



• **Bio Ariège-Garonne** •  
Le groupement des agriculteurs **BIO**  
d'Ariège et de Haute-Garonne

AgroParisTech 

# Rapport de stage de 2<sup>e</sup> année, type assistant ingénieur – Théo Dour

*L'accompagnement technique de l'irrigation et de la  
fertilisation en maraîchage biologique en Ariège et Haute-  
Garonne en milieu associatif*

**Lieu de stage :** Bio Ariège-Garonne, à La Bastide-de-Sérou (Ariège)

**Période de stage :** 5 juin 2023 au 18 août 2023

**Enseignante tutrice de stage :** Caroline PETITJEAN, chercheuse en sciences des sols

**Maitresse de stage :** Lucile CHAVANIEU, chargée de mission en maraîchage

## **Remerciements**

Tout d'abord, mes remerciements vont aux maraîchers que j'ai pu côtoyer régulièrement pendant leur suivi, pour les échanges nombreux que j'ai eu le plaisir d'avoir avec eux.

Merci aux maraîchers ayant accepté de participer à l'enquête téléphonique pour le temps qu'ils m'ont accordé, malgré une période très chargée.

Je suis très reconnaissant envers Lucile Chavanieu, qui a encadré mon stage et surtout qui m'a accompagné sur toute sa durée, pour réfléchir ensemble et pour que l'expérience en soit la plus enrichissante.

Je tiens aussi à remercier Stanislas Poudou de m'avoir inclus dans la rédaction des bulletins d'irrigation et pour ses nombreux conseils.

Mes salutations distinguées à Hervé Henry pour les discussions très intéressantes, et pour son soutien.

L'équipe de Bio Ariège-Garonne a été très accueillante et disponible, et sait maintenir une atmosphère conviviale au quotidien. Merci pour tous ces bons moments.

Enfin, merci à Manon pour sa relecture, son aide et son soutien.

## Table des matières

1) Introduction.....	5
a. Présentation de l'organisme d'accueil .....	5
b. Contexte d'étude .....	6
c. Problématique du stage.....	7
2) Méthodes .....	8
a. Un suivi régulier par l'animation technique .....	8
b. La tensiométrie pour piloter l'irrigation.....	8
c. La mesure des teneurs en azote .....	10
d. La rédaction de bulletins de conseil d'irrigation et le bilan hydrique .....	10
e. Une enquête téléphonique .....	11
3) Gestion de l'irrigation.....	12
a. L'information est une technique en elle-même .....	12
b. Focus sur les graphiques des sondes tensiométriques .....	14
<i>i. Arrosages espacés sur sol limoneux .....</i>	<i>14</i>
<i>ii. Arrosages fractionnés sur sol limoneux.....</i>	<i>15</i>
<i>iii. Arrosages fractionnés sur sol sableux .....</i>	<i>17</i>
c. Discussion des résultats concernant l'irrigation .....	18
4) Gestion de la fertilisation .....	20
a. Leviers techniques .....	20
b. Focus sur les relevés d'azote .....	21
c. Discussion des résultats concernant la fertilisation.....	23
<i>i. Incertitudes de mesure .....</i>	<i>23</i>
<i>ii. L'importance du rendement dans l'analyse .....</i>	<i>23</i>
<i>iii. L'excès de salinité.....</i>	<i>24</i>
<i>Conclusion sur les relevés d'azote.....</i>	<i>24</i>
5) Mise en perspective du suivi .....	24
a. Une conduite de l'irrigation multifactorielle .....	25
b. La pertinence du suivi .....	26
c. Perspectives du stage.....	27

6) Conclusion.....	28
Références.....	28
Annexes.....	30
Annexe A : Schéma de l’installation d’irrigation et de tensiométrie en culture de tomate .....	30
Annexe B : protocoles de réalisation des relevés de nitrates dans le sol et dans les pétioles d’une culture de tomates avec Nitracheck.....	31
Annexe C : extrait de bulletin d’irrigation .....	32
Annexe D : questionnaire de base pour les entretiens téléphoniques .....	34

### Sommaire des figures

Figure 1 : Le triangle des trois types de fertilité du sol – Laboratoire Celesta .....	7
Figure 2 : Allure de la courbe tension-teneur en eau en dessèchement et en réhumectation, pour un sol donné (d’après Carole Isbérie et al., 2013) .....	10
Figure 3 : tableau récapitulatif des sources d’informations pour adapter l’irrigation.....	13
Figure 4 : graphique des tensions et graphique des apports sur tomates, de mi-avril à fin-juillet – Clément Brunet, 2023 .....	14
Figure 5 : graphique des tensions et graphique des apports sur tomates, de mi-avril à fin-septembre – GAEC En Vert de Terre, 2020.....	16
Figure 6 : graphique des tensions et graphique des apports sur tomates, de mi-avril à fin-septembre – GAEC En Vert de Terre, 2021.....	16
Figure 7 : graphique des tensions et graphique des apports sur aubergines, de fin-avril à fin-novembre – Sabrina Chauvélie, 2022.....	18
Figure 8 : Grille des teneurs en azote dans le sol – Clément Brunet, Grépiac 2023 .....	21
Figure 9 : Grille de la teneur en azote dans les pétioles – Clément Brunet, Grépiac 2023.....	21
Figure 10 : Sources d’incertitudes sur les teneurs en azote du sol et des pétioles .....	23
Figure 11 : La pluralité des facteurs de variabilité dans la gestion de l’irrigation et de la fertilisation .....	25

### Abréviations

BAG : Bio Ariège-Garonne

CA09 : Chambre d’Agriculture de l’Ariège

GAB : Groupement d’Agriculteurs Biologiques

GAG : goutte-à-goutte

# 1) Introduction

## a. Présentation de l'organisme d'accueil

L'agriculture biologique s'inscrit dans un contexte de diminution du nombre d'agriculteurs : en Ariège, -13.5% entre 2000 et 2010 (Agreste, 2010), -15.3% entre 2010 et 2020 (Agreste, 2020), en Haute-Garonne, -20.9% entre 2000 et 2010. Cette diminution est préoccupante car elle conduit (ou est conduite par) à une augmentation de la mécanisation de l'agriculture, reposant sur des énergies fossiles. Elle est le résultat de certaines tendances : une concurrence généralisée des producteurs combinée à l'activité des filières amont et aval de l'agriculture (pétrochimie, machinisme, agro-alimentaire), diminuant les recettes et augmentant les charges de l'activité agricole. Le mouvement de l'agriculture biologique incarne l'une des recherches d'alternative à la production d'aliments de manière industrielle. Cela passe par des techniques culturales moins consommatrices d'intrants, une structuration de filière locale, un travail en collectif. L'agriculture biologique vise également à rémunérer correctement les agriculteurs en misant sur la qualité des produits (qualité améliorée par une moindre présence de produits phytosanitaires notamment).

Dans un tel contexte économique, des initiatives visent à fédérer la communauté agricole. C'est ainsi qu'en 1991, le CIVAM Bio d'Ariège a été créé par des agriculteurs désireux de promouvoir l'agriculture biologique. En 2002 était recrutée la première salariée de l'association, Estelle George. Après plusieurs collaborations, le CIVAM Bio d'Ariège a fusionné avec le GAB de Haute-Garonne (ERABLES 31) en 2020 pour devenir Bio Ariège-Garonne. Cette fusion s'est faite dans le but de mutualiser des postes. L'association adhère donc aux deux réseaux : le réseau CIVAM (Centre d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural) – travaillant de manière collective pour la transition agroécologique – et le réseau FNAB (Fédération nationale de l'agriculture biologique) – organisation, représentation et défense de l'agriculture biologique. Aujourd'hui, l'association comporte une équipe de 12 salarié.es, un conseil d'administration de 12 administrateur.ices et 423 adhérents en 2022. Son objectif est de développer l'agriculture biologique, et plus largement de valoriser une agriculture éthique, rémunératrice pour les producteurs et ancrée sur le territoire. Ainsi, les missions de Bio Ariège-Garonne suivent globalement 4 axes :

- L'accompagnement technique des agriculteurs : organisation de formations, animation de collectifs d'agriculteurs, développement des filières locales et régionales, diffusion d'informations technico-économiques...

- Accompagnements des collectivités dans leurs projets agricoles et alimentaires : participation aux projets alimentaires de territoire, accompagnement vers plus de produits biologiques locaux dans la restauration collective (et mise en conformité avec la loi EGALIM).

- Sensibilisation à la bio : organisation d'évènements grand public, d'animations pédagogiques, valorisation des produits biologiques locaux.

- Représentation des agriculteurs d'Ariège et de Haute-Garonne : dans les instances agricoles et départementales, auprès des collectivités locales, au sein de nos réseaux régionaux et nationaux.

Les actions dans le cadre de ce stage à Bio Ariège-Garonne se font en collaboration avec la Chambre d'Agriculture d'Ariège (CA09), par Stanislas Poudou, technicien en grandes cultures et maraîchage, et la société Arc-en-Ciel d'Arudy avec Hervé Henry notamment, expert en pilotage de l'irrigation. Au sein de l'association, cette mission est habituellement assurée par Delphine Da-Costa, technicienne en maraîchage, qui est remplacée temporairement par Lucile Chavanieu, chargée de mission en maraîchage et qui a encadré mon stage.

## b. Contexte d'étude

La culture sous serre est largement pratiquée en maraîchage. Les serres permettent de réchauffer le sol en inter-saison, et donc d'allonger la période de culture. Il a été démontré que cela augmente l'efficacité de l'eau (rendement (kg) / apports (mm) ) et favorise des produits de bonne qualité (Harmanto et al., 2005). L'irrigation est la seule source d'eau sous serre, sa gestion est donc primordiale pour atteindre un résultat satisfaisant en termes de rendement et de qualité.

Le climat d'Ariège et de Haute-Garonne est océanique, à influences méditerranéenne et continentale, donc sec en été. L'arrosage par aspersion des tomates sous serre n'est possible qu'en climat chaud et sec. Avec l'humidité et la fraîcheur (élevées dans la région du Couserans par exemple), l'aspersion sous serre favorise les maladies fongiques. Les tomates sont sensibles à un grand nombre de champignons : le mildiou, l'alternariose, la cladosporiose... qui sont favorisés par la taille des feuilles, et par l'humidité. L'arrosage par goutte-à-goutte est ciblé : seul le sol est mouillé et l'air ne devient pas saturé en eau. Il est également plus économe en eau dû à une diminution de l'évaporation par le sol, dans le cas où le sol est peu mouillé en surface. Pour ces raisons, l'irrigation au goutte-à-goutte est souvent adoptée.

Dans un contexte de changement climatique, on observe en France une diminution des quantités globales de précipitations. Les sécheresses vont devenir plus fréquentes, plus longues et plus intenses. La ressource en eau va devenir plus difficile d'accès. Or le maraîchage étudié ici est dépendant de la ressource en eau, dont le prélèvement dépend directement des précipitations (rivière, retenue d'eau, puit). Le cadre juridique est de plus en plus contraignant sur la consommation d'eau. Il y a donc une demande croissante des maraîchers adhérents d'un appui technique à l'irrigation en goutte-à-goutte.

Par ailleurs, la culture de légumes mobilise fortement les nutriments du sol : azote, phosphore, potassium. D'après le laboratoire Celesta, la fertilité d'un sol se décompose en trois types de fertilité (cf figure 1) : la fertilité physique, la fertilité chimique et la fertilité biologique. La fertilisation est essentielle pour maintenir la fertilité du sol à un niveau satisfaisant, pour compenser les nutriments exportés par la récolte (fertilité chimique), et pour maintenir la vie microbienne du sol (fertilité biologique), qui favorise un bon état structural du sol : porosité, rétention d'eau (fertilité physique). Les trois types de fertilité interagissent entre elles, et évoluent dans le temps. C'est via l'apport de matière organique qu'on maintient l'équilibre dynamique de la fertilité. En agriculture biologique, les engrais de synthèse ne sont pas autorisés. Pour cette raison juridique mais aussi selon la conception tripartite de la fertilité du

sol, les maraîchers doivent faire appel à une fertilisation à base de matière d'origine organique, quasi exclusivement. Des amendements, des engrais organiques, des solutions azotées... Il y a un délai entre l'épandage et la disponibilité des nutriments, lié au temps de dégradation de l'apport par la vie microbienne du sol. Cette gestion est assez technique à cause de la prise en compte de ces délais, de la quantité de travail que ce type de fertilisation représente. Tendre vers une bonne fertilité du sol est un enjeu central des maraîchers en bio. Célia Aubry, apprentie à BAG pendant l'année 2022-2023, a réalisé un travail dédié à la fertilité des sols. Cependant, la vie microbienne n'est rien sans eau. La matière organique est dégradée seulement si le sol correspond aux conditions de vie du cortège écologique des décomposeurs. En d'autres termes, il faut de l'eau et de l'oxygène. En excès d'eau, le sol est engorgé donc anaérobie : l'activité microbienne est moindre, la minéralisation est très lente. Par ailleurs, la matière organique du sol (liée) favorise la rétention d'eau. L'irrigation et la fertilisation sont donc intimement liés.

