



Mémoire
Présenté pour l'obtention du Master 1
Mention : Eau
Parcours : Eau et Agriculture

ANALYSE DU PARCOURS HYDRIQUE DE
PARCELLES VITICOLES CONDUITE EN AGRO-
ECOLOGIE

Par Anthony LANOS

Mémoire présenté le :

Membres du jury :

[Prénom NOM]

[Prénom NOM]

[Prénom NOM]

**Organisme d'accueil : [Institut
Agro Montpellier]**

**Enseignant tuteur : [Gilles
BELAUD & Flavie CERNESSON]**

**Maître de stage : [Armand
CRABIT & Raphaël METRAL]**

Résumé & Abstract

Résumé

L'agro-écologie représente une solution potentielle aux problèmes auxquels l'agriculture est confrontée, tels que la perte de fertilité des sols et la diminution des rendements des cultures. L'agroforesterie est une pratique couramment utilisée dans ce contexte. Dans notre étude, des figuiers et des grenadiers sont implantés au sein des parcelles viticoles. Ces pratiques sont censées améliorer la capacité d'infiltration du sol. Afin de vérifier ces bienfaits, des sondes d'humidité et de piézométrie ont été installées. Cependant, il est important de noter que les données piézométriques ne sont pas prises en compte dans ce mémoire par manque de temps.

Mots-clés : Agro-écologie, Agroforesterie, Indicateur de suivi hydrique, humidité, piézométrie, variation de stock.

Abstract

Agro-ecology represents a potential solution to the problems facing agriculture, such as loss of soil fertility and declining crop yields. Agroforestry is a common practice in this context. In our study, fig and pomegranate trees are planted within the vineyard plots. These practices are intended to improve soil infiltration capacity. To verify these benefits, moisture and piezometry probes were installed. However, it is important to note that piezometric data are not taken into account in this report due to time constraints.

Keywords : Agro-ecology, Agroforestry, Water monitoring, indicator, humidity, piezometry, stock variation.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier le Directeur Monsieur Jacques WERY, pour m'avoir reçu au sein de l'Institut Agro Montpellier et me permettent de travailler dans les meilleures conditions possibles.

Ensuite je voudrais adresser toute ma gratitude à mes maîtres de stage, Monsieur Armand CRABIT et Monsieur Raphaël METRAL, pour leurs confiances, leurs disponibilités, et surtout l'autonomie qu'ils m'offrent pendant ce stage.

Je tiens à remercier vivement Camille BREYSSE pour m'avoir permis de rejoindre la Chaire Vigne & Vin et ainsi pouvoir profiter de leur système de relations très important.

Je remercie aussi toutes les personnes du bâtiment 21 qui m'ont tout de suite intégré et permis de bien me sentir dans le laboratoire.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Agathe SIRACUSE et Victor BERTELOT pour m'avoir partagé leurs travaux sur la piézométrie.

Je remercie aussi Monsieur Gilles BELAUD et Madame Flavie CERNESSON, mes enseignants tuteur, pour m'avoir permis de postuler dans ce laboratoire et de prendre de leurs temps pour mon rapport d'avancement.

Table des matières

Résumé & Abstract	3
Remerciements	4
Table des matières	5
Liste des tableaux et figures.....	7
Avant-Propos	8
Glossaire.....	9
Introduction	10
1. État actuel des connaissances.....	11
2. Présentation du projet SALSA	12
2.1. Présentation générale	12
2.2. Le site de Montpellier.....	13
3. Matériels et Méthodes.....	14
3.1. 3 modalités de gestion testées.....	14
3.1.1. T-Viti : Vigne « témoin ».....	14
3.1.2. A-Viti : Vigne et enherbement de l'inter-rang.....	14
3.1.3. D-Viti : Vigne, enherbement de l'inter-rang et arbres fruitiers.....	14
3.2. Matériels utilisés	15
3.2.1.1. Les sondes GROPOINT	15
3.2.1.2. La sonde TDR.....	15
3.2.1.3. La sonde DIVINER	16
3.2.2. La sonde piézométrique.....	16
3.2.3. Données climatologiques	18
3.3. Chaîne de traitement des données	18
3.4. Indicateurs pour l'analyse des parcours hydriques.....	20
3.4.1. Identification et caractérisation des événements de pluie et d'infiltrations	20
3.4.1.1. Identification des événements de pluie	20
3.4.1.2. Caractérisation des événements d'infiltrations	20
3.4.2. Liste des indicateurs utiles pour la comparaison des différentes modalités de gestions ...	21
4. Résultats & Discussion	23
4.1. Analyses chroniques des parcelles	23
4.2. Les Évènements de pluie et d'infiltrations	24
4.3. Les indicateurs produits	27
4.3.1. Évolution du stock.....	27
4.3.1.1. Suivant l'année hydrologique.....	27

4.3.1.2. Suivant l'été et l'hiver hydrologique	28
4.4. La piézométrie	31
4.4.1. Suivant l'année hydrologique.....	31
4.4.2. Suivant l'été et l'hiver hydrologique	33
4.5. Lamme d'eau infiltrée	34
4.6. L'étude ASL.....	35
Conclusion.....	38
Bibliographie	39
5. Annexes.....	40
5.1. Caractéristiques du domaine du Chapitre.....	40
5.1.1. Caractéristiques de T-Viti	40
5.1.2. Caractéristiques de A-Viti.....	40
5.1.3. Caractéristiques de D-Viti.....	40
5.1.4. Plan global du domaine.....	40
5.2. Principe des sondes.....	41
5.2.1. Sonde GROPOINT	41
5.2.2. Sonde DIVINER	41
5.2.3. Sonde DIVER.....	42
5.3. Localisation des sondes	42
5.3.1. Carte des sondes GROPOINT & DIVINER.....	42
5.3.2. Carte des prélèvements DIVINER	43
5.4. Contexte climatique	43

Liste des tableaux et figures

Figure 1 : Localisation du dispositif expérimental.....	17
Figure 2 : Chaîne de traitement des données	18
Figure 3 : Détermination des évènements d'infiltration.....	21
Figure 4 : Profils hydrique minimum et maximum des modalités	23
Figure 5 : Evolution du stock de la parcelle A-Viti.....	29
Figure 6 : Evolution du stock de la parcelle D-Viti.....	30
Figure 7 : Exemple d'évolution de la piézométrie.....	32
Figure 8 : Profil altimétrique du domaine du Chapitre	35
Figure 9 : Evolution du niveau piézométrique ASL.....	36
Tableau 1 : Caractéristiques des différents piézomètres	16
Tableau 2 : Événements de pluie	25
Tableau 3 : Date d'infiltration des différentes parcelles	26
Tableau 4 : Valeur de stock de début d'année hydrologique.....	27
Tableau 5 : Valeurs de stock de début et de fin d'hiver	28
Tableau 6 : Valeurs de stock de début et de fin d'été.....	28
Tableau 7 : Niveau de la nappe en fonction de l'année hydrologique.....	32
Tableau 8 : Evolution du niveau de la nappe des différents piézo.....	33
Tableau 9 : Niveau piézométrique lors des événements pluvieux.....	34

Avant-Propos

Je réalise mon stage d'une durée de 11 semaines, du 17 avril 2023 au 30 juin 2023, au sein de l'UMR G-Eau de l'Institut Agro Montpellier et l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) situés à Montpellier.

L'Unité mixte de recherche (UMR) G-Eau est une unité de recherche composée de 90 chercheurs et ingénieurs permanents, ainsi qu'une cinquantaine de doctorants et postdoctorants. Ses travaux portent sur la gestion intégrée et adaptative de l'eau, comprenant l'analyse des hydrosystèmes, le développement d'outils pour les politiques publiques et la formation d'étudiants.

L'INRAE est un institut de recherche de premier plan qui se concentre sur l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. Grâce à la recherche, l'innovation et l'appui aux politiques publiques, il contribue à proposer de nouvelles orientations favorisant le développement de systèmes agricoles et alimentaires durables.

Le stage est encadré par Armand CRABIT, chercheur et maître de conférences en hydrologie de l'UMR G-Eau et Raphaël METRAL, ingénieur à l'UMR ABSYS et associé à l'Institut des hautes études de la vigne et du vin (IHEV).

Glossaire

- **Agroforesterie** : L'agroforesterie est l'association d'arbres et de cultures ou d'animaux sur une même parcelle. Cette pratique permet une meilleure utilisation des ressources et une plus grande diversité [1]. L'agro-écologie est une approche globale de l'agriculture durable tandis que l'agroforesterie est une pratique spécifique qui peut être utilisée dans le cadre de l'agro-écologie.
- **Biodiversité** : La biodiversité est la diversité des organismes vivants, qui s'apprécie en considérant la diversité des espèces, celle des gènes au sein de chaque espèce, ainsi que l'organisation et le répartition des écosystèmes [2].
- **Couverts végétaux** : Un couvert végétal désigne un ensemble de végétaux recouvrant le sol de manière permanente ou temporaire [3].
- **Adventice** : Se dit d'une plante qui pousse spontanément dans une culture et dont la présence est plus ou moins nocive à celle-ci [4].
- **Mildiou** : Maladies des plantes dues à des champignons et surtout observées sur les feuilles, sur la face inférieure desquelles apparaît un fin duvet blanc, gris ou violacé [5].
- **Oïdium** : Maladie causée à la vigne par un champignon qui développe un mycélium externe sur les feuilles et les grappes [6].
- **IFT** : L'Indice de Fréquence de Traitement est un indicateur de suivi de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (pesticides) à l'échelle de l'exploitation agricole ou d'un groupe d'exploitations. Il comptabilise le nombre de doses de référence de produits phytosanitaires appliquées par hectare au cours d'une campagne culturale [7].

Introduction

La monoculture et l'agriculture intensive ont été les piliers de l'agriculture pendant de nombreuses années. Mais elles ont entraîné des conséquences majeures telles que la dégradation de la fertilité des sols, la diminution des rendements des cultures et une utilisation excessive de l'eau. Face à ces problèmes, l'agro-écologie émerge comme une solution prometteuse. Etant une discipline scientifique et un enjeu sociétal majeur, elle cherche à promouvoir des pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement tout en répondant aux besoins alimentaires croissants de la société. De plus, en raison du changement climatique actuel, il est devenu essentiel de modifier les pratiques initialement mises en place afin de préserver efficacement la ressource en eau et de mieux anticiper les futurs défis liés aux stress hydrique des cultures. Au sein d'institutions telles que l'UMR G-Eau et l'Institut Agro Montpellier et l'INRAE, des recherches approfondies sont menées dans ce domaine afin de contribuer à la transition vers une agriculture plus durable et résiliente.

Dans ce contexte, un exemple concret de l'application de l'agro-écologie peut être observé au domaine du Chapitre, situé à Villeneuve-lès-Maguelone, où des parcelles agro-écologiques ont été mises en place. Cette initiative peut soulever la question des impacts de l'agroécologie sur le parcours hydrique à travers l'exemple du domaine du Chapitre.

Ainsi, pour répondre à cette problématique, je présenterai dans un premier temps un aperçu des connaissances actuelles sur l'agro-écologie et ses impacts. Ensuite, je mettrai en lumière le projet SALSA qui est à l'origine des pratiques au domaine du Chapitre. Par la suite, je décrirai en détail le matériel et les méthodes que j'ai utilisés au cours de mon stage, ainsi que la planification des différentes tâches. Enfin, je présenterai les premiers résultats et analyses issus de mes recherches.

