

Institut Polytechnique Lasalle Beauvais – Esitpa
3, Rue du Tronquet – 76134 Mont Saint Aignan Cedex

2015-2016

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'Ingénieurs en Agriculture

Influence du microclimat créé par les arbres sur les cultures de salades et tomates AB en agroforesterie en zone méditerranéenne

Camille Niard

Encadré par :

Camille Béral – Responsable Recherche&Développement

Asma Ben Othmen – Enseignante chercheuse en Economie de l'environnement

Institut Polytechnique Lasalle Beauvais – Esitpa

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'Ingénieurs en Agriculture

Influence du microclimat créé par les arbres sur les cultures de salades et tomates AB en agroforesterie en zone méditerranéenne



Camille Niard

2015-2016

Tutrice du projet :

Camille Béral – Responsable R&D

Référente école :

Asma Ben Othmen – Enseignante chercheuse

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier toute l'équipe d'Agroof SCOP de m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude sur une thématique aussi intéressante qu'est l'agroforesterie dans le cadre de la SCOP. Merci beaucoup à eux pour l'ambiance de travail et l'esprit d'équipe qui règne au bureau d'étude et sur le terrain.

Je remercie plus particulièrement Camille Béral qui a su structurer et orienter mon stage dans la bonne direction.

Merci à Daniele Ori qui m'a transmis le virus de l'agroforesterie en cours de système de cultures innovants à l'ESITPA.

Je remercie Hélène Legallic, Ambroise Martin-Chave, Julien Larivière et Guillaume Sabourin pour le temps précieux qu'ils ont passé sur le terrain afin de réaliser les notations de salades et tomates.

Un grand merci à Ambroise Martin-Chave pour son aide inestimable pour l'utilisation de l'appareil photo hémisphérique, du logiciel associé et pour l'analyse statistiques de mes données.

Je remercie également tous les agriculteurs du projet, Virginie et Denis Florès, Odile Sarrazin et Sonia Guerrin pour leur bonne humeur et leur investissement dans le projet.

Sommaire

Introduction.....	1
I/ Contexte de l'étude.....	2
A. Le maraîchage en zone méditerranéenne.....	2
1. Les enjeux de la production maraichère.....	2
2. Les enjeux liés au changement climatique.....	4
3. Stratégies pour répondre à ses enjeux.....	4
B. L'agroforesterie maraichère.....	5
1. Définition et histoire.....	5
2. Bénéfices de l'agroforesterie.....	8
C. Les projets de recherches.....	12
1. Arbratatouille.....	12
2. L'état de l'art.....	15
D. Méthodologie.....	17
1. Problématique.....	17
2. Objectifs et hypothèses.....	18
3. Démarche.....	18
II/ Matériel et méthode.....	20
A. Les sites expérimentaux.....	20
1. Les Terres de Roumassouze (Site pilote).....	20
2. Le Bouldou (Site satellite).....	21
3. Le Jardin d'Odile (Site satellite).....	23
B. Le matériel végétal.....	23
C. Les itinéraires de cultures.....	24
D. Le dispositif expérimental général des exploitations.....	24
1. Les terres de Roumassouze.....	24
2. La Ferme du Bouldou.....	25
3. Le Jardin d'Odile.....	25
E. Les dispositifs et protocoles expérimentaux.....	25
1. Le microclimat.....	25

2.	Le comportement des cultures légumières.....	27
F.	Le traitement des données	32
III/	Résultats.....	34
A.	Comparaison du microclimat	34
1.	L'ouverture de canopée.....	34
2.	La température.....	34
3.	L'hygrométrie	36
B.	Comparaison du comportement des cultures légumières.....	36
1.	Salade	36
2.	Tomate	39
IV/	Discussion.....	43
A.	Les résultats	43
1.	Influence du système agroforestier sur le microclimat.....	43
2.	Influence du système agroforestier sur les cultures de salades et tomates	44
B.	Les limites	47
1.	Du contexte de l'étude.....	47
2.	De l'analyse des résultats	48
C.	Les perspectives.....	49
V/	Conclusion	50
	Bibliographie.....	51
	Annexes.....	58

Liste des figures et tableaux

Tableau 1: Surfaces et quantités récoltées des principales cultures légumières en zone méditerranéenne en 2014 (Agreste, 2016)

Figure 1: Régions affectées par les changements climatiques et exemples d'impacts directs possibles au cours du XXIème siècle

Figure 2: Coltura promiscua en Ariège (www.agroforesterie.fr consulté le 2 juin)

Figure 3: Verger maraîcher en Languedoc-Roussillon (www.agroforesterie.fr consulté le 2 juin)

Figure 4: Concentration de carbone du sol en fonction de la profondeur et du système de culture (Cardinael et al., 2015)

Figure 5: Schéma récapitulatif des flux d'eau (Bansept, 2013a)

Figure 6: Estimation de la part d'habitat des insectes sur une exploitation agricole (Palma et al., 2007)

Figure 7: Schéma récapitulatif des bénéfices attendus de l'arbre en agroforesterie (www.agroforesterie.fr consulté le 22/03/2016)

Tableau 2: Ouverture de canopée en fonction de la taille des arbres avant et après débourement des noyers en 2015 à Vézénobres (30)

Figure 8: Poids spécifique des laitues en fonction de l'intensité lumineuse (Fu et al., 2012)

Figure 9: Confrontation des précipitations et ETP moyennes mensuelles sur les trente dernières années mesurées à la station météo de Nîmes (30) par Météo-France

Figure 10: Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles sur les trente dernières années mesurées à la station météo de Nîmes (30) par Météo-France

Figure 11: Précipitations et températures moyennes mensuelles sur les trente dernières années à la station météo de Villevieille (34) par Météo-France

Figure 12: Précipitations et températures moyennes mensuelles sur les vingt dernières années à la station météo de Béziers (34) par Météo-France

Figure 13: Dispositif expérimental général des Terres de Roumassouze

Figure 14: Dispositif microclimat des Terres de Roumassouze

Tableau 3: Stades phénologiques à répertorier pour mesurer le développement des salades

Figure 15: Echelle de notation d'intensité des dégâts foliaires des salades

Figure 16: Dispositif expérimental de la culture de salades sur les Terres de Roumassouze

Figure 17: Stades phénologiques de la tomate à répertorier

Figure 18: Dispositif expérimental des tomates sur les Terres de Roumassouze

Figure 19: Ouverture de canopée des quatre modalités en avril et juillet 2016 sur les Terres de Roumassouze (barre d'erreur indiquant les écart-type)

Figure 20: Température moyenne par heure sur une journée moyenne mensuelle pour chaque modalité d'avril à août 2016 sur les Terres de Roumassouze (barre d'erreur indiquant les écart-type)

Tableau 4: Ecart de température entre le jour et la nuit pour chaque modalité sur les Terres de Roumassouze en 2016

Figure 21: Température moyenne par heure sur une journée d'avril à juin 2016 au Boulidou

Tableau 5: Ecart de température entre le jour et nuit pour chaque modalité au Boulidou et au Jardin d'Odile

Figure 22: Hygrométrie relative par heure sur une journée moyenne mensuelle pour chaque modalité d'avril à août 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant les écarts-type)

Figure 23: Développement des salades sur les Terres de Roumassouze en 2016

Figure 24: Répartition à travers le temps de la croissance des salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant l'erreur standard)

Figure 25: Intensité des dégâts d'origine biologique sur salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant l'erreur standard)

Figure 26: Effectif de salades montées par modalités, par date et par variété en 2016 sur les Terres de Roumassouze

Figure 27: Effectif cumulé de salades montées par modalité, par date et par variété en 2016 sur les Terres de Roumassouze

Figure 28: Production brute de salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze par variété et par modalité (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

Tableau 6: Récapitulatif des indicateurs mesurés sur salades sur les Terres de Roumassouze

Figure 29: Développement des plants de tomates à travers le temps sur les Terres de Roumassouze en 2016 en fonction de la variété pour chaque modalité

Figure 30: Développement des pieds de tomates au Boulidou en 2016 par variété et par modalité

Figure 31: Développement des pieds de tomates à travers le temps par modalité et pour chaque variété en 2016 au Jardin d'Odile

Figure 32: Longueur moyenne d'un entrenœud de plant de tomate sur les Terres de Roumassouze en 2016 en fonction de la variété et de la modalité (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

Figure 33: Longueur moyenne des entrenœuds par variété et par modalité au Boulidou en 2016

Figure 34: Longueur moyenne d'un entrenœud de plant de tomate au Jardin d'Odile (barres d'erreur indiquant les écart-type)

Figure 35: Capacité maximale de production de tomates par variété et par modalité sur les Terres de Roumassouze en 2016 (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

Figure 36: Nombre de fleurs moyen par pied de tomate au Boulidou en 2016 (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

Figure 37: Capacité maximale de production de tomates au Jardin d'Odile (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

Tableau 7: Résumé des indicateurs mesurés sur les tomates sur les Terres de Roumassouze en 2016

Tableau 8: Résumé des impacts des arbres sur les cultures légumières en 2016

Listes des annexes

Annexe 1 : <i>Lactuca sativa</i> L. Romaine Blonde Maraichère	58
Annexe 2 : <i>Lactuca sativa</i> L. Biscia rossa	59
Annexe 3 : <i>Solanum lycopersicum</i> L. Noire de Crimée	60
Annexe 4 : <i>Solanum lycopersicum</i> L. Rose de berne	61
Annexe 7: Itinéraire de culture de tomates sur la Ferme du Boulidou	62
Annexe 8: Itinéraire de culture de tomates au Jardin d'Odile	63
Annexe 9 : Caractérisation des modalités en fonction de la taille des arbres sur les Terres de Roumassouze	64
Annexe 10 : Dispositif expérimental général 2016 du Boulidou.....	65
Annexe 11 : Dispositif expérimental général 2016 sur le Jardin d'Odile	66
Annexe 12 : Dispositif microclimatique 2016 de la Ferme du Boulidou	67
Annexe 13 : Dispositif expérimental microclimatique 2016 sur le Jardin d'Odile	68
Annexe 14 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée 2016 sur les Terres de Roumassouze.....	69
Annexe 15 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée et de la culture de tomates en 2016 sur la Ferme du Boulidou	70
Annexe 16 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée 2016 sur le Jardin d'Odile	71
Annexe 17 : Aide à l'identification des dégâts foliaires sur salades.....	72
Annexe 18 : Dispositif expérimental de la culture de salades en 2016 de la Ferme du Boulidou.....	73
Annexe 19 : Dispositif expérimental de la culture de salades en 2016 au Jardin d'Odile	74
Annexe 20 : Dispositif expérimental de la culture de tomates en 2016 au Jardin d'Odile	75

Introduction

Le maraîchage doit aujourd'hui faire face à des enjeux importants. Il est nécessaire de travailler à la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, la gestion de l'eau, le raisonnement de la fertilisation et la qualité du produit. Ces perspectives soulèvent des questions d'ordre économique avec une concurrence très présente notamment internationale mais surtout d'ordre technique.

Parmi les réponses possibles, l'agroforesterie est une piste sérieusement envisagée par les agriculteurs comme par les politiques. Des projets de recherche et développement ont déjà permis sa pratique en grandes cultures en limitant les freins techniques à la conduite de culture. Cependant, il n'existe que peu de références techniques en ce qui concerne la production légumière.

Agroof, Société Coopérative et Participative spécialisée en recherche et développement en agroforesterie, a mis en place un projet de recherche participative en 2014 dans le Gard (30) et l'Hérault (34). Arbratatouille a pour but de comprendre le comportement des cultures légumières en agroforesterie. Au terme des trois années du projet, l'objectif est de dégager des enseignements qui serviront à comprendre les phénomènes d'interactions entre arbre et culture puis à conseiller et former les maraîchers.

Ce mémoire présente ici l'étude de la troisième année d'Arbratatouille. Après avoir présenté les enjeux du maraîchage en zone méditerranéenne ainsi que les potentialités de l'agroforesterie, nous feront l'état des connaissances actuelles à propos de la conduite de cultures de salades et tomates. Ceci débouchera sur une problématique à laquelle nous tenterons de répondre. Puis seront définis les objectifs et hypothèses ainsi que la démarche suivie nécessaire à la conception du matériels et méthode. Pour finir, les résultats seront présentés et discutés.

Tableau 1: Surfaces et quantités récoltées des principales cultures légumières en zone méditerranéenne en 2014 (Agreste, 2016)

	Languedoc-Roussillon		PACA		France	
	Surface (ha)	Quantités récoltées (t)	Surface (ha)	Quantités récoltées (t)	Surface (ha)	Quantités récoltées (t)
Laitue	824	27 560	1 924	72 496	8 675	236 362
Chicorée frisée	159	6 466	183	7 485	919	29 562
Chicorée scarole	206	8 104	87	3 178	863	29 562
Aubergine	na	na	140	6 020	474	27 036
Concombre	83	17 725	62	13 571	550	121 574
Courgette	495	23 564	638	40 046	2 801	130 641
Melon	2 611	48 900	2 202	45 255	13 526	244 818
Pastèque	na	na	69	3 416	165	7 063
Poivron/piment	na	na	151	5 436	465	22 301
Courge	na	na	1 210	39 930	3 311	94 196
Tomate	631	63 503	1 347	181 318	4 785	76 169
TOTAL	5 009	195 822	8 013	418 151	36 534	1 019 284

I/ Contexte de l'étude

A. Le maraîchage en zone méditerranéenne

Les deux régions méditerranéennes du Languedoc-Roussillon (LR) et Provence-Alpes-Côte-D'azur (PACA) représentent une part importante de la production légumière de France. Le tableau 1 page ci-contre présente les principales cultures légumières de ces deux régions en surfaces et quantités récoltées. La surface légumière en zone méditerranéenne représente 50% des surfaces légumières françaises et 79% des quantités récoltées pour cultures, en 2014. Le produit des ventes de légumes en LR et PACA s'élève à 530 millions d'euros soit 20% du produit des ventes de légumes en France en 2014 (Agreste, 2016).

Le système de conduite en Agriculture Biologique (AB) y est très présent. C'est en effet ces deux régions qui rassemblent le plus de producteurs en agriculture biologique. On en compte 5382 en 2014 dont 1243 producteurs de légumes frais sur 26,7% des surfaces certifiées ou en conversion AB de la SAU en France. La consommation de produits certifiés AB a augmenté de 10% entre 2013 et 2014 (AgenceBio, 2015).

1. Les enjeux de la production maraîchère

Les enjeux de la production maraîchère de la zone méditerranéenne française sont multiples et relèvent des domaines économiques, environnementaux et territoriaux.

Le principal enjeu est d'adapter le système de production au climat. Le climat de la région est méditerranéen c'est-à-dire tempéré chaud avec des étés chauds et secs et des hivers doux. Les jours de pluie sont peu nombreux mais les précipitations sur l'année restent conséquentes. A Montpellier, sur les trente dernières années, il y a 58 jours avec précipitations pour une hauteur annuelle moyenne de 630 mm. Le nombre de jours d'ensoleillement vrai s'élève en moyenne à 148 pour une durée d'ensoleillement de 2668 heures par an (Météo France, 2016). La gestion de la production maraîchère en est fortement impactée.

Bertrand Hervieu (2006), secrétaire général du Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes (Ciheam) expose les enjeux de l'agriculture en Méditerranée. Ils reposent tout d'abord sur la maîtrise de l'urbanisation grandissante qui pénalise l'activité agricole à cause de l'accessibilité au foncier. En

effet, le dynamisme de la filière est affecté par la difficulté de s'installer (ou d'être limité à de petites surfaces).

D'autre part, le rôle de l'agriculteur prend une tournure multidimensionnelle (Hervieu et al., 2013). Outre sa mission « nourricière », il est complètement impliqué dans les préoccupations environnementales et est acteur de l'aménagement du paysage. La qualité des eaux, la perte de biodiversité et les pollutions diffuses doivent être régulées par l'agriculture. La réduction de l'utilisation des intrants de synthèse devient alors primordiale.

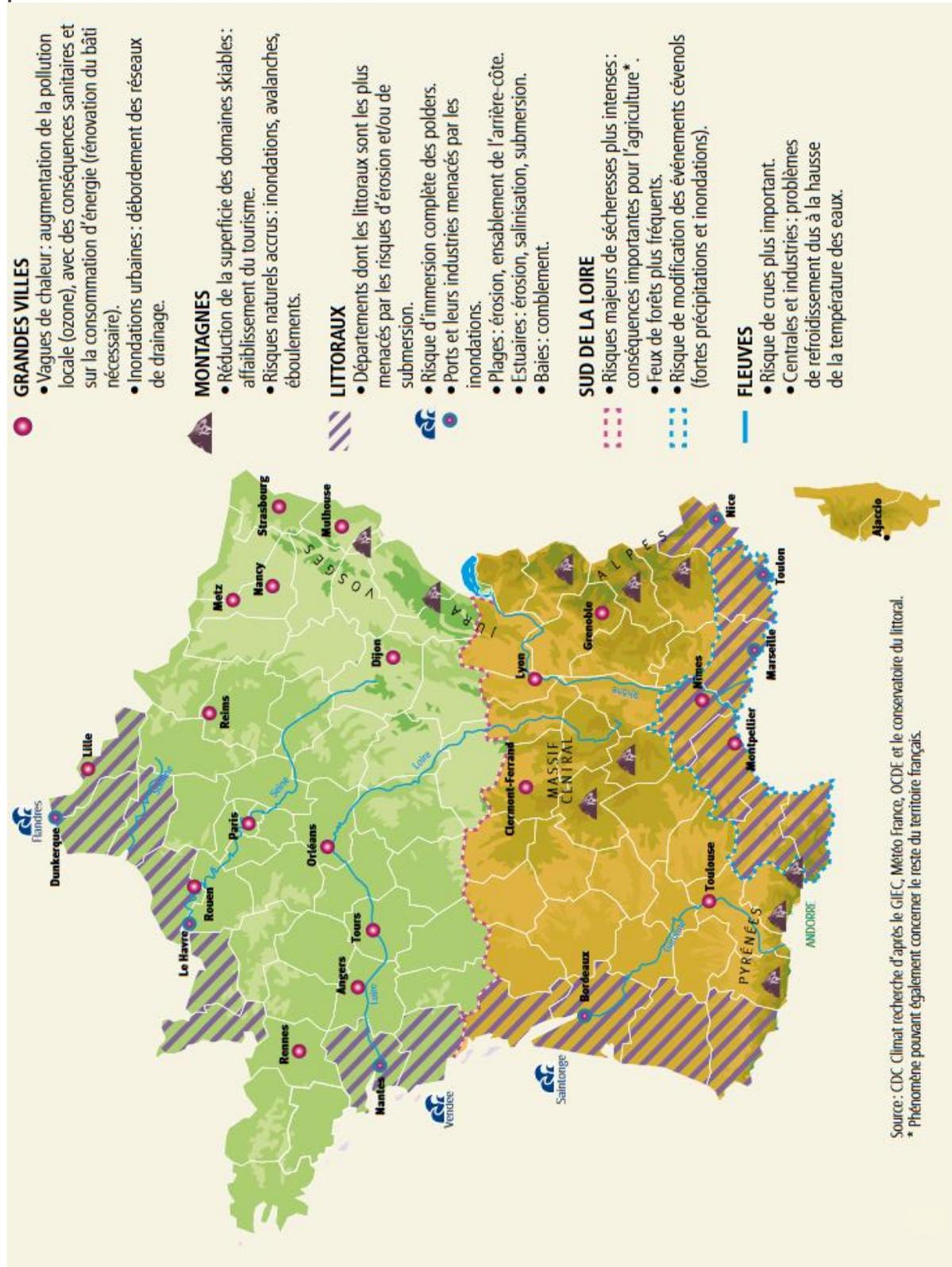
Le Gruss (2009) résume les enjeux agricoles de la région sous trois aspects :

- Enjeu d'efficacité avec des besoins d'augmentation de la production
- Enjeu d'efficience face à la rareté des ressources naturelles avec en premier lieu la ressource en eau
- Enjeu de durabilité dans la gestion des pollutions diffuses

La réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires est aussi inévitable de par la diminution des matières actives autorisées en France. En production légumière particulièrement, de nombreux ravageurs et maladies restent sans solution chimique (e-phy, 2016).

Les attentes sociétales par rapport à la production et la consommation de fruits et légumes sont aussi un des enjeux de la filière. Les agriculteurs veulent être rémunérés dignement de leur production afin de pérenniser leur système. Il est donc primordial pour les maraichers d'arriver tôt sur le marché (jouer sur la précocité de la production), d'obtenir de hauts rendements et de privilégier une production de bonne voire très bonne qualité commerciale (Serrurier et al., 2016). Les consommateurs sont eux, demandeurs de produits plus « propres », diversifiés et à un prix abordable. Les consommateurs étant de plus en plus sensibles aux problématiques environnementales, les techniques de production des fruits et légumes comme leur origine impactent leurs achats. Il y a donc un besoin d'harmoniser les besoins de ces acteurs fondamentaux de la filière (Guillaumin et al. 2008).

