

Rapport de mise en place et d'évaluation d'une solution (pour le déclenchement d'une irrigation)

Table des matières

Introduction.....	1
Section 1 : Bilan hydrique.....	2
1. Description de la solution.....	2
2. Calendrier des mesures	2
3. Données mesurées	4
4. Interprétations données mesurées (comment les solutions fixent les seuils).....	5
5. Application de l'action sur le levier agronomique.....	7
6. Evaluation technique	7
7. Évaluation organisationnelle.....	22
Section 2 : Sonde tensiométrique	23
1. Description de la solution.....	23
2. Calendrier des mesures	24
3. Données mesurées	26
4. Interprétations données mesurées (comment les solutions fix les seuils)	26
5. Application de l'action sur le levier agronomique.....	26
6. Evaluation technique	26
7. Évaluation organisationnelle.....	40
Section 3 : Sonde capacitive	41
1. Description de la solution.....	41
2. Calendrier des mesures	41
3. Données mesurées	43
4. Interprétations données mesurées (comment les solutions fix les seuils)	43
5. Application de l'action sur le levier agronomique.....	43
6. Evaluation technique	43

7. Évaluation organisationnelle.....	51
--------------------------------------	----

Personne de contact :

Quentin Limbourg ; q.limbou@cra.wallonie.be

Introduction

Au démarrage du projet, plusieurs priorités ont été définies par la Ferme du Plein Air (FPA) afin d'optimiser les pratiques agronomiques de l'exploitation. La première concernait l'amélioration de la gestion de l'irrigation. Face à des ressources en eau de plus en plus limitées en périodes critiques, la FPA souhaitait mettre en place une gestion plus précise et optimisée de ses apports.

En effet, l'irrigation constitue un facteur déterminant pour la production de légumes industriels. En situation de sécheresse prolongée ou de températures élevées, il est nécessaire de savoir précisément quand déclencher une irrigation afin d'éviter tout stress hydrique pour la culture.

Section 1 : Bilan hydrique

1. Description de la solution

6.1. Référence (CPL-Végémar)

L'évaluation des solutions de smart farming visant à optimiser le déclenchement de l'irrigation, notamment la décision d'irriguer une parcelle avec une dose adaptée nécessite un conseil d'irrigation de référence.

Ce conseil est dispensé tout au long du projet par le CPL-Végémar. Cet organisme est agréé par la Région wallonne en tant que centre pilote pour l'encadrement et le développement des cultures légumières destinées à l'industrie. À ce titre, il assure un suivi technique des agriculteurs, notamment par l'émission de recommandations en matière d'irrigation. Les producteurs ayant souscrit à ce service reçoivent ainsi un programme hebdomadaire d'irrigation, leur permettant d'optimiser l'apport en eau en fonction des besoins spécifiques des cultures.

Pour élaborer ces recommandations, le CPL-Végémar établit le bilan hydrique des parcelles en s'appuyant sur plusieurs sources de données (détaillées dans la partie 3. Données mesurées)

6.2. Sencrop

Sencrop calcule un bilan hydrique, établi à partir des données issues de son propre réseau de stations météorologiques connectées. L'agriculteur doit installer une station sur son exploitation. Comme celle-ci est positionnée en dehors de la zone irriguée, cette station peut être utilisée pour le suivi de plusieurs parcelles ou de différentes cultures. Il est également possible d'exploiter les données provenant d'autres stations du réseau, afin d'élargir la représentativité spatiale des observations météorologiques.

6.3. Abelio

La solution Abelio calcule un bilan hydrique reposant uniquement sur des données géospatialisées libres d'accès, telles que les données météorologiques et satellitaires, sans nécessiter d'appareils de mesure spécifiques à l'exploitation.

2. Calendrier des mesures

6.4. Référence (CPL-Végémar)

Le CPL-Végémar fournit un encadrement technique sur l'ensemble de la saison de la culture, mais ne fournit de conseil irrigation que pendant les phases critiques, c'est-à-dire les périodes où les cultures sont sensibles au stress hydrique. Cette période correspond au moment où la culture accumule de la biomasse qui sera récoltée.

6.5. Sencrop

2023

Tableau 1. Cultures suivies avec la solution Sencrop durant la saison 2023.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Pont	Chicorées	20/04/23	16/09/23
Pivot_Bois_D	Oignons	26/04/23	02/10/2023
GrdVillers_G	Epinards de printemps	05/05/23	23/06/23
GrdSeumoy_D	PDT	21/05/23	25/09/23
Pivot_Bois_G	Haricots	06/07/23	17/09/23
GrdVillers_G	Epinards d'automne	14/08/23	23/09/23

2024

Tableau 2. Cultures suivies avec la solution Sencrop durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
GrdVillers_G	Froment	01/12/23	31/07/24
PtiSeumoy	Epinards de printemps	29/04/24	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	01/05/24	23/09/24
GrdSeumoy_G	PDT	08/06/24	06/10/24
ThAuto	Haricots	10/07/24	17/09/24
PtiSeumoy	Epinards d'automne	03/08/24	17/09/24

2025

Tableau 3. Cultures suivies avec la solution Sencrop durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Pont	Oignons	27/03/25	09/09/25

Pivot_Bois	Pois	09/04/25	29/06/25
PtiVillers	PDT (Grenailles)	03/05/25	07/08/25
GrdVillers_G	Carottes	14/05/25	30/09/25
GrdSeumoy_D	Haricots	28/06/25	08/09/25
Pivot_Bois	Epinards	08/08/25	21/09/25

6.6. Abelio

2024

Tableau 4. Cultures suivies avec la solution Abelio durant la saison 2024 .

Parcelle	Culture	Début	Fin
PtiSeumoy	Epinards de printemps	29/04/24	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	01/05/24	23/09/24
ThAuto	Haricots	10/07/24	17/09/24

2025

Tableau 5. Cultures suivies avec la solution Abelio durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Pont	Oignons	27/03/25	09/09/25
Pivot_Bois	Pois	09/04/25	29/06/25
GrdVillers_G	Carottes	14/05/25	30/09/25
GrdSeumoy_D	Haricots	28/06/25	08/09/25

3. Données mesurées

6.7. Référence (CPL-Végémar)

Le CPL-Végémar établit le bilan hydrique des parcelles en s'appuyant sur plusieurs sources de données. Dans un premier temps, les précipitations et l'évapotranspiration potentielle sont mesurées à l'aide d'un réseau de stations météorologiques de référence en Wallonie (Agromet-réseau Pameseb). Ces données permettent d'obtenir une première estimation des flux hydriques au sein du sol.

Ensuite, un suivi de terrain est réalisé afin de déterminer l'évapotranspiration réelle de la culture. Lors de ces visites, l'humidité du sol est mesurée à l'aide d'une sonde TDR afin de vérifier la cohérence du bilan hydrique estimé. En complément, des mesures sont effectuées sur des parcelles de référence à l'aide de sondes tensiométriques, permettant d'affiner davantage l'évaluation des réserves en eau du sol. Ces différentes technologies et méthodologies sont détaillées au point 3 du présent rapport. La fréquence de ces contrôles de terrain augmente lorsque la culture entre en phase

critique et elle peut atteindre un rythme hebdomadaire. Chaque semaine le producteur transmet les données relatives à la pluviométrie et aux irrigations de ses parcelles. L'ensemble des paramètres du bilan hydrique étant alors connu, un calendrier hebdomadaire des irrigations est élaboré et transmis à l'agriculteur. Le CPL-Végémar fournit un encadrement sur l'ensemble de la saison de la culture, mais ne fournit de conseil irrigation que pendant les phases critiques, c'est-à-dire les périodes où les cultures sont sensibles au stress hydrique. Cette période correspond au moment où la culture accumule la biomasse qui sera récoltée.

6.8. Sencrop

Les précipitations sont directement mesurées par la station météo connectée, tandis que les irrigations sont renseignées manuellement par l'utilisateur. L'évapotranspiration est quant à elle estimée à l'aide de modèles basés sur la mesure de l'irradiance, une donnée également fournie par la station météo connectée. Chaque culture dispose d'un modèle spécifique d'évapotranspiration, ajusté en fonction de son type et de son stade de développement, ces informations sont renseignées par l'utilisateur.

Grâce à ces données, la solution Sencrop permet de suivre quotidiennement l'évolution de l'eau accessible pour la culture et de proposer une prévision à 7 jours.

La solution Sencrop vise à maintenir la culture en zone de confort hydrique tout au long de son cycle de développement.

Cette stratégie ne correspond pas à l'approche d'irrigation préconisée par le CPL-Végémar, qui privilégie une intervention ciblée durant les périodes critiques de stress hydrique propres à chaque culture. Il est donc essentiel que l'agriculteur identifie précisément ces phases sensibles afin de limiter les apports en dehors de ces périodes.

6.9. Abelio

L'évapotranspiration est calculée à partir de modèles intégrant le développement de la culture, en fonction des stades phénologiques que l'utilisateur doit renseigner au fur et à mesure de la saison. Ces modèles ne reposent pas sur des mesures effectuées directement au champ, mais sur des estimations issues de données météorologiques régionalisées.

La solution Abélio permet ainsi de suivre quotidiennement le déficit hydrique du sol, interprété du point de vue de la plante. Le bilan hydrique indique également les stades sensibles au stress hydrique, ce qui permet d'identifier les périodes où un déficit peut avoir des conséquences agronomiques importantes. Les pertes par drainage sont également intégrées lorsque le sol atteint sa capacité de saturation, ce qui permet au modèle de comptabiliser l'eau excédentaire qui percole en profondeur et devient indisponible pour la culture.

4. Interprétations données mesurées (comment les solutions fixent les seuils)

6.10. Référence (CPL-Végémar)

Les seuils ont été définis sur dire d'expert.

6.11. Sencrop

Le seuil inférieur correspond à la limite entre la réserve facilement utilisable (RFU) et la réserve de survie (RS). Une fois que la courbe de l'eau accessible à la culture descend en dessous de ce seuil, la plante entre en situation de stress hydrique, car l'eau restante n'est plus extractible sans impact sur son fonctionnement physiologique. Le seuil supérieur, quant à lui, se situe audessus de la réserve utile (RU) et correspond à une situation où l'eau excède la capacité au champ : au-delà de ce niveau, le sol ne peut plus retenir l'eau et celle-ci percole en profondeur ou est lessivée.

La réserve utile (RU) correspond à la somme de la RFU et de la RS. Elle est estimée à l'aide d'un modèle intégrant plusieurs propriétés du sol : sa texture, sa teneur en matière organique, sa pierrosité, ainsi que la profondeur du sol et de l'enracinement. Les caractéristiques telles que la texture, la matière organique ou la pierrosité sont renseignées par l'utilisateur, idéalement sur la base d'une analyse physicochimique du sol. La profondeur utile est déterminée à partir d'un profil de sol, permettant d'identifier d'éventuelles limitations comme un horizon compacté ou une semelle de labour.

La RFU est définie comme une fraction de la RU, ce ratio étant estimé par des modèles tenant compte de la texture du sol et du type de culture. Ainsi, selon la structure du sol et la capacité d'extraction propre à l'espèce cultivée, une proportion plus ou moins importante de la RU sera considérée comme facilement mobilisable par les racines.

6.12. Abelio

Le seuil de stress hydrique dans le système Abélio est défini par la limite entre la réserve facilement utilisable (RFU) et la réserve de survie (RS). Dès que le déficit hydrique quitte la RFU pour entrer dans la RS, la plante est considérée comme en situation de stress hydrique, car l'eau restante dans le sol devient difficilement extractible par le système racinaire.

La somme de la RFU et de la RS constitue la réserve utile (RU). Cette RU, tout comme la RFU, est déterminée à partir de modèles qui intègrent plusieurs paramètres : la date de semis, l'espèce cultivée, la précocité variétale et les caractéristiques du sol. Pour caractériser le sol, Abélio propose trois niveaux de modélisation selon le degré d'information disponible.

Le modèle "Simplifié", qui nécessite deux informations :

la profondeur de sol utile,

la catégorie texturale, définie selon le triangle des textures.

Le modèle “Avancé”, qui utilise également deux paramètres :

la réserve utile maximale (exprimée en mm),

le coefficient RFU/RU.

Ces données proviennent généralement d’analyses de sol spécifiques fournies par certains laboratoires.

Le modèle “Expert”, qui demande trois informations plus détaillées :

la profondeur de sol utile,

la teneur en limon,

la teneur en argile.

La RFU est ensuite calculée comme une fraction de la RU. Ce ratio dépend de la texture du sol, ainsi que des caractéristiques de la culture, notamment sa capacité d’extraction de l’eau et sa sensibilité au stress hydrique. Cette approche permet de définir de manière plus précise le seuil auquel la plante commence à ressentir un manque d’eau.

5. Application de l’action sur le levier agronomique

6.13. Référence (CPL-Végémar)

L’agriculteur reçoit de manière hebdomadaire les consignes quant à la date et la dose des prochaines irrigations à apporter pour ses cultures.

6.14. Sencrop

L’écart entre la réserve utile (RU) et le bilan hydrique permet de calculer la dose d’irrigation idéale. Celle-ci doit être ajustée de manière à réalimenter la RU sans dépasser la RFU, afin d’éviter tout excédent pouvant entraîner soit un ruissellement, soit une percolation hors de la zone racinaire, compromettant ainsi l’efficacité de l’irrigation et la gestion durable de la ressource en eau.

6.15. Abelio

La valeur du bilan hydrique, désignée ici sous le terme de déficit hydrique, constitue un indicateur de la dose maximale d’eau qu’il serait pertinent d’apporter afin de réalimenter la zone racinaire sans dépasser la réserve utile (RU). Un dépassement de ce seuil pourrait entraîner un ruissellement ou une percolation, réduisant ainsi l’efficience et la rentabilité de l’irrigation.

6. Evaluation technique

6.16. Performance des capteurs (Par exemple, nombre de carottes par hectares)

- Référence (CPL-Végémar)
- Sencrop
- Abelio

6.17. Validation des données

Pour évaluer les conseils des solutions Sencrop et Abelio nous avons utilisé trois critères de comparaison par rapport à la solution de référence :

- La solution demande une irrigation dans la même fenêtre que le CPL-Végémar ($\pm$ 3 jours et 5% de tolérance avec le seuil) : **Bon**
- Pas de demande d'une irrigation mais la tendance est la bonne : **Moyen**
- Pas la bonne tendance, demande d'une irrigation trop en retard ou en avance ($>$ 3 jours) : **Mauvais**

a. Sencrop

2023

Tableau 6. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution Sencrop durant la saison 2023.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée	4 ^{ème} irrigation recommandée	5 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_D : PDT	Bon	Bon	Moyen (bonne tendance)	X	X
GrdVillers_G : épinards de printemps	Bon	X	X	X	X
GrdVillers_G : épinards d'été	Bon	X	X	X	X
Pivot_Bois_D : oignons	Bon	Bon	Bon	Ne se prononce pas irrigation insuffisante	Moyen (bonne tendance)
Pivot_Bois_G : haricots	Mauvais (7 jours en avance)	X	X	X	X

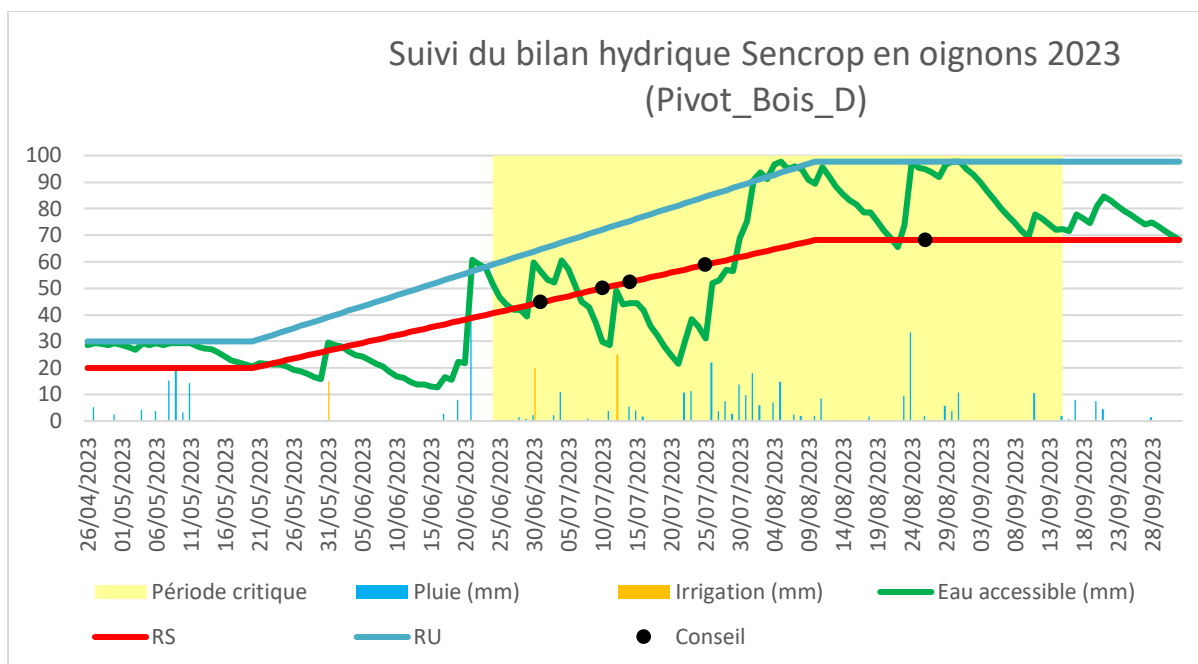


Figure 1. Évolution de l'eau accessible dans le sol (courbe verte) en fonction des précipitations et des apports d'irrigation. Les lignes indiquent la réserve utile (RU) et le seuil d'intervention pour l'irrigation (Réserve de Survie). La zone colorée correspond à la période critique pour la culture et les points noirs représentent les conseils d'irrigation du CPL-Végémar.