1. État actuel des connaissances

Cette section vise à examiner la littérature scientifique sur l'Agro-écologie, la caractérisation de l'état hydrique des sols et la vigne afin de pouvoir se familiariser avec le sujet.

L'agro-écologie se différencie notamment de l'agriculture traditionnelle par la diversification des cultures, la promotion de la biodiversité et la réduction des intrants [8]. Tandis que l'agriculture conventionnelle se concentre souvent sur une monoculture intensive et l'utilisation d'intrants chimiques pour maximiser les rendements à court terme.

Il existe plusieurs pratiques agro-écologiques telles que le travail réduit du sol, la lutte biologique contre les ravageurs, l'agroforesterie avec des arbres fruitiers [9] et bien d'autres. Cette étude cite plusieurs effets bénéfiques tels que l'augmentation de la fertilité des sols, la réduction d'utilisation d'engrais et de pesticides chimique ainsi qu'une augmentation ou le maintien des rendements agricoles à long terme [9].

La vigne est une culture normalement considérée comme adaptée à des conditions de sécheresse. Selon [10], les facteurs qui influencent l'état hydrique du sol dans les vignobles sont la pluviométrie, l'évapotranspiration, la capacité de rétention en eau du sol et la profondeur de racines de la vigne. Sachant qu'elle comporte une saison active de mars jusqu'à octobre et passive le reste de l'année.

Il convient de noter que l'eau ne doit pas être considérée comme une ressource illimitée à rechercher en quantité maximale à tout prix. En effet, d'après [11], un sol trop humide peut favoriser le développement de maladies fongiques pour la vigne tel que le mildiou et l'oïdium.

Enfin, un indicateur de déficit hydrique potentiellement intéressant est la Fraction of Transpirable Soil Water (FTSW). Elle représente la fraction d'eau utilisable dans le sol pour la plante. D'après [12], le FTSW doit être maintenu entre 0,7 et 0,8 afin d'être en condition optimale pour la transpiration et l'expansion foliaire. De plus, si celui-ci devient inférieur à 0,4, la plante ne transpire plus. Pour déterminer FTSW, il faut faire le ration entre la quantité d'eau utilisable à un instant donné et la réserve d'eau du sol contenue dans la zone racinaire[10].

2. Présentation du projet SALSA

Maintenant, je vais parler du projet SALSA qui est un projet national puis j'évoquerai les spécificités du site du domaine du Chapitre.

2.1. Présentation générale

Mon stage s'inscrit dans un projet national, le projet SALSA. Financé par l'INRAE et l'Office Français pour la Biodiversité (Plan Ecophyto), son objectif est de réduire drastiquement voir supprimer complètement l'utilisation de produits phytosanitaires. On parle ici d'une baisse de 80 à 100 % de l'Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) [13]. Le projet SALSA, de son nom complet « Systèmes viticoles agroécologiques mobilisant la résistance variétale et les régulations naturelles », a commencé en avril 2018 pour une durée de 69 mois. Celui-ci contient des parcelles à trois endroits en France : Bordeaux, Colmar et Montpellier. Ces trois sites d'expérimentation sont conçus autour de trois leviers principaux permettant une viticulture durable :

- La résistance variétale : Les variétés choisies sont tolérantes contre le mildiou et l'oïdium de la vigne.
- Les couverts végétaux : Dans certains inter-rangs, des couverts végétaux sont entretenus. L'objectif est de contrôler la prolifération des adventices, de permettre d'accroître la fertilité et l'infiltrabilité des sols.
- La régulation naturelle des ravageurs : Afin de contrôler la population des ravageurs, les structures associées à la vigne vont encourager la présence de prédateurs naturels en par exemple, leur fournissant des zones d'habitats favorables à leur développement.

Les zones concernées n'ont pas été choisies au hasard. Elles sont différentes tant par leur climat, les variétés utilisées, le mode de conduite, le choix des couverts végétaux ainsi que les règles de décisions.

Lors de mon stage, je ferai l'ensemble de mon travail sur le site de Montpellier. Je vais donc maintenant détailler ce site d'expérimentation.

2.2. Le site de Montpellier

Les parcelles viticoles sont situées au domaine du Chapitre, à Villeneuve-lès-Maguelone (34750), à environ 15 kilomètres de Montpellier. Afin de respecter le projet SALSA, l'INRAE ainsi que l'Institut Agro Montpellier ont opté pour des approches axées sur la diversité des variétés, le travail du sol et la biodiversité. La variété choisie est l'Artaban, une variété créée par l'INRAE, résistante aux deux maladies principales : le mildiou et l'oïdium. Ils réduisent le travail du sol permettant à celui-ci de retrouver une activité biologique et physico-chimique naturelle et insèrent un couvert végétal dans les inter-rangs. Trois types de couvert végétal sont présents ; le premier est laissé totalement naturel et autonome, le second est tondu et le dernier est constitué de bandes fleuries semées.

3. Matériels et Méthodes

3.1. 3 modalités de gestion testées

Au domaine du Chapitre, trois types de cultures sont présents, désignées sous les noms de T, D et A-Viti. Elles correspondent chacune à des pratiques et des caractéristiques différentes.

3.1.1. T-Viti : Vigne « témoin »

T-Viti est une culture à 50 % composée d'Artaban et à 50 % de Syrah, une variété sensible au mildiou et à l'oïdium. La parcelle en question est désignée comme une parcelle « Témoin », afin de comparer les systèmes innovants à la viticulture traditionnelle. Toute la gestion et les techniques utilisées sont laissées au bon vouloir du viticulteur. Dans ce cas, des fongicides seront utilisés pour traiter la Syrah, le travail du sol sera effectué, des herbicides seront appliqués. Le viticulteur a également choisi de ne pas irriguer le témoin. L'inter-rang est de 2,50 m. Elle est constituée de trois blocs dont les caractéristiques dimensionnelles sont représentées en annexe 6.1.1.

3.1.2. A-Viti : Vigne et enherbement de l'inter-rang

A-Viti, quant à elle, comporte uniquement de l'Artaban mais avec un inter-rang plus élevé de 2,80 m. Avec D-Viti, elles suivent les pratiques de gestions décrites en II.2. Elle est constituée de trois parcelles dont les caractéristiques dimensionnelles sont représentées en annexe 6.1.2. Cette culture est entourée de haie. Des couvertures en géotextile sont également placées au pied de chaque vigne. Ces couvertures ont plusieurs avantages, tels que la réduction de l'évaporation de l'eau, le contrôle des mauvaises herbes en bloquant la lumière du soleil, ainsi que la régulation des températures en atténuant les variations excessives.

3.1.3. D-Viti : Vigne, enherbement de l'inter-rang et arbres fruitiers

D-Viti est une parcelle constituée d'Artaban où quatre rangs sont consacrés à la plantation de grenadier et de figuier. Ces arbres ont été plantés pour leurs vertus écologiques permettant une augmentation de la biodiversité et économiques avec la vente des fruits produits. Son inter-rang est le même que pour A-Viti soit 2,80 m. Elle est constituée de trois parcelles dont les caractéristiques dimensionnelles sont représentées en annexe 6.1.3. Cette culture

est entourée de haie. Des couvertures en géotextile sont également placées au pied de chaque vigne.

Pour avoir une vision plus globale du dispositif au domaine du Chapitre, le plan de localisation des parcelles est représenté en annexe 6.1.4.

3.2. Matériels utilisés

Dans le cadre de mon étude sur le parcours hydrique des parcelles, j'ai utilisé des sondes d'humidité et des sondes piézométriques présentes sur les différentes parcelles. J'ai également réalisé des mesures ponctuelles d'humidité à des endroits stratégiques du terrain, ainsi que des tests BEERKAN pour évaluer la capacité d'infiltration du sol.

3.2.1.1. Les sondes GROPOINT

Les sondes GROPOINT sont des sondes d'humidité qui relèvent en continu des valeurs. La sonde de type « Profile » est utilisée au domaine du Chapitre. Grâce à leur électrode brevetée en spirale et leurs technologies Time Domain Transmission (TDT), elles peuvent ainsi relever l'humidité du sol à plusieurs profondeurs. Dans notre cas, la sonde mesure 120 cm de longueur et est installée à 30 cm de profondeur dans l'inter-rang (cf. schéma expérimental). Elle est décomposée en six segments de 15 cm chacun. Un schéma de principe de la sonde est situé en annexe 6.2.1.

En raison des contraintes rencontrées, notamment le passage d'engins pour le fauchage du couvert et le travail superficiel du sol, le dispositif expérimental a été adapté en conséquence et les sondes ont donc été enterrées à 30 cm de profondeur. Ainsi les données ne sont enregistrées qu'à partir de 30 cm de profondeur. Cela est à tenir compte dans l'analyse des chroniques d'humidités : profils hydriques et stock en eau du sol. Pour pallier ce manque, des mesures ponctuelles sont effectuées sur les trente premiers centimètres à l'aide d'une autre sonde d'humidité (Sonde TDR).

3.2.1.2. La sonde TDR

La sonde Time Domain Reflectometry (TDR) a été sélectionnée pour combler le manque de données entre 0 et 30 cm de profondeur. Cette sonde émet une impulsion électromagnétique qui se propage sous forme de micro-ondes entre les tiges de la sonde. En mesurant le temps nécessaire à l'impulsion pour revenir, la sonde peut déterminer l'humidité volumique du sol. Elle mesure 17 cm environ de

long. Ces mesures seront utilisées ultérieurement lors de l'analyse des précipitations et des lames d'eau infiltrées.

3.2.1.3. La sonde DIVINER

Les sondes DIVINER permettent des relevés ponctuels de l'humidité dans le rang. Nous utilisons une sonde DIVINER 2000. Ces relevés sont réalisés par Raphaël Métral et moi-même au cours du stage. La sonde utilisée est une sonde capacitive, ce qui signifie qu'elle mesure la capacité d'un matériau à stocker une charge électrique. Pour ce faire, la sonde applique une tension électrique aux électrodes contenues dans la partie « Sensor ». Plus il y aura d'eau, plus la capacité de stockage du courant sera importante. Dans notre étude, la sonde a une longueur de 160 cm et est installée dans des tubes préalablement percés à cet effet. L'utilisateur fait descendre la sonde lentement à l'intérieur du tube et à chaque intervalle de 10 cm, la sonde enregistre une valeur. Un schéma de principe est en annexe 6.2.2.

3.2.2. La sonde piézométrique

Les sondes DIVER sont des capteurs de pression, disposés suffisamment en profondeur dans la zone saturée pour être immergés, qui mesurent en continu la pression exercée par la colonne d'eau au-dessus du capteur (cf. schéma du dispositif). Les caractéristiques des différents piézomètres sont répertoriées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Caractéristiques des différents piézomètres

	grenach_2m	grenach_5m	agroeco_2m_	agroeco_4m_	hydromorphe_
htube (cm)	47	42	47,4	50	100
Htrou	3,1	9	4,8	6,4	11,6
Lcable	243	527	285	546	275

La membrane du capteur est donc soumise à la pression de l'eau ainsi qu'à la pression atmosphérique. En soustrayant la pression atmosphérique de la pression totale mesurée, on obtient la pression de l'eau. En utilisant l'équation ci-dessous, cette pression est ensuite convertie en une hauteur d'eau au-dessus du DIVER [15].

$$H_{eau} = \frac{P_{eau}}{\rho \times g}$$

Avec :

- H_{eau} la hauteur d'eau au-dessus du capteur en m
- P_{eau} la pression de la colonne d'eau au-dessus du capteur en $N.m^{-2}$
- ρ la masse volumique de l'eau en $kg.m^{-3}$
- g l'accélération de pesanteur en $N.kg^{-1}$

Enfin, pour convertir cette hauteur d'eau en une profondeur de nappe on utilise l'équation suivante [15] :

$$p_{nappe} = L_{diver} - h_{tube} - H_{eau}$$

Avec :

- p_{nappe} la profondeur de la nappe en m
- L_{diver} la longueur de câble en m
- H_{tube} la hauteur du tube en surface en m
- H_{eau} la hauteur d'eau au-dessus du DIVER en m

Le dispositif expérimental est représenté sur la figure ci-dessous.

