



Tomate

Evaluation de l'eau restructurée associée à la réduction d'intrants

2024



Claire Goillon, APREL - Isabelle Boyer, Simon Cordier, Mathieu Cabanis, CRIIAM Sud - Alexandra Candelle, CETA de Durance-Alpilles

Essai réalisé dans le cadre du projet LIRRIQUE : Gestion de l'IRRIGATION associée à des stratégies bas intrants pour réduire les pollutions d'origine agricole et améliorer la QUALITÉ des productions



Résumé

Dans le but de limiter la consommation des ressources (eau, engrais, produits phytosanitaires), les maraîchers utilisent des outils de pilotage et sont en recherche permanente d'innovations. Le projet Lirrique cherche à combiner les OAD existants et de nouvelles techniques comme le système de restructuration de l'eau. Le système Homeo Dekalc (Traitagri Centre) est testé pendant 3 ans dans une parcelle en rotation laitue/tomate, en cherchant à évaluer les effets sur la production, la qualité, l'économie d'engrais, d'eau et de produits phytosanitaires

Une première année d'essai (2022-2023) n'a pas montré d'effet sur une culture de tomate conduite sans autre modification de paramètre. Pour la 2^e saison, le traitement de l'eau est testé en combinaison d'une conduite plus restreinte en intrants.

Mots clés : Eau restructurée, tomate, économie d'eau.

Réalisé avec le soutien financier de :



1- Contexte et objectifs de l'essai

L'activité agricole est dépendante de nombreuses ressources naturelles menacées. Dans le but de limiter la consommation de ces ressources et de préserver leur qualité, certains outils de pilotage sont utilisés en maraîchage (sondes tensiométriques ou capacitatives, méthode PILazo, Nitrates) mais d'autres innovations plus récentes restent à valider sur le terrain. C'est le cas de la restructuration de l'eau qui permettrait d'optimiser le pouvoir mouillant de l'eau (meilleure pénétration et rétention dans le sol), d'améliorer l'efficacité des traitements phytosanitaires, de favoriser la dissolution des minéraux et donc leur assimilation par la plante mais également de stimuler les racines et limiter le développement bactérien grâce à une augmentation de la concentration en oxygène de l'eau. Autour de cette innovation, le projet LIRRIQUE cherche à construire une stratégie de production bas intrant pour la laitue et la tomate

L'objectif est d'évaluer l'effet du traitement de l'eau d'irrigation sur une culture de tomate et la possibilité de réduire les apports d'eau et d'engrais

2- Facteurs et modalités étudiés

Dans cette étude, une parcelle de tomate irriguée avec de l'eau restructurée est comparée à une parcelle irriguée par de l'eau non traitée (témoin). Une autre modalité est rajoutée sur la modalité témoin conduite avec réduction d'eau et d'engrais comme sur la conduite avec l'eau restructurée.

L'essai comprend donc 3 modalités :

- Traitement HD, réduction d'intrants (C2)
- Témoin eau non traitée (C3)
- Témoin eau non traitée, réduction d'intrants (C1)

3- Matériel et méthodes

3.1 - Site d'implantation

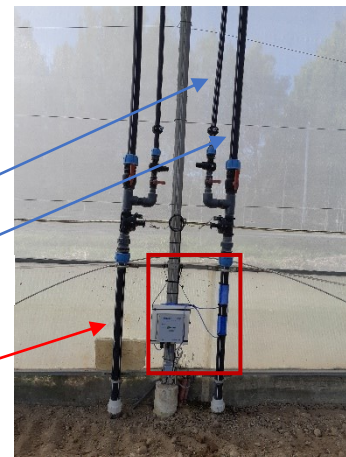
L'essai est réalisé chez M. Eric Bres à Saint-Rémy-de-Provence (13), dans une multichapelle plastique de 3500 m², orientée Est/Ouest. Système de production conventionnel

Le système Homéo Dekalc est installé sur l'arrivée d'eau de forage d'une des 4 chapelles, qui permet de traiter l'eau à la fois sur le réseau d'aspersion et sur le réseau d'irrigation localisée de cette chapelle. L'appareil est installé par la société Traitagri en octobre 2022, juste avant la plantation de laitue.

L'induction électromagnétique générée par le système Homeodekalc provoque la réorganisation des molécules d'eau.

Conduite pour aspersion (Ø 40)
Conduite pour irrigation localisée (Ø 63)

Système HomeoDekalc



3.2 - Dispositif expérimental

La figure 1 présente la disposition de chaque modalité (chapelle de 625 m²) et des placettes de contrôle.