Au 1er juillet, une première irrigation a été réalisée suite au conseil du CPL Végémar. Ce conseil correspondait à une période où la courbe de l'eau accessible pour la plante, selon Sencrop, se situait déjà très près de la zone de survie. L'apport de 20 mm a permis de ramener la culture en zone de confort hydrique. Cependant, dès le 7 juillet, la courbe Sencrop est de nouveau descendue dans la zone de survie, soit trois jours avant que n'arrive le deuxième avis d'irrigation du service de référence. Aucun apport n'a été effectué à cette date, ce qui a prolongé la situation de stress hydrique.

Un troisième conseil d'irrigation a ensuite été émis le 12 juillet, accompagné d'un apport de 25 mm. Toutefois, cet apport n'a pas permis à la courbe Sencrop de remonter en zone de confort : la réserve en eau accessible est demeurée en zone de survie jusqu'au 30 juillet. Ce n'est qu'avec les pluies abondantes survenues entre le 26 juillet et le 5 août que la courbe est finalement remontée en zone de confort hydrique. À noter qu'un conseil d'irrigation supplémentaire avait également été délivré le 25 juillet.

Le 22 août, trois jours avant un nouveau conseil du CPL Végémar, la courbe de l'eau disponible pour la plante montrait de nouveau une entrée en zone critique. Cette situation a été corrigée par les précipitations ultérieures, qui ont ramené la culture en zone de confort.

Globalement, les moments où la courbe de l'eau accessible entre en zone de stress coïncident assez bien avec les périodes identifiées par les conseils du CPL Végémar. L'absence d'irrigation lors du deuxième conseil a clairement contribué à maintenir la

culture en situation de déficit hydrique. L'ensemble de ces éléments suggère une bonne cohérence entre le diagnostic hydrique produit par Sencrop et celui du service de référence.

2024

Tableau 7. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution Sencrop durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_G : PDT	Bon	Mauvais	Bon
GrdVillers_D : oignons	Mauvais (5 jours en avance)	Ne se prononce pas, irrigation insuffisante	Bon
ThAuto : haricots	Moyen (bonne tendance)	Mauvais	X
PtiSeumoy : épinards	Mauvais	Ne se prononce pas, pluie avant	X

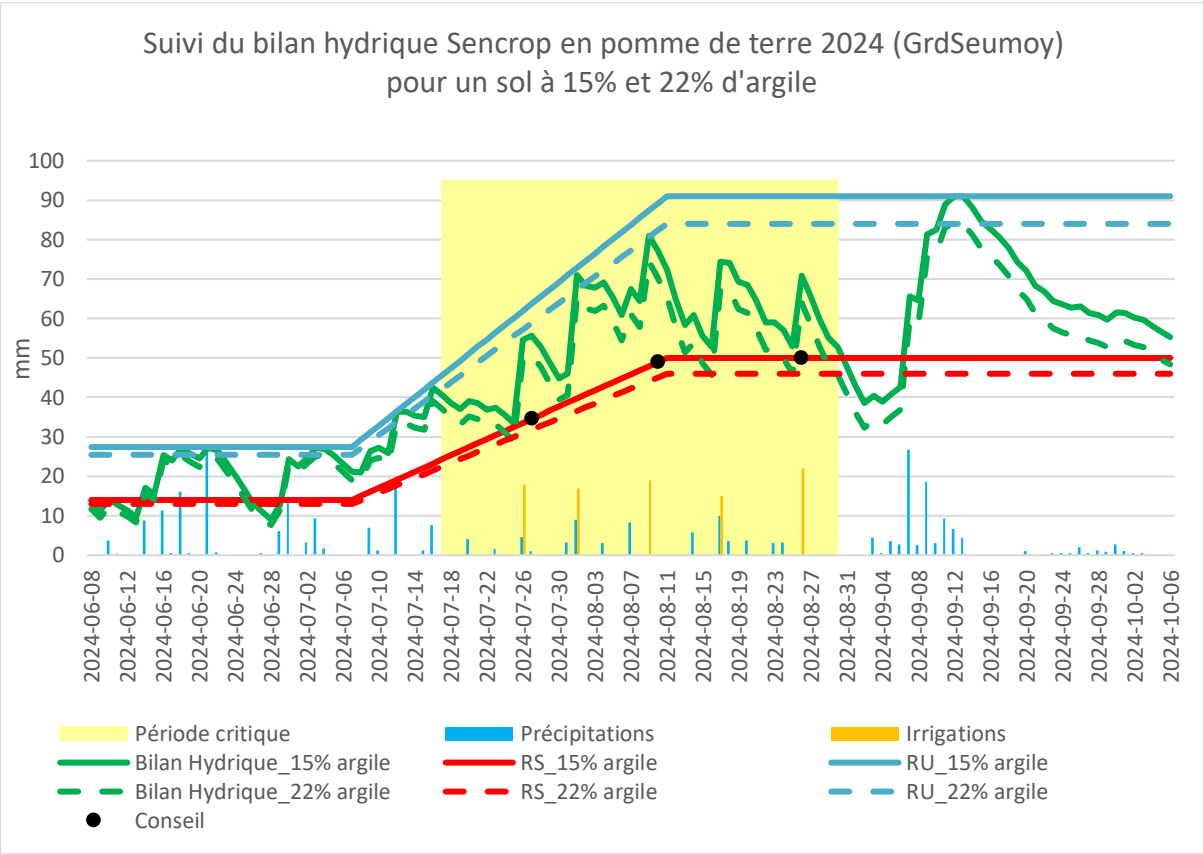


Figure 2. Évolution de l'eau accessible dans le sol en fonction des précipitations et des apports d'irrigation. Les courbes représentent le bilan hydrique pour deux niveaux d'argile (15 % et 22 %), ainsi que leurs réserves utiles (RU) et seuils d'intervention (RS). Les écarts entre les courbes montrent l'impact du taux d'argile sur la capacité du sol à stocker l'eau : le sol plus argileux présente une RU plus faible. La zone colorée indique la période critique pour la culture et les points noirs correspondent aux conseils d'irrigation du CPL-Végémar.

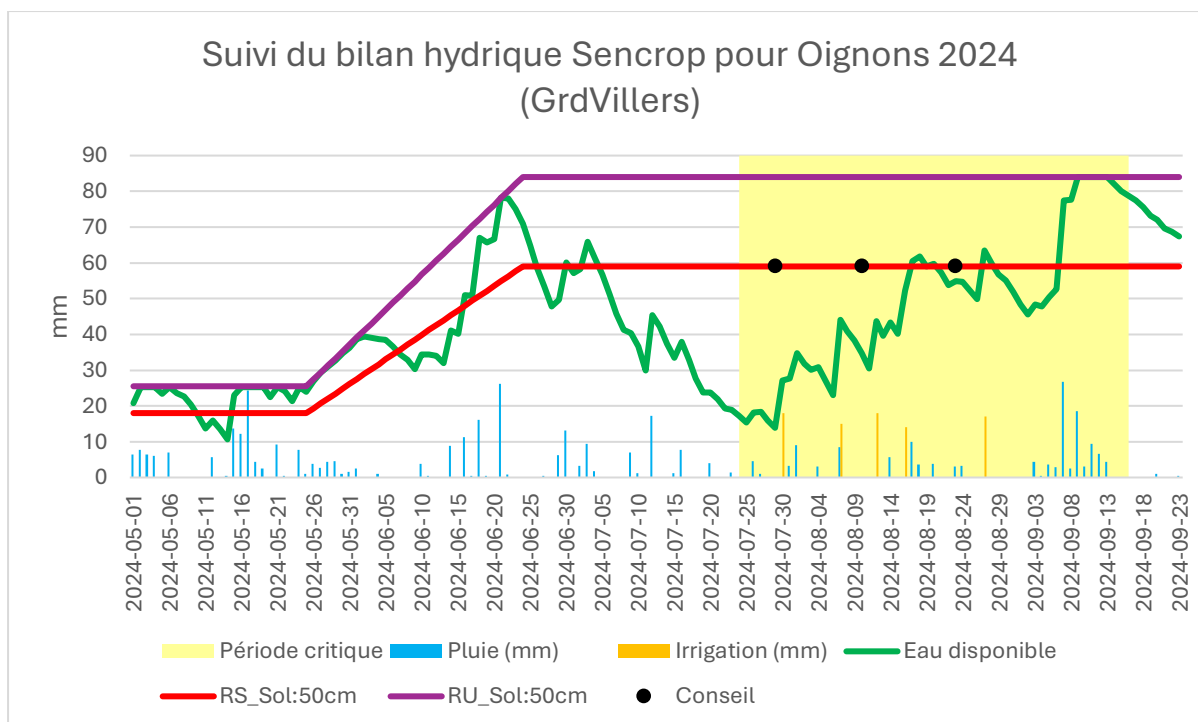
La première irrigation de référence du 27 juillet correspond à une période où la solution Sencrop indiquait une courbe de l'eau accessible à la plante très proche de la réserve de survie. L'apport de 18 mm réalisé à cette date a permis de rétablir rapidement la culture dans une zone de confort hydrique. Le 1er août, l'agriculteur a déclenché une deuxième irrigation, cette fois sans recommandation du CPL Végémar, à la suite d'un désherbage mécanique. La courbe Sencrop montrait effectivement que la réserve en eau utilisable se dirigeait de nouveau vers la limite de survie, et les 17 mm apportés ont permis de remonter la plante en zone de confort.

Une troisième irrigation a été appliquée le 9 août après un conseil du CPL Végémar. À ce moment-là, la courbe Sencrop se trouvait encore en zone de confort, et il n'y avait pas nécessairement de risque immédiat de stress hydrique. Les 15 mm apportés n'ont d'ailleurs pas dépassé la zone de confort, ce qui indique que l'eau appliquée a bien été stockée dans le sol sans ruissellement ni dépassement de la capacité de rétention.

Une quatrième irrigation a été réalisée le 17 août, à nouveau sans recommandation du CPL Végémar mais à la suite d'un désherbage mécanique. Dans ce cas aussi, la courbe de l'eau accessible tendait à sortir de la zone de confort, et l'apport a permis de maintenir la culture dans des conditions hydriques favorables.

Enfin, une cinquième irrigation a été déclenchée après un autre conseil de référence ; elle coïncidait avec une courbe Sencrop située de nouveau à proximité de la réserve de survie.

Bien qu'il soit difficile d'établir une comparaison stricte entre le conseil de référence et la solution Sencrop, notamment en raison des irrigations non recommandées mais effectuées par l'agriculteur, l'évolution de la courbe Sencrop qui représente l'eau réellement accessible à la plante semble globalement cohérente avec les besoins en eau de la pomme de terre. Les déclenchements impulsés par l'agriculteur, qu'ils soient issus d'un conseil ou non, se produisent souvent au moment où la réserve utile tend à s'épuiser, et les apports réalisés se traduisent par un maintien ou un retour dans la zone de confort hydrique. Cela suggère que le modèle Sencrop reflète correctement la dynamique hydrique du sol et les besoins culturels observés en conditions réelles.



Le 29 juillet, lors du premier conseil d'irrigation du CPL Végémar, la courbe de l'eau disponible indiquait que le sol était déjà en zone d'inconfort depuis plusieurs jours. L'irrigation réalisée à cette date a permis une remontée du niveau d'eau disponible, sans toutefois ramener la parcelle en zone de confort hydrique. Un second apport a été réalisé par l'agriculteur, indépendamment de tout conseil.

Un second conseil officiel a été émis le 10 août et a été suivi de deux irrigations successives. Après chaque apport, la courbe de l'eau disponible a montré une amélioration, mais il a fallu l'ensemble des trois irrigations cumulées pour que la réserve hydrique revienne sensiblement dans la zone de confort. Lors du troisième conseil émis le 23 août, la courbe était déjà entrée en zone critique depuis deux jours. L'irrigation qui a suivi n'a permis qu'un retour temporaire vers une situation confortable ; seule l'arrivée des pluies a ensuite permis un passage durable et stable dans la zone de confort hydrique.

Même si la solution Sencrop et la méthode de référence du CPL Végémar étaient globalement cohérentes quant au déclenchement des irrigations, la solution testée est restée en continu dans la zone de stress hydrique et aurait nécessité davantage d'apports pour atteindre un niveau de confort suffisant. Cette divergence s'explique par le fait que, bien que les deux méthodes reposent sur un bilan hydrique, le CPL Végémar recalcule son modèle grâce aux mesures fournies par des sondes tensiométriques. D'ailleurs, les sondes tensiométriques AgroExact présentées plus loin dans le rapport montrent que la sonde située à 15 cm se trouvait presque constamment en zone de stress, tandis que la sonde positionnée à 25 cm est restée en zone de confort. Cette différence entre horizons illustre l'importance du profil hydrique vertical dans

l'interprétation des besoins en irrigation et explique en partie les écarts observés entre les outils.

2025

Tableau 8. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution Sencrop durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recomm ndée	2 ^{ème} irrigation recomman dée	3 ^{ème} irrigation recomman dée	4 ^{ème} irrigation recomman dée	5 ^{ème} irrigation recomman dée	6 ^{ème} irrigation recomman dée	7 ^{ème} irrigation recommand ée
GrdSeumoy : Haricots	Bon	Bon	X	X	X	X	X
GrdVillers_ G : Carottes	Moyen (bonne tendance)	Bon	Bon	X	X	X	X
Pivot_Bois : Epinards	Ne sait pas évaluer, irrigation juste avant conseil	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X	X
Pivot_Bois : Petits Pois	Mauvais (mais pluie juste avant conseil)	Moyen (bonne tendance)	Bon	X	X	X	X
PtiVillers : Grenailles	Bon	Bon	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X
Pivot_Pont : Oignons	Moyen (bonne tendance)	Bon	Bon	Moyen (bonne tendance)	Mauvais	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)

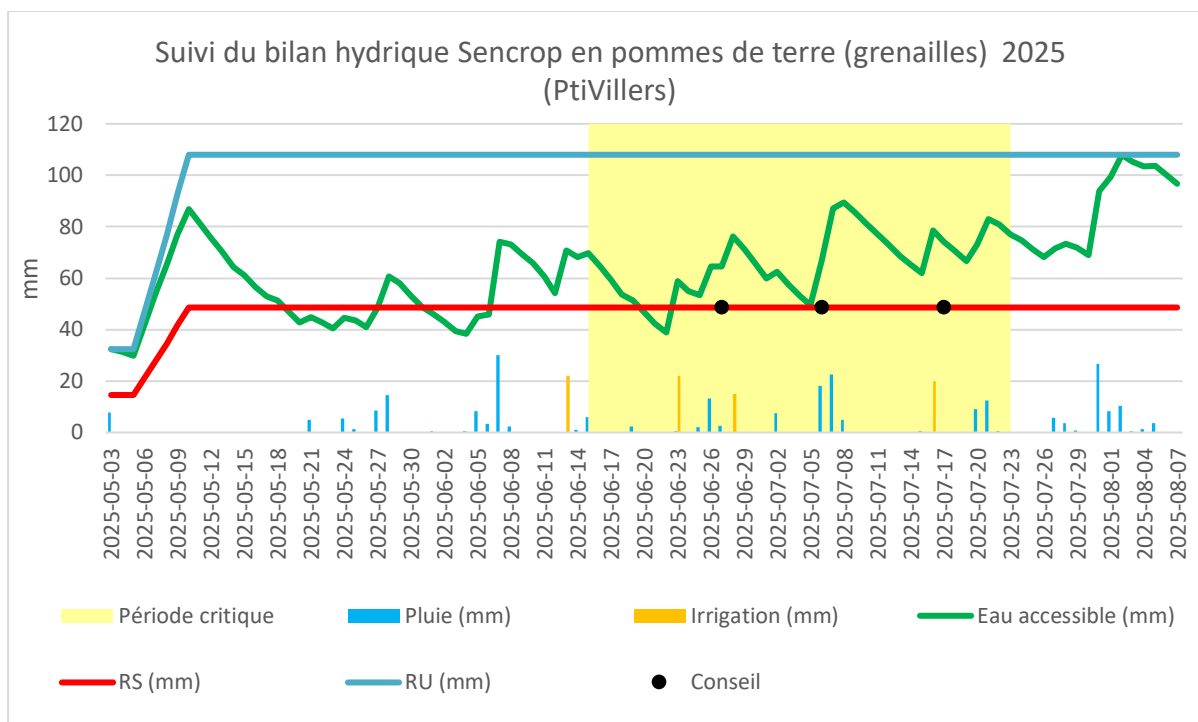


Figure 3. Évolution de l'eau accessible dans le sol (courbe verte) en fonction des précipitations et des apports d'irrigation. Les lignes indiquent la réserve utile (RU) et le seuil d'intervention pour l'irrigation (Réserve de Survie). La zone colorée correspond à la période critique pour la culture et les points noirs représentent les conseils d'irrigation du CPL-Végémar.