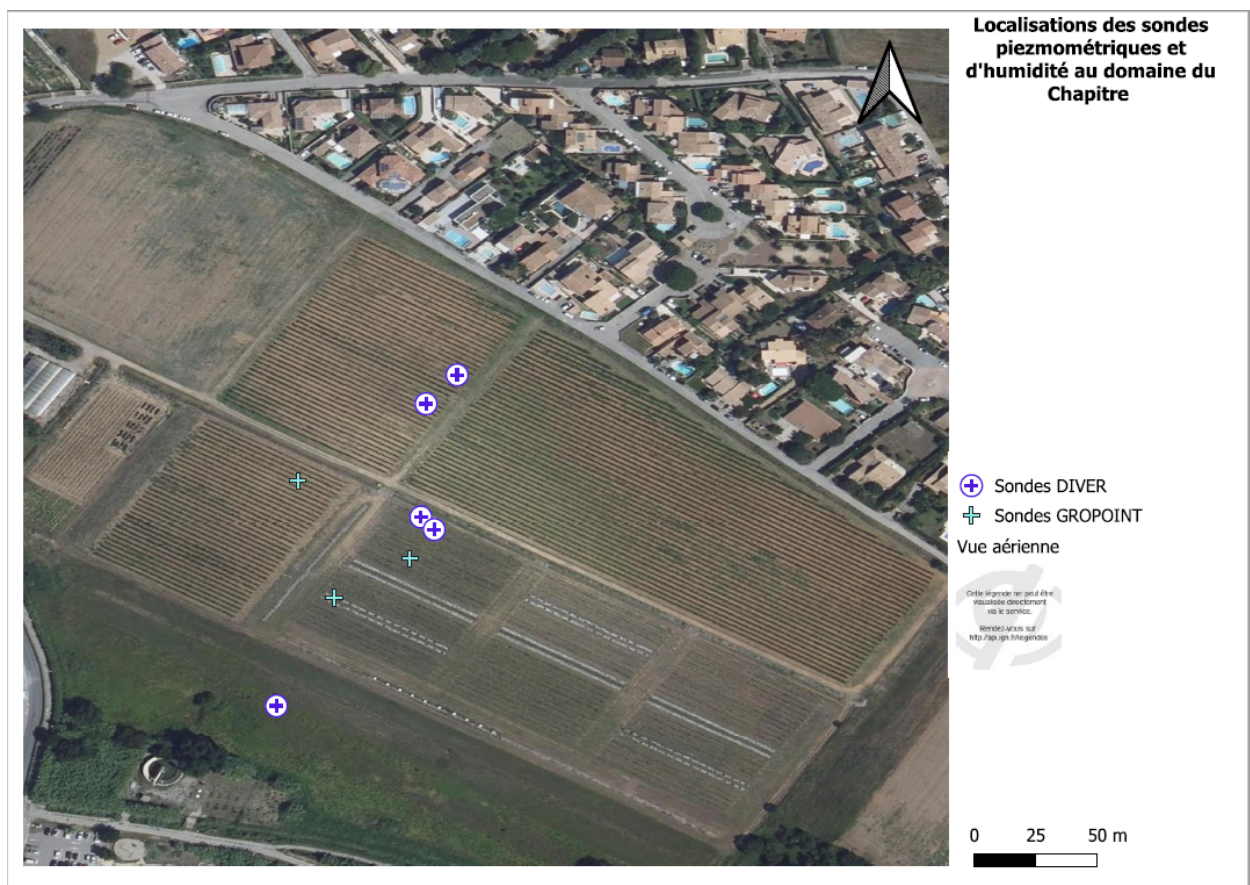


Figure 1 : Localisation du dispositif expérimental

3.2.3. Données climatologiques

Une station météo de l'INRAE (43,54°N | 3,85°E) est présente à proximité et permet la collecte des différentes données climatologiques. Les utilisateurs autorisés peuvent sélectionner la date de début et de fin, le pas de temps ainsi que les variables qui les intéressent. Dans le cadre de ce projet, nous avons choisis d'extraire les données suivantes au pas de temps journalier : les précipitations et l'évapotranspiration potentielle de Penman (ETPP). Afin d'être plus précis, nous avons également extrait les données pluviométriques au pas de temps horaire.

Après avoir introduit le matériel utilisé dans le cadre de ce stage, nous aborderons maintenant la chaîne de traitements des données.

3.3. Chaîne de traitement des données

Le traitement des données est une partie centrale de mon stage. Cette étape implique la mise en forme et l'organisation des données brutes provenant des capteurs, afin de pouvoir entamer l'analyse des chroniques et la production ultérieure d'indicateurs.

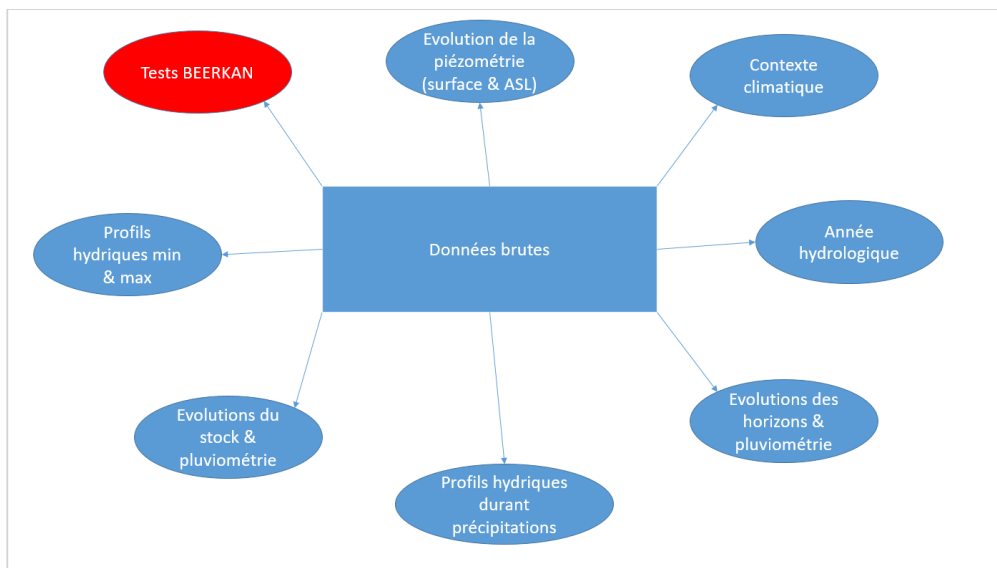


Figure 2 : Chaîne de traitement des données

Cette figure illustre la démarche développée ainsi que les différentes étapes constituant l'analyse des chroniques d'humidités. Les étapes marquées en bleu sont opérationnelles au moment de la rédaction de ce mémoire, tandis que celles marquées en rouge sont encore en cours de finalisation. Parmi les différents codes finalisés, on retrouve :

1. Analyse à l'échelle de l'année hydrologique : Il s'agit ici de découper les chroniques par « Année hydrologique », c'est-à-dire du 1^{er} septembre de l'année x au 31 août de l'année x+1.
2. Analyse climatique :
 - 2.1. Il s'agit ici de produire des éléments graphiques permettant de caractériser les années étudiées du point de vue climatique et afficher les chroniques de différentes variables climatiques sélectionnées, créer un tableau présentant la répartition pluviométrique mensuelle et le déficit hydrique climatique par années hydrologiques, ainsi que d'afficher les chroniques des lames d'eau cumulées pour chaque année hydrologique.
 - 2.2. L'objectif est aussi d'identifier les différents événements pluvieux observés et créer un tableau contenant les dates de début et de fin des événements pluvieux, la quantité de pluie précipitée sur cette période, ainsi que l'intensité maximale atteinte (mm/h).
3. Analyse du parcours hydrique des 3 parcelles :
 - 3.1. Il s'agit ici d'afficher les chroniques d'humidités des différents horizons de mesures des sondes GROPOINT ainsi que la pluviométrie, permettant de visualiser la dynamique sur l'ensemble de la période d'acquisition de données.
 - 3.2. Sur la base des données d'humidités, une estimation des stocks en eau du sol a été réalisée sur le profil 30 cm – 150 cm (les humidités de surface n'ayant pas été mesurées).
 - 3.3. A partir de la liste d'événements de précipitations préalablement identifiés, des profils hydriques au pas de temps horaire ont été réalisés pour chaque événement (caractérisé par une date de début et de fin).
 - 3.4. Par ailleurs, les profils hydriques « min » et « max » ont également été représentés afin de pouvoir comparer la variabilité des humidités minimales et maximales en profondeur des différentes parcelles.

Ces résultats graphiques ont été élaborés à l'aide du logiciel R. Sur la base de l'établissement de ces chroniques, plusieurs indicateurs de suivi hydrique ont été estimés avec pour objectif d'étudier et comparer les parcours hydriques des trois parcelles étudiées.

3.4. Indicateurs pour l'analyse des parcours hydriques

La production d'indicateurs constitue la dernière étape essentielle de la méthodologie. Cependant, avant d'aborder les indicateurs, il est nécessaire de définir les événements de pluie et d'infiltration.

3.4.1. Identification et caractérisation des événements de pluie et d'infiltrations

3.4.1.1. Identification des événements de pluie

Comme mentionné dans la section 3.3, et afin de pouvoir caractériser les différents événements de précipitation et la lame d'eau infiltrée associées des critères d'identification ont été définis. Dans la présente étude, un événement de précipitation est défini selon les critères suivants :

- Une lame d'eau cumulée sur la période de l'événement d'au moins 10 mm.
- Une intensité de précipitation supérieure ou égale à 2.5 mm/h.
- Un intervalle entre deux événements d'au moins 60 minutes.

3.4.1.2. Caractérisation des événements d'infiltrations

Un décalage temporel existe entre la fin de l'événement de pluie et la fin de l'infiltrabilité de la lame d'eau dans le sol. Un événement d'infiltration est défini comme la période pendant laquelle le sol absorbe toute l'eau qui lui est possible d'absorber provenant d'un événement de précipitation. En utilisant le logiciel R, nous le définissons comme la valeur maximale atteinte du stock d'eau depuis le début de l'événement. Sur la figure 2 ci-dessous, qui illustre l'évolution du stock d'eau du sol le 13 mars 2022, la fin de l'événement d'infiltration est représentée par une flèche.