Figure 1: Régions affectées par les changements climatiques et exemples d'impacts directs possibles au cours du XXIème siècle



2. Les enjeux liés au changement climatique

Pour aller plus loin à propos du climat, le rapport *Le climat de la France au XXIème siècle* (2014), commandé par le gouvernement français, présente les caractéristiques principales du futur climat (2090) :

- Une augmentation de la température quotidienne moyenne de 2 à 4,1°C
- Une variation des précipitations quotidiennes moyennes de 0,2 à -0,6mm
- Une hausse du nombre annuel de jours consécutifs de sécheresse
- Une augmentation du nombre de jours de l'année pour lesquels la température maximale est dépassée de 5°C (par rapport à la référence)

Et en particulier en zone méditerranéenne comme schématisés sur la figure 1 ci-contre :

- Augmentation des risques d'érosion et/ou submersion
- Risque majeur de sécheresse plus intense (Milano et al., 2015)
- Feux de forêt plus fréquents
- Risque de modification des évènements cévenols avec de plus fortes précipitations et inondations

La production fruitière et légumière en serait fortement impactée. Ces changements climatiques provoqueraient une forte augmentation des dégradations des cultures. Cela demande de mettre en place tout un dispositif de stratégies agronomiques pour limiter ses risques.

3. Stratégies pour répondre à ses enjeux

Pour faire face aux enjeux du maraichage en zone méditerranéenne, les agriculteurs doivent mettre en place une combinaison de stratégies d'entreprise et agronomiques. Les périodes sèches sont propices à la réduction des maladies fongiques. De ce fait, la production en agriculture biologique est une solution envisagée par de nombreux maraichers de la région.

La diversification de la production est un des piliers de la filière fruits et légumes AB de la région. Elle s'impose, avec le recours au circuit-court, comme le point central de la stratégie commerciale. Cela implique des contraintes spatiales et temporelles importantes (Morel et Léger, 2015).

Les maraichers ont pour mission d'adapter leurs pratiques culturelles aux enjeux de la filière, notamment pour la gestion et la protection des ressources en eau, la gestion de l'enherbement sans produit de synthèse ou encore la conservation des

sols. On aura alors recours aux techniques culturales telles que le paillage, les planches permanentes ou un travail du sol limité à la couche superficielle ou enfin l'utilisation de couverts végétaux comme engrais (Thomas et Archambeaud, 2013).

Enfin, l'ouverture des fermes au grand public permettrait de faire connaître mieux le métier de maraicher et de favoriser le dialogue et les concertations entre les acteurs des filières engagées. D'autre part, outre l'aspect éducatif, c'est aussi l'occasion de mettre en place la cueillette à la ferme. Même si cela demande une organisation toute particulière pour les agriculteurs, c'est un moyen de limiter le temps de récolte tout en réduisant le prix d'achat des légumes AB pour le consommateur : un bon compromis face aux demandes de ces deux acteurs de la filière (entretiens avec Denis Florès, 2016).

Le système agroforestier-maraicher pourrait être une solution face à ses enjeux économiques, environnementaux et de stratégies d'entreprise. En effet, ces stratégies préalablement exposées sont en totale cohérences avec l'agroforesterie. Et même si les essais conduits dans un système comme celui-ci sont basés en particulier sur les grandes cultures en agriculture conventionnelle, rien n'empêche à première vue d'adapter l'agroforesterie en production légumières conduites sous le label AB.

B. L'agroforesterie maraichère

1. Définition et histoire

Selon l'ICRAF (Centre International de la Recherche en AgroForesterie), l'agroforesterie est un « *système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègre des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre* ».

Cette définition rassemble plusieurs notions à commencer par l'approche système sur laquelle l'agroforesterie est basée. En effet, l'association des arbres avec les cultures ou l'élevage nécessite de prendre en compte l'agroécosystème dans son ensemble afin de piloter au mieux les interactions entre espèces associées et d'en favoriser les complémentarités.

On distingue trois grands types d'agroforesterie : l'agrosylviculture associant arbres et cultures, le sylvopastoralisme associant arbres et animaux et

Figure 2: Coltura promiscua en Ariège (www.agroforesterie.fr consulté le 2 juin)



Figure 3: Verger maraicher en Languedoc-Roussillon (www.agroforesterie.fr consulté le 2 juin)



l'agrosylvopastoralisme associant à la fois arbres, cultures et animaux (TORQUEBIAU, 2000). Les plus répandus en climat tempéré, et notamment en France sont les systèmes associant bois d'œuvre avec céréales, les pré-vergers (animaux – ovins, porcins, bovins, volailles - pâturant sous des vergers de fruitiers), les systèmes agroforestiers viticoles et agroforestiers maraichers.

Il existe une diversité de systèmes agroforestiers due à leurs pratiques ancestrales. Les tous premiers systèmes agraires étaient déjà basés sur la complémentarité des arbres avec les cultures et/ou animaux, même si l'on ne peut précisément décrire les techniques agroforestières de l'époque romaine jusqu'au Moyen Age. Ce n'est qu'au XVème siècle que l'on définit bien ces techniques avec,

les pré-vergers développés en Normandie. L'agroforesterie se développe également au XVIIème et XVIIIème siècle avec, non seulement, la complantation c'est à dire la mise en place de plusieurs cultures différentes (dont les arbres) et avec l'embocagement.

Les systèmes traditionnels en agroforesterie maraichère étaient rassemblés pour la plupart sur le pourtour méditerranéen, où le manque de terre arable et le caractère vivrier des systèmes ont modelés ces associations (Dupraz et Liagre, 2011). Prenant différents noms, les systèmes en agroforesterie maraichère se sont façonnés selon la localisation ou les essences d'arbres cultivés. En Italie, on parlera de Coltura promiscua. C'est l'association de l'arbre fruitier ou fourrager avec la vigne et les cultures légumières (figure 2). La huerta ou verger-maraicher (figure 3) est le système combinant culture arboricole fruitière et cultures légumières. Ce système est particulièrement présent en Espagne et dans le sud de la France. On y retrouve par exemple les pomeradas associant pommiers aux légumes (Smith, 2010). Ces associations ont permis de diversifier la production sur des espaces réduits. C'est pourquoi elles ont existé dans de larges proportions autrefois et reviennent au goût du jour avec notamment l'expansion des petites exploitations surtout en maraichage. Le début du XXème siècle a été initiateur du déclin de l'agroforesterie et plus encore à partir des années cinquante avec la révolution verte pour laquelle l'arbre n'est plus synonyme de progrès technique. A cette époque, le progrès de l'agriculture passe entre autres par le remembrement et en général par des techniques productivistes et la mécanisation où l'arbre est un frein à leur mise en place. La PAC (Politique Agricole Commune) en 1992 ira de même dans ce sens. Le paysage agricole se

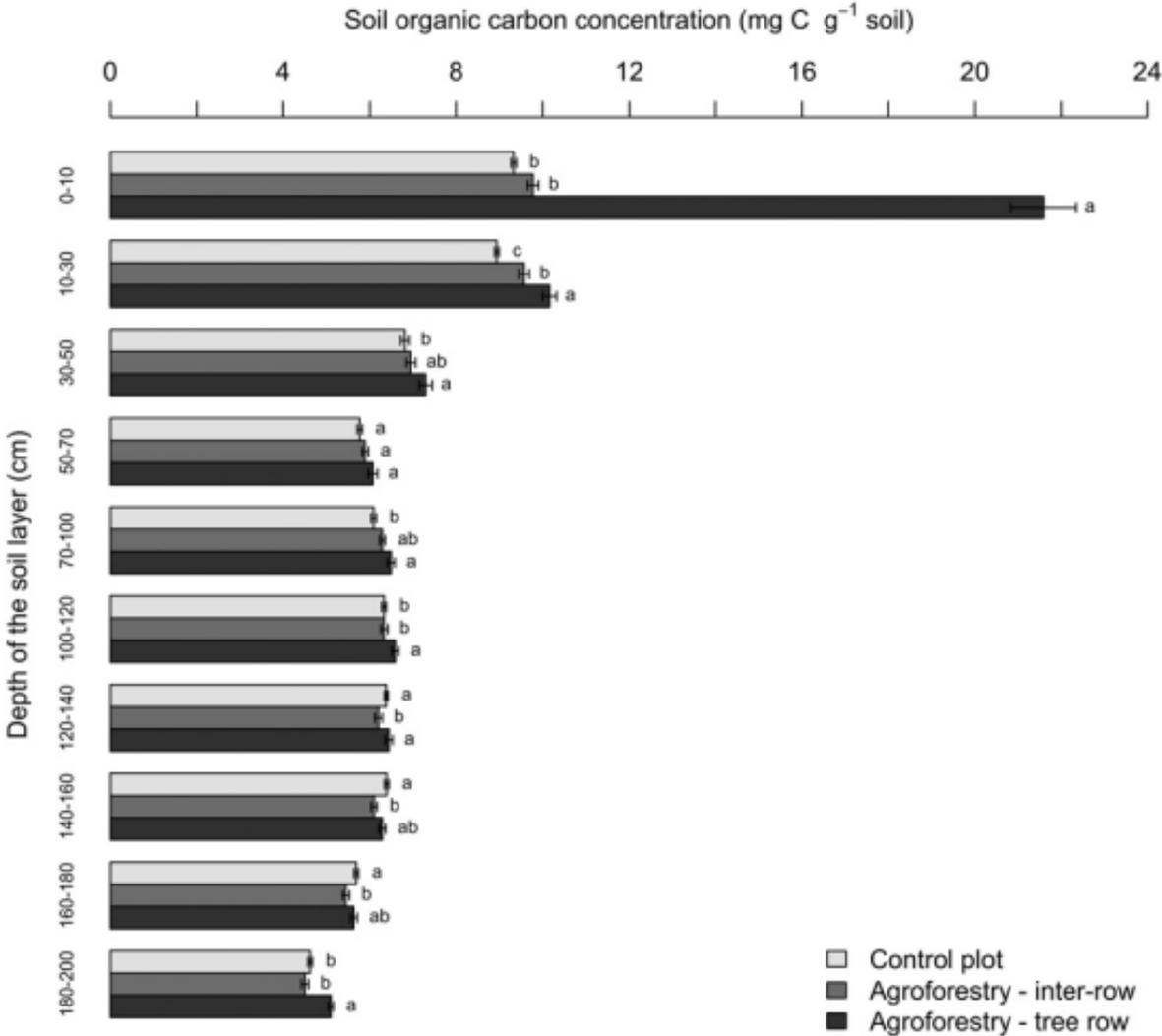
dessinera ainsi au détriment des arbres et des haies ainsi qu'au profit de grandes parcelles cultivées (COULON *et al.*, 2000).

Mais un peu plus tard, la technique de production qu'est l'agroforesterie sera reconnue grâce à la prise en considération de la notion d'écologie. Dans les années 80, l'agroforesterie « moderne » consistait en l'implantation d'une seule espèce d'arbre en lignes au milieu des cultures. Aux vues des conclusions des premières recherches effectuées en agroforesterie basé principalement sur la production, les efforts de recherche s'étaient amoindri car peu rentable. Aujourd'hui, ce système connaît un regain d'énergie porté par l'intérêt des agriculteurs, des politiques publiques avec l'ère de l'agroécologie et de la recherche qui expérimente différents systèmes agroforestiers (aménagements, morphologie de l'arbre...) qui proposent parfois de multiples avantages environnementaux et économiques. Les systèmes agroforestiers en place en France, et plus largement en Europe, incluent maintenant les bordures des parcelles (haies, arbres isolés).

Leur efficacité repose sur une grande diversité d'essences, de techniques, de types d'aménagement ou de tailles des arbres pour concilier production de biomasse et protection de l'environnement. La PAC 2014 a reconsidéré la place de l'arbre en agriculture en essayant de mettre en place une réglementation plus cohérente entre agriculture et utilisation de l'arbre dans le premier pilier comme dans le second (AFAF, 2014). L'agroforesterie moderne répondrait en effet aux contraintes économiques, environnementales et sociétales récentes que connaît l'agriculture. Pour de nombreux projets de développement dans le monde entier, l'agroforesterie est présentée comme l'un des moteurs de croissance durable (CGIAR, 2014 ; ALAADRAH, 2015 ; STANCHEVA *et al.*, 2006 ; Ministère de l'environnement du Burkina Faso, 2015 ; DIEMER *et al.*, 2015 ; RANDRIAMAMPITA, 2015).

En introduisant des arbres, l'agroécosystème se trouve complexifié par un jeu d'interactions aériennes et souterraines entre les diverses espèces et strates. Ces interactions entre arbres et cultures découlent d'une succession de phénomènes de compétitivité et de complémentarité. On parle de mécanisme de facilitation, dans un contexte où le choix et l'aménagement des arbres et cultures sont réfléchis pour un objectif agroforestier. Ces facilitations sont les bénéfiques que l'on peut tirer de la modification de l'environnement d'une plante par une autre (Dupraz et Liagre, 2011). Au niveau aérien, l'arbre modifie le rayonnement lumineux arrivée sur les cultures, propose un microclimat différent aux cultures en termes de température et

Figure 41: Concentration de carbone du sol en fonction de la profondeur et du système de culture (Cardinael et al., 2015)



d'hygrométrie et participe à la création d'un habitat de biodiversité. Au niveau souterrain, la présence d'arbres dans les cultures impose le partage de la ressource en eau et minéraux et contribue à l'apport de matière organique.

C'est en comprenant et maîtrisant ces interactions que l'on pourra en puiser un certain nombre de services. C'est donc tout l'enjeu pour l'agriculteur d'appréhender au mieux ces interactions de manière à les piloter et en tirer une meilleure stabilité et autonomie de l'agrosystème (en travail du sol, amendement, protection phytosanitaire).

Depuis les années 80, de nombreux projets de recherche ont vu le jour en agroforesterie notamment avec l'INRA dans le Languedoc-Roussillon en système grandes cultures – bois d'œuvre. En agroforesterie maraichère, il n'existe que peu voire pas de référence. On ne connaît donc pas bien les mécanismes de facilitation entre les arbres et les cultures légumières. La conséquente diversité des espèces légumières complexifie un peu plus la création d'indicateurs techniques. La recherche en agroforesterie a donc toute son importance. En agroforesterie maraichère, l'enjeu de la recherche est de comprendre ses interactions afin de pouvoir dégager des principes de fonctionnement viables pour répondre à la demande des agriculteurs.

2. Bénéfices de l'agroforesterie

a. Les bénéfices environnementaux

Adenle et al. (2015) ont montré que la recherche pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique est surtout réalisée dans les pays en voie de développement. Les trois axes de recherche principaux étudiés sont le travail du sol, les biotechnologies et les énergies renouvelables. Il s'avère que le système agroforestier s'implique totalement dans ces items de recherche. D'autre part, au niveau français et européen, l'agroforesterie est une solution mentionnée comme levier pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique (Pellerin et al., 2013).

L'atténuation du réchauffement climatique est basée sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la séquestration du carbone. Le rôle de l'arbre pour la diminution de CO₂ a beaucoup été étudié à travers le monde (Riedacker, 1997, Dupraz et Liagre, 2011, Palma et al., 2007). Les résultats très hétérogènes de par la multitude des systèmes agroforestiers étudiés et les méthodes de calcul utilisées (Ramachandran Nair et Nair, 2014) rendent complexe la quantification du réel potentiel de l'agroforesterie pour le stockage du carbone. Par exemple, Cardinael et

Figure 5: Schéma récapitulatif des flux d'eau (Bansept, 2013a)

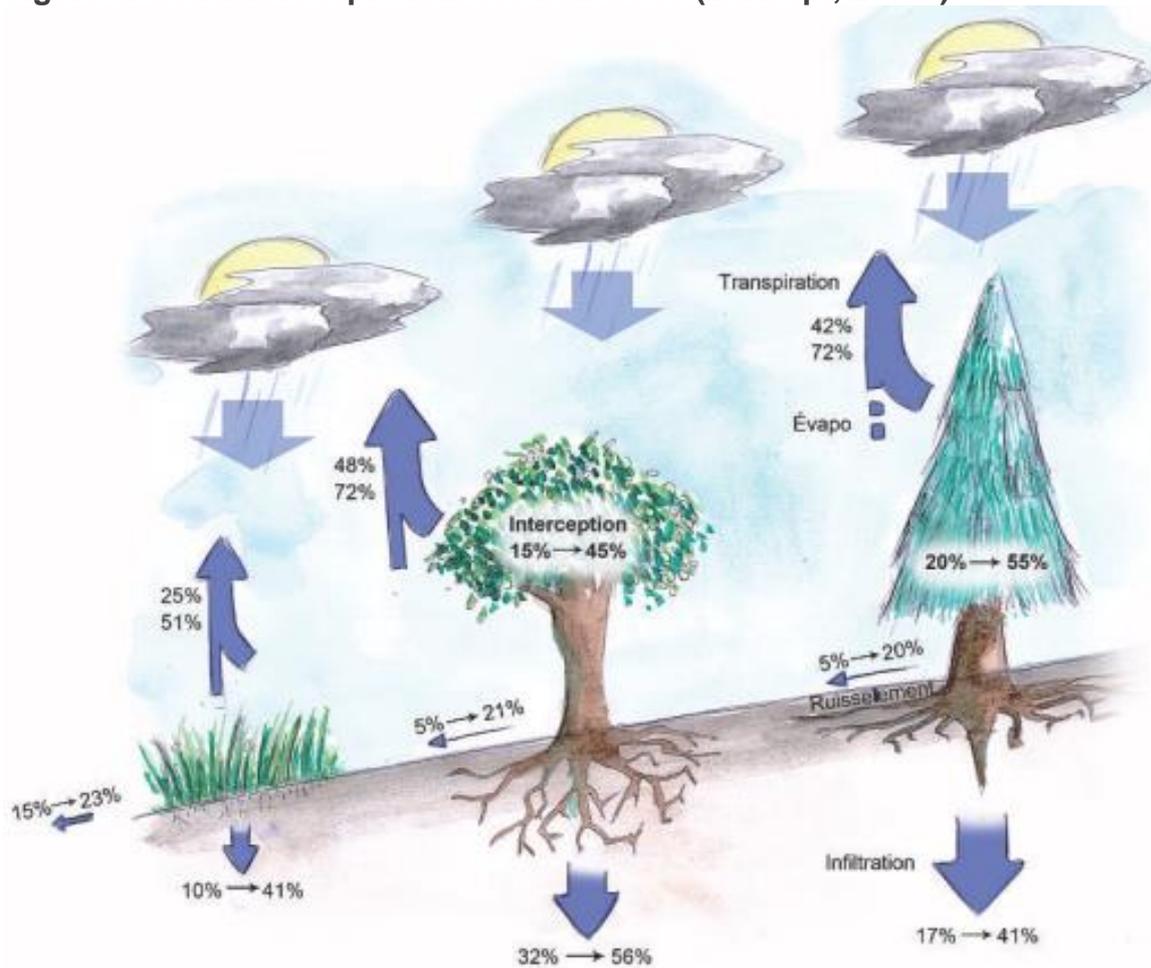
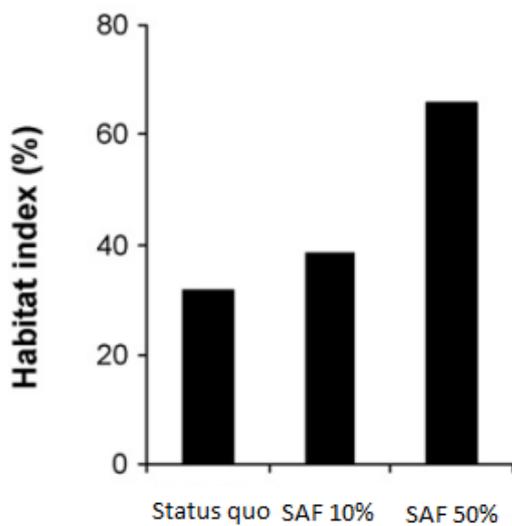


Figure 6: Estimation de la part d'habitat des insectes sur une exploitation agricole (Palma et al., 2007)



al (2015) ont observé sur une parcelle agroforestière (110 noyers hybrides/ha) dans l'Hérault un stockage supplémentaire par rapport à un témoin sans arbre de 272 (± 68) kg C/ha/an dans les trente premiers centimètres et de 352 (± 98) kg C/ha/an dans le premier mètre de profondeur. Même si la variabilité des résultats est élevée, ils obtiennent des résultats significativement différents de la parcelle témoin. Des différences ont été aussi relevées sur le stockage de carbone par rapport à la distance à l'arbre. Sur le rang d'arbres, les teneurs en carbone sont très élevées. Elles sont bien inférieures sur l'inter-rang mais encore significativement supérieures à la parcelle témoin (Figure 4 page précédente). Cependant, ces stocks sont composés principalement de carbone labile donc instable. Le stockage de carbone propice à limiter le réchauffement climatique demeure dans la biomasse des arbres, qui dans ce contexte, s'élève à 1,2 T de C/ha/an. L'utilisation des arbres au-dessus des cultures permet par ailleurs de s'adapter au changement climatique. Ils peuvent créer un microclimat propice aux cultures qui leur permet de tolérer les effets du changement climatique. Par exemple, ils peuvent faire offices de protection vis-à-vis des pics de rayonnements lumineux ou encore vis-à-vis des stress hydriques en diminuant l'évapotranspiration des cultures (Dupraz et Liagre, 2011, Bansept, 2013a, Bansept, 2013b). La figure 5 ci-contre expose plus précisément les flux d'eau en présence d'arbres.