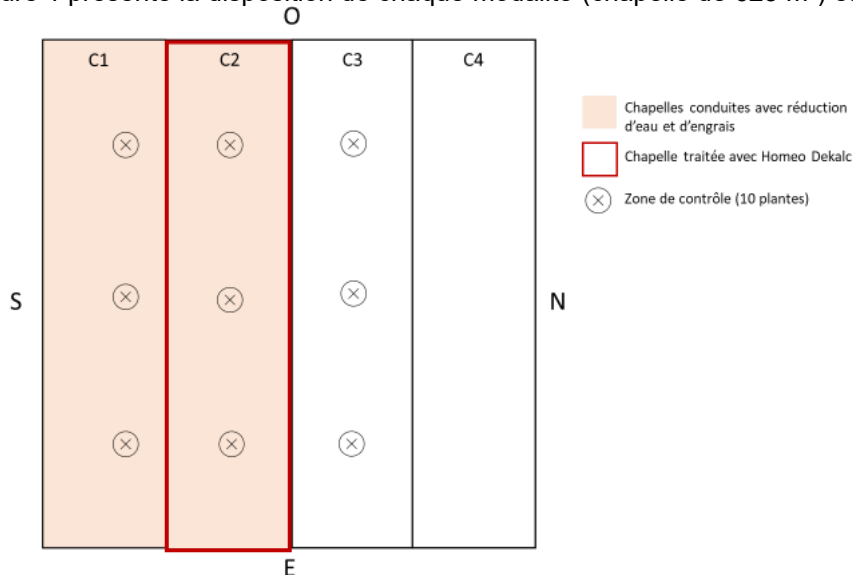


Figure 1 : Dispositif expérimental sur tomate (projet LIRRIQUE, 2024)

3.3 – Données culturelles

Variété	Diamandia (Clause), type allongée cœur
Greffage	plants greffés 1 tête sur Embajador (Rijk Zwaan) et Sanaterra (Prosem) en C3
Densité	2 plants/m ²
Date de plantation	08/03/2024
Date de récolte	du 24/05 au 23/08 2024 (prolongation des récoltes par le producteur en sept)
Type de sol	calcaire sablo-limoneux (13%-15% d'argile)

3.4 - Observations et mesures

Suivi climatique

- Une sonde Sencrop est installée dans la multichapelle avec relevés de température, hygrométrie et Humectation foliaire

Suivi de fertilisation :

- Suivi des Nitrates dans le sol et dans la plante par analyses rapides en cours de culture (Nitratests et PILazo®)

Suivi de l'irrigation :

- Des sondes capacitives Sentek (Agralis) ont été positionnées dans chaque modalité à 30 cm de profondeur pour suivre l'évolution de l'humidité du sol en mm.
- Deux compteurs connectés Solem ont été positionnés sur le système goutte-à-goutte

Rendement :

- Récolte sur 3 placettes de 10 plantes par modalité. Pesée du poids total et caractérisation des écarts de tri. Calcul du rendement commercial, rendement Extra, poids moyen des fruits.

Analyse statistique :

- Modèle linéaire et Anova suivie d'une comparaison par paires avec une correction de Bonferroni pour les mesures quantitatives : rendement commercial, Extra et poids moyen.

4- Résultats

4.1 - Observations culturelles

Climat :

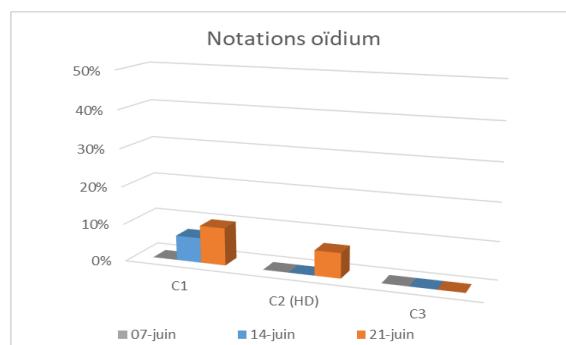
La saison s'est caractérisée par un printemps très doux qui a permis d'installer la culture dans des conditions favorables. Les chaleurs ne sont venues que tardivement, ce qui a évité un épuisement de la plante avant l'été. La multichapelle est un outil de production performant qui permet de tempérer les températures froides en début de saison et chaudes durant l'été. Les températures minimales observées sont de 7°C le 25 mars et elles atteignent des pointes à 35°C entre le 27 juin et le 26 juillet. Suite à des épisodes pluvieux fin avril, on constate des augmentations d'humidité relative et d'humectation sur feuilles. A partir du 25 août, l'humectation des feuilles est plus importante (mesuré à plus de 100 mm par jour) jusqu'à la fin de la culture. Les relevés figurent en annexe.