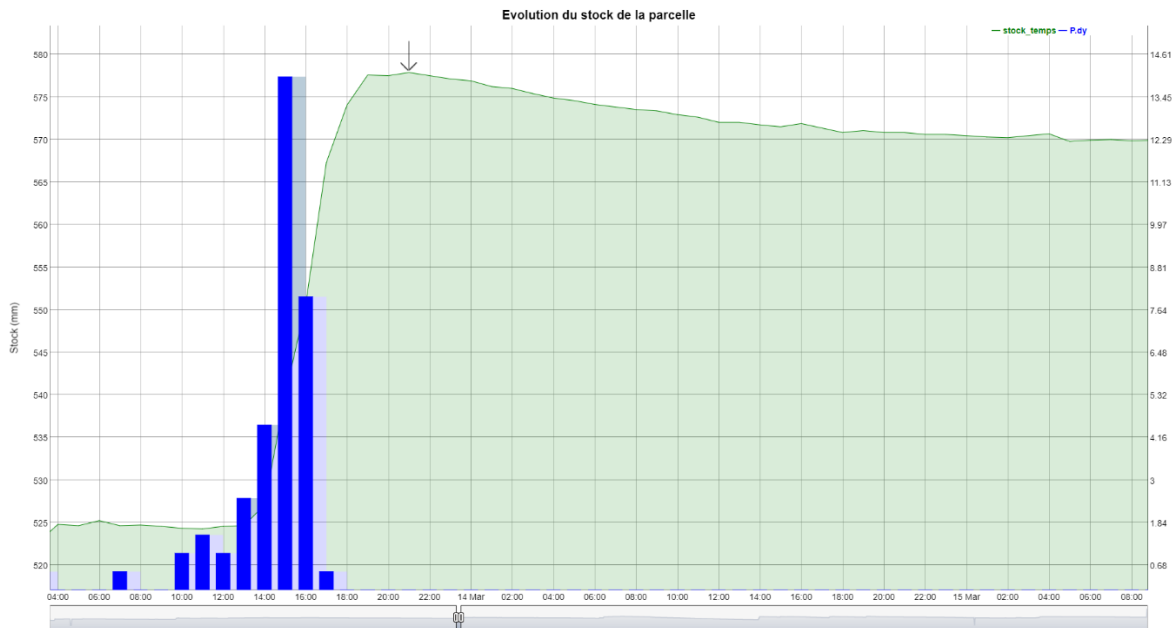


Figure 3 : Détermination des évènements d'infiltration

Après avoir défini les évènements de pluie et d'infiltration, nous allons maintenant énumérer les différents indicateurs qui seront utilisés.

3.4.2. Liste des indicateurs utiles pour la comparaison des différentes modalités de gestions

Grâce aux données disponibles et aux programmes produits, il est possible d'établir une liste d'indicateurs basée sur différentes échelles de temps, l'année hydrologique, la saison et l'évènement pluvieux. La liste qui va suivre n'est pas exhaustive étant donné que je n'ai pas fini cette tâche:

- Évolution du stock : Nous comparons l'évolution du stock d'eau du sol (sur le profil 0 – 150 cm) entre différentes années hydrologiques pour étudier la variabilité des stocks selon durant l'année hydrologique, caractériser les périodes de « recharge » et les périodes de « vidange » du réservoir sol. Nous pouvons également analyser en fonction des saisons hivernales et estivales de l'année hydrologique.
- Lame d'eau infiltrée : En déterminant la variation de stock d'eau du sol pendant un évènement pluvieux, il est possible d'estimer une lame d'eau infiltrée. Cependant, il convient de noter que les sondes d'humidités ne mesurent pas dans la couche superficielle de 0 à 30 cm. Ainsi, la valeur estimée comprendra quelques incertitudes. Il est tout de fois nécessaire de vérifier si le niveau de la piézométrie n'est pas trop remonté pendant l'épisode pluvieux. En effet, si le niveau est remonté à plus de 150 cm de

profondeur il faudra recalculer la variation de stock sur les horizons où la nappe phréatique n'a pas interféré.

- Évolution du niveau piézométrique : L'évolution du niveau piézométrique peut être analysée à l'échelle de l'année hydrologique, permettant ainsi de comparer les niveaux d'une année à l'autre. Cela permet de déterminer si le niveau piézométrique revient au niveau initial d'une année à l'autre. De plus, l'évolution du niveau peut être étudiée spécifiquement pendant les périodes estivales et hivernales de l'année hydrologique. Enfin, il est possible d'observer l'évolution du niveau piézométrique lors d'un événement de pluie donnée.
- Réactivité aux évènements de précipitations : En comparant la quantité de précipitations avec la variation de stock dans les parcelles, nous serons en mesure d'identifier les événements de pluie actifs. Nous avons défini de manière arbitraire qu'un événement de pluie actif est caractérisé par une augmentation de x unités d'humidité sur l'horizon de 30 à 45 cm de profondeur. Si cette augmentation n'est pas observée, l'événement de pluie est considéré comme passif pour la parcelle, ce qui signifie que la quantité d'eau infiltrée n'est pas significative.
- Temps d'infiltration : Pour chaque évènement de pluie, nous comparons le temps qu'il a fallu à la parcelle pour atteindre sa valeur maximale.

La description détaillée du matériel et des méthodes que j'ai utilisé tout au long de mon stage est à présent terminée.

4. Résultats & Discussion

Avant d'aborder les résultats des premiers indicateurs, il serait pertinent de commencer par une analyse comparative des profils hydrique minimum et maximum des différentes parcelles. Cela permettra de mettre en perspective les différentes modalités et de mieux comprendre les résultats obtenus.

4.1. Analyses chroniques des parcelles

L'étude et la comparaison entre les modalités (T, D et A-Viti) des profils hydriques minimum et maximum est effectuée au long de la plage de données c'est-à-dire du 1 septembre 2021 au 23 avril 2023. Ils sont représentés par la figure 4 ci-dessous.

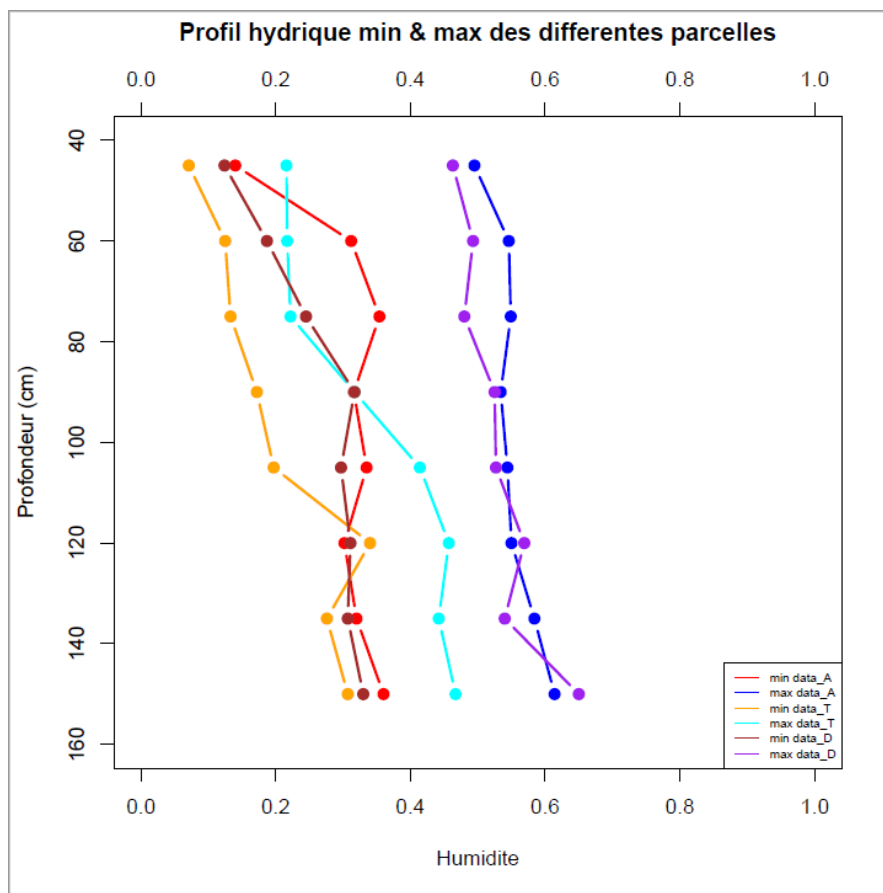


Figure 4 : Profils hydrique minimum et maximum des modalités

La figure ci-dessus présente les profils minimaux des parcelles T, D et A-Viti, représentés par les courbes orange, marron et rouge. Les profils maximaux des mêmes parcelles sont représentés par les courbes cyan, violet et bleu.

Selon la description dans la section 3.1.1.1, les sondes GROPOINT sont composées de huit segments de mesure, chacun ayant une longueur de 15 cm. Nous avons choisi arbitrairement que le point de mesure serait situé à la profondeur la plus élevée de chaque segment. Par exemple, pour le segment de 30 à 45 cm, le point de mesure est indiqué à une profondeur de 45 cm.

Lors de l'analyse des profils minimaux des différentes parcelles, on observe des variations significatives dans les 120 premiers centimètres. T-Viti présente des valeurs nettement inférieures aux deux autres parcelles, tandis que A-Viti est supérieure à D-Viti dans la plage de profondeur de 30 à 90 cm, puis l'ordre s'inverse dans la plage de 90 à 120 cm. Il est également important de noter qu'à une profondeur de 120 cm, T-Viti est légèrement plus élevée que les deux autres. Cette observation pourrait être attribuée à une zone humide permanente.

En analysant les profils maximaux, il est observé que T-Viti présente des valeurs extrêmement faible d'humidité, atteignant seulement 0,2 jusqu'à 105 cm de profondeur. En se basant sur les connaissances des pratiques de gestion de T-Viti et des observations sur le terrain, il est supposé qu'il existe une croûte de battance permanente sur ces parcelles, ce qui expliquerait les valeurs enregistrées près de la surface. En revanche, D-Viti et A-Viti affichent des valeurs d'humidité similaire, situées entre 0,4 et 0,6 sur l'ensemble du profil.

À partir de cette analyse, on peut conclure que les parcelles D-Viti et A-Viti semblent présenter des fonctionnements hydriques similaires, tandis que la parcelle T-Viti semble moins réactive aux évènements de pluie que les deux autres. Maintenant, je vais parler de l'extraction des évènements de pluie et la définition des évènements d'infiltration.

4.2. Les Évènements de pluie et d'infiltrations

En utilisant la méthode décrite en 3.4.1, on obtient le tableau suivant regroupant les évènements de pluie.

Tableau 2 : Événements de pluie

	date_debut	date_fin	duree (min)	max horaire	cumul evenement
1	03/09/2021 09:00	03/09/2021 12:00	240	56,5	98,5
2	15/09/2021 19:00	15/09/2021 19:00	60	10	10
3	16/09/2021 16:00	16/09/2021 17:00	120	13,5	16
4	30/10/2021 21:00	31/10/2021 04:00	540	14	62
5	01/11/2021 03:00	01/11/2021 04:00	120	32	41,5
6	13/03/2022 13:00	13/03/2022 16:00	240	14	29
7	14/08/2022 08:00	14/08/2022 08:00	60	25,5	25,5
8	06/09/2022 14:00	06/09/2022 15:00	120	48	54
9	07/09/2022 21:00	07/09/2022 21:00	60	19,5	19,5
10	14/09/2022 04:00	14/09/2022 04:00	60	13	13
11	24/09/2022 00:00	24/09/2022 02:00	180	81	106,5
12	28/11/2022 06:00	28/11/2022 07:00	120	11	14,5

En appliquant les différents critères décrit dans la partie méthode, nous avons identifié 12 évènements de pluie sur la période de mesures, avec des durées variables et des cumuls de pluie allant de 10 à 106,5 mm.

