

# RAPPORT DE STAGE INDIVIDUEL

4ème année

Biodiversité végétale et conditions édaphiques  
dans les paysages agricoles



Tuteurs entreprise :

**Gabrielle RUDI**  
Maître de conférences  
Agroparistech

**Fabrice VINATIER**  
Chargé de recherche

**Pauline MARTIN**  
Etudiante  
IUT  
2021-2022

Tutrice académique :

**Séraphine GRELLIER**

# Remerciements :

Je tiens dans un premier temps à remercier et à témoigner toute ma reconnaissance au personnel du laboratoire LISAH pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant tout ce stage au sein du laboratoire LISAH.

Je tiens plus particulièrement à remercier Gabrielle RUDI, ma tutrice, qui m'a encadré sur toute la période d'étude, pour m'avoir accordée toute sa confiance ; pour le temps qu'elle m'a consacré tout au long de ces quatre mois et demi, sachant répondre à toutes mes interrogations.

Je remercie également Fabrice VINATIER et Martin FAUCHER, également mes tuteurs, d'avoir pris le temps d'écouter et de prendre note de mes réflexions et propositions pour améliorer la méthode, ainsi que m'avoir intégrée rapidement au sein de l'organisme.

Enfin, je remercie Sébastien TROIANO pour l'aide et les conseils apportés lors de missions mentionnées dans le rapport.

Je remercie enfin, tout le personnel du laboratoire LISAH qui a pris le temps de me conseiller et de m'apporter sa technicité lorsque cela était nécessaire, et qui a aussi créer une atmosphère très agréable durant toute ma période de stage.

## Table des matières

Table des figures.....	3
Introduction .....	4
Présentation de la structure d'accueil.....	5
La mission .....	6
Présentation de la mission.....	6
Déroulé de la mission .....	6
Etat de l'art .....	7
Introduction .....	7
Effets de l'eau sur la végétation et utilisation de la ressource en eau .....	8
Structure des communautés végétales .....	9
Concurrence et dominance.....	10
Conclusion.....	11
Méthodes.....	12
Présentation des zones d'étude.....	12
Pose de capteurs pour la mesure en continu de l'humidité du sol .....	12
Relevés floristiques.....	14
A. Sur les lieux où ont été posé les capteurs .....	14
B. Sur les parcelles échantillonnées pour la banque de graine .....	15
Banque de graines .....	16
A. Prélèvements de la banque de graines sur les parcelles.....	16
B. Mise en bacs et expérimentations de germination en serre.....	17
Résultats préliminaires et discussions .....	17
Résultats des capteurs d'humidité .....	17
Résultats des relevés floristiques.....	21
Conclusion.....	28
Références .....	28
Annexe.....	31

## Table des figures

Figure 1 : Organigramme du Lisah .....	5
Figure 2 : Schéma de pose de capteur d'humidité TERO 12 ; @Manuals.plus .....	12
Figure 3 : Schémas des différents milieux où ont été posés les capteurs .....	13
Figure 4 : Position des capteurs d'humidité sur le bassin versant du Bourdic (Roujan (34)) .....	14
Figure 5 : Relevés floristiques sur les capteurs d'humidité, exemple d'un fossé.....	14
Figure 6 : Schéma de la méthode de relevés floristiques sur le domaine de la Jasse.....	15
Figure 7 : Schéma des prélèvements de sol sur la parcelle de vigne de la Jasse .....	16
Figure 8 : Pourcentage d'humidité relevé par les capteurs posés à Roujan.....	20
Figure 9 : Schéma de lecture d'une "boite à moustache" .....	21
Figure 10 : Boite à moustache représentant le nombre d'espèces différentes identifiées par dates .	21
Figure 11 : Nombre d'espèces différentes présentes par site .....	22
Figure 12 : Nombre de quadrats ayant la présence d'une famille donnée .....	23
Figure 13 : Graphique représentant les similarités entre sites par dates en fonction des espèces identifiées .....	24
Figure 14 : Similarités entre sites en fonction des espèces trouvées, les couleurs représentant le gradient d'humidité.....	26
Figure 15 : Schéma représentant la 'Réserve Utile' .....	46

# Introduction

Un des défis majeurs auquel l'humanité doit faire face actuellement est celui du changement climatique, et ses conséquences sont d'ores et déjà constatables, notamment sur la biodiversité. La question de l'alimentation est au cœur de cette problématique de changement climatique, car les bouleversements associés remettent en question la pérennité de nos systèmes agroalimentaires.

La France est réputée pour ses vignobles, et particulièrement en Occitanie, où la viticulture occupe une grande place. En effet, la région représentait en 2021 34% de la production nationale de vin, avec pas moins de 268 000 ha de vignes. Celles-ci sont en grande partie situées dans l'Hérault : la région possède 31% de surface viticole.<sup>1</sup>

De plus, le climat Méditerranéen présente de grandes périodes de sécheresse, rendant la gestion des vignes complexe, en particulier dans un contexte de changement climatique qui amène de grandes incertitudes pour les exploitants (Hannah et al., 2013). De nouvelles techniques de gestion de la végétation des vignobles sont apparues, en lien avec la recherche d'optimisation de certains « services » (conservation de l'humidité du sol, amélioration de la fertilité, limitation de l'érosion, limitation des flux de produits phytosanitaires vers les écosystèmes receveurs) mais restent encore discutables, avec par exemple l'implantation de couvert végétal dans les rangs ou inter-rangs de vigne, ou encore en aménageant les milieux interstitiels, en implantant par exemple un réseau de fossés, ou en mettant en place des haies, ou des bordures végétales. Par la suite, ce rapport se focalise sur les inter-rangs de vigne et les fossés dans le département de l'Hérault. Plus précisément, l'étude ci-dessous vise à répondre à la question suivante : dans quelle mesure la succession des communautés végétales spontanées se développant dans les vignobles méditerranéens est-elle influencée par les variations d'humidité du sol ? Répondre à cette question est notamment nécessaire pour (i) participer à l'évolution des pratiques de gestion de la végétation des inter-rangs et fossés des vignobles méditerranéens, en vue d'une plus grande efficacité de l'eau dans le contexte de l'adaptation au changement climatique, (ii) ou encore pour anticiper les dynamiques d'adventices particulièrement impactantes pour les vignobles méditerranéens, dans le cadre de la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires en viticulture.

---

<sup>1</sup> Selon la Chambre d'Agriculture d'Occitanie : <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/viticulture/agriculture-2020-viticulture/>

# Présentation de la structure d'accueil

Le LISAH (Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème) est une Unité Mixte de Recherche (UMR) regroupant au sein du même laboratoire des chercheurs de plusieurs instituts. Le laboratoire se compose de trois équipes, qui sont organisées suivant les trois principales fonctions du paysage étudiées :

Devenir de contaminants des sols et des eaux

Ressource en sol sous changements globaux

Ecohydrologie des agrosystèmes

C'est au sein de l'équipe Ecohydrologie des agrosystèmes que j'ai effectué mon stage, étant accueillie dans le LISAH. Je dépendais cependant administrativement d'une autre UMR, G-EAU (Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages), qui conduit des recherches sur les trajectoires des socio-hydrosystèmes et leur régulation. Elle contribue à la conception et à l'évaluation des outils facilitant la mise en œuvre de politiques publiques innovantes concernant l'eau.

Les recherches au sein du Lisah se basent principalement sur les territoires Méditerranéens, mais également en tropicaux. Le LISAH est composé de 25 chercheurs et enseignants chercheurs permanents et de 17 techniciens et ingénieurs provenant de INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement, qui est la fusion entre l'INRA et l'IRSTEA), de l'IRD, de l'Institut Agro (Montpellier SupAgro) et d'AgroParisTech.

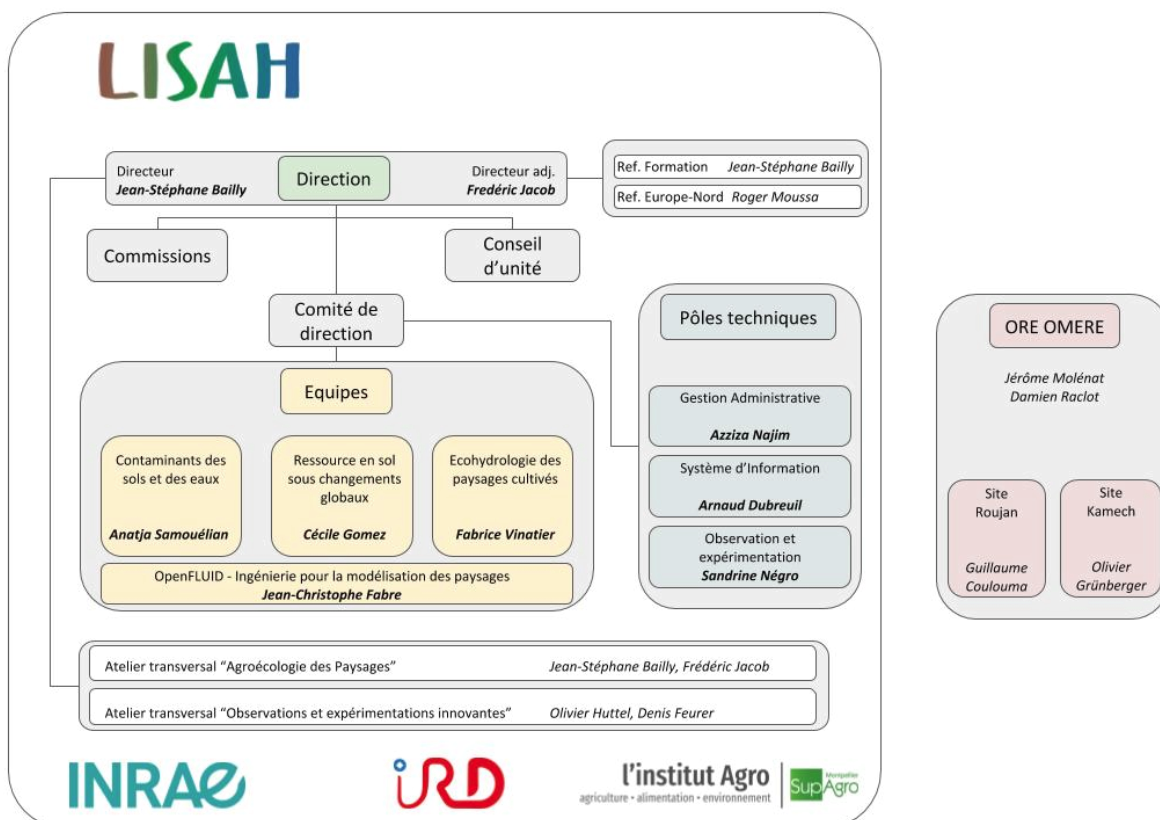


Figure 1 : Organigramme du Lisah

# La mission

## Présentation de la mission

Ce stage s'inscrit dans le projet Waterseed : Rôle de l'eau dans la structuration spatiale de la biodiversité végétale des milieux viticoles (Projet Labex AMI 2021), qui a pour but de tester, sur un réseau de parcelles, comment l'eau structure les communautés végétales. Mieux comprendre ces interactions est indispensable pour appréhender l'influence du changement climatique sur les communautés en place et pour imaginer des pratiques plus vertueuses pour le futur.

L'objectif du stage est d'apporter de la connaissance sur le lien entre variation spatio-temporelle d'humidité/température du sol/hydrologie de surface à la parcelle et dans les fossés agricoles, et structuration des communautés végétales de végétation spontanée. Pour ce faire, des mesures en continu de l'humidité du sol et de température, sur des données ponctuelles d'hydrologie de surface, et sur des relevés de végétation (relevés floristiques et banques de graines) se développant dans les inter-rangs et fossés seront réalisées.

Le stage se divise en plusieurs missions : la première est de participer aux manipulations à effectuer pour la thèse de Martin FAUCHER, avec notamment les tâches à effectuer pour l'observation de la banque de graines qui rend compte de la biodiversité végétale potentielle en un lieu donné (cf. Banque de graines). La deuxième mission a consisté à participer à la mise en place d'une quinzaine de capteurs d'humidité sur un bassin versant dans les fossés et inter-rangs de vignes a été effectuée afin de pouvoir observer les régimes d'humidités. Enfin la dernière mission visait à réaliser des relevés floristiques réguliers autour des capteurs d'humidité pour établir (ou non) un lien avec les successions des communautés végétales présentes à ces positions.

## Déroulé de la mission

La mission se déroule sur deux lieux : le bassin versant expérimental du LISAH à Roujan (43.491901 ; 3.321490) et le domaine de la Jasse à Combaillaux (43.659665 ; 3.767518), cf. Annexe 1 : Cartes des lieux d'étude.

La mission a débuté avec des recherches bibliographiques sur les processus biophysiques et anthropiques qui expliquent la distribution spatio-temporelle des communautés végétales spontanées et leur structure dans les milieux agricoles, et en particulier de l'influence de l'hydrologie du milieu.

Les deux premiers mois ont principalement été marqués par la mise en place des équipements de suivi d'humidité et température du sol en collaboration avec les pôles techniques des laboratoires d'accueil (pose de 15 capteurs d'humidité). Par la suite, un suivi de végétation selon la méthode du transect a été réalisé (toutes les 2 à 3 semaines). Enfin, une analyse statistique visant à analyser les relations entre les différentes mesures réalisées et la structuration des communautés végétales et comparaison inter-rangs et fossés a été réalisée. En parallèle, durant tout le stage, un suivi de germination spontanée des banques de graines collectées dans le réseau et à la parcelle a été effectué.

# Etat de l'art

## Introduction

De nombreux facteurs ont un impact sur la végétation d'un écosystème donné (types d'espèces, développement, répartition spatiale, et assemblages). Ces facteurs sont le climat, les activités humaines, les conditions biotiques, mais également les conditions édaphiques. Les plantes sont en interaction constante avec le sol : celles-ci ont un effet sur certaines propriétés du sol (propriétés physico-chimiques, matière organique, teneur en eau...), et inversement, le sol influence grandement les communautés végétales. Il y a tout d'abord des facteurs physiques comme la texture (le type de sol peut influencer par exemple l'ancrage, la disponibilité des éléments minéraux), la température (qui peut réduire la croissance des plantes), la densité (si celle-ci est forte, le développement racinaire s'en retrouve impacté), ou encore la structure (Freschet et al., 2018). Il y a également la disponibilité des ressources (notamment des nutriments, qui affecte la croissance et la vigueur des plantes, ainsi que leur schéma de transpiration (Singh et al., 2022)), ou encore les facteurs chimiques, qui influencent également la structuration des communautés végétales comme la capacité d'échanges d'anions ou de cations, la quantité de matière organique présente, la teneur en eau, qui peut entraîner un flétrissement ou encore la salinité, et le calcaire (Freschet et al., 2018). Une des ressources utiles principales des plantes est l'eau, et le taux d'eau présent dans le sol est l'un des principaux déterminants de la végétation présente dans un milieu.

Les vignobles en méditerranée bénéficient de gestions hétérogènes sur le territoire, notamment sur la manière de contrôler la végétation des inter-rangs. Il y a en effet plusieurs manières de contrôler les adventices : en travaillant l'inter-rang, en fauchant, en appliquant du désherbant, ou encore en instaurant des plantes de couverture, bien que les adventices présentes dans la végétation spontanée peuvent jouer un rôle important dans le maintien de la biodiversité si leurs effets négatifs sur la culture sont limités (Fried et al., 2019). Il est souvent préférable d'avoir une culture intercalaire du fait qu'elle permette de limiter l'apport de pollution dans les cours d'eau (des pesticides utilisés dans la vigne, et transportés par ruissellement) (Celette, 2007), d'empêcher la perte de sol induite par l'érosion du sol (Wilmanns, 1989), améliorer la fertilité du sol (Garcia et al., 2018; Ovalle et al., 2010), améliorer la recharge hydrique (Gaudin et al., 2010) et l'activité biologique du sol.

De plus, l'évaporation dans la partie de sol nu d'une vigne est très importante et peut représenter jusqu'à 75% de l'évapotranspiration totale d'un vignoble (Celette, 2007). Bien que nous puissions penser que l'humidité dans le sol puisse être moins importante dans les rangs enherbés que dans les rangs de sol nu, dû à l'utilisation de la réserve utile en eau par les plantes présentes, certaines études ont prouvé que le stress hydrique dans les cultures intercalaires n'est pas plus élevé que dans les parties de sol nu (Celette et al., 2008).

La structure des communautés végétale est donc déterminée par de nombreux facteurs (saisonniers et environnementaux), mais aussi par les pratiques agricoles qui affectent l'abondance des espèces ainsi que la richesse (Fried et al., 2019).

Chaque espèce possède une tolérance à ses limites, ce qui explique que certaines sont retrouvées dans un milieu et pas dans un autre. Cette tolérance est appelée « optimum de Shelford »<sup>2</sup>. Cet optimum écologique découle en caractéristiques climatiques (lumière, température,

---

<sup>2</sup> Définition de l'optimum écologique : <https://www.aquaportail.com/definition-8548-optimum-ecologique.html>

continentalité, ...) et en caractéristiques du sol (humidité, texture, taux de matière organique, ...). Cet optimum détermine la niche fondamentale, soit toutes les conditions environnementales nécessaires à l'existence d'une espèce.

Par la suite, nous allons nous centrer sur l'impact d'un des filtres des communautés végétales : la teneur en eau dans le sol. Nous allons plus précisément étudier l'impact du régime d'humidité d'un sol (et de la réserve utile) sur la structuration des communautés végétales spontanées des vignes et des fossés en zone méditerranéenne.

Dans un premier temps, un regard sur l'eau dans le sol et son utilisation par les végétaux sera présenté. Puis la structure des communautés végétales sera décrite, avec les différents facteurs qui l'influencent. Enfin, l'état de l'art terminera par une introduction aux problèmes de concurrence et dominance.

## Effets de l'eau sur la végétation et utilisation de la ressource en eau

La littérature actuelle possède différentes définitions et unités de mesures sur l'utilisation de l'eau par les plantes (Singh et al., 2022), et ceci montre que cette interaction a été beaucoup étudiée.