Le 20 juin, la courbe de l'eau accessible pour la plante est entrée en zone de survie. Une première irrigation a été appliquée le 23 juin, sans conseil préalable du CPL Végémar, ce qui a permis de ramener temporairement la culture dans une zone de confort hydrique. Le 27 juin, le premier conseil officiel du CPL a été émis, et une irrigation a été réalisée le 28 juin. À ce moment-là, la courbe Sencrop indiquait un état encore confortable, mais proche de la zone critique ; l'apport en eau a donc permis d'éloigner le risque de stress.

Un deuxième avis d'irrigation a été émis le 6 juillet, au moment où la courbe Sencrop rejoignait de nouveau la limite de la réserve de survie. Les 45 mm de pluie enregistrés dans les jours suivants ont suffi à restaurer une situation hydrique confortable sans nécessité d'un apport supplémentaire. Un troisième conseil a été formulé le 17 juillet, alors que la courbe se situait encore en zone de confort mais avec une tendance descendante vers la zone critique. L'irrigation effectuée à cette date a permis de stabiliser le stock hydrique accessible à la plante et de revenir pleinement en zone de confort.

Dans l'ensemble, malgré un décalage initial entre le premier conseil du CPL et la première irrigation réalisée, l'évolution de la courbe Sencrop suit correctement les dynamiques hydriques du sol et reflète bien les besoins de la culture en conditions réelles. Les moments où la réserve utile se rapproche de la zone critique ou de la zone

de survie correspondent globalement aux dates de conseil d'irrigation, ce qui confirme la cohérence entre le modèle Sencrop et les recommandations agronomiques du service de référence.

?

Un premier conseil d'irrigation a été émis par le CPL Végémar le 27 juillet, mais il n'a pas été suivi car il coïncidait avec un épisode de fortes pluies. La courbe de l'eau accessible issue de la solution Sencrop traduit clairement cette situation : elle se trouvait en zone de stress juste avant les précipitations puis est remontée rapidement en zone de confort une fois l'eau infiltrée. L'agriculteur a déclenché une irrigation le 14 juin, en dehors des conseils, au moment où la courbe d'eau accessible redescendait vers la réserve de survie. Deux jours plus tard, le CPL a émis son second avis d'irrigation.

Un troisième conseil a été donné le 23 juin, alors que la courbe d'eau accessible était déjà en zone de réserve de survie depuis trois jours. L'irrigation n'a pas été réalisée, l'avis ayant été suivi d'un nouvel épisode pluvieux, mais cette pluie n'a pas été suffisante pour ramener la courbe en zone de confort avant l'irrigation faite cinq jours plus tard. Le retour à un état hydrique satisfaisant n'a donc été possible qu'après cet apport.

La succession d'épisodes pluvieux et la réalisation d'irrigations indépendamment des recommandations rendent difficile une comparaison stricte entre la solution Sencrop et la méthode de référence. Toutefois, malgré ces perturbations, la courbe d'eau accessible reflète correctement la dynamique hydrique du sol, en montrant clairement les périodes de déficit, les effets des apports en eau et les transitions entre zones de confort, d'inconfort et de survie.

Conclusion

Conseils Sencrop saisons 2023 à 2025

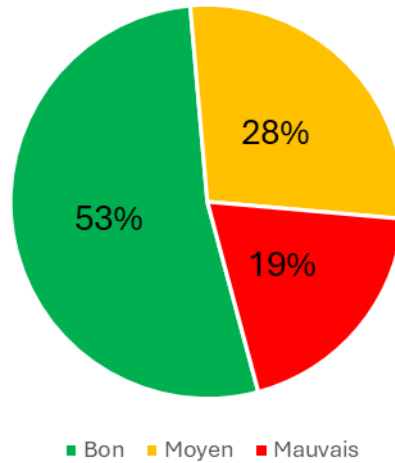


Figure 4. Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par la solution Sencrop sur trois saisons culturales (2023–2025).

Dans l'ensemble, la courbe Sencrop reflète avec précision les fluctuations de la réserve utile, identifie correctement les situations de stress hydrique et permet une lecture fine des besoins en irrigation. Bien que quelques décalages existent – souvent liés à des apports non réalisés ou faits hors préconisation – les deux systèmes convergent largement dans leurs diagnostics. Cette convergence montre que le pilotage par “eau accessible” proposé par Sencrop est globalement aligné avec les recommandations du CPL Végémar et qu'il constitue un outil fiable pour accompagner la prise de décision en irrigation, en particulier pour ajuster ou affiner les dates de déclenchement en fonction des conditions réelles du sol et de la culture.

b. Abelio

2024

Tableau 9. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution Abelio durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
ThAuto : Haricots	Irrigation avant conseil	Mauvais	X
PtiSeumoy : épinards	Moyen (bonne tendance)	Mauvais	X
GrdVillers_D : oignons	Mauvais	Mauvais	Mauvais

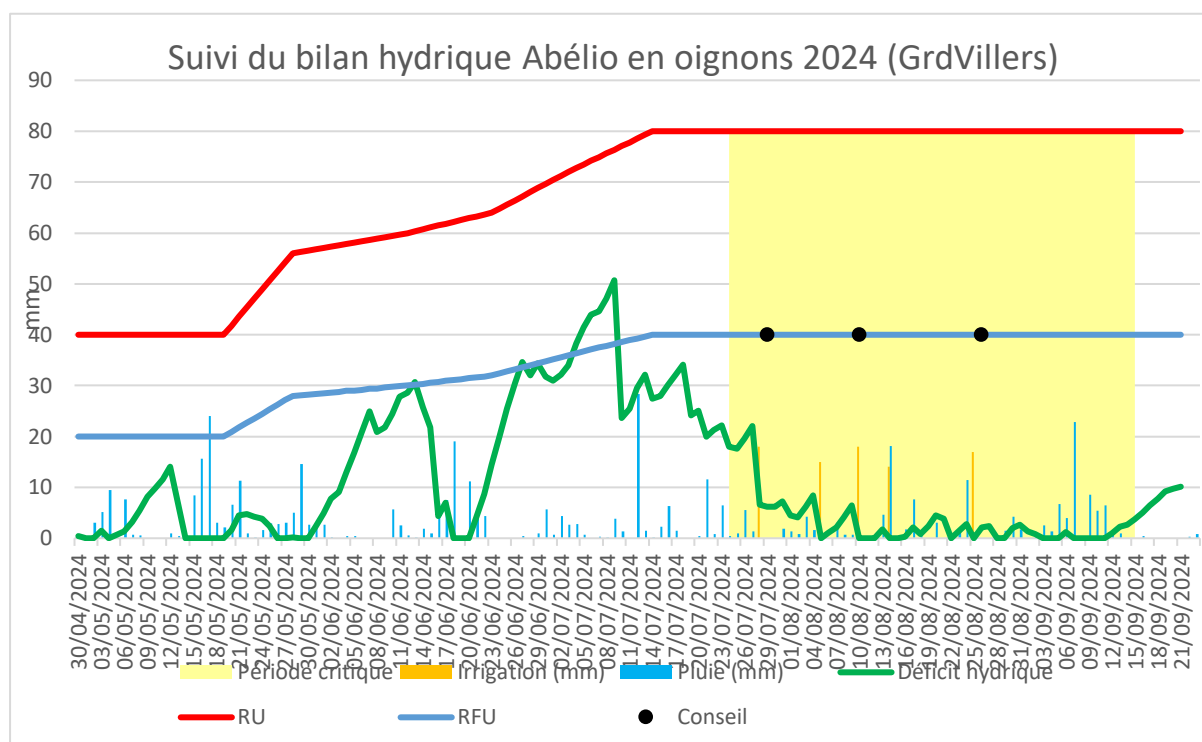


Figure 5. Le graphique présente l'évolution de l'eau disponible dans le sol en fonction des pluies et des apports d'irrigation. Les courbes de RU et RFU (Réserve Facilement Utilisable) sont représentées pour différents taux d'argile (12 %, 18 % et 22 %) ainsi que deux profondeurs (25 cm et 40 cm). L'irrigation doit être déclenchée lorsque la courbe passe au-dessus de la courbe de la RFU. La zone colorée correspond à la période critique de la culture et les points noirs indiquent les moments conseillés pour l'irrigation.

Le CPL Végémar a émis trois conseils d'irrigation durant la période critique de végétation, alors que la courbe de déficit hydrique de la solution testée est restée en permanence en zone de confort. Bien que la courbe suive correctement la dynamique hydrique du sol, en réagissant aux apports d'irrigation et aux épisodes pluvieux, les niveaux d'humidité qu'elle indique apparaissent surestimés, ce qui ne permet pas

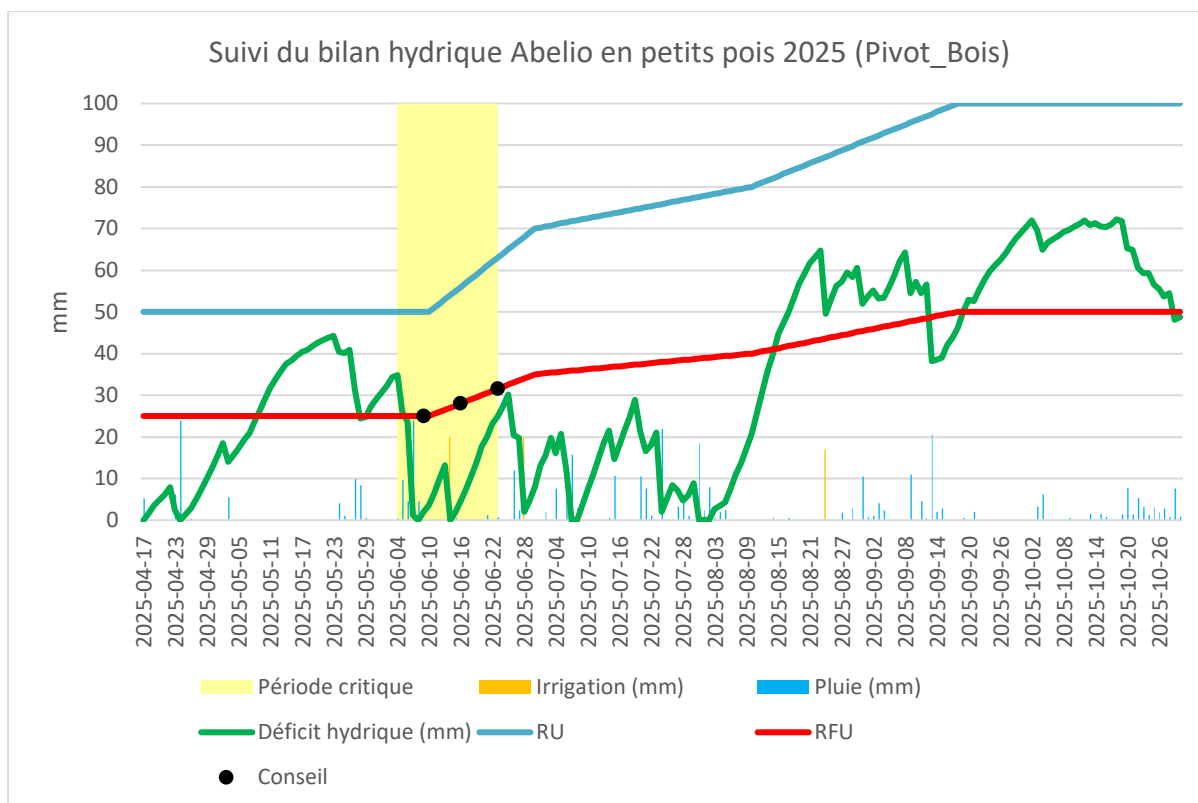
d'identifier les phases de déficit hydrique mises en évidence par ailleurs. Cette surestimation est d'autant plus notable que la courbe de l'eau accessible obtenue via Sencrop met clairement en évidence plusieurs épisodes d'inconfort hydrique pour la culture, situations qui ne transparaissent pas dans la solution testée.

Il est également important de souligner que les pluies utilisées par Abélio sont issues de modèles météorologiques régionaux, et non de mesures locales. Cela entraîne des écarts parfois importants entre les précipitations estimées et celles réellement reçues sur la parcelle. Par exemple, Abélio signale une pluie de 18 mm juste après la quatrième irrigation, alors que seulement 10 mm ont été mesurés par la station Sencrop située au champ. De même, une pluie de 11 mm a été annoncée par Abélio avant la dernière irrigation, alors qu'aucune précipitation n'a été enregistrée localement. Ces écarts dans les données d'entrée du modèle hydrique contribuent à une lecture trop favorable de l'état hydrique du sol et expliquent en partie la difficulté d'identifier les situations de réel stress hydrique avec la solution testée.

2025

Tableau 10. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution Abélio durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recomman dée	2 ^{ème} irrigation recomman dée	3 ^{ème} irrigation recomman dée	4 ^{ème} irrigation recomman dée	5 ^{ème} irrigation recomman dée	6 ^{ème} irrigation recomman dée	7 ^{ème} irrigation recomman dée
GrdSeumoy : Haricots	Bon	Bon	X	X	X	X	X
GrdVillers_G : Carottes	Mauvais	Bon	Mauvais	X	X	X	X
Pivot_Bois : Petits Pois	Mauvais	Mauvais	Bon	X	X	X	X
Pivot_Pont : Oignons	Bon	Mauvais	Bon	Bon	Mauvais	Mauvais	Bon



Un premier conseil d'irrigation a été émis le 9 juin, mais il n'a pas été suivi car il survenait juste après un épisode de précipitations importantes. La courbe de déficit hydrique confirmait cette situation, puisqu'elle était alors à son minimum. Une irrigation a été appliquée cinq jours plus tard par l'agriculteur, deux jours avant le second conseil du CPL, au moment où la courbe de déficit commençait à remonter vers la zone de stress hydrique.

Un troisième conseil a été donné le 23 juin, alors que la courbe du déficit atteignait déjà le seuil critique. Cet avis a été immédiatement suivi d'un nouvel épisode pluvieux, ce qui a entraîné une baisse nette du déficit hydrique. Toutefois, cette pluie n'a pas permis de ramener la courbe en zone de confort, et il a fallu attendre l'irrigation réalisée cinq jours plus tard pour observer une amélioration plus marquée du statut hydrique du sol.