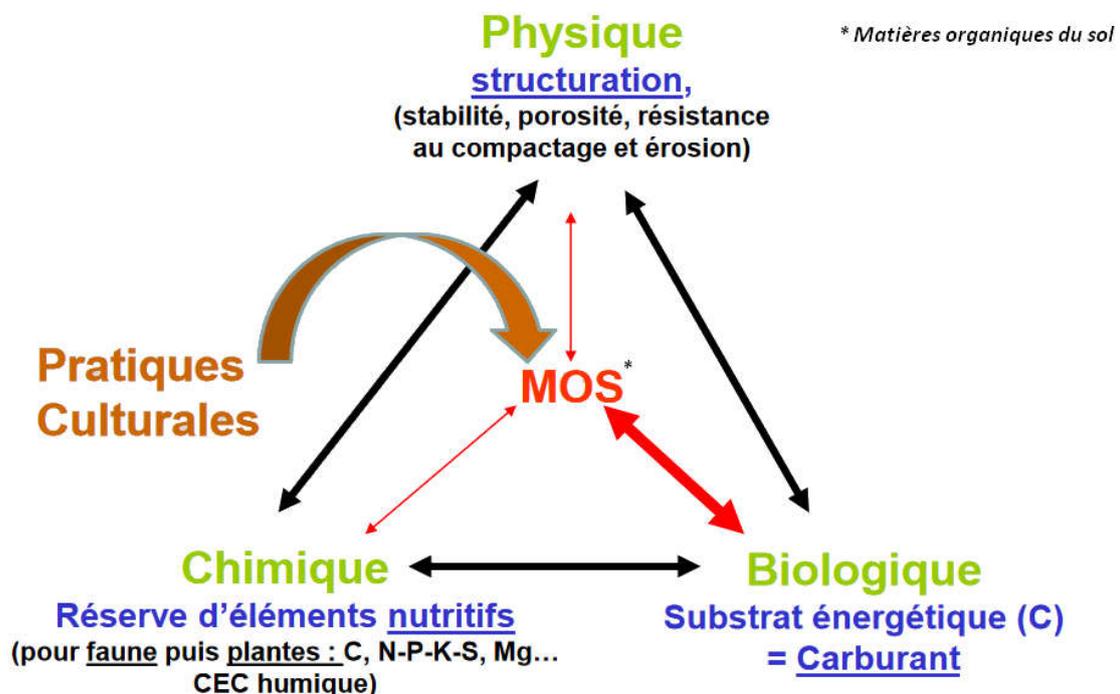


Figure 1 : Le triangle des trois types de fertilité du sol – Laboratoire Celesta

### c. Problématique du stage

BAG réalise un suivi de l'irrigation et de la fertilisation depuis 2020, en partenariat avec la Chambre d'Agriculture de l'Ariège et Arc-en-Ciel. Ce stage se fait à la suite d'un stage chez BAG sur le même sujet en 2022, par Johannes Le Borgne. Pendant une saison de cultures d'été (tomate, aubergine, poivron), une dynamique de réflexion sur les pratiques est entretenue par des échanges réguliers. Des sondes tensiométriques sont installées par Arc-en-Ciel, pour servir de base de réflexion. Des relevés d'azote dans le sol et dans les plantes sont effectués régulièrement pour observer en saison l'évolution du stock d'azote et le comportement des plantes quant à la nutrition azotée, et ainsi adapter la gestion de la fertilisation.

Mon stage consiste donc à participer à ce suivi en faisant des relevés, en échangeant avec les agriculteurs pour réfléchir à comment le sol se comporte et confronter cela aux pratiques. Il s'agit donc de réfléchir aux leviers techniques qui peuvent être mis en œuvre pour adapter l'irrigation et la fertilisation en maraîchage sous serre. Dans un but rétrospectif, une réflexion a été menée sur la qualité du suivi proposé par BAG aux maraîchers concernant l'irrigation et la fertilisation. Cela s'est fait dans le but de proposer des éléments d'amélioration de l'accompagnement.

#### Problématiques :

- **Quels leviers techniques pour la gestion de l'irrigation et pour la gestion de la fertilisation en maraîchage ?**
- **Quelles sont les forces et faiblesses du suivi fait par BAG en maraîchage ?**

## 2) Méthodes

### a. Un suivi régulier par l'animation technique

Pour la 4<sup>e</sup> année successive, BAG réalise un suivi de maraîchers spécifiquement sur le sujet de l'irrigation et de la fertilisation. En 2023, 6 maraîchers adhérents participent. Au total, cela fait 14 maraîchers ayant participé au moins une saison depuis 2020. Cette action est financée par le fond FEADER du 2<sup>e</sup> pilier de la PAC, dont l'objectif est de diffuser de l'information technique et d'en produire. Autour de cette mission se rassemblent l'activité de BAG, la CA09 et Arc-en-Ciel.

Le suivi par BAG consiste tout d'abord en le maintien d'une dynamique de réflexion sur les sujets de l'irrigation et de l'azote. C'est le but de **l'animation technique** : faire émerger les solutions de manière participative et collective et ainsi rendre le maraîcher autonome dans l'adaptation de ses pratiques. Un **contact régulier** est établi entre BAG ou la CA09 et les maraîchers individuellement, c'est-à-dire par une discussion au moins toutes les deux semaines, afin de travailler sur les questionnements en cours de saison. Chaque saison de suivi se clôture par **une restitution** en hiver, où sont discutés les résultats avec la présence de chaque participant. Occasionnellement, des rencontres sont organisées à la manière de **journées techniques**.

### b. La tensiométrie pour piloter l'irrigation

Cette dynamique de questionnement repose notamment sur une information : **la tension hydrique du sol** (en centibar), fournie par des sondes tensiométriques. Elles sont installées en début de saison (mars/avril) chez les maraîchers suivis par la société Arc-en-Ciel, et sont consultées pendant toute la saison jusqu'à octobre. La tension hydrique du sol indique

la force avec laquelle l'eau est retenue dans le sol : une faible tension indique une disponibilité élevée de l'eau, et inversement. 3 sondes sont réparties dans la planche de culture, à 25 cm d'un goutteur. À chaque fois, deux lots de sondes sont installés, pour les profondeurs 25cm et 50cm. Les valeurs sont collectées 4 fois par jour et transmises par un émetteur à la plateforme en ligne de Challenge Agriculture (entreprise de conseil et d'équipement en tensiométrie). Les graphiques présentés par la suite donnent la valeur médiane entre les 3 tensions mesurées pour un horizon de sol. En effet, l'état hydrique du sol n'est pas homogène au sein d'une culture, et de plus, les sondes sont sensibles à l'engorgement. Utiliser la médiane comme valeur permet d'exclure les valeurs aberrantes. Pour plus d'informations sur les sondes tensiométriques, voir la fiche technique de l'ARDEPI (2003).

Sur les graphiques en ligne de Challenge Agriculture (voir résultats 3)b.), différentes zones de confort en fonction de la tension sont définies :

- excès d'eau conduisant à l'asphyxie des racines (0 - 8 cbar)
- C.C. capacité au champ, c'est-à-dire abondance d'eau et éventuellement drainage (8 - 16 cbar)
- confort, zone où l'eau est disponible à raison d'un rendement optimal, la plante utilise sa réserve facilement utilisable (RFU) (16 - 40 cbar)
- assèchement (40 - 200 cbar)

Arrêtons-nous sur ce dernier seuil : les 40 cbar correspondent à un seuil arbitraire de limite de zone de confort. Celui-ci ne correspond pas au point de flétrissement, qui lui est bien plus élevé : 150 cbar, 200 et 250 respectivement pour un sol sableux, un sol limoneux et un sol argileux. Cependant, l'opérateur définit cette zone de confort jusqu'au maximum de 40cbar, qui ne sert que de point de repère, plutôt que d'une consigne. Au-delà, le rendement peut être amoindri. En revanche, au-delà du point de flétrissement, la réserve utile (voir 2)d.) est épuisée, la santé est déclinante (« flétrissement ») et le rendement est sévèrement impacté.

D'après Carole Isbérie et al. (2013), la recommandation en goutte-à-goutte est de former un bulbe d'irrigation en dessous des goutteurs (voir schéma en annexe A). Plus précisément, l'objectif est d'apporter des quantités d'eau à une certaine dose et une certaine fréquence si bien que l'eau diffuse spontanément dans le sol. Il faut suffisamment d'eau pour maintenir l'humidité du sol, et donc sa bonne capacité à retenir l'eau, et pas trop d'eau pour ne pas que celle-ci « déplace le sol », ou percole. La force qui retient l'eau au sol est la tension, qui peut s'interpréter, d'un certain point de vue, comme l'inverse de la teneur en eau (voir figure 2). En maintenant la stabilité des tensions, on maintient la stabilité du bulbe d'irrigation. Le conseil en irrigation prodigué lors du suivi est donc - premièrement - de maintenir la stabilité des tensions à 25 et 50 cm, et -deuxièmement – de les maintenir dans la zone de confort (20 cbar – 70 cbar).

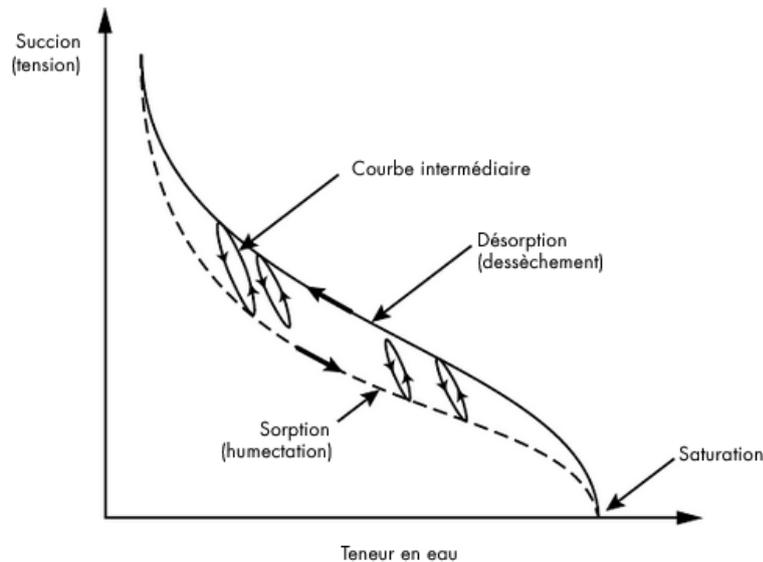


Figure 2 : Allure de la courbe tension-teneur en eau en dessèchement et en réhumectation, pour un sol donné (d'après Carole Isbérie et al., 2013)

### c. La mesure des teneurs en azote

Ensuite, des **relevés d'azote** ont été réalisés toutes les 4 semaines dans le sol et dans les plantes selon les protocoles de Challenge Agriculture. Ces protocoles sont en annexe B. Dans le sol, la mesure concerne l'azote disponible, c'est-à-dire sous forme de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Les prélèvements sont faits dans les planches de culture, au pied des plants, et entre les planches de culture, dans les allées. En effet, avec une irrigation au goutte-à-goutte, l'humidité du sol est hétérogène entre les planches et les allées. Or la minéralisation de l'azote par les micro-organismes est dépendante de la présence d'eau, donc on devrait observer des teneurs en azote également hétérogènes dans le sol. Dans les plantes, les prélèvements se font dans les pétioles, avant 10h du matin pour éviter les biais liés aux flux de sèves provoqués par la photosynthèse. Pour interpréter les valeurs, elles sont replacées sur des grilles de la Sérail (Station d'expérimentation régionale en légumes rhônalpine) pour le sol et du CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) pour l'azote foliaire. Ces grilles sont conçues pour donner des conseils de d'épandage en cours de saison, adaptées à la fertirrigation au GAG avec des engrais de synthèse. Si les engrais de synthèse ne sont pas autorisés en agriculture biologique, ces grilles renseignent néanmoins sur l'état du stock d'azote, et les apports sont réalisés autrement.

### d. La rédaction de bulletins de conseil d'irrigation et le bilan hydrique

Stanislas Poudou de la CA09 réalise de juin à septembre un **bulletin d'irrigation** chaque semaine à destination des maraîchers, dans lesquels sont présentés des estimations de la consommation en eau sur la semaine passée. Ces calculs suivent la méthode du **bilan hydrique**, avec un calcul d'évapotranspiration :  $\text{ETM (mm)} = \text{ETP (mm)} * \text{Kc}$ , où ETM est

l'évapotranspiration maximale ou la consommation en eau, ETP est l'évapotranspiration potentielle sur la semaine passée, basée sur des données météorologiques (vent, température...) et Kc est le coefficient cultural, fonction du type de culture et de son stade de croissance (Nicolas Bonnet, 2020). Sont présentés dans ces bulletins l'ETM pour chaque culture et la pluviométrie de la semaine passée pour plusieurs zones géographiques, rattachées à une station météo. Dans ces bulletins, une analyse des graphiques des tensiométries et des graphiques des teneurs en azote des 6 fermes suivies est aussi donnée. J'ai pu participer à la réalisation de ces bulletins, qui sont disponibles en ligne sur le site de la CA09, et dont un extrait est joint en annexe C. Ma participation a consisté notamment à l'interprétation des graphiques de tensions.