La sécheresse, qui se définit comme un manque d'eau important, peut être fatal pour les plantes : elle agit comme un filtre. Cependant, certaines plantes présentent une meilleure résistance à la sécheresse, avec de grandes capacités d'adaptation. En effet, les plantes présentant une forte résistance à la sécheresse ont un développement racinaire souvent profond, leur permettant de puiser de l'eau plus aisément. La tolérance à la déshydratation dans les tissus survivants et la capacité des racines à extraire l'eau à de faibles potentiels hydriques du sol contribuent aussi à une bonne adaptation à la sécheresse (Volaire & Lelievre, 2001). La résistance à la sécheresse est généralement évaluée comme la capacité des plantes et des cultures à maintenir un certain niveau de production en cas de manque d'eau (Volaire & Lelievre, 2001).

Les communautés végétales dépendent donc de l'eau disponible dans le sol, c'est-à-dire de la réserve utile. Toutes les espèces au sein de ces communautés ont différents besoins en eau, ainsi, leur utilisation de la réserve utile varie en fonction de différents facteurs, comme « l'espèce (Lopes et al., 2004 ; Pivec et Brant, 2009), la voie photosynthétique (Norris, 1996), l'architecture de la plante (Berger et al., 2015), la longueur et de la distribution des racines (Zollinger et Kells, 1991 ; Berger et al., 2015 ; Vaughn et al., 2016), le facteur environnemental et le système de gestion (Massinga et al., 2003 ; Lopes et al., 2004 ; Berger et al., 2015) » (Singh et al., 2022). De plus, certaines variables climatiques régissent également l'utilisation de l'eau comme la température de l'air, les précipitations, l'évapotranspiration, l'indice d'aridité ... (Singh et al., 2022)

Les adventices possèdent de nombreuses propriétés leur permettant de résister parfois plus facilement que les cultures aux différentes perturbations, grâce à leur système racinaire se développant dans un temps relativement court et couvrant un large volume, leur permettant ainsi d'avoir accès facilement aux ressources se trouvant dans le sol, et par conséquent, une grande tolérance aux variations climatiques (Singh et al., 2022).

Le fait de laisser une culture intercalaire ou une végétation spontanée dans les inter-rangs de vigne est souvent vu comme négatif par les vignerons, car ces communautés végétales peuvent faire concurrence à la vigne pour l'accès aux ressources, et la vigne peut s'en trouver pénalisée, avec parfois un rendement inférieur au rendement avec des inter-rangs en sol nu. La concurrence en eau est l'une des principales problématiques, bien que les cultures intercalaires prélèvent de l'eau sous l'inter-rang (dans lequel elles se trouvent), et ce à différentes profondeurs (en fonction notamment

de l'espèce, des conditions environnementales mais aussi des techniques de gestion des cultures) ; tandis que la vigne peut prélever de l'eau dans tous les compartiments du sol, et à des profondeurs plus élevées qu'une culture de couverture (Celette et al., 2008). De plus, les conditions de sécheresse sont souvent plus élevées dans les sols nus (dû à l'évaporation) que dans les sols ayant une couverture végétale, bien que certains vignobles aient trouvé leur teneur en eau de la couche arable augmentée par la compaction du sol (par la circulation des machines) (Ben-Salem et al., 2018).

Cependant, plusieurs facteurs démontrent qu'une couverture végétale, dans les inter-rangs de vigne peut, dans certains cas, avoir un effet avantageux sur la culture. Cette végétation de couverture améliore la teneur en eau de la couche arable (certaines cultures de couverture sont plus efficaces que la végétation spontanée) (Ben-Salem et al., 2018). La couverture végétale permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol et améliore ainsi la recharge hivernale du sol (Celette, 2007).

Si on étudie plus spécifiquement la variation de l'utilisation de la réserve utile par les communautés végétales, on peut observer que l'utilisation de la ressource en eau est déterminée également par la proximité des adventices avec la culture, la densité, la concurrence existante avec la culture, le moment de l'émergence... (Singh et al., 2022) Ces données sont intéressantes afin d'avoir une gestion efficace des adventices et éviter ainsi la concurrence avec la vigne.

## Structure des communautés végétales

On peut décrire la structure d'une communauté végétale en décrivant sa richesse spécifique, sa composition, les dominances et les différentes interactions qu'elle possède (Sonnier, 2009).

Les filtres (de dispersion, environnementaux, biotiques) agissent de manière successive sur la formation des communautés végétales, et particulièrement les facteurs environnementaux donnant lieu à du stress ou des perturbations, qui impactent la richesse spécifique, mais aussi la structure fonctionnelle des communautés (leur composition en traits) (Sonnier, 2009). Les traits des espèces vont donc aussi déterminer leur probabilité à passer à travers les filtres.

Tout d'abord, les variables géomorphologiques déterminent la distribution spatiale des espèces, que ce soit à échelle paysagère ou locale (Rudi et al., 2018). De plus, le sol subit des perturbations qui modifient le milieu, et impactent par conséquent les communautés floristiques présentes, ce qui entraîne les modifications biotiques, notamment sur la structure des communautés végétales : le changement dans le temps est un élément clef dans la succession des communautés (Freschet et al., 2018).

D'autre part, des études ont montré que la richesse spécifique augmente avec la latitude et diminue avec le nombre de labours du sol tandis que l'abondance des espèces diminue avec le pourcentage de limon (Fried et al., 2019). Par ailleurs, plus la richesse spécifique est élevée, plus le système est durable, avec des chances minimales de dominance des adventices (Fried et al., 2019).

A échelle locale, un des déterminants principaux de la structure des communautés végétales est le taux d'humidité du sol. En effet, au cours d'une année, le taux d'humidité suit des dynamiques qui vont influencer grandement les communautés végétales.

Ce manque d'eau a des effets sur la physiologie des plantes, « il est connu que le manque d'humidité est caractérisé principalement par la signalisation de la sécheresse dans les racines, la réduction du potentiel hydrique des feuilles, la fermeture des stomates et la déshydratation cellulaire » (Chadha et al., 2019).

Une étude menée par l'UMR SYSTEM (dans le cadre de la thèse de Léo Garcia (2015-2018), ayant pour but la caractérisation fonctionnelle de différentes espèces semées dans les inter-rangs et le lien de ces propriétés fonctionnelles avec les services écosystémiques fournis par les couverts) a observé les différentes successions des communautés végétales dans les vignes (spontanées et semées), pendant plusieurs mois<sup>3</sup>. Le résultat de cette étude a montré que malgré les semences, la part de biomasse spontanée est importante, en particulier au mois d'avril. Il y a une distinction des communautés végétales qui semble très marquée entre la période de débourrement (ouverture des bourgeons, vers mars-avril, avec de forts besoins en eau pour la vigne) et la période de nouaison (phase initiale de la formation du fruit, vers juin, avec un besoin de recharge hydrique). A débourrement, les espèces majoritaires ont été de la famille des astéracées (*Crepis sancta* en dominante pour la végétation spontanée), et les poacées (*Vulpia myuros* en dominante pour la végétation spontanée), suivi des géraniacées puis des fabacées. Tandis qu'à nouaison, les familles dominantes étaient les fabacées (par des espèces semées majoritairement), les astéracées (par l'espèce spontanée *Erigeron* sp.), et enfin les poacées. A cette période, les géraniacées ne dominent plus et les apiacées augmentent fortement. Finalement, les espèces semées dominent majoritairement à nouaison, d'où l'installation tardive des espèces spontanées.

## Concurrence et dominance

« Au-delà de l'influence de variables édaphiques, les plantes interagissent entre elles de façon synergétique (on parlera de facilitation ou de complémentarité) ou au contraire de façon antagoniste (on parlera de compétition). » (Freschet et al., 2018)

Nous avons vu précédemment que la vigne pouvait puiser l'eau dans tous les compartiments du sol, mais en raison de la concurrence pour la ressource en eau, la vigne a la capacité d'adopter une croissance compensatoire, c'est-à-dire de développer un système racinaire plus profond, et concentré sous le rang, afin d'éviter au mieux la concurrence avec les plantes de couverture (Celette et al., 2008).

Cependant, bien que cette adaptation soit relativement rapide, la compétition directe entre la vigne et les communautés végétales présentes dans les inter-rangs peut avoir lieu, en fonction du moment de développement de la couverture végétale (Celette et al., 2008). La concurrence est accentuée en méditerranée car les conditions de sécheresse sont récurrentes, or, les espèces envahissantes ont une faculté à mieux s'adapter au stress hydrique que les espèces cultivées (Chadha et al., 2019). Un des moyens de limiter cette compétition est de contrôler la couverture végétale pour que les espèces puisent la majorité des ressources nécessaires en eau, avant la pousse des bourgeons de la vigne (le débourrement) (Celette et al., 2008). Il est également possible de faire un apport de ressources en eau et en nutriments afin de réduire l'effet de compétition (Souza et al., 2020).

En plus de concurrencer la vigne, les communautés végétales présentes dans les inter-rangs sont également en concurrence entre-elles : leur système racinaire est plus ou moins développé entre les espèces, et certaines s'adaptent donc plus aisément que d'autre, créant ainsi une sélection des espèces les plus adaptées (notamment à la sécheresse en méditerranée), et de ce fait, une dominance (Souza et al., 2020). Dans un système agricole, la dominance de certaines adventices peut être plus marquée, car la disponibilité en eau est moindre, et les espèces les plus résistantes au stress hydrique prennent par conséquent le dessus, ce qui réduit inévitablement la diversité au sein de l'agrosystème (Souza et al., 2020).

---

<sup>3</sup> Bopp, M.-C. (2018). Les propriétés fonctionnelles des communautés végétales expliquent-elles les services écosystémiques qu'elles fournissent ? Le cas des couverts semés et spontanés en viticulture. 83.

## Conclusion

Une gestion optimale de la végétation spontanée dans les vignobles permettrait à cette végétation de fournir au mieux divers services écosystémiques (Stuart et al., 1984). Bien que la structure des communautés végétales dépende de beaucoup de facteurs, et que ceux-ci soient grandement étudiés en recherche, on ne trouve que très peu d'articles décrivant le lien entre les différents régimes d'humidité du sol, et la végétation spontanée. Si par ailleurs certains articles décrivent ce lien, les expériences sont pour la plupart réalisées en serre, avec des milieux contrôlés, et ce pour une espèce en particulier. Les filtres auxquels ces communautés végétales sont confrontées changent dans le temps et l'espace, ce qui explique la succession de différentes communautés.

# Méthodes

## Présentation des zones d'étude

Les activités de recherches présentées ci-dessous se sont déroulées à deux endroits : le bassin versant de Roujan, dans le département de l'Hérault ; et la Jasse, un domaine viticole de 200 ha, avec 51 ha de vignes, situé à Combaillaux, également dans l'Hérault (cf. Annexe 1). Le bassin versant de Roujan fait partie de l'Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau, et est largement instrumenté depuis 1992. La culture principale dans le bassin de Roujan est également la vigne.

Le bassin versant de Roujan possède une surface de 0.91 km<sup>2</sup>. C'est un des sous-bassins versants de la Peyne, un affluent du fleuve de l'Hérault. Les deux zones se trouvent dans un climat méditerranéen sub-humide, à saison sèche prolongée. Sur l'année, les précipitations à Combaillaux sont en moyenne de 606.7 mm, tandis qu'à Roujan, la pluviométrie annuelle est de 650 mm.

## Pose de capteurs pour la mesure en continu de l'humidité du sol

Afin d'observer les régimes d'humidité du sol sur l'ensemble du bassin versant, 15 capteurs d'humidité ont été placés à des positions différentes, selon un gradient topographique, afin d'avoir une vision de l'amont à l'aval du bassin (cf. Figure 4). 9 fossés et 4 parcelles ont été choisies avec soin afin de remplir plusieurs exigences, pour les parcelles notamment. En effet, l'exposition solaire, et la manière dont les rangs sont positionnés (sens des rangs en fonction de la pente) peuvent modifier l'humidité. Les parcelles sélectionnées ont donc une exposition solaire similaire, et les rangs sont parallèles à la pente. De plus, les parcelles ont différents modes de gestion sur Roujan, ce qui modifie l'humidité du sol dans les inter-rangs, et permet de pouvoir comparer les taux d'humidité. Certaines parcelles possèdent deux capteurs d'humidité, posés dans des inter-rangs attenants (un travaillé, et un enherbé). Une recherche bibliographique avait été réalisée sur les différentes manières de mesurer l'humidité du sol afin d'être familiarisée avec les manipulations suivantes (cf. Annexe 3).

Les capteurs choisis sont des TEROS 12, qui sont des capteurs d'humidité, de température et de conductivité électrique du sol. La mesure sortant du capteur est étalonnée avec une équation fournie par le constructeur, correspondant à tous types de sols, et ayant une marge d'erreur faible (entre 3 et 4% d'erreur). Ce capteur mesure l'humidité dans un volume de 1010mL (cf. Annexe 8).

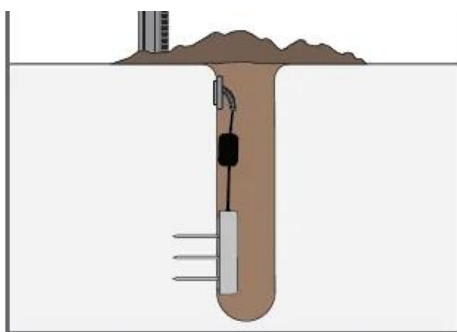


Figure 2 : Schéma de pose de capteur d'humidité TEROS 12 ;  
@Manuals.plus

code_site	nom	notes
S01	fossé exutoire	
S02	parcelle aw156	2 capteurs
S03	parcelle aw82c	2 capteurs
S04	parcelle aw67	
S05	fossé 104	
S06	parcelle aw122	
S07	fossé aw244	
S08	fossé aw 117-118	
S09	fossé aw128a	
S10	fossé 126a	
S11	fossé aw95	
S12	fossé aw75	
S13	fossé coste nord	

Tableau 1 : Légende des codes des sites sur lesquels se trouvent les capteurs

Nom de parcelle	Mode de gestion de l'inter-rang sur lequel se trouve le capteur	Mode de gestion de la parcelle
Aw 122	Enherbé (parcelle entièrement enherbée)	Fauche
Aw 156	Travaillé	Fauche, labour 3 rangs sur 4
	Enherbé	
Aw 67	Travaillé (parcelle entièrement travaillée)	Labour
Aw 82C	Enherbé	Fauche, labour 1 rang sur 2
	Travaillé	

Tableau 2 : Modes de gestion des parcelles possédant un capteur d'humidité

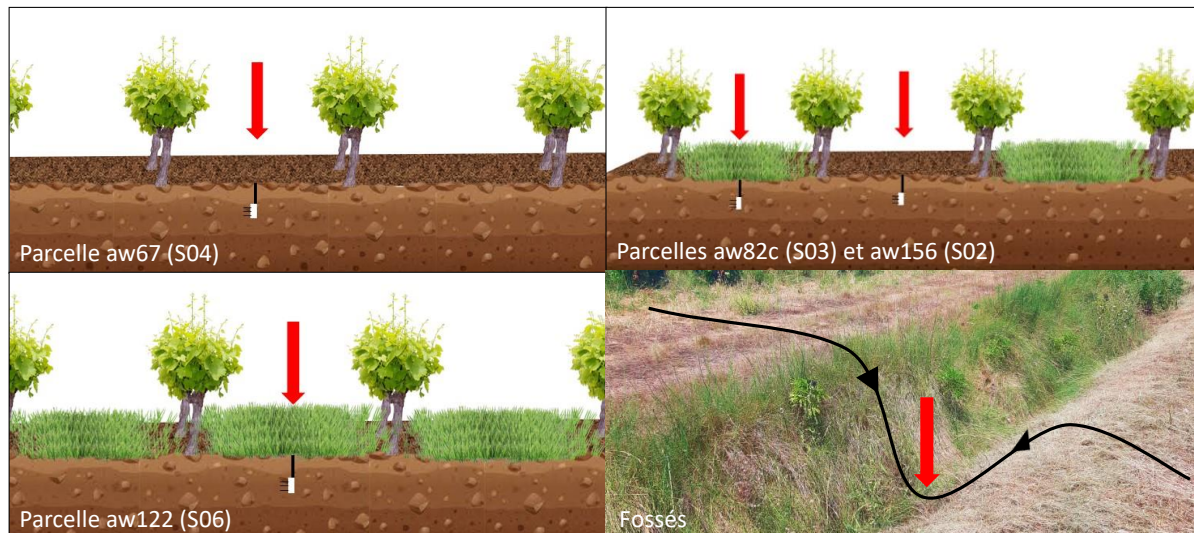


Figure 3 : Schémas des différents milieux où ont été posés les capteurs

Le Tableau 1 contient les désignations attribuées aux sites de chaque capteur, et le Tableau 2 résume les modes de gestions des parcelles étudiées (où des capteurs ont été posés). Par ailleurs, La Figure 3 représente les différents milieux où ont été posés les capteurs : soit 9 dans les fossés et 6 dans les parcelles (ayant des modes de gestion différente).

Tous les capteurs ont été posés à 30 cm de profondeur, afin d'avoir une homogénéité sur les données par la suite (cf. Annexe 4). Tout d'abord, les poser plus profondément n'aurait pas été possible car dans certains fossés, la roche mère est atteinte rapidement. Par ailleurs, le système racinaire des plantes en méditerranée ne dépasse pas 30 cm de profondeur. De plus, la principale raison pour les avoir placés si profondément est le fait que plusieurs inter-rangs sont labourés, et les capteurs risqueraient d'être arrachés s'ils ne sont pas suffisamment profonds.

La pose des capteurs a été réalisée avec un personnel du pôle expérimental du LISAH. Une première journée de repérage avait été effectuée précédemment afin de décider les placements des capteurs précisément, tout en considérant les accords des viticulteurs (afin de placer des capteurs ou des boîtiers dans leur parcelle). Se plaçant aux points GPS relevés lors de cette première sortie repérage, un trou est creusé à l'aide d'une tarière dans lequel sera positionné le capteur (à 30cm de profondeur). Le sol entre 25 et 35 cm de profondeur était prélevé à ce moment afin d'avoir une première mesure d'humidité à l'endroit du capteur. Une tranchée était ensuite creusée afin d'enterrer la gaine reliant le capteur au boîtier de transmission. Ce boîtier de transmission est placé sous le rang lorsque les capteurs sont dans les parcelles, et généralement à côté du fossé pour les autres. Une fois la gaine enterrée (à 30cm de profondeur également lorsqu'il y a un risque qu'elle soit arrachée par les machines), la position des capteurs est relevée à l'aide d'un GPS (cf. Annexe 4).

