



**HAL**  
open science

## Croissance du pommier en systeme agroforestier et en systeme agricole: influence du type d'irrigation

Nicolas Savajols

► **To cite this version:**

Nicolas Savajols. Croissance du pommier en systeme agroforestier et en systeme agricole: influence du type d'irrigation. Sciences agricoles. 2016. hal-02799730

**HAL Id: hal-02799730**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02799730>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 2016

Mémoire de stage de Master 1<sup>ère</sup> année :



**CROISSANCE DU POMMIER EN SYSTEME  
AGROFORESTIER ET EN SYSTEME  
AGRICOLE**

**INFLUENCE DU TYPE D'IRRIGATION**

**Nicolas SAVAJOLS**  
Université de Montpellier  
Supagro Montpellier  
AgroParisTech

# SOMMAIRE

## REMERCIEMENTS

INTRODUCTION .....	1
1 / PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA MISSION .....	3
A) L'INRA et l'UMR SYSTEM de Montpellier .....	3
B) Les pommiers agroforestiers .....	5
2 / MATERIELS ET METHODES .....	8
A) Matériels .....	8
B) Méthodes.....	11
3 / RESULTATS.....	17
A) Les mesures de débits .....	17
B) Le développement des pommiers .....	19
4 / DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS .....	21
A) Interprétations.....	21
B) Perspectives de l'étude.....	22
CONCLUSION .....	23
BIBLIOGRAPHIE / SITOGRAPHIE.....	24
TABLE DES ANNOTATIONS.....	25
TABLES DES FIGURES ET TABLEAUX.....	26

## ANNEXES

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M. Christian GARY, Directeur de l'Unité SYSTEM de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) à Montpellier, pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de son établissement.

Je souhaite également adresser mes remerciements à M. Pierre-Éric LAURI, mon maître de stage et ingénieur de Recherche Hors Classe, pour m'avoir accueilli comme stagiaire, pour la confiance et le temps qu'il m'a accordé, ses conseils précieux et enfin l'intérêt qu'il a porté au bon déroulement de mon stage. A Mme. Lydie DUFOUR, Assistante Ingénieur, et à M. Alain SELLIER et Jean-François BOURDONCLE techniciens au sein de l'INRA pour leur aide concrète sur le terrain durant ces 2 mois de stage. Je souhaite également remercier tous les salariés de l'Unité Mixte de Recherche SYSTEM de l'INRA qui ont su me faire un accueil familial au sein de l'établissement.

## INTRODUCTION

Les crises socio-économiques en agriculture sont aujourd'hui de plus en plus fréquentes. L'agriculture fait face à plusieurs enjeux qui sont d'ordre économique, social et environnemental. Les marchés et l'évolution démographique poussent les exploitants agricoles à produire davantage. Les modes de production et de consommation favorisent majoritairement l'utilisation d'intrants chimiques (engrais et produits phytosanitaires) pour augmenter les rendements et protéger les peuplements végétaux des différents ravageurs de cultures. En revanche, l'opinion publique et les décideurs politiques prennent de plus en plus conscience des problèmes de pollution agricole sur l'environnement et des impacts sur la santé. Le gouvernement français, poussé par les consommateurs, favorise à présent les pratiques agro-écologiques (Le Foll 2012) afin de rendre l'agriculture plus respectueuse de l'environnement. L'objectif global est d'optimiser la performance économique, environnementale et sociale des exploitations françaises. Il semble donc nécessaire de mieux utiliser les fonctionnalités et les interactions naturelles de l'environnement pour rendre réalisable ce projet à long terme.

C'est dans ce contexte que s'insère une pratique agro-écologique qui est l'agroforesterie. Ce mode de production, comme son nom l'indique, consiste à associer des cultures annuelles ou pérennes avec un peuplement forestier. Auparavant, ce modèle de production se retrouvait dans les campagnes françaises sous une forme ancienne et traditionnelle de « polyculture-élevage » (Balny, Domallain, et De Galbert 2015). Aujourd'hui, les plantations d'arbres sont en alignement à l'intérieur des parcelles et permettent ainsi le maintien d'un itinéraire technique avec une mécanisation possible des pratiques. Ainsi, de nombreux avantages agro-écologiques peuvent être observés, tels que la réduction des pertes en nitrate grâce aux arbres, et, par conséquent, la protection des nappes d'eau souterraines. Ces techniques permettent également un accroissement de la biodiversité par rapport aux systèmes mono-culturaux classiques, et un maintien de la structure du sol par la présence d'un taux de matière organique plus élevé (Dupraz et Liagre 2011). L'agroforesterie a pour objectif de stimuler les complémentarités des cultures, et en parallèle, d'optimiser les salaires des agriculteurs de ces parcelles par une complémentarité des sources de revenus (revenus annuels en blé et, à pas de temps de 20-30 ans, bois d'œuvre).

Les parcelles agroforestières modernes sont pour l'instant essentiellement axées sur des associations de cultures de céréales ou de légumineuses avec différentes essences d'arbres pour le bois d'oeuvre. Ces cultures d'hiver ne bénéficient généralement pas d'eau d'irrigation et s'intègrent le plus souvent dans un système de rotation de cultures. Or aujourd'hui, une multitude de productions agricoles peuvent être concernées par l'agroforesterie, et notamment les vergers qui présentent des enjeux de pollution phytosanitaires et des problématiques de stress thermique particulièrement marqués dans le Sud de la France. Nous pouvons nous demander si des cultures pérennes d'arbres fruitiers peuvent alors s'associer avec un peuplement d'arbres couvrants.

C'est pour répondre à cette question que le stage proposé par l'INRA a pour mission de faire le suivi d'une parcelle agroforestière au domaine de Restinclières dans l'Hérault (34, commune de Prades). Il s'agit en effet d'un espace public qui concentre un site expérimental agroforestier. La parcelle présente la particularité d'unir des plants de pommiers et des arbres adultes de type noyers hybrides. Cette expérience innovante est l'occasion d'étudier l'impact sur la croissance et la production de fruits de l'association de pommiers sous des noyers. L'intérêt de cette étude est de savoir si cette association de cultures est suffisamment efficace pour être envisagée à moyen et long terme. Pour cela, la mission du stagiaire consiste à effectuer un suivi régulier de la croissance des pommiers en système agroforestier et en système agricole conventionnel. Ce dernier servira en effet de témoin pour l'étude. Par ailleurs, le pilotage de l'irrigation est effectué afin de comparer les effets sur la croissance du pommier de deux systèmes d'irrigation, apport d'eau en surface par le goutte-à-goutte aérien et apport d'eau à 50-90 cm de profondeur par utilisation de gaines d'irrigation.

Dans un premier temps, nous présenterons l'INRA qui est la structure d'accueil. Nous développerons dans cette même partie la mission proposée par mon encadrant de stage. Puis, nous présenterons le matériel et la méthode d'expérimentation pour cette étude. Enfin, une présentation des résultats permettra d'interpréter dans une dernière partie les différents effets de l'expérimentation.

## 1 / PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA MISSION

### A) L'INRA et l'UMR SYSTEM de Montpellier

#### 1) Présentation générale

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est un établissement public créé en 1946, actuellement sous la direction de François HOULLIER. Les axes de recherche sont basés sur les sciences de l'agronomie. L'organisme a pour statut celui d'Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST). Les travaux de recherche de l'INRA ont trois grands objectifs : assurer des systèmes alimentaires sains et durables, améliorer les performances de l'agriculture, et enfin atténuer le changement climatique par le stockage du carbone. L'institut possède un budget de 880 millions d'euros qui provient du ministère chargé de la Recherche à 77%, et à 20% des crédits publics (INRA 2015).

L'INRA se subdivise en 18 centres régionaux dans toute la France. On retrouve parmi eux le centre de Montpellier qui est sous la présidence de Laurent BRUCKLER. Ce centre regroupe 8 sites d'implantation en Languedoc-Roussillon avec près de 790 agents (INRA 2012). C'est au sein de l'INRA Montpellier, au cœur du campus de Montpellier Supagro, que le stage s'inscrit. La mission est plus précisément encadrée par l'Unité Mixte de Recherche (UMR) SYSTEM: Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens. L'UMR se dit mixte car elle est à la fois sous la tutelle du CIRAD, de l'INRA et de Montpellier Supagro. L'Unité est dirigée par Christian GARY (INRA) et co-dirigée par Patrick JAGORET (CIRAD), et compte une quarantaine de salariés. Cette unité comprend des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens et du personnel administratif. Le projet scientifique global est d'étudier les propriétés des systèmes de culture plurispécifiques. L'objectif est de comprendre comment ces systèmes peuvent produire des services écosystémiques (ex. réduction du lessivage des sols) tout en maintenant un « service de production » performant et durable (UMR SYSTEM 2016). Plusieurs équipes scientifiques structurent l'unité. Parmi elle nous retrouvons trois équipes qui se partagent trois thèmes scientifiques : l'équipe Biodiversité Associée et Services Ecosystémiques (BASE), l'équipe Ressources, et l'équipe Transitions Trajectoires et Ressources (TTR). En parallèle l'équipe SYstèmes de culture Métrologie Expérimentation (SYME) vient en appui technique aux différents scientifiques (voir [Annexe](#)

1 : Organigramme UMR SYSTEM). Le stage s'inscrit dans l'équipe Ressource sous la direction de Mr Pierre-Eric LAURI, ingénieur de recherche. La mission du stage consiste en la mise en place et le suivi de l'irrigation de pommiers en situation agroforestière et conventionnelle (type de verger de production). Elle a plus précisément pour objectif de veiller au suivi des croissances des plants dans les différentes modalités de l'expérience. La mission sera davantage détaillée par la suite.

## 2) Les travaux de l'équipe « Ressource » et l'Agroforesterie

L'équipe « Ressources » travaille sur les modalités de partage des différentes ressources pour des systèmes culturaux plurispécifiques tels qu'un système agroforestier. Les recherches portent sur la quantification du partage des 3 ressources principales qui sont : la lumière, l'eau et l'azote, entre différentes cultures associées sur une même parcelle.