La succession de pluies et la réalisation d'irrigations indépendamment des recommandations compliquent une comparaison stricte entre la solution Abélio et les conseils du CPL Végémar. Néanmoins, la solution semble correctement refléter la dynamique hydrique du sol. Il convient également de souligner que, dans ce cas précis, les précipitations renseignées par Abélio correspondent beaucoup mieux aux mesures de la station Sencrop située sur la parcelle, ce qui améliore notablement la pertinence de la courbe obtenue. La concordance observée entre Abélio et Sencrop est d'ailleurs nettement meilleure que dans d'autres situations étudiées, renforçant la fiabilité de l'interprétation hydrique pour cette période.

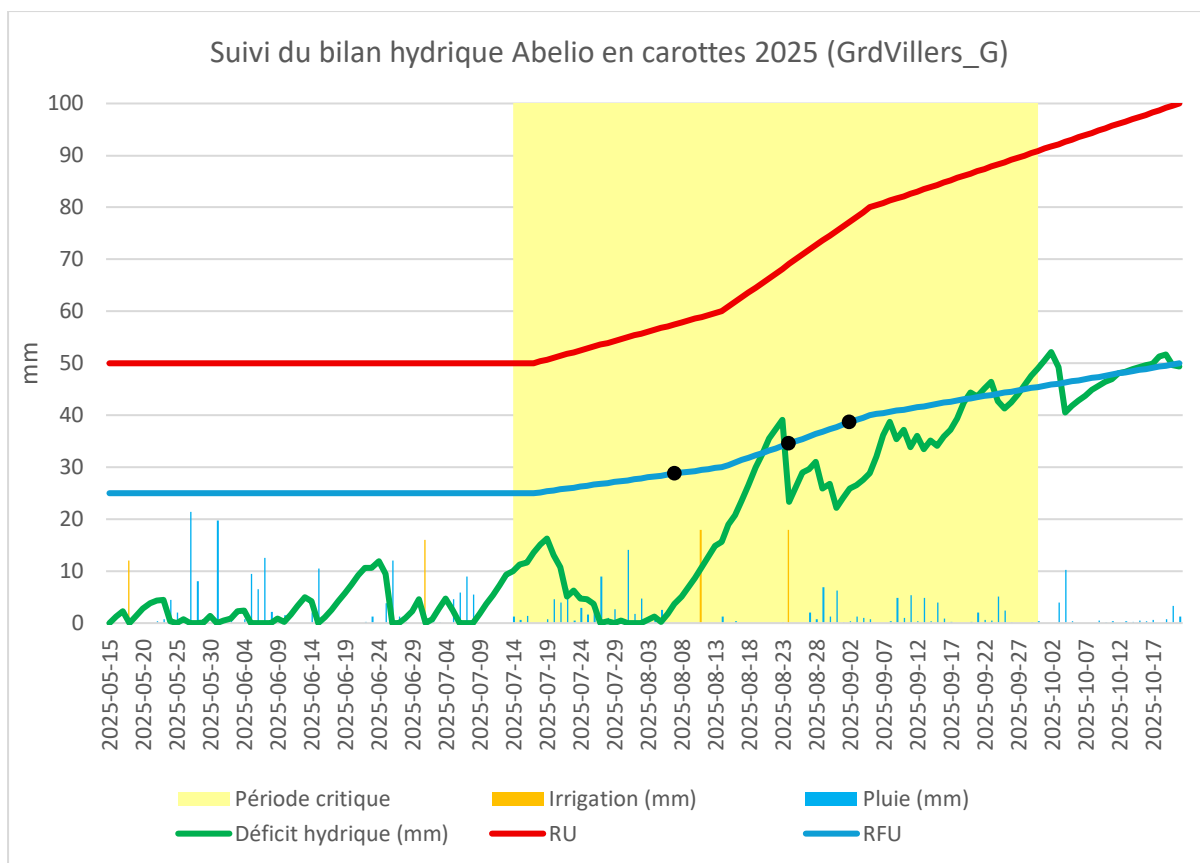


Figure 6

Un premier conseil d'irrigation a été émis le 7 août, au moment où la courbe de déficit hydrique atteignait son niveau le plus bas. Une irrigation a été réalisée le lendemain, mais malgré cet apport, le déficit a continué de s'accroître jusqu'à atteindre la zone défavorable le 23 août, date correspondant au deuxième conseil du CPL Végémar. L'irrigation de 18 mm effectuée à ce moment a permis de maintenir le déficit sous le seuil de la réserve facilement utilisable. Un troisième conseil a été émis le 2 septembre ; toutefois, les pluies annoncées n'ont pas permis de réaliser l'irrigation. À ce stade, la courbe Abélio se situait encore en zone de confort. Malgré ces précipitations, la courbe s'est progressivement dirigée vers la zone critique avant de la dépasser.

Comme dans l'autre situation analysée en 2024, il est important de souligner que les pluies indiquées par Abélio ne correspondent pas aux relevés des pluviomètres situés sur la parcelle. Cette différence s'explique par le fait qu'Abélio ne fonctionne pas à partir de stations météo localisées mais repose sur des modèles météorologiques régionaux, ce qui peut conduire à des estimations de précipitations éloignées des conditions réellement observées au champ.

Conclusion

Conseils Abelio saisons 2024 à 2025

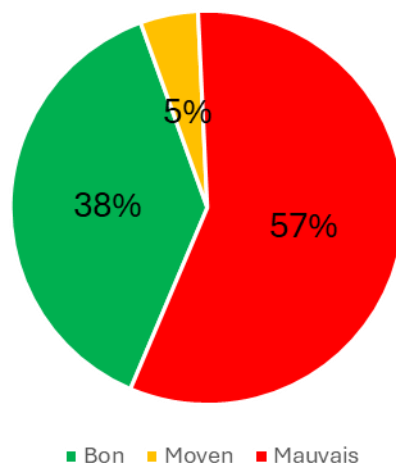


Figure 7. Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par la solution Abelio sur deux saisons culturales (2024–2025).

De manière générale, la courbe de déficit hydrique fournie par Abélio parvient à identifier les situations de stress hydrique, mais elle apparaît moins précise dès lors que les précipitations intégrées au modèle ne correspondent pas aux pluies réellement enregistrées sur la parcelle. En effet, Abélio ne s'appuie pas sur des stations météorologiques localisées au champ, mais sur des données issues de modèles régionalisés. Cette approche peut conduire à des divergences importantes entre la pluie simulée et la pluie effectivement mesurée par les pluviomètres de la parcelle.

En conséquence, même si certaines tendances générales restent cohérentes notamment les phases de tension hydrique ou les périodes de reconstitution partielle de la réserve, l'absence de données pluviométriques locales limite la fiabilité de l'interprétation hydrique fournie par Abélio. Ce manque de précision complique la comparaison directe avec les conseils d'irrigation du CPL Végémar, dont les recommandations reposent sur une analyse plus étroitement ancrée dans les conditions réelles du terrain.

6.18. Consigne / réalité carte de modulation et carte d'application, répartition)

Non applicable

7. Évaluation organisationnelle

Au début du projet, l'objectif principal de l'exploitant était d'améliorer la gestion de l'irrigation dans un contexte de ressource en eau limitée. Une réduction des volumes appliqués et une meilleure adaptation des apports aux besoins des cultures étaient

recherchées. L'utilisation d'outils d'aide à la décision devait permettre d'anticiper davantage les interventions.

À la fin du projet, une évolution des pratiques a été observée. Les décisions ne reposent plus uniquement sur l'expérience, mais sur des données mesurées telles que l'évapotranspiration et les apports réels en eau (pluie, remontées capillaires). Les irrigations sont désormais déclenchées à partir d'indicateurs objectifs, ce qui renforce la fiabilité des décisions et améliore la cohérence des apports dans le temps.

L'installation d'une station météorologique a également modifié l'organisation du travail. Les données climatiques étant accessibles à distance, les déplacements pour vérifier des pluies localisées ne sont plus nécessaires, ce qui permet un gain de temps. Le suivi continu des informations facilite en outre la planification des interventions.

Concernant les interfaces, une présentation simple et lisible est jugée essentielle. La présence de seuils explicites et de codes couleur facilite l'interprétation. Le bilan hydrique est particulièrement apprécié en raison de sa représentation synthétique sous la forme d'une courbe unique, permettant une lecture rapide et opérationnelle.

Dans l'ensemble, le bilan hydrique s'est progressivement imposé comme un outil central du pilotage de l'irrigation, contribuant à structurer la prise de décision et à réduire l'incertitude dans la gestion de l'eau.

Section 2 : Sonde tensiométrique

8. Description de la solution

6.19. Référence : Méthode gravimétrique

À différents stades du cycle cultural, des prélèvements de sol ont été réalisés afin de comparer les mesures issues des sondes à une méthode de référence.

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une sonde de sol conçue spécifiquement pour cette étude. La sonde a été enfoncée manuellement à la masse jusqu'à une profondeur de 35 cm. La carotte de sol extraite a ensuite été segmentée en trois tronçons correspondant aux horizons 0–10 cm, 10–20 cm et 20–30 cm, chacun ayant un volume de 220,5 cm³.

Chaque tronçon a été pesé avant séchage, puis placé en étuve à 80 °C. Une première pesée a été réalisée après 24 h, et une seconde après 48 h afin de confirmer l'arrêt de la perte de masse. Ces mesures ont permis de déterminer l'humidité massique et, par conversion, l'humidité volumique des différents horizons du sol.

Les mesures issues des sondes tensiométriques ont été converties en valeurs d'humidité volumique à l'aide des relations entre potentiel matriciel et teneur en eau décrites dans Saxton et Rawls (1986, 2006). Ces travaux établissent des courbes de

rétenion hydrique qui permettent de relier une mesure de tension du sol à une teneur volumique en eau en utilisant des paramètres texturaux tels que les pourcentages d'argile, de limon, de sable et la matière organique, connus à partir des analyses de sol réalisées.

Les valeurs d'humidité volumique obtenues pour les horizons 10–20 cm ont été comparées aux mesures des sondes installées à une profondeur de 15 cm, et celles des horizons 20–30 cm ont été comparées aux mesures des sondes situées à 25 cm.

6.20. Sondes tensiométriques

Les sondes tensiométriques permettent de mesurer la tension de l'eau dans le sol, c'est-à-dire la force que les racines doivent exercer pour capter l'eau disponible. Cette méthode offre une évaluation directe du confort hydrique de la culture : plus la tension est élevée, plus l'effort requis par la plante est important. Lorsque cette tension atteint un seuil critique, cela signale un stress hydrique, ce qui facilite les décisions d'irrigation.

Les sondes tensiométriques sont généralement équipées d'un capteur unique, mesurant la tension à une profondeur déterminée. Il est donc recommandé d'installer plusieurs sondes à différentes profondeurs, en fonction de l'enracinement de la culture, et de répéter les mesures soit sur une même zone, soit sur différentes zones de la parcelle. Cette stratégie permet d'associer les valeurs de tension (exprimées en kPa) aux différents seuils de réserve hydrique du sol : eau gravitaire, réserve facilement utilisable, réserve utile et réserve de survie.

a. Weenat

b. AgroExact

9. Calendrier des mesures

6.21. Référence : Méthode gravimétrique

2024

Tableau 11. Cultures suivies avec la méthode gravimétrique durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Date de prélèvement
PtiSeumoy	Epinards	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	08/07/24
GrdSeumoy_G	PDT	24/06/24
GrdSeumoy_G	PDT	22/07/24
ThAuto	Haricots	28/08/24

2025

Tableau 12. Cultures suivies avec la méthode gravimétrique durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Date de prélèvement
Pivot_Bois	Interculture	19/02/25
Pivot_Bois	Interculture	13/03/25

Pivot_Bois	Interculture	21/03/25
Pivot_Bois	Interculture	02/04/25

6.22. Weenat

2023

Tableau 13. Cultures suivies avec la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2023.

Parcelle	Culture	Début	Fin
GrdSeumoy_G	Carottes	10/07/23	10/10/23
Pivot_Bois_D	Oignons	11/07/23	18/09/23
GrdSeumoy_D	PDT	18/07/23	22/09/23
GrdVillers_G	Epinards d'automne	11/09/23	22/09/23

2024

Tableau 14. Cultures suivies avec la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
PtiSeumoy	Epinards	10/05/24	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	13/05/24	16/09/24
GrdSeumoy_G	PDT	01/07/24	06/09/24
ThAuto	Haricots	18/07/24	16/09/24

2025

Tableau 15. Cultures suivies avec la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Bois	Interculture	12/02/25	04/04/25
Pivot_Bois	Petits pois	16/05/25	30/06/25
PtiVillers	Grenailles	02/06/25	23/07/25
Pivot_Pont	Oignons	17/06/25	26/08/25
GrdVillers_G	Carottes	01/08/25	13/09/25
Pivot_Bois	Epinards	28/08/25	19/09/25

6.23. AgroExact

2024

Tableau 16. Cultures suivies avec la solution sondes tensiométriques AgroExact durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
PtiSeumoy	Epinards	24/05/24	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	24/05/24	16/09/24
GrdSeumoy_G	PDT	01/07/24	06/09/24
ThAuto	Haricots	18/07/24	16/09/24

2025

Tableau 17. Cultures suivies avec la solution sondes tensiométriques AgroExact durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
----------	---------	-------	-----

Pivot_Bois	Petits pois	16/05/25	30/06/25
PtiVillers	Grenailles	02/06/25	23/07/25
Pivot_Pont	Oignons	17/06/25	26/08/25
GrdSeumoy_G	Haricots	24/07/25	08/08/25
GrdVillers_G	Carottes	11/08/25	13/09/25
Pivot_Bois	Epinards	28/08/25	19/09/25

10. Données mesurées

11. Interprétations données mesurées (comment les solutions fix les seuils)

6.24. Weenat

Les seuils sont paramétrés en fonction du type de sol, que l'utilisateur peut spécifier à l'aide du triangle des textures. Pour une précision accrue, il est possible d'ajuster ces seuils en fonction des caractéristiques spécifiques de la parcelle.

6.25. AgroExact

Les seuils sont paramétrés en fonction du type de sol, que l'utilisateur peut choisir parmi 16 types de sol prédéfinis.

12. Application de l'action sur le levier agronomique

Irriguer quand la courbe approche le seuil ?

13. Evaluation technique

6.26. Performance des capteurs (Par exemple, nombre de carottes par hectares)

6.27. Validation des données

a. Weenat

En 2024, une calibration des sondes tensiométriques Weenat a été réalisée par rapport à la méthode gravimétrique de référence.

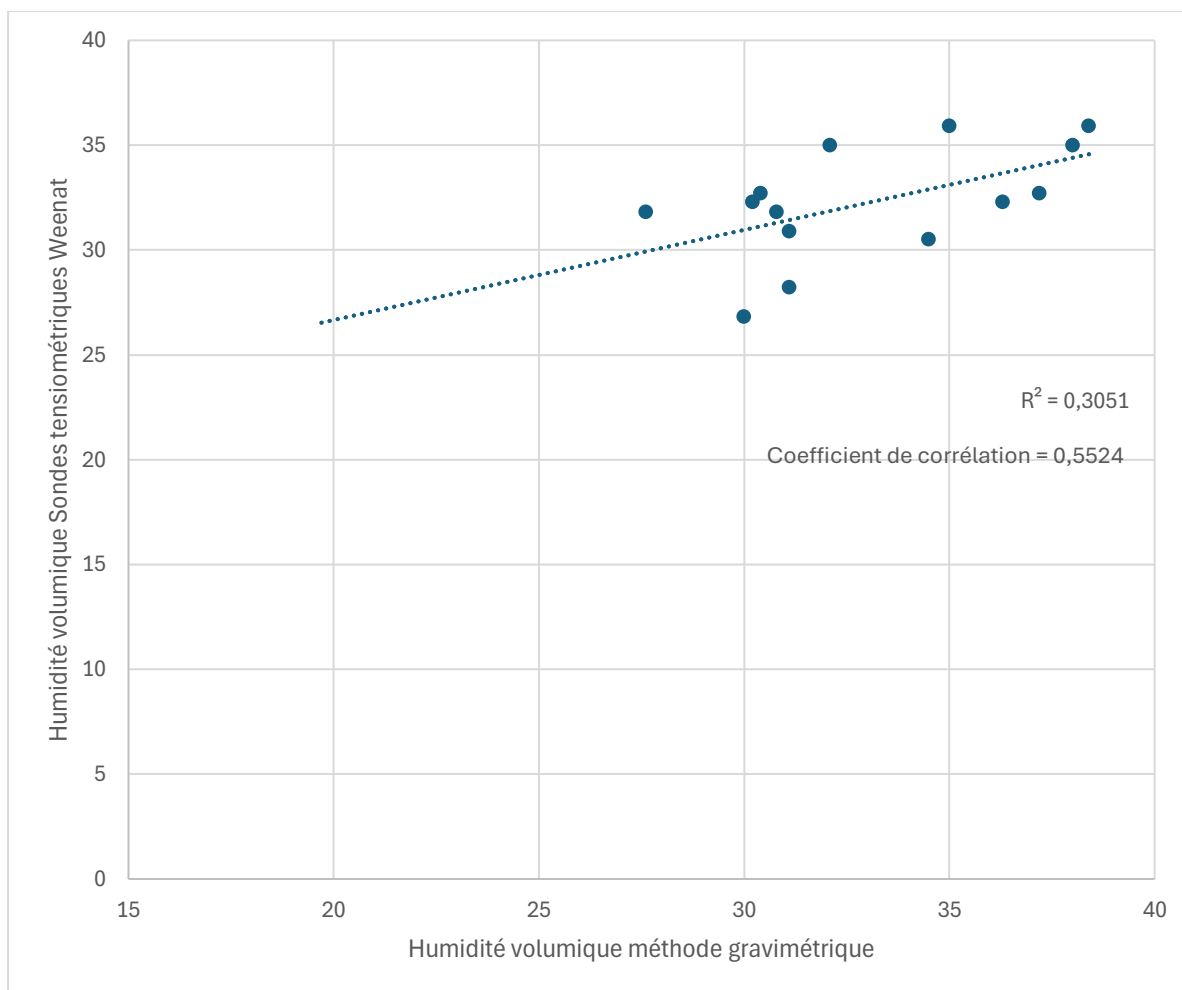


Figure 8 : Comparaison des mesures d'humidité volumique obtenues par les deux méthodes de mesure. La courbe de régression ainsi que son coefficient de détermination (R^2) et le coefficient de corrélation sont indiqués sur la figure. Chaque point correspond à un prélèvement de sol.