Le rôle de l'arbre a été mis en évidence par Macary et Bordenave (2008) pour leur capacité à filtrer les nitrates et donc à amoindrir les pollutions des sols ainsi que des nappes phréatiques. Ce serait notamment dû à leur système racinaire de grande envergure (par rapport aux cultures traditionnelles) et leur cycle végétatif parfois décalé de celui des cultures (Coulon et al., 2000). La présence d'arbres participerait aussi à la lutte contre les inondations, la protection des vents ainsi que des intempéries (Mérot, 1976). La protection et la fertilité des sols serait assurée par la réduction de l'érosion et du ruissellement (Guillerme et al. 2009, Moreno et al., 2007, Palma et al., 2007). D'autre part, les arbres occultent une partie des précipitations ce qui réduit fortement les risques de battance lors de fortes pluies (Coulon et al., 2000). La quantité et la diversité des insectes peut se révéler plus importante en système agroforestier (Coulon et al., 2000). La figure 6 ci-contre montre un index d'habitat propice aux insectes, en France, de 30% en système ouvert (status quo), 40% sur les exploitations où l'agroforesterie est effectuée sur 10% des surfaces (SAF

10%) et plus de 60% d'index d'habitat sur les exploitations où l'agroforesterie est pratiquée sur la moitié des surfaces (SAF 50%) (Palma et al., 2007).

Encore une fois, il paraît important de rappeler que même si les arbres sont en mesure d'offrir les avantages cités, ils ont été observés dans un contexte en particulier et différent selon ce dernier. Les effets observés des arbres peuvent être contraires à ceux attendus (habitat ravageurs, ombrage excessif, compétition des ressources). Il est très difficile d'appréhender de façon précise les interactions environnementales.

b. Bénéfices économiques

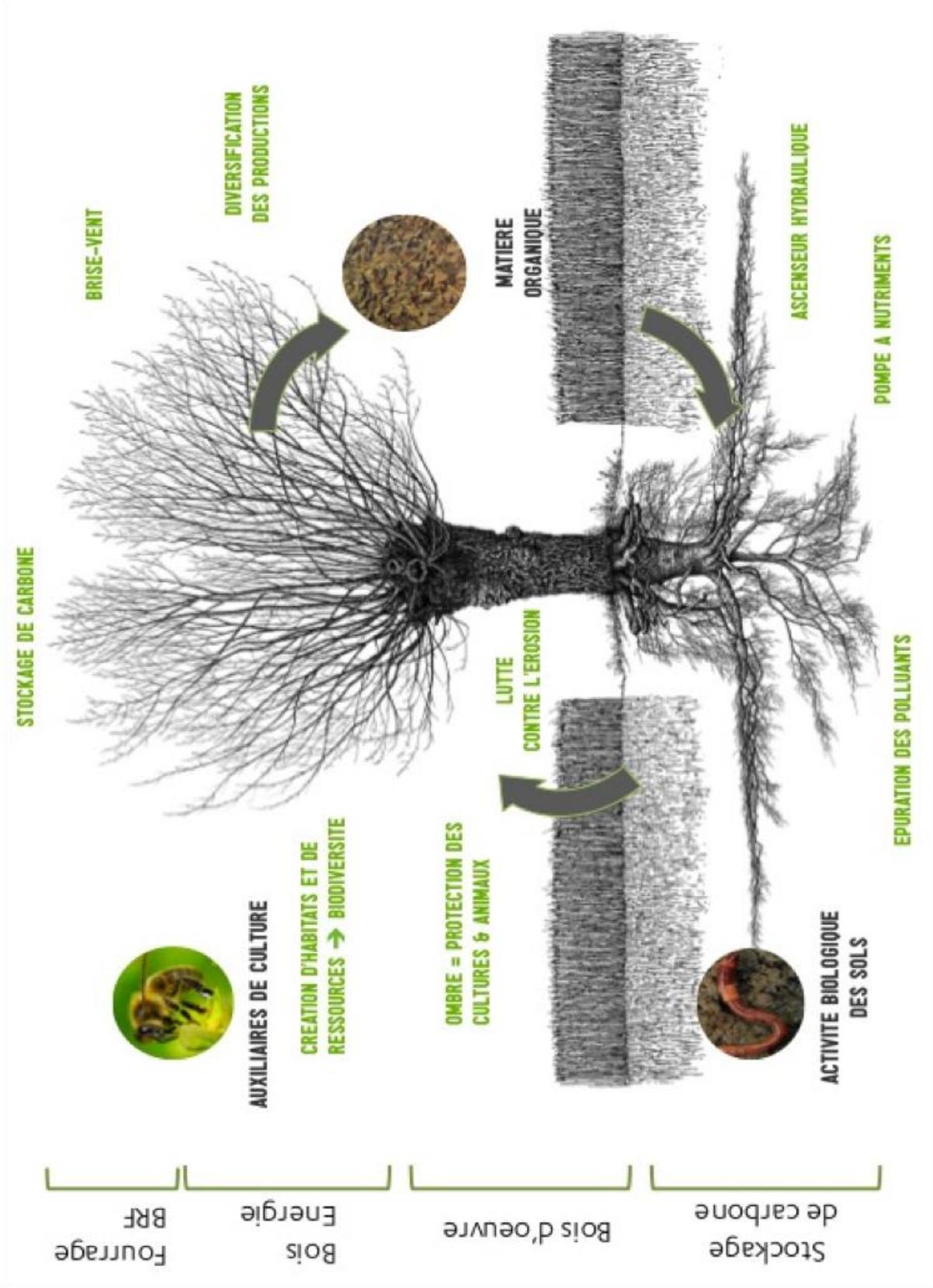
Le principal avantage économique de l'agroforesterie est la diversification des productions avec en supplément des cultures, la production de fruits, de bois (d'œuvre ou de chauffage) ou encore de BRF (Bois Raméal Fragmenté).

Les résultats de recherche ont montré que l'agroforesterie était un système à haut potentiel en climat tempéré (Coulon et al., 2000). Pour comparer la productivité des systèmes agroforestier et traditionnel, on utilise le coefficient de rendements équivalents (CRE) (Willey, 1979) ou la surface équivalente assolée (SEA) (Agroof, 2009). Ces coefficients sont calculés en faisant la somme des rendements de chaque culture en agroforesterie sur le rendement de ces mêmes cultures en système traditionnel. Si le coefficient obtenu est supérieur à 1, le système agroforestier apparaît plus productif que le système traditionnel où les cultures sont menées séparément les unes des autres.

Reynolds et al. (2007) observent en climat tempéré des rendements d'orge significativement supérieurs en système agroforestier par rapport au système de culture traditionnel. Le rendement étant une des composantes principales du revenu, l'intérêt économique est bien présent.

Le bénéfice économique réside aussi dans la diversité des revenus à courts et longs termes. On parle de revenu à double ou triple fins (Coulon et al., 2000). Selon Dupraz et Capillon (2005), la productivité globale des parcelles agroforestières est supérieure à l'assolement arbres et cultures séparés de 30% en biomasse et de 60% en produits vendus. Le système noyers/blé avec une densité de 80 arbres/ha présente une SEA de 1,2. La rentabilité économique est assurée grâce aux cultures annuelles à court terme et est consolidé par la constitution d'un capital de valeur, pour un objectif à long terme dans ce contexte. Cela pourrait aussi s'appliquer pour l'association des cultures avec des arbres fruitiers.

Figure 7: Schéma récapitulatif des bénéfices attendus de l'arbre en agroforesterie (www.agroforesterie.fr consulté le 22/03/2016)



La production de bois en agroforesterie serait largement facilitée. Tout d'abord, la croissance des arbres est accélérée par rapport au système forestier. Dupraz et al. (1999) ont montré un diamètre de l'arbre à 6 ans supérieur de 80% en agroforesterie. Aussi, les coûts d'investissement et d'entretien sont bien moindres. D'une part parce que le nombre d'arbres à la plantation est bien inférieur et d'autre part parce que l'activité agricole facilite le suivi et l'entretien des arbres. Pour finir, même si aucune donnée précise n'évalue la qualité du bois en agroforesterie, on peut tout de même faire l'hypothèse que la croissance régulière de l'arbre ainsi que la modification des propriétés mécaniques du bois engendrent une meilleure qualité de bois (Fournier, 2002).

Outre les avantages préalablement exposés que les arbres peuvent procurer, l'agroforesterie propose des solutions aux problématiques maraichères en particulier (Morel et Léger, 2015). L'agroforesterie maraichère est une solution à l'organisation de la diversité cultivée. L'objectif étant d'optimiser les temps de travail, ce système de culture, où les productions sont imbriquées spatialement et temporellement, propose une solution face à la complexité de la commercialisation hebdomadaire d'une gamme variée sous la contrainte d'aléas, en particulier climatiques.

c. Bénéfices territoriaux et socio-culturels

Tout d'abord, les arbres apportent un vrai confort de travail pour les maraichers de la zone méditerranéenne. L'ombre portée lors de la période estivale est fortement appréciée des producteurs (Morel et Léger, 2015, Dupraz et Liagre, 2011, entretiens avec les agriculteurs partenaires du projet).

L'arbre se voit accumuler de nouveaux usages (Guillerme et al., 2009). Même s'il reste un témoin clé des pratiques ancestrales des sociétés locales, il est aujourd'hui porteur d'innovation et participe à valoriser le métier d'agriculture auprès du grand public (Ambroise et al., 2001). En effet, l'arbre en agriculture rend les paysages ruraux originaux, attractifs et est porteur de symboles forts (identité paysagère) et favorable à l'image des agriculteurs (Fournier, 2002). L'intérêt culturel des arbres passe aussi par la mise en place de vergers conservatoires. L'arbre et la recherche participe clairement à la valorisation économique et écologique des espaces ruraux (Fournier, 2002).

La figure 7 ci-contre rassemble les principaux bénéfices de l'arbres en agroforesterie. En 1994, Terasson prédisait un rapprochement de la forêt et de l'agriculture.

Aux vues du nombre de projets agroforestier grandissant, le nombre de formations en augmentation, la réglementation, et la recherche qui tentent de mettre en avant le potentiel des arbres en agriculture, on pourrait aujourd'hui estimer que l'agroforesterie est un système de cultures viable. Il faut toutefois relativiser cet élan vers un système de culture telle que l'agroforesterie car même si de plus en plus d'agriculteurs y sont favorables, nous ne disposons que de peu de recul sur les effets à longs termes. En effet, un projet agroforestier est une décision à prendre pour une grande période et demande une anticipation importante tant sur les marchés que sur les réglementations. Cela affecte aussi le parcellaire de l'exploitation et peut modifier les besoins en équipement. Mais le plus primordial, c'est que faire de l'agroforesterie requiert un statut foncier stable jusqu'à la récolte des arbres. La solution le plus souvent envisagé par les agriculteurs pour diminuer les risques encourus par ce système est de le pratiquer sur une partie seulement de l'exploitation qui ne révolutionne pas toute l'organisation de travail et financière de la ferme (Dupraz et Capillon, 2005).

Aux vues de la multitude des effets positifs observés de l'arbre et à la complexité de les mettre en place selon les contextes, la recherche se doit de fournir des données agroforestières afin de faciliter la compréhension des interactions. Cela permettra de conseiller au mieux les agriculteurs d'aujourd'hui et de demain.

C. Les projets de recherches

1. Arbratatouille

Arbratatouille est un projet de recherche et développement en agroforesterie maraichère porté par Agrooof et réalisé en partenariat avec trois agriculteurs et l'INRA d'Avignon (UMR Ecodéveloppement et UR Plantes et Systèmes Horticoles). Ce projet a commencé en 2014 et pour une durée de trois ans. L'objectif du projet est d'améliorer les itinéraires techniques des systèmes maraichers en agroforesterie par l'étude des interactions arbres-cultures. Le projet se focalise particulièrement sur l'impact des arbres et du microclimat crée sur la croissance, le développement et les performances agronomiques des cultures légumières. La démarche est itérative et participative. Trois agriculteurs sont pleinement associés au projet en discutant chaque année des protocoles et des résultats, en accueillant les expérimentations sur leur ferme et en participant aux relevés.

Arbratatouille est décomposé en 5 axes :

- Action 0 : Diagnostic et conception des protocoles
- Action 1 : Compétition lumineuse et effet de l'environnement aérien
- Action 2 : Conditions d'alimentation et croissance des cultures
- Action 3 : Santé du système
- Action 4 : Communication et formation

L'étude proposée dans ce mémoire porte sur l'action 1 et 2 à propos des cultures de salades et tomates sous différentes approches agroforestières (essences, morphologie de l'arbre...) sous climat méditerranéen.

D'autres projets de recherche étudient l'impact des arbres en maraichage tel que le projet SMART porté par le GRAB et l'AFAP et soutenu financièrement par le ministère de l'agriculture dans lequel Agroof est partenaire. Ce programme a été mis en place pour répondre à une demande technique de jeunes agriculteurs, pour proposer des modèles agricoles adaptés à la problématique foncière de plus en plus importante, pour optimiser les interactions bénéfiques entre espèces cultivées et enfin pour améliorer la performance globale des maraichers.

Les objectifs se sont donc portés sur l'identification d'un réseau de fermes en agroforesterie maraichère, la mise en lien des agriculteurs pour stimuler l'échange, la meilleure compréhension des déterminants techniques et sur la caractérisation des performances techniques et des limites de ces systèmes agroforestiers.

Pour atteindre ses objectifs, les actions telles que la réalisation d'enquêtes en ligne, d'entretiens des agriculteurs concernés (15 exploitations maraichères dans le Sud-Est) ainsi que la mise en place de suivis de performances des cultures ont été instaurées pour trois ans de 2014 à 2016.

Le rôle d'Agroof au sein de ce projet est d'organiser une journée de formation par an dédiée aux agriculteurs, techniciens et conseillers, enseignants, étudiants et collectivités territoriales à propos des avancés en agroforesterie maraichère grâce en partie au projet SMART. Agroof participe aussi à la réalisation d'enquêtes, de suivi des cultures et à la création d'outils techniques (guide technique des systèmes agroforestiers associant maraichage et arboriculture).

Tableau 2: Ouverture de canopée en fonction de la taille des arbres avant et après débourrement des noyers en 2015 à Vézénobres (30)

% canopée	Avril	Juillet
Elagué (L)	72% \pm 3%	21% \pm 1%
Emondé (M)	77% \pm 4%	38% \pm 2%
Têtard (T)	84% \pm 4%	60% \pm 3%
Témoin (S)	100%	83% \pm 4%

2. L'état de l'art

a. Microclimat imposé par les arbres

Les arbres modifient les conditions microclimatiques et sont connus pour tamponner les extrêmes. L'étude de Morecroft et al. (1999) en Angleterre a montré des températures oscillant entre 0°C et 20°C durant l'année en milieu forestier. En été, la température diurne de l'air sous les arbres est 3°C inférieure à un milieu ouvert et en hiver, il n'y a pas de différence significative. En se permettant d'extrapoler ses tendances pour un système agroforestier, le microclimat imposé par les arbres seraient en mesure de garder une certaine fraîcheur durant l'été et de ne pas refroidir l'atmosphère pendant l'hiver.

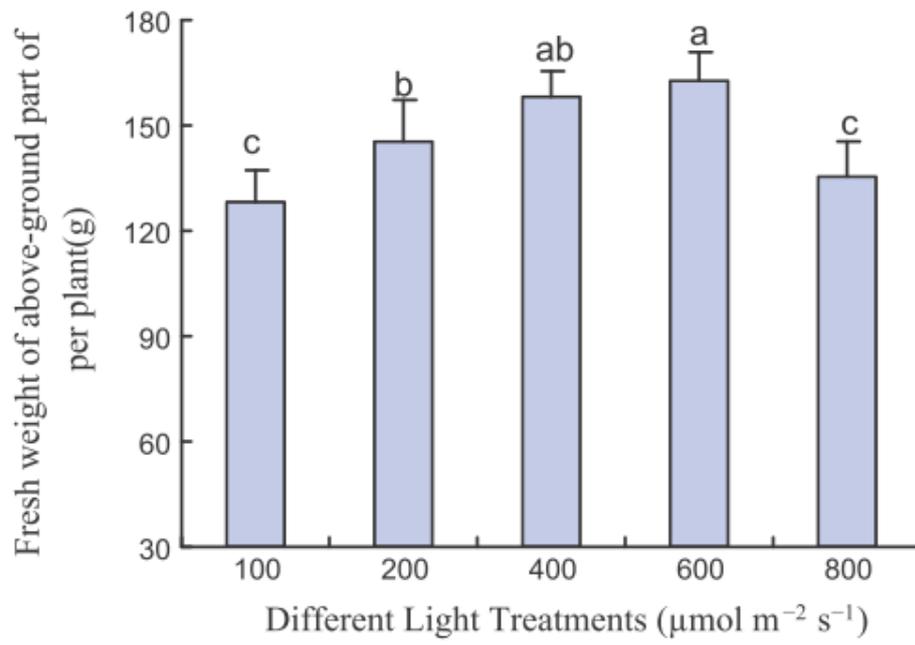
Pour ce qui est de la lumière disponible, cette même étude montre qu'il y a un pic de Photosynthetically Active Radiation (PAR) au printemps puis un second, moindre, à l'automne. La différence est significative entre les systèmes de productions mais aucune certitude ne peut être établie aux vues de la variabilité importante des résultats.

Les arbres ont un impact différent sur la compétition lumineuse en fonction de la densité de plantation, des essences, des variétés cultivées, de l'architecture des arbres et de l'orientation des rangs. Par exemple, d'après Reynolds et al. (2007), la distance optimale entre les rangs d'arbres pour privilégier à la fois la culture de maïs ou soja et la production de bois (*Juglans*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Acer* ou *Populus*) est à son optimum entre 15 et 20 mètres.

L'arbre peut faire office de brise-vent (Garofalo et Warnier, 1972, Marion, 1980). Dupraz et Liagre (2011) font référence à l'effet brise-vent des arbres en particulier en région méditerranéenne qui limite l'effet desséchant.

Les résultats du projet de recherche Arbratatouille ont montré en 2015 (Poissonneau, 2015) que la couverture arborée engendre des modifications microclimatiques significatives en termes de disponibilité en lumière, en température et en hygrométrie. L'ouverture de canopée est présentée tableau 2 ci-contre. Plus la taille des arbres est sévère, plus l'ouverture de canopée est élevée en avril et juillet. D'autre part, les écart-types évoquent une bonne homogénéité de la lumière au sein de chaque modalité ce qui signifie que la distance à l'arbre joue peu lorsqu'ils sont espacés de 10 mètres.

Figure 8: Poids spécifique des laitues en fonction de l'intensité lumineuse (Fu et al., 2012)



Un effet tampon a été observé pour la température et l'hygrométrie sur toutes les modalités agroforestières. La modalité la plus fermée (élaguée) a provoqué la plus importante réduction des pics hauts et bas de la température de 1,4°C d'avril à juillet. L'hygrométrie suit le même schéma avec 3,4% d'humidité relative de plus lors du pic bas le jour et de moins lors du pic haut la nuit.

b. Impact du microclimat imposé par les arbres sur les cultures légumières

A ce jour, il n'existe pas ou très peu de publication étudiant le comportement des cultures légumières en fonction du microclimat induit par le système agroforestier. Cependant, plusieurs études explorent les mécanismes de développement et de croissance des légumes sous environnement contrôlé ainsi que les conditions favorables au développement des désordres physiologiques et maladies fongiques.

Salade

Lorenz et Wiebe (1980) mettent en évidence le rôle significatif de la lumière, de la température ainsi que leur interaction sur la production de laitues. Ils ont observé que la matière sèche (MS) des feuilles de laitues était élevée quand la lumière est intense et que la température est faible. Aussi, la surface foliaire est importante quand la lumière et la température le sont aussi. Pour ce qui est de la vitesse de croissance, il y a interaction entre les deux facteurs. Les auteurs ont trouvé une vitesse de croissance élevée quand la température et la lumière sont élevées mais quand la lumière est faible, c'est à température intermédiaire (14°C) que la croissance est la plus forte.

On suppose donc un effet sur le rendement de la culture. L'impact des composantes climatiques sur le rendement a en effet été démontré au sein de nombreux projets de recherche. Les extrêmes de lumière (100 et 800 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) ne sont pas propices au poids spécifique des laitues. Les salades les plus lourdes sont conduites sous une lumière de 400 et plus encore à 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ comme le montre la figure 8, ce qui correspondrait à une intensité lumineuse naturelle intermédiaire (Fu et al., 2012). Pérez-Lopez et al. (2015) ont montré la même tendance sur laitues vertes mais n'ont pas observé de différence de rendement en fonction de la lumière pour les laitues de couleur rouge. A l'inverse, Kawasaki et al. (2015) ont montré un effet significatif de la lumière sur la teneur en matière sèche avec pour optimum 350 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Marrou et al. (2013) ont testé la conduite de laitues à 50% et 70% d'ombrage. Les rendements à l'ombre sont équivalents ou supérieurs aux cultures de salades en plein soleil. Les auteurs expliquent ce phénomène grâce à une meilleure efficacité

d'interception lumineuse. Elle est favorisée par une surface foliaire plus importante (nombre de feuilles plus faible mais hauteur et largeur des feuilles plus élevées).