Parmi les systèmes plurispécifiques nous retrouvons l'agroforesterie, autrement nommé « agrosylviculture ». Cette pratique n'est pas récente et consiste à associer sur une même parcelle des arbres et des cultures agricoles. Au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle, les agriculteurs et les forestiers se sont progressivement éloignés. Ce phénomène résulte de la mécanisation agricole et des opérations de remembrement d'après-guerre. Ces bouleversements ont eu pour effet de faire disparaître les arbres des paysages français. Les exploitants agricoles ont en effet considéré les arbres comme étant concurrents des cultures (Balny, Domallain, et De Galbert 2015). Actuellement, la tendance s'inverse et l'agroforesterie est depuis 10 ans considérée comme une pratique qui permet de piloter les systèmes agricoles de façon dynamique pour produire plus et protéger l'environnement. Cela permet notamment de restaurer la fertilité du sol, d'améliorer la qualité de l'eau et le niveau de biodiversité. Il existe une multitude de systèmes agroforestiers différents, tel que le sylvopastoralisme, qui favorise la cohabitation d'animaux et d'arbres (Dupraz et Liagre 2011). Pour notre étude, il s'agit d'un système agroforestier qui associe une culture de pommier sous des arbres (noyers hybrides). Ce dispositif est novateur et unique, puisqu'un seul autre système agroforestier regroupant des pommiers et des poiriers haute-tiges existe dans l'Ouest et le Nord de la France. Dans ces cas de pré-vergers, les fruitiers se retrouvent le plus souvent dans une parcelle pâturée par des bovins ou des caprins (Figure 1).





Figure 1 : Pommiers haute-tige et pâture (source : [www.predesagne.com](http://www.predesagne.com))

## B) Les pommiers agroforestiers

L'expérimentation sur laquelle nous avons travaillé s'intègre dans un site et un suivi agroforestier de 215 ha. Dans cette sous partie nous nous attacherons à décrire l'historique de ce site, puis nous détaillerons plus précisément l'expérience des pommiers agroforestiers qui est le sujet du stage.

### 1) L'Histoire de l'agroforesterie à Restinclières

Le domaine de Restinclières se situe sur la commune de Prades-le-Lez (15 km au Nord de Montpellier) dans le département de l'Hérault (dans le sud de la France). Il s'agit d'un site acquis par le département de l'Hérault en 1990 couvert par des paysages typiquement méditerranéens (garrigues, pins pignon). Le programme expérimental a commencé en 1994, avec les premières plantations d'arbres agroforestiers, sous l'impulsion de Christian DUPRAZ, chercheur en agroforesterie à l'INRA. 12 000 arbres ont été ainsi plantés sur trois ans (1994 – 1996). L'expérience a initialement associée un propriétaire foncier et trois agriculteurs. En 1999 le Programme Intégré de Recherches en Agroforesterie à Restinclières (PIRAT) a été lancé. Dès lors, l'INRA de Montpellier a élaboré le protocole de recherche et le suivi des travaux. Aujourd'hui, différents organismes travaillent sur les interactions entre les cultures et les arbres (UMR SYSTEM et UMR CBGP 2009). Parmi eux nous retrouvons la Chambre d'Agriculture (CA) de l'Hérault, le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF), ainsi que des associations et des bureaux d'études indépendants. Nous y ajoutons également les écoles d'agronomie de Montpellier et de Toulouse. Le domaine expérimental contient 54 ha de terres cultivables, dont 53 ha de plantations agroforestières. On retrouve principalement des terres alluviales sur 35 ha, et des terres de coteaux superficielles sur 18 ha au Nord du domaine. Plusieurs modalités sont présentes afin de comparer les systèmes agricoles. Il y a donc des témoins forestiers, des témoins agricoles, de l'agroforesterie intensive et

extensive. Parmi les arbres présents, nous retrouvons des noyers hybrides, des cormiers, des peupliers, ou encore des pins pignon. Ces essences d'arbres ont été choisies pour leur potentiel de valorisation (bois de qualité du noyer hybride par exemple), et pour leur adaptabilité aux conditions pédoclimatiques du territoire (sols d'alluvions profonds calcaires et climat semi-aride méditerranéen). Les cultures annuelles sont majoritairement des cultures d'hiver conduites en système pluvial (blé, colza, pois protéagineux...). L'objectif est d'obtenir un décalage temporel dans le développement des arbres et des cultures d'hiver pour limiter la concurrence pour des ressources comme la lumière et l'eau. (Agrooof 2000).

## 2) Des pommiers en système agricole et agroforestier

### *a) La place du pommier dans l'arboriculture du pourtour Méditerranéen.*

Dans la région Languedoc-Roussillon (LR), le maraîchage, l'horticulture, les fruits et les autres cultures permanentes représentent 11 % des exploitations moyennes ou grandes. Il s'agit donc du deuxième domaine de production derrière la viticulture à 62%, et devant l'élevage bovin à 9% (Agreste – LR mémento 2015). Plus précisément, l'ensemble des cultures de pommiers en région LR représente 1931 ha avec 88 000 tonnes produites, dont la majorité se situe dans le département du Gard et de l'Hérault. L'enjeu de la production de pommes est fort puisque c'est le fruit le plus produit et consommé en France avec près de 1,5 millions de tonnes pour l'année 2014.

Aujourd'hui, les particuliers consomment de plus en plus de produits issus de l'agriculture biologique (Agence BIO et CSA 2015), n'utilisant pas de produits phytosanitaires de synthèse. Ce type de production est considéré comme plus respectueux de l'environnement. En réponse, les conduites en agriculture biologique se multiplient et les pratiques des arboriculteurs évoluent, des variétés adaptées à la culture biologique apparaissent. C'est dans ce contexte que l'expérience de pommiers en agroforesterie s'intègre, et que les pommes de variété « Dalinette » sont testées dans un système agro-écologique dans la parcelle agroforestière de Restinclières.

### *b) Objectifs et hypothèses de l'étude*

L'étude menée au domaine de Restinclières a pour objectif d'évaluer et de mesurer la croissance et la production de pommiers en système agroforestier (pommiers sous des noyers hybrides), par rapport au système agricole (témoin sans couverture d'arbre). Le but est d'évaluer la différence de croissance et de développement pour déterminer si le système AgroForestier (AF) peut être intéressant en termes de croissance. Si ce n'est pas le cas, nous souhaitons savoir si la compétition pour les ressources naturelles (lumière, eau, azote) pénalise le développement du pommier. Nous pouvons penser que les pommiers devraient moins croître sous les arbres à cause du manque de luminosité directe. Cela n'est pas si évident, et l'inverse pourrait être remarqué si les pommiers profitent du micro-climat créé par les noyers. En effet, l'ombrage des arbres limite les excès de chaleur des mois estivaux qui peuvent être pénalisants pour les plants de pommiers. De plus, les arbres par leur couverture atténuent l'évapotranspiration et favorisent ainsi une meilleure humidité au sol. Enfin, l'étude cherche à mettre en avant l'influence du type d'irrigation sur la croissance des pommiers, en comparant un système de goutte-à-goutte gravitaire et un système de gaines d'irrigation « irrigasc ». Ce dernier apporte l'eau directement dans les horizons plus profonds du sol.

### *c) Mission du stage de Master 1 Eau & Agriculture*

La mission a pour but de mettre en place et de piloter le système d'irrigation sur la parcelle agroforestière, en assurant un apport régulier d'eau. Il est alors demandé de quantifier l'eau apportée aux plants de pommiers. De plus, un suivi hebdomadaire de la croissance des pommiers est effectué. Il s'agit ensuite de traiter statistiquement les résultats afin de mettre en évidence des différences de croissance entre les pommiers des 2 systèmes (Agroforesterie et témoin agricole). Nous souhaitons également observer si le système d'apport d'eau influe sur la croissance des pommiers avec l'irrigation goutte-à-goutte et les gaines d'irrigation.

## 2 / MATERIELS ET METHODES

### A) Matériels

Dans cette sous-partie, nous exposerons le matériel utilisé pour mettre en place et faire le suivi régulier de l'expérience agroforestière. Les particularités de la parcelle et le matériel biologique seront également présentés.

#### 1) Le site d'étude

La parcelle est localisée dans la partie Sud du domaine de Restinclières. Elle est bordée par deux rivières; le Lirou sur son flanc Sud-Est et le Lez sur sa partie Ouest. Sa superficie est d'environ 1,5 ha. Le sol d'alluvions est profond sur la partie la plus basse (Sud-Ouest), et plus superficiel sur la partie Nord-Est. Au niveau de l'horizon de surface (0 à 40 cm), la terre est argilo-limoneuse avec la granulométrie suivante : 19% d'argile, 59% de limon et 22% de sable. De plus, Le taux de matière organique est de 3%. En ce qui concerne le climat local, il est Méditerranéen (semi-aride) avec une pluviométrie moyenne de 630 mm répartie très inégalement dans l'année. Nous observons en effet que 40% des pluies surviennent durant les mois de septembre à novembre sous forme d'orages violents (épisodes cévenoles). Par conséquent, le sol présente un manque d'eau chronique durant les mois estivaux. La durée d'ensoleillement est de 2668 heures (Météo France 2015). Les données de géolocalisation sont les suivantes : Longitude : 3°51'29.3"E, Latitude : 43°42'12.5"N (Figure 2).

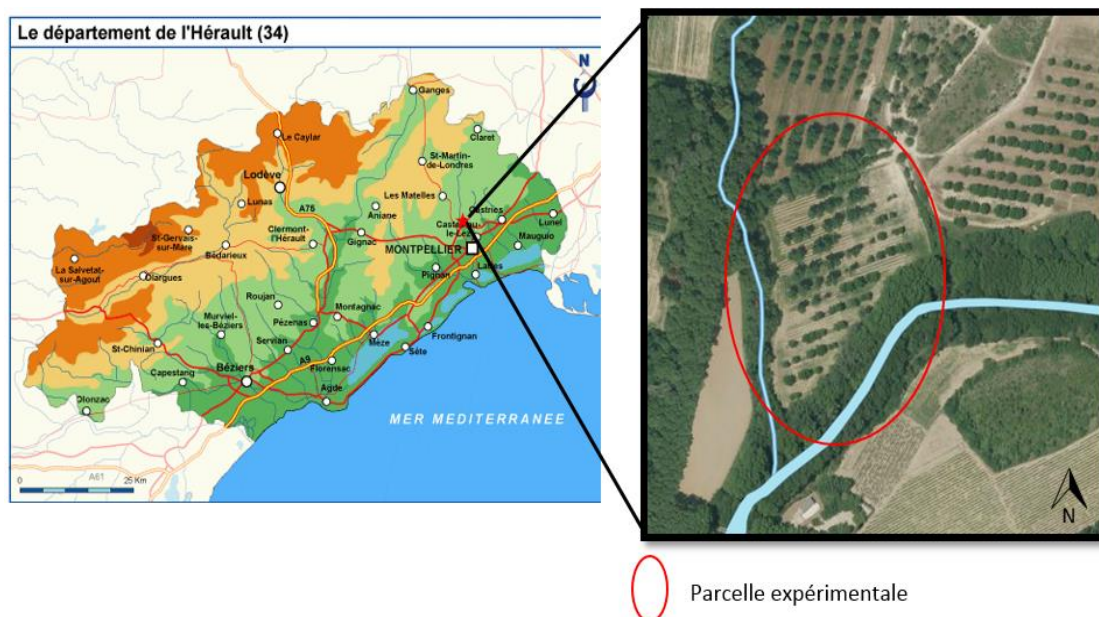


Figure 2: Localisation de la parcelle expérimentale (<http://departement-herault.fr> et Géoportail))

La parcelle concernée par le stage est notée « A1 » (voir [Annexe 2 : Les parcelles agroforestières de Restinclières](#)), elle est régulièrement suivie depuis 1995, date de la première plantation d'arbres.