Le coefficient de corrélation obtenu ($r = 0,5524$) montre une relation positive mais seulement modérée entre les deux séries de mesures. Cette valeur indique que les deux méthodes suivent la même tendance générale, tout en présentant une dispersion notable, ce qui traduit une concordance partielle mais non parfaite.

2023



Figure 9 : Axe vertical gauche (kPa) : indique les valeurs de tension du sol mesurées par les sondes tensiométriques. Axe vertical droit (mm) : correspond aux quantités de pluie et d'irrigation appliquées. Axe des x : dates. Courbe bleue : tension mesurée à 15 cm de profondeur. Courbe verte : tension mesurée à 40 cm de profondeur. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance en kPa. C'est la valeur au-delà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm). Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar).

Les tensions mesurées par les sondes Weenat ne reflètent pas correctement la contrainte hydrique réellement subie par la culture d'oignons en 2023. Bien que les courbes présentent une dynamique cohérente en termes de variations, les valeurs enregistrées demeurent systématiquement inférieures au seuil de vigilance recommandé pour cette culture. Cette sous-estimation a conduit à plusieurs situations où le CPL Végémar a préconisé des irrigations alors que les mesures tensiométriques indiquaient encore des niveaux jugés non limitants. Cette divergence montre que les sondes ont détecté le stress hydrique de manière tardive, ne permettant pas d'anticiper suffisamment les besoins réels en eau de la culture.

Tableau 18. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2023.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_D : PDT	Mauvais	Mauvais	X
GrdVillers_G : épinards	Mauvais	X	X
Pivot_Bois_D : oignons	Bon	Mauvais	Mauvais

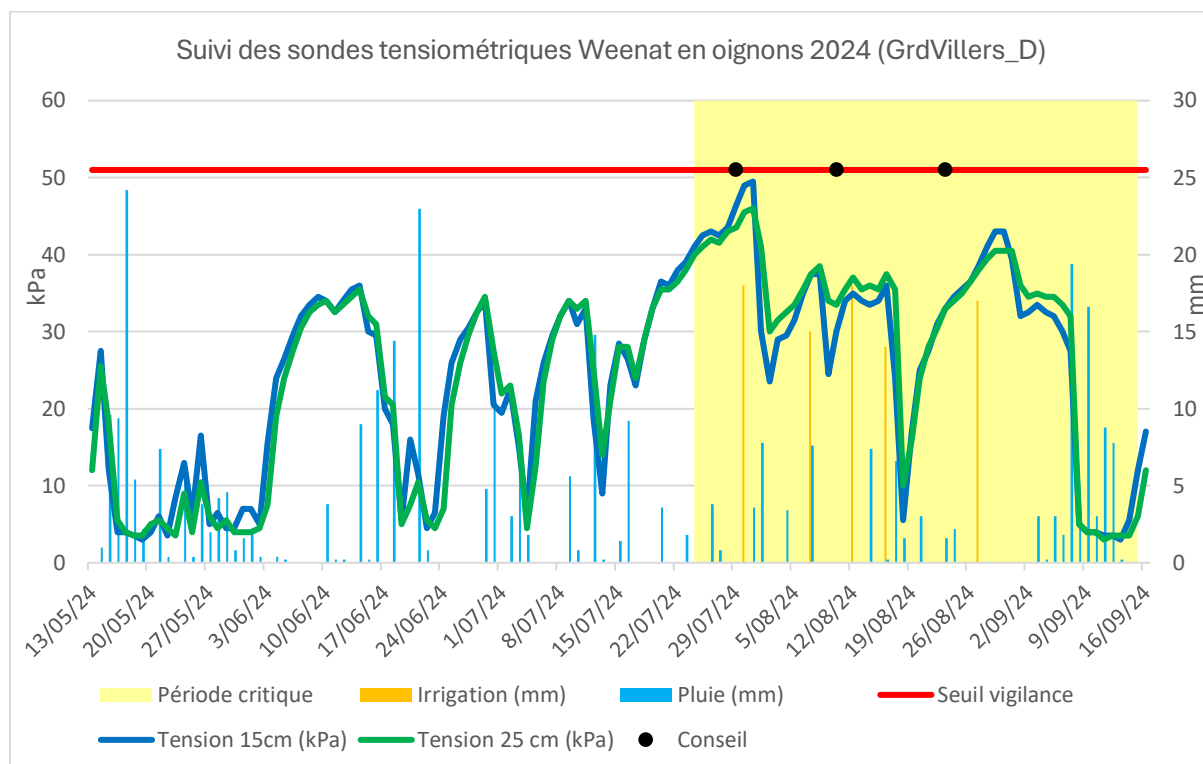


Figure 10 : Axe vertical gauche (kPa) : indique les valeurs de tension du sol mesurées par les sondes tensiométriques. Axe vertical droit (mm) : correspond aux quantités de pluie et d'irrigation appliquées. Axe des x : dates. Courbe bleue : tension mesurée à 15 cm de profondeur. Courbe verte : tension mesurée à 40 cm de profondeur. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance en kPa. C'est la valeur au-delà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm). Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar).

Le CPL Végémar a recommandé un apport d'eau le 29 juillet, au moment où les courbes de tension se rapprochaient du seuil de vigilance, en particulier à 15 cm de profondeur. L'irrigation réalisée le lendemain a permis un retour en zone de confort hydrique. Un second apport a ensuite été effectué par l'agriculteur trois jours avant le conseil suivant du CPL ; deux irrigations supplémentaires ont été réalisées après ce conseil. Les courbes de tension sont restées en zone de confort tout au long de cette séquence, tout en réagissant nettement à chaque apport d'eau. Un troisième conseil a été émis le 23 août, avec une irrigation le 27 août : les courbes ont atteint leur pic de tension autour du 29 août, sans dépasser la zone de confort.

Ces résultats montrent que, dans ce cas, les courbes de tension Weenat demeurent en zone de confort malgré les avis d'irrigation du CPL Végémar. Si elles suivent bien les variations de l'état hydrique du sol, les valeurs de tension paraissent sous-estimées et ne traduisent pas des situations d'inconfort relevées par ailleurs. Ce constat est contradictoire avec la courbe d'eau accessible (Sencrop) et avec les sondes

tensiométriques AgroExact, qui indiquent des périodes fréquentes d'inconfort hydrique. Par ailleurs, la corrélation non parfaite entre la solution Weenat et la méthode de référence suggère une surestimation de l'eau disponible dans le sol, ce qui peut expliquer la faible sensibilité apparente des courbes de tension aux épisodes de stress.

Tableau 19. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_G 22% argile : PDT	Mauvais	15 cm Bon	Bon
		25 cm Moyen (bonne tendance)	
GrdSeumoy_G 15% argile : PDT	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)
GrdVillers_D : oignons	Bon	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)
ThAuto : haricots	Mauvais	Pluie avant conseil	X

2025

?

Figure 11 : Axe vertical gauche (kPa) : indique les valeurs de tension du sol mesurées par les sondes tensiométriques. Axe vertical droit (mm) : correspond aux quantités de pluie et d'irrigation appliquées. Axe des x : dates. Courbe bleue : tension mesurée à 15 cm de profondeur. Courbe verte : tension mesurée à 25 cm de profondeur. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance en kPa. C'est la valeur au-delà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm). Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar).

Un premier conseil d'irrigation a été émis le 9 juin par le CPL Végémar, mais il n'a pas été suivi car il coïncidait avec un épisode de fortes pluies. La courbe de tension située à 15 cm était au-dessus du seuil de vigilance 5 jours avant le conseil et a réagi aux pluies qui ont suivi.

Un deuxième conseil a été réalisé par l'agriculteur deux jours avant le deuxième conseil d'irrigation au moment où la sonde située à 15 cm s'approchait du seuil de vigilance. Une baisse de la tension est apparue sur les deux courbes.

Un troisième conseil a eu lieu le 23 juin mais lui aussi juste avant un épisode de pluies. La courbe de la sonde à 15 cm avait juste atteint le seuil critique 2 jours avant et est redescendue avant que les deux courbes remontent au-dessus du seuil de vigilance. Une dernière irrigation a permis de faire redescendre les 2 courbes en zone de confort.

Dans l'ensemble, il est difficile de comparer directement la solution AgroExact et les recommandations du CPL Végémar, car les interprétations ont été perturbées par la succession d'épisodes pluvieux et par des irrigations déclenchées indépendamment des conseils. Néanmoins, les sondes décrivent correctement la réponse hydrique du sol à la suite des différents apports, qu'ils proviennent de la pluie ou de l'irrigation. La solution Weenat semble comparaison avec les sondes tensiométriques AgroExact avoir des courbes similaires mais une sous estimation des tensions qui se traduit par une quantité d'eau dans le trop importante. L'état de stress n'est donc pas bien pris en compte.

Tableau 20. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes tensiométriques Weenat durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recomman dée	2 ^{ème} irrigation recomman dée	3 ^{ème} irrigation recomman dée	4 ^{ème} irrigation recomman dée	5 ^{ème} irrigation recomman dée	6 ^{ème} irrigation recomman dée	7 ^{ème} irrigation recomman dée
GrdVilelrs_ G : Carottes	Moyen (bonne tendance)	Moyen (en avance)	15 cm Bon 25 cm dose 2 ^{ème} irrigation n'a pas suffit	X	X	X	X
Pivot_Bois : Epinards	Ne sait pas évaluer, irrigation juste avant conseil	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X	X
Pivot_Bois : Petits Pois	Pluie juste avant conseil	Irrigation pas suivi conseil	Bon	X	X	X	X
PtiVilliers : Grenailles	Pluie juste avant conseil	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X
Pivot_Pont : Oignons	15 cm Bon	15 cm Mauvais	Bon	Bon	15 cm Moyen	Moyen (bonne tendance)	15 cm Bon
	25 cm Moyen	25 cm Moyen			25 cm Bon		25 cm Moyen (en avance)

Conclusion

Conseils sondes tensiométriques Weenat saisons 2023 à 2025

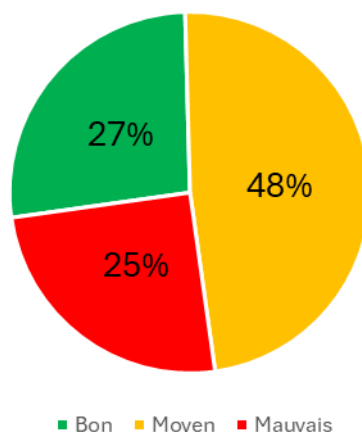


Figure 12. Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par les sondes tensiométriques Weenat sur trois saisons culturales (2023-2025).

De manière générale, mis à part la première année, les courbes tensiométriques reproduisent correctement la dynamique de variation de la teneur en eau du sol, mais elles n'évaluent pas de manière suffisamment fiable la quantité d'eau réellement disponible pour la culture. Comme le montrent les tests de calibration réalisés à l'aide de mesures gravimétriques, la corrélation entre humidité volumique mesurée et tensions enregistrées n'est pas parfaite, ce qui explique en partie la difficulté des sondes à traduire précisément l'état hydrique du sol. Cette relation imparfaite se traduit par une estimation parfois erronée de l'eau disponible pour les racines.

En comparaison avec la méthode des bilans hydriques, un décalage a également été observé entre le moment où l'eau est effectivement apportée (pluie ou irrigation) et celui où la sonde détecte la variation. Ce décalage s'explique par le fait que l'eau doit atteindre les profondeurs auxquelles sont installées les sondes (15 cm et 25 cm) pour être enregistrée, alors que la méthode des bilans hydriques repose sur un encodage manuel immédiat des apports en eau, impliquant une mise à jour instantanée de l'état hydrique théorique du sol. Par conséquent, la réactivité plus lente des sondes tensiométriques peut entraîner une lecture décalée du statut hydrique réel du profil.

b. AgroExact

En 2024, une calibration des sondes tensiométriques AgroExact a été réalisée par rapport à la méthode gravimétrique de référence.

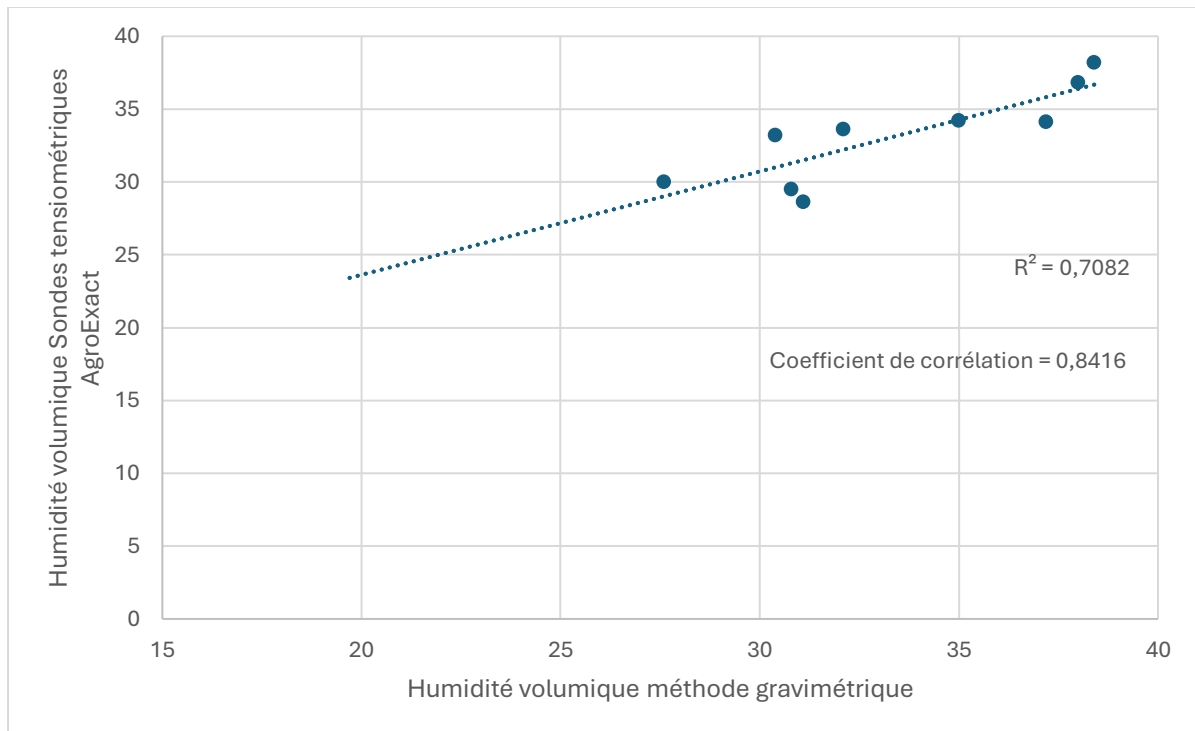


Figure 13. Comparaison des mesures d'humidité volumique obtenues par les deux méthodes de mesure. La courbe de régression ainsi que son coefficient de détermination (R^2) et le coefficient de corrélation sont indiqués sur la figure. Chaque point correspond à un prélèvement de sol.