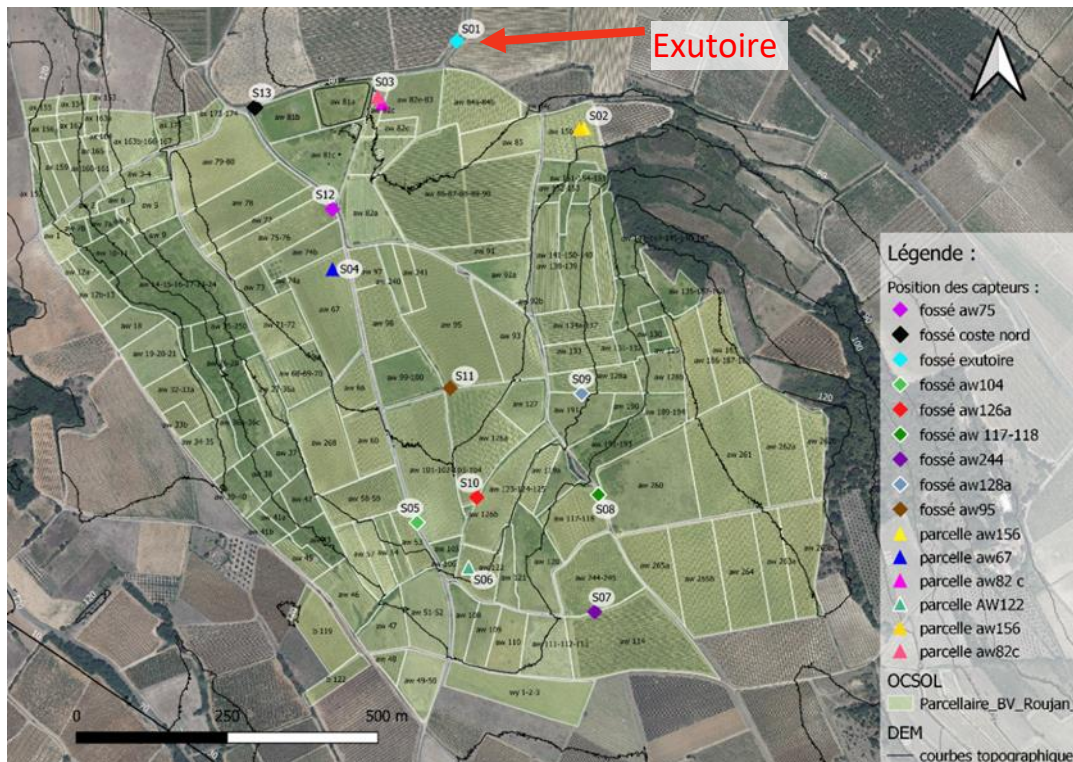


Figure 4 : Position des capteurs d'humidité sur le bassin versant du Bourdic (Roujan (34))

Des mesures de densité apparente ont été effectuées par la suite à côté des capteurs (afin d'éviter de grosses perturbations sur le capteur) par la méthode du cylindre (cf. Annexe 4). Une fiche sur les différentes méthodes de mesure de densité apparente avait été réalisée en amont (cf. Annexe 6). Cependant, ces mesures de densité n'ont pas été utilisées durant ce stage, puisque l'étalonnage des capteurs a été réalisé avec l'équation fournie par le constructeur, correspondant à tous types de sols (cf. Annexe 5).

## Relevés floristiques

Les relevés floristiques se font sur : les parcelles où la banque de graine a été prélevée, et aux endroits où les capteurs ont été posés (cf. Figure 4).

### A. Sur les lieux où ont été posé les capteurs

Les relevés se font à l'aide de quadrats de dimension 50 × 50 cm, dont le premier est posé à l'endroit où le capteur est enterré. Toutes les espèces sont identifiées, et les espèces majoritaires sont notées. Par la suite, trois autres quadrats sont relevés (côte-à-côte) de part et d'autre du premier : il y a donc 7 quadrats en tout (cf. Figure 5). Lors des relevés dans les parcelles, les quadrats sont placés au centre de l'inter-rang (comme les capteurs). Les relevés sur les capteurs se font toutes les deux à trois semaines, permettant d'avoir fréquemment des

données, et suivre au mieux les successions de végétation. En effet, durant les saisons printemps/été, la croissance végétale est rapide, et les



Figure 5 : Relevés floristiques sur les capteurs d'humidité, exemple d'un fossé. Les carrés rouges correspondent aux futurs emplacements où le quadrat (carré blanc) sera placé

communautés végétales peuvent se succéder rapidement.

Par la suite, le mot « site » désignera le lieu où a été fait les relevés floristiques à l'endroit où les capteurs ont été posés. Il y a donc 15 sites, et chaque site englobe les sept quadrats afin de diminuer les erreurs dues au déplacement potentiel d'un même quadrat à des dates différentes.

Toutes les espèces trouvées lors de ces relevés sont visibles en Annexe 15 : Tableau de correspondance des espèces trouvées au sein des familles.

Lors de l'analyse des données floristiques, plusieurs graphiques ont été réalisés sur excel, et sur R. Afin de réaliser le graphique représentant la similarité entre les différents fossés/parcelles sur différentes dates, un calcul de distances a été fait selon la fonction MDS. Cette fonction va calculer la similarité entre les différents sites en fonction des espèces trouvées sur ces site : si deux sites sont proches, on retrouvera des espèces en majorité similaires sur ces deux sites. Ici, l'indice permettant de calculer ces distances est celui de Bray-Curtis : il permet de calculer les distances entre site en fonction de l'abondance des espèces présentes (ici le nombre de fois qu'une espèce s'est retrouvée sur un site à une date donnée, soit dans les 7 quadrats additionnés). Cette fonction affiche ensuite la meilleure représentation graphique possible en fonction des distances calculées (cf. Figure 13).

### B. Sur les parcelles échantillonnées pour la banque de graine

Pour les relevés des parcelles où les échantillons ont été prélevés, un décimètre est déroulé le long de l'inter-rang, et un quadrat est placé tous les mètres, pendant 30 mètres (cf. Annexe 12). Ensuite, de 30m à 60m, un quadrat est posé tous les 5 mètres. Toutes les espèces identifiées sont notées pour chaque quadrat. Par la suite, depuis le premier pied de vigne (soit 0m), le décimètre est déroulé jusqu'au fossé, et un quadrat est posé tous les mètres jusqu'à l'intérieur du fossé (cf. Figure 6 ). Cette méthode est réalisée sur les 6 inter-rangs.

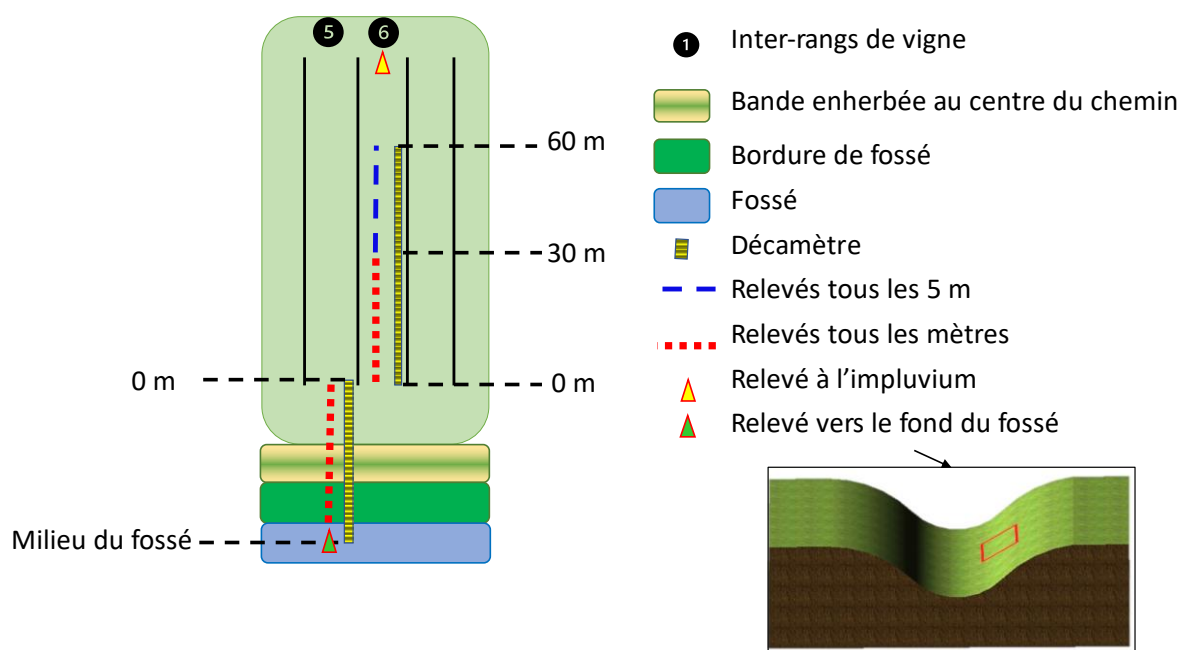


Figure 6 : Schéma de la méthode de relevés floristiques sur le domaine de la Jasse

## Banque de graines

La thèse de Martin FAUCHER (2021-2024), a pour but d'étudier la connectivité des paysages, avec un regard particulier sur la dispersion des graines par hydrochorie pour la réhabilitation des infrastructures agroécologiques. Une analyse de la banque de graine présente sur deux parcelles différentes (une au domaine de la Jasse, à Combaillaux (34) ; et une sur site de Roujan (34)) est donc faite dans le cadre de sa thèse. Le but est d'étudier la banque de graine présente dans le sol en faisant germer toutes les graines contenues dans des échantillons de sol prélevés. Les échantillons de sols seront donc dans des conditions idéales, et cette banque de graine sera comparée avec la végétation présente sur les parcelles étudiées.

### A. Prélèvements de la banque de graines sur les parcelles

Pour ce faire, deux parcelles ont été sélectionnées, ayant une pente suffisante, les rangs suivant la pente, et ayant un fossé à l'aval de la parcelle (qui recueille le ruissellement de la parcelle). Par la suite, des échantillons ont été prélevés sur différents inter-rangs (aux dates suivantes : le 16/03/2022 et 17/03/2022 pour la parcelle de Roujan et le 31/03/2022, 01/04/2022 et le 19/04/2022 pour la parcelle de la Jasse), et à des topo séquences différentes (cf. Figure 7 pour le schéma de la Jasse). Les parcelles de la Jasse et celle de Roujan ont des configurations similaires (cf. Figure 7), malgré les différences suivantes : (i) la parcelle de Roujan n'a pas la bande enherbée au centre du chemin, (ii) T6 correspond à la bordure de fossé côté parcelle, (iii) T7 au fossé, et (iv) T8 à la bordure extérieure du fossé. Des prélèvements (nommés « Rx » pour désigner le réplicat) ont donc été effectués sur les parcelles la Jasse (5 prélèvements) et celle de Roujan (6 prélèvements) sur chaque topo séquence (chaque trait marron, correspondant à une topo séquence, équivaut à 5 prélèvements sur la Figure 7). Les R3 de la Jasse (troisième échantillon prélevé sur chaque topo séquence), ainsi que les R6 prélevés à Roujan ont été envoyés en laboratoire d'analyse à la chambre d'agriculture de l'Aude, afin d'avoir une meilleure connaissance du type de sol (notamment avec le pH, le taux de matière organique, le carbone, le taux d'azote, de phosphore...). Des mesures de densité apparente par photogrammétrie ont également été prises (cf. Annexe 11).

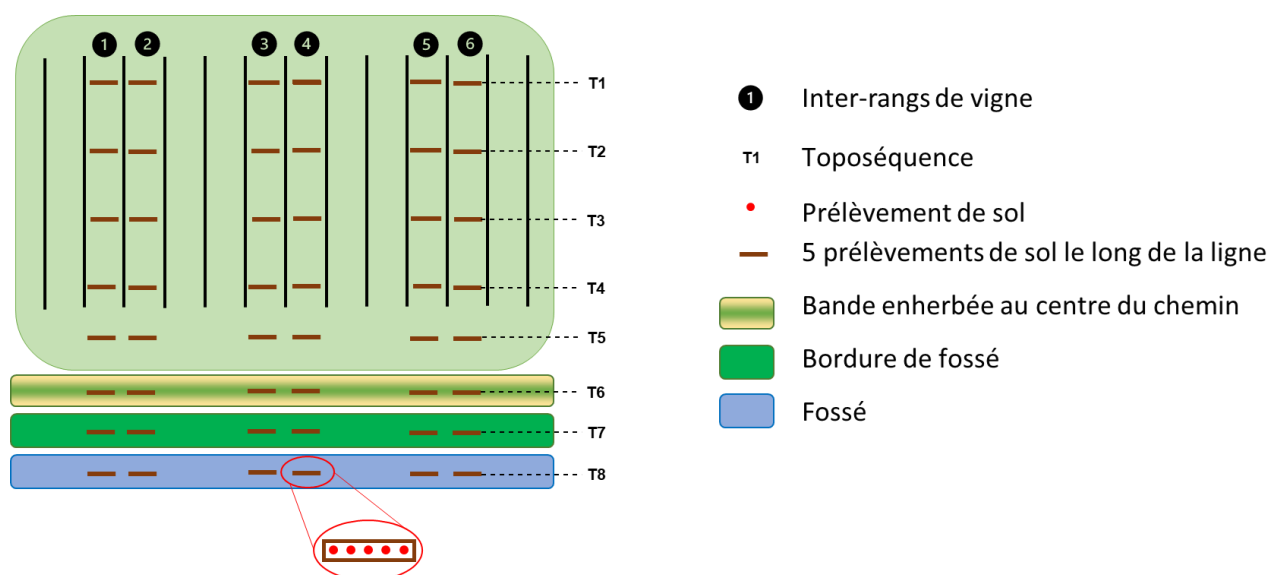


Figure 7 : Schéma des prélèvements de sol sur la parcelle de vigne de la Jasse

## B. Mise en bacs et expérimentations de germination en serre

Une fois les échantillons prélevés (et nommés en fonction de leur position de prélèvement), ceux-ci ont été mis en bacs, dans lequel se trouvait une couche de sable (afin de drainer l'eau), l'échantillon (trié, en enlevant les graines déjà germées, les gros cailloux, la faune, ...), puis une couche de terreau (cf. Annexe 9). Ces bacs sont ensuite placés dans la serre de façon aléatoire afin de ne pas créer un biais lié à d'éventuelles différences de luminosité. 288 bacs au total sont présents dans la serre, dont deux bacs « contrôle ». Ils sont arrosés tous les jours (pas plus de 150ml d'eau par bac), en notant la quantité d'eau utilisée pour chaque bac. Ils ne sont cependant pas arrosés le week-end, mais un arrosage a été ajouté le vendredi soir (en plus des arrosages habituels chaque matin) afin de permettre aux plantes de résister pendant les deux jours (de fortes chaleurs peuvent avoir lieu). Les effets de la chaleur sont cependant estompés grâce à un mécanisme de rideaux se déclenchant automatiquement. La première phase de germination des graines a eu lieu sur la période du 18/03/2022 au 25/07/2022.

Par ailleurs, des photos de chaque bac sont prises tous les jours afin d'entraîner PlantNet à la reconnaissance de plantes aux stades précoces. En effet, le LISAH collabore avec les développeurs de ce logiciel, car ceux-ci se sont montrés intéressés par l'acquisition d'une banque d'images de plantes à leur stade plantule. Le fonctionnement de leurs algorithmes sur ces images permettrait à terme de reconnaître les plantes à un stade plus précoce qu'actuellement. Par ailleurs, les bacs sont identifiés (avec un code) en fonction de leur position dans la serre grâce à des étiquettes collées sur les quatre tranches des boîtes, avec leur code de position dans la parcelle. De plus, quatre mires sont collées dans les coins des bacs afin de permettre la reconnaissance automatique de la surface à analyser par ordinateur pour les essais de reconnaissance de plantules avec PlantNet.

Une fois que les plantes dans les bacs ont un stade avancé (qui pourrait gêner d'autres plantes pour pousser, la prise de photos, ou encore répandre des graines), celles-ci sont arrachées, et identifiées. Cependant, si l'identification est impossible, un repotage est effectué dans des pots individuels (avec du sable et du terreau) jusqu'à ce que l'identification soit possible (cf. Annexe 10). Les identifications sont ensuite entrées sur Excel, avec un code pour chaque espèce.

# Résultats préliminaires et discussions

Mon stage se situant dans la période de mise en place des équipements pour les mesures d'humidité, ainsi qu'au début des relevés floristiques et identification des plantes issues des banques de graines, les résultats obtenus ne sont que préliminaires. Néanmoins, de premiers résultats sont présentés et commentés dans cette partie.

## Résultats des capteurs d'humidité

Les résultats d'humidité présentés ci-dessous sont imprécis, puisque la pose de capteurs d'humidité altère le milieu : en effet, le sol est modifié à l'endroit où le capteur est posé, ce qui fausse les données que celui-ci calcule. Il faut en général attendre un gros épisode pluvieux afin de permettre au sol de se reformer correctement (se retasser). La pose des capteurs a été faite fin avril et en Méditerranée, aucun gros épisode pluvieux n'a eu lieu en été (ceux-ci se déroulant généralement en automne).

La Figure 8 représente les humidités relevées par les capteurs d'humidité posés à Roujan depuis fin avril. Les résultats semblent cohérents pour différentes raisons.

Tout d'abord, le fossé de l'exutoire ainsi que celui de Coste nord (respectivement en bleu clair et noir) présentent une humidité élevée, et se trouvent en aval du bassin-versant. L'humidité semble dépendre de la position sur le bassin versant : les humidités élevées seront plus élevées à l'aval qu'à l'amont. Cependant, quelques exceptions figurent sur ces graphiques. En effet, cinq capteurs se détachent des autres, ayant une humidité élevée. Parmi eux, se trouve le capteur situé au fossé 104 (en vert clair). Par ailleurs, il s'agit du seul capteur ayant mesuré une hausse d'humidité suite aux deux seules pluies qu'il y eut depuis début mai (la première le 06/06/2022, et la deuxième le 23/06/2022). Bien qu'il ne soit pas en aval, ce fossé a un type de sol différent, il est composé de marne, à la texture sableuse, favorisant ainsi les infiltrations. De plus, la marne possède un gros taux d'argiles, ce qui permet de stocker l'eau plus longtemps dans le sol. En effet, ce fossé a gardé une humidité élevée durant tout le stage. Par ailleurs, il se trouve en contre-bas d'une route, et des écoulements supplémentaires peuvent venir de celle-ci.