Un bilan hydrique peut être réalisé sur un cas particulier, connaissant sa réserve utile (RU). La RU est une estimation en mm ( $L/m^2$ ) de la quantité d'eau maximale que peut retenir un sol grâce aux forces capillaires. Elle est estimée avec les coefficients de Jamagne, qui associent à une texture de sol (argile, limon, sable) une capacité à retenir tant de mm d'eau par cm d'épaisseur de sol. On détermine la texture au toucher, en ayant prélevé un échantillon de terre à la tarière graduée. Le calcul de la RU s'effectue uniquement sur les horizons de sol étant prospectés par les racines. Pour la tomate, on considère l'enracinement négligeable au-delà de 60 cm de profondeur, donc le calcul de RU se fait sur les 60 premiers cm. La RU caractérise la capacité du sol à stocker l'eau, et donc renseigne sur la possibilité ou non d'espacer les arrosages. Usuellement, on utilise en maraîchage la réserve facilement utilisable pour piloter l'irrigation (Nicolas Bonnet, 2020). La RFU est obtenue en appliquant un coefficient multiplicateur compris entre 1/3 et 2/3 à la réserve utile d'un horizon de sol, en fonction de son degré de prospection racinaire (ARDEPI, 2012). Des relevés de RU et de RFU ont été effectués chez les fermes suivies.

### e. Une enquête téléphonique

En 2023, nous en sommes à la 4<sup>e</sup> saison de suivi sur ce sujet, avec jusqu'aujourd'hui un total de 14 maraîchers ayant participé au moins une fois. Lucile Chavanieu, responsable du suivi à BAG sur la saison 2023, et Stanislas Poudou, responsable du suivi à la Chambre d'Agriculture de l'Ariège, s'interrogent sur la qualité de leur accompagnement auprès des maraîchers, en vue de l'améliorer.

Pour répondre à leur questionnement, une partie de ce stage a consisté à identifier les limites et les forces de cet accompagnement. Il a donc fallu se tourner vers les personnes concernées, c'est-à-dire les maraîchers ayant participé - ou participant - au suivi entre 2020 et 2023. L'objectif est de recueillir le ressenti des maraîchers quant à cette expérience, et d'identifier ce qui a fonctionné, ce qui a moins bien marché, et enfin mieux comprendre les enjeux pour améliorer le suivi. Mon stage comportant des phases de terrain, j'ai été un interlocuteur privilégié des maraîchers participants en 2023. Pour s'entretenir avec les maraîchers ayant participé antérieurement, des entretiens ont été réalisés au téléphone, avec l'aide d'un questionnaire qui est présent en annexe de ce rapport. Le questionnaire a servi de guide, tout en laissant une certaine souplesse à l'échange.

La prise de contact a donné lieu à un total de 7 entretiens au téléphone d'une demi-heure et une heure avec des représentants des fermes ayant participé. 2 agriculteurs n'ont pas pu faire un entretien, et ont rempli un formulaire en ligne, très proche du questionnaire. L'expérience des 3 maraîchers dont j'avais la responsabilité du suivi a également été recueillie et utilisée pour cette enquête. La réflexion suite à ces questionnements se base donc sur le sondage de 12 personnes au total. Une synthèse détaillée de cette enquête est diffusée en interne, mais ses éléments ont été incorporés aux résultats et aux discussions des trois grands thèmes du rapport, l'irrigation, la fertilisation et la mise en perspective du suivi.

### 3) Gestion de l'irrigation

Rappel problématique : Quels leviers techniques pour la gestion de l'irrigation en maraîchage ?

#### a. L'information est une technique en elle-même

Il existe de nombreuses sources d'information qui aident à piloter l'irrigation. La plupart du temps, les observations des maraîchers pour connaître le besoin des plantes à un instant  $t$  sont simples : météo, stade de croissance, état visuel de la culture, précédents apports ou encore sensation au toucher du sol en surface. De nombreux maraîchers disposent d'une gouge maraîchère qui permet un carottage jusqu'à 25 cm et donc une appréhension visuelle et au toucher plus précise. Cet outil est abordable (environ 50€), pratique car facilement mobilisable bien que nécessitant une régularité. Il fournit des informations satisfaisantes pour mener une culture à bien. Néanmoins, même si la précision de ces informations dépend du niveau de savoir-faire du maraîcher, celles-ci sont globalement peu précises car reposant sur des sensations et faisant appel à l'intuition.

Les sondes tensiométriques renseignent avec une bonne précision l'état hydrique du sol : la tension mesurée est celle de la tension superficielle entre l'eau et les particules du sol. Plus la tension est élevée, moins l'eau est disponible pour les racines des plantes. Cette mesure est précise, pratique car les sondes sont connectées, mais chères d'utilisation (500€/an pour une ligne).

Le compteur volumétrique de débit d'eau est un prérequis chez les irrigants. Depuis la Loi de 2006 du Code de l'environnement, les irrigants de plus 1000 m<sup>3</sup>/an doivent mesurer les prélèvements sur l'ensemble de leur ferme. Cela donne un ordre de grandeur de ce qui est apporté aux cultures. Cet outil est souvent sous-estimé en maraîchage, où l'on considère que les quantités d'eau utilisées sont négligeables (en comparaison aux grandes cultures), alors qu'il peut s'avérer utile pour les cultures exigeant une attention rigoureuse concernant l'irrigation, comme la tomate. Le compteur volumétrique donne une mesure précise, avec un coût assez élevé (250-700€ renouvelable tous les 9 ans (ARDEPI, 2015)), et demeure assez pratique d'utilisation (valeur à relever sur le lecteur).

Par ailleurs, les bulletins d'irrigation publiés par la Chambre d'agriculture d'Ariège chaque semaine (cf extrait annexe C) fournissent également des éléments de pilotage. Les informations sont alors basées sur de la modélisation à partir de mesures météorologiques, via la méthode du bilan hydrique. Elle est peu chère, facilement mobilisable mais nécessite néanmoins un compteur de débit pour être utilisée.

Ci-dessous un récapitulatif des différentes sources d'informations, selon leur prix, leur précision et leur praticité d'usage, à l'installation et à la consultation (cf figure 3).

Figure 3 : tableau récapitulatif des sources d'informations pour adapter l'irrigation

		Mesures			Modélisation
		Gouge	Sonde tensiométrique	Compteur volumétrique	Bilan hydrique
Praticité	Temps d'installation	+ faible <i>50€ une fois Outil</i>	- élevé <i>500€/an/planche Service, matériel, Internet</i>	- Élevé <i>250-700€ pour 9 ans Outil</i>	+ faible <i>Internet...</i>
	Temps de consultation	- élevé <i>nécessite régularité</i>	+ faible <i>info connectée</i>	+ faible <i>lecteur</i>	+ faible <i>compteur d'eau</i>
Précision		- faible	+ bonne	+ bonne	+/- <i>Indicatif</i>
Prix		+ faible <i>50€ une fois Outil</i>	- élevé <i>500€/an/planche Service, matériel, Internet</i>	- Élevé <i>250-700€ pour 9 ans Outil</i>	+ faible <i>Internet...</i>

On soulignera l'intérêt pendant le suivi de croiser les sources d'informations : apprendre des repères sensoriels à la gouge avec l'information des sondes en simultanée permet d'améliorer son savoir-faire et conduit à une meilleure autonomie à long terme de la prise d'information.

D'après les retours d'expérience recueillis via l'enquête, pour des maraîchers récemment installés, le manque d'habitudes sensorielles peut créer une forme de dépendance aux sondes lors de l'expérimentation. Si des maraîchers expérimentés ont l'impression de faire certaines découvertes avec l'usage des sondes, cela est pertinent surtout si le maraîcher possède déjà des repères pour gérer l'arrosage.

Notons que les efforts nécessaires à l'installation et à la consultation de l'outil de pilotage est un facteur crucial dans le choix de l'outillage, les maraîchers ayant une grande charge de travail, surtout en saison. De même pour le coût financier de la mesure, celui-ci est à dimensionner selon l'objectif économique de la production de chaque ferme : BAG ou la CA d'Ariège financent une saison de suivi seulement. Chez les maraîchers ayant participé à l'enquête, l'intérêt porté aux outils n'est pas le même selon l'objectif de production : certains maraîchers aux débouchés de type demi-gros/gros trouvent un intérêt à auto-financer à long terme les sondes, puisque cela est éventuellement rentabilisé avec de meilleures récoltes.

Pour des productions moins grandes, l'intérêt est surtout expérimental et pédagogique, donc avec un suivi ponctuel.

## b. Focus sur les graphiques des sondes tensiométriques

L'analyse des graphiques de tensions sur quatre saisons depuis 2020 chez 14 maraîchers a permis de distinguer des cas types d'irrigation selon les pratiques et le type de sol. On relève trois cas types : les arrosages espacés sur sol limoneux, les arrosages fractionnés sur sol limoneux, et les arrosages fractionnés sur sol sableux avec respectivement 7, 5 et 2 fermes associées à chaque type. Un cas représentatif pour chacune de ces trois situations est approfondi par la suite, via l'analyse des tensions, du sol et des pratiques.

### i. Arrosages espacés sur sol limoneux

Le cas choisi pour représenter cette situation est celui de Clément Brunet à Grépiac, qui participe au suivi en cette année 2023.

Le sol est limono-sableux, ce qui confère une assez bonne réserve utile (RU estimée à 93mm et RFU de 58mm). La serre est de dimension 9.3m\*30m. L'installation d'irrigation comporte 3 gaines par planche, dont une dans l'allée adjacente, avec des goutteurs distants de 20cm, chacun d'un débit de 1L/h. Les tomates étudiées sont des rumsteak population, plantées tous les 50 cm à 2 rangées par planche, à une tête. Les sondes mesurent la tension à 25 et à 50 cm. L'eau est pompée dans l'Ariège, qui s'écoule à proximité.

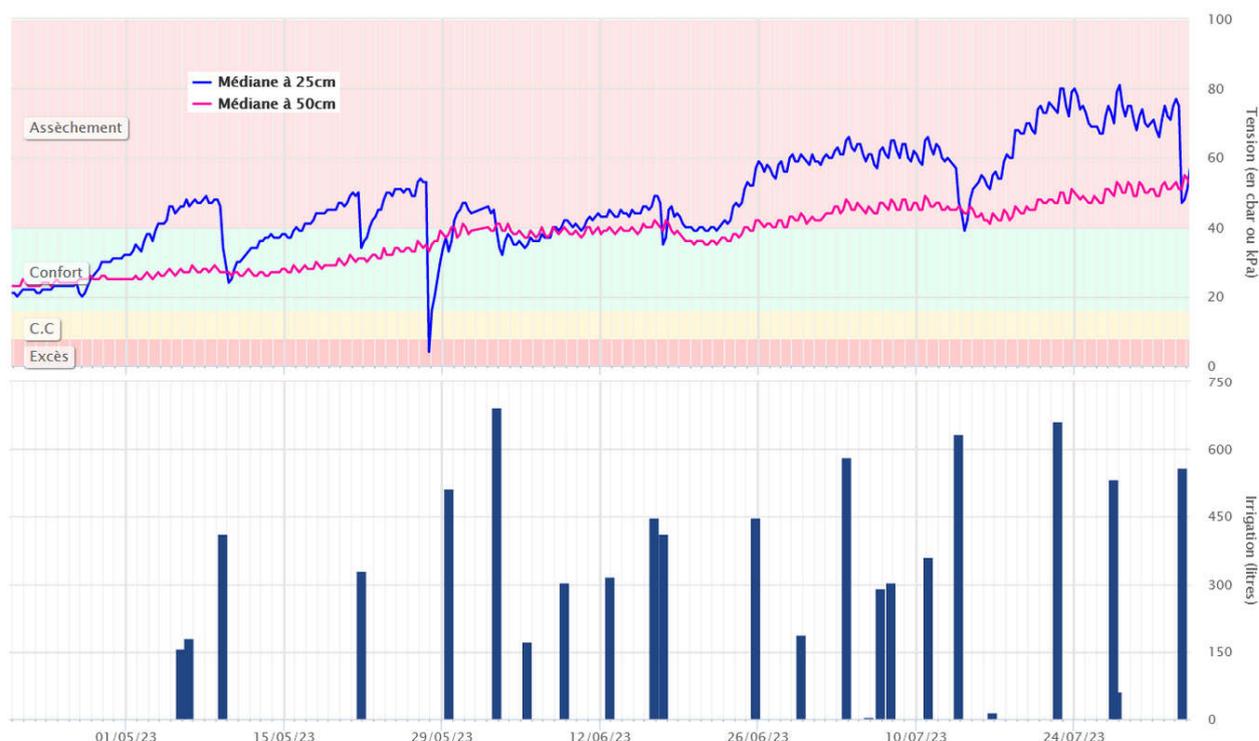


Figure 4 : graphique des tensions et graphique des apports d'irrigation sur tomates, de mi-avril à fin-juillet – Clément Brunet, 2023

Les apports en eau ont lieu 2 fois par semaine en moyenne. La fréquence est ajustée selon les besoins en eau des plantes, déduits du niveau de tension à un instant t. Sur l'ensemble de la période, la tension à 50 cm est stable, en légère augmentation. Les arrosages sont déclenchés en fonction des évolutions de tensions. On observe par exemple, suite aux deux arrosages du 17 et 18 juin, une diminution des tensions, qui remontent assez lentement les jours suivants. Cette augmentation est interrompue par l'arrosage du 25 juin. Ici, le maraîcher fait varier la fréquence et la dose à la fois.