À partir de la définition de ces évènements de pluie, les évènements d'infiltrations des différentes parcelles ainsi que la variation de stock sont répertoriés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Date d'infiltration des différentes parcelles

Parcelle A			
Stock début (mm)	Stock max	Date Stock max	Delta(S)
366,23	470,7	03/09/2021 13:00	104,47
463,43	463,8	16/09/2021 00:00	0,37
462,6	488,78	16/09/2021 18:00	26,18
438	528	31/10/2021 08:00	90
520,2	550,88	01/11/2021 04:00	30,68
524,63	577,88	13/03/2022 21:00	53,25
610,88	649,58	14/08/2022 11:00	38,7
564,23	648,83	06/09/2022 17:00	84,6
634,88	650,33	07/09/2022 23:00	15,45
626,4	626,25	14/09/2022 07:00	-0,15
599,03	662,4	24/09/2022 10:00	63,37
536,25	545,7	29/11/2022 12:00	9,45
Parcelle D			
318,45	533,63	03/09/2021 12:00	215,18
372,15	373,2	16/09/2021 04:00	1,05
372,38	381,6	17/09/2021 01:00	9,22
365,33	493,09	31/10/2021 02:00	127,76
462,08	537,6	01/11/2021 04:00	75,52
456,15	530,33	13/03/2022 16:00	74,18
379,58	492,3	14/08/2022 10:00	112,72
405,83	542,7	06/09/2022 16:00	136,87
466,43	547,05	07/09/2022 23:00	80,62
527,17	526,8	14/09/2022 07:00	-0,37
503,1	636,75	24/09/2022 05:00	133,65
Absence de données			
Parcelle T			
262,88	263,18	03/09/2021 19:00	0,3
261,9	262,35	16/09/2021 08:00	0,45
261,52	261,83	17/09/2021 01:00	0,31
244,73	251,63	31/10/2021 05:00	6,9
254,25	256,65	01/11/2021 08:00	2,4
261,45	390	25/03/2022 22:00	128,55
289,95	300,98	14/08/2022 10:00	11,03
Absence de données			
Absence de données			
Absence de données			
Absence de données			
Absence de données			

En examinant ces tableaux, nous constatons des absences de données pour D-Viti et T-Viti lors de certains événements. Les absences de données pour T-Viti sont dues au fait que la sonde a été endommagée à la fin du mois d'août 2022 et a donc dû être retirée. En revanche, les raisons des absences de données pour D-Viti restent inexplicables.

À partir de ces données, l'étape suivante consiste à générer des indicateurs et à effectuer des comparaisons entre les différentes parcelles.

4.3. Les indicateurs produits

Le premier indicateur produit est l'évolution suivant les différentes échelles de temps.

4.3.1. Évolution du stock

4.3.1.1. Suivant l'année hydrologique

En appliquant la méthode décrite dans la section 3.4.2, nous insérons les valeurs initiales de stock d'eau pour chaque année hydrologique dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Valeur de stock de début d'année hydrologique

	Parcelle A-Viti	Parcelle D-Viti	Parcelle T-Viti
2022	368,1	320,02	263,63
2023	587,1	415,95	X

En analysant le tableau, nous pouvons tirer plusieurs conclusions malgré le fait que nous disposons de seulement deux années hydrologiques différentes. Tout d'abord, nous observons que les valeurs de stock d'eau au début de l'année hydrologique 2022 suivent l'ordre suivant : $S_{A-Viti} > S_{D-Viti} > S_{T-Viti}$. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la modalité A-Viti consomme moins d'eau que les deux autres modalités et/ou absorbe mieux les précipitations.

Ensuite, la variation de stock d'eau est positive pour les modalités A-Viti et D-Viti entre l'année 2022 et l'année 2023. Cependant, ces deux modalités n'augmentent pas avec la même intensité. En effet, A-Viti connaît une augmentation de 219 mm, tandis que D-Viti ne connaît qu'une augmentation de 95,93 mm. Cette différence peut être attribuée à une variation de la recharge du sol entre 2022 et 2023, mais elle n'affecte pas les deux parcelles de la même manière.

Nous allons maintenant diviser l'évolution en fonction des saisons afin de mieux comprendre les observations précédentes concernant l'année hydrologique.

4.3.1.2. Suivant l'été et l'hiver hydrologique

L'été et l'hiver hydrologique sont déterminés en fonction du déficit hydrique climatique, c'est-à-dire la différence entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ET0). Si le déficit hydrique est positif, cela indique que nous sommes en hiver, et s'il est négatif, cela indique que nous sommes en été. En se basant sur le tableau présenté en annexe 6.4, nous pouvons conclure que l'hiver hydrologique s'étend de septembre à janvier pour les années 2022 et 2023.

Maintenant, nous pouvons analyser l'évolution du stock d'eau en le décomposant selon les périodes de l'été et de l'hiver hydrologique. Les deux tableaux contenant ces valeurs sont situés ci-dessous.

Tableau 5 : Valeurs de stock de début et de fin d'hiver

	Parcelle A-Viti		Parcelle D-Viti		Parcelle T-Viti	
	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin
2022	368,1	559,35	320,02	481,2	263,63	260,4
2023	587,1	626,4	415,95	573,67	X	X

Tableau 6 : Valeurs de stock de début et de fin d'été

	Parcelle A-Viti		Parcelle D-Viti		Parcelle T-Viti	
	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin
2022	559,4	587,1	481,2	415,95	260,4	296,8

Les deux tableaux fournissent plusieurs observations intéressantes. En examinant d'abord l'évolution pendant l'hiver hydrologique, qui est normalement une période de recharge du sol, nous constatons des différences de comportements entre les parcelles. Tout d'abord, conformément à ce qui a été mentionné dans la section 5.1, T-Viti se distingue nettement des deux autres parcelles. En effet, son sol ne se recharge pas du tout pendant l'hiver hydrologique, mais au contraire, il diminue. Selon les pratiques de gestion, cela peut suggérer la formation d'une croûte de battance sur T-Viti, qui empêche l'infiltration de la lame d'eau. De plus, il est intéressant de noter que la variation de stock pendant l'hiver hydrologique est toujours plus élevée pour A-Viti que pour D-Viti. Cela peut

s'expliquer par une infiltration plus importante pour A-Viti et/ou par une consommation plus importante pour D-Viti, en raison de la mise en place de l'agroforesterie.

Pendant l'été, qui est généralement une période de perte d'eau du sol due à l'évaporation et à la transpiration des plantes, nous observons également des différences de comportement. A cet égard, il est surprenant de constater que les stocks d'eau dans le sol augmentent pour la parcelle A-Viti et la parcelle T-Viti, tandis que logiquement, le stock d'eau de la parcelle D-Viti diminue.

Afin d'expliquer ce phénomène, nous pouvons remonter un peu dans le temps pour rechercher des événements susceptibles d'avoir causé cette valeur de stock. La figure 5 ci-dessous illustre l'évolution du stock de A-Viti durant le mois d'août.

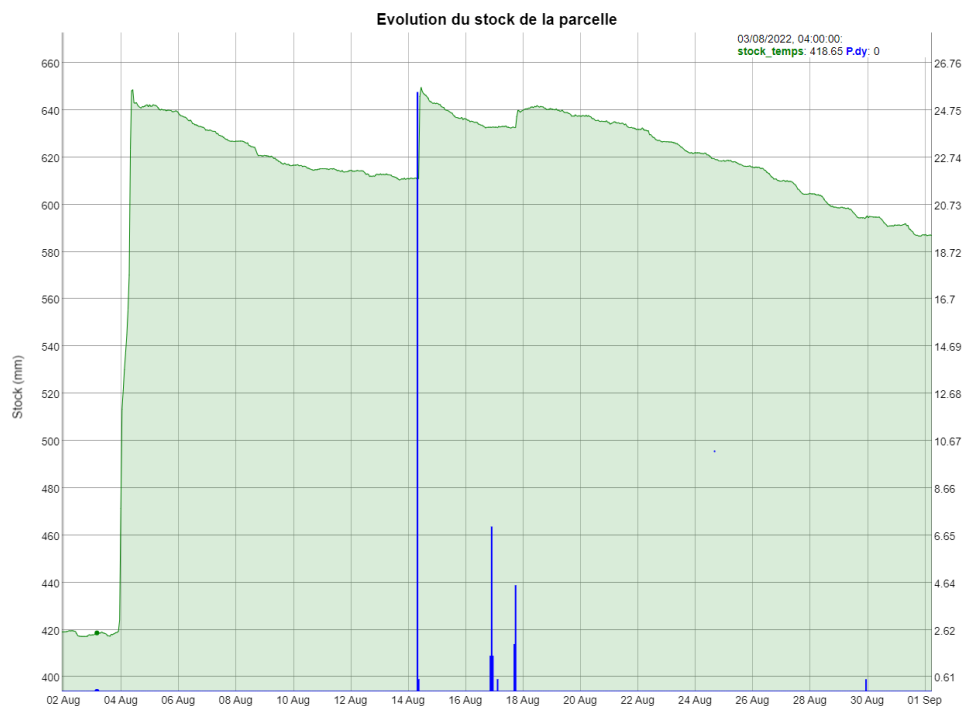


Figure 5 : Evolution du stock de la parcelle A-Viti

Le graphique représente l'évolution du stock de la parcelle A-Viti (représenté en vert) ainsi que les précipitations (représentées en bleu) au fil du temps. Premièrement, il est important de noter que les parcelles D-Viti et A-Viti ont été irriguées pendant l'été 2022, contrairement à l'été 2021. Un gros épisode d'irrigation a eu lieu le 4 août, ce qui a eu pour effet d'augmenter le stock de A-

Viti d'environ 200 mm. Ensuite, le 14 août, un événement pluvieux de 25,5 mm (voir tableau 1) s'est produit, ce qui a eu pour conséquence d'accroître davantage le stock de la parcelle pour atteindre 640 mm. Malgré la consommation d'eau durant le reste du mois, le stock est resté très élevé. Cela explique l'augmentation d'eau pendant l'été ainsi que la différence de stock enregistrée dans le tableau 5.

Maintenant, la question qui se pose est pourquoi le stock de D-Viti n'augmente pas dans ce cas-là également. Pour cela, la figure 6 ci-dessous illustre l'évolution du stock de D-Viti durant le mois d'août.