La relation entre les mesures tensiométriques AgroExact et les mesures gravimétriques montre une corrélation forte ($R^2 = 0,7082$). Cette valeur indique que les sondes reproduisent de manière cohérente les variations d'humidité du sol observées par la méthode de référence. La dispersion relativement faible autour de la droite de régression traduit une bonne stabilité des mesures et une capacité satisfaisante du capteur à estimer l'humidité volumique.

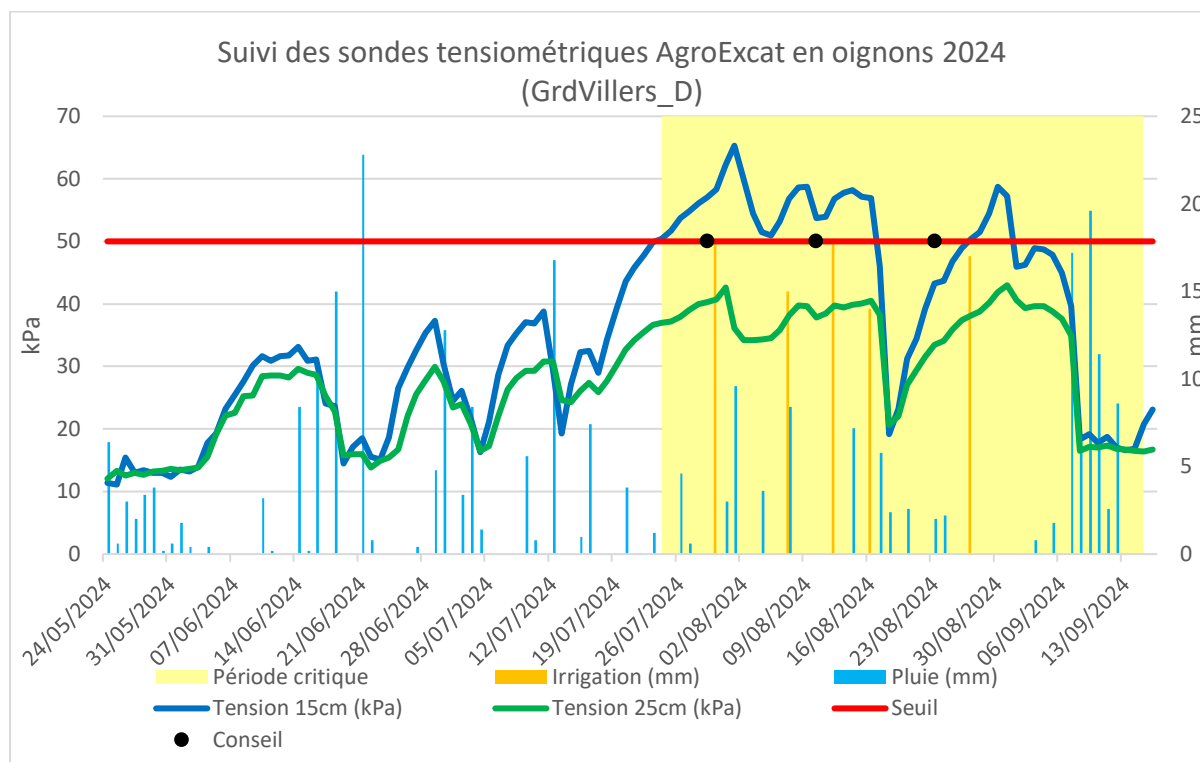


Figure 14 : Axe vertical gauche (kPa) : indique les valeurs de tension du sol mesurées par les sondes tensiométriques. Axe vertical droit (mm) : correspond aux quantités de pluie et d'irrigation appliquées. Axe des x : dates. Courbe bleue : tension mesurée à 15 cm de profondeur. Courbe verte : tension mesurée à 25 cm de profondeur. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance en kPa. C'est la valeur au-delà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm). Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar).

Au moment du premier conseil du CPL Végémar, la courbe de tension enregistrée par la sonde située à 15 cm avait dépassé le seuil critique depuis cinq jours. La sonde installée à 25 cm montrait également une tendance à l'augmentation des tensions, mais sans franchir ce seuil. Les deux courbes ont réagi à la première irrigation, avec un décalage d'environ un jour. Toutefois, la tension mesurée à 15 cm n'est jamais parvenue à redescendre en dessous du seuil critique après cet apport.

Une deuxième irrigation a ensuite été réalisée sans conseil préalable, puis un deuxième avis du CPL a été émis. Ce conseil a été suivi de deux irrigations successives. À chaque fois, les sondes ont enregistré une baisse de tension après quelques jours, confirmant à nouveau un délai entre l'apport en eau et sa détection par les capteurs. Il a fallu attendre la quatrième irrigation pour que les deux profondeurs affichent des tensions suffisamment faibles pour replacer la plante dans une situation de confort hydrique.

Un troisième conseil d'irrigation a été formulé le 23 août, au moment où la courbe mesurée à 15 cm revenait dangereusement vers le seuil critique. L'irrigation n'a

cependant été réalisée que trois jours plus tard, ce qui a entraîné un dépassement du seuil critique. Les tensions mesurées aux deux profondeurs ont finalement diminué cinq jours après l'apport, traduisant une amélioration de l'état hydrique du sol.

La sonde positionnée à 15 cm est restée en zone critique durant toute la période d'observation, à l'exception d'un bref retour en zone de confort après le quatrième apport, avant de repasser rapidement en zone critique. À l'inverse, la sonde située à 25 cm est demeurée en zone de confort en continu. Cet écart de comportement met en évidence l'hétérogénéité verticale de l'état hydrique du sol et souligne l'importance d'équiper plusieurs profondeurs pour appréhender correctement la dynamique de l'eau dans le profil.

Tableau 21. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes tensiométriques AgroExact durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_G : PDT	Moyen (bonne tendance)	Mauvais	Moyen (bonne tendance)
GrdVillers_D : oignons	15 cm Mauvais	15 cm Décrochage de la sonde ?	Ne sait pas évaluer, irrigation avant conseil
	25 cm Moyen (bonne tendance)	25 cm Moyen (bonne tendance)	
ThAuto : haricots	Pluie avant conseil	15 cm Mauvais	X
		25 cm pas de données	

2025

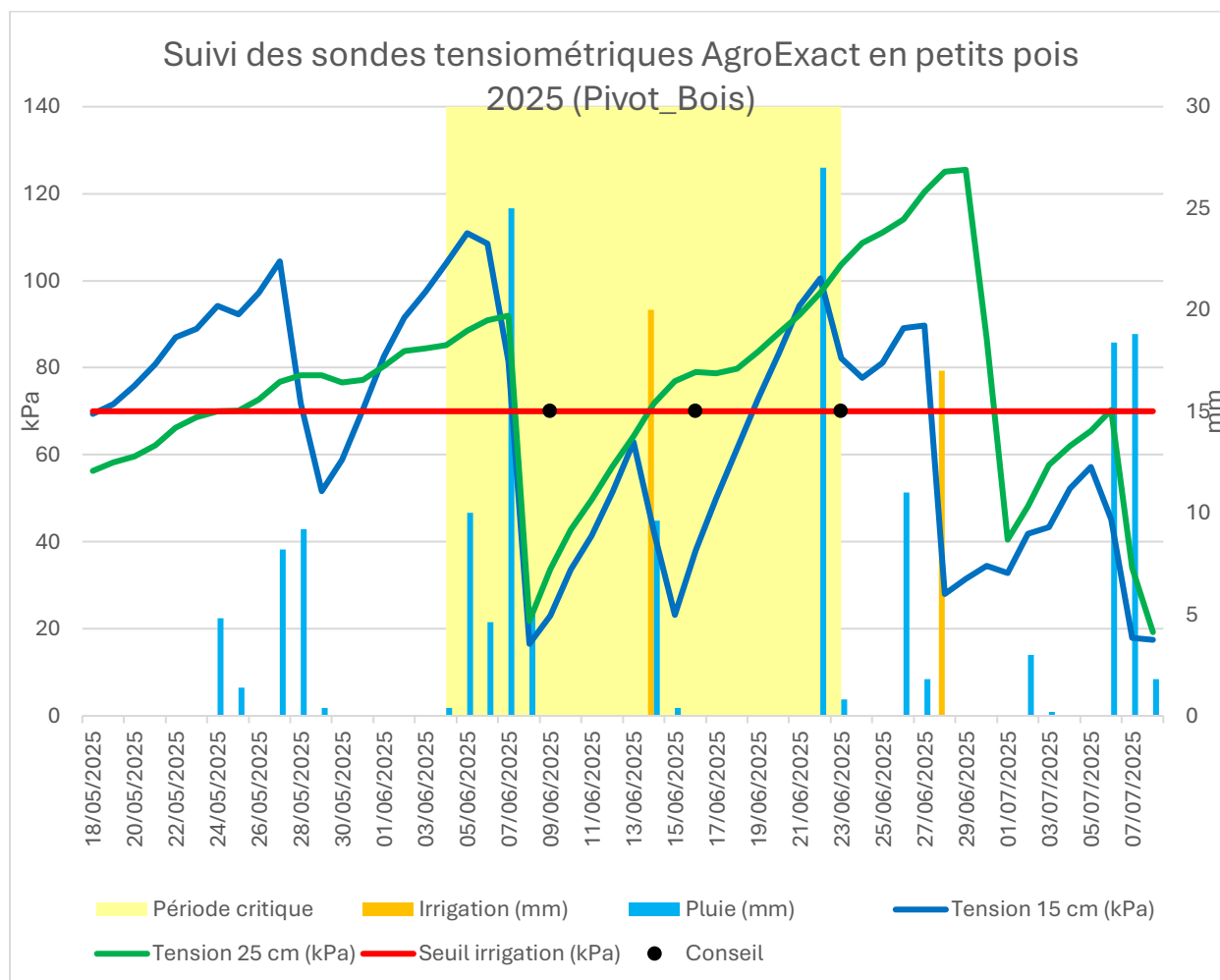


Figure 15 : Axe vertical gauche (kPa) : indique les valeurs de tension du sol mesurées par les sondes tensiométriques. Axe vertical droit (mm) : correspond aux quantités de pluie et d'irrigation appliquées. Axe des x : dates. Courbe bleue : tension mesurée à 15 cm de profondeur. Courbe verte : tension mesurée à 25 cm de profondeur. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance en kPa. C'est la valeur au-delà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm). Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar).

Un premier conseil d'irrigation a été émis le 9 juin par le CPL Végémar, mais il n'a pas été suivi car il coïncidait avec un épisode de fortes pluies. Les courbes de tension enregistrées par les sondes reflètent correctement cette situation : les deux profondeurs se trouvaient en zone de stress hydrique juste avant les précipitations, puis sont redescendues très nettement en zone de confort après l'apport naturel en eau.

Une irrigation a ensuite été réalisée par l'agriculteur deux jours avant le deuxième conseil d'irrigation, au moment où les deux sondes s'approchaient du seuil critique.

Cet apport a eu un effet notable sur la sonde située à 15 cm, qui a montré une baisse rapide de la tension.

Un troisième conseil a été émis le 23 juin, mais lui aussi juste avant un nouvel épisode de fortes pluies. À ce moment-là, les deux courbes de tension indiquaient déjà une situation d'inconfort hydrique depuis plusieurs jours. La sonde superficielle a montré une réaction rapide à la pluie, sans toutefois repasser immédiatement en zone de confort, tandis que l'effet a été plus tardif et plus progressif sur la sonde profonde. Une irrigation supplémentaire a été réalisée six jours plus tard : la tension mesurée à 15 cm a alors nettement diminué pour revenir en zone de confort tandis que la sonde positionnée à 25 cm n'a pas réagi de manière immédiate. Cette différence de réactivité est cohérente avec la profondeur d'installation : l'eau met plus de temps à percoler vers les horizons profonds, ce qui retarde la détection de son effet sur les tensions.

Dans l'ensemble, il est difficile de comparer directement la solution AgroExact et les recommandations du CPL Végémar, car les interprétations ont été perturbées par la succession d'épisodes pluvieux et par des irrigations déclenchées indépendamment des conseils. Néanmoins, les sondes décrivent correctement la réponse hydrique du sol à la suite des différents apports, qu'ils proviennent de la pluie ou de l'irrigation. Par ailleurs, la dynamique observée — alternance de périodes de stress et de confort hydrique — apparaît globalement cohérente avec celle issue de la méthode du bilan hydrique Sencrop.

Tableau 22. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes tensiométriques AgroExact durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recomman dée	2 ^{ème} irrigation recomman dée	3 ^{ème} irrigation recomman dée	4 ^{ème} irrigation recomman dée	5 ^{ème} irrigation recomman dée	6 ^{ème} irrigation recomman dée	7 ^{ème} irrigation recomman dée
GrdSeumoy : Haricots	Bon	15 cm mauvais (ne réagit plus) 25 cm Bon	X	X	X	X	X
GrdVilelrs_G : Carottes	15 cm Moyen (en avance) 25 cm Mauvais	15 cm Bon 25 cm Mauvais	X	X	X	X	X
Pivot_Bois : Epinards	Ne sait pas évaluer, irrigation juste avant conseil	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X	X
Pivot_Bois : Petits Pois	Pluie juste avant conseil	Irrigation avant conseil	15 cm Moyen (en avance) 25 cm Mauvais	X	X	X	X
PtiVillers : Grenailles	Mauvais	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X
Pivot_Pont : Oignons	Instalaltion sondes tardive	Mauvais (trop en avance)	Mauvais	Mauvais	Mauvais	15 cm Bon 25 cm Mauvais	Mauvais

Conclusion

Conseils sondes tensiométriques AgroExact saisons 2024 à 2025

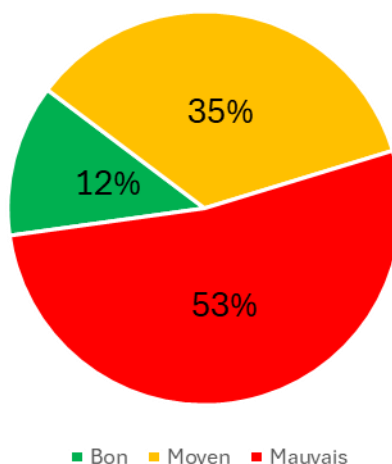


Figure 16. Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par les sondes tensiométriques Weenat sur deux saisons culturales (2024–2025).

14. Évaluation organisationnelle

Au début du projet, l'objectif principal de l'exploitant était d'améliorer la gestion de l'irrigation dans un contexte de ressource en eau limitée. Une réduction des volumes appliqués et une meilleure adaptation des apports aux besoins des cultures étaient recherchées. L'utilisation d'outils d'aide à la décision devait permettre d'anticiper davantage les interventions.

À la fin du projet, une évolution des pratiques a été observée. Les décisions ne reposent plus uniquement sur l'expérience, mais sur des données mesurées telles que le niveau de stress hydrique des cultures et les apports réels en eau (pluie, remontées capillaires). Les irrigations sont désormais déclenchées à partir d'indicateurs objectifs, ce qui renforce la fiabilité des décisions et améliore la cohérence des apports dans le temps.

L'installation d'une station météorologique a également modifié l'organisation du travail. Les données climatiques étant accessibles à distance, les déplacements pour vérifier des pluies localisées ne sont plus nécessaires, ce qui permet un gain de temps. Le suivi continu des informations facilite en outre la planification des interventions.

Concernant les interfaces, une présentation simple et lisible est jugée essentielle. La présence de seuils explicites et de codes couleur facilite l'interprétation. Les sondes tensiométriques sont particulièrement appréciées en raison de leur représentation synthétique sous la forme d'une courbe ou deux courbes, permettant une lecture rapide et opérationnelle. Il insiste toutefois sur la nécessité d'une expertise pour le positionnement des sondes et préférerait confier cette tâche à un prestataire.