Les ouvrages techniques dédiés à la production légumière s'accordent sur quelques références. Péron (2006) évoque une température optimale en jours longs de 20°C pour la culture de salades. Rey et al. (2015) mettent en avant que l'augmentation de la température favorise la montaison des salades et inhibe la pomaison.

Les résultats Arbratatouille 2015 n'ont pas montré de différence de précocité des salades selon le microclimat imposé par les arbres. La modalité la plus performante pour la culture de salades en 2015 est celle où les arbres sont taillés en têtard. Les rendements et poids spécifiques sont significativement supérieurs suivant têtard > Témoin = Emondé > Elagué avec peu de différence variétale. Cependant, les salades du témoin sont de meilleure qualité visuelle (Extra=0%, CatI=15%, CatII=30%) qu'en têtard (Extra=0%, CatI=0%, CatII=57%).

Tomate

De nombreuses publications mettent en avant le rôle de la température sur le développement de la plante, la fructification, le poids spécifique et les dégâts du fruit. Les températures optimales diurnes pour la culture de tomates sont de 25°C (Rivero et al, 2003, Péron, 2006) lors du développement de la plante et de 20°C pendant la fructification (Adams et al., 2001). Cette culture demande un thermopéridisme journalier de 10°C légèrement modulable selon les stades (Péron, 2006).

Rylski (1979) a montré que la croissance, le nombre de fleurs par plant et que le poids spécifique des fruits augmentaient avec la température à l'inverse de la fructification en accord avec Adams et al. (2001).

Hurd et Graves (1985) et Nieuwhof et al. (1997) ont mis en évidence une taille de plante plus faible ainsi qu'un nombre de feuille réduit avec l'abaissement de la température.

A l'inverse de Rylski (1979), Ercan et Vural (1994) observent une augmentation du nombre de fleurs avec l'abaissement de la température et principalement avec les températures nocturnes.

D'autre part, les dégâts observés sur les fruits sont globalement plus élevés à hautes températures (Rylski, 1979) et particulièrement pendant la période de maturation (Adams et al., 2001).

L'abaissement de la température provoque une moindre précocité en raison du ralentissement des dynamiques de création des grappes, de grossissement des fruits et de leur maturation (Van der Ploeg et Heuvelink, 2005).

Runkle et Heins (2002) ont montré que la croissance de la tige des plants de tomates variait en fonction de la disponibilité en lumière et particulièrement en rouge lointain. Sous conditions contrôlées, après un mois en environnement déficient en rouge lointain, la hauteur de la tige est 24% plus faible que les plants sous lumière naturelle.

Les résultats Arbratatouille 2015 ont montré une importante différence variétale dans le comportement de la culture selon le microclimat imposé par les arbres (Poissonneau, 2015). La Noire de Crimée se voit améliorer significativement son rendement en situation agroforestière alors que les rendements de Rose de Berne ne varient pas en fonction des modalités. La modalité Têtard offre pour la Noire de Crimée le poids spécifique le plus élevé alors que celui de la Rose de Berne n'est pas impacté. Le taux de déchets en plein soleil (témoin) a atteint plus de 70% pour la Noire de Crimée et 40% pour la Rose de Berne. Il diminue avec la fermeture du milieu pour atteindre en modalité très ombragée (élagué) 15% pour la Noire de Crimée et 9% pour la Rose de Berne. La capacité maximale de production augmente avec l'ouverture du milieu alors que le pourcentage de fructification augmente avec la fermeture du milieu pour les deux variétés. La longueur moyenne des entre-nœuds des deux variétés augmente avec la fermeture du milieu.

D. Méthodologie

1. Problématique

La production maraîchère est soumise à de nouveaux enjeux environnementaux, économiques et sociétaux. Dans le contexte méditerranéen, l'agroforesterie maraîchère serait une solution envisageable pour y faire face. De ce fait, il apparaît nécessaire de comprendre le comportement des légumes sous les arbres afin d'ajuster les itinéraires de cultures mis en place en système traditionnel pour des résultats de production légumière souhaité en agroforesterie.

Nous tenterons donc de répondre à la problématique suivante : **Quelle est l'influence des arbres, du microclimat créé, sur le développement, la croissance, l'état sanitaire et la performance agronomique des cultures de salades et tomates AB en système agroforestier ?**

2. Objectifs et hypothèses

Pour répondre à cette problématique, plusieurs axes d'études ont été traités :

Caractériser le microclimat créé par les arbres

Hypothèse 1 : La présence d'arbres crée des conditions d'ombrage, de température et d'hygrométrie différentes d'une parcelle ouverte. Cette différence varie selon le climat, l'essence, la taille et leur aménagement.

Hypothèse 2 : La présence d'arbre induit un effet tampon en réduisant les variations de température et d'hygrométrie.

Suivre le développement et la croissance des cultures légumières

Hypothèse 1 : Le niveau d'ouverture de canopée induit un décalage de maturité qui retarde la production.

Hypothèses 2 : Le système agroforestier engendre des modifications physiologiques. On s'attend notamment à observer avec le degré de fermeture de la canopée croissant, des laitues plus étalées ainsi que des pieds de tomates aux entrenœuds plus longs. On s'attend aussi à ce que la diminution de la température ralentisse le phénomène de montaison.

Evaluer l'état sanitaire des cultures légumières

Hypothèse 1 : Le système agroforestier impacte la qualité des légumes cultivés. On s'attend notamment à ce que les dégâts biologiques soient plus importants en agroforesterie en raison d'une activité accrue des limaces, principal ravageur.

Evaluer les performances agronomiques des cultures légumières

Hypothèse 1 : Le système agroforestier modifie les rendements des cultures légumières. On prévoit que le rendement des laitues s'accroît avec la fermeture du milieu jusqu'à un optimum.

3. Démarche

La démarche de cette expérimentation est menée sous une approche système, choisie par le fait que l'on veuille étudier les interactions entre arbres et cultures. En effet, l'étude d'interactions se traduit par une analyse factorielle comparative et corrélative. D'autre part, l'aspect participatif de l'étude implique un travail en collaboration étroite avec les partenaires du projet, les maraichers. L'étude s'est donc déroulée de la manière suivante :

- Caractérisation des sites expérimentaux : contexte pédoclimatique, pratiques culturales, aspect organisationnel, degré d'implication des maraîchers dans le projet
- Définition des cultures étudiées et variétés associées
- Définition des indicateurs adaptés
- Développement des dispositifs et protocoles expérimentaux
- Mise en place des outils d'échanges et d'acquisition de données
- Comparaison des systèmes
- Etude des corrélations possibles
- Discussion des résultats
- Recherches de voies d'améliorations

Figure 9: Confrontation des précipitations et ETP moyennes mensuelles sur les trente dernières années mesurées à la station météo de Nîmes (30) par Météo-France

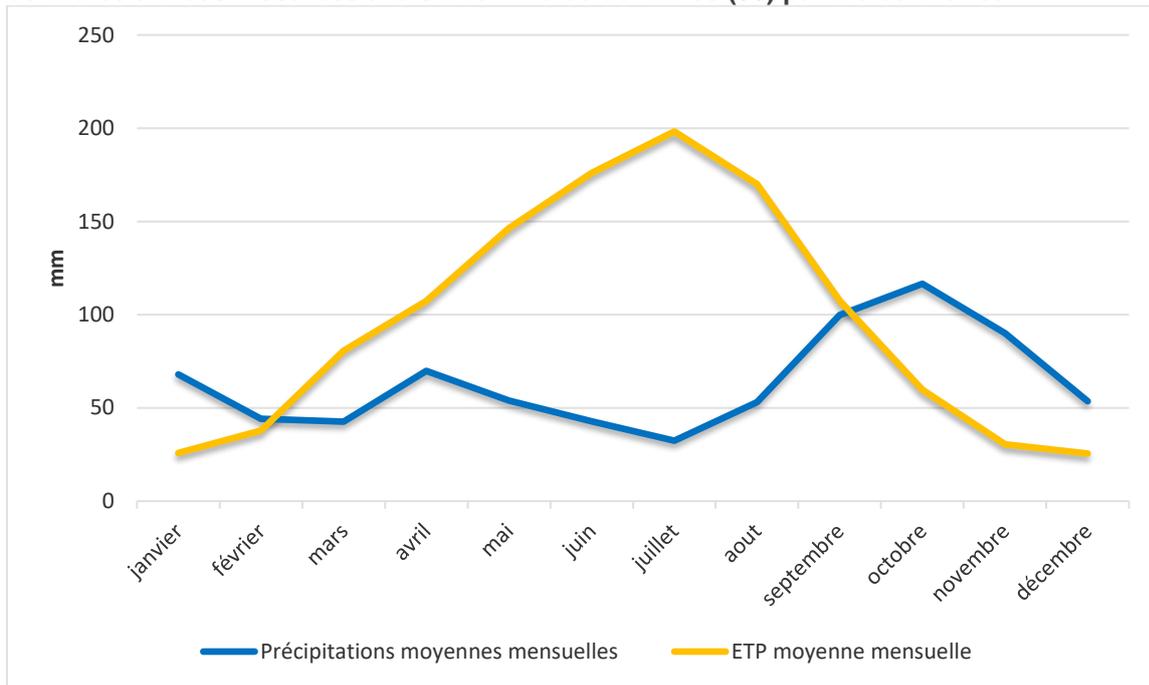
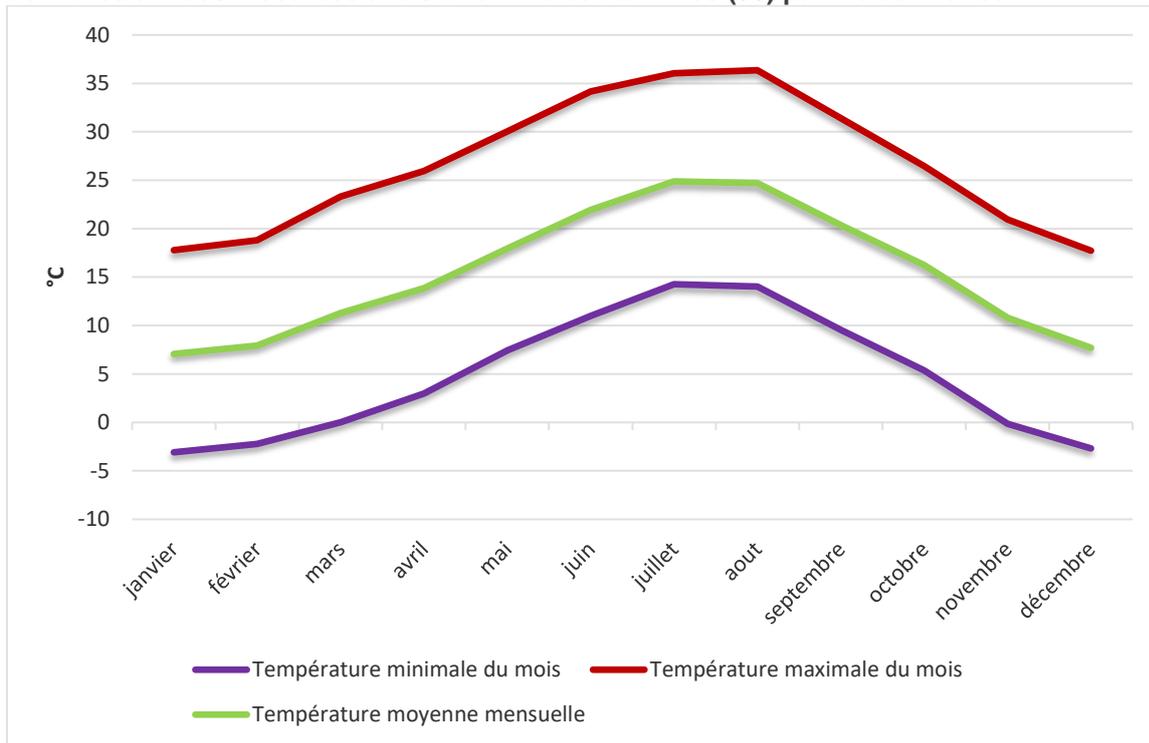


Figure 10: Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles sur les trente dernières années mesurées à la station météo de Nîmes (30) par Météo-France



II/ Matériel et méthode

A. Les sites expérimentaux

1. Les Terres de Roumassouze (Site pilote)

Les Terres de Roumassouze sont situées à Vézénobres dans le Gard (30). Ce site expérimental est localisé 44° 2'50.43"N – 4° 8'5.4244E à 84 m d'altitude. Cette exploitation est conduite en agriculture biologique par Denis et Virginie Florès.

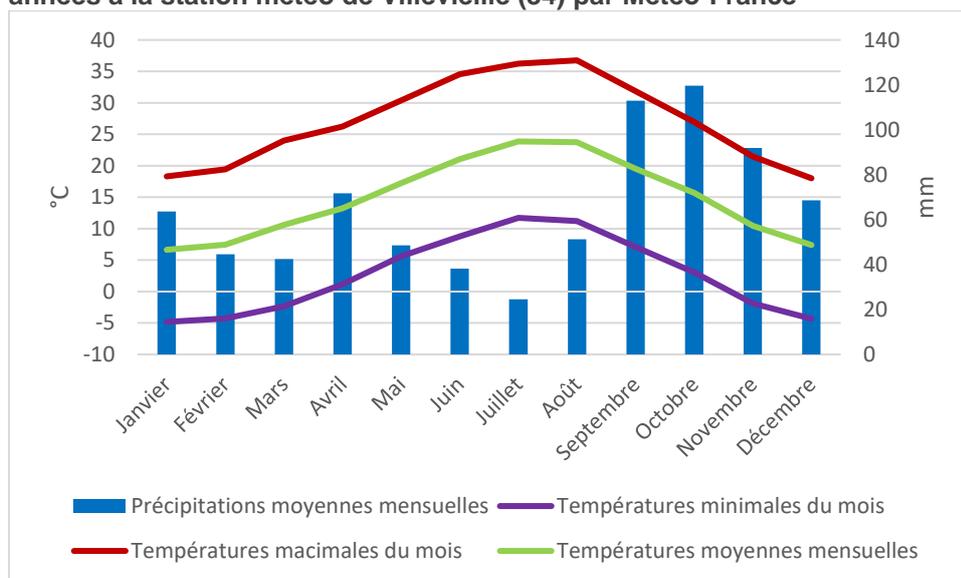
Le climat est caractérisé de tempéré chaud. Les graphiques 9 et 10 ci-contre présentent la pluviométrie moyenne mensuelle confrontée à l'ETP moyenne mensuelle et les températures moyennes, minimales et maximales. Ces moyennes sont basées sur les données météorologiques de la station de Nîmes (30) des trente dernières années. Cet état des lieux climatique, notamment figure 9, informe sur l'importance de la gestion de l'eau et particulièrement sur la période estivale aux vues de l'ETP bien plus élevée que les précipitations (e. g. : en moyenne 5 fois plus élevée en juillet).

La texture du sol est sablo-limoneuse et ne présente pas de risque de battance. Les sols sont de type alcalin avec un pH KCl de 7,1. La teneur en matière organique du sol est de 2,3% avec un rapport C/N de 12. Autrement dit, le pH est un peu élevé et ne permet pas une assimilation optimale des minéraux par la plante. D'autres parts, la quantité de matière organique est faible par rapport à sa vitesse de dégradation. Le rapport C/N de 12 indique une dégradation de la MO lente dans la mesure où la quantité de carbone est bien supérieure à celle d'azote. Cela pourrait entraîner des risques de faim d'azote.

Les parcelles agroforestières des Terres de Roumassouze date de 1996. Les noyers hybrides (*Juglans x intermedia*) ont été plantés 10m par 10m par l'INRA - UMR System de Montpellier. Les expérimentations d'association de cultures (céréales/arbres objectif bois d'œuvre) ont duré quinze ans sur une association peupliers et grandes cultures. Depuis, ces terres ont été reprises par Denis et Virginie Florès en 2010. Après un réagencement de la ferme (arrachage d'arbres, plantation d'autres essences fruitières notamment et de haies), ces deux passionnés continuent d'entretenir l'harmonie entre arbres et cultures.

La surface de l'exploitation est de 11 ha. L'assolement se compose de 2 ha de légumes, d'un arboretum avec de multiples essences de 4 ha, de 2,50 ha de cultures céréalières, de 2 ha de fruitiers et de 0,5 ha de haies et chemins.

Figure 11: Précipitations et températures moyennes mensuelles sur les trente dernières années à la station météo de Villevielle (34) par Météo-France



L'organisation du travail est synchronisée avec les saisons. Les deux producteurs se font aider de quelques stagiaires durant l'année mais essaient d'être indépendants au maximum. C'est un de leur choix stratégiques. Le recours aux fournisseurs est donc aussi très réduit. Les différents partenaires sont limités aux semenciers, à la coopérative agricole pour le petit matériel et à Motoculture cévenole pour l'entretien des outils. Agroof est cela dit un partenaire important dans le suivi technique et scientifique des cultures. Leur système de commercialisation est tourné autour de la vente directe en magasin de producteurs (60%), de la cueillette à la ferme (30%) et à destination de restaurants (10%).

Leurs objectifs principaux sont de pouvoir vivre de leur activité tout en gardant les mêmes surfaces de production, d'être le plus possible autonomes, de fidéliser leur clientèle, de transmettre leurs savoir-faire par l'accueil de groupes d'étudiants et de libérer du temps pour d'autres activités loisirs.

La place de l'arbre dans le fonctionnement de la ferme est essentielle. Aujourd'hui, Denis et Virginie Florès n'imaginent plus produire leurs légumes sans arbres. L'intérêt qu'ils y trouvent autant sur l'aspect agronomique que paysagé leur apporte un confort de travail dont ils ne se passeraient plus. Leur souhait d'améliorer leur système engendre une implication importante au sein du projet Arbratatouille. Le site ainsi que Denis et Virginie Florès permettent à Agroof de mettre en place une expérimentation unique en France.

2. Le Bouldou (Site satellite)

La ferme du Bouldou est à Cazilhac dans le département de l'Hérault (34). Elle est localisée à 144 mètres d'altitude, de latitude 43°55'10.327"N et de longitude 3°42'28.597"E. Le Bouldou est dirigé par Sonia Guérin et est conduit en agriculture biologique.

Le climat est caractérisé de tempéré chaud. Le graphique 11 ci-contre présente la température moyenne, minimales et maximales mensuelles ainsi que la pluviométrie moyenne mensuelle. Ces moyennes sont basées sur les données météorologiques de la station de Villevieille (34) des trente dernières années.

Les sols du Bouldou sont limono-argilo-sableux et ne présentent pas de battance. Le pH atteint 7,7. Le taux de matière organique est de 6,3% et son rapport C/N de 11,6. L'interprétation de ces données caractérise un sol où le taux de MO est trop élevé et où la dégradation de la matière est, d'autant plus, très lente. Ce phénomène est particulièrement observé sur la parcelle témoin où le taux de MO dépasse 7% et le

C/N dépasse 12. Cela traduit probablement un manque important d'activité microbienne et pourrait amener au blocage du sol. Le pH élevé est un autre critère qui n'aide pas à la minéralisation de la MO. En effet, il est un point supérieur au pH optimal.