Comparé à une pratique d'irrigation quotidienne, le pilotage ainsi mené semble plus facile : on peut décider d'arroser quand la tension commence à remonter, et suivre un cycle de petites oscillations de la tension. Avec une météo changeante, l'ETP varie, et il semble plus facile de s'en rendre compte avec des arrosages espacés.

Cependant, un tel espacement des arrosages est possible à condition d'avoir un sol à bonne réserve utile, ici limono-sableux par exemple. Cette gestion est pratique aussi pour l'organisation des tours d'eau, laissant libre le reste du temps la pression du circuit d'eau pour d'autres cultures.

#### *ii. Arrosages fractionnés sur sol limoneux*

Le cas représentatif est celui du GAEC En Vert de Terre à Saint-Lizier, ayant participé de 2020 à 2022. L'analyse de ce cas va porter sur l'évolution de pratiques entre 2020 et 2021.

Le sol est limono-argilo-sableux, avec donc une bonne réserve utile (RU de 116 mm et RFU de 71 mm). La serre est de dimension 9.3m\*40m. L'installation d'irrigation comporte 4 gaines T-TAPE dans les planches, ainsi que deux gaines dans les allées (favorisant la minéralisation de l'azote (cf 4)) en 2020 et une gaine dans les allées en 2021. Les goutteurs sur les gaines sont tous les 33 cm à débit 1L/h. Les tomates sont greffées, à 2 têtes en mono-rang. Exceptionnellement en 2021, des sondes complémentaires ont été installées à 75 et 100 cm dans le sol, dans le but d'observer le comportement de l'eau en profondeur.

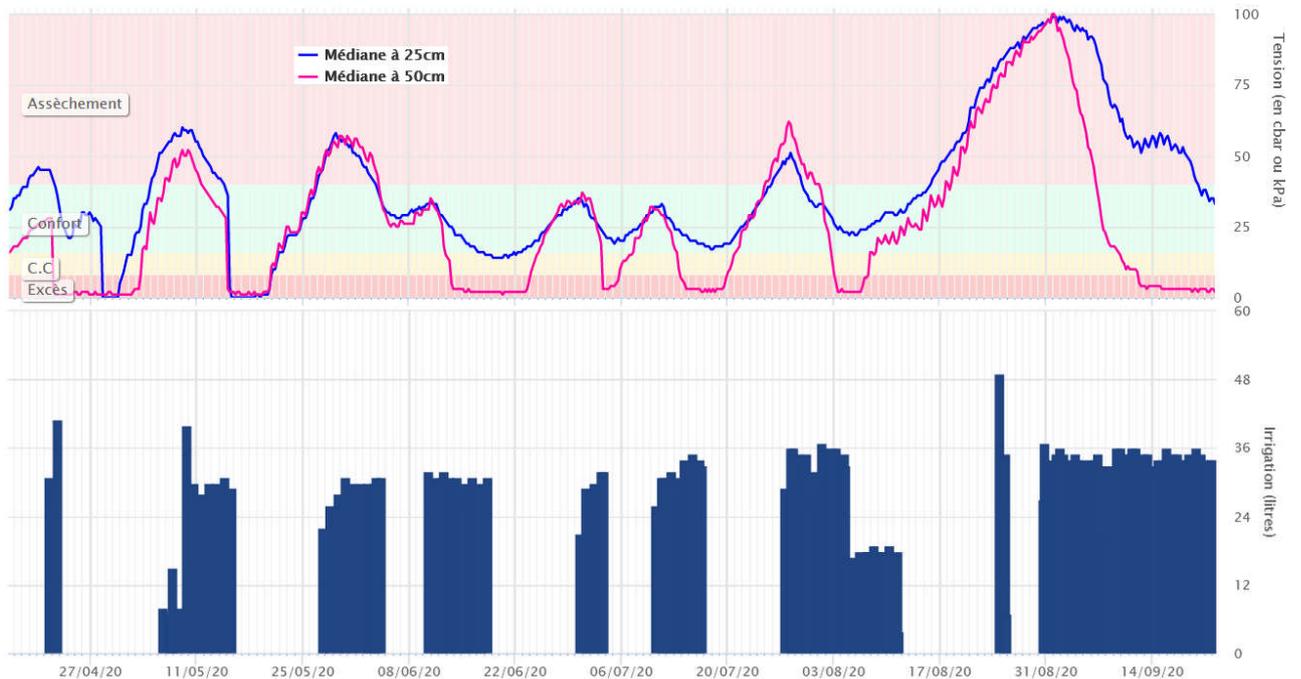


Figure 5 : graphique des tensions et graphique des apports d'irrigation sur tomates, de mi-avril à fin-septembre – GAEC En Vert de Terre, 2020

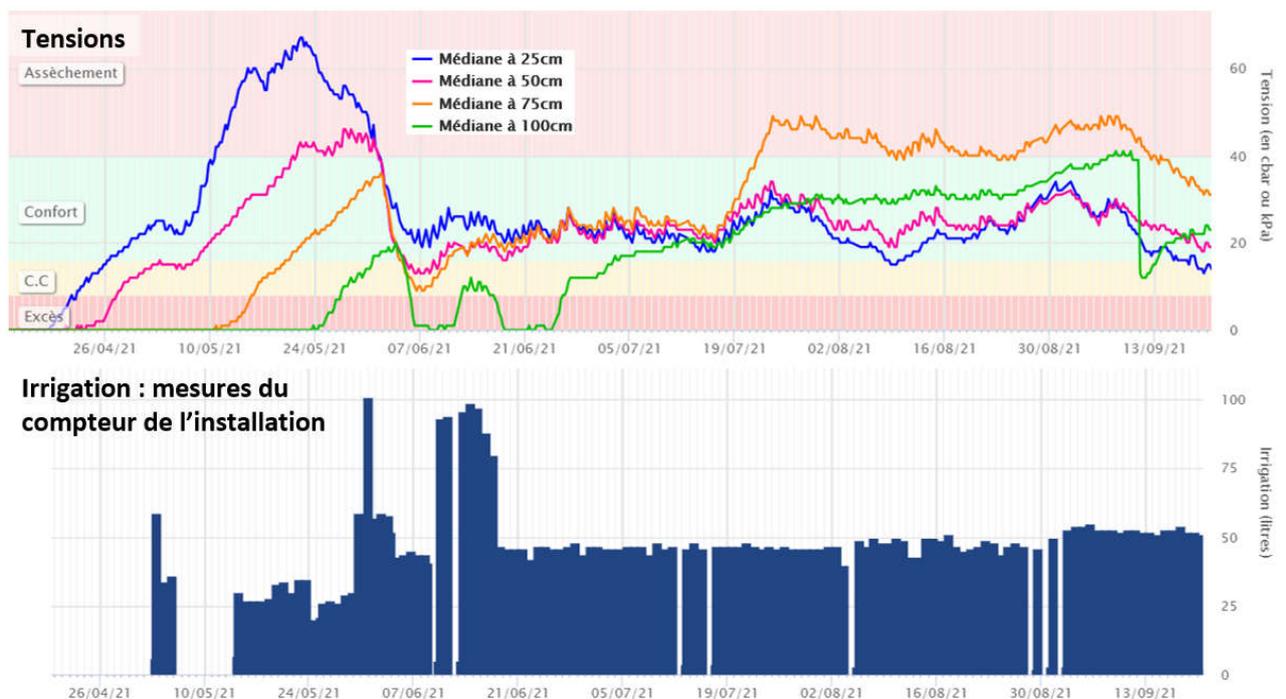


Figure 6 : graphique des tensions et graphique des apports d'irrigation sur tomates, de mi-avril à fin-septembre – GAEC En Vert de Terre, 2021

En 2020, les apports quotidiens sont de 2\*20min, c'est-à-dire 40min/j. Cela est peu lisible sur le graphique mais la dose apportée est de 2\*35L/j dans la même planche (4+2 gaines). On constate que les tensions à 25 cm et à 50 cm fluctuent assez fortement, sortant de la présumée zone de confort à plusieurs reprises, tantôt dans l'excès, tantôt dans le manque (attention néanmoins à nuancer ce manque, qui n'est que relatif). Les maraîchers ont ici rencontré des difficultés à stabiliser la tension : pendant les périodes d'irrigation, la fréquence

et la quantité d'arrosage impliquent une trop grande quantité d'eau pour maintenir des tensions stables. Cela conduit à des excès d'eau, exposant les racines au risque d'asphyxie.

En 2021, les apports sont aussi quotidiens, 1\*30min/j, avec 1 gaine en moins (celle dans les allées). La fréquence n'a pas significativement changé (effet a priori négligeable), mais la quantité d'eau par jour a diminué. On constate à partir de début-juin une meilleure stabilité des tensions à 25 et 50 cm, qui sont les profondeurs les plus significatives. En comparaison à 2020, il semblerait donc que la dose quotidienne a été ajustée avec suffisamment de justesse pour maintenir les tensions stables dans la zone de confort.

On constate chez les maraîchers adoptant cette fréquence d'irrigation une tendance à de grandes oscillations des tensions, comme c'est le cas ici en 2020. À fréquence élevée et constante, le levier d'action pour adapter l'arrosage aux besoins des plantes, qui dépendent de la météo, est d'adapter la dose. Il y a donc un degré de liberté (la dose d'un apport) pour réguler la tension contre deux en arrosages espacés (la dose et la fréquence). Avec l'objectif de maintenir la stabilité des tensions, cette gestion semble plus difficile car elle anticipe moins les variations d'ETP, pouvant mener à l'excès ou au manque d'eau. Néanmoins, elle pourrait être celle qui, quand la tension est maintenue stable, optimiserait la diffusion latérale de l'eau dans le sol, et maximiserait l'efficacité de l'eau (Yaohu Kang et al., 2002), voir discussion.

### *iii. Arrosages fractionnés sur sol sableux*

Le cas illustratif ici est celui de Sabrina Chauvélie à Cazères, qui a participé au suivi en 2022.

Le sol est sableux, avec une teneur élevée en éléments grossiers (40% sur l'horizon 0-20 cm), et donc une faible réserve utile (non mesurée). Le sol est drainant, ce qui détermine la conduite de l'irrigation. La serre est de dimensions 40m \* 9.3m. L'installation d'irrigation est de 2 gaines par planche, avec un goutteur tous les 33cm, de débit 2.2L/h. La culture concerne ici des aubergines, de semences population et non greffées. Elles sont plantées tous les 45 cm, à un plant par planche. Les sondes sont à 25cm et 50cm de profondeur.

Malgré la culture en aubergines et non en tomates, le choix a été fait d'illustrer l'irrigation sur sol sableux avec cette culture car il n'y a que 2 cas représentatifs. Bien que l'autre cas porte sur une culture de tomates, des incidents ont eu lieu ce qui rend la lecture du graphique difficile. Cependant, les observations entre les deux cas sont proches.

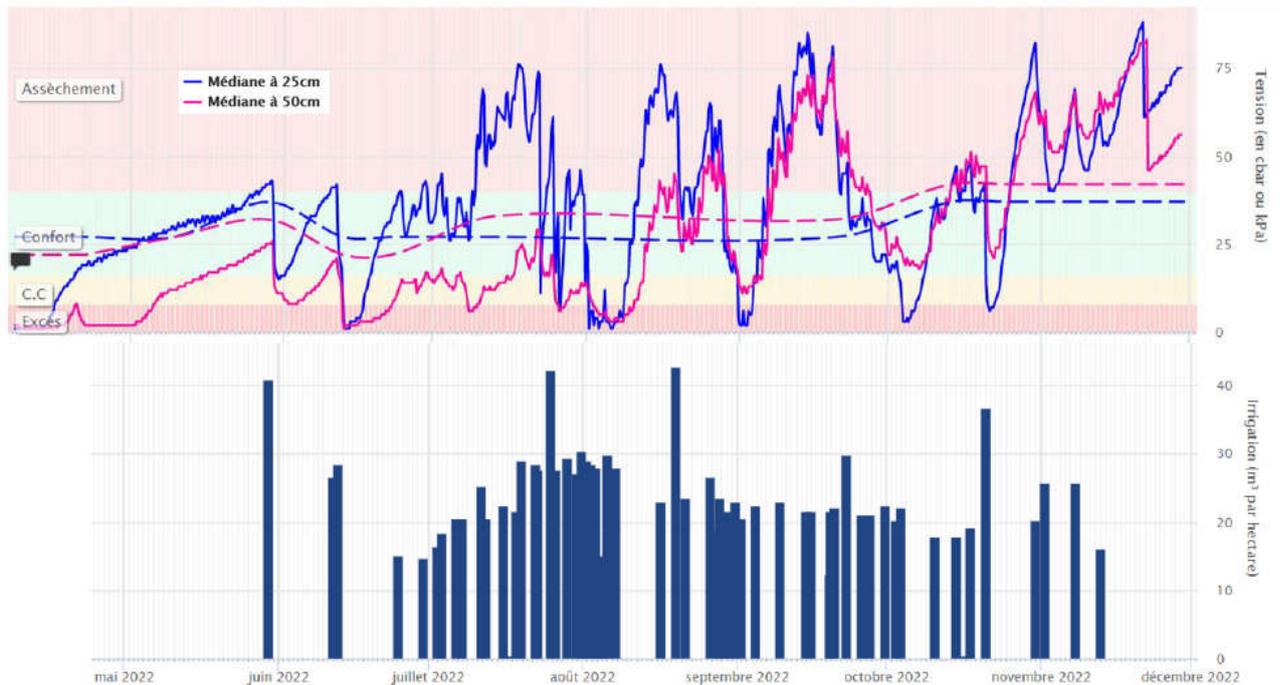


Figure 7 : graphique des tensions et graphique des apports d'irrigation sur aubergines, de fin-avril à fin-novembre – Sabrina Chauvélie, 2022

Ne pas prendre en compte les deux courbes pointillées sur le graphique des tensions (recommandations de déclenchement de l'arrosage trop théoriques). Les tensions à 25 cm et à 50 cm oscillent au cours de la saison, malgré des apports réguliers. La conduite de l'irrigation est difficile sur ce type de sol car il est drainant, et l'eau ne peut être stockée en grande quantité. À partir de début juin et des fortes chaleurs, il n'est pas possible d'espacer les arrosages comme dans le cas de Clément Brunet (cf 3) b. i.) pour maintenir la stabilité des tensions. Ainsi, la maraîchère apporte des petites quantités d'eau tous les 2 jours en moyenne, ce qui permet de recharger le sol en eau, à mesure que les plantes la mobilisent.