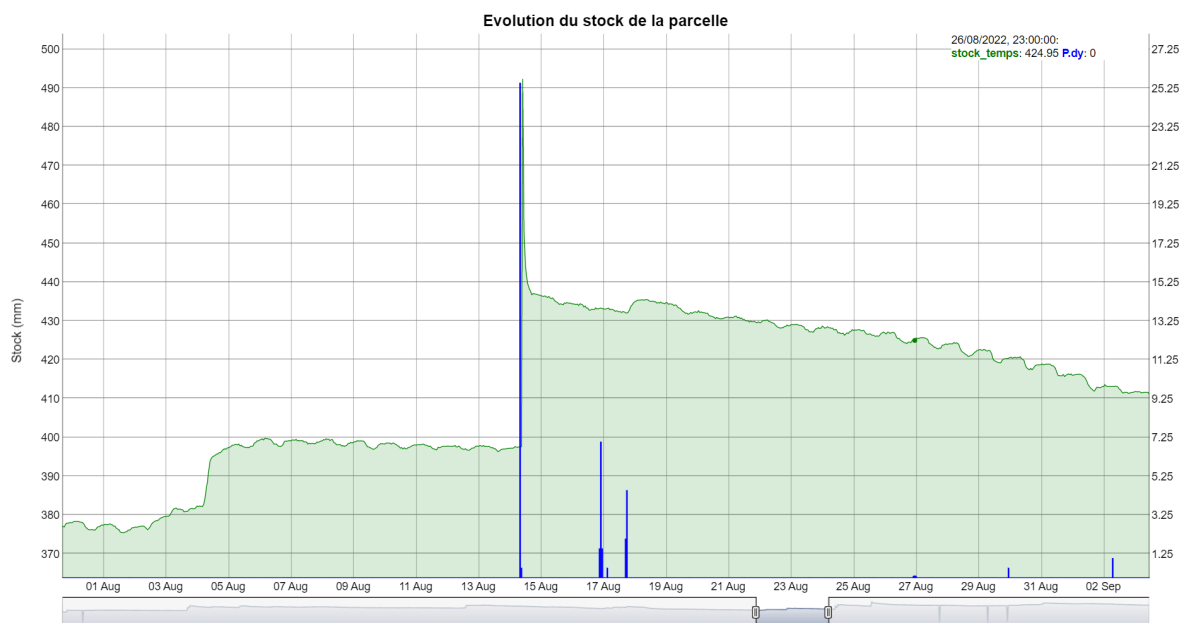


Figure 6 : Evolution du stock de la parcelle D-Viti

Le graphique représente l'évolution du stock de la parcelle A-Viti (représenté en vert) ainsi que les précipitations (représentées en bleu) au fil du temps. On remarque que l'évènement d'irrigation du 4 août n'a pas du tout eu le même impact que pour A-Viti. En effet, le stock de D-Viti n'a augmenté que de 20 mm, ce qui est nettement inférieur à celui de A-Viti. Après consultation des techniciens en charge de l'irrigation, plusieurs causes ont été identifiées. La première possibilité est l'absence de compteur de débit, ce qui signifie que les deux modalités peuvent ne pas avoir reçu la même quantité d'eau. La deuxième possibilité est qu'un phénomène d'écoulement préférentiel s'est produit. Cela se produit lorsque la topologie du terrain, la composition du sol et sa structure favorisent un écoulement qui accumule l'eau près de la sonde GROPOINT. Par conséquent, les estimations pour A-Viti pourraient être faussées. Enfin, la dernière

possibilité est que, en raison du débit d'irrigation, l'eau a pu s'infiltrer dans A-Viti mais pas dans D-Viti, ce qui a entraîné une perte par ruissellement.

Comme T-Viti n'a pas été irrigué, il va falloir trouver dans un autre indicateur la réponse à cette question.

Maintenant, passons à l'étude de la piézométrie.

4.4. La piézométrie

Au Chapitre, il existe des nappes phréatiques qui doivent être prises en compte dans l'étude. Il est donc essentiel d'analyser l'évolution du niveau de ces nappes pendant les épisodes de pluie afin de déterminer une estimation considérée de la lame d'eau infiltrée. Cette analyse permet également d'observer l'évolution du niveau des nappes au fil des années et des saisons.

4.4.1. Suivant l'année hydrologique

Sur le domaine, il y a un total de cinq sondes piézométriques. La carte en annexe 5.3.1 représente leur emplacement. Les sondes sont réparties en deux « couples » situés dans les parcelles, ainsi qu'une sonde isolée à distance. Le couple supérieur comprend une sonde placée à 2 mètres de profondeur et une autre à 5 mètres de profondeur pour la modalité T-Viti. Le couple inférieur est constitué d'une sonde à 2 mètres et d'une autre à 4 mètres de profondeur pour les modalités A-Viti et D-Viti. La sonde isolée est positionnée dans la zone hydromorphe et sert de point de référence comparatif par rapport aux autres sondes. Le code relatif à la piézométrie génère un graphique illustré dans la figure 6 ci-dessous.

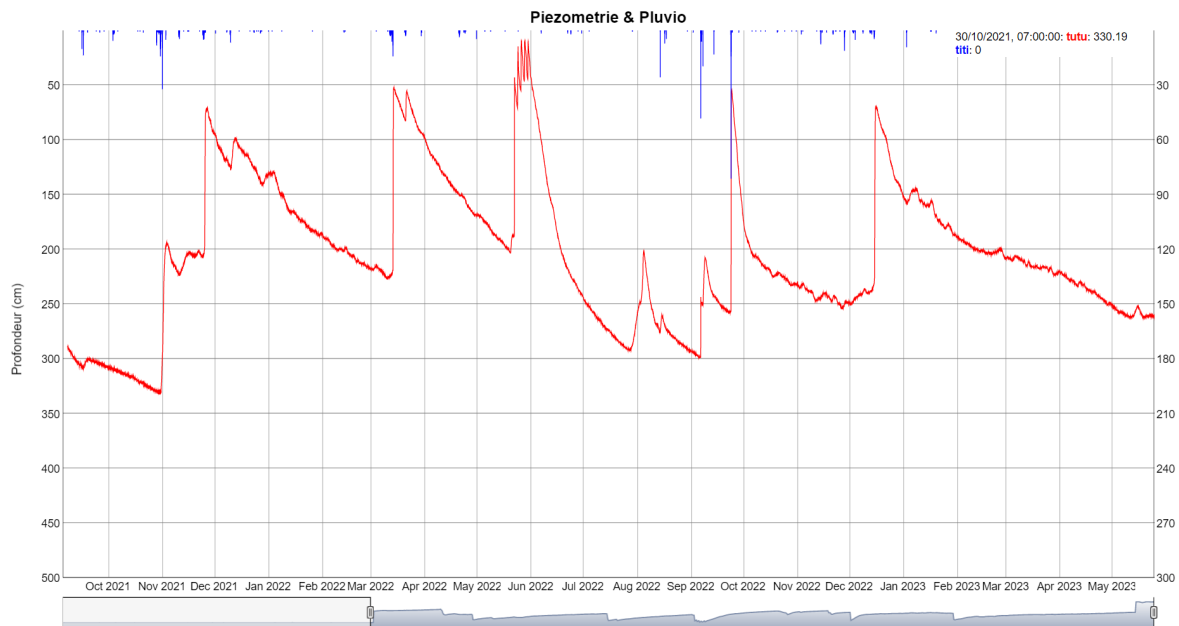


Figure 7 : Exemple d'évolution de la piézométrie

Dans ce graphique, l'évolution du niveau de la nappe phréatique est représentée en rouge, tandis que les précipitations sont indiquées en bleu sur l'axe supérieur. A chaque début d'année hydrologique, nous relevons le niveau de la nappe, et ces valeurs sont consignées dans le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 7 : Niveau de la nappe en fonction de l'année hydrologique

	Niveau nappe (cm)		
	T-Viti (07/09)	D-Viti et A-Viti (07/09)	hydromorphe (27/01)
2022	470	288	34
2023	414	249	38

Les sondes n'ont pas été toutes installées simultanément. Les sondes pour les modalités T-Viti, D-Viti et A-Viti ont été installées le 07/09/2021, tandis que la sonde pour la zone hydromorphe a été installée le 27/01/2022.

Étant donné que la sonde piézométrique pour la zone hydromorphe a été installé après le début de l'hiver hydrologique (le 1^{er} septembre), nous comparons le niveau entre le 27/01/2022 et le 27/01/2023. La variation entre les deux années est négligeable. Nous sommes à la fin de l'hiver hydrologique et le niveau de la nappe est presque à la surface.

Pour D-Viti et A-Viti, le niveau de la nappe est plus élevé de 40 cm en 2023 par rapport à l'année précédente. Cette augmentation est probablement due à l'irrigation et/ou aux précipitations survenus au milieu du mois d'août.

En ce qui concerne T-Viti, le niveau de la nappe a augmenté de 56 cm entre l'année hydrologique 2022 et l'année hydrologique 2023. Cependant, étant donné que la sonde a été arrachée fin août, il est difficile de donner une explication précise, mais il est probable que cette augmentation soit due aux pluies du mois d'août. Malgré cela, la profondeur de la nappe reste relativement basse, atteignant 4,14 mètres.

4.4.2. Suivant l'été et l'hiver hydrologique

En utilisant la même approche que pour le suivi de l'évolution du stock d'eau dans le sol, nous avons également étudié l'évolution du niveau de la nappe phréatique d'une saison à l'autre. Les valeurs correspondantes sont récapitulées dans le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8 : Evolution du niveau de la nappe des différents piézo

T-Viti (07/09)						
Hiver			Été			
	Debut	Fin	DELTA	Debut	Fin	DELTA
2022	470	324	146	324	414	-90
2023	414	191	223	191	350	-159
D-Viti & A-Viti(07/09)						
Hiver			Été			
	Debut	Fin	DELTA	Debut	Fin	DELTA
2022	288	131	157	131	249	-118
2023	249	150	99	150	261	-111
hydromorphe (27/01)						
Hiver			Été			
	Debut	Fin	DELTA	Debut	Fin	DELTA
2022	X	34	-	34	78	-44
2023	78	38	40	38	68	-30

Plusieurs choses peuvent être tirées de ces tableaux. Tout d'abord, il est important de noter que les relevés piézométriques ont été effectués à la fin de l'été 2023, précisément le 25 mai 2023. Par conséquent la valeur de fin d'été n'est pas la valeur réelle.

En ce qui concerne T-Viti, on remarque que les phases de recharge et de consommation d'une année à l'autre ne sont pas tout à fait identiques. Pendant l'hiver 2023, la nappe phréatique s'est rechargée de 2,23 m pour atteindre une profondeur de 1,91 m, tandis qu'en 2022, elle s'est rechargée de 1,46 m pour atteindre une profondeur de 3,24 m. La raison exacte de ces différences est difficile à expliquer, car les données d'infiltration durant cet hiver précis sont manquantes en raison de l'arrachage de la sonde d'humidité. Cependant, on remarque que la phase estivale consomme cette eau et ramène le niveau à un niveau proche de celui de 2022.

Pour ce qui est des deux autres nappes, les valeurs sont pratiquement identiques d'une année à l'autre, avec une recharge légèrement plus faible pour D-Viti et A-Viti.

4.5. Lame d'eau infiltrée

L'un des objectifs de ce stage est d'estimer les lames d'eau infiltrées lors des événements de pluie. Cependant, en examinant les tableaux 1,2,3 et 4, nous constatons que certaines valeurs de lame d'eau infiltrée dépassent la quantité totale de pluie, ce qui est impossible. Cela suggère qu'il peut y avoir des remontées de la nappe qui faussent nos estimations. Afin d'obtenir des estimations de variation de stock plus précises, nous allons prendre en compte la profondeur de la nappe pour chaque événement d'infiltration, et la soustraire du calcul de la lame d'eau infiltrée. On stocke ces valeurs dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 : Niveau piézométrique lors des événements pluvieux

duree (min)	max horaire	cumul evenement	T-Viti		D-Viti et A-Viti	
240	56.5	98.5	X	X	X	X
60	10	10	411	403	305	300
120	13.5	16	X	X		
540	14	62	492	490	329	194
120	32	41.5	X	X		
240	14	29	347	156	223	52,8
60	25.5	25.5	439	401	274	262
120	48	54	418	373	298	208
60	19.5	19.5	X	X		
60	13	13	358	354	242	246
180	81	106.5	354	200	256	64
120	11	14.5	365	351	251	248

D'après ce tableau, nous pouvons observer que la nappe phréatique remonte jusqu'à la zone de mesure de la sonde GROPOINT lors des événements 6 et 11 pour D-Viti et A-Viti. En revanche, pour T-Viti, la nappe phréatique ne remonte pas jusqu'à une profondeur de 150 cm. Cependant, compte tenu du temps d'infiltration pour T-Viti, nous supposons qu'elle a une incidence, mais par remontée capillaire plutôt que directement.