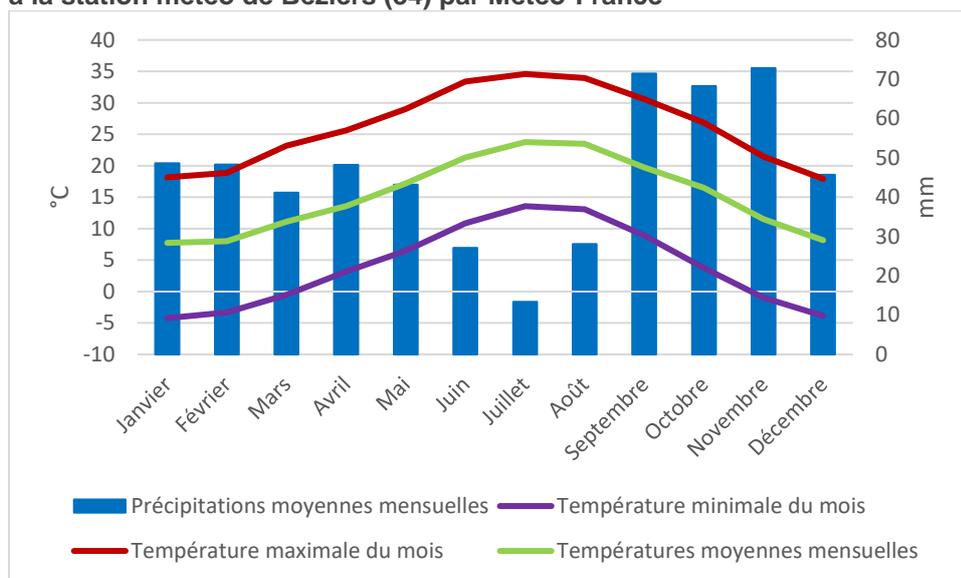
L'exploitation de Sonia est séparée en trois sections bien distinctes sur 1,25ha. Une zone de forêt fruitière (35 ares), une zone de maraichage en système ouvert (40 ares) et une zone d'agroforesterie maraichère (40 ares). Cette dernière fût un espace forestier avant l'installation de Sonia Guérin en 2010. Après remodelage de ce secteur, elle réussit aujourd'hui à concilier légumes, vigne, arbres fruitiers et autres essences d'arbres. La particularité de la production légumière du Boulidou réside dans la disposition des cultures. En effet, les différentes strates de cultures sont localisées sur le même rang. Les arbres et arbrisseaux sont très diversifiés. On y trouve pommiers (*Malus domestica* L.), figuiers (*Ficus carica* L.), abricotiers (*Prunus armeniaca* L.), pêchers (*Prunus persica* L.), pruniers (*Prunus domestica* L.), cerisiers (*Cerasus* sp.), asiminiers (*Asimila triloba* L.), vignes (*Vitis* sp.), kiwis (*Actinidia chinensis*), kiwaï (*Actinidia arguta*), cassissiers (*Ribes nigrum*) et framboisiers (*Rubus idaeus*).

La main d'œuvre familiale, l'aide de stagiaires et woofers prend une place importante dans l'organisation du travail. La commercialisation des légumes privilégie la vente à la ferme (60%), vient ensuite l'approvisionnement de biocoops (40%). Les fournisseurs du Boulidou sont multiples. Ils regroupent les semenciers, les fournisseurs de plants, de fumier, de paille, de terreau, de compost... Agroof, la chambre d'agriculture de l'Hérault et le CER assurent le suivi/conseil technique et économique.

Les finalités de Sonia Guérin sont d'assurer la rentabilité économique de l'exploitation, d'optimiser certaines techniques comme le désherbage et de pouvoir se libérer plus de temps.

Sonia Guérin ainsi que son mari ont une sensibilité toute particulière pour la permaculture. De ce fait, le système agroforestier est totalement en adéquation avec leurs convictions professionnelles. Les arbres sont au cœur de leurs pratiques agricoles. La charge de travail supplémentaire imposée par le suivi des cultures Arbratatouille est adaptée chez Sonia. Les notations de certaines cultures sont allégées.

Figure 12: Précipitations et températures moyennes mensuelles sur les vingt dernières années à la station météo de Béziers (34) par Météo-France



3. Le Jardin d'Odile (Site satellite)

Le jardin d'Odile se situe à Marseillan dans l'Hérault (34). Ses coordonnées géographiques sont 43°22'22.805N – 3°30'56.926" à 8m d'altitude. Odile Sarrazin est à la tête de cette exploitation.

Le climat est caractérisé de tempéré chaud. Le graphique 12 ci-contre présente la température moyenne, maximale et minimale mensuelles ainsi que la pluviométrie moyenne. Ces données météorologiques proviennent de la station de Béziers sur les vingt dernières années.

Le sol du Jardin d'Odile est de texture sablo-argileuse et ne présente aucun signe de battance. Le pH KCl de 7,6 détermine un sol alcalin. Le taux de matière organique s'élève à 2,25% et le rapport C/N de 10,1 montre que l'activité de dégradation de MO est bon. De fait, même si le taux de MO est perfectible, sa vitesse de dégradation est bonne. Cela confère une activité microbienne plutôt bonne et surtout, stable.

Odile Sarrazin s'est installée en 2010 sur 1,4ha en système agroforestier maraîcher. Les arbres en association avec les cultures légumières sont des oliviers (*Olea europaea*) plantés 6m par 6m. Elle travaille seule toute l'année et lors des récoltes d'olives, elle peut compter sur une main d'œuvre bénévole. Ses légumes sont vendus sous la forme de paniers principalement. Les surplus de production sont destinés au biocoops et restaurants. Ses fournisseurs sont très peu nombreux (semencier, fournisseur de fertilisants).

Ses objectifs sont d'assurer la rentabilité de son activité, d'améliorer ses itinéraires techniques de cultures et de développer des activités sociales et collectives autour de son exploitation.

Odile Sarrazin est très attachée à ses oliviers de par le cadre de travail qu'ils lui procurent. Le choix des cultures étudiées chez Odile a été restreint dans une logique d'adaptation à ses choix stratégiques.

B. Le matériel végétal

Le matériel végétal a été harmonisé sur les trois sites expérimentaux du mieux que possible en accord avec les choix des agriculteurs. De ce fait, dans certains cas, les variétés utilisées ne sont pas les mêmes pour les trois sites. Ce facteur sera bien entendu pris en compte dans l'analyse des résultats. Toutes les variétés étudiées sont des variétés populations. Leur caractère d'hétérogénéité a donc été pris en compte dans la conception des protocoles expérimentaux notamment dans l'échantillonnage.

Quatre cultures maraîchères ont été sélectionnées afin de balayer les différents types de légumes (feuille, fruit, racine) et échelles de production (pomme de terre : légume d'industrie). Seules les cultures de salades et tomates seront étudiées dans ce mémoire. Les variétés de salades (*Lactuca sativa* L.) étudiées sur les Terres de Roumassouze et au Boulidou sont la Blonde maraîchère, laitue pommée, et la Biscia rossa, laitue à couper. Les annexes 1 et 2 présentent les caractéristiques de ces deux variétés. Au Jardin d'Odile, les deux variétés de salade étudiées sont la Cressonnette marocaine et la Red ball, deux laitues à couper.

Les deux variétés de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) étudiées sont des variétés anciennes. Il s'agit de la Noire de Crimée et de la Rose de Berne. Leur fiche descriptive sont présentées en annexes 3 et 4.

C. Les itinéraires de cultures

L'expérimentation Arbratatouille a fait le choix de ne pas harmoniser les itinéraires des cultures ciblées sur les différents sites de production, d'où l'approche système. En effet, il paraît important d'évaluer les cultures légumières dans les conditions les plus proches de la réalité de terrain, c'est-à-dire au plus près des pratiques agricoles des maraichers. Les itinéraires de culture sur les Terres de Roumassouze sont en annexe 5 et 6, celui du Boulidou en annexe 7 et celui du Jardin d'Odile en annexe 8.

D. Le dispositif expérimental général des exploitations

1. Les terres de Roumassouze

Le dispositif général du site des Terres de Roumassouze est présenté page ci-contre figure 13. Il permet de visualiser comment sont agencées les différentes modalités. Ces dernières sont caractérisées, tout d'abord par la présence de noyers ou non. Il y a trois modalités agroforestières et une modalité témoin sans arbre. Ensuite, le mode de taille des arbres différencie les modalités agroforestières. La modalité « élagué » correspond à la partie de la parcelle où les arbres sont élagués pour l'obtention d'une bille de bois d'œuvre. Il s'agit de la modalité où la compétition pour la lumière sera plus forte. Les arbres de la modalité « émondé » ont fait l'objet d'une taille jusqu'à six mètres de haut afin de réduire le houppier à quatre mètres de diamètre, soit deux à trois fois moins que la modalité « élagué ». La lumière qui passe entre ces arbres est considérée intermédiaire dans notre dispositif. Enfin, la modalité « têtard » est traduite par des arbres fortement taillés. Ils ont été rabattus complètement autour des

principales charpentières. Cette modalité est propice à laisser passer plus de lumière que dans les autres. L'annexe 9 image les différentes tailles décrites.

La culture de pomme de terre entre chaque modalité fait office de culture intercalaire (dans l'espace) pour encadrer de façon homogène les cultures de salades, carottes et tomates et d'appréhender au mieux les effets bordures.

2. La Ferme du Bouldou

Le dispositif général de la ferme est exposé en annexe 10. La ferme est composée de deux zones de production légumière. Une première qualifiée d'agroforestière avec une diversité d'arbres fruitiers éparses puis une seconde avec de jeunes arbres, plus ouverte, que l'on considérera comme témoin.

3. Le Jardin d'Odile

L'annexe 11 décrit le dispositif expérimental général du Jardin d'Odile. Ce site expérimental ne dispose pas de parcelle témoin. Nous considérerons alors seulement un gradient d'éloignement aux rangs d'arbres.

E. Les dispositifs et protocoles expérimentaux

Les dispositifs et protocoles expérimentaux seront le support de caractérisation du microclimat et du comportement des cultures en fonction des modalités.

1. Le microclimat

a. La température et l'hygrométrie

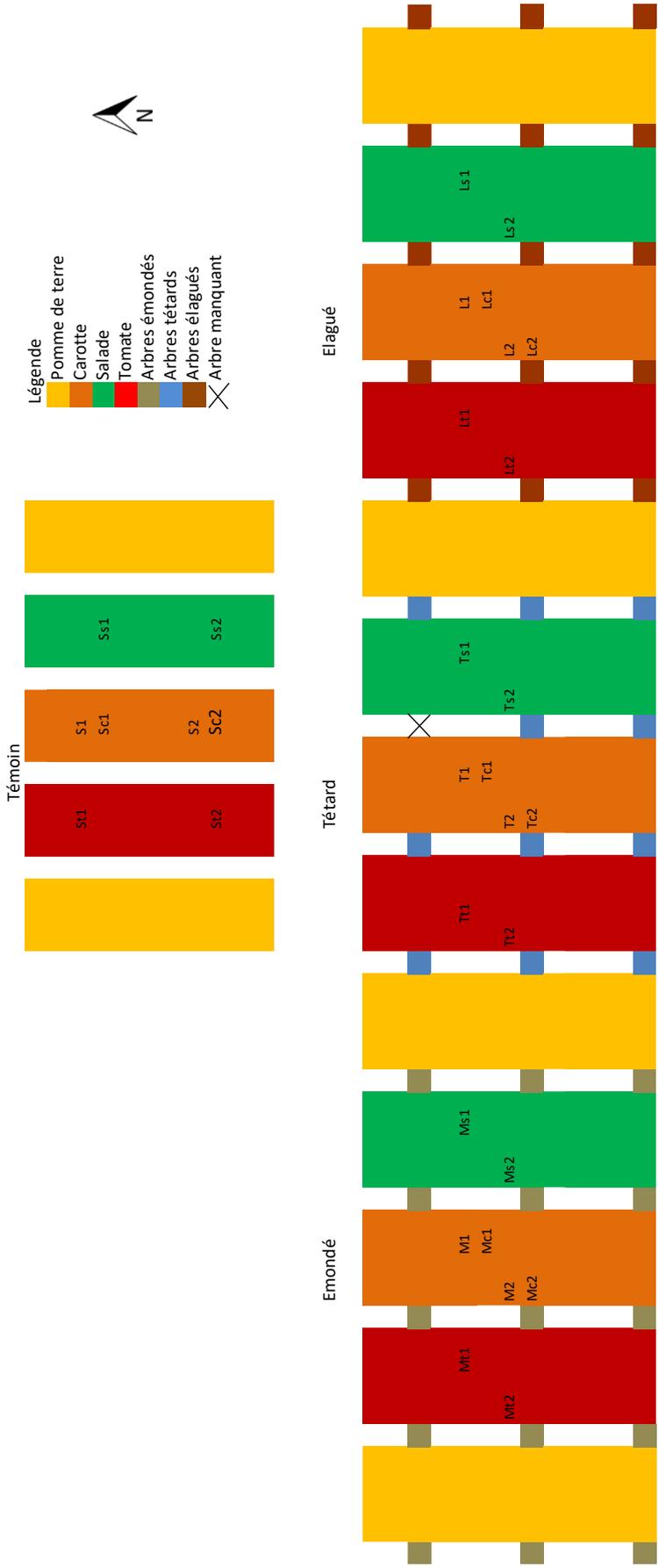
Les Terres de Roumassouze

Pour caractériser le microclimat général de chaque modalité, deux sondes T°/H° sont placées à deux mètres de haut, une au milieu de la parcelle et une, sous un arbre, orientée au nord de celui-ci. Le but est de faire la moyenne des extremums supposés. Pour le témoin, deux sondes sont placées au milieu de la parcelle à deux mètres de haut.

Afin de déterminer la température et l'hygrométrie apportées réellement aux cultures et d'étudier leur influence possible sur le microclimat, deux sondes à hauteur de culture (20 cm pour salades et carottes et 1 m pour les tomates) sont disposées au milieu de la planche et sous un arbre côté nord. Sur la parcelle témoin, les sondes au niveau des cultures sont disposées au milieu de la planche de culture avec une répétition.

Toutes les sondes enregistrent la température et l'hygrométrie (sauf celles au-dessus de la culture de carotte, seulement température) en continue tout au long du cycle de chaque culture toutes les dix minutes.

Figure 14: Dispositif microclimat des Terres de Roumassouze



On a donc un total de 32 sondes Voltcraft et iButton sur le dispositif (Figure 14):

- 8 sondes par modalité (L, M, T, S)
 - o 2 T°/H° à 2 mètres (1 et 2)
 - o 2 T°/H° à 1 mètre dans les tomates (t1 et t2)
 - o 2 T°/H° à 20 cm dans les salades (s1 et s2)
 - o 2 T° à 20 cm dans les carottes (c1 et c2)

La Ferme du Boulidou

Dans la même démarche que sur le site pilote, le microclimat sur le Ferme du Boulidou est caractériser sur les deux modalités sur les buttes 11 (ouvert) et 25 (agroforesterie). Les mesures se réalisent grâce à 4 sondes iButton sur le dispositif :

- 2 sondes par modalité (O et F)
 - o 1 T°/H° à 2 mètres au-dessus des tomates (1 et 2)
 - o 1 T°/H° à 1 mètre dans les tomates (1 et 2)

Le dispositif expérimental est présenté en annexe 12.

Le Jardin d'Odile

Deux sondes iButton mesurent le microclimat à 1 mètre de haut sous un arbre au nord et au milieu de la planche sur le dispositif. Celui-ci est consultable en annexe 13.

b. L'indice d'ouverture de canopée

Les Terres de Roumassouze

Elle est capturée à trois moments de l'année avec un appareil photo équipé d'un objectif hémisphérique d'un angle de 180° :

- Mi-avril : avant débourrement
- Fin juin : feuillage à son maximum
- Début octobre : sénescence des feuilles

Les photographies ont été prises à 12 localisations de chaque modalité afin d'obtenir un indice d'ouverture de canopée moyenne. Les photographies sont ensuite ajustées sous le logiciel LightRoom puis traitées grâce au logiciel Gap Light Analyser qui permet de calculer l'ouverture de canopée. L'annexe14 présente le dispositif expérimental.

Les sites satellites

Dans le même objectif, 12 photos hémisphériques ont été prises sur chaque modalité sur la Ferme du Boulidou et 5 par modalités sur le Jardin d'Odile. Les dispositifs expérimentaux sont présentés en annexe15 et 16.

Tableau 3: Stades phénologiques à répertoire pour mesurer le développement des salades

Stade phénologique	Description
SP2F	2 feuilles vraies étalées
SP5F	5 feuilles vraies étalées
SP7F	7 feuilles vraies étalées
SP9F	9 feuilles vraies étalées
SP30%	30% du volume foliaire final
SP50%	50% du volume foliaire final
SP70%	70% du volume foliaire final
SP90%	90% du volume foliaire final
SPF	100% du volume foliaire final

2. Le comportement des cultures légumières

La démarche suivie pour l'étude du comportement des cultures de salades et tomates peut se résumer en deux approches complémentaires : Un suivi hebdomadaire a permis d'étudier le stade phénologique, la croissance et l'état sanitaire des cultures. L'évaluation à la récolte de la culture a permis d'étudier le rendement et la qualité commerciale de la culture de salades, deux critères déterminants la performance agronomique de la culture.

a. Le cas de la salade

Le développement : stade phénologique

La phénologie de la plante c'est-à-dire son degré de maturité en fonction du temps a été relevée hebdomadairement. Plusieurs stades clés ont été choisis (Tableau 3) sur la base de l'échelle BBCH *Légumes feuilles formant des pommes* et *Légumes feuilles ne formant pas de pommes* (FELLER et al, 1995a). La salade est un légume dont seule la partie aérienne est récoltée lorsque celle-ci atteint son volume maximal. Pour traduire une évolution phénologique sur le simple développement des feuilles, deux critères sont utilisés successivement :

- Nombre de feuilles vraies étalée : feuille non-enroulée et ayant atteint sa posture finale
- Pourcentage estimant le volume foliaire réel par rapport au volume foliaire attendu. Ce critère simplifie la notation du nombre de feuilles étalées qui devient trop chronophage après la neuvième feuille vraie étalée.

La notation consiste à répertorier le stade que la laitue a ou dépasse.

La croissance

La croissance a été évaluée en mesurant l'évolution des dimensions des organes foliaires de la salade. La rosette a semblé être l'organe le plus facilement mesurable sur une salade. LITRE-ROBIN (1855) décrit une rosette comme une disposition de feuilles nombreuses et étalées, arrangées en cercle et toutes issues du collet de la salade.

L'hétérogénéité due aux semences populations et à la variété modifie constamment le port de la rosette d'un individu à l'autre. La variété Blonde maraichère est une laitue romaine (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) avec un morphotype oblongue, tandis que la variété Bissia rossa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) est une salade à couper de morphotype en demi-sphère. C'est pourquoi, le suivi de la croissance se décompose en deux indicateurs, le diamètre et la hauteur de la rosette.

Le diamètre de la rosette

A l'aide d'un mètre, lorsque la rosette est hétérogène et peu développée, une première mesure a été réalisée bords à bords de la paire la plus longue de feuilles qui se font face et une seconde sur la deuxième paire de feuilles la plus longue. Ces deux mesures ont ensuite été moyennées. Cette précaution est nécessaire pour se prévenir des valeurs non représentatives de la rosette. Lorsque la rosette est homogène au vu de la précision attendue (0,5 cm), une seule mesure est acceptable.

La hauteur de la rosette

Avec un mètre, lorsque la rosette est hétérogène et peu développée, une première mesure a été effectuée du collet jusqu'au bord de la feuille la plus haute, et une seconde sur la deuxième feuille la plus haute. Ces deux mesures ont ensuite été moyennées. Cette précaution est nécessaire pour se prévenir des valeurs non représentatives de la rosette. Lorsque la rosette est homogène au vu de la précision attendue (0,5 cm), une seule mesure est acceptable.

Le rapport de ces deux mesures (hauteur/diamètre) sera calculé pour étudier la dynamique de croissance des salades en fonction des modalités.

Etat sanitaire

Une partie de la performance a été évaluée à partir de la qualité physiologique et visuelle. Cette évaluation a été réalisée à travers le suivi hebdomadaire de l'aspect visuel de la plante. En d'autres termes, le but est d'étudier les dégâts foliaires.

Les dégâts foliaires

Pour étudier les dégâts foliaires, nous avons observé leur intensité et leur origine en fonction du microclimat induit par les différents systèmes de culture. La laitue fait l'objet de nombreux symptômes dont certains, typiques d'une origine particulière et d'autres plus généralistes.

Intensité des dégâts foliaires

L'intensité des dégâts subis par l'appareil aérien de la laitue sont délétères à la qualité visuelle et à la capacité photosynthétique de l'organe. Pour mesurer l'intensité des dommages, nous avons estimé le pourcentage de la surface foliaire de la laitue qui présente des dégâts indépendamment de l'origine présumée de ces derniers. Les dégâts estimés sont des dégâts irréversibles qui se traduisent par un manque d'une partie de l'organe, la détérioration des tissus ou de leurs aspects originels. Pour s'aider dans l'estimation du pourcentage de la surface foliaire présentant des

Figure 15: Echelle de notation d'intensité des dégâts foliaires des salades

1		<p><u>Description :</u> La partie aérienne de la plante ne présentant pas ou peu de symptômes</p> <p>0 – 1 % de la surface foliaire</p>
2		<p><u>Description :</u> La partie aérienne présente des symptômes légers.</p> <p>2-9 % de la surface foliaire</p>
3		<p><u>Description :</u> La partie aérienne présente des symptômes intermédiaires.</p> <p>10-19 % de la surface foliaire</p>
4		<p><u>Description :</u> La partie aérienne présente des symptômes importants.</p> <p>20-49% de la surface foliaire</p>
5		<p><u>Description :</u> La partie aérienne présente des symptômes très importants.</p> <p>50 % et + de la surface foliaire</p>

dégâts, une échelle de notation (Figure 15) permettait de simplifier la notation. La démarche consiste à accorder une note à la laitue observée selon sa correspondance à une illustration et la description associée de l'échelle de notation.