En complément de l'arrosage au goutte-à-goutte, des bassinages en période de forte chaleur ont été effectués, ce qui n'est pas présent sur la graphique. Ces apports intermittents, appliqués au tuyau ou par une installation d'asperseurs, permettent de faire diminuer la température dans la serre en créant une atmosphère humide. Ce type d'apport est complémentaire à l'irrigation au goutte-à-goutte. Il n'a pas été étudié pendant ce stage, mais la quantité d'eau que cela représente mériterait d'être prise en compte dans la gestion de l'irrigation.

### c. Discussion des résultats concernant l'irrigation

La plupart des maraîchers ayant participé au suivi témoignent avoir diminué les quantités d'eau apportées sur une année, grâce à la tensiométrie (cf. 5)b.). Néanmoins, la tensiométrie a renseigné chez un maraîcher des recommandations incitant à arroser davantage en juillet-août, ce qui s'est avéré excessif pour les plantes, et ayant causé

l'éclatement d'une partie de la récolte de tomates. Dès lors, le maraîcher a cessé de suivre la tension pour piloter l'irrigation, et a suivi ses pratiques habituelles, ce qui a été satisfaisant. Ce cas, bien que marginal, alerte tout de même sur l'importance pour les maraîchers de se servir de la tensiométrie comme d'un apport complémentaire à leur expérience. Ce cas a aussi permis d'identifier un risque d'éclatement, en particulier pour certaines variétés de tomates, notamment les variétés population.

Sans bilan hydrique, la quantité d'eau consommée par mode d'irrigation est difficile à comparer. Pour des raisons techniques liées à l'interface de Challenge Agriculture, il n'a pas été possible d'utiliser les données d'irrigation des années passées. Quelques recherches bibliographiques ont néanmoins permis de dégager des tendances.

L'étude de Yaohu Kang et al (2002) porte spécifiquement sur l'effet de la fréquence d'irrigation sur la forme du bulbe de goutte-à-goutte pour des pommes de terre en sol argileux, dans un climat similaire à celui de l'Ariège. On notera que les études se font avec une gaine de GAG par planche. Pour des fréquences d'irrigation de 1/jour, 1/4jours, 1/8jours – à quantité constante -, il y est démontré que l'efficacité de l'eau (rendement(kg)/apport en eau total(m<sup>3</sup>)) augmente avec la fréquence d'irrigation. Ceci est le résultat de l'augmentation du rendement avec la fréquence, d'un facteur 1,4 entre 1/jour et 1/8jours. Des résultats proches (mais de champ de fréquences moins correspondantes à celui des maraîchers suivis) pour les tomates sont observés dans l'étude de Liu et al. (2019). Avec des arrosages espacés (tous les 8 jours), le rendement est plus faible. On explique cette diminution de rendement par un stress hydrique causé par l'espacement des arrosages : alternance d'excès après l'irrigation – augmentant le risque d'asphyxie des racines - et de période de manque, avant l'irrigation. À faible fréquence, le système racinaire des pommes de terre est affaibli à proximité du goutteur (colonne sous le goutteur, et en surface) par asphyxie, et est plus développé en zone éloignée. Dans cette situation, les plantes subissent un stress hydrique, tantôt de manque, tantôt d'excès. Cette étude suggère que - pour des pommes de terre, avec cette installation d'irrigation et un sol argileux, et un tel climat – le fractionnement de l'irrigation, c'est-à-dire des arrosages fréquents, à 1 fois par jour, serait avantageux en termes d'efficacité de l'eau : rendement maximal pour un minimum d'eau. Cela est démontré pour des pommes de terre et peut laisser penser qu'il en serait de même pour la tomate, qui est aussi une Solanacées. Cependant, ce n'est pas démontré dans les conditions précises désirées.

Dans la situation des divers maraîchers suivis, le choix d'espacer les apports est souvent adopté, comme dans le cas du GAEC en Vert de Terre en 2023, jusqu'alors en haute fréquence d'irrigation (cf 3) b. ii.). Pourquoi un tel revirement de pratique ? En pratique, mener une irrigation journalière où seule la dose est ajustable demande une adaptation constante, et implique un long délai de réaction. Un mauvais dosage cause rapidement des dommages sévères (par exemple éclatement, stress hydrique par excès ou par manque). Par ailleurs, l'espacement des apports rend possible l'ajustement de la fréquence d'irrigation. Dans la littérature scientifique, le cas de la culture de pommes de terre sur sol argileux (Kang et al., 2002) montre que l'espacement des apports diminue l'efficacité de l'eau dans ce contexte. Si cela pouvait être extrapolé au cas des tomates en sol limoneux, alors l'espacement des apports pourrait être vu comme un compromis : ce choix facilite la gestion et anticipe mieux les stress

hydriques que des apports journaliers, mais diminuerait l'efficacité de l'eau. Ce questionnement est intéressant puisque le goutte-à-goutte est présenté comme un système d'irrigation plus économe en eau. Or cela pourrait dépendre des pratiques d'irrigations. Le sujet demeure complexe et nécessiterait un approfondissement avec des contextes d'études correspondants (tomates, sol limoneux, etc) et des indicateurs permettant une analyse quantitative de l'efficacité de l'eau (bilan hydrique, rendement, etc).

L'effet du nombre de gaines est documenté dans le livre « La tensiométrie pour piloter les irrigations » de Carole Isbérie et al. (2013), mais n'a pas été étudié en profondeur pendant ce stage, par manque de temps. Pourtant, le choix du nombre de gaine a une influence majeure sur la forme des bulbes d'irrigation des goutteurs, et donc sur le type de pratique d'irrigation à adopter (ajustement de la dose et de la fréquence). Hervé Henry, d'Arc-en-Ciel, considère qu'une installation à plus de 3 gaines par planche équivaut à de l'aspersion, dans le sens où toute la surface du sol est mouillée, alors que l'intérêt du goutte-à-goutte résiderait dans la localisation de l'apport. Néanmoins, son point de vue n'est pas consensuel : ne pas humidifier la surface du sol défavoriserait le développement de la vie du sol, ce qui fait d'ailleurs l'objet d'une hypothèse dans la partie 4)b. Le nombre de gaine semblerait donc être un compromis, éventuellement idéologique, entre la vie du sol et l'efficacité de l'eau. Un autre avantage du goutte-à-goutte est l'aspect sanitaire, car les plantes ne sont pas mouillées.

## 4) Gestion de la fertilisation

Rappel problématique : Quels leviers techniques pour la gestion de la fertilisation en maraîchage ?

### a. Leviers techniques

L'interprétation des teneurs en azote sont faites à l'aide des grilles de la Sérail et du CTIFL (voir partie 4)b. « Focus sur les relevés d'azote ». Ces grilles sont adaptées à des pratiques en conventionnel, où la fertirrigation aux engrais de synthèse est possible, avec un objectif de maximisation du rendement. La fertirrigation – apports de fertilisants dilués dans l'eau d'irrigation - en agriculture biologique est peu pratiquée dans la région, se limitant généralement à des faibles apports complémentaires à base de déjections de poule par exemple. L'adaptation de la fertilisation repose alors sur les apports ayant lieu pendant la préparation du sol, en hiver ou au printemps. Les apports sont de deux types : les amendements (fumier, compost) c'est-à-dire de la matière organique en cours de minéralisation, avec un rapport C/N élevé, et les engrais organiques, fabriqués à partir de co-produits d'élevage notamment (sang séché, plume...), avec un délai de dégradation plus court et un rapport C/N faible. Avec un objectif de rendement optimal (12kg/m<sup>2</sup>), il est d'usage d'apporter environ 170kgN/m<sup>2</sup> (d'après l'Agriidea, 2012). Néanmoins, un enjeu crucial concernant ces apports est le délai de dégradation : les nutriments (N, P, K...) ne sont pas mobilisables instantanément contrairement aux engrais de synthèse, et leur décomposition

est réalisée via l'activité microbienne du sol. Pour cette raison, il est préférable d'incorporer les apports à la terre en surface. Si les teneurs en azote mesurées en cours de saison sont trop faibles, des apports d'engrais organiques peuvent être faits, mais on comptera plus ou moins 3 semaines entre l'épandage et le début de l'assimilation par les plantes. Il existe d'autres types d'apports complémentaires, plus rapidement mobilisables, adapté à l'ajustement en cours de saison. Parmi ceux utilisés par les maraîchers suivis, il y a par exemple le thé de compost et le purin d'ortie, pulvérisés en foliaire. Ce dernier présente aussi des vertus phytosanitaires en tant que répulsif des pucerons. Le lisier de poule peut être injecté dans le système d'irrigation. La quantité d'azote apportée est rarement connue avec précision mais l'ordre de grandeur est de quelques kg à quelques dizaines de kg d'azote par hectare selon le dosage.

## b. Focus sur les relevés d'azote

Le cas de Clément Brunet présente des faibles valeurs en nitrates, malgré des apports conséquents. Comment expliquer cela ?

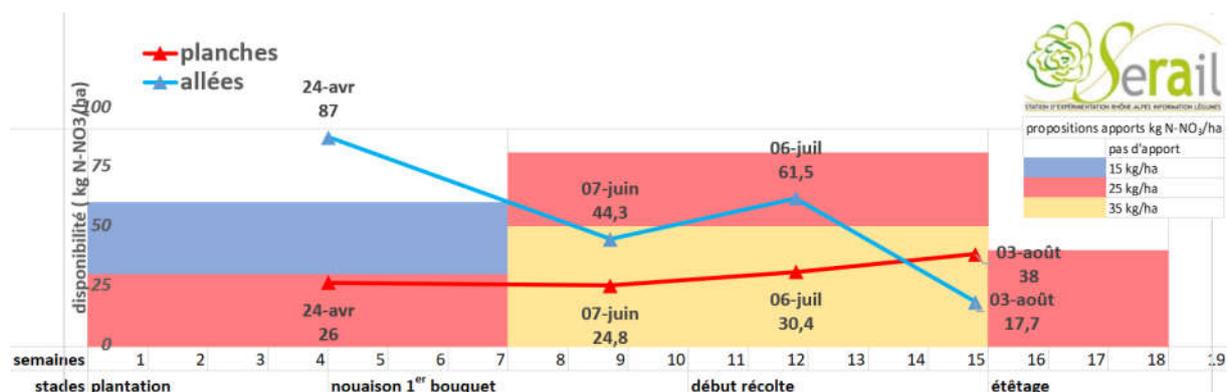


Figure 8 : Grille des teneurs en azote dans le sol – Clément Brunet, Grépiac 2023

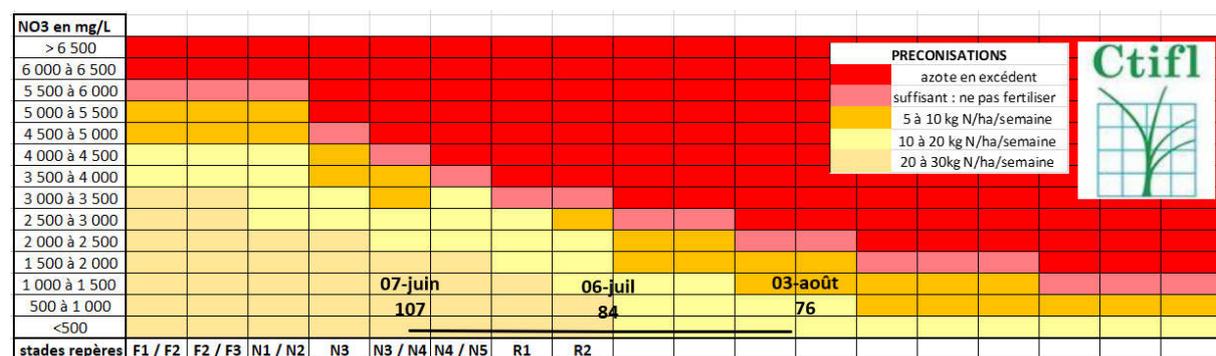


Figure 9 : Grille de la teneur en azote dans les pétioles – Clément Brunet, Grépiac 2023

Amendement : apport de compost de déchets verts : 2,5 T dans la serre (300m<sup>2</sup>) avant plantation (semaine 12), ce qui équivaut à 100kgN/ha.