## 2) Les noyers hybrides

De nombreuses essences sont présentes dans le domaine. Parmi elles nous retrouvons des noyers hybrides, implantés dans la parcelle A1 en février et mars 1995. Près de 1500 noyers ont été plantés sur les sols d'alluvions (10 ha) pour des études éco-physiologiques. En revanche, depuis 2004, de nombreuses parcelles ont été éclaircies pour arriver en moyenne à une densité de 100 à 120 arbres par hectare. Les noyers hybrides sont principalement choisis pour leur rythme de croissance rapide, pour l'adaptation au climat méditerranéen et au sol calcaire. Ils présentent aussi un bois de bonne qualité à prix élevé, et sont fortement compatibles avec les cultures intercalaires.

De 1995 à 2004, la parcelle A1 a compté 217 noyers. Suite aux éclaircies de 2004, nous retrouvons actuellement 111 noyers hybrides. Les arbres sont répartis en 12 lignes (notées de A à L) dans une orientation Est – Ouest. La densité est d'environ 100 arbres par hectare. Concernant les caractéristiques d'implantation, la distance initiale entre deux noyers sur la ligne est de 4 mètres, et entre deux rangs, 13 mètres. La hauteur des arbres est en moyenne de 12,5 mètres avec un écart type de 2,1 mètres. Les mesures des houppiers qui sont l'ensemble des branches et des rameaux (Plais 1969), permettent de déterminer l'ombre portée au sol verticalement dans le rang et l'inter-rang. Celle-ci est comprise entre 3 et 4 mètres ([Figure 3](#)).

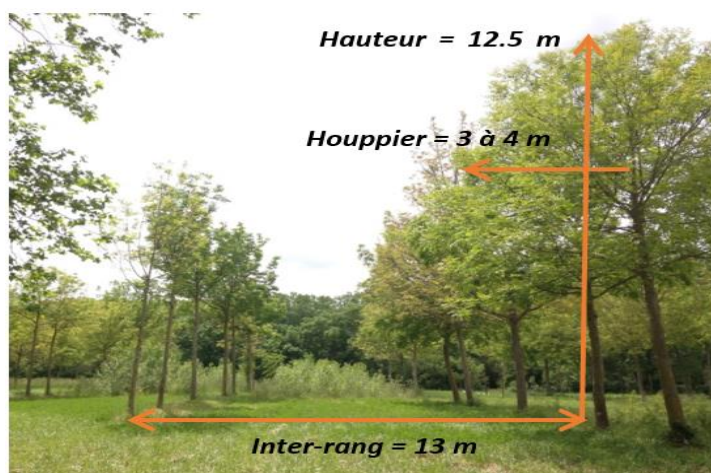


Figure 3 : caractéristiques de l'implantation des noyers hybrides (source personnelle)

Il est important de s'intéresser aux modalités d'implantation et au suivi de la phénologie des noyers dans le temps, afin de comprendre au mieux les interactions qu'il peut y avoir avec les pommiers. Nous souhaitons notamment noter s'il y a une compétition pour les ressources en eau, en azote et en lumière, qui dépend du stade de développement des noyers. Pour les noyers hybrides, le débourrement (apparition des premiers bourgeons) survient à partir du 15 avril (plus ou moins 10 jours). Puis, la pleine floraison mâle arrive autour du 1<sup>er</sup> mai, suivi de la floraison femelle qui apparaît aux environs du 15 mai. Par conséquent, l'ombre projetée au sol devient plus importante à partir du 15 mai ( Figure 4).



Figure 4: Noyer en débourrement (à gauche), noyer en pleine floraison (à droite) 20 mai 2016. (Source personnelle)

### 3) Le pommier

La variété de pommier sélectionnée pour l'expérience est « Dalinette », le nom scientifique est : *Malus domestica choupette 'Dalinette' cov 8823* (Pommier Choupette 2016). Concernant la variété greffée (le greffon), « Dalinette » présente plusieurs avantages. Tout d'abord c'est une variété tolérante et résistante à la plupart des champignons pathogènes (DL Pépiniériste 2015). Elle se retrouve donc très cultivée par les arboriculteurs en conduite biologique. Elle présente une croissance rapide et la variété est indifférente au pH du sol (ici pH basique : 8,3). « Dalinette » s'adapte aussi à tout type de texture du sol et l'arbre est peu sensible à la chute des fruits. À long terme, le fruit donnera une couleur dominante rouge et permettra d'apprécier les variances de coloration entre le système agricole (en plein soleil) et le système agroforestier (à l'ombre des noyers). Cette couleur dépendra des variations d'ensoleillement et de la quantité de rayons lumineux interceptés par les plants.



Cette variété est greffée sur le porte-greffe G202 (par greffage sur table en février 2016) originaire des Etats Unis d'Amérique, elle présente de nombreuses résistances à différents pathogènes tels que : le feu bacterien, le Phytophthora et le puceron lanigère. Il tolère aussi les maladies de replantation (Monney, Egger, et Holliger 2009). G202 montre également une bonne vigueur et une croissance initiale rapide (Monney, Egger, et Holliger 2009). Ce porte-greffe va donc être relativement résistant, et cela a toute son importance car le mode de culture est en biologique; les ravageurs des cultures risquent d'être présents en conséquence. Cette méthode de culture a été retenue car elle permet une multiplication végétative contrôlée, en obtenant des variétés de greffon de même génotype. Nous pouvons ainsi effectuer un suivi statistique de la croissance à posteriori. De plus, le greffage permet d'associer les caractéristiques des deux variétés de pommes.

En définitive l'association de G202 et « Dalinette » cov X8823 permet d'obtenir des plants de pommiers résistants et productifs à long terme, dans un contexte d'agriculture biologique pour l'expérimentation (Figure 5).

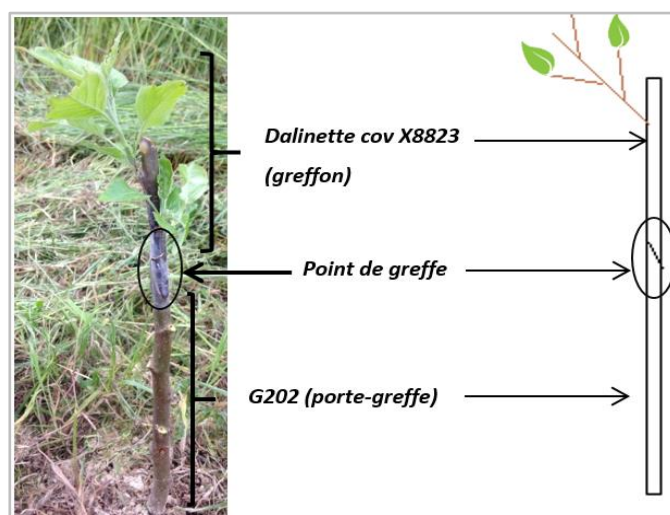


Figure 5: Photo et schéma du matériel végétal (source personnelle)

## B) Méthodes

### 1) Mise en place des pommiers

149 pommiers sont implantés à différents endroits de la parcelle afin d'obtenir un nombre suffisamment important pour chaque modalité. Deux modalités principales sont testées : le Système Agroforestier (SAF), et le système agricole ou témoin agricole (TA). Dans les 2 systèmes nous retrouvons deux sous-modalités qui sont d'une part la plantation dans l'inter-rang des lignes de noyer (IR), d'autre part dans les rangs de noyer

(R). Ces 4 modalités AF-IR, AF-R, TA-IR et TA-R sont répétées deux fois. La figure ci-dessous résume les blocs d'implantation des pommiers dans la parcelle A1.

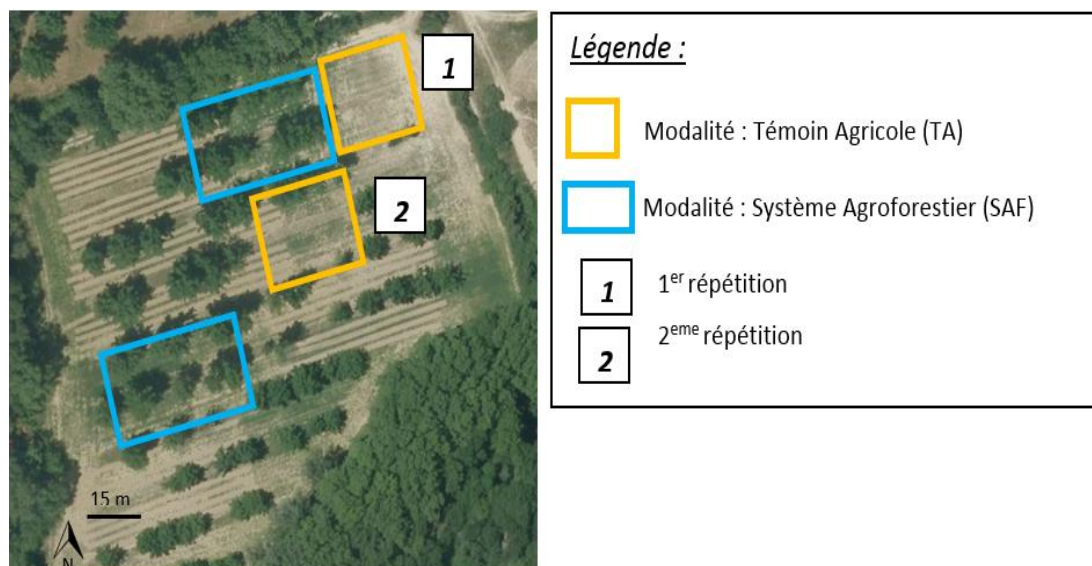


Figure 6: Parcelle A1 et modalités expérimentales (source Géoportail)

L'ensemble des pommiers ont été plantés le 7 mars 2016. Ils se répartissent en 10 lignes de plantations, séparées de 6,5 m. La distance entre deux pommiers sur le rang est de 1,3 m. Le dispositif comprend ainsi 52 pommiers en TA et 97 plants en SAF (Figure 7).