Origine des dégâts foliaires

Evaluer l'origine des dégâts impose un suivi hebdomadaire pour déterminer l'origine des symptômes primaires et l'évolution de ce dernier dans le temps. Une notation à la récolte peut suffire mais elle ne renseigne pas sur l'impact du système agroforestier et de son microclimat sur la dynamique des sources des dégâts, de plus il est compliqué d'associer les symptômes à une origine lorsque ceux-ci ne sont plus à leur état primaire. Trois grandes classes basées sur l'origine des dégâts permettent de simplifier la notation :

- Dégâts d'origine biologique (virus compris)
- Dégâts d'origine climatique (gel, grêle, ...)
- Dégâts d'origine physiologique

Une fiche de terrain (Annexe 17) illustrant les dégâts communément rencontrés sur laitue (Références Productions légumières, 2^{ème} édition, Péron J-Y., 2006) a facilité la notation. La méthode consiste à identifier l'origine des symptômes visibles sur la laitue étudiée. Lorsque l'origine est multiple, un pourcentage de chaque origine a été estimé.

Evaluation à la récolte

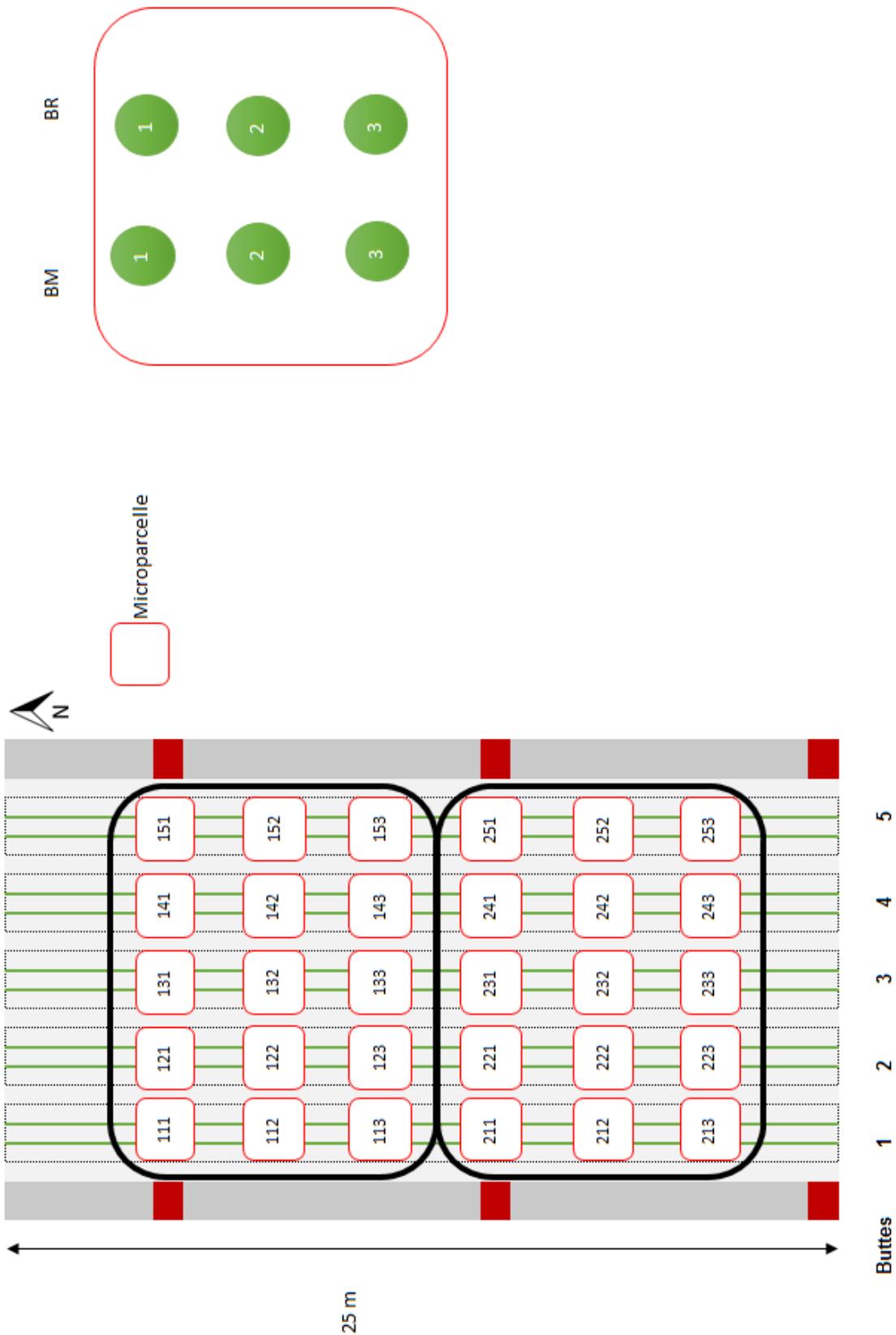
La performance agronomique de la culture

La performance agronomique de la culture est mesurable par différentes variables renseignant à la fois sur la performance quantitative et qualitative. Pour la culture de laitue, la performance se résume à évaluer la qualité commerciale et la biomasse commercialisable produite par plante.

La qualité commerciale

Evaluer la qualité commerciale est passé par le classement des tomates selon des références touchant l'aspect visuel, le calibre et le poids des laitues. L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) a créé la normalisation internationale des fruits et légumes pour formaliser la qualité commerciale à une échelle internationale. En laitue, il existe quatre catégories commerciales reposant sur quelques critères majeurs, comme l'aspect, la coloration, la forme, l'état, la formation des pommes et le poids. Le guide de normalisation permet de facilement

Figure 16: Dispositif expérimental de la culture de salades sur les Terres de Roumassouze



classer les produits selon l'une ou l'autre des catégories, grâce à un descriptif complet et des illustrations. Les laitues ne correspondant à aucune des catégories sont identifiées comme non-commercialisable (NC). Le guide de la normalisation internationale des fruits et légumes – Laitues, chicorées frisées et scaroles et une balance sont nécessaires pour classer les produits. En s'aidant du guide, les laitues doivent être classées selon leurs caractéristiques (Cat. I, Cat. II ou N.C.). Ce protocole doit se mettre en place immédiatement après la récolte pour que le stress induit par la séparation et la manipulation de la partie aérienne de la laitue n'interviennent pas dans la notation.

La biomasse commercialisable

La performance quantitative des systèmes se détermine par le poids de laitues commercialisables. Il est nécessaire de séparer les pesées entre catégories commerciales pour une exploitation économique plus fine de ces données. Cette variable est primordiale pour avoir un retour agronomique (rendement), économique (marge) et social. Celle-ci débouche sur de nombreux indicateurs reflétant la performance du système de culture. La biomasse commercialisable consiste à peser la part de la laitue réellement vendue à l'aide d'une balance classique, après nettoyage et parage de la jupe. Les laitues non-commercialisables ne sont pas comptabilisées. La pesée doit se faire immédiatement après la récolte pour que le produit reste turgescent.

Le dispositif expérimental de la culture de salades sur les Terres de Roumassouze est présenté figure 16. Ceux de la ferme du Boulidou et du Jardin d'Odile sont en annexes 18 et 19.

b. Le cas de la tomate

Le développement

Le stade phénologique

Dans la même démarche que pour la culture de salades, les stades phénologiques des pieds de tomates ont été observés à partir des stades principaux (figure 17 page suivante) de l'échelle BBCH « Légumes des solanacées » (FELLER *et al*, 1995 a).

Le nombre de nouveaux boutons floraux

Compter le nombre de boutons floraux a permis de calculer la capacité de fructification du plant de tomate, toujours dans l'objectif de comparer le

Figure 17: Stades phénologiques de la tomate à répertoirer

Stade phénologique	Description
« x »F	Informez sur le nombre de feuilles étalées présentes sur la tige principale.
IFL	La tomate présente une inflorescence visible avec au moins 1 bouton floral.
FLO	La tomate a, au moins, une fleur ouverte.
FRU	La tomate a, au moins, un fruit en formation.
DEV	La tomate a, au moins, un fruit qui a atteint sa taille et forme finale (typique)
MAT	La tomate a, au moins, un fruit qui a sa coloration à maturité, selon la caractéristique variétale.

comportement de la culture conduit sous différents systèmes. A partir de la floraison, le nombre de nouveaux boutons floraux a été répertorié chaque semaine.

La croissance

La taille moyenne des entre-nœuds

Le choix de l'indicateur de croissance s'est porté sur la taille moyenne des entre-nœuds car il est représentatif de la robustesse du plant et du nombre probable de bouquets floraux. Pour le calculer, nous nous sommes basés sur deux mesures : la hauteur du plant et le nombre d'entre-nœuds.

La hauteur

Cette variable consiste à mesurer la longueur de la tige principale. En considérant que le collet de la plante est au niveau du sol, la hauteur de la tomate a été mesurée (en mètre) à l'aide d'un mètre. Cette notation a été stoppée lorsque le pied de tomates atteint le haut de son tuteur (2 m).

Le nombre d'entre-nœuds

Cette variable permet d'évaluer comment et de combien la tomate s'étage. Nous avons donc compté le nombre d'entre-nœuds c'est-à-dire de compter le nombre d'insertion foliaire existant sur la tige. Comme pour la hauteur, le collet est assimilé à la surface du sol.

La performance agronomique

Le nombre de fruit par plant

Cette mesure nous a permis de calculer le taux de fructification des pieds de tomates. Le nombre de fruit par plant s'accorde avec le nombre de boutons floraux, de cette façon :

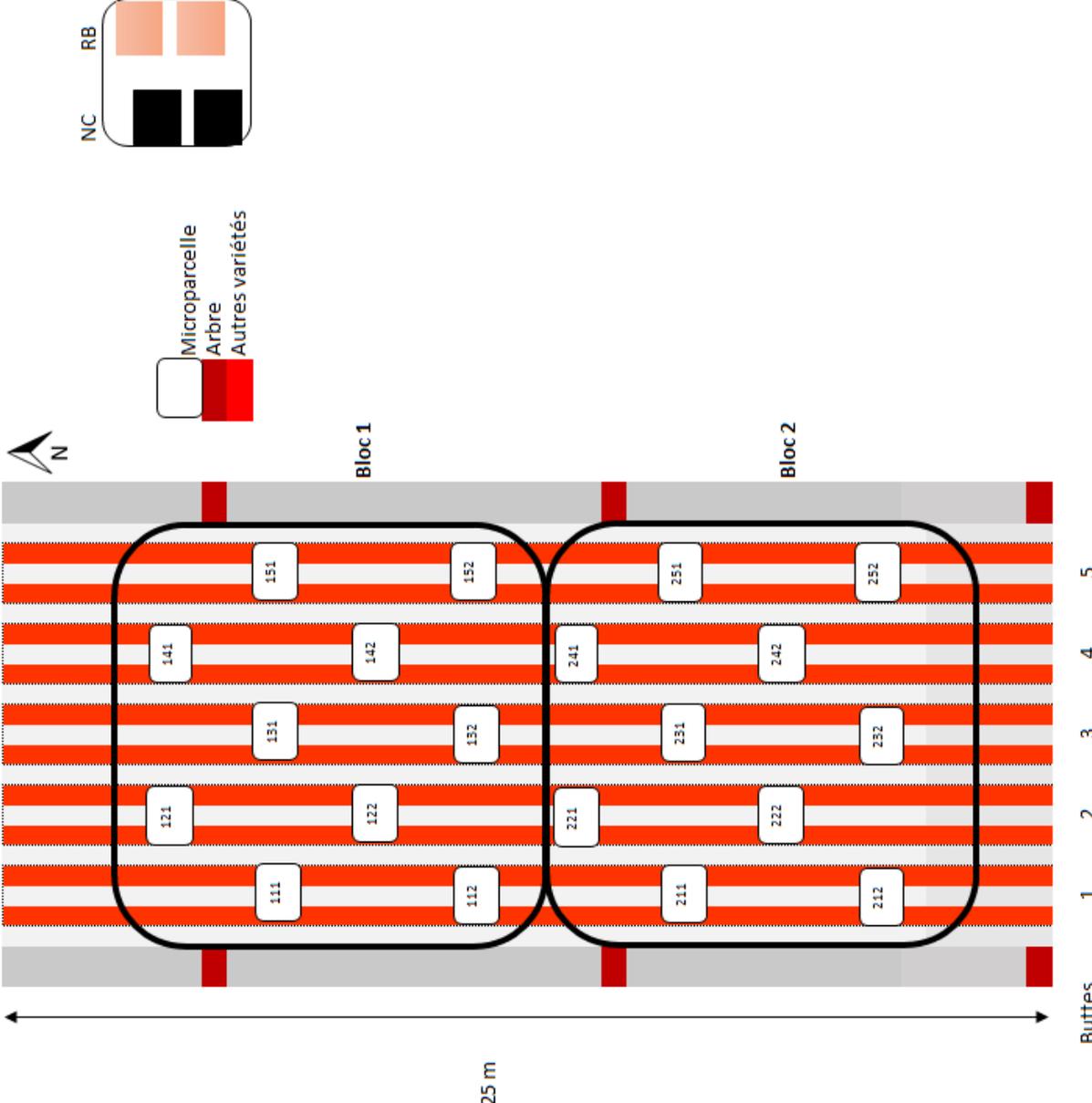
$$\text{Taux de fructification} = \frac{\text{Nombre de fruits par plante}}{\text{Nombre de boutons floraux par plante}}$$

Ce critère de performance agronomique chez la culture de tomates apporte une information capitale sur la physiologie du plant et donc sur sa capacité à produire des fruits.

La catégorie commerciale

De la même façon que pour la culture de salades, les tomates ont été classées en fonction des catégories commerciales de la normalisation internationale des fruits et légumes instaurées par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE).

Figure 18: Dispositif expérimental des tomates sur les Terres de Roumassouze



La biomasse commercialisable

La biomasse commercialisable consiste à peser la production d'un plant de tomate. Il s'agira de peser la production de fruits récoltés par plante, indépendamment de la catégorie commerciale avec une balance. Nous obtenons alors une mesure en kg/pied de tomate. Il faut ensuite convertir cette donnée en kg/m² afin d'avoir le rendement (masse/unité de surface).

Le dispositif expérimental de la culture de tomates sur les Terres de Roumassouze est présenté figure 18 page ci-contre. Les dispositifs des sites satellites sont exposés en annexe 20.

F. Le traitement des données

La période d'observation des salades a débuté le 14 avril et pris fin le 7 juillet. Le recueil de données effectué sur tomates s'est étalé du 3 juin au 5 août. Or, la période de production de tomate a été retardée de presque deux mois par rapport aux années précédentes à cause d'une météo défavorable au travail du sol avant la plantation et devrait courir jusque fin octobre. De ce fait, nous ne disposons pas de données assez nombreuses pour réaliser une analyse statistique fiable et représentative de la performance de la culture de tomates.

La conduite de l'expérimentation sur culture de salades à la Ferme du Boulidou a été fortement perturbée par la venue répétée des sangliers qui ont mené à la destruction du dispositif expérimental. Le recueil de données n'a donc pas pu être effectué suivant le protocole.

L'accumulation de quelques désagréments sur l'expérimentation de la culture de salades au Jardin d'Odile comme la plantation réalisée avant la conception du dispositif ou encore le vol de légumes au champ n'a pas permis le recueil de données fiables. De ce fait, les résultats des expérimentations sur salades des deux sites de production satellites ne seront pas présentés.

Le traitement des données s'est effectué sous le logiciel d'analyses de statistiques RStudio 3,2 5.

Lors de l'analyse de la culture de salades sur les Terres de Roumassouze et de la culture de tomate sur les trois sites de production, on cherche à comparer les variables qui caractérisent le microclimat et le comportement des cultures (développement, croissance, état sanitaire, performance) entre les modalités sur les sites expérimentaux. Le but étant d'affirmer ou réfuter la présence d'une différence significative entre les modalités. Les tests statistiques utilisés sont :

- Quantitatifs paramétriques : test ANOVA avec ses tests de validité suivi d'un test de Tukey
- Quantitatifs non-paramétrique : test de Kruskal-Wallis puis test de Mann-Whitney

Figure 19: Ouverture de canopée des quatre modalités en avril et juillet 2016 sur les Terres de Roumassouze (barre d'erreur indiquant les écarts-types)

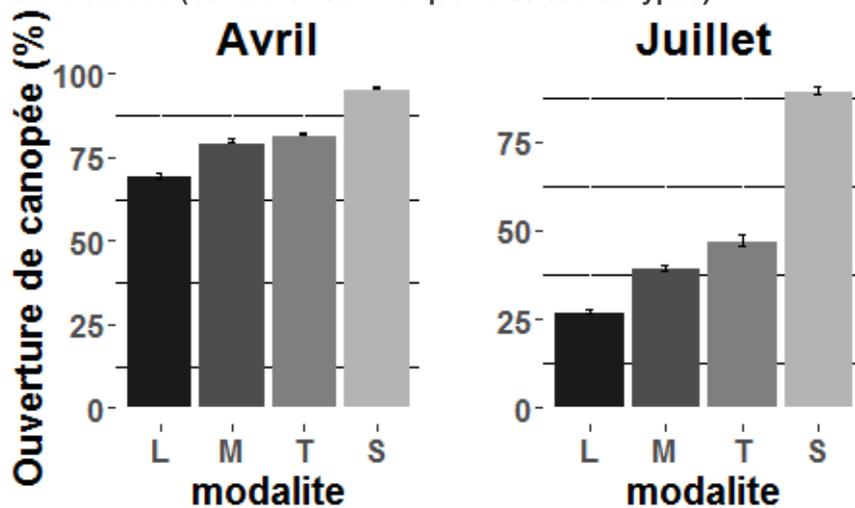
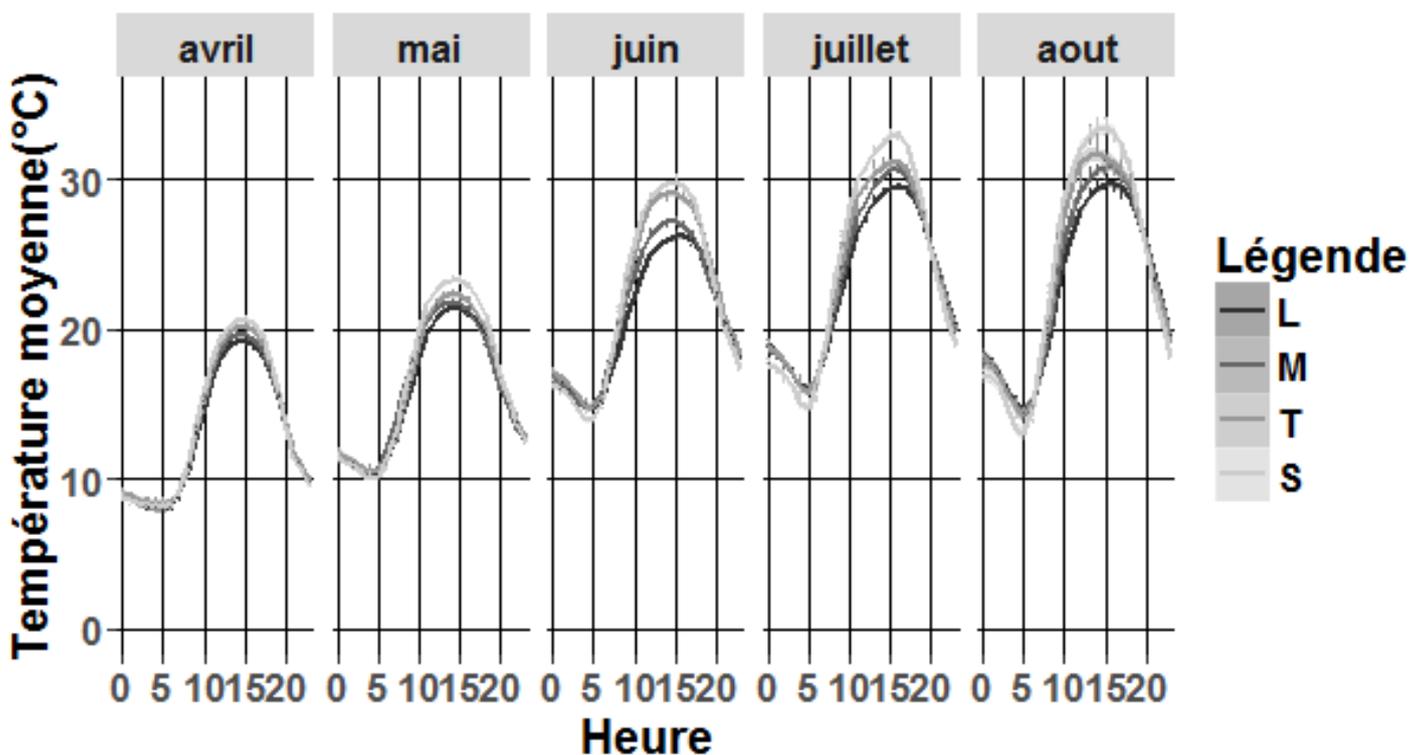


Figure 20: Température moyenne par heure sur une journée moyenne mensuelle pour chaque modalité d'avril à août 2016 sur les Terres de Roumassouze (barre d'erreur indiquant les écarts-types)



III/ Résultats

A. Comparaison du microclimat

1. L'ouverture de canopée

Les terres de Roumassouze

La figure 19 ci-contre décrit l'ouverture de canopée sur le site pilote en avril et juillet pour les trois modalités agroforestières (élaguée - L, émondé -M et têtard -T) ainsi que pour le témoin (S). Nous pouvons observer une différence significative entre les modalités agroforestières entre les deux dates due à la présence de feuilles sur les arbres, ces derniers ayant débouffés fin avril.