Engrais : 70 kgN/ha apportés sous forme d'engrais organique (100kg d'engrais 7-4-11 dans la serre) début mai, dans les planches seulement.

Les premières mesures dans le sol fin avril indiquent une faible teneur en nitrates dans les planches. En réaction, un apport localisé d'engrais organique a été réalisé le 6 mai (70 uN/ha). La teneur en nitrate est restée assez faible dans les planches par la suite, l'azote a donc été consommé. La teneur dans les allées, plus forte en premier temps, diminue au cours de la saison. Comme c'est le cas ici, il est courant de placer une gaine dans l'allée pour y favoriser la minéralisation : une des 3 gaines arrose les allées. Ces diminutions s'expliquent donc par la consommation de l'azote par la culture. Cependant, les teneurs en azote dans la sève brute des pétioles reste très faible entre juin et août. On observe d'ailleurs pour certaines variétés un état sanitaire faible et une nouaison partielle des 4e, 5e, 6e bouquets.

Des valeurs d'azote aussi faibles posent question car malgré des apports importants, les plantes manquent d'azote. La principale explication à cela est le constat d'une faim d'azote depuis le défrichement de la parcelle un auparavant, après 20 ans de friche. Le rapport C/N y est donc encore élevé et il est très probable qu'une partie de l'azote apporté se retrouve mobilisée par la vie du sol pour dégrader la matière organique. On peut donc s'attendre à une meilleure disponibilité en azote pour les plantes dans quelques années, après un délai nécessaire à la dégradation de cette matière organique.

D'autres hypothèses relatives à la vie du sol sont envisageables :

- Le cortège écologique du sol n'est pas le même dans une friche et dans un agroécosystème. Il est probable que celui-ci ne soit pas encore efficient d'un point de vue productif, avec de tels apports de matières organiques et d'une telle demande en azote par les tomates. Par exemple, les vers de terre anéciques – ceux réalisant le brassage du sol – se reproduisent très lentement (gestation de 9 mois, d'après l'OPTV (2023)) et Clément n'en observe jamais dans son jardin.
- Bien que l'irrigation au GAG humidifie le sol, ce qui active la minéralisation, les apports sont assez espacés dans le temps et à dose importante. L'eau n'aurait donc pas le temps de diffuser de manière homogène en surface, là où a lieu la minéralisation (apports en surface). En effet, on observe entre deux arrosages une terre très mouillée en surface jusqu'à 10 cm de distance de la gaine, et une terre très sèche au-delà. Cette observation est partagée par 2 autres maraîchers interviewés. Cela pourrait expliquer une faible absorption de l'azote malgré des teneurs correctes dans le sol, étant donné que les prélèvements dans les allées se sont faits à proximité de la gaine, donc en zone minéralisée.
- Avant la friche, la parcelle a longtemps été travaillée en maïsiculture. Il pourrait y avoir une semelle de labour, empêchant alors les brassages de matière organique, essentiels au développement de la vie microbienne. Pour s'en rendre compte, il faudrait observer le sol, en faisant une fosse par exemple.

Ces questionnements sont tous les trois à propos de l'activité biologique du sol. La fertilité biologique est l'un des piliers de la fertilité (cf. introduction), mais demeure complexe et évolue sur des temps longs. Clément espère améliorer le rapport MO liée/MO libre à l'avenir en favorisant l'activité biologique du sol, et ainsi améliorer les propriétés physiques du sol (résistance à la compaction, rétention d'eau...) (Cécile Waligora, 2015).

## c. Discussion des résultats concernant la fertilisation

### i. Incertitudes de mesure

L'application du protocole de relevés avec le Nitracheck comporte des incertitudes, provenant pour la plupart du matériel utilisé ici. Les seringues utilisées lors des dilutions sont sources d'incertitude, qui est importante pour le jus de pétioles pressés. La balance utilisée pour peser la terre fournit aussi une incertitude non négligeable. Pour le sol, le coefficient multiplicateur qui prend en compte de la dilution du nitrate dans l'eau du sol est choisi par ressenti au toucher, à l'aide d'une grille, et le choix est parfois difficile à faire car un peu subjectif. Ensuite, plus la température est élevée, plus la vitesse de réaction est élevée. Pour prendre en compte cet effet, le Nitracheck est réglé à chaque utilisation par tranche de 5°C d'écart, pour prendre en compte cet effet. Il est primordial de bien réaliser ce réglage, néanmoins les tranches sont assez larges, et l'effet n'est pris en compte que partiellement. Ci-dessous une estimation des incertitudes, en fonction du matériel utilisé et du nombre d'utilisation (incertitude de type B), pour les deux protocoles.

Figure 10 : Sources d'incertitudes sur les teneurs en azote du sol et des pétioles

Sol	Pétioles
± 5% effet de la température sur la vitesse de réaction	± 5% effet de la température sur la vitesse de réaction
± 5% pesée de 200g de terre	± 20% prélèvement de 1mL de jus
± 5% choix du coefficient multiplicateur, basé sur l'humidité ressentie	± 2% prélèvement de 19mL d'eau
± 1% prélèvement de 200mL d'eau	
Environ 15% d'incertitude	Environ 30% d'incertitude

Par conséquent, l'interprétation des variations de teneurs en nitrate ne peut se faire que sur des grandes tendances. Les petites variations entre deux points ne seraient donc pas complètement fiables en dessous de 30% de variation pour le sol et en dessous de 60% pour les pétioles.

Par ailleurs, il peut y avoir un biais de mesure dans le cas où la terre prélevée n'est pas représentative de l'ensemble « allée » ou de l'ensemble « planche » en termes d'humidité, et donc de conditions de minéralisation. Enfin, l'azote est dilué dans la plante à mesure que l'appareil végétatif se développe. Plus il y a de feuilles, plus l'azote est réparti dans la plante. Il y aurait donc un biais dans les prélèvements en fonction de la période.

### ii. L'importance du rendement dans l'analyse

L'interprétation des teneurs en azote repose sur les préconisations des grilles de la SERAIL et du CTIFL, qui sont conçues pour des cultures en conventionnel, dans un objectif de maximisation du rendement. En pratique, bien que les teneurs en azote chez Clément Brunet

soient très faibles, la culture est tout de même productive et ce dernier est relativement satisfait de la récolte sur la période juin-juillet.

Néanmoins, si on voulait déterminer rigoureusement l'influence des pratiques de fertilisation, il serait essentiel de mesurer le rendement au cours de la saison. Malgré la demande faite aux maraîchers participant au suivi, cela n'est pas systématiquement fait, ce qui rend l'analyse difficile et quelques fois basée sur des critères subjectifs. Cela a déjà été souligné dans le rapport de Johannes Le Borgne (2022). Avec la variabilité importante des conditions de culture d'une ferme à l'autre et entre les années (cf figure 11), le rendement est un indicateur stratégique pour analyser l'effet de pratiques ou de contextes particuliers.

### *iii. L'excès de salinité*

Un excès de salinité a été identifié récemment chez deux maraîchers ayant participé auparavant, à la suite d'analyses de sol spécifiques. L'excès peut être lié aux ions présents dans l'eau d'irrigation et aux résidus d'engrais s'accumulant entre les saisons de culture. Plus la solution du sol est concentrée en éléments solubles, plus son potentiel osmotique est faible, ce qui peut provoquer une difficulté pour les plantes à absorber l'eau. Pour contourner cette difficulté, quelques points d'attention : l'approvisionnement en eau ; l'optimisation de la quantité d'eau apportée ; l'optimisation des apports de fertilisants ; en correctif, un apport d'eau de 200 mm environ à conditions que le sol soit drainant et l'eau bien répartie dans la serre (source : article du Sillon Belge (2018)). L'aspect de la salinité pourrait faire l'objet d'une réflexion approfondie dans le suivi par BAG.

### *Conclusion sur les relevés d'azote*

Les relevés de nitrates avec le Nitratecheck restent le seul moyen d'acquérir plus de précision dans le diagnostic de la réserve d'azote du sol. Malgré des limites cernées quant à leur analyse, l'expérience du maraîcher et sa connaissance de ses champs sont suffisamment élaborés pour prendre des décisions suite aux résultats des prélèvements. L'utilisation de cette méthode demeure donc tout de même pertinente.

## 5) Mise en perspective du suivi

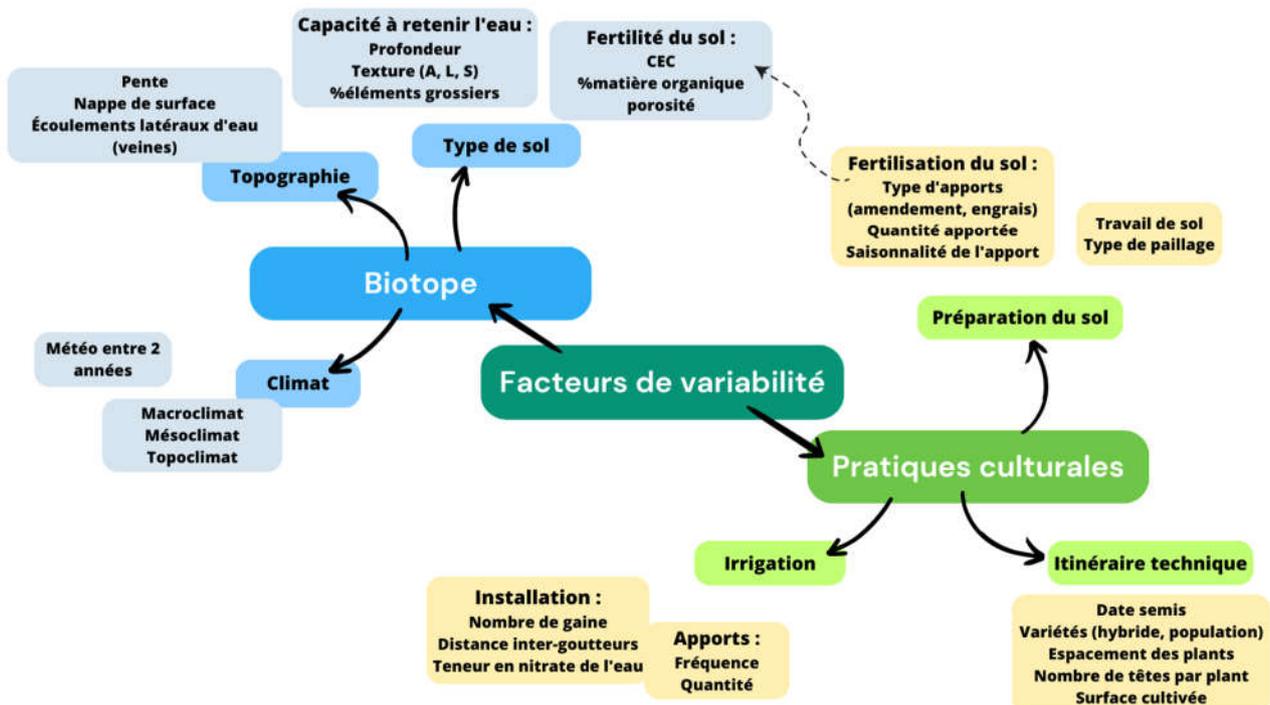
Rappel problématique : Quelles sont les forces et faiblesses du suivi fait par BAG en maraîchage ? Mise en perspective de l'accompagnement des maraîchers

L'enquête téléphonique avait à l'origine pour objectif de rendre compte de l'utilité effective du suivi des années passées, dans le but de donner des éléments d'amélioration. L'utilité du suivi est avérée. Les maraîchers en ayant bénéficié ont intégré, de par cette expérience, des éléments pour leur gestion de l'eau et de la fertilité. On peut néanmoins nuancer en apportant des éléments de discussion sur ce que permet le suivi et ce qu'il ne permet pas.

## a. Une conduite de l'irrigation multifactorielle

Dans le rapport de Johannes Le Borgne (2022) portant sur le même sujet que ce stage, on retrouve le constat que l'élaboration de références locales des méthodes d'irrigation au GAG est très compliquée à mettre en œuvre. D'une ferme à l'autre, il existe de nombreux facteurs de variabilité en ce qui concerne la gestion de l'irrigation et de la fertilisation, comme le décrit la figure ci-dessous.