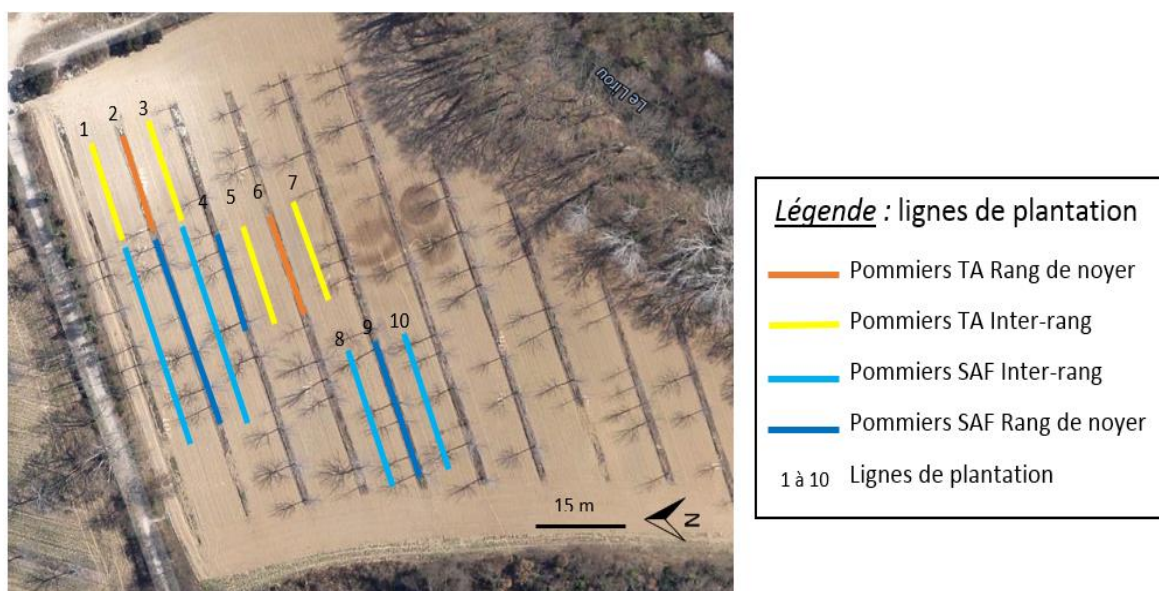
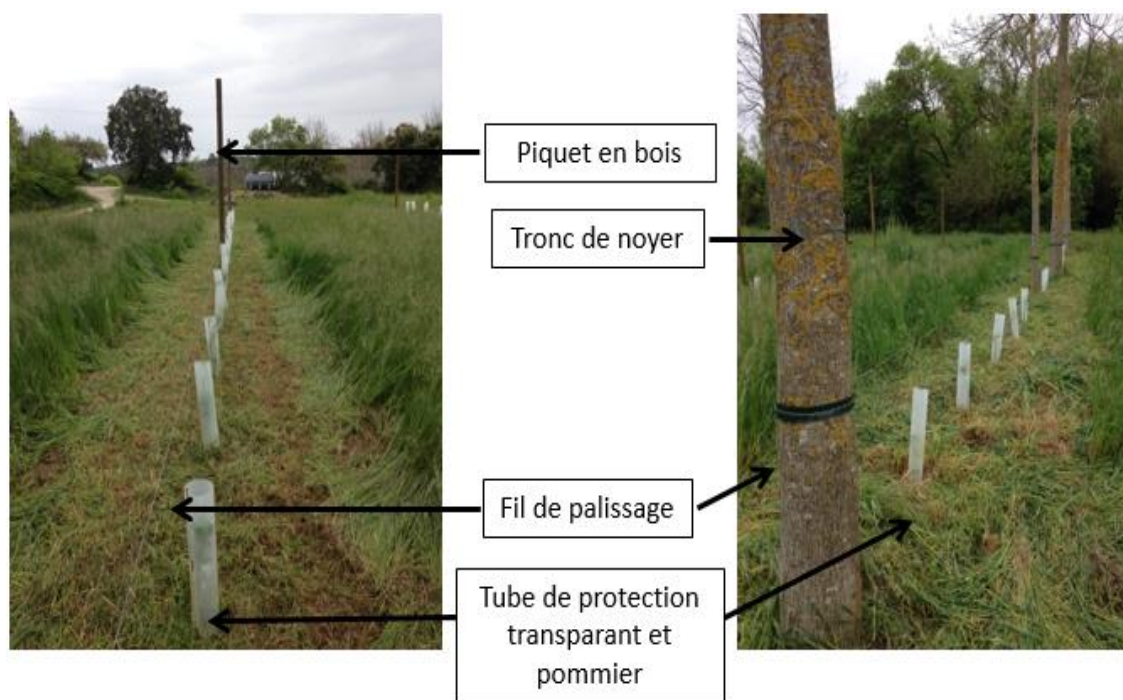


Figure 7 : Parcelle A1 et lignes de pommier (source Géoportail)



Chaque pommier est entouré par un tube transparent afin de le protéger des animaux. Les pommiers sont palissés, c'est-à-dire qu'un fil de fer est tendu à l'horizontal, soit entre les arbres (AF) soit entre des piquets de 3 m (TA) à une hauteur de 0,70 m du sol. Ce palissage a pour but de maintenir les pommiers durant leur croissance et soutenir les fruits dans les prochaines années. Le dispositif technique est présenté par les photographies en **Figure 8** :



**Figure 8** : Ligne de pommiers en TA (photographie de gauche) et ligne de pommiers en SAF rang de noyer (photographie de droite) (source personnelle)

## 2) Mise en place de l'irrigation

Suite à la plantation des pommiers, il est nécessaire de mettre en place un dispositif d'irrigation afin de favoriser au mieux la croissance des jeunes arbres dans la première année. L'objectif est de comparer l'effet d'un apport d'eau par des tuyaux goutte-à-goutte en surface et par des gaines d'irrigation « irrigasc ».

Plusieurs contraintes techniques se sont imposées dès le début du projet. Premièrement, le système d'irrigation est nécessairement gravitaire car l'établissement ne dispose pas de dispositif de mise en pression. Deuxièmement, la prise d'eau se fait au niveau de la rivière *Lirou*. Cela impose donc l'installation d'une pompe et d'une cuve de stockage de l'eau. Afin de comparer l'apport d'eau par les deux systèmes, les gaines d'irrigation sont placées directement au sein des lignes de pommiers et intégrées aux goutte-à-goutte gravitaires.

Trois types de gaines différentes sont testées; les gaines « irrigasc » biodégradables avec réservoir, les gaines « irrigasc » en polyéthylène avec réservoir, et les gaines avec réservoir autoportant biodégradables. Ces gaines d'irrigation permettent un apport d'eau directement en profondeur (jusqu'à 1m) et sont placées à environ 15 cm des pommiers. L'hypothèse est qu'elles favorisent la croissance des racines par un apport d'eau profond. Elles permettent ainsi d'éviter des pertes par évaporation en surface du sol. Les gaines sont remplies de sable pour accroître l'infiltration et des trous sont présents sur un côté pour un apport d'eau à plusieurs horizons vers les racines du pommier (Figure 10).

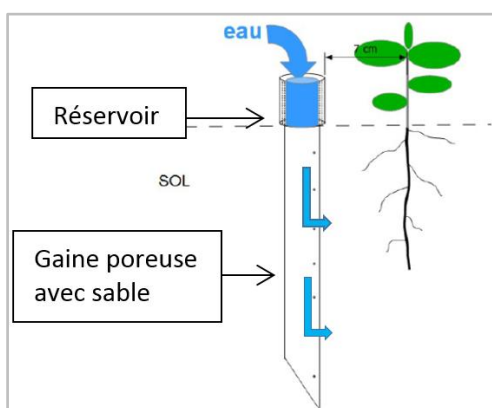


Figure 10: Schéma gaine d'irrigation en bioplastique (source compoverde.com)



Figure 9: Dispositif de goutte-à-goutte (source personnelle)

36 gaines d'irrigation sont mises en place sur la parcelle. Elles sont réparties dans les différentes modalités afin d'avoir des gaines en SAF et en TA. L'apport d'eau se fait manuellement (grâce à des seaux de 15L) dans les réservoirs prévus à cet effet. Le protocole d'irrigation sera détaillé par la suite.

Concernant l'irrigation goutte-à-goutte, les tuyaux permettent un apport d'eau équivalent sur tout le linéaire grâce à des trous spéciaux qui se mettent en fonctionnement lorsque tous les tuyaux sont remplis (« Produits et services - Netafim » 2016). Ainsi, un tuyau principal de diamètre  $\varnothing=50$  mm apporte l'eau de la cuve jusqu'à chaque début de ligne de pommiers. Puis, les tuyaux goutte-à-goutte ( $\varnothing=16$  mm) sont reliés au tuyau principal et placés le long des pommiers avec des sorties espacées de 1m (imposé par le distributeur) (Figure 9). À l'emplacement des gaines d'irrigation, les tuyaux goutte-à-goutte sont coupés et remplacés par des tuyaux sans goutteur de même diamètre appelés tuyaux « aveugles », afin que seule la gaine d'irrigation apporte l'eau. Le goutte-à-goutte permet un apport localisé de l'eau à une distance maximale de 60 cm des pommiers. Un bulbe d'irrigation se crée dans les premiers centimètres du sol.

Enfin, une cuve de 2500 litres est installée sur la partie Nord de la parcelle et permet d'irriguer l'ensemble des pommiers. Située sur une butte de 1,50 m, elle est légèrement en hauteur pour gagner de la pression dans le circuit goutte-à-goutte. Une pompe placée au niveau de la rivière *Lirou* permet de remplir la cuve, et deux crépines sont installées pour filtrer les impuretés de la rivière (voir [Annexe 3 : Présentation des éléments d'irrigation : prise d'eau et cuve](#) ). L'ensemble du dispositif d'irrigation et de l'emplacement des pommiers est résumé en [Annexe 4](#).