Le capteur se situant le plus à l'amont du bassin versant se trouve également dans les cinq capteurs mesurant une humidité plus élevée que les autres. Une des explications potentielles était la présence d'une nappe perchée, mais celle-ci n'est pas cartographiée et des mesures ont été prises seulement sur la parcelle 265a (non loin du fossé). Un puits est présent à côté du fossé (cf. Annexe 2), cependant, celui-ci n'est peut-être pas relié à la nappe, et n'est peut-être qu'une retenue d'eau. Nous avons effectué une mesure à l'aide d'une sonde piézométrique afin de connaître le niveau de la nappe, c'est-à-dire la profondeur à laquelle on trouve de l'eau. Cette mesure a été prise sur le rebord du puits, et la nappe se trouvait à 3,8m de profondeur le 20/07/2022, soit environ à 2,8m du capteur d'humidité. Finalement, nous ne possédons pas assez d'éléments pour affirmer que cette nappe perchée, ou cette retenue d'eau pourrait influencer l'humidité de ce fossé. Par ailleurs, la parcelle 114 (du côté opposé au puits) est drainée, ce qui expliquerait mieux cette humidité élevée en mai.

Enfin, le dernier capteur se situant dans ce groupe de cinq est celui du fossé 128a. Ce fossé n'a pas de raison apparente d'être plus humide que les autres. Sa surface drainée n'est pas élevée (comparée aux autres, cf. Annexe 13), et aucune présence de « cuvette » n'a été observée. Cependant, ce fossé présente une dissymétrie importante (cf. Annexe 2), et la parcelle se situant du côté le plus élevée est en friche (donc pas de besoin en eau important) : l'humidité peut donc être conservée. Cette explication n'est cependant pas complète, et repose seulement sur une hypothèse.

D'autre part, on remarque que les parcelles ayant deux capteurs (la 156 et la 82c) sur les inter-rangs labourés et enherbés semblent posséder la même dynamique entre leurs inter-rangs. Cependant, la parcelle 156 (S02) a une humidité plus élevée dans son inter-rang labouré que dans celui enherbé, et inversement pour la parcelle 82c (S3). Ces tendances s'inversent mi-juin : les humidités des inter-rangs enherbé et labouré convergent jusqu'à s'inverser pour la parcelle 156. Pour celle-ci, le fait que l'inter-rang labouré était plus humide depuis mai peut être expliqué avec la surface drainée (cf. Annexe 13).

Tous les capteurs ont mesuré un assèchement des sols au cours des mois, ils ont tendance à tous converger, sauf le capteur du fossé 104. En effet, il n'y a pas eu de pluies importantes, et les épisodes caniculaires se sont succédé. On verra plus tard que cela s'observe aussi sur la végétation située au-dessus de ces capteurs.



Figure 4 : Position des capteurs d'humidité sur le bassin versant du Bourdic (Roujan (34)) : les couleurs des capteurs correspondent aux couleurs des courbes sur les graphs suivants

## HUMIDITÉ MESURÉE SUR LE BASSIN VERSANT DE ROUJAN

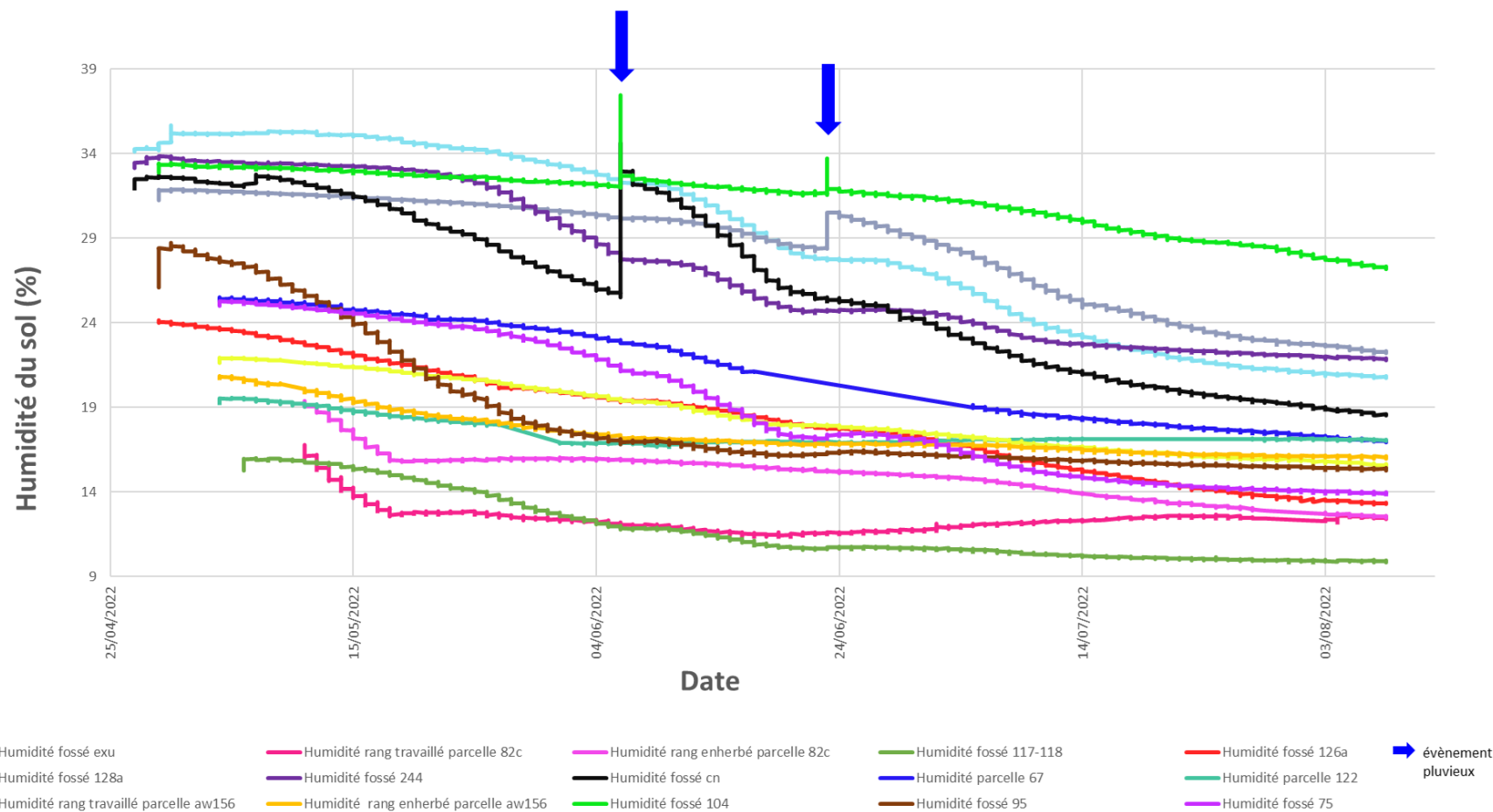


Figure 8 : Pourcentage d'humidité relevé par les capteurs posés à Roujan

Finalement, le fait d'avoir positionné les capteurs d'humidité à 30 cm de profondeur ne permet pas de voir les variations fines d'humidité du sol. Les petites pluies survenues en juin n'ont été mesurées que par trois capteurs. Bien que les petites variations ne soient pas visibles, le dispositif semble tout de même suffisant afin d'observer la dynamique globale, et pouvoir par la suite relier l'humidité du sol aux successions de communautés végétales présentes au-dessus.

## Résultats des relevés floristiques

Les relevés floristiques ont été faits toutes les deux à trois semaines afin de pouvoir suivre l'évolution de la végétation, notamment avec la sécheresse. Le choix d'analyser les résultats par site et non par quadrat a été fait afin d'éviter les décalages potentiellement faits d'une date à une autre. Pour rappel, le terme « site » désigne les localisations des relevés floristiques au-dessus des capteurs, englobant les sept quadrats (cf. p.14 ).

Tout d'abord, la Figure 10 représente le nombre d'espèces différentes identifiées par site, pour chaque date. Ce graphique est fait sous forme de boîte à moustache, qui se lit comme le montre la Figure 9 ci-contre. Cette figure montre que la richesse entre date ne varie que peu. Cependant, la moyenne, ainsi que la médiane sont supérieures fin mai. Si des relevés floristiques ne doivent avoir lieu qu'une seule fois, il serait donc pertinent de les faire fin mai, bien que les espèces non-identifiées (généralement les poacées) sont aussi plus fréquentes fin mai (cf. Annexe 14).

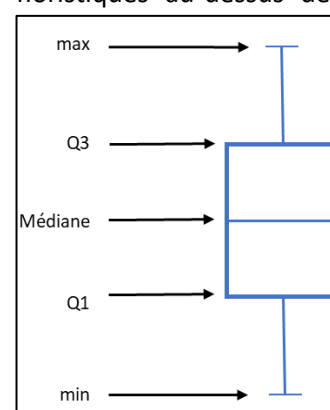


Figure 9 : Schéma de lecture d'une "boîte à moustache"

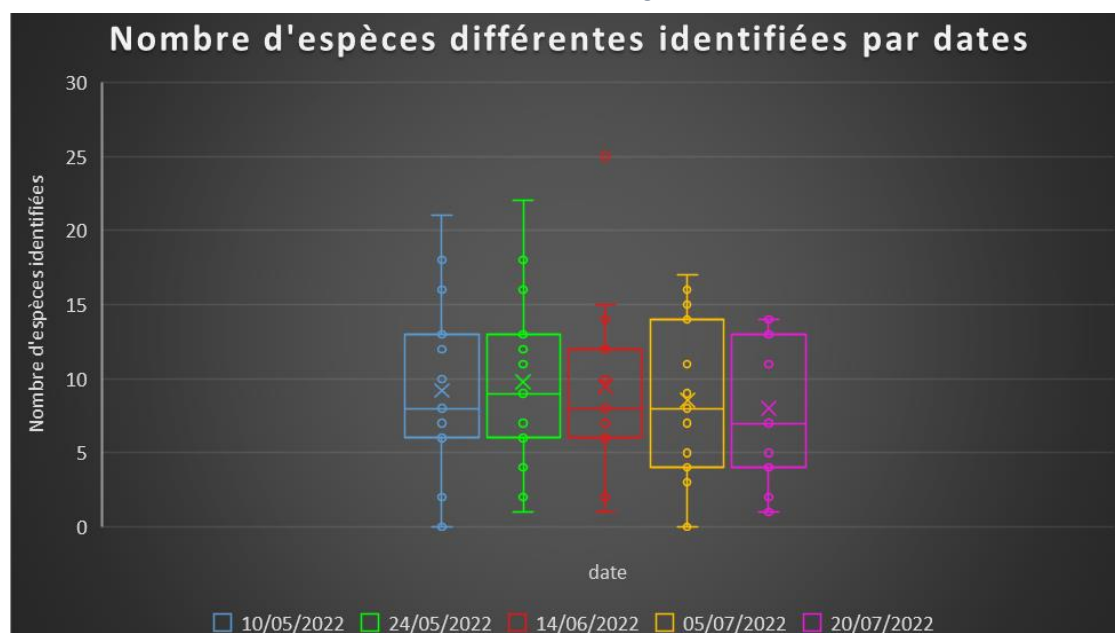


Figure 10 : Boîte à moustache représentant le nombre d'espèces différentes identifiées par dates

La Figure 11 représente la richesse spécifique par site, soit le nombre d'espèces trouvées dans les sept quadrats positionnés sur un capteur donné. Les capteurs s'identifient de la façon suivante : « S.. » pour le numéro du capteur (cf. Tableau 1), puis la lettre « E » pour les inter-rangs enherbés ou les fossés, ou « T » pour les inter-rangs labourés. La parcelle aw82c présente une exception : les inter-rangs enherbés et labourés sont désignés respectivement par « D » et « G » car la distinction sur le terrain était impossible (D correspondant à l'inter-rang labouré, et G à l'inter-rang enherbé).

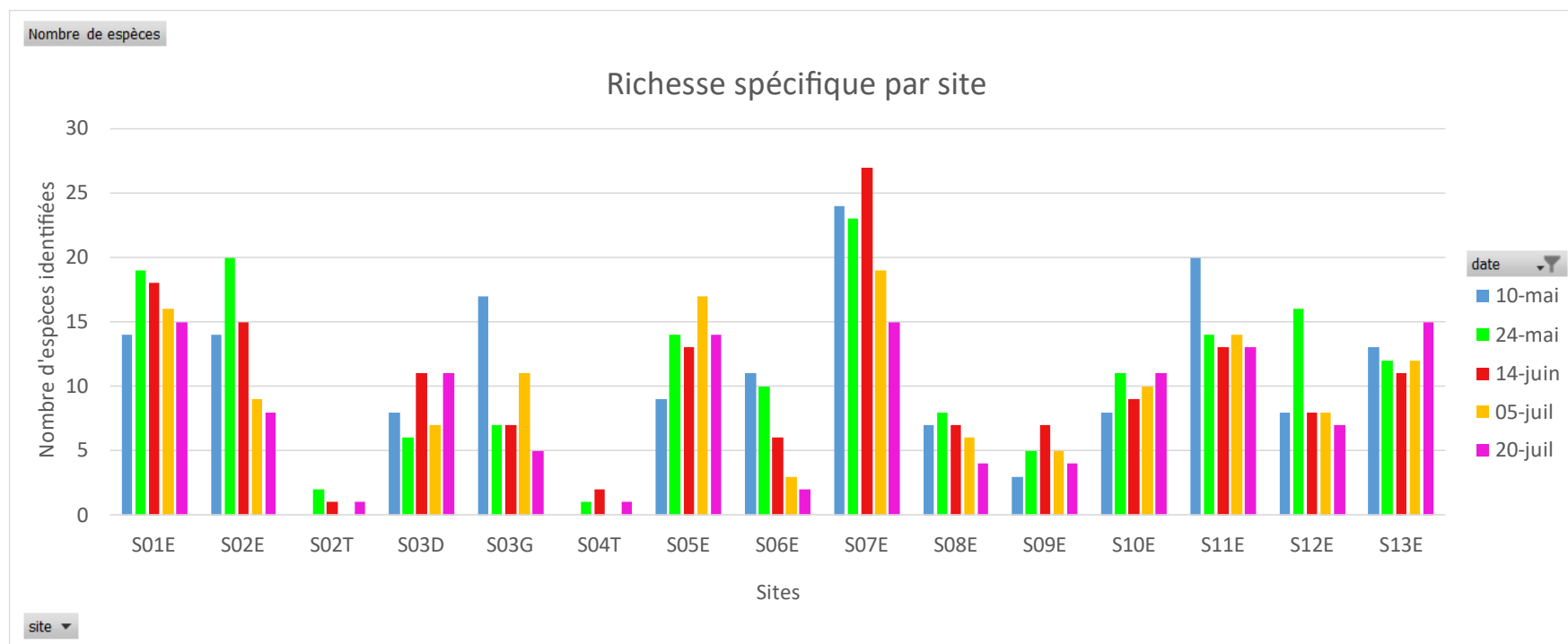


Figure 11 : Nombre d'espèces différentes présentes par site

On peut observer sur la Figure 11 que le nombre d'espèces identifiées a tendance à diminuer de mai à août. Cela est dû à plusieurs choses : la première est le fait de faucher, généralement fait à partir de juin, et la parcelle aw82c (S03G) en est le parfait exemple. La première fauche a eu lieu un jour avant le deuxième relevé. Le travail (ici le labour) a aussi un impact sur la richesse, comme pour la parcelle aw122 (S06) qui était complètement enherbée, mais a été labourée régulièrement à partir du 27/05. De plus, la sécheresse semble également jouer un rôle important sur la richesse.

Cependant, quelques exceptions figurent, ce qui peut être dû au fait que de nouvelles espèces apparaissent, mais aussi au fait qu'au fur et à mesure des relevés, la reconnaissance était plus simple (l'œil est mieux entraîné, notamment grâce à la reconnaissance des plantes et plantules de la serre, cf. Banque de graines) ; mais aussi le fait qu'à partir de juin, nous étions deux à reconnaître les espèces dans un quadrat. De plus, lors de la pose des capteurs, le sol avait été creusé, ce qui a fait mourir la végétation se trouvant au-dessus : celle-ci a mis du temps à se renouveler.