Dans l'ensemble, les sondes tensiométriques se sont progressivement imposées comme un outil central du pilotage de l'irrigation, contribuant à structurer la prise de décision et à réduire l'incertitude dans la gestion de l'eau.

Section 3 : Sonde capacitive

15. Description de la solution

a. Référence : Méthode gravimétrique

À différents stades du cycle cultural, des prélèvements de sol ont été réalisés afin de comparer les mesures issues des sondes à une méthode de référence.

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une sonde de sol conçue spécifiquement pour cette étude. La sonde a été enfoncée manuellement à la masse jusqu'à une profondeur de 35 cm. La carotte de sol extraite a ensuite été segmentée en trois tronçons correspondant aux horizons 0–10 cm, 10–20 cm et 20–30 cm, chacun ayant un volume de 220,5 cm³.

Chaque tronçon a été pesé avant séchage, puis placé en étuve à 80 °C. Une première pesée a été réalisée après 24 h, et une seconde après 48 h afin de confirmer l'arrêt de la perte de masse. Ces mesures ont permis de déterminer l'humidité massique et, par conversion, l'humidité volumique des différents horizons du sol.

b. Sondes capacitives

Les sondes capacitives permettent de déterminer le taux d'humidité du sol par une mesure indirecte de sa permittivité diélectrique. Cette dernière est influencée à la fois par la texture et par la teneur en eau du sol, ce qui rend nécessaire l'utilisation de courbes d'étalonnage spécifiques à chaque type de sol afin d'obtenir une estimation fiable de l'humidité.

Ces dispositifs intègrent généralement plusieurs capteurs disposés à différentes profondeurs le long d'une même sonde, ce qui permet de suivre la dynamique hydrique au sein du profil de sol, ainsi que le développement et l'activité racinaire. Cette approche peut être utile pour évaluer la croissance de la culture ou pour mettre en évidence des contraintes physiques du sol, telles qu'une zone de tassement.

16. Calendrier des mesures

6.28. Référence : Méthode gravimétrique

2024

Tableau 23. Cultures suivies avec la méthode gravimétrique durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Date de prélèvement
PtiSeumoy	Epinards	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	08/07/24
GrdSeumoy_G	PDT	24/06/24
GrdSeumoy_G	PDT	22/07/24
ThAuto	Haricots	28/08/24

2025

Tableau 24. Cultures suivies avec la méthode gravimétrique durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Date de prélèvement
Pivot_Bois	Interculture	19/02/25
Pivot_Bois	Interculture	13/03/25
Pivot_Bois	Interculture	21/03/25
Pivot_Bois	Interculture	02/04/25

6.29. Weenat

2023

Tableau 25. Cultures suivies avec la solution sondes capacitives Weenat durant la saison 2023.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Bois	Oignons	11/07/23	18/09/23
GrdSeumoy_D	PDT	18/08/23	22/09/23
Pivot_Bois	Haricots	12/08/23	17/09/23
GrdVillers_G	Epinards	09/09/23	22/09/23

2024

Tableau 26 Cultures suivies avec la solution sondes capacitives Weenat durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
PtiSeumoy	Epinards	10/05/24	14/06/24
GrdVillers_D	Oignons	13/05/24	16/09/24
GrdSeumoy_G	PDT	11/06/24	06/09/24
ThAuto	Haricots	18/07/24	16/09/24

2025

Tableau 27. Cultures suivies avec la solution sondes capacitives Weenat durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot-Bois	Interculture	12/02/25	04/04/25
Pivot_Bois	Petits pois	16/05/25	30/06/25
PtiVillers	Grenailles	02/06/25	23/07/25
Pivot_Pont	Oignons	17/06/25	26/08/25

6.30. NewFarm Agriconsult

2024

Tableau 28. Cultures suivies avec la solution sondes capacitives NewFarm Agriconsult durant la saison 2024.

Parcelle	Culture	Début	Fin
GrdSeumoy_G	PDT	09/06/24	03/09/24

2025

Tableau 29. Cultures suivies avec la solution sondes capacitives NewFarm Agriconsult durant la saison 2025.

Parcelle	Culture	Début	Fin
Pivot_Pont	Oignons	14/06/25	26/08/25
Pivot_Bois	Epinards	28/08/25	19/09/25

17. Données mesurées

18. Interprétations données mesurées (comment les solutions fix les seuils)

6.31. Weenat

Les seuils sont paramétrés en fonction du type de sol, que l'utilisateur peut spécifier à l'aide du triangle des textures. Pour une précision accrue, il est possible d'ajuster ces seuils en fonction des caractéristiques spécifiques de la parcelle.

6.32. NewFarm Agriconsult

Les seuils ont été définis sur dire d'expert.

19. Application de l'action sur le levier agronomique

20. Evaluation technique

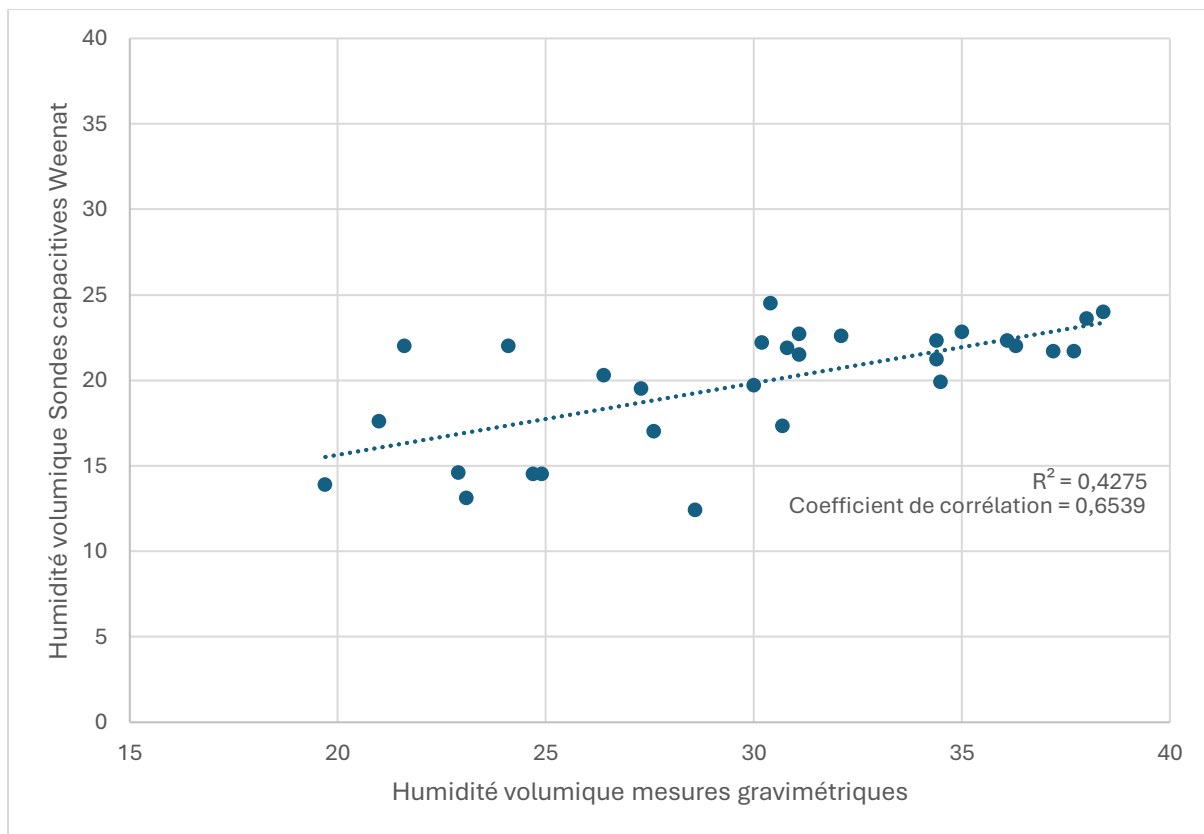


Figure 17 : Comparaison des mesures d'humidité volumique obtenues par les deux méthodes de mesure. La courbe de régression ainsi que son coefficient de détermination (R^2) et le coefficient de corrélation sont indiqués sur la figure. Chaque point correspond à un prélèvement de sol.

La relation entre les mesures d'humidité volumique obtenues via les sondes capacitives Weenat et les mesures gravimétriques montre une corrélation positive mais modérée ($R^2 = 0,4275$). Cette valeur traduit une dispersion notable autour de la droite de régression, révélant que les sondes suivent globalement la dynamique hydrique du sol sans pour autant refléter précisément les valeurs absolues de teneur en eau.

6.33. Weenat

2024

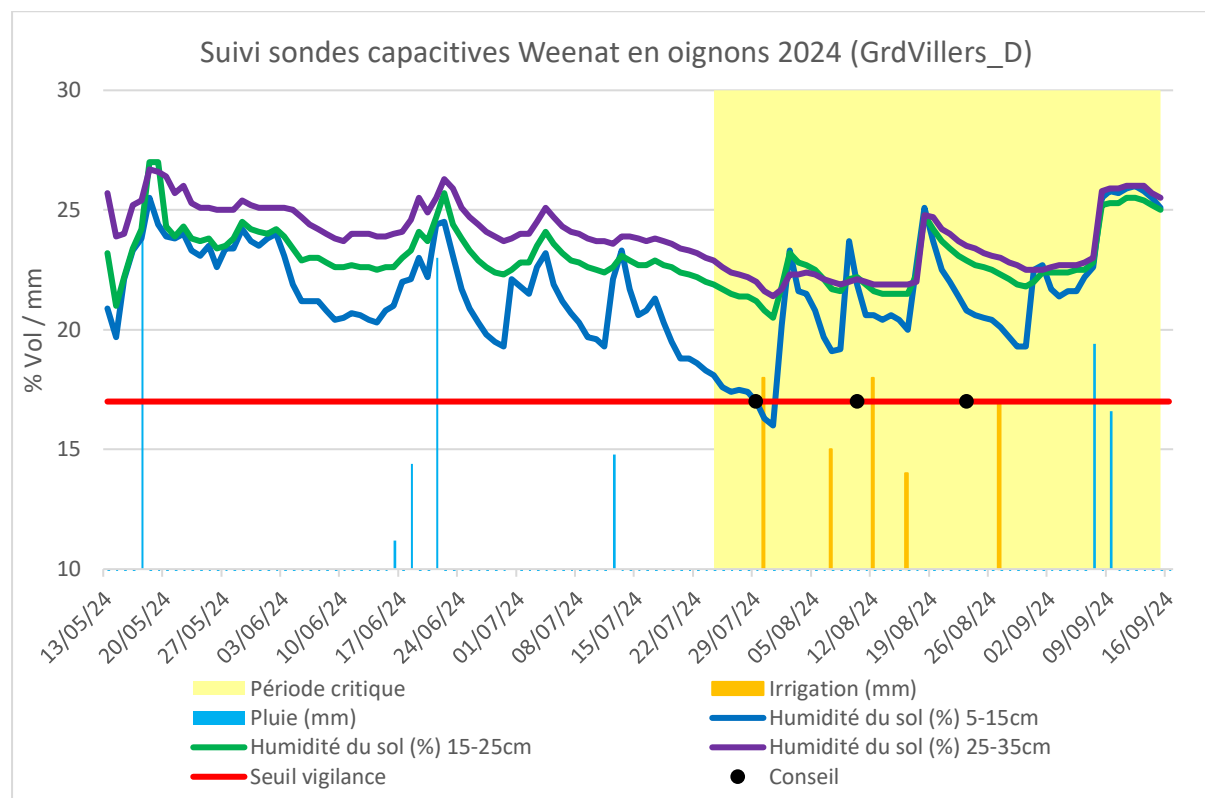


Figure 18

Un premier conseil d'irrigation a été émis le 27 juillet par le CPL Végémar. À cette date, la courbe d'humidité mesurée par la sonde capacitive Weenat se situait encore en zone de confort, bien qu'elle évoluât progressivement vers le seuil de vigilance. L'irrigation réalisée à la suite de ce conseil a entraîné une hausse nette de l'humidité du sol. L'agriculteur a ensuite déclenché une seconde irrigation le 7 août, cette fois sans recommandation préalable, ce qui a de nouveau généré une augmentation de l'humidité mesurée.

Un deuxième conseil a été transmis le 10 août et a été suivi par deux apports d'eau réalisés deux et six jours plus tard. La courbe d'humidité a réagi à chacun de ces apports par une augmentation ponctuelle, signe que la sonde enregistrait bien la dynamique hydrique du profil. Un troisième conseil a ensuite été donné le 23 août, suivi d'un apport le 27 août. Cet apport a entraîné une légère hausse de l'humidité moyenne.

Dans l'ensemble, la courbe d'humidité Weenat a correctement suivi la dynamique des apports hydriques (pluie et irrigation). Toutefois, elle est restée en permanence dans la zone de confort hydrique, sans jamais indiquer de situation de stress, ce qui apparaît en contradiction avec :

- les conseils du CPL Végémar, qui identifiaient plusieurs situations nécessitant une irrigation,
- les diagnostics issus du bilan hydrique Sencrop et des sondes tensiométriques AgroExact, qui ont mis en évidence des périodes prolongées de stress hydrique.

Cette incohérence suggère que la sonde capacitive Weenat a tendance à surestimer la teneur en eau du sol, conduisant à une interprétation trop favorable de l'état hydrique et à une sous-détection des phases de déficit. Il convient toutefois de nuancer : la sonde Weenat intègre plusieurs mesures sur un profil d'environ 30 cm et en restitue une moyenne. À l'inverse, les sondes tensiométriques mesurent la contrainte hydrique à des profondeurs ponctuelles (15 cm et 25 cm). Le suivi de ces deux profondeurs montre des comportements contrastés : la sonde à 15 cm a souvent évolué en zone critique, tandis que la sonde à 25 cm est restée en zone de confort. Cette divergence met en évidence un gradient vertical marqué d'humidité/contrainte dans le profil, et explique qu'une moyenne sur 0–30 cm puisse lisser des situations de stress présentes dans l'horizon superficiel (15 cm) mais absentes dans l'horizon plus profond (25 cm).