En avril, l'ouverture de canopée augmente avec l'intensité de la taille des arbres de 69,6% à 82,0% face à 95,8% pour le témoin. L'ouverture de canopée est différente significativement ($p\text{-value} = 2.10^{-16}$) entre modalité tel que $L < M = T < S$.

En juillet, la dynamique d'ouverture de canopée est identique à celle d'avril (de 27,2% à 47,2% et un témoin à 89,4%) avec des différences significatives ($p\text{-value} = 2.10^{-16}$) entre chaque modalité tel que $L < M < T < S$.

Le Boulidou

A la Ferme du Boulidou, l'ouverture de canopée moyenne sur le témoin (NAF) est de 82,6% et de 65% sur la modalité agroforestière (AF). La différence est significative pour une $p\text{-value}$ de $4,11.10^{-5}$ tel que $NAF > AF$.

Le Jardin d'Odile

Au Jardin d'Odile, l'ouverture de canopée moyenne des trois modalités varie entre 62,8% et 69,5%. Les écart-types sont élevés. Cela est dû à la hauteur des arbres. En effet, les oliviers sont petits. De ce fait, l'ouverture de canopée est très différente avec un faible éloignement de l'arbre (dans le sens du rang d'arbre). La différence n'est pas significative entre les trois modalités.

2. La température

Les Terres de Roumassouze

La température moyenne par heure pour chaque mois est représentée ci-contre figure 20. On peut y voir une augmentation d'avril à juillet pour toutes modalités. Pour comparer la température sur chacune des modalités, nous sommes intéressés à l'heure la plus chaude et la plus froide de la journée. En avril, à 14h, la température est significativement différente ($p\text{-value}=4,17^e-6$) selon les modalités. Plus l'ouverture du milieu augmente, plus il fait chaud. La température moyenne à

Tableau 41: Ecart de température entre le jour et la nuit pour chaque modalité sur les Terres de Roumassouze en 2016

(°C)	Avril	Juillet
L	6,7	7,1
M	7,3	8,0
T	7,1	8,5
S	7,7	10,5

Figure 21: Température moyenne par heure sur une journée d'avril à juin 2016 au Boulidou

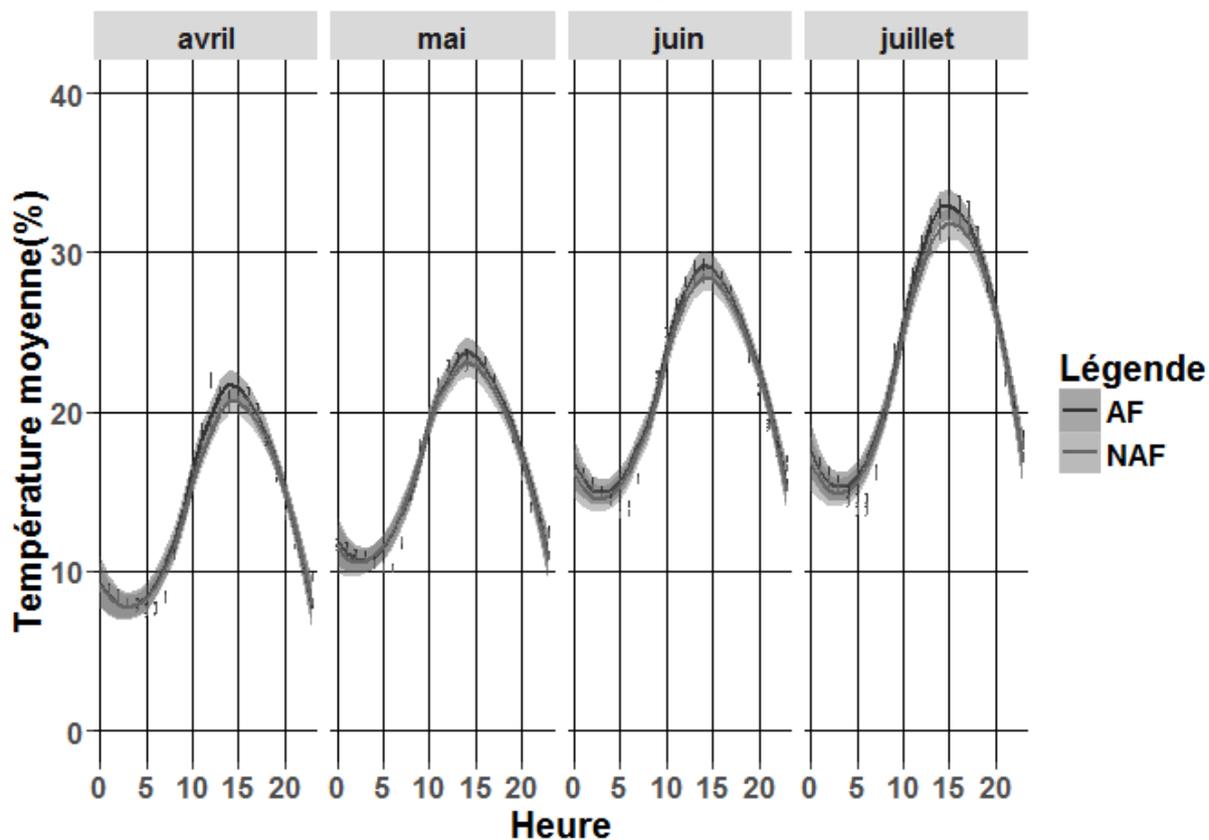


Tableau 5: Ecarts de température entre le jour et nuit pour chaque modalité au Boulidou et au Jardin d'Odile

Le Boulidou	Avril	Juillet
AF	8,25°C	10,38°C
NAF	7,75°C	10,28°C

Le Jardin d'Odile	Avril	Juillet
A	5,71°C	7,73°C
B	5,79°C	7,79°C

14h sur la modalité « élaguée » est de 19,19°C (c), 19,63°C (bc) en « émondé », 20,22°C (ba) et 20,48°C (a) sur le témoin d'où un écart de 1,29°C entre « élagué » et « plein soleil ». Par contre, sur l'heure la plus froide d'avril, 5h, il n'y pas de différence (p-value=0,974). Ce n'est qu'au mois de juin que les arbres ont un effet sur la température la nuit (p-value=2,47^e-5). Il fait plus chaud en agroforesterie, peu importe la taille des arbres, qu'en conduite traditionnelle de 0,69 °C en moyenne. Plus les températures augmentent, plus les écarts deviennent importants entre les modalités. En juillet à 15h, l'écart est de 3,62°C entre le milieu de plus ombragé et le plein soleil (p-value=2^e-6). A 5h, il est de 0,91°C entre les modalités agroforestières confondues et le témoin (p-value=8,29^e-5).

De plus, plus l'ouverture du milieu augmente, plus les écarts-types sont élevés. Les arbres ont donc un effet tampon sur la température en réduisant les pics hauts et bas. Dans le tableau 4 ci-contre sont présentés les écarts moyens de températures entre le jour et la nuit. En avril, il y a peu d'écarts entre les différentes modalités même si l'on observe déjà 1°C d'écart entre la modalité la plus ombragée et le témoin plein soleil. Par contre, en juillet, les arbres ont un impact important sur la réduction des écarts de température entre le jour et la nuit. L'écart de température passe de 10,5°C sur le témoin à 7,1°C en modalité élaguée.

Le Boulidou

A la Ferme du Boulidou, la température augmente d'avril à juillet dans chaque modalité (Figure 21). Pour chaque mois, au moment le plus chaud de la journée comme au moment le plus froid, la température est plus élevée en agroforesterie (AF) que sur la parcelle considérée témoin (NAF). Les différences de températures ne sont cependant pas significatives entre les modalités aux heures les plus chaudes et plus froides pour tous les mois étudiés. Les écarts de température moyens mensuels entre le jour et la nuit (Tableau 5) ne diffèrent pas selon les modalités.

Le Jardin d'Odile

Sur le Jardin d'Odile, la température au milieu de la planche de culture « B » est légèrement plus élevée que sous les arbres « A » aux alentours de 15 heures et subtilement inférieure vers 5 heures. Cela décrit les mêmes tendances d'effet tampon observées sur les Terres de Roumassouze. Cependant, l'analyse statistique de la température entre le milieu de la planche et sous les arbres ne révèle pas de différence significative d'avril à juillet. Les écarts de température moyens mensuels entre le jour et la nuit (Tableau 3) ne diffèrent pas selon les modalités.

Figure 22: Hygrométrie relative par heure sur une journée moyenne mensuelle pour chaque modalité d'avril à août 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant les écarts-type)

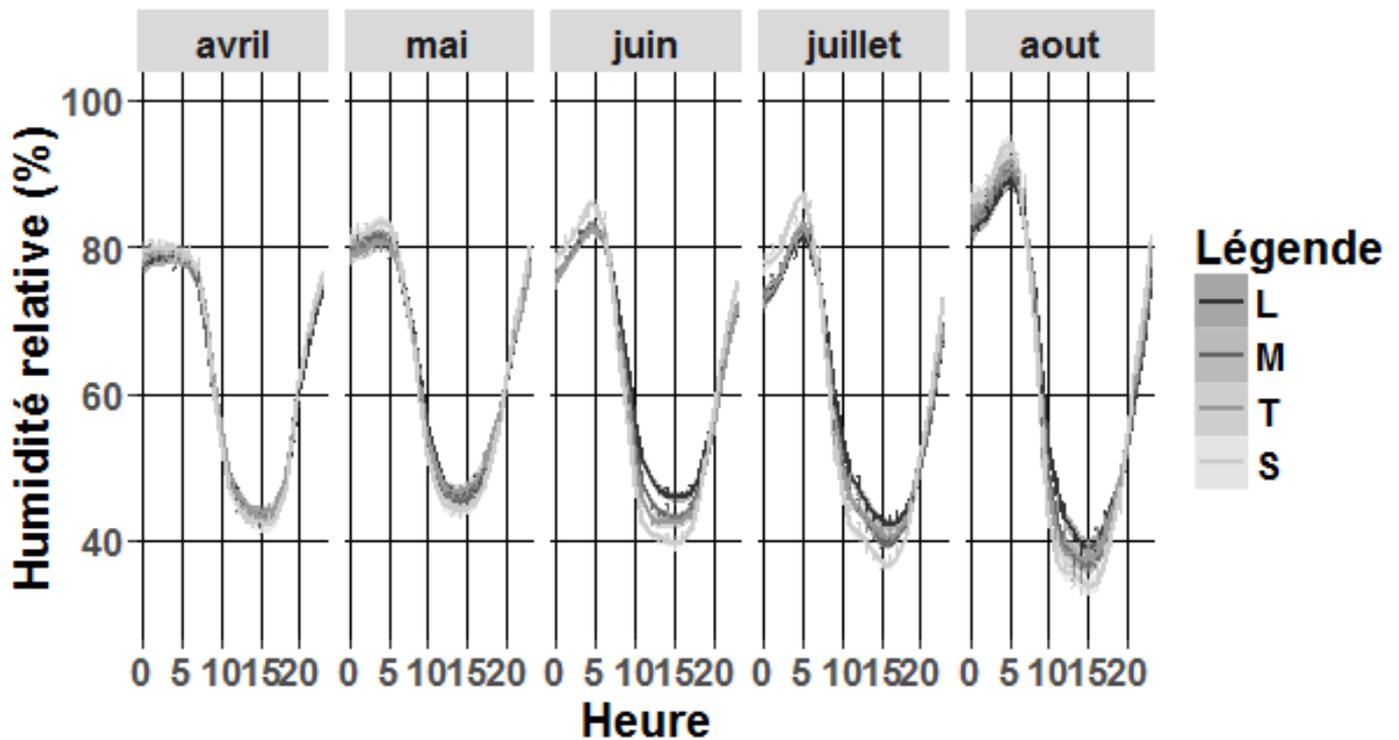
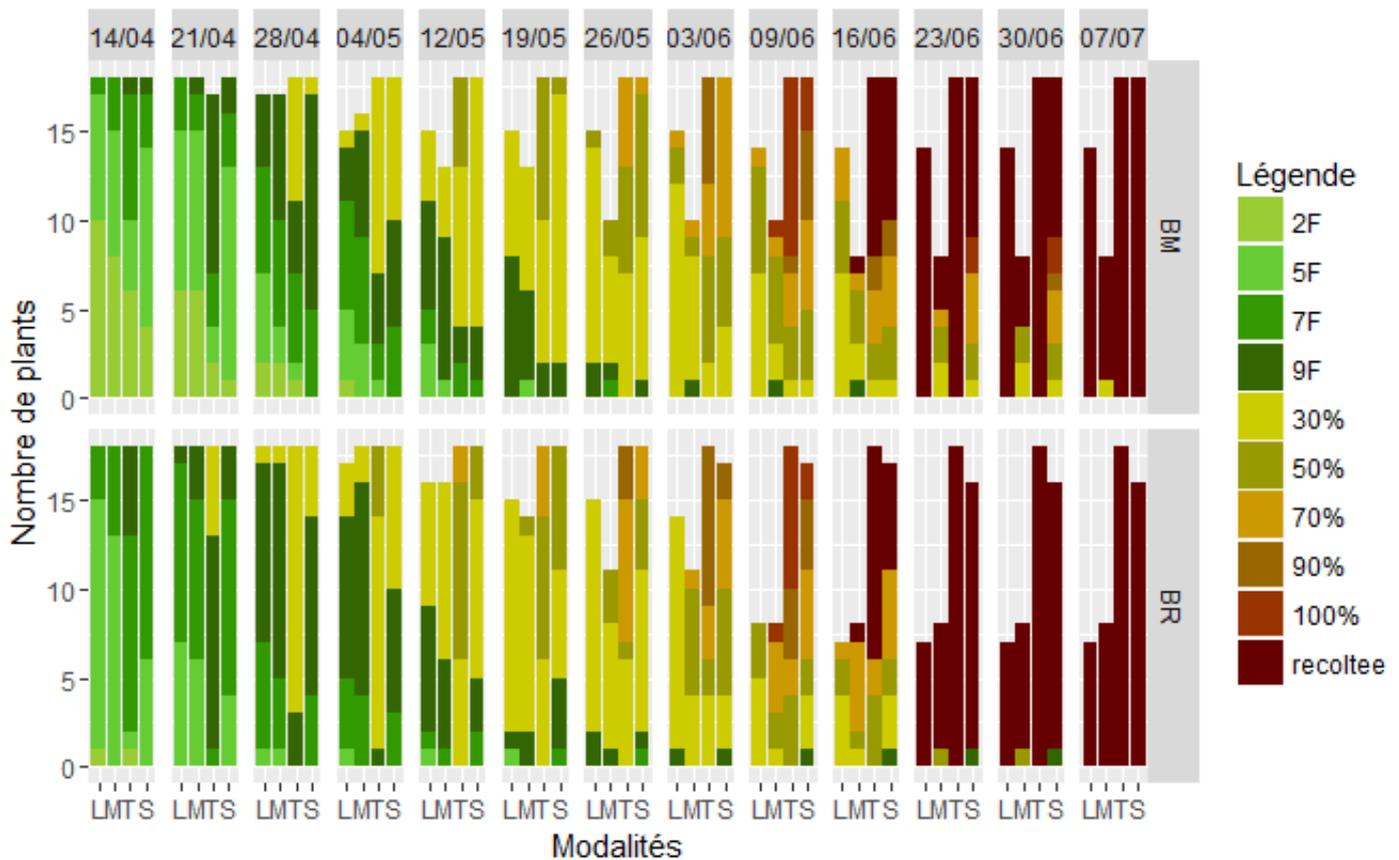


Figure 23: Développement des salades sur les Terres de Roumassouze en 2016



3. L'hygrométrie

Les terres de Roumassouze

La figure 22 ci-contre présente l'hygrométrie au cours du temps sur les Terres de Roumassouze. Elle diminue à partir de 1h jusqu'à 15h pour remonter jusqu'à minuit pour toute la période étudiée. On peut observer un pic haut aux alentours de 5h du matin et un pic bas à 15h. L'hygrométrie varie en avril de 42% à 78% Cette amplitude par heure sur la journée augmente au cours de la saison et d'autant plus avec l'ouverture du milieu.

En avril, à l'heure la plus humide (4h) comme la plus sèche (15h), il n'y a pas de différence significative entre les modalités avec des p-values respectives de 0,908 et 0,615. Ce n'est qu'à partir de juin au moment le plus sec de la journée (15h) que l'on observe des différences significatives entre les modalités telles que $L > M = T > S$ avec un écart de 6,41% d'humidité entre la modalité élaguée et le témoin plein soleil (p-value=2^e-16). La différence d'hygrométrie au moment le plus humide de la journée (5h) devient significative (p-value=9,34^e-12) en juillet telle que $S < T = M = L$ avec un écart de 3,79% entre « élagué » et « plein soleil ». Les arbres ont donc aussi un pouvoir tampon sur l'hygrométrie. Moins les arbres sont taillés, plus l'effet tampon est important.

B. Comparaison du comportement des cultures légumières

1. Salade

a. Développement

La figure 23 ci-contre expose l'avancée des stades phénologiques des salades en fonction du temps pour chaque modalité et variété. Les deux variétés se développent à la même vitesse. Par contre, on observe des différences significatives entre modalités. Dès le 21/04, la modalité « têtard » est en avance avec une proportion de salades au stade 9 feuilles de 59% (p-value=1,61^e-5) pour la BM et 67% (p-value=3,4^e-5) pour la BR La précocité des salades en fonction des modalités s'ordonne de cette façon : $T > S > M = L$. Cette différence de précocité des salades se poursuit jusqu'à la fin du cycle. Par exemple, au 09/06, il y a déjà 55,6% de BM à 100% de maturité en « têtard » contre 16,7% en « plein soleil », 10% en « émondé » et 0% en « élagué » (p-value= 5,05^e-4).

Figure 24: Répartition à travers le temps de la croissance des salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant l'erreur standard)

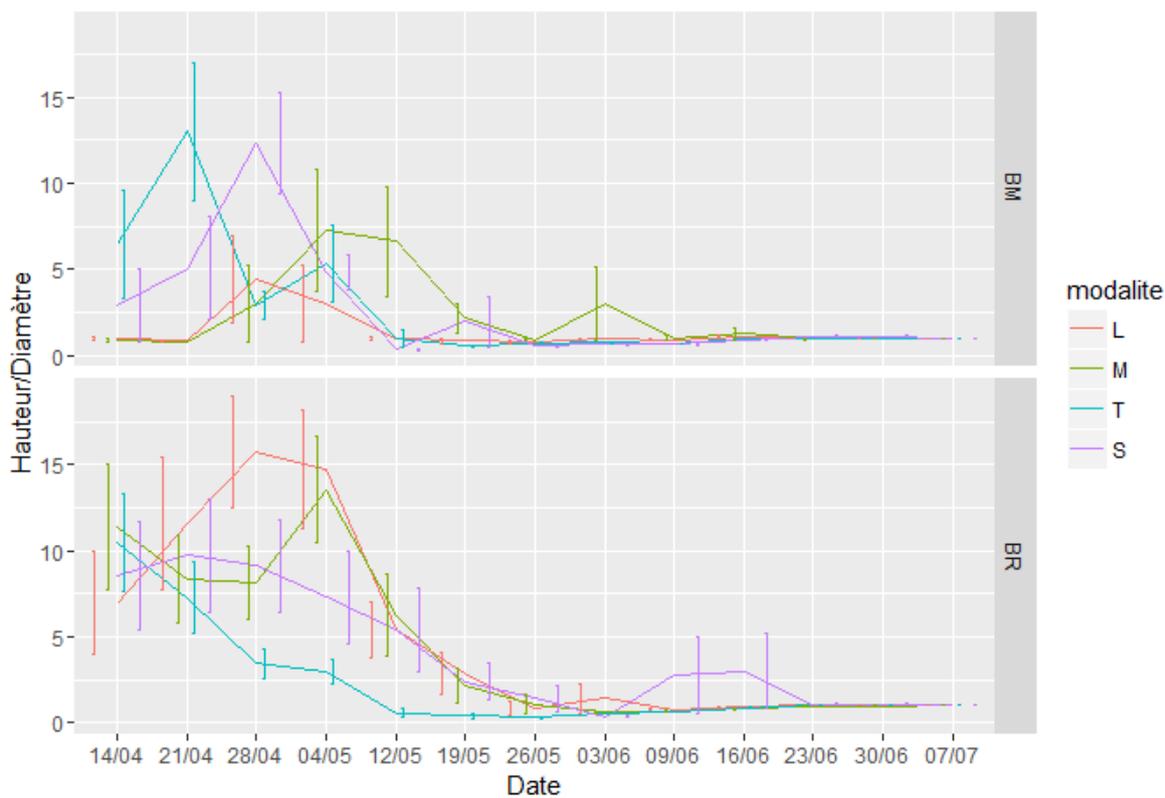


Figure 25: Intensité des dégâts d'origine biologique sur salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze (barres d'erreur indiquant l'erreur standard)



b. Croissance

La figure 24 présente le rapport entre la hauteur et le diamètre des salades à travers le temps pour les deux variétés en fonction des modalités agroforestières et le témoin en plein soleil. Ce rapport révèle la dynamique de croissance des salades. Premièrement, on peut constater que les deux variétés ne se comporte pas de la même façon. La BM a une croissance d'abord verticale puis horizontale. En têtard et plein soleil, la croissance verticale est plus importante et plus rapide qu'en élagué et émondé.