### 3) Suivi expérimental et analyse des données

Le sol de la parcelle A1 est argilo-limoneux. Considérant une longueur racinaire de 25 cm, la réserve utile (RU) du sol est de 47 mm d'eau (1,9 mm d'eau retenue / cm de sol) (AFIDOL 2016). La réserve facilement utilisable (RFU) par les pommiers est alors de 31 mm (2/3 de la RU). De plus, on peut considérer que le besoin quotidien maximal d'un plant de pommier permettant de couvrir l'évapotranspiration maximale (ETM) est de 4 mm d'eau / jour (voir détail du calcul en [Annexe 5](#)). Or, il faut savoir que 4 mm d'eau par jour équivaut à 4 litres d'eau / m<sup>2</sup> / jour, et que les pommiers sont espacés de 1,30 m. Ainsi, La dose d'eau doit être de 4 litres d'eau par pommier et par jour. De façon idéale, l'irrigation devrait être lancée tous les jours et les débits des goutteurs nous permettront de savoir le temps d'irrigation pour un apport journalier juste. Nous verrons par la suite que cette pratique d'irrigation ne peut pas être réalisée à cause de contraintes techniques. Parallèlement à l'irrigation, un suivi des débits réels doit être réalisé au niveau des goutteurs des lignes de goutte-à-goutte. L'objectif est de calculer un temps d'irrigation et d'identifier des éventuelles différences de débit le long du réseau de goutte-à-goutte. Il peut s'agir par exemple d'une pression trop basse car l'irrigation est gravitaire. Un ajustement et un contrôle manuel de l'irrigation pourra alors être effectué en réponse. Pour réaliser cette manipulation, des bécards et des éprouvettes graduées sont utilisées pour mesurer les quantités d'eau délivrées dans un pas de temps de 30 min. les différentes mesures se répartissent sur toutes les lignes de goutte-à-goutte ([Figure 11](#)).

De plus, un suivi de la croissance des pommiers est réalisé tout au long du stage. Pour cela, une observation du stade de développement de chaque pommier est réalisée chaque semaine. Lorsqu'une tige du greffon se développe suffisamment (environ 10 cm), les autres sont enlevées pour éviter toute concurrence dans la croissance. La mesure de la tige débute, et la longueur entre le bourgeon et la dernière feuille est relevée (Figure 12).



Figure 12 : Exemple d'une tige de pommier (source personnelle)



Figure 11 : Bécher et éprouvette (source personnelle)

Pour finir sur le suivi de l'expérience, une analyse régulière des données est opérée. Le suivi porte sur une analyse des débits pour planifier l'irrigation. Une analyse statistique des longueurs des tiges est faite pour relever d'éventuelles différences de croissance entre les 4 modalités de l'étude et entre les deux types d'irrigation. Cette expérience a pour finalité de montrer si l'une des quatre modalités (Agroforesterie inter-rang / Agroforesterie rang / Témoin agricole inter-rang / Témoin agricole rang) favorisent ou non la croissance des pommiers. En parallèle, le même objectif est recherché pour les deux systèmes d'irrigation.



### 3 / RESULTATS

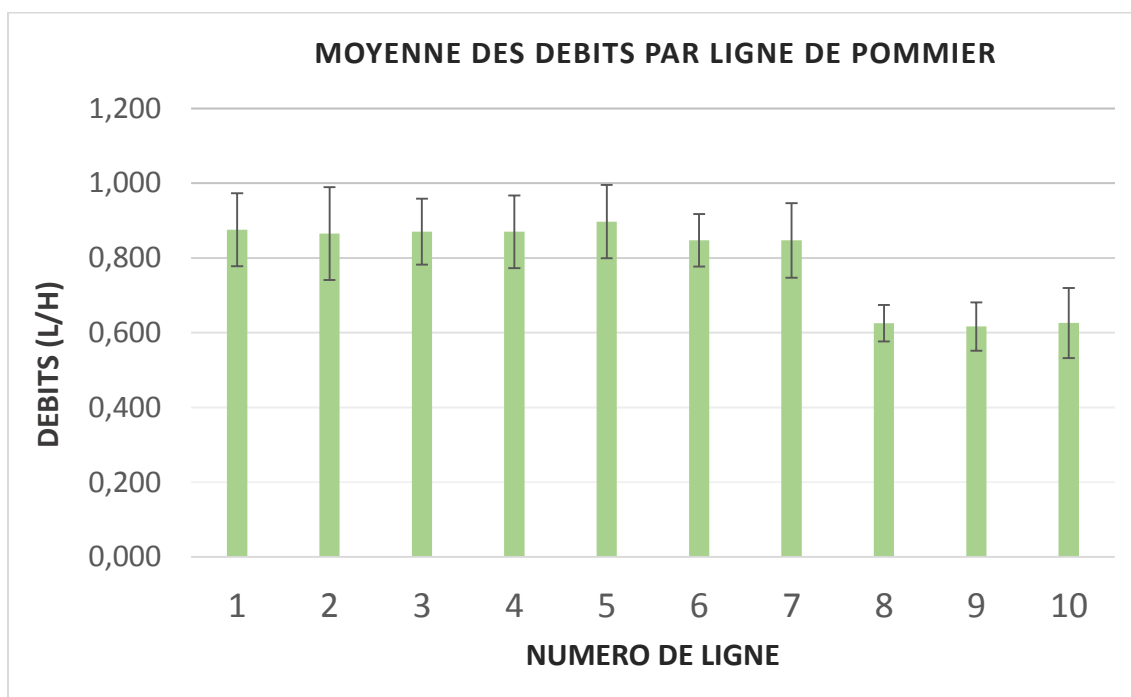
#### A) Les mesures de débits

##### 1) Les principaux résultats

D'après les informations du fournisseur des tuyaux goutte-à-goutte, le débit théorique attendu est de 2 litres par heure. Or d'après les différentes mesures de terrain nous avons remarqué que les débits réels sont éloignés de ce débit théorique. Il semble donc important de présenter les différentes mesures. Les débits sont mesurés à plusieurs endroits sur la ligne de pommiers; du début jusqu'en bout de ligne pour mesurer une potentielle perte de débit par ligne. Les débits sont aussi mesurés sur toutes les lignes (1 à 10) pour évaluer la perte de charge entre le début et la fin du réseau.

Le diagramme suivant présente les moyennes des débits par ligne de goutte-à-goutte :

Figure 13 : Moyenne ( $\pm$  écart-type) des débits par ligne de pommier (source personnelle)



Le diagramme ci-dessus (figure 13) nous apprend que les débits sont relativement homogènes de la ligne 1 à la ligne 7. Les résultats sont centrés autour d'un débit moyen de 0.870 Litres par heure (L/h), avec un écart type moyen de 0.096 L/h. En revanche, nous remarquons que les valeurs de débits pour les lignes de 8 à 10 sont inférieures aux précédentes. Les débits moyens sont en effet de 0.622 L/h, avec un écart type moyen de

0.069 L/h. Par ailleurs, nous n'obtenons pas de différences significatives des débits au sein d'une même ligne de goutte-à-goutte.

## 2) Un protocole d'irrigation simplifié

Les résultats de la figure 13 nous dévoilent deux éléments importants. Premièrement, nous remarquons que les débits mesurés sont très éloignés du débit théorique de 2 L/h (2,5 à 3 fois inférieurs). Deuxièmement, les débits ne sont pas uniformes sur tout le réseau d'irrigation. Une baisse des débits est remarquée pour les lignes 8 à 10. Cela peut s'expliquer par une perte de charge liée à l'emplacement éloigné des dernières lignes par rapport à la cuve avec 158 mètres de distance. Le protocole d'irrigation doit alors être adapté. En effet, les contraintes techniques nous imposent de laisser décanter 1 jour l'eau dans la cuve afin de limiter la présence de microéléments dans les tuyaux. L'irrigation peut alors être réalisée un jour sur deux : le lundi, le mercredi et le vendredi. Par conséquent, lors de l'irrigation, la dose apportée doit satisfaire les besoins des pommiers pour deux à trois jours (le weekend) sans pluies. Ainsi, l'irrigation doit apporter 8 à 12 litres d'eau par pommier, or avec un débit réel de maximum 0,870 L/h, le temps d'irrigation devrait être d'environ de 9 à 14 heures. Techniquement il n'est pas possible de rester autant de temps sur la parcelle pour ouvrir et fermer la vanne de la cuve. De plus la différence de débits entre le début et la fin du réseau nous contraindrait à fermer manuellement les vannes des lignes 1 à 7. L'objectif est de laisser un temps d'irrigation supplémentaire sur les 3 dernières lignes. Ici encore, ce n'est pas applicable sur le terrain par rapport aux contraintes de temps. Un protocole d'irrigation simplifié mais efficace est choisi en réponse à ces problématiques. L'apport d'eau s'effectue le mardi et le vendredi. La cuve est entièrement vidée à chaque irrigation et permet ainsi une seule manipulation d'ouverture de la cuve. La dose procurée est aux environs de 16,7 litres par pommier. Cela fait un total de 2500 Litres délivrés pour les 149 pommiers. L'irrigation permet de satisfaire les besoins physiologiques des arbres (4 L / pommier / jour, par temps sec et ensoleillé) pour trois à quatre jours. En parallèle, la même dose d'eau est apportée dans les gaines d'irrigation pour pouvoir comparer les résultats de croissance.