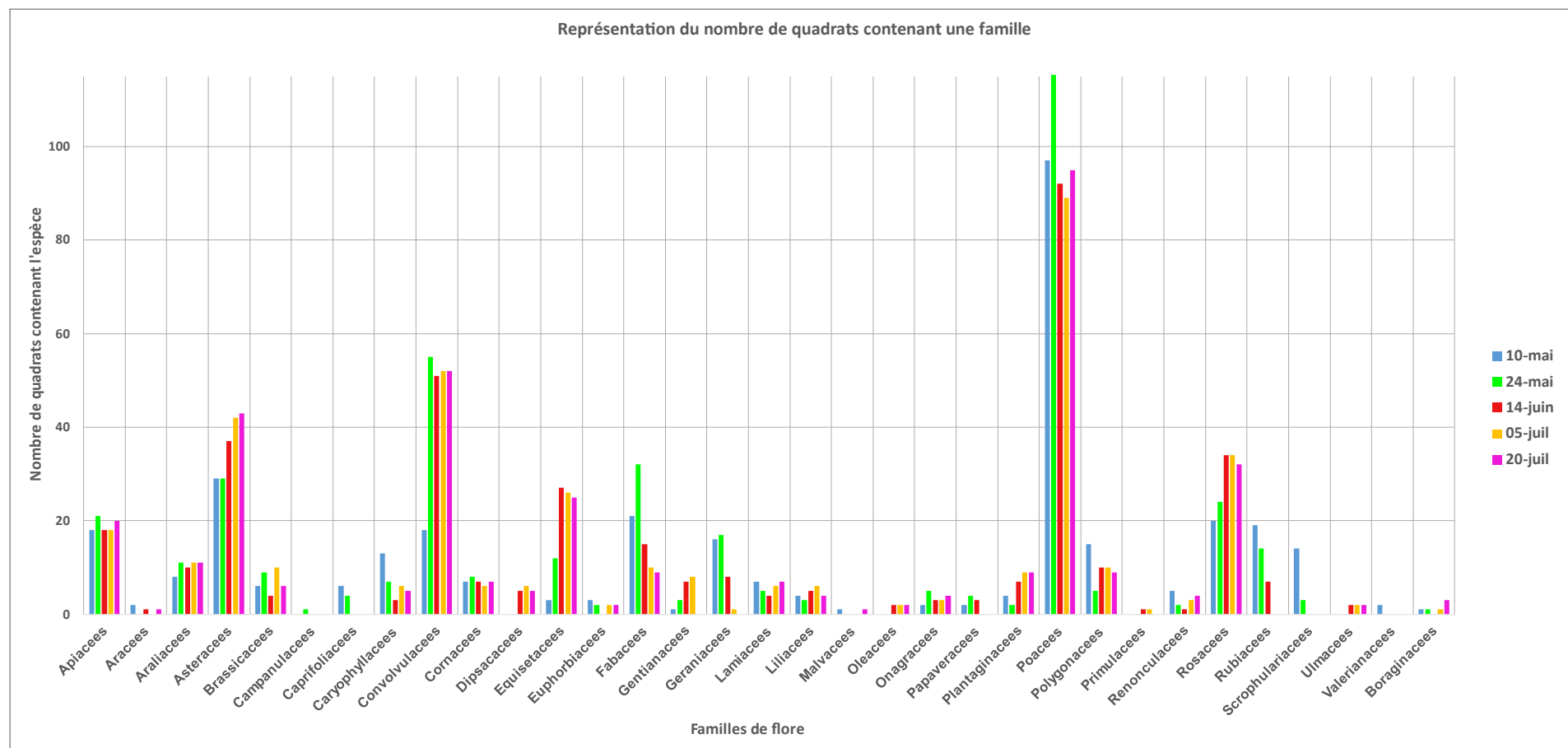


Figure 12 : Nombre de quadrats ayant la présence d'une famille donnée

La Figure 12 représente le nombre de quadrats dans lesquels apparaissent une famille donnée. Le choix a été fait de représenter le nombre d'apparitions des familles et non des espèces pour permettre au graphique d'être lisible dans un premier temps, mais aussi pour limiter les erreurs potentiellement faites notamment sur les poacées ou encore les érigerons, qui sont plus difficiles à identifier. Les poacées dominent largement les relevés, suivis des convolvulacées puis des astéracées. Fin juillet, il ne restait presque que des poacées, qui semblent bien résister à la sécheresse.

Les principales espèces trouvées durant tout le stage sont : *convulvulus arvensis* (le liseron) en grande majorité, suivi de *vulpia myuros* (vulpie queue-de-rat), *lolium perenne* (ray-grass), *hordeum murinum* (orge des rats) qui sont des poacées, et *equisetum hyemale* (prêle d'hiver).

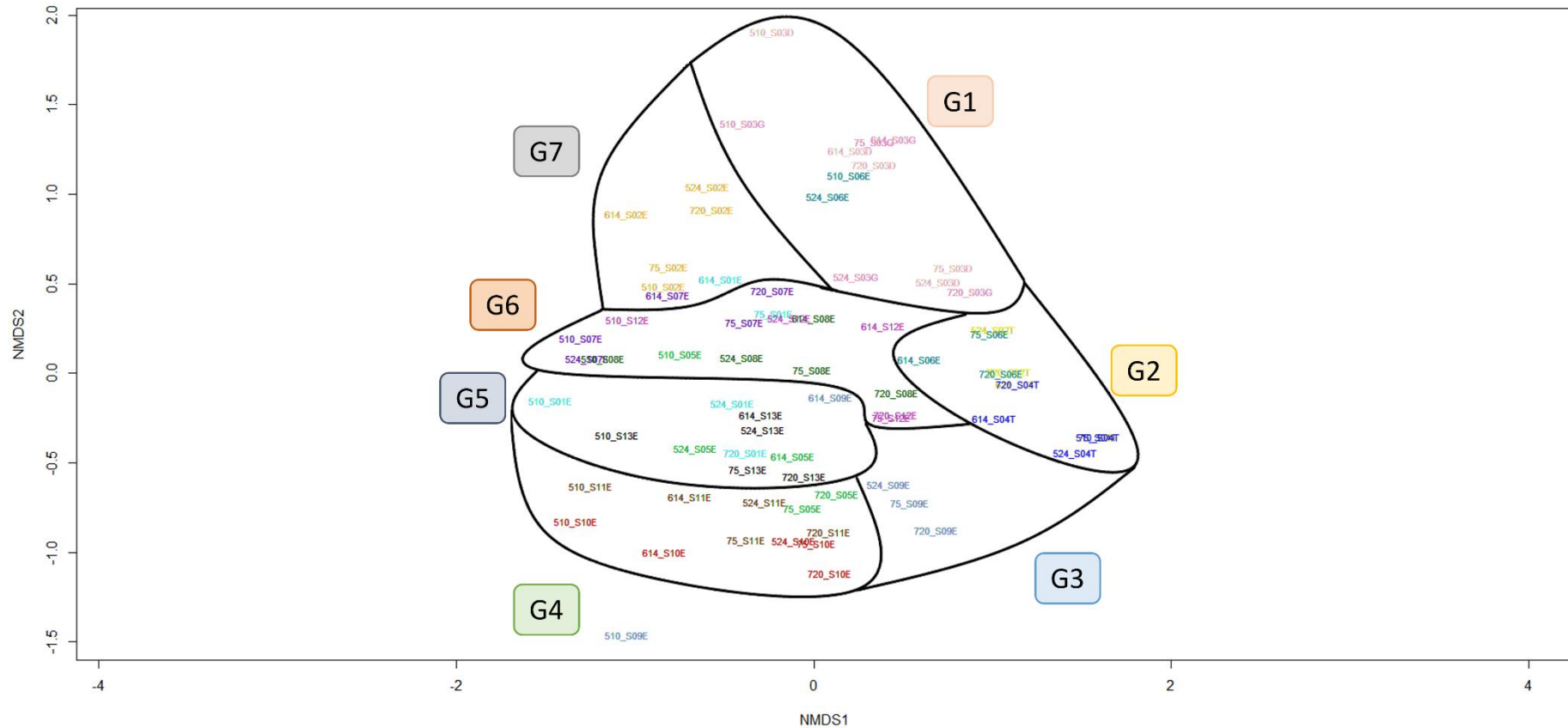


Figure 13 : Graphique représentant les similarités entre sites par dates en fonction des espèces identifiées

Les Figure 13 et Figure 14 représentent la similarité entre les différents relevés floristiques effectués sur les sites (à Roujan). Cette similarité a été calculée à l'aide de l'indice Bray-Curtis afin d'avoir un stress le plus faible possible (par rapport à l'indice Jaccard). Les couleurs de la Figure 13 correspondent aux couleurs des capteurs sur la carte (Figure 4), et les chiffres devant les noms des capteurs (S..) correspondent aux dates (par exemple, 75\_S03D correspond au relevé floristique sur le capteur de la parcelle aw82c, inter-rang labouré, en rose sur la carte, fait le 5 juillet). Différents groupes ont été identifiés, comme étant des fossés ou des parcelles ayant beaucoup de ressemblance dans les relevés floristiques. Ces groupes ont été identifiés et représentés manuellement en G1, G2, .... La délimitation a été faite en prenant un nombre de groupes inférieur à 10 afin de ne pas séparer tous les capteurs, tout en essayant de représenter au mieux la réalité. Le site S09 à la date du 10/05/2022 n'a pas été placé dans un groupe en raison de son éloignement important. On va par la suite essayer d'expliquer ces ressemblances.

Tout d'abord, le groupe 1 (G1) est constitué des deux sites de la parcelle 82c, et des deux premiers relevés du site de la parcelle 122 (du 10/05 et du 24/05). La parcelle 82c, possède des inter-rangs labourés et enherbés, notés S03D et S03G, car ceux-ci n'étaient pas distinguables à l'œil nu : leurs relevés floristiques sont par conséquent similaires. Par ailleurs, la parcelle 122 était initialement enherbée, mais le sol a commencé à être labouré après les deux premiers relevés. Il est donc cohérent de trouver ces relevés similaires.

Le groupe 2 (G2) regroupe les inter-rangs labourés des sites des parcelles 67, 122 (après fin mai), et 156. Le sol étant labouré, il n'y avait presque que du sol nu, et parfois du *Convolvulus arvensis*, ce qui les place ensemble dans le groupe.

Le troisième groupe est constitué uniquement de trois relevés floristiques dans le fossé 128a. L'humidité du sol (à 30cm) de ce fossé était élevée depuis fin avril, et a diminué à partir de mi-juin. On y trouve essentiellement des poacées, mais aussi du lierre et de l'asperge sauvage à chaque relevé. Cependant, les poacées n'étaient pas forcément identifiables, ce qui éloigne les relevés du 10/05/2022 et du 14/06/2022. Ce fossé n'est pas ombragé, mais possède une asymétrie importante : un des côtés est bien plus élevé que l'autre (cf. Figure 5), ce qui peut mettre une partie du fossé à l'ombre pendant la journée.

Le groupe 4 comprend le fossé 95 et le fossé 126a, qui sont deux fossés à l'ombre la majorité du temps. Leurs humidités sont proches (en moyenne 20%, cf. Figure 8). De plus, les relevés entre ces deux sites sont proches par dates : le relevé 510-S10E et 510\_S11E sont proches, puis 614\_S10E et 614\_S11E, ... De plus, ces deux fossés possèdent du lierre et des arbustes.

Le cinquième groupe, constitué par les fossés Coste nord et exutoire (les deux fossés les plus à l'aval), possédant tous les deux une humidité du sol élevée, et leur surface drainée est élevée également. Comme pour le groupe précédent, les relevés sont similaires en fonction des dates de relevés.

Les relevés du fossé 104 (S05) se partagent dans les groupes 4 et 5, mais ce fossé est particulier : il a une humidité élevée par rapport à tous les autres (cf. Résultats des capteurs d'humidité), et le sol est constitué de marne, il a donc plus d'argiles que les autres.

Le sixième groupe contient plusieurs fossés (aw75, aw244, aw117-118), qui n'ont par rapport au placement ou encore à l'humidité du sol aucun point commun. On retrouve cependant beaucoup de poacées, ce qui a dû les rapprocher.

Le groupe 7 est constitué en majorité de l'inter-rang enherbé de la parcelle 156. Ce site est fauché régulièrement. Bien qu'il ait été identifié dans un groupe à part, ce site est situé sur le haut du graphique, proche des autres sites d'inter-rangs enherbés.

Les résultats auraient pu être différents en utilisant un autre indice que celui de Bray-Curtis, avec une autre manière de calculer la distance entre sites. En outre, relever l'abondances des espèces dans chaque quadrat aurait aussi pu modifier ce graphe, et améliorer ainsi les résultats.

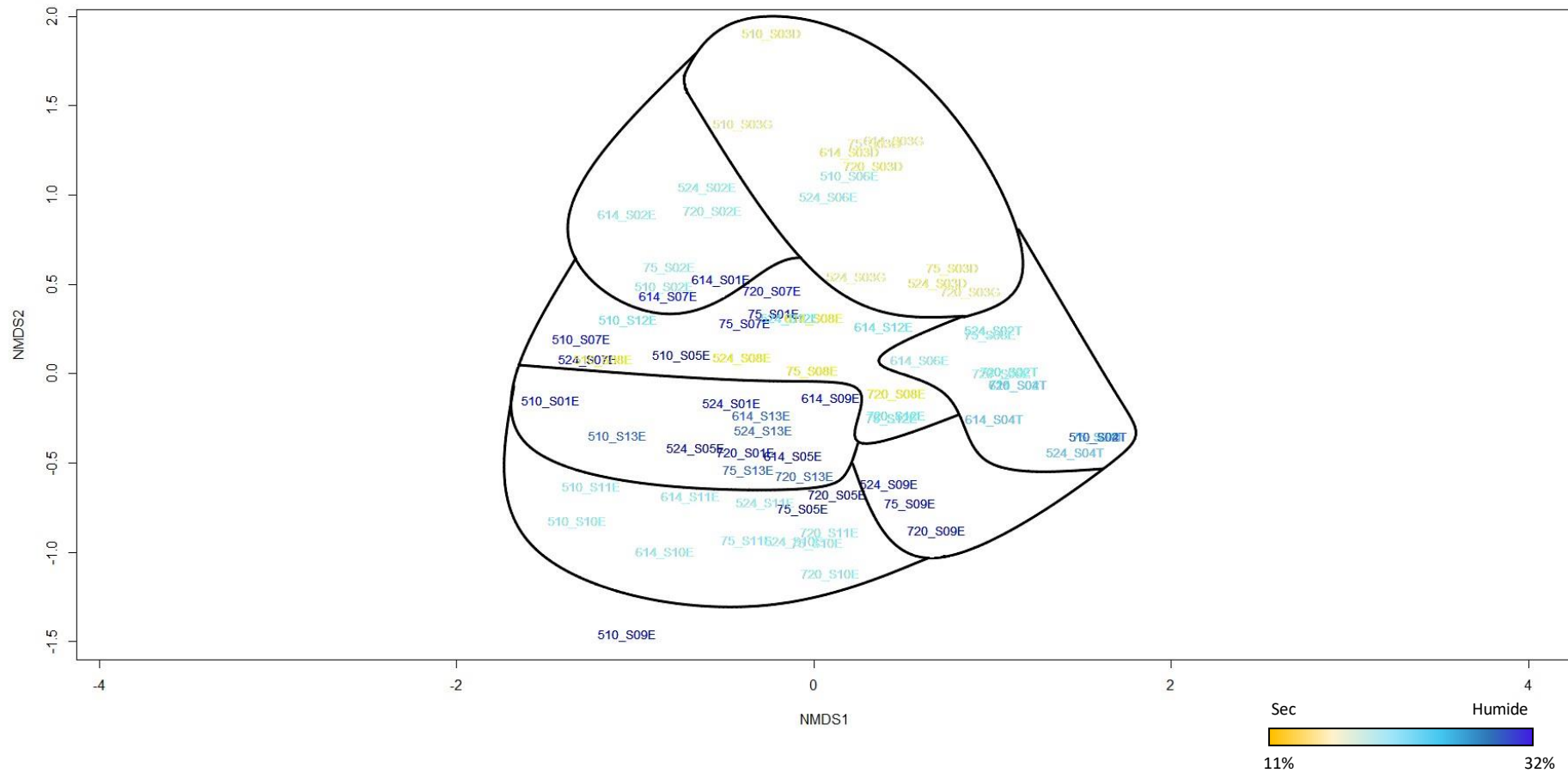


Figure 14 : Similarités entre sites en fonction des espèces trouvées, les couleurs représentant le gradient d'humidité

La Figure 14 représente le même graphique que celui de la Figure 13, mais le code couleur est différent : celui-ci vise à mettre en lumière les différents niveaux d'humidités entre sites, afin d'essayer de voir si l'humidité du sol semble avoir un impact sur les communautés végétales, c'est-à-dire si les sites sont proches sur le graphique, est-ce grâce au taux d'humidité dans le sol. On peut voir sur la figure que les sites ayant une humidité élevée sont plutôt proches, mais le site ayant l'humidité la plus basse est au milieu de ces sites. Ils sont entourés de part et d'autre par des sites ayant une humidité moyenne d'environ 17% ou 18% (cf. Tableau 3).

Nom	id_site	moyenne humidité
fosse 104	S05	31,27
fosse exutoir	S01	28,44
fossé aw128a	S09	28,07
fossé aw244	S07	27,01
fosse coste nord	S13	25,51
parcelle aw67	S04	21,28
fossé aw 75	S12	18,92
parcelle aw156 travaillé	S02	18,37
fosse 126a	S10	17,82
fossé aw95	S11	17,66
parcelle AW122	S06	17,50
parcelle aw 156 enherbé	S02	17,31
parcelle aw82c enherbé	S03	15,54
parcelle aw82c travaillé	S03	12,39
fosse aw 117	S08	11,78

Tableau 3 : Moyenne d'humidité du sol par site

Les successions de végétation n'ont pas été flagrantes jusqu'au mois d'août, en effet, le même calcul de distance que pour les figures 11 et 12 a été appliqué pour chaque site, mais les résultats n'étaient pas analysables du fait d'un manque de données. De plus, certaines espèces, qui étaient en partie desséchées et ont parfois été comptabilisées. Le point marquant n'était qu'en août, où la plupart de la végétation a séché.

# Conclusion

Finalement, les données analysées durant ce stage ne permettent pas d'affirmer que l'humidité du sol joue un rôle important dans la succession des communautés végétales. La luminosité, ou encore la température jouent peut-être un rôle au moins aussi important, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions avec un seul facteur (ici le facteur d'humidité). Le facteur modifiant le plus la végétation étudiée est sans aucun doute la gestion des inter-rangs de vignes et des fossés. En effet, le fait de faucher les fossés ou les inter-rangs ou labourer altère grandement les communautés végétales présentes, et la reprise de la végétation peut s'avérer parfois longue, et peut-être d'autant plus longue à cause d'un manque d'eau.

Il est important de garder à l'esprit que ce stage se situait au début de l'expérience, et par conséquent, les conclusions ne peuvent être prises pour acquises. Celles-ci seront plus pertinentes après au moins un an, car les successions végétales ne sont pas très rapides.

Ce stage m'a permis de progresser grandement en botanique, mais également d'approfondir mes connaissances en hydrologie, notamment sur les moyens de générer des données. Le monde de la recherche est un milieu très enrichissant, et le fait d'avoir des personnes ayant des spécialités différentes permet de comprendre au mieux les phénomènes étudiés.