Maladies et ravageurs :

Comme en 2023, l'installation des *Macrolophus* a été très réussie dans cette culture. Les populations ont été rapidement présentes, avec des effectifs élevés permettant d'assurer un contrôle des aleurodes et des acariens durant toute la saison. En fin de culture, les *Macrolophus* étaient toujours aussi nombreux.

- Les **pucerons** très présents en 2023 n'ont pas posé de problème cette année.
- Des **noctuelles** ont été observées à partir de début juin et durant toute la saison sans occasionner de dégâts significatifs
- L'**acariose bronzée** a été détectée en fin de culture de manière peu intense (rares plantes avec nécroses)
- Des départs de **pythium** ont été observés en début de culture seulement sur la modalité C3 avec le porte-greffe Sanaterra. La maladie a généré environ 10% de pertes de plants dans cette chapelle. La maladie s'est ensuite arrêtée suite à des interventions du producteur.
- L'**oïdium** n'a pas été observé cette année contrairement à 2023. La différence de développement entre les modalités qui avait été perçue en 2023 n'a donc pas pu être confirmée

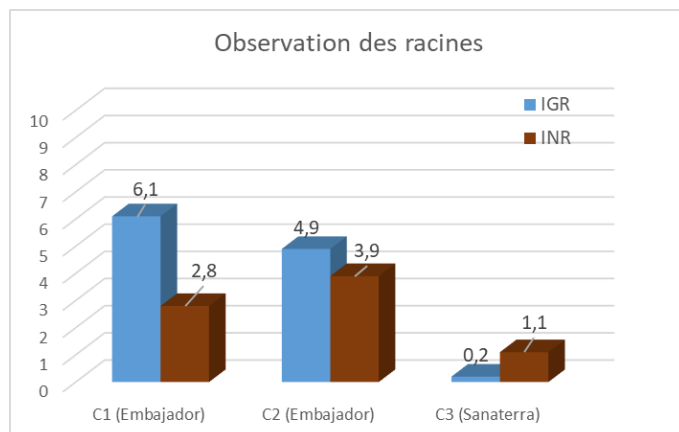
Figure 2 : Notation de présence d'oïdium (% de plantes touchées)



- Du **virus ToFBV** a été détecté en fin de saison (analyses INRAE) provoquant des taches sur les derniers fruits en récolte. Ce virus, récemment décrit dans la région serait transmis par acariose bronzée
- Parmi les bioagresseurs telluriques, les nématodes à galle et le champignon *Colletotrichum coccodes* ont été identifiés en fin de culture sur observation racinaire. Un taupin a pu être observé également à l'arrachage des racines en C2.

Une notation de 10 systèmes racinaires a été effectuée par modalité et a permis de distinguer la modalité C3 des 2 autres modalités par rapport à l'intensité des galles de nématodes. L'influence du porte-greffe Sanaterra, plus tolérant, est à l'origine de cette différence. La parcelle traitée avec Homeo Dekalc (C2) présente un indice de galle moyen légèrement inférieur à la parcelle non traitée C1. Cette

observation va dans le même sens qu'en 2023 mais correspond plutôt à un gradient de pression dans le sol. La chapelle C1 proche de la paroi est sujette à un réchauffement plus important du sol et un développement des nématodes favorisé. La différence d'IGR n'est pas suffisamment importante pour pouvoir l'attribuer à l'eau restructurée.



N° poteau	IGR		
Sud	C1	C2	C3
30	5	1	0
27	8	2	0
24	8	6	0
21	1	5	0
18	8	7	1
15	8	4	0
12	6	4	0
9	6	5	1
6	6	8	0
3	5	7	0
Moy IGR	6.1	4.9	0.2

Figure 3 : Notation des racines en fin de culture. IGR = indices de galles ; INR = Indice de nécrose racinaire

L'IFT réalisé sur cette culture est de 5 (2 insecticides et 3 fongicides) complété par 3 applications de biocontrôle fongicide (soufre mouillable). Cette baisse d'IFT par rapport à 2023 (IFT=9) s'explique par une pression moindre en pucerons et oïdium durant cette saison.