4.6. L'étude ASL

Les variations de niveau piézométrique observées dans la section 4.4 sont surprenantes, étant donné que les DIVER sont situés à proximité les uns des autres. Cependant, il est important de noter que l'étude précédente n'a pas pris en compte la topographie du terrain. Nous allons donc effectuer une étude du niveau « Above from Sea Level » (ASL) pour prendre cela en considération.

Une étude ASL consiste à passer d'un référentiel de profondeur par rapport à la surface à un référentiel par rapport au niveau de la mer en prenant en compte la topographie. Le profil altimétrique du domaine est en figure 7 ci-dessous.

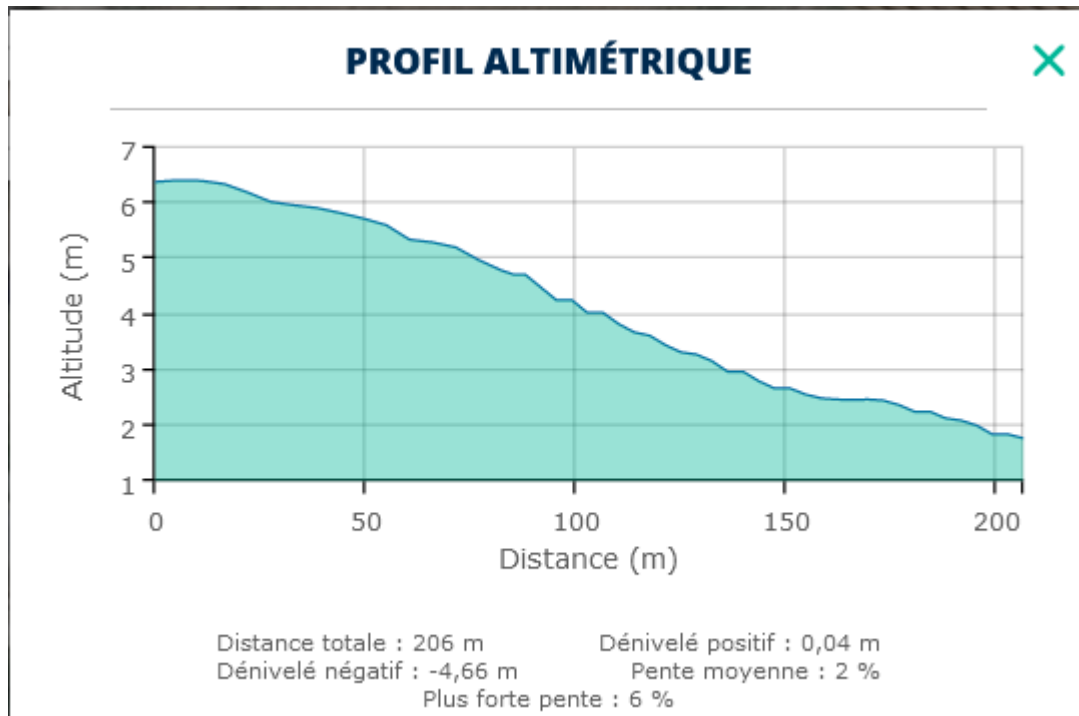


Figure 8 : Profil altimétrique du domaine du Chapitre

Le profil altimétrique nous permet de déterminer l'altitude des différentes sondes, elles sont listées ci-dessous :

- Sonde Grenach : 6,27 m
- Sonde Agroeco : 4,7 m
- Sonde Hydromorphe : 1,75 m

Maintenant, nous pouvons prendre en compte ces altitudes dans nos calculs et ainsi pouvoir tracer l'évolution de la piézométrie ASL. Elle est représentée en figure 9 ci-dessous.

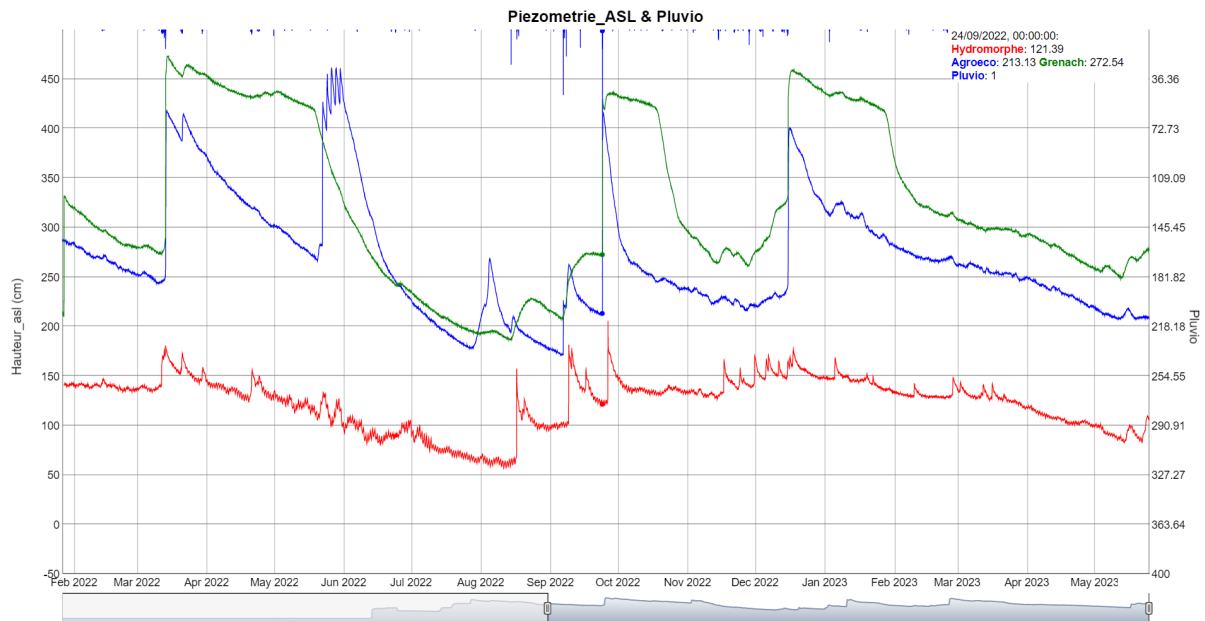


Figure 9 : Evolution du niveau piézométrique ASL

La figure présente les données de trois sondes : Grenach (représentée en vert), Agroeco (représentée en bleu) et Hydromorphe (représentée en rouge). Plusieurs observations intéressantes peuvent être faites. Tout d'abord, le classement des sondes a complètement changé. En effet, la sonde Hydromorphe affiche maintenant le niveau le plus bas, ce qui peut s'expliquer par sa position en altitude inférieure par rapport aux sondes Agroeco et Grenach. En revanche, les niveaux des deux autres sondes sont similaires. Ainsi, on peut conclure qu'il y a une quantité d'eau plus importante au niveau des sondes Agroeco et Grenach par rapport à la zone hydromorphe.

En ce qui concerne le comportement des nappes, on observe des différences notables. Tout d'abord la zone hydromorphe se recharge moins pendant les épisodes de pluie par rapport aux deux autres zones. La nappe de Grenach connaît une recharge encore plus importante que celle de l'Agroéco. En ce qui concerne la décharge, on constate que la zone hydromorphe présente une diminution

beaucoup plus lente par rapport aux deux autres zones, qui présentent un comportement similaire. De plus, après un évènement de pluie, on remarque l'apparition d'un plateau pour la nappe de Grenach, ce qui n'est pas observé pour l'Agroéco.

Conclusion

Pour conclure, j'effectue mon stage de fin de Master I en Sciences de l'Eau option Eau & Agriculture à l'Institut Agro Montpellier. Lors de ce stage de 11 semaines, j'ai comme mission de produire des indicateurs de suivi hydrique des sols pour des parcelles agro-écologiques viticoles et les comparer à d'autres pratiques de gestion.

La production de ces indicateurs est presque aboutie. Il me reste actuellement 2 semaines, pour notamment établir la chronique de la piézométrie afin de pouvoir débloquent les autres indicateurs. Des indicateurs ont déjà tout de même été produits comme les valeurs de stock en début d'année hydrologique et de chaque saison.

Ce stage a été très enrichissant pour moi, car il m'a permis de découvrir le monde de la recherche en laboratoire, d'interagir avec ses acteurs et de comprendre les contraintes associées. J'ai pu remettre en question certains préjugés que j'avais sur les différences entre le monde du laboratoire et celui de l'entreprise que j'avais découvert plus tôt dans ma vie.

Cette expérience m'a été bénéfique grâce à ma collaboration avec plusieurs partenaires, tels que la Chaire Vigne & Vin et l'INRAE. Cela m'a permis d'explorer et de mieux comprendre l'importance des relations et des collaborations dans le domaine de la recherche, notamment dans le cadre du projet SALSA qui a une portée nationale.

Très heureux de passer ce stage dans ce laboratoire et au côté des personnes que j'ai remerciées avant, cela a conforté mon idée de continuer mes études dans le domaine de l'eau et de l'agriculture en Master II l'année prochaine.

Bibliographie

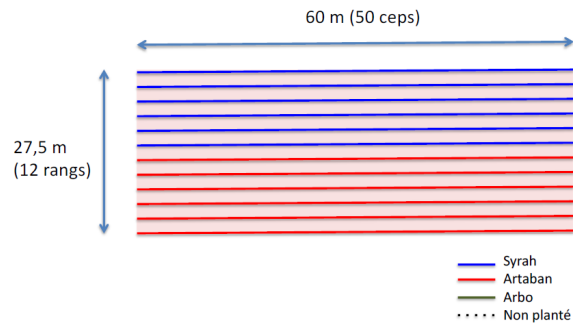
- [1] « L'agroforesterie, comment ça marche ? », *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire*. <https://agriculture.gouv.fr/lagroforesterie-comment-ca-marche>.
- [2] « Définition - Biodiversité | Insee ». <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1264>.
- [3] « Couvert végétal - définition - Encyclopédie.fr ». https://www.encyclopedie.fr/definition/Couvert_v%C3%A9g%C3%A9tal.
- [4] É. Larousse, « Définitions : adventice - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/adventice/1239>.
- [5] É. Larousse, « Définitions : mildiou - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mildiou/51420>.
- [6] É. Larousse, « Définitions : oïdium - Dictionnaire de français Larousse ». <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/o%C3%AFdium/55786>.
- [7] « Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) », *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire*. <https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift> (consulté le 6 juin 2023).
- [8] A. Wezel, B. G. Herren, R. B. Kerr, E. Barrios, A. L. R. Gonçalves, et F. Sinclair, « Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review », *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 40, n° 6, p. 40, oct. 2020, doi: 10.1007/s13593-020-00646-z.
- [9] A. O. Akanmu, A. M. Akol, D. O. Ndolo, F. R. Kutu, et O. O. Babalola, « Agroecological techniques: adoption of safe and sustainable agricultural practices among the smallholder farmers in Africa », *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 7, 2023, Consulté le: 6 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2023.1143061>
- [10] E. Lebon, V. Dumas, P. Pieri, et H. Schultz, « Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards », *Funct. Plant Biol.*, vol. 30, p. 699-710, juill. 2003, doi: 10.1071/FP02222.
- [11] A. Pellegrino, E. Lebon, M. Voltz, et J. Wery, « Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.) », *Plant Soil*, vol. 266, n° 1, p. 129-142, janv. 2005, doi: 10.1007/s11104-005-0874-y.
- [12] M. J. Lacape, J. Wery, et D. J. M. Annerose, « Relationships between plant and soil water status in five field-grown cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars », *Field Crops Res.*, vol. 57, n° 1, p. 29-43, mai 1998, doi: 10.1016/S0378-4290(97)00111-1.
- [13] L. DELIERE, « Informations générales sur le projet SALSALSA », INRA, Villenave d'Ornon, 2018.
- [14] DEPHY EXPE SALSALSA, « Vignoble agroécologique du Domaine du Chapitre », 2019.
- [15] A. SIRACUSE, 2022, « Etude de la dynamique spatio-temporelle de la piézométrie en contexte littoral salé : Cas du Domaine du Grand Castelou », Master Science de l'Eau, Institut Agro Montpellier, 29 p.