Figure 11 : La pluralité des facteurs de variabilité dans la gestion de l'irrigation et de la fertilisation



Le faible effectif de l'échantillon de parcelles ainsi que la multitude de facteurs pouvant varier entre chaque site d'étude rendent impossible une analyse statistique des relevés. Il est possible d'analyser qualitativement les phénomènes observés mais l'approche quantitative reste très limitée. La volonté de créer un logiciel d'aide à la décision ou encore d'établir des références locales se confronte à ce défi de parvenir à isoler une variable (ex l'effet de la proximité d'une rivière), les autres étant toutes égales par ailleurs. Chaque tentative de comprendre l'effet d'une variable se heurte au fait qu'entre deux cas d'étude, des facteurs autres que la variable d'intérêt varient constamment. D'où l'intérêt pour les maraîchers de prendre le temps de discuter régulièrement de ces sujets, avec BAG pendant le suivi, ou à l'occasion de demi-journée technique comme celle du 3 juillet. En confrontant les expériences, on acquière une expertise technique sans passer par une étude quantitative.

## b. La pertinence du suivi

D'après les retours d'expérience des maraîchers ayant participé au suivi par BAG ces dernières années, on retiendra deux principaux bénéfices.

Premièrement, avoir accès aux tensions et aux teneurs en azote est un gain énorme pour adapter le pilotage de l'irrigation et de la fertilisation. Les sondes tensiométriques délivrent une information précise et facilement obtenue. Certains maraîchers utilisent les graphiques en direct pour décider du jour d'arrosage (pour ceux ayant des arrosages espacés). La plupart des maraîchers interrogés disent avoir surestimé les besoins en eau auparavant, notamment en inter-saison, et apportent désormais moins d'eau. Par ailleurs, le fait de croiser les informations pendant la période d'installation des sondes permet d'apprendre des liens entre des repères sensoriels et des tensions : « Les sondes m'ont permis de comparer le visuel du sol à des valeurs de tension » (Une maraîchère). Quant à la fertilisation, réaliser des relevés d'azote est le seul moyen d'apprécier la teneur en azote du sol et dans les plantes. Rares sont les maraîchers qui font des relevés eux-mêmes, l'activité étant assez chronophage et s'ajoutant à la charge de travail déjà importante. On notera cependant les limites des mesures réalisées (cf discussion azote).

Deuxièmement, le suivi donne lieu à des moments d'échanges. Pendant la saison du suivi, le contact régulier (au moins toutes les deux semaines) fournit une aide technique importante. Concernant Lucile Chavanieu et moi-même, nous ne sommes pas suffisamment expérimentés pour prétendre au titre de technicien en maraîchage mais l'animation technique, qui repose par défaut sur le fait de poser des questions, de creuser un sujet et de susciter la curiosité, aide à prendre du recul et à déverrouiller des blocages, en explorant les possibilités à plusieurs. À plus grande échelle, il y a chaque hiver une journée de restitution des suivis (cf méthodes) pour analyser les situations de chacun et les confronter. À d'autres occasions, BAG organise ponctuellement des journées techniques en cours de saison. Ainsi, j'ai pu participer à l'organisation d'une d'entre elles, pour la demi-journée technique du 3 juillet, à laquelle 17 maraîchers et porteurs de projet également ont participé. Stanislas Poudou et Hervé Henry étaient présents également. L'objectif était de lancer des discussions à propos de l'irrigation et de la fertilisation. L'exemple du GAEC Légumes en Salat, à Montsaunès, où avait lieu la rencontre, était exposé et a été le point de départ des discussions par la suite. S'en sont suivis un tour de champ et des débats sur des sujets variés. L'événement a été apprécié par l'ensemble des participants. Les moments d'échanges sont particulièrement utiles aux maraîchers débutants, c'est l'occasion de bénéficier des savoirs d'autres plus expérimentés. Les maraîchers plus expérimentés ayant participé à l'événement se questionnent eux aussi encore sur l'optimisation de leur système d'irrigation.

D'autres manières d'échanger pourraient être développées, moins contraignantes que celles qui requièrent un déplacement, étant donnée la faible disponibilité des maraîchers. Pendant un entretien, un maraîcher a proposé de favoriser les discussions en ligne (par forum, par visio, etc.). Un forum laisse une trace écrite dans le temps, et est potentiellement accessible à un grand nombre de personnes. Cela peut se faire au bénéfice du partage d'expérience, mais n'est cependant pas comparable au présentiel humainement.

### c. Perspectives du stage

Le stage a permis de dégager quelques cas types dans la gestion de l'irrigation, selon les pratiques (fréquence, dose) et le contexte pédologique (texture du sol), et d'identifier des enjeux centraux dans la gestion de la fertilisation, liés aux particularités des fertilisants, qui sont d'origine organique essentiellement. Ces conclusions sont basées sur l'étude via la tensiométrie et les relevés d'azote, et sur l'expérience des maraîchers, recueillie via l'enquête et la discussion. Dans un second temps, l'enquête sur le ressenti des maraîchers à propos du suivi et de leurs attentes, en adoptant un angle de vue rétrospectif sur ces 4 années d'expériences, a permis d'expliquer quelles ont été les forces et les limites du suivi, et quelles sont les attentes des maraîchers. Des sujets n'ont pas pu être approfondi, quand certains d'entre eux mériteraient à l'avenir un approfondissement. En voici une énumération :

- La faune du sol réalise les fonctions de la fertilité biologique, avec notamment la digestion de la matière organique, les brassages des horizons du sol. Ces fonctions peuvent parfois se montrer déficientes, comme il en a été fait l'hypothèse dans le cas de Clément Brunet (cf 4)b.). Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait caractériser la faune du sol. On peut mentionner par exemple les méthodes suivantes : les paramètres physico-chimiques du sol (pH, humidité...) en lien avec les niches écologiques des êtres-vivants clés (vers de terre par exemple) ; un échantillonnage des êtres-vivants par capture.
- L'effet du nombre de gaines n'a pas pu être étudié de manière plus approfondie, pourtant il semble central dans la manière dont l'eau se comporte dans le sol (cf 3)c.). Ce sujet mériterait un approfondissement.
- L'effet de la salinité n'est pas étudié dans le suivi fait par BAG et la CA09 (cf 4)c.). Des constats récents chez deux maraîchers anciennement suivis d'excès de salinité semblent montrer une importance du risque. Ce sujet est à la croisée des thèmes de l'irrigation et de la fertilisation, qui font l'objet du suivi.

## 6) Conclusion

L'irrigation est une clé de voute pour la réussite d'une culture sous abri, et la tensiométrie peut faciliter sa gestion en éclairant sur les dynamiques de l'eau dans le sol. Par ailleurs, réaliser des relevés de nitrates demeure le seul moyen de connaître avec une certaine précision la teneur en azote dans le sol notamment. Ces connaissances sont utiles quand elles apportent une réponse à un questionnement, elles permettent un apprentissage qui reste complémentaire à celui acquis par la pratique. Le travail en collectif via l'animation technique permet de confronter les expériences de chacun, tout en s'aidant des apports des outils techniques comme la tensiométrie et les relevés.

L'optimisation de l'irrigation par l'amélioration des techniques et du matériel est un progrès technique à l'échelle de l'exploitation. Cependant, les études de Mateos (2021) tentent de décrire un mécanisme selon lequel l'optimisation de l'utilisation de l'eau conduit, en cas de foncier non limitant, à une augmentation des surfaces irriguées, et donc à une augmentation de l'eau consommée par l'irrigation à l'échelle du bassin versant. C'est « l'effet rebond », provoqué par des dynamiques économiques. Ce commentaire personnel a pour objectif d'ouvrir un questionnement sur les conséquences du progrès technique : il n'est pas impossible que celui-ci entraîne paradoxalement un emballement de ses impacts environnementaux quand il cherchait à les minimiser.

## Références

ARDEPI. (2003). *Fiche technique pour l'usage des sondes tensiométriques—L'eau fertile.*

ARDEPI. (2012). *Besoins en eau des cultures maraîchères—L'eau fertile.*

ARDEPI. (2015). *Fiche technique sur l'utilisation d'un compteur volumétrique en maraîchage—L'eau fertile.*

Carole Isbérie, Gérard Tron, & Pierre Chol. (2013). *La tensiométrie pour piloter les irrigations.*  
Educagri.

Cécile Waligora. (2015, décembre). Les matières organiques des sols libres et liées. *Cultivar.*

Célia Aubry. (2023). *Accompagner les maraîchers dans l'amélioration de la fertilité de leurs sols.* <https://ecophytopic.fr/dephy/groupe-dephy-maraichage-bio-ariege-garonne>

Harmanto Harmanto, Vilas M. Salokhe, Mukand S Babel, & Hans-Jürgen Tantau. (2005).

*Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment.*

Johannes Le Borgne. (2022). *Pilotage de l'irrigation et gestion de l'azote en maraîchage*

*biologique diversifié en Ariège et Haute-Garonne.*

<https://www.erables31.org/forum/viewforum.php?f=87>

Le Sillon Belge. (2018, mai 20). *La salinité en serre maraîchère : Mieux vaut toujours prévenir*

*que guérir!* [https://www.sillonbelge.be/2525/article/2018-05-20/la-salinite-en-serre-](https://www.sillonbelge.be/2525/article/2018-05-20/la-salinite-en-serre-maraichere-mieux-vaut-toujours-prevenir-que-guerir)

[maraichere-mieux-vaut-toujours-prevenir-que-guerir](https://www.sillonbelge.be/2525/article/2018-05-20/la-salinite-en-serre-maraichere-mieux-vaut-toujours-prevenir-que-guerir)

Liu, H., Li, H., Ning, H., Zhang, X., Li, S., Pang, J., Wang, G., & Sun, J. (2019). Optimizing

irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality and water use

efficiency of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 226, 105787.

Mateos, L. (2021). Efficience de l'irrigation et économie d'eau : Effet d'échelle et effet rebond:

*Sciences Eaux & Territoires, Numéro 34(4), 86-89.*

Nicolas Bonnet. (2020). *La gestion de l'irrigation en maraîchage*. InterBio Corse.

OPTV. (2023). Reproduction des vers de terre. *EcoBioSoil*. [https://ecobiosoil.univ-](https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/reproduction)

[rennes1.fr/page/reproduction](https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/reproduction)

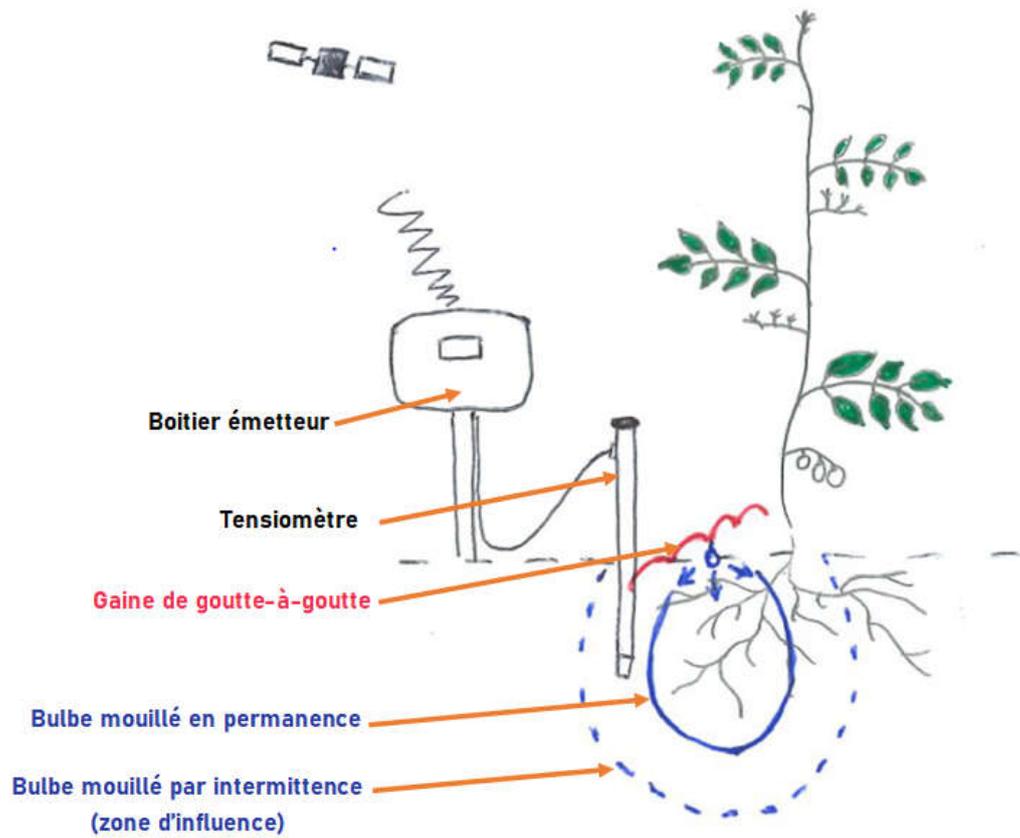
Yaohu Kang, Feng-Xin Wang, & Shi-Ping Liu. (2002). Effects of Drip Irrigation Frequency on

Soil Wetting Pattern and Root Distribution of Potato in North China Plain. *2002*

*Chicago, IL July 28-31, 2002. 2002 Chicago, IL July 28-31, 2002.*

## Annexes

### Annexe A : Schéma de l'installation d'irrigation et de tensiométrie en culture de tomate



## **Annexe B : protocoles de réalisation des relevés de nitrates dans le sol et dans les pétioles d'une culture de tomates avec Nitracheck**

### *Relevés dans le sol*

- Effectuer 12 prélèvements de sol à la gouge (sondage jusqu'à 25 cm) de manière homogène dans la parcelle
- Mélanger la terre, de manière à obtenir une texture homogène
- Dans un grand bol, isoler 200g de terre et ajouter 200mL d'eau déminéralisée
- Mélanger pendant 2 min
- Faire une filtration inversée : immerger un filtre à café dans le bol, et patienter 2 min le temps qu'une partie de la solution ait traversé le filtre vers l'intérieur, suffisamment pour pouvoir y tremper une bandelette de test

→ étape commune : voir mesures au Nitracheck

- La valeur retenue est multipliée par un coefficient multiplicateur compris entre 1 et 2, qui est estimé selon l'humidité du sol : plus l'humidité est élevée, plus le coefficient est important (car l'azote dans la solution du sol est ainsi dilué). On obtient la quantité d'azote dans le sol en kg/ha.