4.2 Suivi de fertirrigation

Le sol est de nature calcaire, sablo-limoneux avec 13 à 15% d'argile qui le rend sensible à l'asphyxie des racines et à la fissuration. Au niveau minéral, le sol est bien pourvu en éléments majeurs et en oligo-éléments disponibles. Seule la potasse est limitante, et doit être apportée en complément important en fertirrigation, surtout pour une production de tomate.

➤ Apports réalisés

Aucune fumure de fond minérale n'est apportée avant plantation et il n'y a donc pas de distinction faite entre les modalités.

Amendement organique : 3.5 T/ha de Bochevo

Fertilisation apportée au goutte à goutte du 22 avril au 2 septembre avec un mélange d'engrais complets NPK 15/10/30 ; 10/10/40 et 14/40/5. A partir de la semaine 19 (mi-mai), les apports deviennent réguliers et représentent 6 à 7 irrigations fertilisantes par semaine.

- ⇒ Pendant 3 semaines, de la semaine 22 à 24 (fin mai-début juin), une réduction des apports d'engrais est réalisée dans les chapelles C1 et C2 en supprimant 1 à 2 irrigations fertilisantes hebdomadaires, maintenue par de l'eau claire.
- ⇒ Pendant 2 semaines (26 et 27), la fertilisation est interrompue dans les 2 modalités au regard de la vigueur des plantes mais elle est reprise avec des quantités plus élevées en juillet

Sur la base des relevés du producteur, les apports et la réduction ont été calculés pour l'eau et l'engrais. La réduction d'engrais est minime entre les modalités cette année mais elle est significative entre 2023 et 2024 : environ 14% sur N, 20% sur P et 23% sur K.

Les apports d'eau ont été mesurés par des compteurs connectés Solem. Une différenciation des apports a été effectuée dès le mois de juillet, mais cela n'a pas suffi à restreindre la parcelle traitée (voir comparaison des courbes cumulées chapitre suivi irrigation).

	Apports NPK (kg/ha)			Apports d'eau (m3/ha)
	N	P	K	
C3 (témoin)	208	162	556	2 996
C1-C2	206	160	545	2912
Réduction calculée	-0.9%	-1.2%	-3.8%	- 2.8%

➤ Mesures des Nitrates

Dans le sol (Fig 4A), les relevés montrent des teneurs en nitrates confortables en début de culture (120 à 140 unités). En cours de saison, les Nitrates ont diminué jusqu'à la valeur seuil de 50 kg/ha, ce qui a généré un renfort de fertilisation et un retour à des niveaux confortables, surtout pour la modalité C1 (150 kg/ha) qui est toujours la modalité la plus riche en Nitrates

Dans la plante (Fig 4B), les nitrates diminuent en début de culture au fur et à mesure de la croissance de la plante et augmentent à partir des premières récoltes (relance végétative des plantes). Les courbes montrent que la culture a été gérée au minimum puisqu'elles sont inférieures au seuil Pilazo et ne dépassent pas ce seuil jusqu'à mi-juillet. Ensuite, deux semaines d'apports plus importants a conduit rapidement à une situation d'excès (pic sur la courbe), corrigée pour la fin de culture. Globalement, les apports d'engrais ont été réduits par rapport à 2023. On ne constate pas de différence significative entre les trois modalités. La réduction des apports des semaines 22 à 24 dans les modalités C1 et C2 n'est pas visible sur cet indicateur (faible réduction).

