomate

Bioagresseur	Tagetes	Embajador	Embajador*Tagetes	Sanaterra
Nématodes	-	-	--	---
Maladies (oidium, cladosporiose)	=	=	=	=
Pucerons	++			
Tuta, mineuses	+ (juin)			
Aleurodes	+ (juin-juillet)			
Acariens	+ (juillet)			
Cochenilles	+			

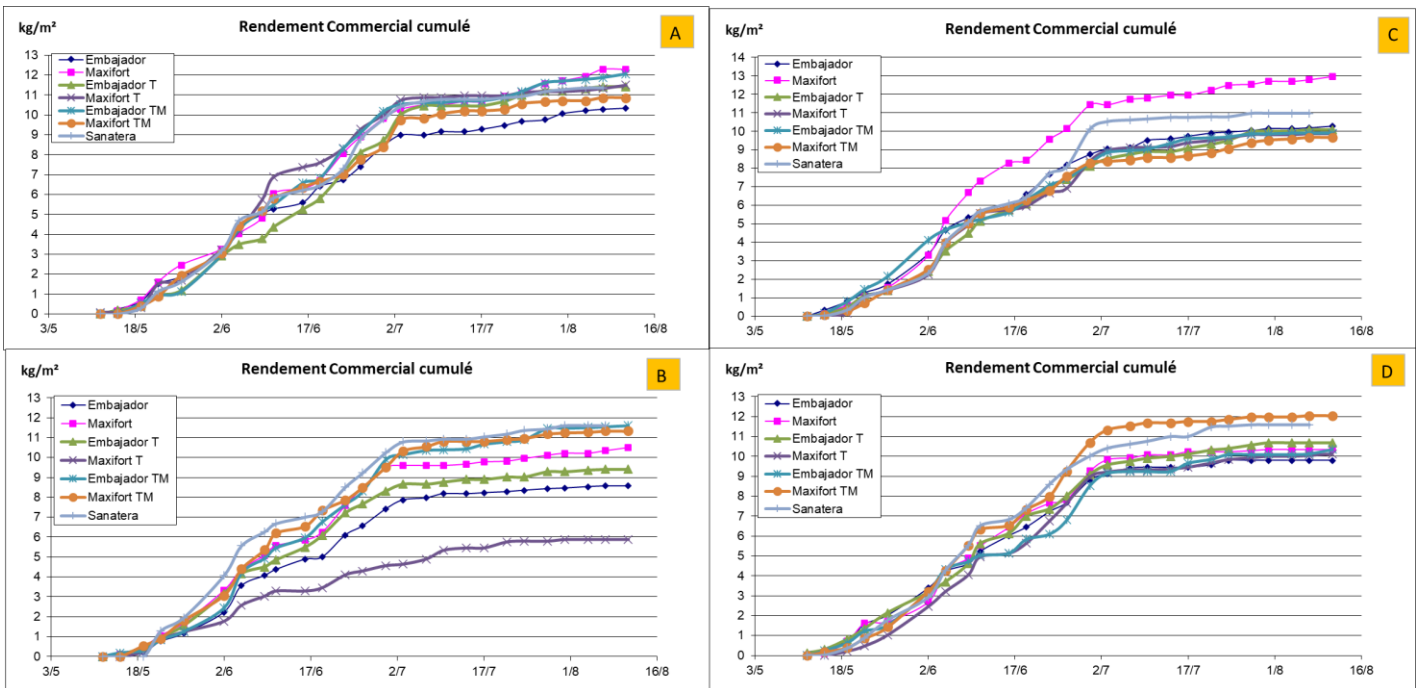
Avant de développer cette technique pour protéger les cultures des nématodes, il est nécessaire de vérifier les disservices associés aux ravageurs aériens et de quantifier le coût supplémentaire lié à la plantation des tagetes (plants et main d'œuvre)

Renseignements complémentaires auprès de :

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

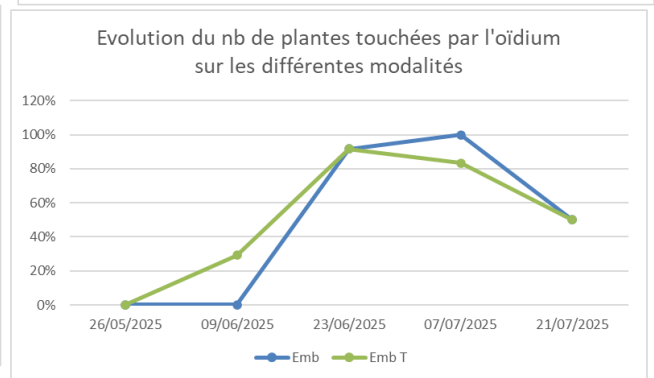
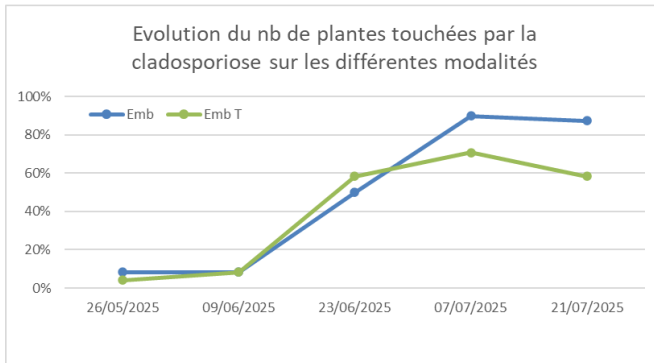
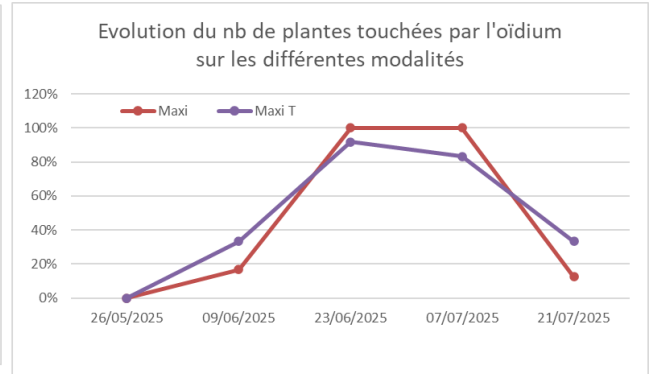
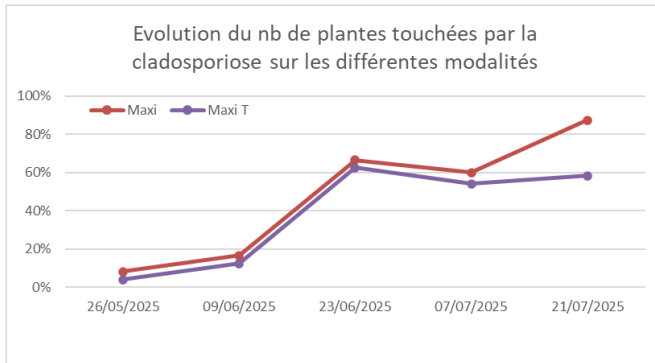