## B) Le développement des pommiers

### 1) L'évolution des pommiers en fonction des modalités d'expérimentation

L'objectif de la présentation des résultats est de mettre en avant si il y a une différence significative ou non dans la croissance des tiges de pommiers. Une analyse de variance (ANOVA) est effectuée permettant de savoir si la variable à expliquer « longueur des tiges » est en relation avec plusieurs variables dites explicatives qui sont les quatre modalités de l'expérience : AF-IR, AF-R, TA-IR, TA-R. Le traitement est réalisé sous le logiciel R par une ANOVA de type 3 car les échantillons ne présentent pas les mêmes effectifs. Nous émettons l'hypothèse initiale (Ho) suivante : les différentes modalités ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5%. Une p-value est alors calculée et dès lors qu'elle est inférieure au seuil de 5%, on peut rejeter l'hypothèse initiale et conclure à une différence significative. Les résultats sont les suivants :

Tableau 1 : Longueur des pousses de pommier au 31 mai en fonction des modalités de traitement (source personnelle)

groupes	modalités	moyennes (cm)	Groupes distincts
1	AF : R	38.7	a
2	AF : IR	36.1	ab
3	TA : IR	35.6	ab
4	TA : R	27.6	b

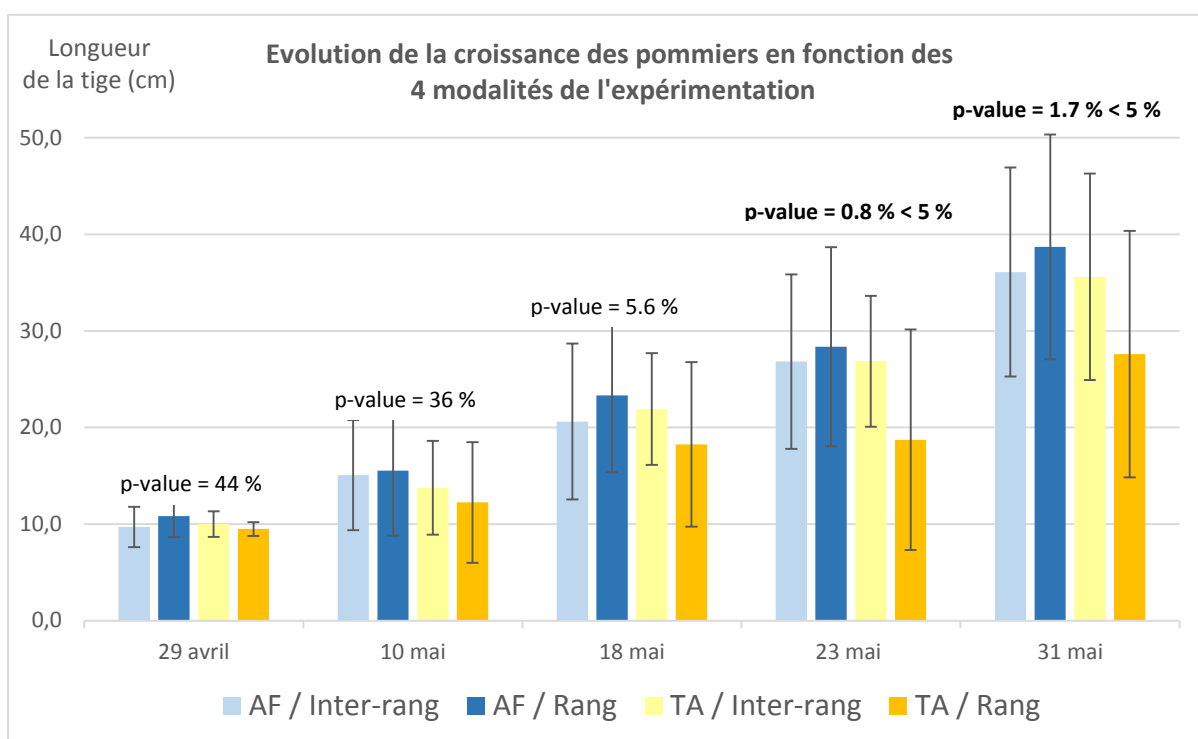


Figure 14 : Evolution de la croissance des pommiers (source personnelle)

La Figure 14 nous montre l'évolution de la croissance des pommiers en fonction de des différentes modalités. Nous remarquons que la longueur des tiges croît régulièrement au cours du temps pour les 4 modalités. Les 2 modalités agroforestières et le témoin agricole inter-rang évoluent de façon quasi identique. Ils passent en effet d'une valeur moyenne de 10 cm le 29 avril à 37 cm le 31 mai. Les pommiers en témoin agricole dans le rang croissent moins rapidement pour atteindre une valeur moyenne de 27,6 cm au 31 mai. Concernant les écart-types on s'aperçoit qu'ils sont de plus en plus importants dans le temps pour les 4 modalités, ils passent de 1,5 cm en moyenne au 29 avril à 11,4 cm pour le 31 mai.

## 2) L'évolution des pommiers en fonction du type d'irrigation

Les résultats portent sur 104 mesures de pommiers en goutte-à-goutte (GAG) et 31 mesures avec des gaines d'irrigation pour le 31 mai.

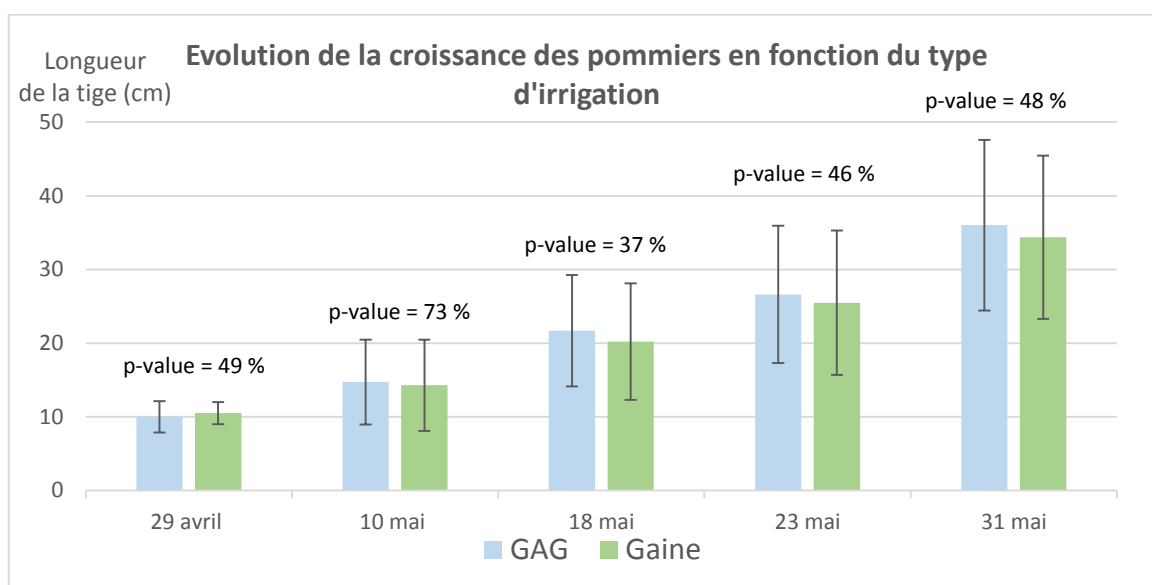


Figure 15 : Evolution de la croissance des pommiers en fonction de l'irrigation (source personnelle)

Le même raisonnement que précédemment est fait sur les résultats de débits. L'hypothèse initiale est : les deux types d'irrigation ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les résultats ci-dessus nous présentent les tendances d'évolution des pommiers en fonction du type d'irrigation. On peut s'apercevoir que les résultats sont très proches entre l'irrigation goutte-à-goutte et par les gaines d'irrigation. Enfin, les écart-types sont relativement importants puisqu'ils tendent respectueusement vers 11,7 cm et 11 cm pour la date du 31 mai. Dans la dernière partie nous détaillerons les différentes interprétations de ces résultats.



## 4 / DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS

### A) Interprétations

#### 1) Synthèse des résultats

##### - **Interprétation de la croissance des pommiers en fonction des modalités d'expérimentation :**

Aux vues des résultats présentés en [Figure 14](#), il y a une différence significative des longueurs de pommier en fonction des différentes modalités à partir du 23 mai. En effet, l'hypothèse initiale qui nous dit que les longueurs sont identiques en fonction des quatre modalités est rejetée puisque la p-value est inférieure au seuil de 5% (p-value = 0,8%). La même conclusion peut être énoncée pour la date du 31 mai avec une différence significative entre les modalités par une p-value = 1,7%. Deux groupes se distinguent par leur forte différence de longueur à partir du 23 mai. Il s'agit du témoin agricole rang de noyer (TA/Rang) et du système agroforestier rang de noyer (AF/Rang). Au 31 mai les pommiers « AF/Rang » présentent une longueur moyenne de 38,7 cm, alors que les pommiers « TA/Rang » montrent une longueur moyenne de 27,6 cm. On peut donc conclure que des phénomènes environnementaux influencent leur croissance à l'avantage du système agroforestier dans le rang de noyer.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises. Premièrement, nous pouvons penser que les pommiers présents dans les rangs, sous les noyers, ont bénéficié d'un microclimat plus favorable. En effet, l'ombrage créé par les noyers a peut-être permis de limiter les excès de chaleur au niveau des jeunes pommiers, favorisant ainsi leur croissance. Deuxièmement, l'ombre des noyers a pu favoriser un maintien de l'humidité dans les premiers centimètres du sol en limitant l'évapotranspiration. Les pommiers sous les noyers ont peut-être alors profité d'un sol plus humide favorisant ainsi l'élongation de leur tige. Au contraire, les pommiers dans le système témoin sont exposés directement aux rayons du soleil qui assèchent le sol rapidement. De plus, durant deux années consécutives (2012 et 2013), quatre fauches de luzerne furent pratiquées sur la parcelle. Les résidus de plante ont été déposés sur les rangs de noyers à l'emplacement actuel de la modalité : AF-R. Un effet d'enrichissement du sol en azote a alors pu avoir lieu et profiter aux plants de pommiers aujourd'hui.

### - **Interprétation de la croissance des pommiers en fonction du type d'irrigation :**

Nous ne pouvons pas conclure sur une différence significative pour les longueurs des pommiers entre l'irrigation goutte-à-goutte et l'irrigation par les gaines (valeurs de p-value supérieures à 5%). En effet, même si l'irrigation goutte-à-goutte donne des résultats légèrement supérieurs à l'irrigation par les gaines, les écart-types sont trop importants. En définitive, le dispositif d'irrigation ne nous permet pas de dire, à ce jour, qu'un système d'irrigation favorise plus la croissance qu'un autre.