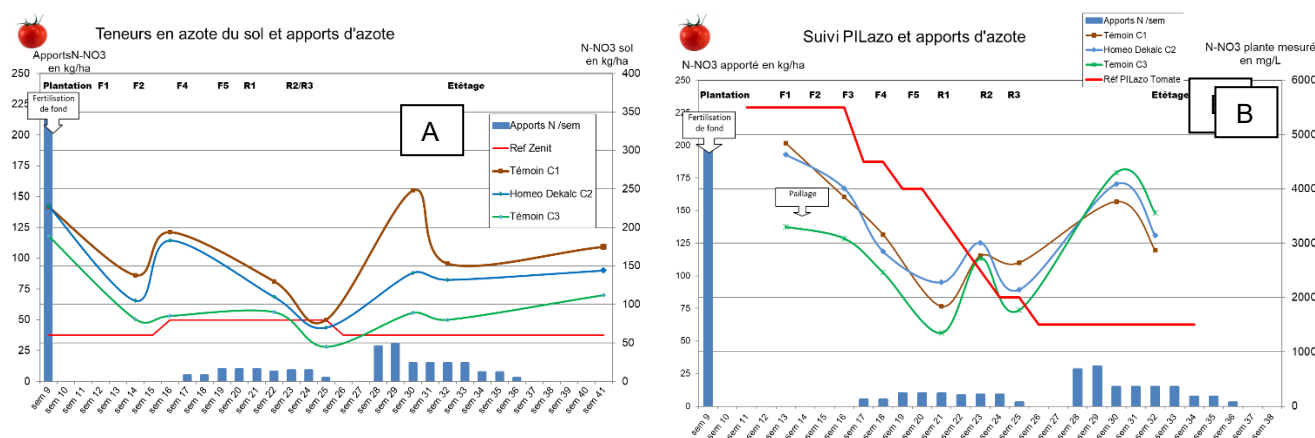


Figure 4 : Mesures des nitrates dans le sol (A) et dans la plante (B)

➤ Suivi de l'irrigation à l'aide des sondes capacitatives (données Criiam sud)

La comparaison des courbes cumulées montre qu'une différence d'humidité s'installe entre la modalité traitée et la modalité témoin à partir du 16 avril 2024. Cette tendance a été confirmée par les prélèvements à la tarière. Un test de débit a été effectué et a montré un débit légèrement supérieur sur la modalité traitée (C2). Le producteur semble aussi confirmer que la partie témoin (C3) est historiquement plus sèche que la partie traitée par une différence de sol et de pente. Ces différents paramètres peuvent être à l'origine de cette différence d'humidité, et réduire le probable effet du traitement de l'eau.

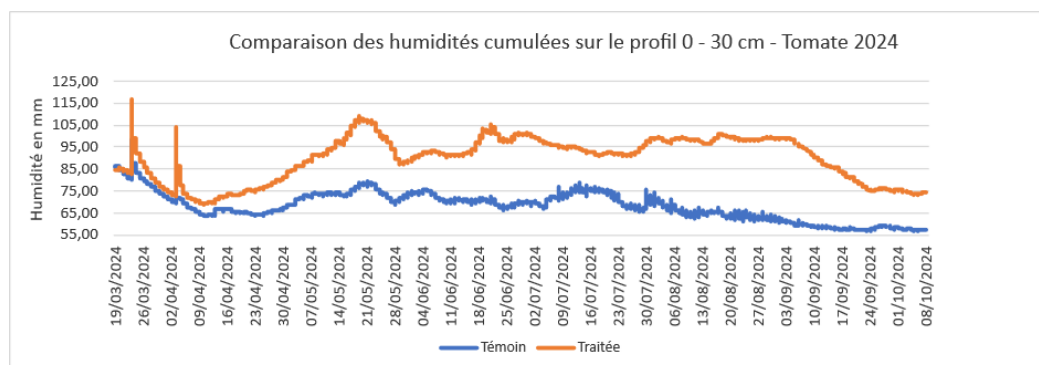


Figure 5 : Courbe des humidités cumulées sur le profil de sol 0-30 cm -tomate 2024

4.3 Evaluation du rendement

Les récoltes sont suivies du 24 mai au 23 août. Un dénombrement de la charge finale après étêtage a permis d'estimer la production finale.

➤ Rendement

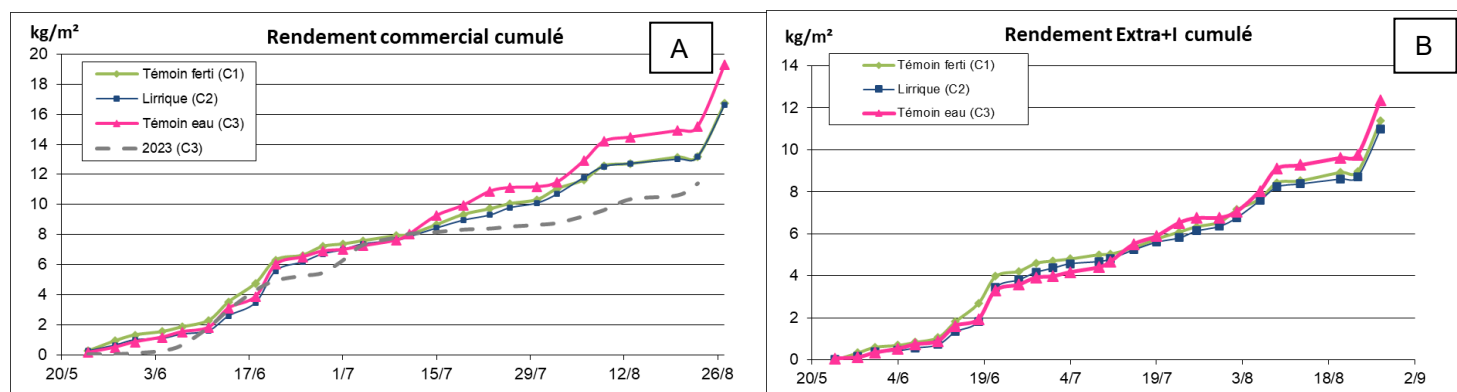
Les récoltes ont été contrôlées jusqu'au 23/08. A cette date, les cultures étaient étêtées et un comptage des fruits noués sur les plantes a été effectué pour estimer la production restante (le nombre de fruits total a été multiplié par le poids moyen obtenu sur chaque modalité).