• Relevés de rendement détaillés par répétition

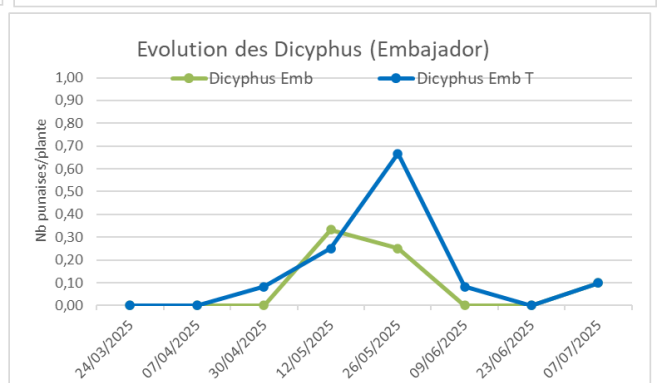
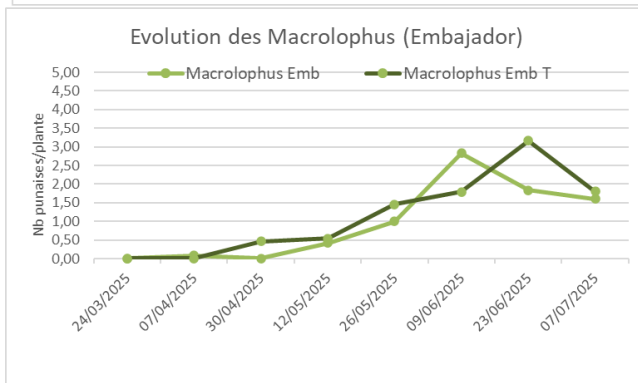
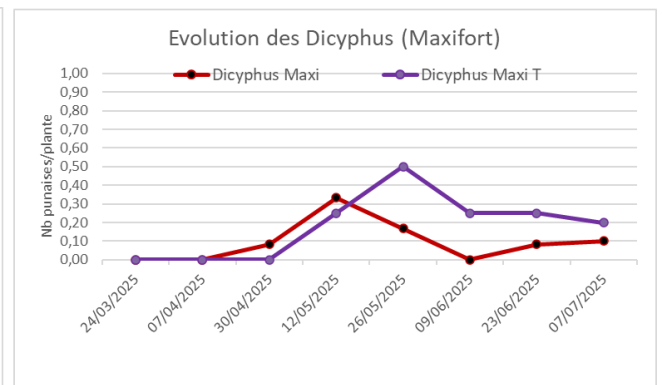
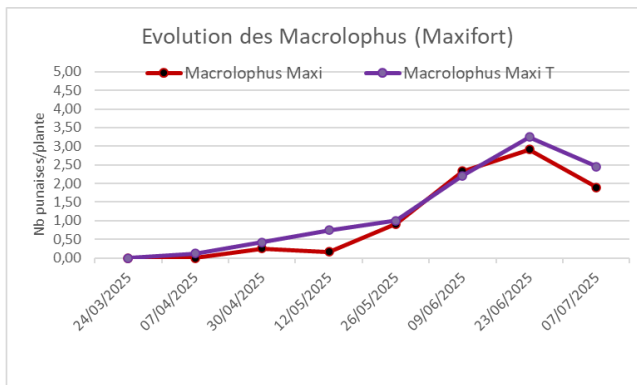


• Relevés sanitaires détaillés par modalité

Maladies



Punaises prédatrices



ANNEXES PHOTOGRAPHIQUES

➤ **Plantation : 3 mars 2025**



Maxifort

Sanaterra

Embajador



Plants de Tagetes



Association Tagetes + Tomate

➤ **7 avril, hétérogénéité de reprise des tagetes**



➤ 7 avril, dégâts de fourmis



7 mai : bourgeons floraux



➤ 19 mai, palissage des Tagetes



Entre rang, pas de palissage

débordement sur rang

Tagetes palissées

➤ 7 juillet : acariens sur Tagetes