# Références

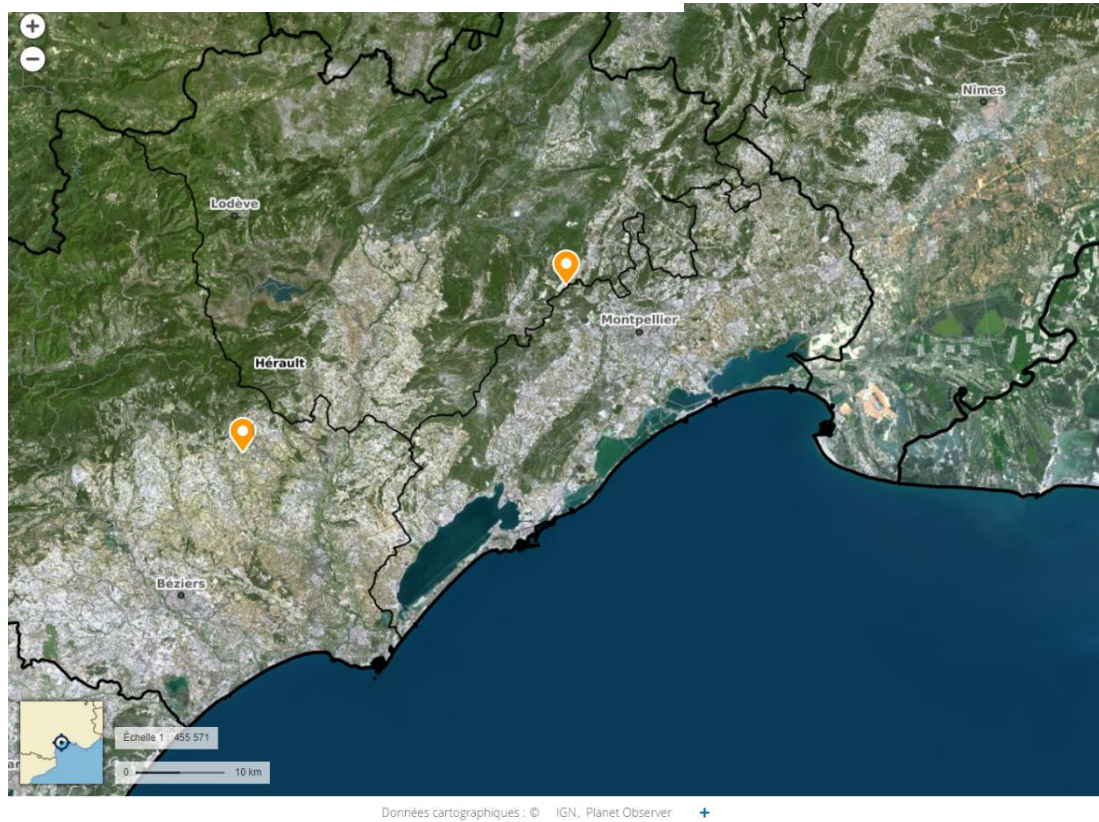
- Ben-Salem, N., Álvarez, S., & López-Vicente, M. (2018). Soil and Water Conservation in Rainfed Vineyards with Common Sainfoin and Spontaneous Vegetation under Different Ground Conditions. *Water*, 10(8), 1058. <https://doi.org/10.3390/w10081058>
- Boyer, J. (1982). *Facteurs de fertilité et utilisation des sols*. ORSTOM.
- Celette, F. (2007). *Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen*. 412.
- Celette, F., Gaudin, R., & Gary, C. (2008). Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 29(4), 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007>
- Chadha, A., Florentine, S. K., Chauhan, B. S., Long, B., & Jayasundera, M. (2019). Influence of soil moisture regimes on growth, photosynthetic capacity, leaf biochemistry and reproductive capabilities of the invasive agronomic weed; *Lactuca serriola*. *PLOS ONE*, 14(6), e0218191. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218191>

- Doussan, C., Ruedessols, C., & Cousin, I. (s. d.). *La Réserve Utile : Concepts, outils, controverses*. 41.
- Freschet, G. T., Violle, C., Roumet, C., & Garnier, E. (2018). *Interactions entre le sol et la végétation : Structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol*. 23.
- Fried, G., Cordeau, S., Metay, A., & Kazakou, E. (2019). Relative importance of environmental factors and farming practices in shaping weed communities structure and composition in French vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.006>
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards : A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>
- Gaudin, R., Celette, F., & Gary, C. (2010). Contribution of runoff to incomplete off season soil water refilling in a Mediterranean vineyard. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1534-1540. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.007>
- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907-6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>
- Labidi, A., Bouthier, A., & Cousin, I. (2020). *Comment évaluer simplement la Réserve Utile d'un sol?* 5.
- McBratney, A. B., Minasny, B., Cattle, S. R., & Vervoort, R. W. (2002). From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109(1-2), 41-73. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00139-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00139-8)
- Nsanzimfura, T. (2015). *ETUDE DE LA DENSITE APPARENTE ET DE LA POROSITE DU SOL DANS LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL CROP-NEWS DE KAMBOINSE*. 74.
- Ovalle, C., del Pozo, A., Peoples, M. B., & Lavín, A. (2010). Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a 15N dilution technique. *Plant and Soil*, 334(1-2), 247-259. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0379-1>

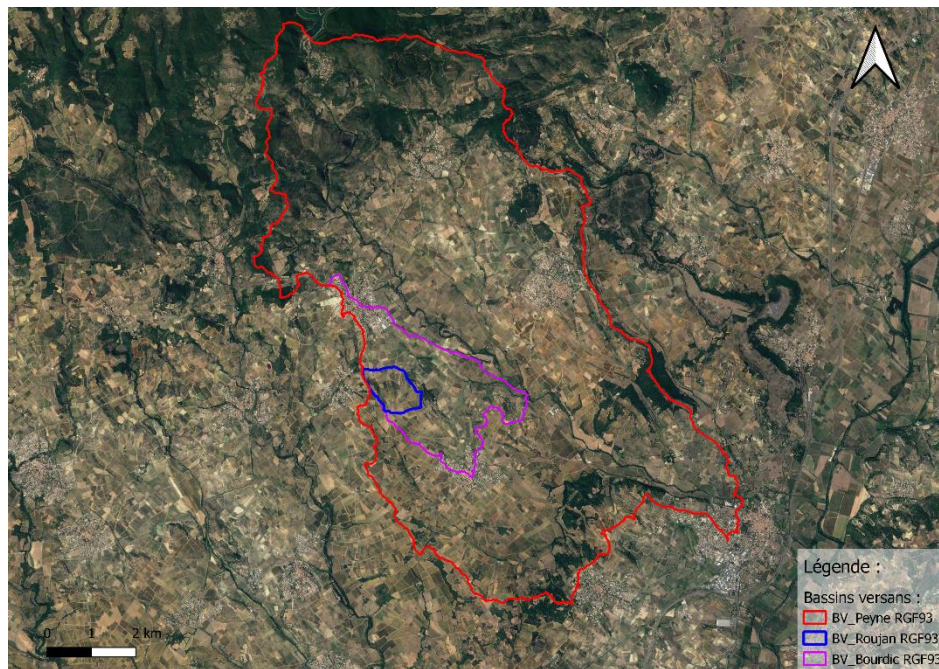
- Rudi, G., Bailly, J.-S., & Vinatier, F. (2018). Using geomorphological variables to predict the spatial distribution of plant species in agricultural drainage networks. *PLOS ONE*, 13(1), e0191397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191397>
- Shortt, R., Verhallen, A., & Fisher, P. (2011). *Surveiller l'humidité du sol pour améliorer les décisions d'irrigation*. 12.
- Singh, M., Kukal, M. S., Irmak, S., & Jhala, A. J. (2022). Water Use Characteristics of Weeds : A Global Review, Best Practices, and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 794090. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.794090>
- Sonnier, G. (2009). *Des traits des espèces à la structure des communautés végétales : Vers une approche fonctionnelle et prédictive de l'écologie des communautés*. [s.n.].
- Souza, M. de F., Silva, T. S., Santos, J. B. dos, Carneiro, G. D. O. P., Reginaldo, L. T. R. T., Bandeira, J. N., Santos, M. S. dos, Pavão, Q. S., Negreiros, M. Z. de, & Silva, D. V. (2020). Soil water availability alter the weed community and its interference on onion crops. *Scientia Horticulturae*, 272, 109573. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109573>
- Stuart, B. L., Harrison, S. K., Abernathy, J. R., Krieg, D. R., & Wendt, C. W. (1984). The Response of Cotton ( *Gossypium hirsutum* ) Water Relations to Smooth Pigweed ( *Amaranthus hybridus* ) Competition. *Weed Science*, 32(1), 126-132. <https://doi.org/10.1017/S004317450005863X>
- Todoroff, P., & Langellier, P. (1994). La réflectométrie temporelle est une méthode récente de mesure de l'humidité volumique du sol. *Agriculture et développement*.
- Volaire, F., & Lelievre, F. (2001). *Drought survival in Dactylis glomerata and Festuca arundinacea under similar rooting conditions in tubes*. 10.
- Wilmanns, O. (1989). Vergesellschaftung und Strategie-Typen von Pflanzen mitteleuropäischer Rebkulturen. *Phytocoenologia*, 18(1), 83-128. <https://doi.org/10.1127/phyto/18/1989/83>
- Yoro, G., & Godo, G. (1990). *Les méthodes de mesure de la densité apparente : Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné*. 7.

# Annexe

## Annexe 1 : Cartes des lieux d'étude



Carte des emplacements du site de Roujan (à l'ouest) et la Jasse (plus proche de Montpellier)



Bassin versant de Roujan (bleu)

*Annexe 2 : Photo des sites où les capteurs sont posés*



Parcelle 82c (S03)



Fossé de l'exutoire (S01)



Parcelle 156 (S02)



Fossé Coste Nord (S13)



Fossé aw75 (S12)



Parcelle aw67 (S04)



Fossé aw104 (S05)



Parcelle aw122 (S06), après travail



Fossé aw126a (S10)



Fossé aw95 (S10)



Fossé aw182a (S09)



Fossé aw 117-118 (S08)



Fossé aw244 (S07)

### Annexe 3 : Etude bibliographique des différentes techniques de mesures d'humidité

#### Quelles sont les principales techniques pour mesurer/évaluer l'humidité du sol ? A quoi cela sert-il ?

« Les mesures d'humidité du sol s'effectuent soit par des méthodes destructrices (prélèvement d'échantillons), soit par des méthodes in situ. Il n'existe pas de technique d'évaluation de l'humidité du sol à la fois facile à mettre en œuvre et totalement sûre. » (Todoroff & Langellier, 1994)

Connaître le taux d'humidité d'un sol permet principalement d'adapter l'irrigation, afin d'apporter la bonne quantité d'eau aux cultures (seulement la quantité dont les plantes ont besoin). En effet, pouvoir irriguer les cultures avec la bonne quantité d'eau et au moment opportun permet un meilleur rendement, des produits de meilleure qualité, une potentielle réduction des maladies, et réduit ainsi les coûts liés à l'irrigation (Shortt et al., 2011). Par ailleurs, mesurer l'humidité dans le sol peut également permettre de connaître le taux d'infiltration et ruissellement sur la parcelle étudiée.

Connaître le taux d'humidité d'un sol fait partie « des informations nécessaires à la compréhension du fonctionnement hydrodynamique du milieu et à l'estimation du bilan hydrique des cultures » (Langellier, 1997)

#### Quelques définitions :

**Capacité de rétention** : eau contenue dans le sol 2 ou 3 jours après un événement pluvieux ayant entraîné une saturation.

**Point de flétrissement permanent** : taux d'humidité dans le sol à partir duquel les plantes flétrissent (il n'y en a pas assez, elle est retenue par les particules de terre)

Entre les deux : eau disponible, appelée aussi réserve utile



Voir Figure 1 en annexe

L'humidité de surface du sol conditionne les échanges avec l'atmosphère par l'intermédiaire du bilan d'énergie à la surface du sol. Connaître le taux d'humidité permet de :

- Déterminer de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols.
- Déterminer les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol.
- Détecter les périodes de stress hydrique
- Surveiller la croissance de la végétation et prédire la production agricole -> permet d'améliorer la gestion des ressources en eau

L'humidité dans le sol influence le processus de germination des semences, d'émergence ainsi que la croissance végétale.

Il existe plusieurs méthodes pour connaître ce taux, les principales vont être détaillées.

Pédohygromètre	Tensiomètre
Ils mesurent la résistance électrique du courant passant entre des électrodes enfoncées dans une matière semblable à du sable fin entourée d'un matériau synthétique poreux. Une sonde est enfouie complètement dans le sol. Le principe est semblable aux tensiomètres.	Mesure la tension ou la succion (attraction exercée par un système) dans le sol. Plus la tension est élevée, plus le sol est sec. Le tensiomètre est constitué d'un tube scellé, rempli d'eau avec une extrémité (qu'on plante dans le sol) en céramique. L'autre extrémité est un manomètre à dépression étanche à l'air. Lorsque la pointe en céramique arrive à l'équilibre avec le sol environnant, le manomètre mesure la tension de l'eau dans le sol.
- : ne convient pas à tous type de sol (pas de sols graveleux, sableux ou tourbeux)	+ : peu cher - : entretien régulier pour remplir le tube

Méthode thermo gravimétrique	Méthode des sondes neutroniques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélever un échantillon de sol dans un cylindre et le peser : le volume et le poids du cylindre sont connus</li> <li>- Mettre à l'étuve à 105°C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon soit constant : il n'y a plus d'eau dedans</li> <li>- La connaissance de la densité donne la teneur en eau volumique du système.</li> <li>- On en déduit l'humidité massique</li> </ul>	<p>Mise en place d'une sonde utilisant une faible source radioactive, envoyant des neutrons en continu. La mesure est faite sur le temps que mettent les neutrons à revenir à la source : ceux-ci sont freinés par les atomes d'hydrogène présents dans l'eau. La quantité d'eau est ainsi mesurée dans un rayon d'environ 40 cm autour de la sonde.</p>
<p>+ : C'est la méthode la plus précise de mesure de l'humidité du sol, elle est indispensable pour calibrer les autres méthodes de mesures, en particulier la méthode neutronique (Hillel, 1988).</p> <p>- : long, résultats en labo, destructrice pour le sol en fonction du nombre d'échantillons</p>	<p>+ : facile et rapide pour les mesures répétitives</p> <p>- : coût, très réglementée (radioactif), installer la sonde à plusieurs mètres de profondeur, calibration en fonction du type de sol.</p>

### Capteurs diélectriques :

Ils mesurent tous la permittivité diélectrique.

Humidimètres capacitifs	TDR (réflectométrie temporelle)	TDT
<p>Un humidimètre capacitif est constitué par une lame de polymère. Quand le polymère absorbe de l'eau, son volume augmente, la distance entre les électrodes augmente également, et la permittivité diélectrique varie, ce qui a pour conséquence de modifier la capacité du condensateur. La sonde est donc insérée dans le sol et mesure la capacité qui varie avec l'humidité.</p>	<p>Le principe de cette mesure est basé sur la détermination du temps de propagation d'un pulse électromagnétique le long d'une électrode introduite dans le sol. Le signal émis est réfléchi par une discontinuité d'impédance dans la ligne de transmission, et superposé à la même extrémité de la ligne de transmission que l'émetteur. Le temps mesuré est un temps bidirectionnel. Le temps de propagation de ce pulse dépend étroitement de l'humidité du sol : elle est proportionnelle à l'humidité volumique.</p>	<p>TDT : Time Domain Transmissometry</p> <p>Même principe que la TDR, mais l'impulsion est observée à l'autre extrémité de la ligne de transmission par rapport à l'émetteur. Le temps mesuré est un temps de propagation unidirectionnel.</p> <p>Plus l'humidité dans le sol est élevée, plus la diélectricité est élevée, ce qui conduit à une diminution de la vitesse de propagation et donc à une fréquence de comptage de l'oscillateur plus faible.</p>
<p>+ : lectures continues</p> <p>- : volume d'influence limité, correction à apporter avec la température, circuit électronique à mettre en place pour compenser l'influence de la conductivité</p>	<p>+ : précis</p> <p>- : coût</p>	<p>+ : le signal reçu est plus simple à analyser que pour la TDR et plus précis du fait de la robustesse des mesures contre les réflexions multiples le long du capteur</p> <p>- : coût</p>

Nous allons utiliser des capteurs SPADE qui utilisent le principe de réflexion temporelle, sous le modèle des TDT.

## Références :

- Shortt, R., Verhallen, A., & Fisher, P. (2011). *Surveiller l'humidité du sol pour améliorer les décisions d'irrigation*. 12.
- Todoroff, P., & Langellier, P. (1994). La réflectométrie temporelle est une méthode récente de mesure de l'humidité volumique du sol. *Agriculture et développement*.
- Zante, P. (2002). *TDR technology applied to soils : Water content and soil bulk electrical conductivity measurements*. 27.
- Langellier-Bellevue P. (1997). *Utilisation de la réflectométrie pour la mesure de l'humidité du sol. Applications*
- ZEROUATI F. (2015). *Estimation de l'humidité du sol d'un périmètre irrigué à partir d'images satellitaires*
- SDEC : <https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-theorie.html>

## ANNEXE :

### Annexe 1 :

Calculs pour l'analyse des données :

Avec les techniques électromagnétiques (Capacitive et TDR) on mesure la teneur volumique en eau d'un sol ou humidité volumique :

$$H_v = \text{Vol. d'eau} / \text{Vol. total de sol}$$

Avec la méthode gravimétrique on mesure l'Humidité Pondérale :

$$H_p = \text{Masse d'eau} / \text{Masse de sol sec}$$

La relation entre  $H_v$  et  $H_p$  est :

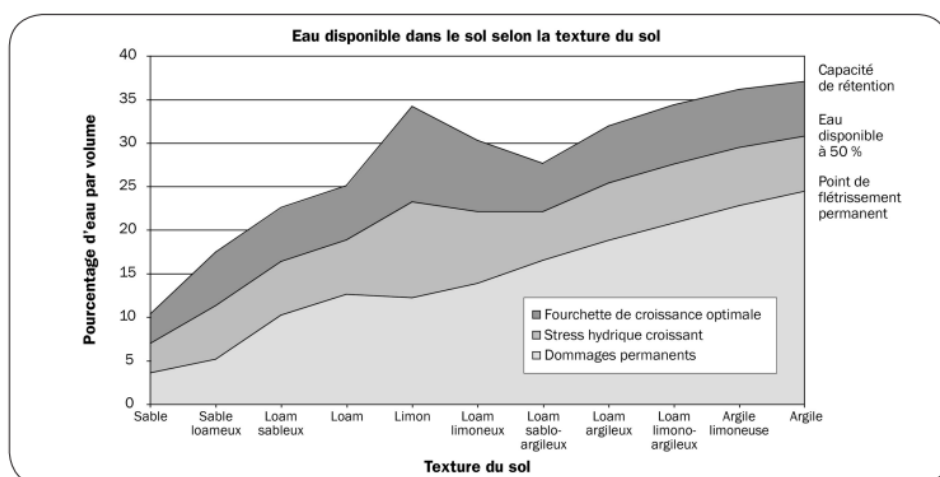
$$H_v = H_p \times d_a$$

$d_a$  : densité apparente du sol, ou masse volumique apparente

$$d_a = \text{Masse de sol sec} / \text{Vol. total}$$

Pour passer de l'humidité volumique à l'humidité pondérale et vice-versa, il faut connaître la densité apparente du sol.