	Données mesurées au 23/08				Données finales estimées
	Rendement commercial (kg/m ²)	Rendement extra + 1 (kg/m ²)	% second choix	Poids moyen des fruits	Rendement commercial (kg/m ²)
C3 Témoin eau non traitée	15.2 ^a	9.8 ^a	36 %	317 ^{ab}	19.3
C2 Homeo Dekalc + réduction d'intrants	13.2 ^b	8.7 ^b	34 %	313 ^b	16.6
C1 Témoin eau non traitée + réduction d'intrants	13.2 ^b	8.9 ^b	32 %	321 ^a	16.7

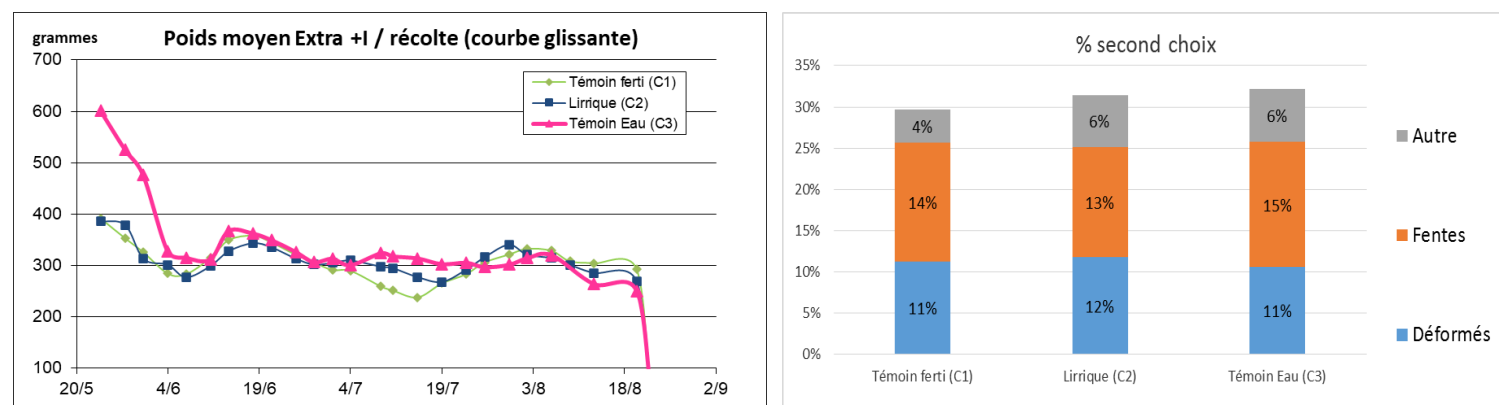
a, b : groupes statistiquement différents

Les rendements obtenus en 2024 sont plus élevés qu'en 2023, lié à des conditions climatiques moins chaudes et favorables à une meilleure nouaison.

Les analyses statistiques (test Anova et comparaison de Bonferroni) permettent de distinguer les modalités sur le rendement : à partir du 23/07, le rendement commercial et Extra de la modalité témoin (C3) est significativement supérieur à la modalité Lirrique. La modalité témoin avec réduction d'intrants (C1) n'est pas significativement différente des deux autres modalités jusqu'au 20/08 et rejoint ensuite le groupe statistique de la modalité Lirrique.