5. Annexes

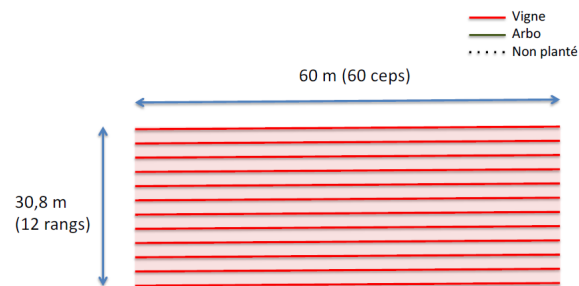
5.1. Caractéristiques du domaine du Chapitre

Les différentes illustrations présentes dans cette partie proviennent de [14].

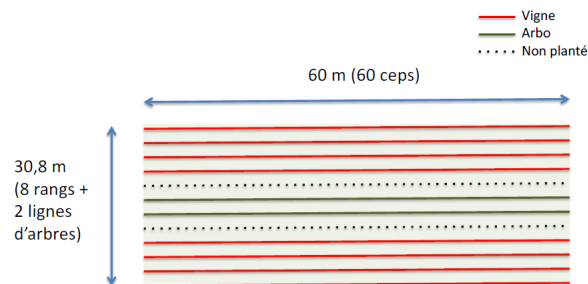
5.1.1. Caractéristiques de T-Viti



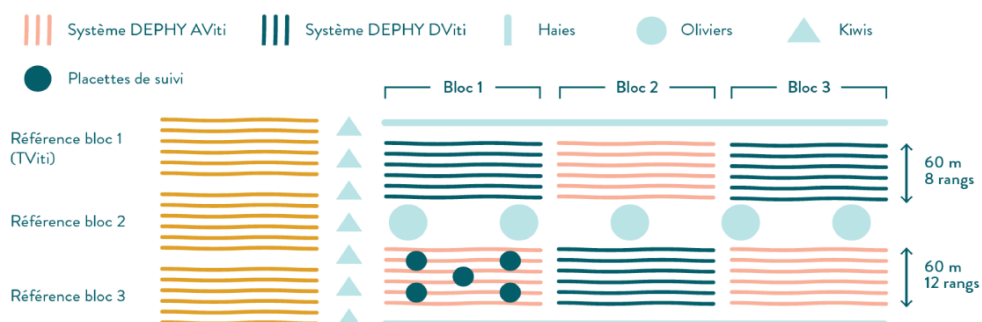
5.1.2. Caractéristiques de A-Viti



5.1.3. Caractéristiques de D-Viti



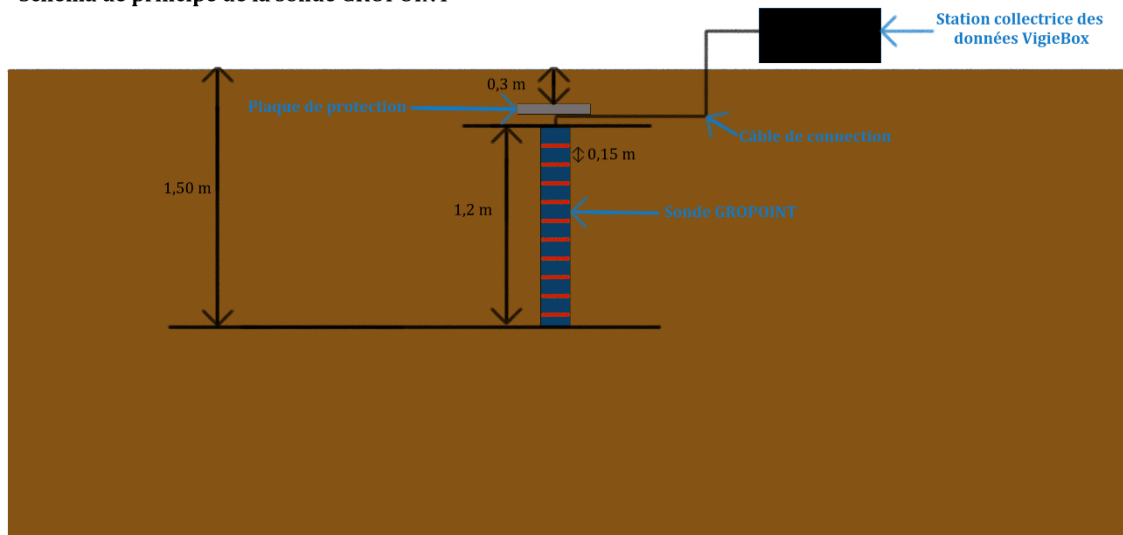
5.1.4. Plan global du domaine



5.2. Principe des sondes

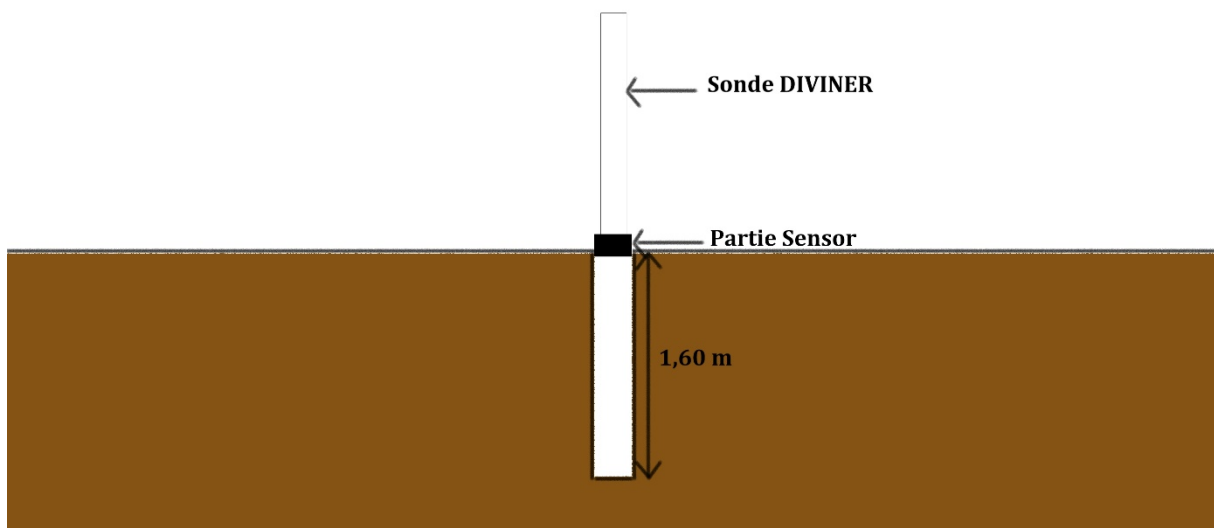
5.2.1. Sonde GROPOINT

Schéma de principe de la sonde GROPOINT

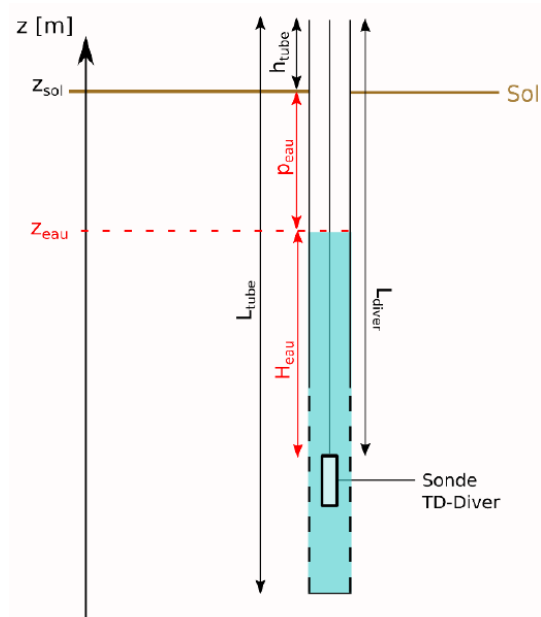


5.2.2. Sonde DIVINER

Schéma de principe de la sonde DIVINER



5.2.3. Sonde DIVER



Ce schéma a été réalisé par Agathe SIRACUSE[15].

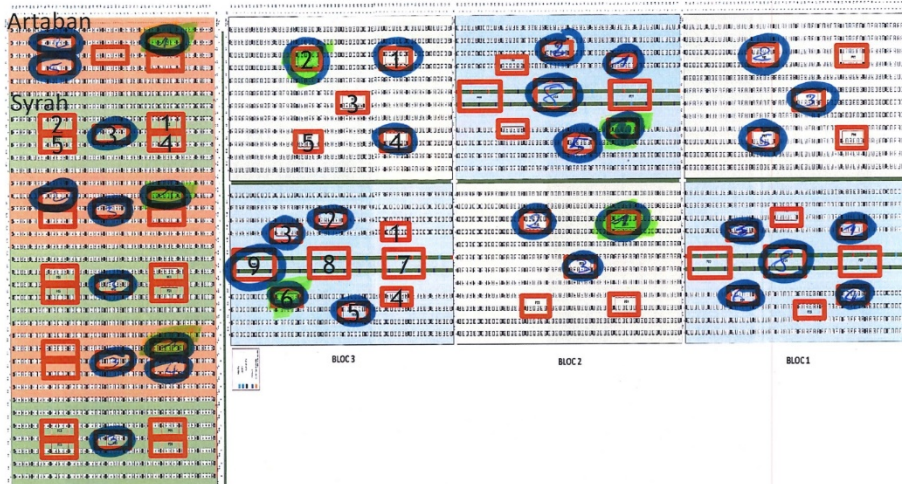
5.3. Localisation des sondes

5.3.1. Carte des sondes GROPOINT & DIVINER

5.3.2. Carte des prélèvements DIVINER

DIVINER → pose 30/03/23

Plan expé SALSA (72 placettes)



Deja poses - (7) → 29 restants à poser



Les placettes où les tubes pour les prélèvements ont été installés sont celles entourées en bleu. Ils étaient tous opérationnels au moment du stage.

5.4. Contexte climatique

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2021	0	4,4	-70,8	-46,3	-49,1	-141	-148,7	-124,1	0	0	0	0
2022	-20,5	-50,4	53,5	-85,3	-151,9	-177,2	-209,5	-127,2	44,8	101,1	37,2	15,1
2023	-9	-16,4	-55,1	0	0	0	0	0	111,3	-43,5	32	44,8