### Annexe 2 :



**Figure 3.** Eau disponible dans le sol selon la texture du sol. D'après des données tirées de Ratliff, L.F., Ritchie, J.T. et Cassel, D.K. *Soil Science Society of America Journal* 47, 770(5), 1983.

Figure 1 : Eau disponible dans le sol

(source : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (Ontario))

#### *Annexe 4 : Pose de capteurs d'humidité*



Pose des capteurs à 30 cm de profondeur



Relevés GPS sur les capteurs



Mesure de la densité apparente vers les capteurs par la méthode du cylindre

#### Annexe 5 : Equation permettant de calculer l'humidité du sol

$$\Theta \left( m^3 / m^3 \right) = 3.879 \times 10^{-4} \times RAW - 0.6956$$

RAW correspond à la donnée renvoyée par le capteur (sa mesure).

#### Annexe 6 : Recherche bibliographique sur la densité apparente

Quelles sont les principales techniques pour mesurer/évaluer la densité apparente du sol ?  
A quoi cela sert-il ?

La densité est un poids par unité de volume, elle se mesure en  $g.cm^{-3}$ . Deux types de mesures de densité sont utilisés généralement pour les sols. La densité réelle ( $d_r$ ), qui correspond à la densité d'une terre sèche désagrégée ; et la densité apparente ( $d_a$ ), qui correspond au poids sec d'un volume de sol dont la structure n'a pas été perturbée (Nsanjira, 2015). La densité apparente est un indicateur du compactage du sol. Elle est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol. Elle permet aussi de calculer la porosité du sol et donc indirectement de calculer la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines ainsi que la réserve en eau du sol. Elle peut être allégée avec l'humus, les galeries des racines et des animaux de façon notable (Boyer, 1982). De plus, la densité apparente est sensible aux actions anthropiques (avec le passage d'engins agricoles ou le piétinement des animaux en élevage intensif).

Avec prélèvement de sol, et détermination de volume in situ	
Méthode du cylindre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raser à ras la végétation à la surface du sol sur la zone de prélèvement.</li> <li>• Enfoncez le cylindre dans le sol. La profondeur exacte du cylindre doit être déterminée pour une mesure précise du volume de sol.</li> <li>• Retirez le cylindre en creusant autour de celui-ci, passez sous le cylindre pour le soulever en faisant un effet de levier, en veillant à ne pas perdre de sol. Enlevez l'excès de terre avec un couteau à lame plate.</li> <li>• Passer l'échantillon à l'étuve à <math>105^{\circ}C</math> pour le faire sécher entièrement (environ 48h)</li> <li>• Peser l'échantillon sec</li> </ul> <p style="text-align: center;"><math>d_a = \text{masse de l'échantillon sec} / \text{volume prélevé}</math></p>

Densitomètre à membrane	Le principe consiste à mesurer la différence de volume avec et sans cavité. Un trou de forme hémisphérique est creusé dans le sol, sur une surface bien aplanie. Volume du trou mesuré grâce à une membrane élastique remplie d'eau plaquée avec force sur les parois du trou.
Méthode au sable	Même principe, c'est un trou de forme quelconque que l'on remplit de sable parfaitement calibré, non tassé.
Avec prélèvement, mesure du volume en laboratoire	
Méthode des mottes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sécher la motte à l'air libre, la peser en suspension dans l'air</li> <li>Enduire la motte de paraffine fondue afin d'être étanche, la peser</li> <li>Immerger la motte dans un bécher d'eau, peser le tout, et prendre la température de l'eau</li> </ul> <p>Pour obtenir la correction d'humidité, prendre un morceau de l'échantillon et y appliquer le principe de la méthode du cylindre (peser, sécher, repeser)</p> $\text{Bulk Density (Mg/m}^3\text{)} = \frac{DW \times ODS}{SA - SPW + PA - (PA \times DW/DP)}$ <p>Where:</p> <p>DW = Density of water at temperature of determination (Mg/m<sup>3</sup>)  ODS = Oven dry weight of soil sample (g)  SA = Net weight of soil sample in air (g)  SPW = Net weight of soil sample plus paraffin in water (g)  PA = Weight of paraffin coating in air (g)  DP = Density of paraffin (Mg/m<sup>3</sup>)</p> <p>source : Department of Planning and Environment ; NSW Government</p>
Méthode au pétrole	<p>La densité apparente est déterminée par immersion des échantillons dans le kérosène. On mesure la force opposée à la poussée d'Archimède qui est exercée par le kérosène sur l'échantillon. Le kérosène est "inactif" vis-à-vis du sol, faiblement miscible dans l'eau, et peu volatil à température ambiante. Il peut être aisément éliminé lors du séchage des échantillons à l'étuve. Il permet de combler l'air dans l'échantillon.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La nacelle est suspendue immergée et stabilisée dans le bécher de kérosène, tarer la balance. Relever la nacelle hors du bécher. Mettre l'échantillon dans celle-ci.</li> <li>Immerger totalement l'ensemble, et peser.</li> <li>Recueillir l'échantillon et le placer à l'étuve à 105°C pendant 48 h. (Le kérosène sera éliminé par évaporation à cette température.), puis peser.</li> </ul> $Da = \frac{m_s \times \rho_p}{m_p \times \rho_w}$ <p>Da = densité apparente  m<sub>p</sub> = masse de kérosène déplacé par l'échantillon (g)  m<sub>s</sub> = masse de l'échantillon séché à 105 °C (g)  ρ<sub>p</sub> = masse volumique du pétrole (généralement voisine de 0,782 g.cm<sup>-3</sup>)  ρ<sub>w</sub> = masse volumique de l'eau (1 g.cm<sup>-3</sup>).</p>
Sans prélèvement	
Gammamétrie (transmission et rétrodiffusion)	<p>Le principe se fonde sur la mesure de l'intensité atténuée. C'est une méthode qui consiste à émettre des photons gamma et à mesurer l'épaisseur du sol qu'ils traversent.</p> <p>Transmission : possible d'effectuer des mesures sur de nombreuses tranches de sol minces et successives ; se fait en surface</p> <p>Rétrodiffusion : mise en place d'une source et d'un compteur de rayons rétrodiffusés.</p>
Photogrammétrie	<p>Cette méthode consiste à prendre des photos de différents points de vue avant et après excavation, puis à les assembler afin de créer un objet 3D. Un logiciel traite ensuite la différence de nuages de points (avant/après excavation) et détermine ainsi le volume.</p> <p>Sur le terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Déterminer une surface la plus plane possible</li> <li>Disposer des mires autour afin d'avoir des points de repère pour les différentes photos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prendre une série de photos avec différents points de vue</li> <li>• Excaver la surface, et récolter l'échantillon</li> <li>• Prendre une série de photos avec différents points de vue (il faudra par la suite peser les échantillons récoltés humides et secs)</li> </ul>
--	--

Mesurer la densité apparente avec la photogrammétrie semble plus simple et mesure avec précision.

Pour un sol donné, les différentes méthodes de mesure de terrain donnent des résultats statistiquement différents. La valeur de la densité apparente est donc liée non seulement au type de sol mais aussi à la méthode de détermination (Yoro & Godo, 1990). Les méthodes sont plus ou moins précises.

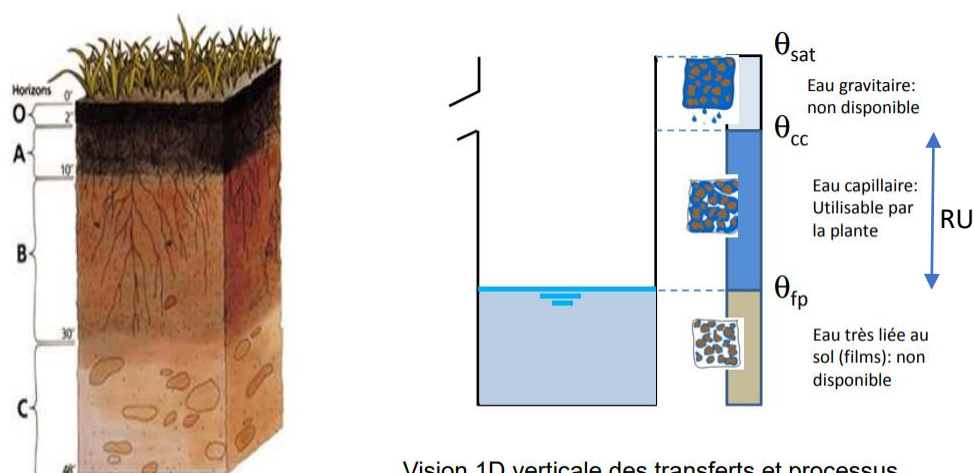
### Références

- Alongo, S., & Kombele, F. (s. d.). *EVOLUTION DE LA DENSITE APPARENTE ET DU RAPPORT C/N DU SOL SOUS LES VARIETES EXOTIQUES ET LOCALE DE MANIOC DANS LES CONDITIONS NATURELLES DE KISANGANI (R.D. CONGO)*. 15.
- Borges, J. A. R., & Pires, L. F. (2012). Representative elementary area (REA) in soil bulk density measurements through gamma ray computed tomography. *Soil and Tillage Research*, 123, 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.008>
- Boyer, J. (1982). *Facteurs de fertilité et utilisation des sols*. ORSTOM.
- Coulouma, G., Feurer, D., Vinatier, F., & Huttel, O. (2021). Assessing new sensor-based volume measurement methods for high-throughput bulk density estimation in the field under various soil conditions. *European Journal of Soil Science*, 72(5), 2049-2061. <https://doi.org/10.1111/ejss.13115>
- Gballou YORO. (1992). *La méthode au sable : Protocole et utilisation pratique : Note technique*.
- McKenzie, N., Coughlan, K., Cresswell, H., Australian Collaborative Land Evaluation Program, & Natural Heritage Trust (Australia). (2002). *Soil physical measurement and interpretation for land evaluation*. CSIRO Pub. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=90838>
- Michael Whiting;Shawn W. Salley;Darren K. James;Jason W. Karl;Colby W. Brungard, M. (s. d.). *Rapid bulk density measurement using mobile device photogrammetry*.
- Monnier, G., Stengel, P., & Fiès, J. C. (2020). *Une methode de mesure de la densite apparente de petits agglomerats terreux. Application a l'analyse des systemes de porosite du sol*. 14.
- Nsanzimfura, T. (2015). *ETUDE DE LA DENSITE APPARENTE ET DE LA POROSITE DU SOL DANS LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL CROP-NEWS DE KAMBOINSE*. 74.
- Yoro, G., & Godo, G. (1990). *Les méthodes de mesure de la densité apparente : Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné*. 7.

## Annexe 7 : Recherches bibliographiques sur la 'réserve utile'

### Qu'est-ce que la réserve utile d'un sol ? Comment caractériser la réserve utile d'un sol ?

Le **Réservoir en Eau Utilisable d'un sol (RU)**, appelé « Réserve utile » correspond à la quantité maximale d'eau qu'un sol peut contenir et mobilisable par les plantes pour leur alimentation hydrique et leur transpiration sur du long terme. C'est une composante des bilans hydriques et énergétiques de la biosphère terrestre. Elle peut être décrite comme le déficit maximal en eau d'un sol, soit la quantité maximale d'eau qu'un sol peut céder à une culture. Ainsi, elle représente la différence entre l'humidité à la capacité de rétention, c'est-à-dire la teneur en eau à saturation (cette eau est non disponible pour les plantes) ; et l'humidité au point de flétrissement, soit le taux d'humidité au-delà duquel les plantes se fanent de façon permanente, l'eau est liée au sol, n'étant pas disponible pour les plantes (énergie supérieure à celle que les plantes peuvent exercer sur le sol pour en extraire de l'eau). La capacité au champ ( $\theta_{cc}$ ) correspond à la teneur en eau du sol après que l'eau « excédentaire » se soit évacuée par gravité et que le drainage soit « négligeable » (c'est environ 2-3 jours après une pluie) ; et cette eau (contenue dans les microporosités) devient disponible pour les plantes, et correspond à la réserve utile. D'autre part, les plantes n'ont pas les mêmes besoins en eau, le prélèvement dans la RU dépend également de certains paramètres propres aux plantes comme leur physiologie (aquaporines) et l'âge/type des racines (qui influe leur conductance hydrique et l'activité des racines), les exsudats racinaires (mucilages, tensio-actifs...), ou encore l'« hydraulic lift » (Doussan et al., s. d.).



Vision 1D verticale des transferts et processus  
et pas de flux d'eau à la base

Figure 15 : Schéma représentant la 'Réserve Utile'  
Source : (Doussan et al., s. d.) ; hal-01595478

Cette réserve utile dépend de la texture, de la structure (qui dépendent eux-mêmes de la taille des particules, la teneur en carbone organique, et la masse volumique du sol), de la teneur en éléments grossiers (quantité et nature de ceux-ci), de la profondeur du sol, de la distribution des racines dans le sol (le calcul de la RU est lié directement à la profondeur racinaire).

La capacité de rétention d'eau du sol participe au contrôle de l'évapotranspiration. De plus, il a été démontré qu'augmenter la MO dans le sol permet d'augmenter la capacité d'eau disponible pour les plantes (McBratney et al., 2017).

Il existe différentes manières de la calculer :

$$RU = Z_r * (\theta_{cc} - \theta_{fp}) \quad [\text{mm}]$$

$Z_r$  : zone racinaire

---

Pour chaque horizon :

$$RU_i = e_i \times DA_i \times (H_{cci} - H_{PFP}) \times \frac{100 - C_i}{100}$$

[mm]

$$RU_{\text{tot}} = \sum RU_i$$

$e$  : épaisseur horizon

DA densité apparente

$H_{cc}$  : humidité pondérale à la capacité au champ

$H_{PFP}$  : humidité au point de flétrissement

$C$  : % volumique d'éléments grossiers

L'évaluation de la RU reste cependant coûteuse dû à l'utilisation de certaines sondes pour les mesures directes et souvent destructrice. Des fonctions de pédotransfert (PTF) ont donc été établies afin de faciliter l'estimation puisqu'elles lient des données de sol facilement accessibles à des données plus difficiles à obtenir (Labidi et al., 2020). Il en existe deux types : les PTF par classes (qui permettent de prédire certaines propriétés du sol basées sur la classe de l'échantillon : texture, horizons, ...) ou continues (McBratney et al., 2002).

## Références

- Burel, E. (s. d.). *Modélisation des hétérogénéités de la réserve utile et du développement des cultures au sein d'un sous-bassin versant en Midi-Pyrénées*. 303.
- Combres Jean-Claude, Le Mezo Lionel, Mete Muriel, & Bourjon B. (1999). Réserve utile et mesures d'humidité. Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. *Agriculture et Développement*, 39-47.
- Doussan, C., Ruedessols, C., & Cousin, I. (s. d.). *La Réserve Utile : Concepts, outils, controverses*. 41.
- Flavie de Robillard. (2008). *Estimation de la Réserve Utile des sols par couplage de données de Télédétection et d'un modèle de croissance* [Rapport de stage].
- Hong, S. Y., Minasny, B., Han, K. H., Kim, Y., & Lee, K. (2013). *Predicting and mapping soil available water capacity in Korea*. 20.
- Labidi, A., Bouthier, A., & Cousin, I. (s. d.). *Comment évaluer simplement la Réserve Utile d'un sol?* 5.
- McBratney, A. B., Minasny, B., Cattle, S. R., & Vervoort, R. W. (2002). *From pedotransfer functions to soil inference systems*. *Geoderma*, 109(1-2), 41-73. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00139-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00139-8)
- ZEROUATI Faicel. (2015). *ESTIMATION DE L'HUMIDITÉ DU SOL D'UN PERIMETRE IRRIGUÉ À PARTIR D'IMAGES SATELLITAIRES* [MEMOIRE DE MASTER].
- McBratney, A. B., Minasny, B. (2017). *Limited effect of organic matter on soil available water capacity*. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>

Site internet :

Le Gis Sol : [Gis Sol » Partageons la connaissance des sols](#)