Figures 6 : Production de tomate dans les différentes modalités 9A-rendement commercial 9B-Rendement Extra



Figures 7 : Caractérisation de la qualité des tomates selon les modalités

Les poids moyens sont très comparables dans les modalités, autour de 300g, sauf les premiers fruits de la modalité C3 qui ont été particulièrement gros (500 à 600g). La catégorie « autre » du second choix correspond essentiellement à des fruits de petits calibres inférieurs à 150 g

5- Conclusion

Parmi les indicateurs suivis dans cet essai, on constate un rendement significativement supérieur dans la modalité témoin C3 (témoin eau non traitée) par rapport aux autres modalités. L'observation des racines permet de constater que la tolérance aux nématodes du porte-greffe utilisé dans cette modalité en 2024 (Sanaterra) en est à l'origine et non le facteur eau et engrais étudié.

Les cultures de tomate ont reçu des volumes d'eau bien maîtrisés avec des quantités d'eau représentatives d'une conduite économe en eau, quelle que soit la modalité. En 2024, un effort de réduction des intrants eau et engrais a été appliqué par le producteur : on constate une baisse d'environ 20% des apports d'engrais par rapport à 2023, ce qui représente des apports de 208 N / 162 P / 556 K pour 6 mois de culture. L'état des lieux réalisé à l'APREL entre 2013 et 2016 sur 12 parcelles donnait 372 N / 231 P / 594 K. En dehors de la potasse qui présente des teneurs faibles sur la parcelle d'essai, les pratiques obtenues au bout de 2 ans d'essai révèlent un niveau d'apports d'engrais fortement réduit.