Tableau 30. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes capacitives Weenat durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdVillers_D : oignons	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)
GrdSeumoy_G 15 % argile : PDT	Mauvais	Bon	Bon
GrdSeumoy_G 22 % argile : PDT	Bon	Bon	Pas de donnée
ThAuto : haricots	Bon	Pluie avant conseil	X

2025

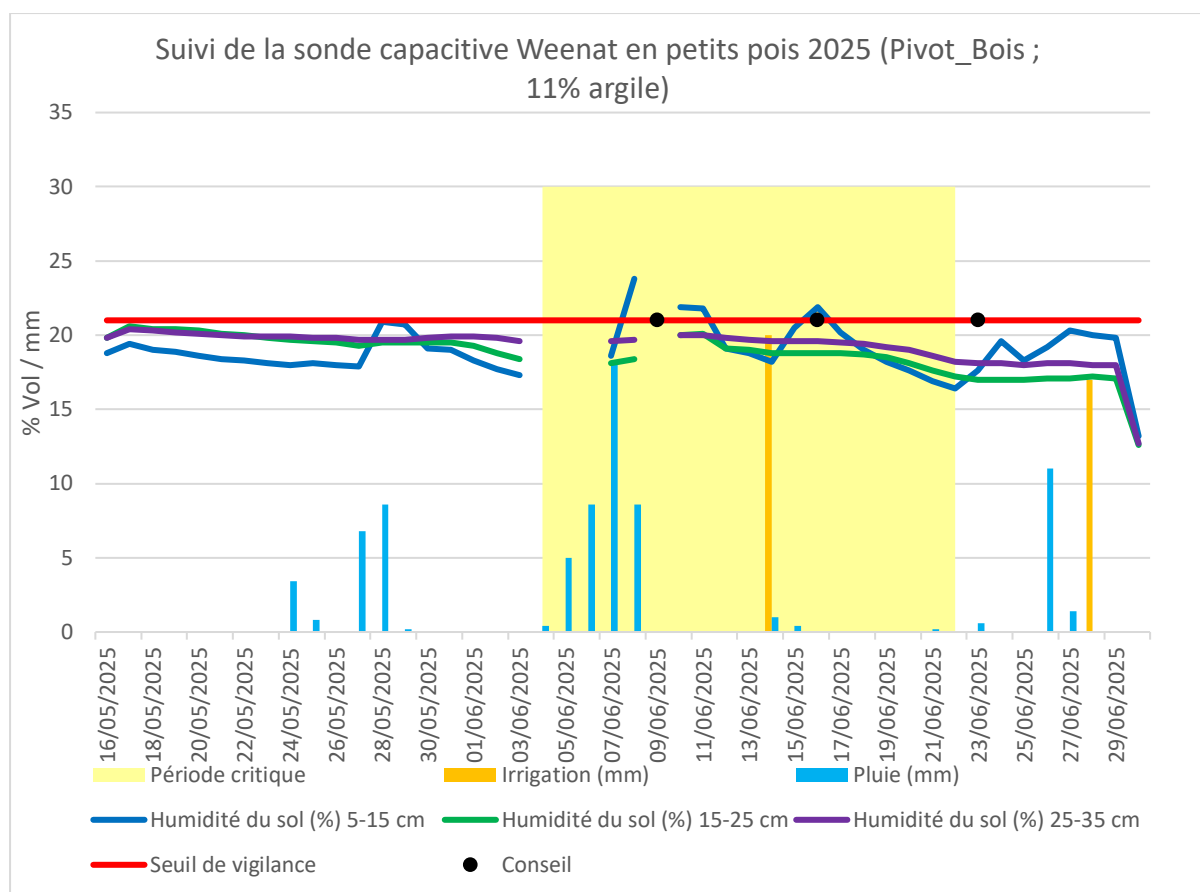
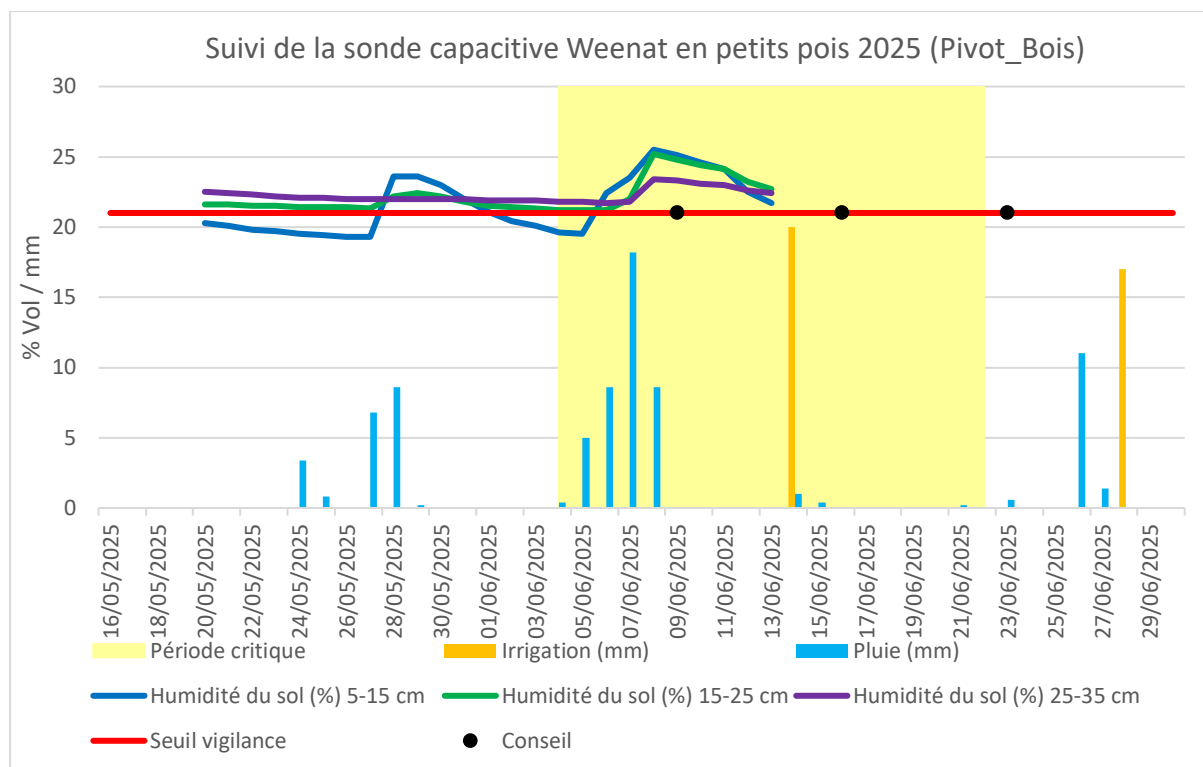


Figure 19

Perte de données au moment du premier conseil.

Tableau 31. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes capacitatives Weenat durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée	4 ^{ème} irrigation recommandée	5 ^{ème} irrigation recommandée
PtiVillers : grenailles	Bon	Mauvais	Bon	X	X
Pivot_Pont : oignons	Mauvais	Bon	La courbe n'est jamais repassée au-dessus du seuil		
Pivot_Bois 11% argile : petits pois	Bon	Pas de donnée	Pas de donnée	X	X
Pivot_Bois 20% argile : petits pois	Pas de donnée	Irrigation avant conseil	La courbe n'est jamais repassée au-dessus du seuil	X	X



Conclusion

Conseils sondes capacitatives Weenat saisons 2024 à 2025

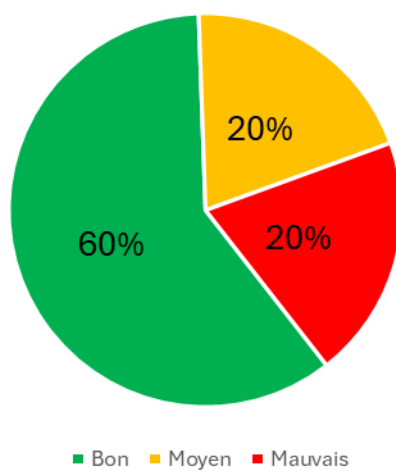


Figure 20 Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par les sondes capacitatives Weenat sur deux saisons culturales (2024–2025).

6.34. NewFarm Agriconsult

2024

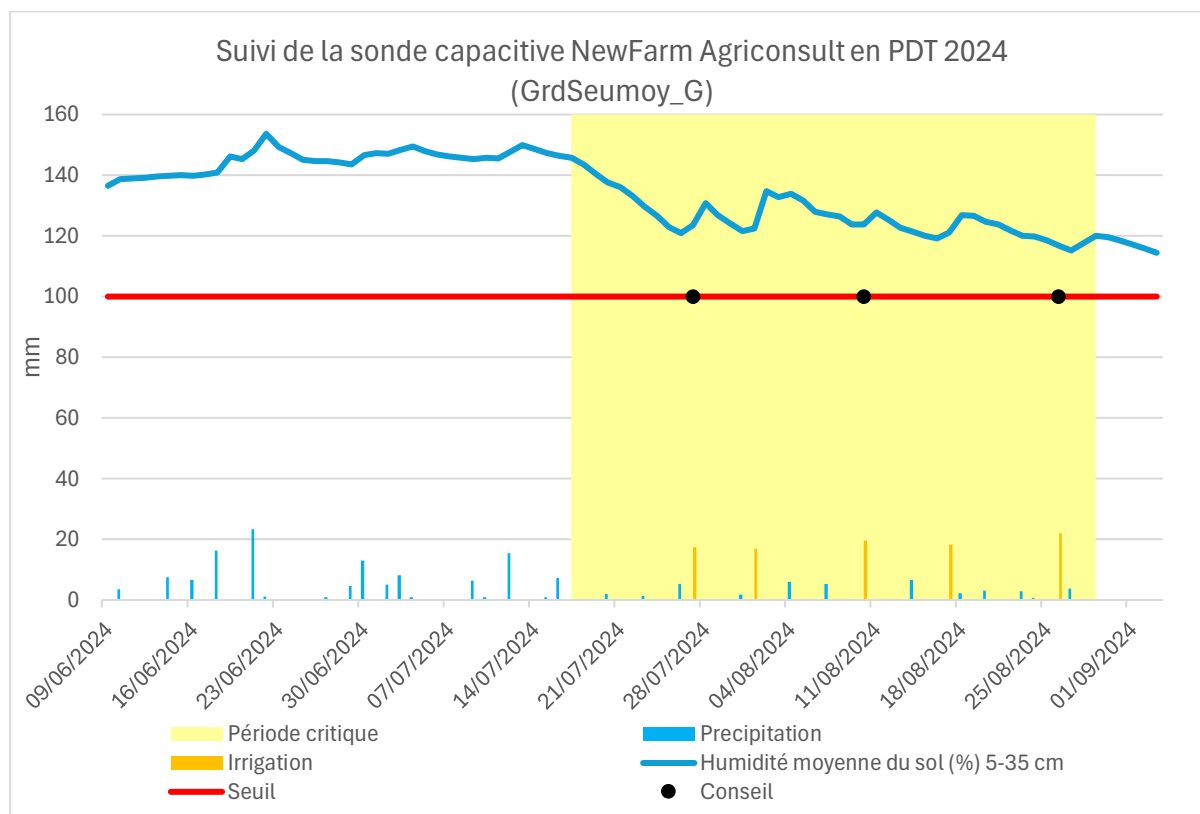


Figure 21 : Axe Y : humidité volumique du sol en mm : indique les valeurs d'humidité du sol mesurées par les sondes capacitatives. Axe des x : dates. Courbe bleue : humidité volumique moyenne sur une profondeur de sol allant de 0 à 30 cm. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance. C'est la valeur en deçà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar). Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm). Barres orange verticales : apports d'irrigation (mm).

La sonde capacitive semble surestimer l'humidité du sol, même si elle montre bien des phases de décroissance lorsque le CPL Végémar recommande d'irriguer et des hausses après les apports d'eau. Elle réagit donc aux variations, mais son niveau absolu reste trop élevé et ne reflète pas correctement l'état hydrique réel.

Tableau 32. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes capacitatives NewFarm Agriconsult durant la saison 2024.

	1 ^{ère} irrigation recommandée	2 ^{ème} irrigation recommandée	3 ^{ème} irrigation recommandée
GrdSeumoy_G : PDT	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)

2025

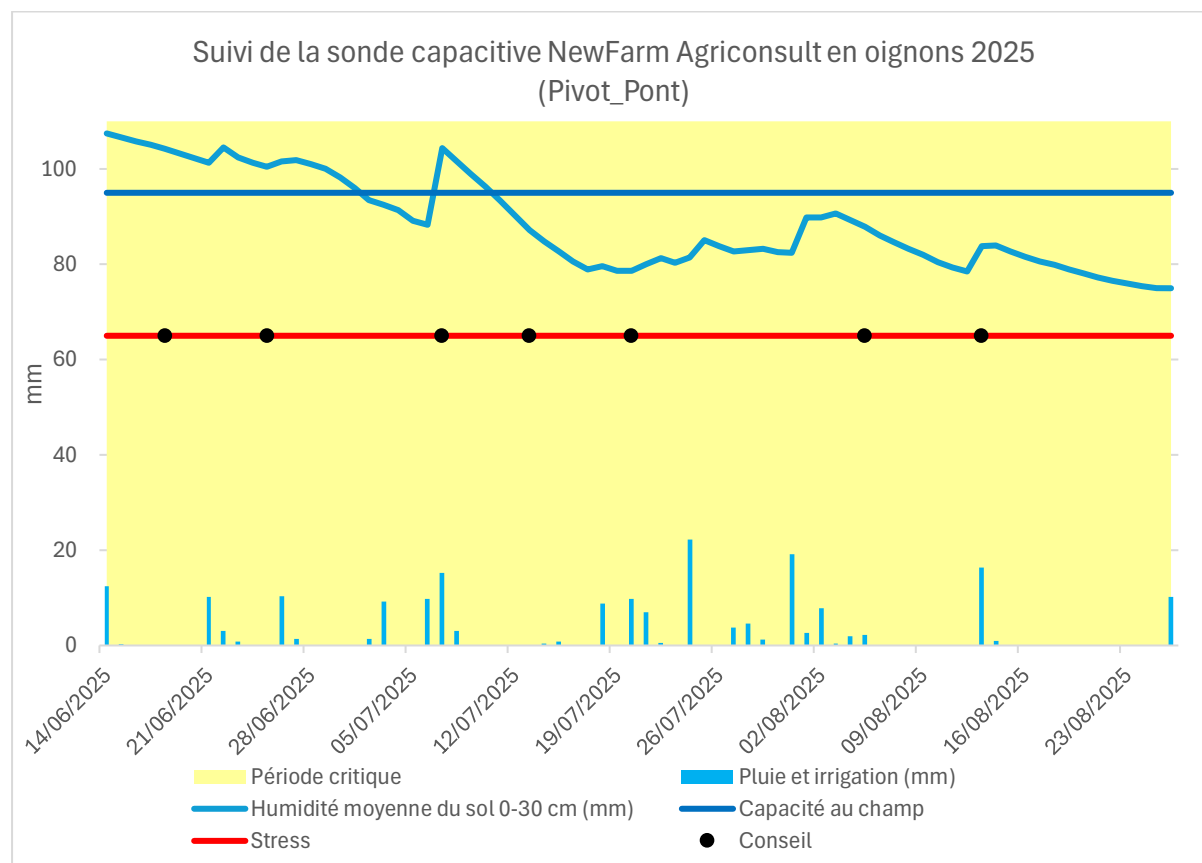


Figure 22 : Axe Y : humidité volumique du sol en mm : indique les valeurs d'humidité du sol mesurées par les sondes capacitatives. Axe des x : dates. Courbe bleue : humidité volumique moyenne sur une profondeur de sol allant de 0 à 30 cm. La ligne rouge horizontale représente le seuil de vigilance. C'est la valeur en deçà de laquelle la culture est considérée comme en stress hydrique. La ligne bleue horizontale représente la capacité au champ, cela peut engendrer une asphyxie racinaire. Le fond jaune met en évidence la période critique d'irrigation. Les points noirs positionnés au-dessus du seuil rouge indiquent les dates de recommandation d'irrigation fournies par la solution de référence (CPL Végémar). Barres bleues verticales : précipitations journalières (mm).

La courbe montre une surestimation importante de la réserve en eau du sol. Pour les trois premiers conseils, la courbe indique une sursaturation du sol. Ce n'est qu'à partir du quatrième conseil que l'on observe une véritable diminution de la réserve en eau mais les valeurs restent encore élevées par rapport au seuil de déclenchement des irrigations. Ce graphique montre clairement que la mesure fournie par la sonde n'est pas fiable pour piloter l'irrigation, car elle ne détecte pas les phases de stress hydrique avérées.

Tableau 33. Evaluation des conseils pour le déclenchement de l'irrigation donnés par la solution sondes capacitatives NewFarm Agriconsult durant la saison 2025.

	1 ^{ère} irrigation recomman dée	2 ^{ème} irrigation recomman dée	3 ^{ème} irrigation recomman dée	4 ^{ème} irrigation recomman dée	5 ^{ème} irrigation recomman dée	6 ^{ème} irrigation recomman dée	7 ^{ème} irrigation recomman dée

Pivot_Pont : oignons	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)	Moyen (bonne tendance)
Pivot_Bois 11% argile : épinards	Pluie jour du conseil	Moyen (bonne tendance)	X	X	X	X	X
Pivot_Bois 20% argile : épinards	Mauvais	Mauvais	X	X	X	X	X

Conclusion

Conseils sondes capacitatives NewFarm Agriconsult saisons 2024 à 2025

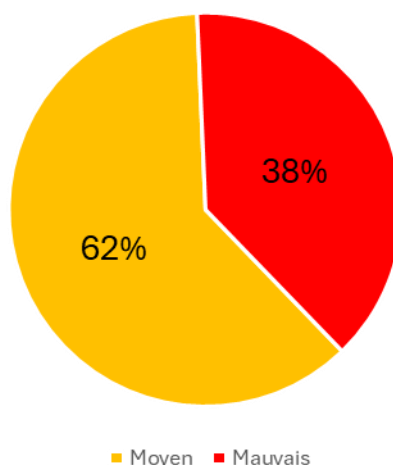


Figure 23. Synthèse de l'évaluation des conseils de déclenchement de l'irrigation fournis par les sondes capacitatives NewFarm Agriconsult sur deux saisons culturales (2024–2025).

21. Évaluation organisationnelle

Les sondes capacitatives présentent une lecture plus complexe. Elles enregistrent l'humidité du sol à plusieurs profondeurs, ce qui génère plusieurs courbes simultanées et rend l'interprétation moins intuitive pour l'agriculteur. Cette complexité peut ralentir la prise de décision et nécessite une familiarisation plus importante avec les données pour être pleinement exploitable.