### 2) Les limites de l'expérimentation

Les limites et difficultés de l'expérience sont nombreuses. Tout d'abord concernant le pilotage de l'irrigation. En effet, l'apport d'eau n'est pas exactement le même sur tous les pommiers puisqu'il y a une perte de débit pour les trois dernières lignes de pommiers. De plus l'irrigation par les gaines n'est pas aussi précise que l'irrigation goutte-à-goutte. Il est difficile de mettre la quantité d'eau souhaitée dans les gaines d'irrigation à cause de l'infiltration lente de l'eau en profondeur, et ce malgré le sable présent. Concernant le goutte-à-goutte, les goutteurs ne sont pas toujours en face des pommiers. En effet, les trous sont espacés de 1 m alors que les pommiers ont un intervalle de 1,3 m. Par conséquent, tous les pommiers n'ont pas le bulbe d'irrigation à la même distance de leurs racines, et cela impose une autre variable par rapport à la disponibilité en eau. Pour terminer, il est difficile de comparer l'effet de l'irrigation puisque la parcelle se trouve en extérieur. Les pluies élevées ont eu un effet sur l'expérience durant les mois d'avril et mai (voir [Annexe 6](#)). Pour conclure sur ces limites, il faut évoquer le matériel végétal. Les plants de pommier ont commencé leur croissance à des dates assez variables ce qui introduit donc de grands écarts entre les mesures par la suite.

### B) Perspectives de l'étude

A l'avenir, l'objectif sera d'étudier le développement des arbres en suivant leur croissance et leur production de fruits. Des études pourront notamment porter sur la coloration des pommes qui est directement influencée par la quantité de rayonnement reçue. Il sera alors intéressant de comparer le système agricole et le système agroforestier. De plus, à moyen et long terme, l'aspect de la compétition racinaire entre noyers et pommiers pourra être approfondi.

## CONCLUSION

Les enjeux de pollution en agriculture et les impacts du changement climatique, notamment de plus fortes chaleurs et épisodes de sécheresse estivaux, doivent nous faire prendre conscience qu'il faut adapter nos modes de production. L'agroforesterie semble être un concept intéressant qui pourrait rendre l'agriculture plus résiliente face aux différents dérèglements climatiques, tout en restant compétitrice et performante. L'étude menée sur les pommiers à Restinclières dévoile des résultats intéressants et tend à montrer que les plantations de pommiers se développent relativement bien à l'ombre des arbres par rapport au système agricole en plein soleil. Le suivi de l'expérience doit se poursuivre durant ces deux prochains mois de stage, afin de voir si l'écart de développement entre les deux systèmes (Témoin Agricole Rang et Système AgroForestier Rang) s'accroît ou tend à s'atténuer. En ce qui concerne la conduite de l'irrigation, l'expérience a montré certaines limites (techniques et environnementales) dans la comparaison des deux systèmes d'apport d'eau. Le goutte-à-goutte en système gravitaire est tout de même un bon moyen d'apport d'eau, puisqu'il permet avec peu de pression et peu de matériel une irrigation localisée presque uniforme sur la totalité des pommiers. Les faibles débits demandent cependant un long temps d'irrigation. Les gaines d'irrigation semblaient intéressantes mais l'expérience nous a révélé certaines limites comme par exemple le déchirement des gaines poreuses dans le sol. Il sera nécessaire de faire un suivi à long terme de cette expérience, afin d'étudier si le système agroforestier peut être ou non envisageable dans le cas des vergers de pommiers sous noyers. Certaines interrogations demeurent, notamment par rapport à la qualité des productions de fruits ou encore par rapport à la compétition racinaire pour l'accès à l'eau et les nutriments qui risquent de s'accroître.

D'un point de vue personnel, les différentes missions du stage m'ont permis de me familiariser avec la mise en place d'un protocole d'irrigation. J'ai apprécié participer à la conception technique de l'irrigation et d'effectuer le suivi de l'expérience durant ces deux mois de stage. Le stage m'a fait prendre conscience de la difficulté et des multiplicités des opérations à réaliser pour un tel suivi. L'expérience fut très intéressante et constructive.

## BIBLIOGRAPHIE / SITOGRAPHIE

- AFIDOL. 2016. « L'eau dans le sol - AFIDOL ». Consulté le juin 2. [http://www.afidoltek.org/index.php/L'eau\\_dans\\_le\\_sol](http://www.afidoltek.org/index.php/L'eau_dans_le_sol).
- Agence BIO, et CSA. 2015. « Baromètre de consommation et de perception des produits biologiques en France ». [http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4\\_Chiffres/BarometreConso/barometre\\_agence\\_bio\\_public.pdf](http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/BarometreConso/barometre_agence_bio_public.pdf).
- Agroof. 2000. « Fiche identité Restinclières ». Agroof. [http://www.agroof.net/agroof\\_dev/documents/pirat/protocoles\\_restinclieres.pdf](http://www.agroof.net/agroof_dev/documents/pirat/protocoles_restinclieres.pdf).
- Balny, Philippe, Denis Domallain, et Michel De Galbert. 2015. « Promotion des systèmes agroforestiers, propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux production agricoles. » 14094. Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt: CGAER.
- DL Pépiniériste. 2015. « Résistant tavelure - CHOUPETTE<sup>®</sup> - Dalinette cov – Dalicom ». <http://www.dalicom.com/fr/produits/view/76>.
- Dupraz, Christian, et Fabien Liagre. 2011. *Agroforesterie, des arbres et des cultures*. 2eme éd. AgriProduction. France Agricole.
- INRA. 2012. « Montpellier ». juin 20. <http://www.montpellier.inra.fr/>.
- . 2015. « Stratégie ». juin 19. <http://institut.inra.fr/Recherches-resultats/Strategie>.
- Le Foll, Stéphane. 2012. « Projet agro-écologique pour la France ». Présentation. Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. [agriculture.gouv.fr/telecharger/42682?token](http://agriculture.gouv.fr/telecharger/42682?token).
- Météo France. 2015. « CLIMAT MONTPELLIER par Météo-France - Normales et relevés sur la station de MONTPELLIER ». <http://www.meteofrance.com/climat/france/montpellier/34154001/normales>.
- Monney, Philippe, Simon Egger, et Eduard Holliger. 2009. « Actualités arboricoles, nouveaux porte-greffe du pommier. », 59-61.
- Plais. 1969. « HOUPPIER : Définition de HOUPPIER ». <http://www.cnrtl.fr/definition/houppier>.
- Pommier Chouquette. 2016. « Pommier chouquette , MALUS domestica CHOUPETTE (R) "Dalinette" cov 8823 | ». <http://arbre-et-fleur.fr/produit/pommier-chouquette-malus-domestica-chouquette-r-dalinette-cov-8823>.
- « Produits et services - Netafim ». 2016. Consulté le juin 7. <http://www.netafim.fr/irrigation-systems-products#50505>.
- UMR SYSTEM. 2016. « L'unité - UMR Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens ». Consulté le mai 11. <http://umr-system.cirad.fr/l-unite>.
- UMR SYSTEM, et UMR CBGP. 2009. « programme Intégré de Recherches en Agroforesterie à ResTinclières ». Scientifique. INRA / Conseil Général.

## TABLE DES ANNOTATIONS

UMR : Unité Mixte de Recherche

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

EPST : Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique

SYSTEM : Fonctionnement et conduite des SYStèmes de culture Tropicaux Et Méditerranéens

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

BASE : Biodiversité Associée et Services Ecosystémiques

TTR : Transitions, Trajectoires et Ressources

SYME : SYstèmes de culture Métrologie Expérimentation

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

CA : Chambre d'Agriculture

LR : Languedoc-Roussillon

SAF : Système AgroForestier

PIRAT : Programme Intégré de Recherches en Agroforesterie.

AF : AgroForestier

TA : Témoin Agricole

RU : Réserve Utile

RFU : Réserve Facilement Utilisable

ETM : Evapotranspiration Maximale

ETP : Evapotranspiration Potentiel

ANOVA : ANalysis Of VAriance (Analyse de la variance)

## TABLES DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Pommiers haute-tige et pâture (source : <a href="http://www.predesagne.com">www.predesagne.com</a> ) .....	5
Figure 2 : Localisation de la parcelle expérimentale ( <a href="http://departement-herault.fr">http://departement-herault.fr</a> ).....	8
Figure 3 : caractéristiques de l'implantation des noyers hybrides (source personnelle) .....	9
Figure 4 : Noyer en débourrement (à gauche), noyer en pleine floraison (à droite) 20 mai 2016. (Source personnelle).....	10
Figure 5 : Photo et schéma du matériel végétal (source personnelle) .....	11
Figure 6 : Parcelle A1 et modalités expérimentales (source Géoportail) .....	12
Figure 7 : Parcelle A1 et lignes de pommier (source Géoportail) .....	12
Figure 8 : Ligne de pommiers en TA (photographie de gauche) et ligne de pommiers en SAF rang de noyer (photographie de droite) (source personnelle) .....	13
Figure 9 : Schéma gaine d'irrigation en bioplastique (source <a href="http://compoverde.com">compoverde.com</a> ) .....	14
Figure 10 : Dispositif de goutte-à-goutte (source personnelle) .....	14
Figure 11 : Bécher et éprouvette (source personnelle) .....	16
Figure 12 : Exemple d'une tige de pommier (source personnelle) .....	16
Figure 13 : Moyenne des débits par ligne de pommier (source personnelle) .....	17
Figure 14 : Evolution de la croissance des pommiers (source personnelle) .....	19
Figure 15 : Evolution de la croissance des pommiers en fonction de l'irrigation (source personnelle).....	20
Tableau 1 : Longueur des pousses de pommier au 31 mai en fonction des modalités de traitement (source personnelle) .....	19

## ANNEXES

### Annexe 1 : Organigramme UMR SYSTEM (source: UMR SYSTEM)



#### Fonctions transversales

**Communication :** S. Renoir  
**Formation :** C. Picard  
**H et S :** J-F Bourdoncle  
**Informatique :** P. Parra  
**Radioprotection :** B. Ohl  
**Qualité :** L. Dufour

**Directeur :** C. Gary

**Directeur adjoint :** P. Jagoret

#### Equipes d'appui

**Equipe SAGE**  
*Service Appui à la Gestion*  
**Assistante :** S. Renoir (Cirad)  
**Gestionnaire :** C. Picard (Inra)  
**Secrétaire :** V. Marty (Inra)

#### Thèmes scientifiques

##### BASE

*Biodiversité Associée et Services Écosystémiques*

**C. Allinne (Cirad Costa Rica)**  
**O. Deheuvels (Cirad Pérou)**  
     C. Gary (Inra)  
     R. Métral (SupAgro)  
     D. Meziere (Inra)  
**M.A. Ngo-Bieng (Cirad C Rica)**  
     N. Smits (Inra)  
     R. Cerda (doct.)