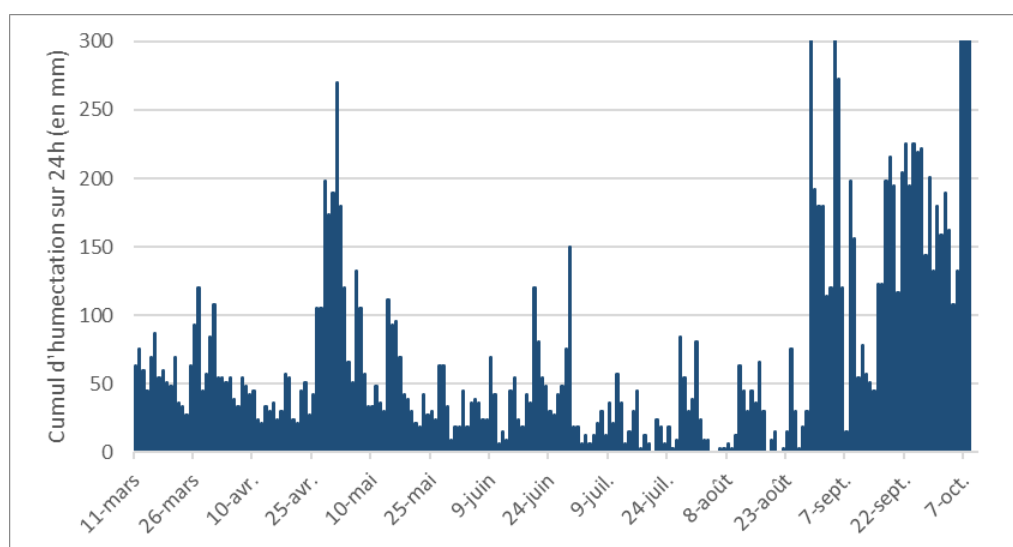
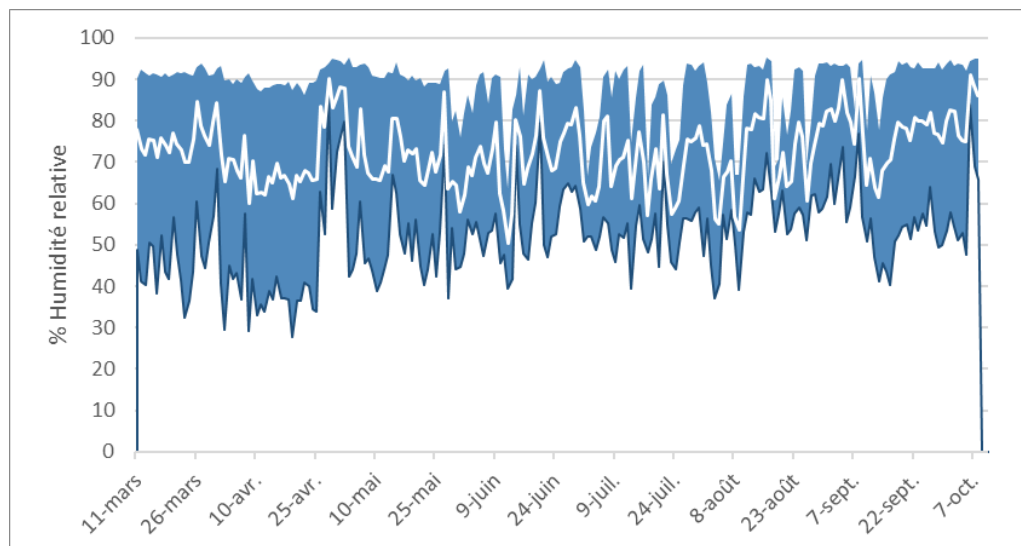
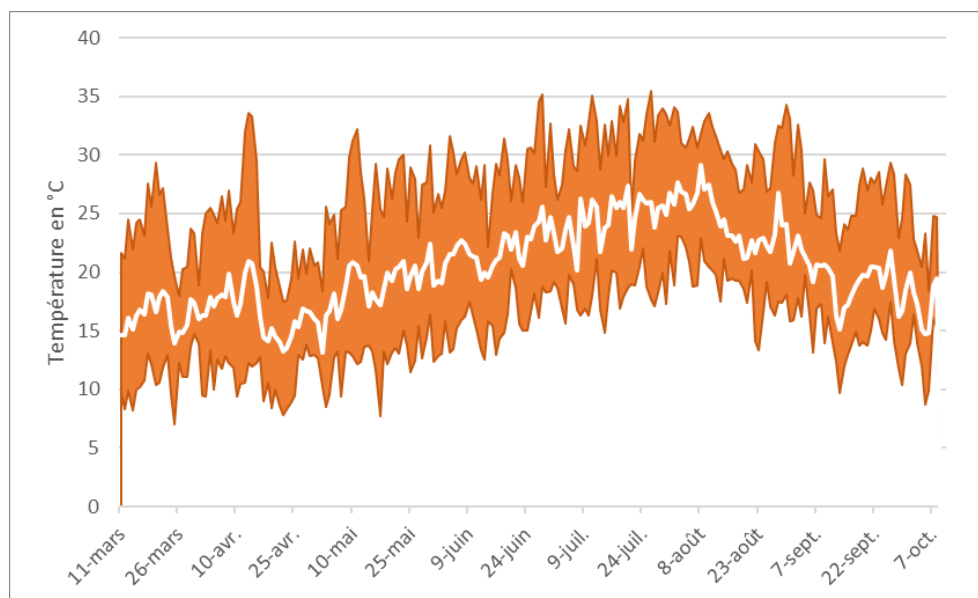
Par contre, les 2 années d'essai avec l'eau restructurée Homeo Dekalc ne permettent pas de mettre en évidence un effet du traitement de l'eau sur la production de tomate et la protection sanitaire de la culture. Aucune différence significative n'a été montrée sur le rendement, l'humidité du sol ou la protection sanitaire. En 2023, le développement de l'oïdium a été retardé dans la modalité traitée avec Homeo Dekalc mais cela n'a pas pu être vérifié en 2024 (pas de pression oïdium). Il serait intéressant de réaliser de nouveaux essais sur ce point en conditions contrôlées car cela peut être intéressant pour la construction de stratégies bas intrants phytosanitaires.

Au-delà de l'objectif d'évaluation de l'eau restructurée, ces essais ont permis de :

- Maintenir un bon rendement commercial avec un niveau faible d'intrants (eau, engrais et produits phytosanitaires)
- Révéler un porte-greffe résistant aux nématodes (Sanaterra)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Relevés climatiques dans la multichapelle en 2024 : Températures (°C) et Humectation foliaire (min)



Annexe 2 : Calendrier de traitement réalisé sur la culture de tomate 2024

Date	Cible	Produit
22-mars	nématodes	Velum Prime
10-avr	Pythium	Previcur
13-avr	nématodes	Velum Prime
26-avr	Botrytis	Cuivre bb
30-avr	Botrytis	Scala
28-juin	Oïdium	Cidely top
27-juil	Oïdium	Cuivre bb
31-août	Oïdium	Cuivre bb

IFT insect 2

IFT fongi 3

IFT biocontrôle 3

IFT chimique 5

Annexe 3 : Photos des systèmes racinaires dans l'essai tomate 2024*Porte-greffe Embajador**Porte-greffe Sanaterra*