### Annexe 8 : Volume dans lequel le capteur Teros 12 capte l'humidité

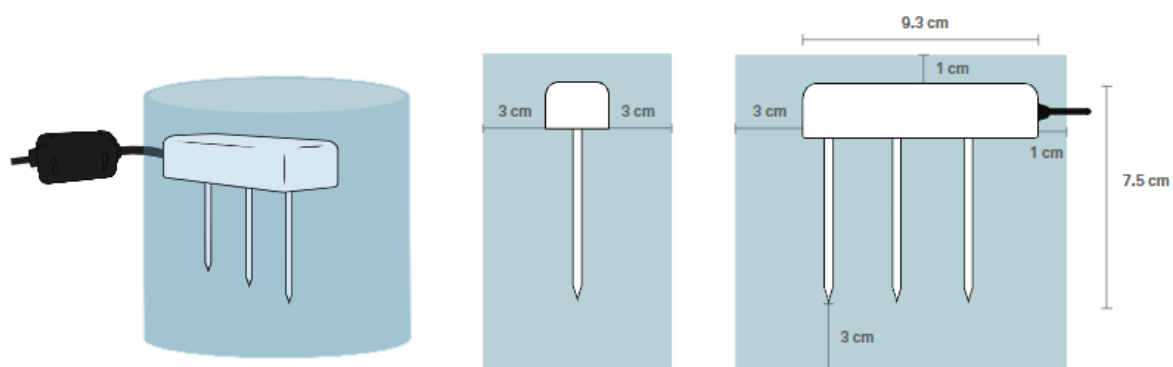


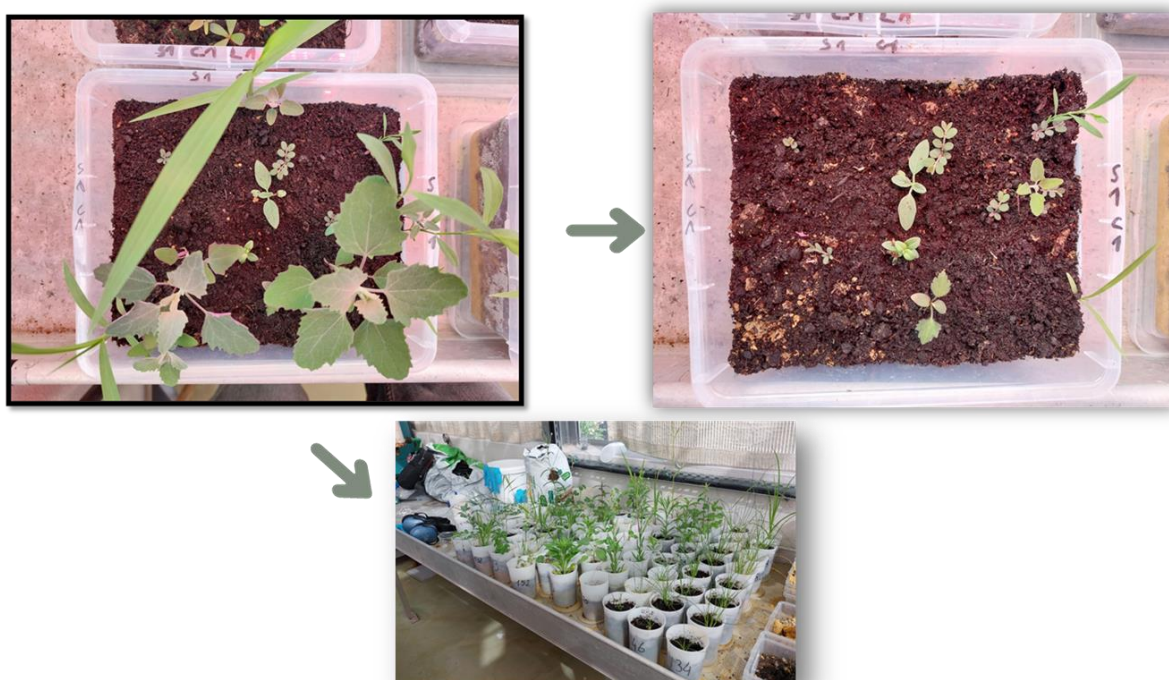
Figure 5 VWC volume of influence

**NOTE:** The TEROS 11/12 provides instantaneous or near-instantaneous measurements; however, because of the sensitivity of the measurement of the sensor head, the TEROS 11/12 is not well suited for spot measurements of VWC.

### Annexe 9 : Mise en bac des échantillons de sol contenant la banque de graine



### Annexe 10 : Arrachage et repotage des plantes de la serre



*Annexe 11 : Pose des mires afin d'effectuer les photos pour le calcul de densité apparente par photogrammétrie*

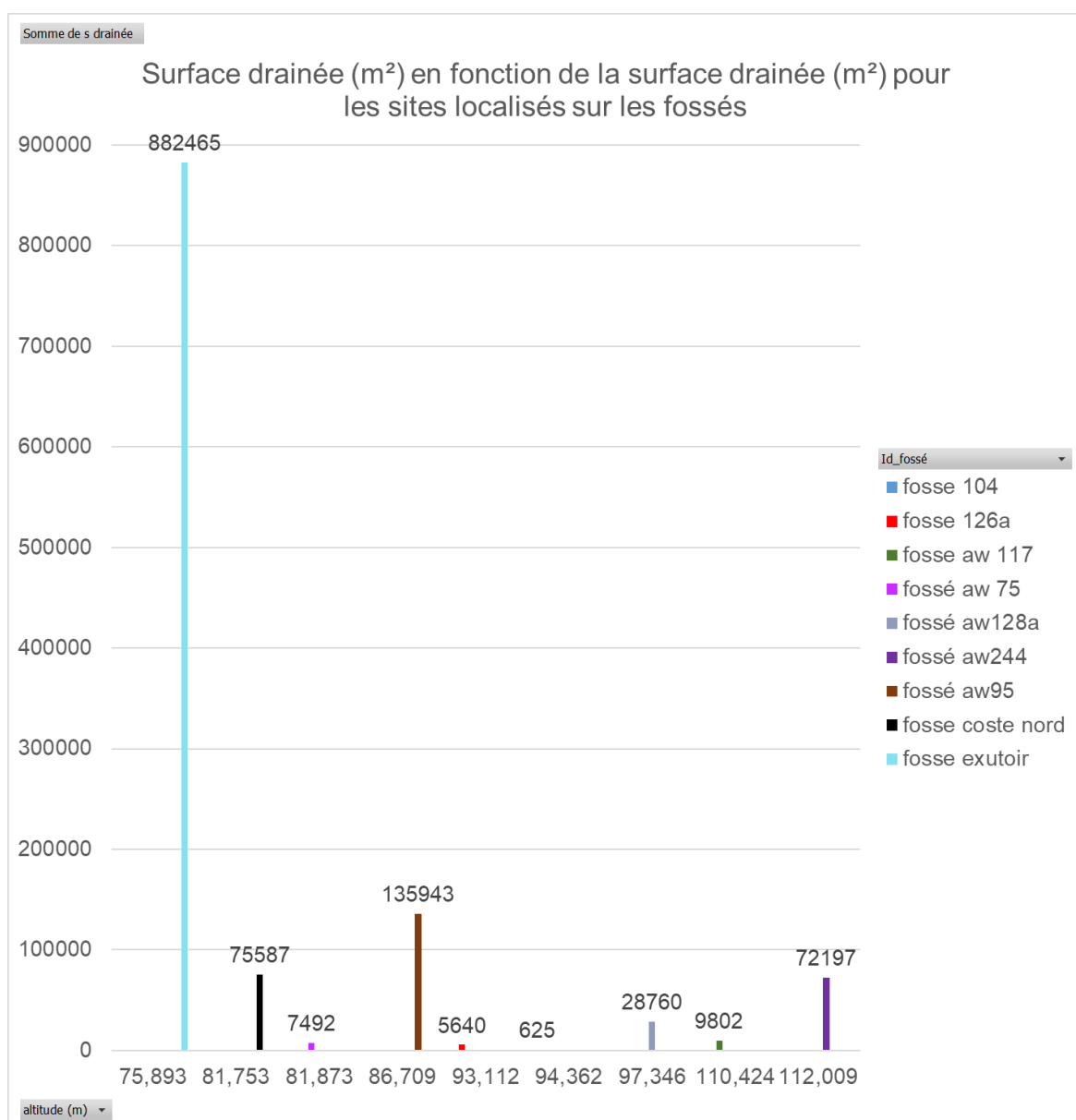


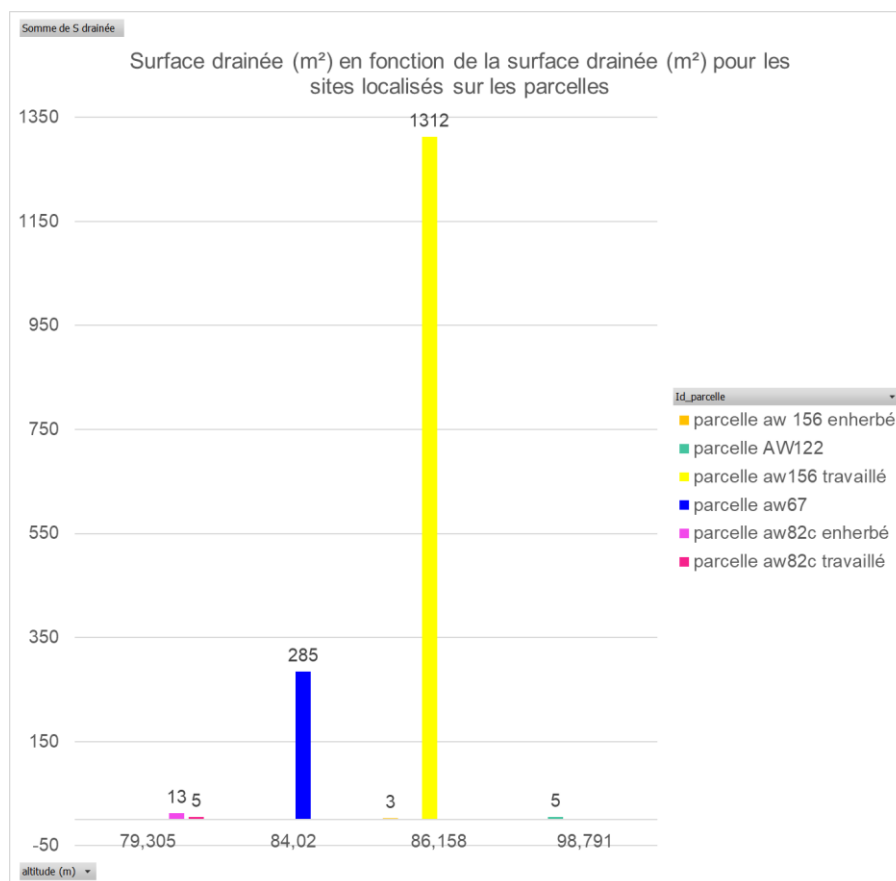
*Annexe 12 : Relevés floristiques sur la parcelle de la Jasse avec quatre membres de l'association écologique Euzière, venus aider*



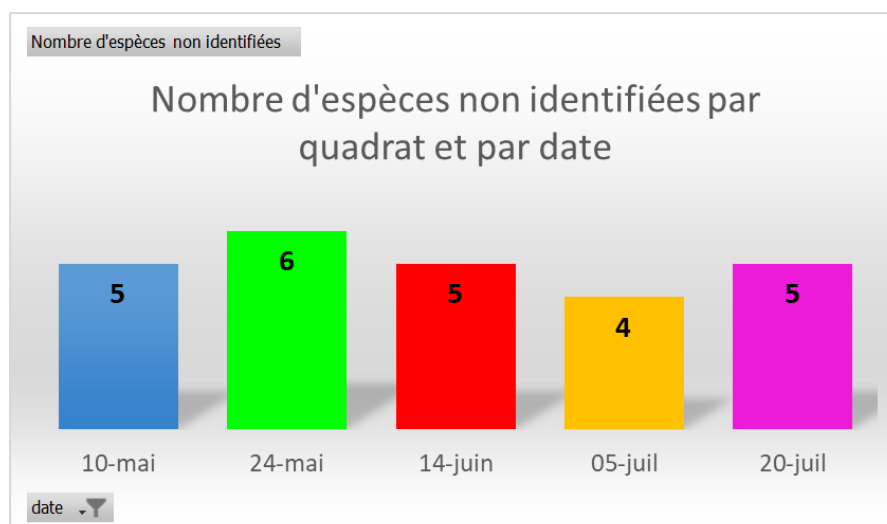
### Annexe 13 : Données sur l'altitude et de la surface drainée pour chaque site

Id_parcelle	altitude (m)	S drainée (m²)	Id_fossé	altitude (m)	S drainée (m²)
parcelle aw67	84	285	fossé exutoir	76	882465
parcelle aw82c enherbé	79	13	fossé coste nord	82	75587
parcelle aw82c travaillé	79	5	fossé aw 75	82	7492
parcelle aw156 travaillé	86	1312	fossé aw95	87	135943
parcelle aw 156 enherbé	86	3	fossé aw128a	97	28760
parcelle aw122	99	5	fossé aw244	112	72197
			fosse aw 117	110	9802
			fosse 126a	93	5640
			fosse 104	94	625





#### Annexe 14 : Nombre d'espèces non identifiées par quadrat et par dates lors des relevés floristiques



Les espèces non identifiées sont principalement des poacées, mais on trouve aussi : malva, crepis, sonchus, bromus, equisetum, geranium, médicago, erigeron ; organum, hypochaeris, picris.

Annexe 15 : Tableau de correspondance des espèces trouvées au sein des familles

Famille	Espèce	Famille	Espèce	Famille	Espèce	Famille	Espèce
Adoxacees	Sambucus ebulus	Boraginacees	Heliotropium europaeum	Papaveracees	Papaver rhoeas	Lamiacees	Lamium purpureum
Caprifoliacees	Scabiosa atropurpurea		Anchusa italica		Fumaria officinale		Lamium galeobdolon
	Knautia arvensis	Brassicacees	Lepidium didymum	Oleacees	Papaver dubium		Origanum sp.
	Centranthus calcitrapae		Diplotaxis erucoides		Fraxinus excelsior		Origanum vulgare
Aracees	Arum italicum	Campanulacees	Campanula erinus	Poacees	Poacees sp.		Salvia verbenaca
Araliacees	Hedera helix	Gentianacees	Blackstonia perfoliata		Bromus hordeaceus		Prunella vulgaris
Asteracees	Erigeron canadensis		Centaurea pulchellum		Dactylis glomerata		Mentha suaveolens
	Senecio vulgaris	Caryophyllacees	Arenaria serpyllifolia		Vulpia myuros	Liliacees	Lamium amplexicaule
	Hypochaeris achirophorus		Stellaria media		Anisantha sterilis		Allium vineale
	Helminthotheca echioides		Silene nutans		Poacees sp.		Asparagus acutifolius
	Picris hieracioides		Silene italica		Polypogon indica	Malvacees	Asparagus officinalis
	Sonchus oleraceus		Petrorhagia prolifera		Poa annua		Allium sativum
	Lactuca serriola	Convolvulacees	Saponaria officinalis		Poa trivialis	Renonculacees	Malva sp.
	Crepis sp.		Convolvulus arvensis		Avena fatua		Malva sylvestris
	Hypochaeris sp.	Cornacees	Convolvulus sepium		Hordeum murinum	Rosacees	Clematis vitalba
	Sonchus asper		Cornus sanguinea		Anisantha diandra		Ranunculus arvensis
	Cirsium arvense	Dipsacacees	Scabiosa columbaria		Avena sterilis		Rubus fruticosus
	Erigeron sp.	Equisetacees	Equisetum hyemale		Anthoxanthum odoratum		Potentilla reptans
	Crepis sancta		Equisetum ramosissimum		Aegilops geniculata		Potentilla serpens
	Pulicaria dysenterica	Euphorbiacees	Equisetum sp.		Anisantha madritensis		Potentilla reptans
	Cirsium dissectum		Mercurialis annua		Alopecurus myosuroides		Poterium sanguisorba
	Sonchus sp.	Fabacees	Euphorbia serrata		Polypogon monspeliensis		Rosa agrestis
	Senecio sylvaticus		Vicia sativa		Holcus lanatus	Scrophulariacees	Prunus speciosa
	Calendula arvensis		Medicago minima		Sporobolus indicus		Prunus spinosa
	Erigeron sumatrensis		Medicago polymorpha		Elytrigia repens		Veronica arvensis
	Andryala integrifolia		Medicago sp.		Lolium perenne	Apiacees	Veronica persica
	Crepis bursifolia		Medicago albus		Polypogon veridis		Veronica cymbalaria
	Crepis foetida		Trifolium campestre		Cynodon dactylon	Ulmacees	Ulmus minor
	Crepis vesicaria		Scorpiurus muricatus		Panicum miliaceum		Torilis arvensis
	Leontodon hispidus		Vicia lutea		Bromus sp.		Torilis spinosa
	Hypochaeris radicata		Trifolium arvense		Anisantha rubens		Daucus carota
	Centaurea aspera		Lathyrus pratensis		Bothriochloa ischaemum		Rouya polygama
	Carduus pycnocephalus		Vicia sepium		Festuca glauca		Pimpinella saxifraga
	Dittrichia viscosa	Geraniacees	Geranium sp.	Polygonacees	Leymus arenarius		Pastinaca sativa
	Centaurea solstitialis		Geranium pusillum		Aira caryophyllea		Libanotis pyrenaica
	Crepis pulchra		Geranium molle		Fallopia convolvulus		Tordylium maximum
	Picris sp.		Geranium rotundifolium		Polygonum viridis	Plantaginacees	Smyrniolum olusatrum
	Valerianella locusta		Erodium cicutarium		Rumex acetosa		Kickxia spuria
	Valerianacees		Erodium malacoides		Polygonum aviculare		Plantago lanceolata
Rubiacees	Galium aparine	Primulacees	Geranium purpureum	Onagracees	Rumex pulcher		Linaria repens
	Galium parisiense		Lysimachia foemina		Epilobium tetragonum		
	Rubia peregrina						



POLYTECH<sup>®</sup>  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

Pauline MARTIN

2021-2022

Biodiversité végétale et conditions édaphiques dans les paysages agricoles : existe entre les différents régimes d'humidité du sol, et la végétation spontanée dans les inter-rangs de vigne et les fossés en Méditerranée

## Résumé :

De nombreux facteurs influencent les structures des communautés végétales, mais bien que ceux-ci soient connus, il est souvent plus difficile d'en comprendre les dynamiques et les successions. Bien que tous ces facteurs aient été étudiés, le facteur d'humidité du sol reste peu introduit dans la littérature sur son influence sur la structure de ces communautés végétales.

Lors de ce stage, 15 capteurs d'humidité et température ont été posés sur le bassin versant de Roujan, visant à relier la dynamique du régime d'humidité du sol à la structure des communautés végétales se trouvant au-dessus de ces capteurs. Des relevés floristiques réguliers ont donc été réalisés fréquemment aux positions des capteurs.

Finalement, l'humidité du sol ne semble pas être le facteur influençant le plus la succession des communautés, mais le mode de gestion (fauche, labour). Cependant, la sécheresse mesurée semble altérer la reprise de végétation après les pratiques agricoles.

**Mots Clés :** Ecohydrologie, Humidité, Biodiversité

INRAE :

2 place Pierre Viala  
34060, Montpellier

Tutrice entreprise :

Gabrielle RUDI

Maitre de conférences AgroParistech

Tutrice académique :

Séraphine GRELLIER