##### Ressources

**A. Metay (MC SupAgro)**  
**K. Barakaoui (Cirad Maroc)**  
     C. Dupraz (Inra)  
     R. Gaudin (SupAgro)  
     P.E. Lauri (Inra)  
     H. Marrou (SupAgro)  
**B. Rapidel (Cirad Costa Rica)**  
     S. Roux (Inra)  
     J. Wery (SupAgro)  
     Y. Ben-Zekri (doct.)  
     N. Bertand (CDD)  
     C. Blitz (post-doc)  
     O. Forey (doct.)  
     L. Garcia (doct.)  
     L. Gateau-Rey (doct.)  
     D. Inurreta (doct.)  
     J. Le Bec (CDD)  
     C. Tauvel (doct.)

##### TTR

*Transitions, Trajectoires et Ressources*

**S. Sai (Cirad)**  
**H. Belhouchette (IAMM)**  
     E. Fauvelle (Cirad)  
     M. Gosme (Inra)  
     P. Jagoret (Cirad)  
     A. Merot (Inra)  
     A. Neijmeijer (doct.)  
     L. El Ansari (doct.)

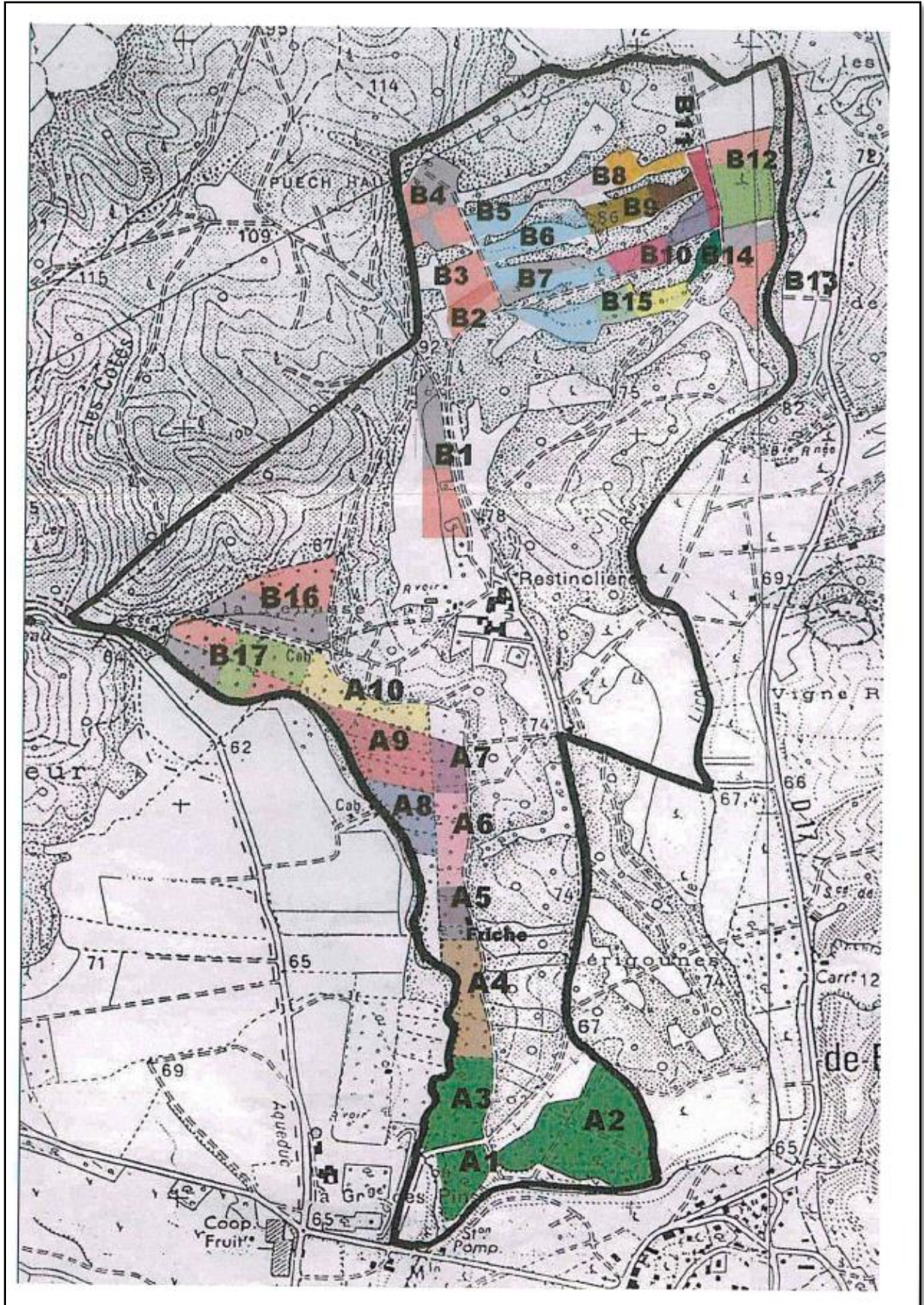
##### Equipe SYME

*Systèmes de culture, Métrologie, Expérimentation*

**L. Dufour (Inra)**  
**J-F Bourdoncle (Inra)**  
     Y. Bouisson (Inra)  
     D. Chambert (Inra)  
     C. Enard (Inra)  
     B. Ohl (Inra)  
     P. Parra (Inra)  
     A. Sellier (Inra)



Annexe 2 : Les parcelles agroforestières de Restinclières (source : Protocole restinclières)





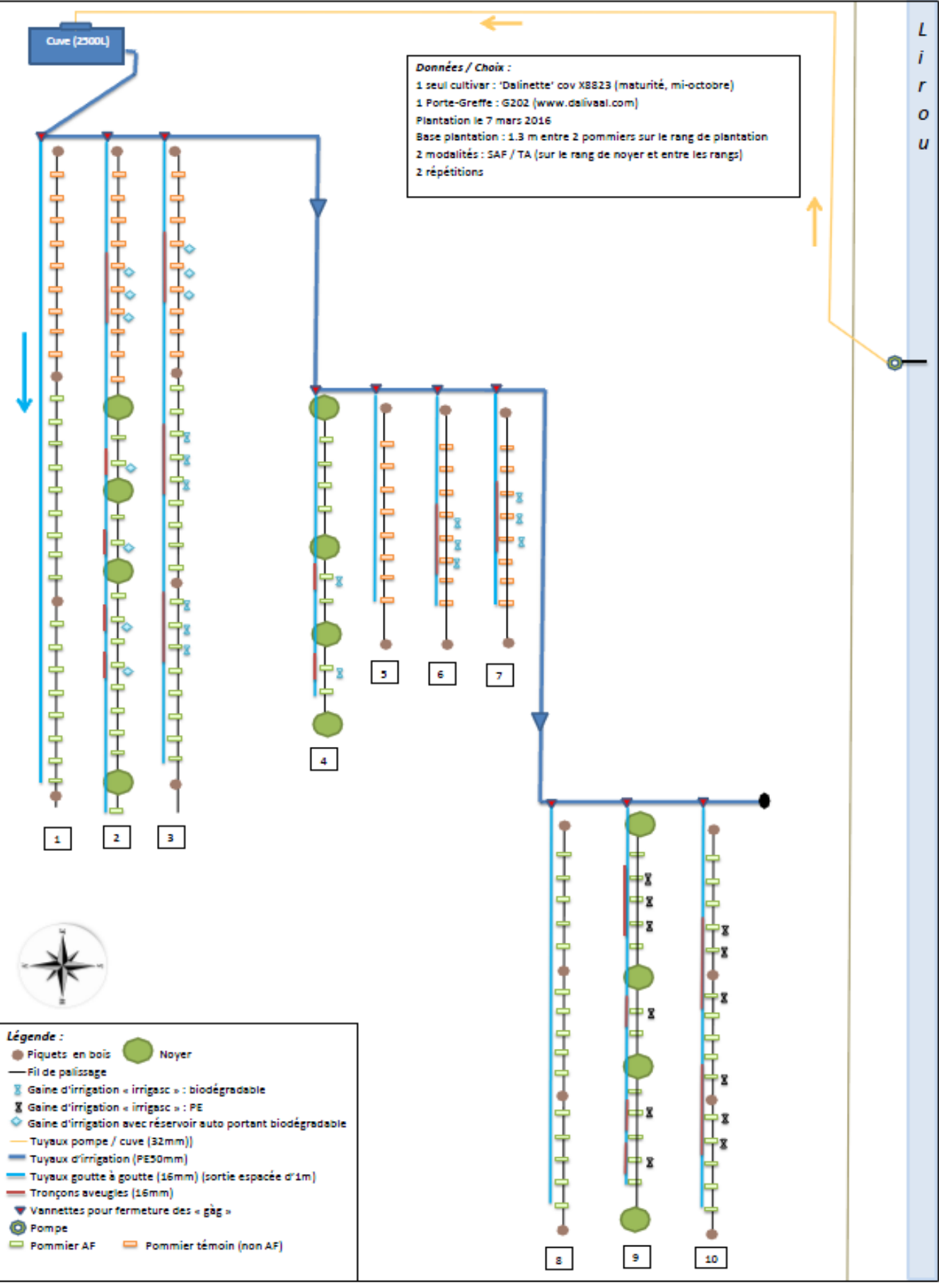
**Annexe 3 : Présentation des éléments d'irrigation : prise d'eau et cuve (source : personnelle)**



Annexe 4: Schéma explicatif de l'expérimentation (source : personnelle)

Schéma de présentation : suivi de la parcelle A1 (pommier en agroforesterie)

L  
i  
r  
o  
u



**Annexe 5: Calcul de l'ETM journalier du pommier (sources : Météo France Montpellier et agrometeo.fr)**

	Avril	Mai	Juin
ETP moyenne (mm/j)	4	4.5	5
Kc du pommier	0.8	0.8	0.9
ETM pommier (mm/j)	3.12	3.6	4

$(ETM = Kc \times ETP)$

Pour un confort hydrique du pommier maximal et à la vue du dispositif d'irrigation, nous avons choisi de prendre un ETM journalier du pommier de 4 mm / jour pour les mois de avril, mai et juin. Cela permet aussi de simplifier le protocole d'irrigation.

**Annexe 6 : données pluviométriques Montpellier (sources : Climatik V2 et infoclimat.fr)**

	Avril	Mai
Cumul de pluie (mm) Montpellier Lavalette	60	<b>103</b>
Normal 1961-2010 (mm)	55	52