### *Relevés dans les pétioles*

- Prélever une cinquantaine de feuilles de tomates parmi celles situées sur une branche en dessous du dernier bouquet fleuri, avec un échantillonnage homogène dans la parcelle
- Isoler les pétioles, découper les plus gros
- Avec pressage par mortier ou avec un presse-ail, isoler 1mL de jus de pétioles
- Diluer pour 1/20 : ajouter 19mL d'eau déminéralisée

→ étape commune : voir mesures au Nitracheck

- La valeur retenue est multipliée par 20, et on obtient la concentration en nitrates en mg/L de jus de pétioles (comportant notamment de la sève brute).

### *Mesures au Nitracheck*

- Sortir les bandelettes du froid (sachet isotherme avec glace), et effectuer au moins 3 mesures par trempage de bandelettes réactives et analyse par spectrophotométrie par le Nitracheck (1 minute de temps de réaction).
- Pour exclure des valeurs aberrantes, la valeur retenue doit être une moyenne de 3 mesures avec un écart-type minimum. On effectue des mesures jusqu'à obtenir un lot de 3 mesures pour lequel les 3 valeurs mesurées par le Nitracheck sont comprises dans [moyenne  $\pm$  10%].

## Annexe C : extrait de bulletin d'irrigation

Tableau des ETP

PLUIE ET ETP						
Semaines n°24-25 du 15 juin au 21 juin 2023	Haute-Garonne		Ariège			
	MURET	PALAMINY	ST GIRONS	SIEURAS	COS	
Pluie hebdo	19 mm	16 mm	26 mm	6 mm	10 mm	
ETP hebdo	29 mm	27 mm	27 mm	26 mm	26 mm	
CONSOMMATION DES CULTURES SOUS ABRI (80% ETP)						
<b>AUBERGINE</b>	Kc					
plantation ⇒ début floraison	0,50	12 mm	11 mm	11 mm	10 mm	10 mm
début flo ⇒ croissance 3 <sup>ème</sup> étage	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
croissance 3 <sup>ème</sup> étage ⇒ mi-récolte	0,90	21 mm	19 mm	19 mm	19 mm	18 mm
mi-récolte ⇒ fin culture	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
<b>COURGETTE</b>	Kc					
Plantation ⇒ floraison	0,50	12 mm	11 mm	11 mm	10 mm	10 mm
Floraison ⇒ mi-récolte	1,00	24 mm	22 mm	21 mm	21 mm	20 mm
Mi-récolte ⇒ fin récolte	0,70	16 mm	15 mm	15 mm	15 mm	14 mm
<b>HARICOT</b>	Kc					
30 j après levée ⇒ floraison	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
Floraison ⇒ formation gousseage	0,80	19 mm	17 mm	17 mm	17 mm	16 mm
Formation gousseage ⇒ récolte	1,00	24 mm	22 mm	21 mm	21 mm	20 mm
<b>MELON</b>	Kc					
Plantation ⇒ début floraison	0,40	9 mm	9 mm	8 mm	8 mm	8 mm
Début floraison ⇒ nouaison	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
Nouaison ⇒ grossissement fruit	1,00	24 mm	22 mm	21 mm	21 mm	20 mm
Grossissement fruit ⇒ en cours de récolte	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
<b>POIVRON</b>	Kc					
Plantation ⇒ début floraison	0,50	12 mm	11 mm	11 mm	10 mm	10 mm
Début floraison ⇒ croissance 3 <sup>ème</sup> étage	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
Croissance 3 <sup>ème</sup> étage ⇒ mi-récolte	0,70	16 mm	15 mm	15 mm	15 mm	14 mm
Mi-récolte ⇒ fin récolte	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
<b>SALADE</b>	Kc					
Plantation ⇒ début croissance active	0,40	9 mm	9 mm	8 mm	8 mm	8 mm
Début croissance active ⇒ récolte	0,70	16 mm	15 mm	15 mm	15 mm	14 mm
<b>TOMATE</b>	Kc					
Plantation ⇒ reprise	0,20	5 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
Reprise ⇒ floraison 3 <sup>ème</sup> bouquet	0,60	14 mm	13 mm	13 mm	12 mm	12 mm
Floraison 3 <sup>ème</sup> bouquet ⇒ mi-récolte	0,90	21 mm	19 mm	19 mm	19 mm	18 mm
Mi-récolte ⇒ fin culture	0,70	16 mm	15 mm	15 mm	15 mm	14 mm

### Grille de lecture :

Ces 2 tableaux vous indiquent les consommations de vos cultures, en plein champ et sous abri, sur une période de 7 jours consécutifs (voire semaine et dates en haut à gauche des tableaux). Elles sont calculées en fonction de l'ETP cumulée, mesurée sur plusieurs stations météo de l'Ariège et de Haute-Garonne.

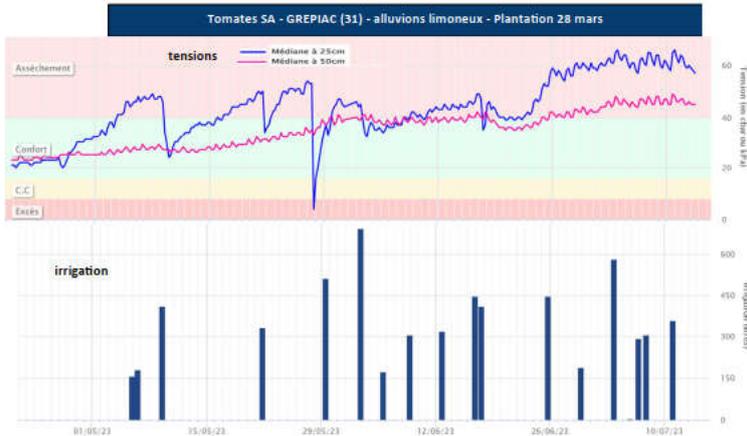
**Rappel :** L'ETP sous abri est réduite de 80% par rapport à l'ETP mesurée en plein air (moins de vent, ombrage).

Le tableau ci-dessus tient compte de ce ratio.

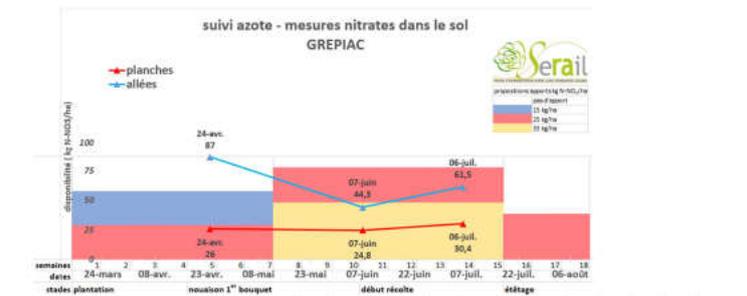
Sous abri comme en plein champ, le paillage des cultures diminue également l'ETP.

# Commentaires sur des parcelles de références, de maraîchers participant au suivi en 2023

## Zoom sur les suivis tensiométriques et les suivis azote



**Serre** : 30 m x 9,30 m - 5 planches de tomates, variétés hybrides et de population  
**Irrigation** : 2 gaines / planche, 1 gaine dans l'allée, goutteurs 1 L/h, espacement 20cm  
 pluviométrie = 12,5 mm/h  
 Toujours une bonne stabilité des tensions, avec des apports 2 fois par semaine, d'environ 1 h.  
 Le compteur mesure le débit dans les 2 gaines d'une planche et dans la gaine d'une allée, soit environ 450 L/h.

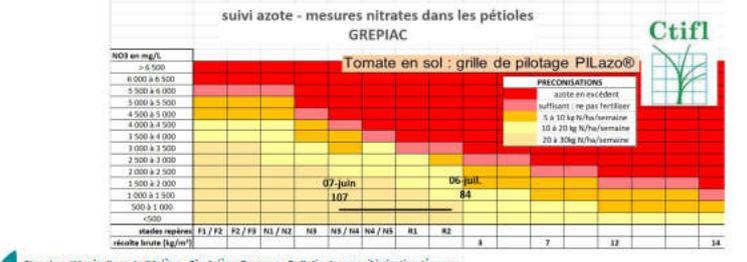


**Suivi azote**

**Amendement** : apport de compost de déchets verts : 2,5 T dans la serre (300m<sup>2</sup>) avant plantation (semaine 12)  
**Engrais** : 70 uN/ha apportés sous forme d'engrais organique début mai.

**Historique de la parcelle** : ancienne forêt défrichée fin 2022, installation de la serre avant plantation des tomates et épandage de compost.  
 Le sol contient donc beaucoup de matière organique carbonée, ce qui peut expliquer les faibles teneurs en nitrates (dans le sol et les pétioles), l'azote pouvant alors être mobilisé pour dégrader cette matière organique.

En réaction aux 1<sup>ères</sup> mesures dans le sol fin avril, un apport localisé d'engrais organique a été réalisé le 6 mai (70 uN/ha). Du fait de la bâche, cet engrais n'a pas pu être suffisamment enfoui. Suite à l'arrosage pour les humidifier et en permettre la minéralisation, de nombreux pieds ont été touchés par la pourriture du collet. Cette expérience montre l'importance de la bonne incorporation des engrais organiques.  
 En complément, un apport de purin d'ortie (10 L de purin d'ortie) et de fientes de poule en solution, le tout injecté dans le goutte-à-goutte avec un injecteur à engrais (dilution 1/10). Le purin d'ortie est réputé comme un activateur de minéralisation de l'azote, aussi contribue-t-il peut-être directement à l'azote absorbé par la plante.  
 L'arrosage dans les allées a été ouvert dès fin mai pour activer la minéralisation de l'azote.  
 Bien que les teneurs en azote restent faibles, l'interprétation des grilles est à nuancer. La récolte est satisfaisante et les grilles présentées ci-contre sont indicatives, prévues pour des cultures fertilisées avec des engrais minéraux rapidement assimilables, donc avec une grande adaptabilité des apports.



## **Annexe D : questionnaire de base pour les entretiens téléphoniques**

- 1) Sur quoi reposent vos observations pour adapter l'irrigation de vos tomates, outre les sondes tensiométriques ?
- 2) L'utilisation des sondes tensiométriques vous a-t-elle apporté quelque chose en plus de ce que vous pouviez déjà percevoir ? Si oui, quoi donc ? Si non, pourquoi ?
- 3) Comment appréciez-vous la teneur en azote du sol/dans les plants, autrement que par les prélèvements ?
- 4) Le suivi des teneurs en azote vous a-t-il apporté quelque chose de nouveau ? Si oui, quoi donc ? Si non, pourquoi ?
- 5) Selon vous, est-ce que le suivi a permis une gestion satisfaisante de l'eau ? (rendement, état sanitaire)
- 5bis) Y a-t-il eu des problèmes d'éclatement des tomates ? Si oui, sur quelles variétés ?
- 6) Est-ce que certaines de vos pratiques d'irrigation ont changé pendant le suivi avec les sondes ?  
Et après la fin du suivi ?
- 7) Selon vous, les préconisations découlant des grilles (Serail/Pilazo) à propos de l'azote vous ont-elles semblées pertinentes ? Gestion satisfaisante de l'azote ?
- 8) Et surtout, pensez-vous avoir une marge de progrès sur la gestion de l'irrigation et de la fertilisation ? Si c'est le cas, BAG pourrait-il avoir un rôle à jouer ? Si oui, comment ?
- 8bis) Peut-être que la gestion de l'irrigation/de l'azote n'est pas la priorité pour vous en ce moment. Qu'est-ce qui est compliqué en moment ? (technique, humain, économique...)
- 9) Avez-vous rencontré des contraintes avec ce suivi ? (temps, matériel, autres...)
- 10) Le format de la restitution (janvier de l'année suivante) vous a-t-il convenu ?
- 11) Avez-vous des questionnements restés en suspens ?
- 12) Y a-t-il des choses qui vous ont dérangé ?
- 13) Auriez-vous des conseils/des envies pour améliorer cet événement annuel ?
- 14) Pour ceux qui ne sont plus suivis aujourd'hui, rencontrez-vous des difficultés à poursuivre un pilotage de l'irrigation et de l'azote depuis la fin du suivi ?
- 15) Faites-vous une autre forme de suivi ? (autre approche, ou autre partenaire) Si oui, quel genre de suivi ?
- 16) Cela vous intéresserait-il de continuer de vous-même les suivis avec un Nitratecheck si vous en aviez un ?