Pour la BR, la dynamique de croissance est tout à fait différente. Elle est tout d'abord moins étalée dans le temps en fonction des modalités que pour la BM. La croissance horizontale est plus importante en modalité « têtard » (2,34) et « plein soleil » (4,21) qu'en « élagué » (6,52) et « émondé » (5,70). On peut voir le phénomène inverse pour la croissance verticale.

c. Etat sanitaire

Dégâts biologiques

Ces dégâts ont été causés essentiellement par trois ravageurs qui sont les limaces, les escargots et les rats taupier. La figure 25 ci-contre présente l'intensité des dégâts dans le temps par variété et par modalité sur une échelle de 1 à 5 dans l'ordre croissant des dommages. On peut y observer que l'intensité des dégâts sur les feuilles de salades augmente durant tout le cycle de culture, pour les deux variétés et pour toutes les modalités. On détecte un pic de dommages le 3 et 9 juin. On peut faire la correspondance avec la date de fauche des bandes enherbées le 2 juin qui aurait pu entraîner une migration de la faune.

L'intensité des dégâts sur la BM varie en fonction de la modalité (p -value=0,0116) comme suit : $S < L = T = M$. Au 07/07, la note de dégât biologique sur les salades est de 3,1 en plein soleil contre 4,2 en moyenne sur les modalités agroforestières.

L'intensité des dommages qui s'applique sur la BR varie avec la modalité (p -value=1,42e-7) telle que $S < T < L = M$. A la fin du cycle, la note de dégâts est de 2,5 en « plein soleil » opposé à 4,1 de moyenne pour les modalités agroforestières. Les arbres favorisent donc la présence et/ou l'activité des ravageurs de la culture de salades.

Figure 26: Effectif de salades montées par modalités, par date et par variété en 2016 sur les Terres de Roumassouze

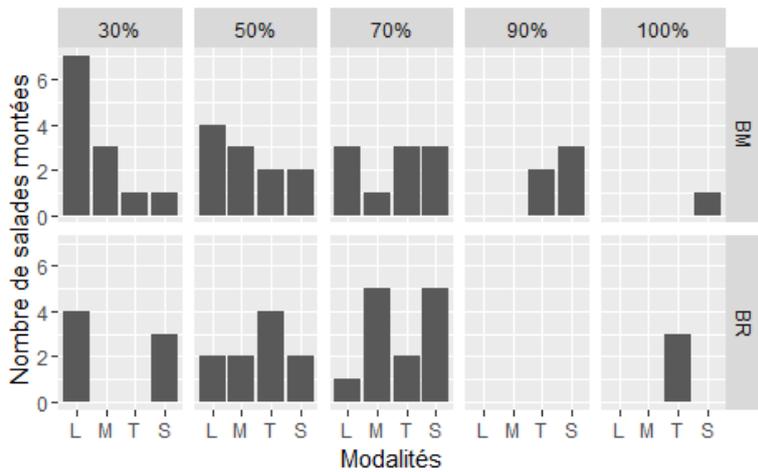


Figure 27: Effectif cumulé de salades montées par modalité, par date et par variété en 2016 sur les Terres de Roumassouze

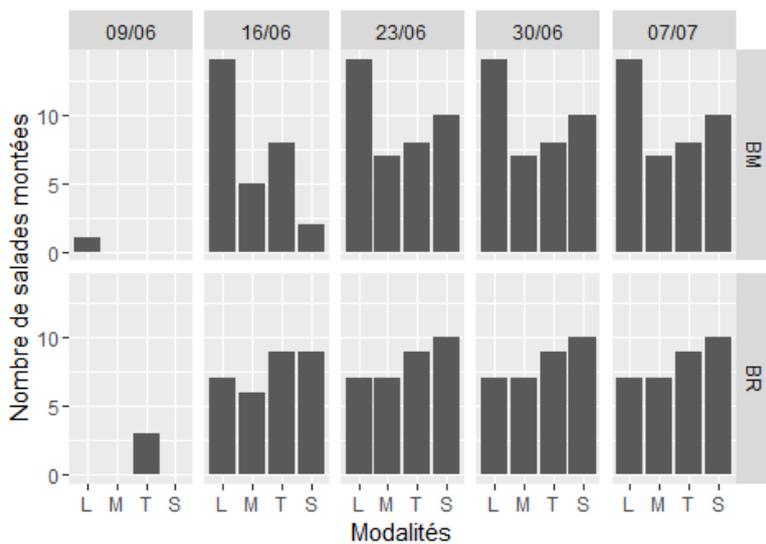
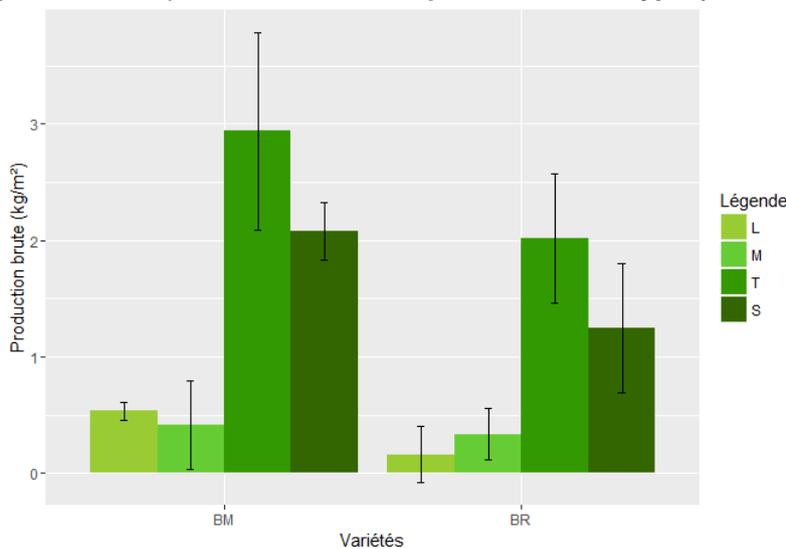


Figure 28: Production brute de salades en 2016 sur les Terres de Roumassouze par variété et par modalité (barres d'erreur indiquant les écarts-types)



Dégât physiologique

La montaison est considérée comme dégât physiologique car c'est un phénomène qui rend la salade non-commercialisable à cause d'un trouble du développement de la plante.

La figure 26 ci-contre expose le nombre de salades montées en fonction du stade phénologique pour chaque variété et chaque modalité. Au vu du nombre important de salades mortes durant le cycle, ces effectifs seront à présent interprétés en proportion d'individus montés pour chacun des échantillons de salades récoltées.

Les salades de la modalité « élaguée » ont monté précocement : 50% des BM et 57,1% des BR ont monté au stade de 30% de maturité. Sur la modalité « émondée », 37,5% des BM ont monté au stade 30% ainsi qu'au stade 50% alors que 62,5% des BR ont monté au stade 70% de maturité. Sur la modalité « têtard », 38,5% des BM montent entre 50% et 90% de maturité. 50% des BR ont monté entre 50% et 100% de maturité. En « plein soleil », 33,4% des BM ont monté aux stades 70% et 90%. 31,3% des BR ont monté à 70% de maturité.

Pour conclure, plus le milieu est ouvert :

- Plus les salades montent tardivement dans le développement
- Moins les salades sont sensibles à la montaison jusqu'à l'optimum en têtard (faible ombrage)

La figure 27 ci-contre présente les effectifs cumulés de salades montées à travers le temps pour chaque variété et chaque modalité. En ne prenant pas en compte les salades mortes durant le cycle de culture, 100% des BM et des BR ont monté au 16/06 sur la modalité « élaguée ». Au 23/06, les BM ont monté à 87,5% en émondé, 44,4% en têtard, 55,6% en plein soleil. A la même date, 87,5% des BR étaient montées en « émondé », 50% en « têtard » et 62,5% en « plein soleil ». Pour conclure, la présence d'arbres accélère la montaison des salades.

d. Performance agronomique

L'étude de la performance agronomique de la culture de salades s'est basée sur le poids spécifique des salades, la production brute (kg/m²) et la distribution des catégories commerciales pour chaque individu.

Le poids spécifique des salades pour les deux variétés diffère de la même façon selon la modalité. La BM voit son poids varier de 68,86g à 294,06g d'où la différence significative ($p\text{-value}=1,1e-9$). Le poids des BR varie de 42,14g à 202,00g avec un

Tableau 6: Récapitulatif des indicateurs mesurés sur salades sur les Terres de Roumassouze

	Indicateurs	Variétés	Elagué	Emondé	Têtard	Témoin	p-value	
Développement	Stade 9 feuilles au 21/04 (% de l'effectif)	BM	0 (b)	6 (b)	59 (a)	11 (b)	1,61 ^e -5	
		BR	6 (b)	17 (b)	67 (a)	17 (b)	3,4 ^e -5	
	Stade 30% au 4/05 (% de l'effectif)	BM	6 (b)	6 (b)	61 (a)	44 (a)	2,08 ^e -4	
		BR	17,6 (b)	11,1 (b)	72,2 (a)	22,2 (b)	5,68 ^e -4	
	Stade 50% au 19/05 (% de l'effectif)	BM	0 (b)	0 (b)	44,4 (a)	5,6 (b)	7,0 ^e -5	
		BR	0 (b)	7,1 (b)	44,4 (a)	38,9 (a)	3,33 ^e -3	
	Stade 100% au 9/06 (% de l'effectif)	BM	0 (b)	10 (b)	55,6 (a)	16,7 (ab)	5,05 ^e -4	
		BR	0 (b)	12,5 (b)	44,4 (a)	11,8 (ab)	2,49 ^e -2	
Etat sanitaire	Hauteur/Diamètre (sur le cycle entier)	BM	1,43	2,93	2,72	2,57	-	
		BR	6,52	5,70	2,34	4,21	-	
Etat sanitaire	Dégât biologique	BM	2,86(b)	3,19(b)	2,90(b)	2,15(a)	0,0116	
		BR	3,01(b)	3,23(b)	2,81(b)	1,99(a)	1,42e-7	
	Montaison à 30% (% de l'effectif)	BM	50	37,5	5	5	-	
		BR	57,1	0	0	18,8	-	
	Montaison à 50% (% de l'effectif)	BM	28,6	37,5	11,1	11,1	-	
		BR	28,6	25	22,2	12,5	-	
	Montaison à 70% (% de l'effectif)	BM	21,4	12,5	16,7	16,7	-	
		BR	14,3	62,5	11,1	31,3	-	
	Montaison au 16/06 (% de l'effectif)	BM	100	62,5	44,4	11,1	-	
		BR	100	75	50	56,3	-	
Montaison au 23/06 (% de l'effectif)	BM	0	25	0	44,4	-		
	BR	0	0	0	6,3	-		
Performance	Poids spécifique (g)	BM	68,86(c)	124,67(bc)	294,06(a)	208,06(ab)	1,1e-9	
		BR	42,14(c)	75,25(bc)	202,00(a)	140,00(ab)	1,61e-5	
	Production brute (kg/m ²)	BM	0,54 (c)	0,42(c)	2,94 (a)	2,08 (b)	1,58e-8	
		BR	0,16 (c)	0,33 (c)	2,02 (a)	1,24 (b)	6,27e-7	
	Distribution des catégories commerciales (% de l'effectif)	Extra	BM	0	0	0	0	-
		Cat I		0	0	0	0	-
		Cat II		0	16,6	11,1	22,2	-
		NC		100	83,4	88,9	77,8	-
		Extra	BR	0	0	0	0	-
		Cat I		0	0	0	0	-
Cat II		0		12,5	5,6	12,5	-	
NC		100		87,5	94,4	87,5	-	

écart significatif entre les modalités ($p\text{-value}=1,61e-5$). La modalité « têtard » offre les salades les plus lourdes viennent ensuite dans l'ordre le témoin et la modalité émondé puis la modalité élaguée. La production brute de salades est présentée figure 28 de la page précédente. On peut tout d'abord relever la différence variétale avec les BM plus productives que les BR. A noter que les écarts-types sont élevés, la production n'est donc pas homogène. L'analyse statistique a montré des différences significatives entre les modalités, et ce, pour les deux variétés (BM : $p\text{-value}=1,58e-8$ et BR : $p\text{-value}= 6,27e-7$). La production brute moyenne de chaque modalité s'étale de $0,42\text{kg}/\text{m}^2$ à $2,92\text{kg}/\text{m}^2$ pour la BM et de $0,16\text{kg}/\text{m}^2$ à $2,02\text{kg}/\text{m}^2$ pour la BR. Trois groupes se détachent distinctement : $T>S>M=L$.

Toutes les salades récoltées ont été classées par catégorie commerciale. Le tableau 6 ci-contre résume les indicateurs mesurés sur la culture de salades. Il reprend donc la classification des catégories commerciales en pourcentage de l'effectif. Ce résultat permet de dégager certaines tendances. La modalité « plein soleil » permettrait de générer moins de déchet. Mais le manque d'individus commercialisable chez les deux variétés n'a pas permis d'effectuer une analyse statistique de qualité.

2. Tomate

a. *Développement*

Les Terres de Roumassouze

La figure 29 page suivante présente une vue d'ensemble de la succession des stades phénologiques des plants de tomates hebdomadairement par modalités et pour les deux variétés : Noire de Crimée (NDC) et Rose de Berne (RDB). On peut dès à présent noter que la RDB est plus précoce que la NDC. Pour chaque variété, nous nous sommes intéressé principalement au stade 7 feuilles du 9 juin, au stade floraison du 23 juin, au stade fructification du 30 juin et au stade de maturité du 5 août.

La proportion de plants au stade de développement 7 feuilles au 9 juin n'est pas significativement différent entre les modalités pour les deux variétés. Par contre, à partir de la floraison au 23 juin, la RDB se comporte différemment selon la modalité ($p\text{-value}=7,9e-11$) avec deux groupes qui se distinguent. La floraison est plus précoce en modalité têtard et témoin qu'en élagué et émondé.

Ce n'est qu'au stade de fructification qu'apparaissent des différences de précocité pour la NDC ($p\text{-value}=2,8e-6$) tel que $T>S>M>L$ de la modalité la plus avancée à la

Figure 29: Développement des plants de tomates à travers le temps sur les Terres de Roumassouze en 2016 en fonction de la variété pour chaque modalité

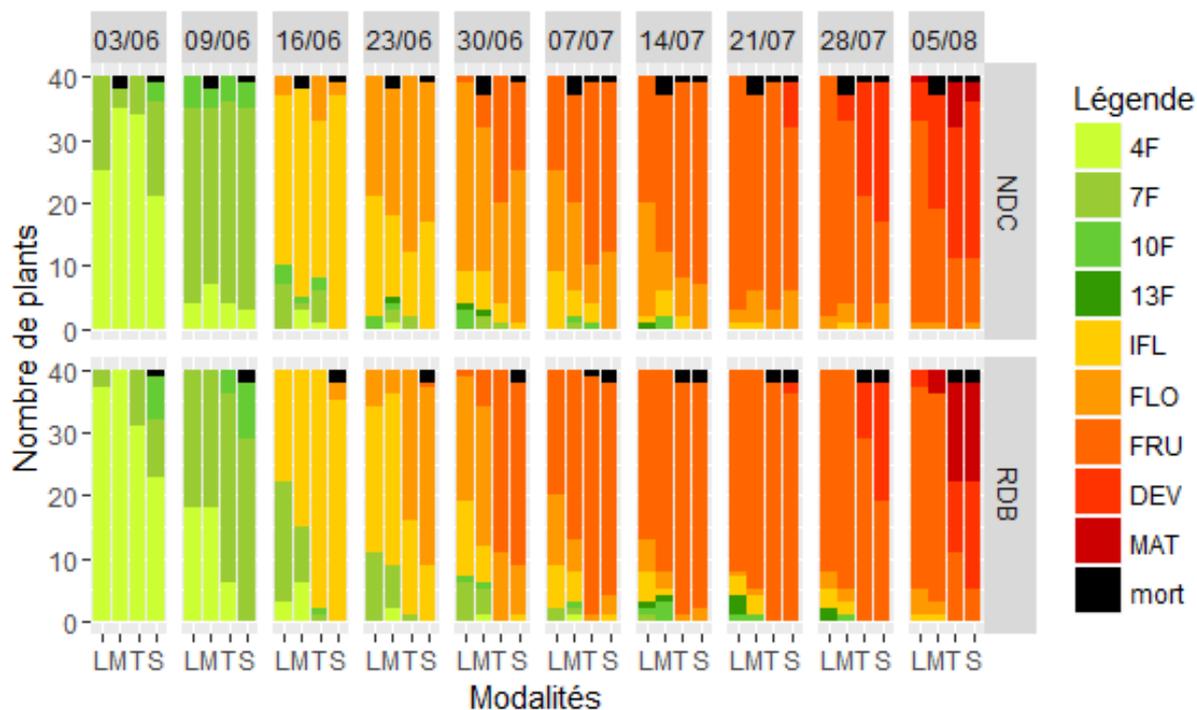
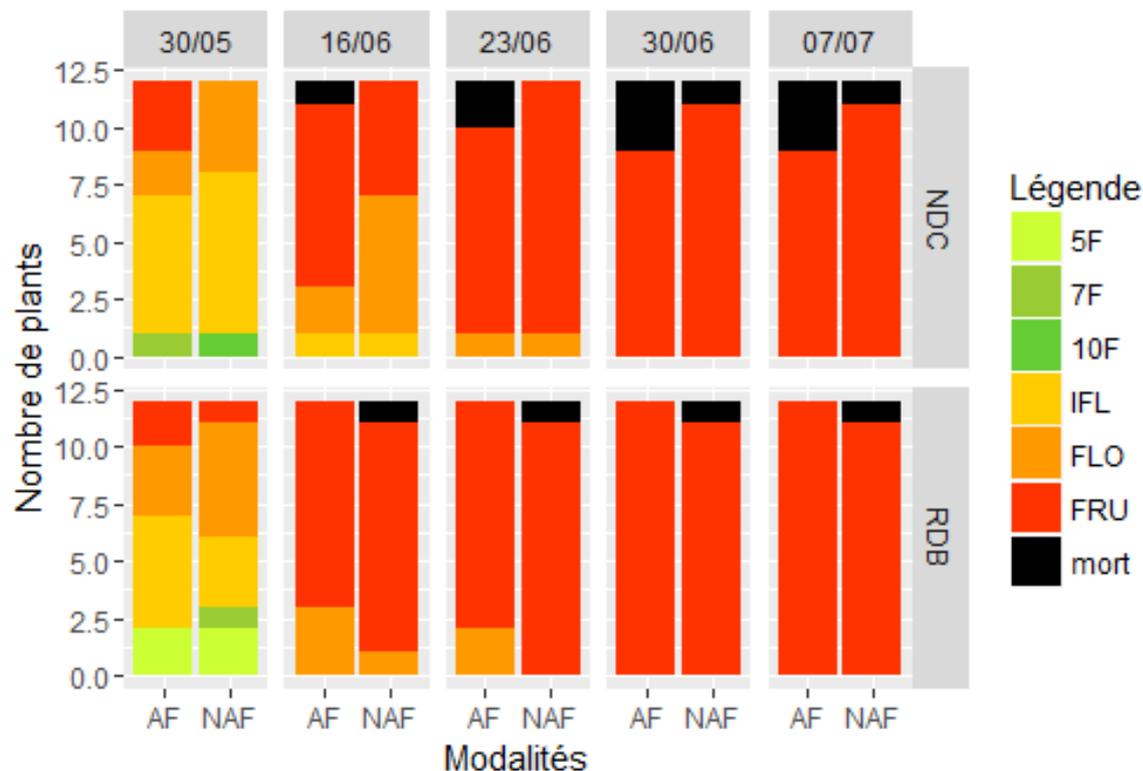


Figure 30: Développement des pieds de tomates au Boulidou en 2016 par variété et par modalité



plus tardive. L'arrivée de la fructification pour la RDB diffère en fonction de la modalité (p-value=2,41e-15) tel que S=T>M>L. Lors de la première récolte du 5 août, nous avons observé des différences significatives de précocité selon les modalités. Pour la NDC, la production arrive à maturité dans le sens T>S>M>L et S=T>M>L pour la RDB. La NDC serait donc sensible positivement à un faible ombrage apporté par les arbres en termes de précocité.

Le Boulidou

Sur la Ferme du Boulidou (Figure 30), en ce qui concerne le début de cycle, les NDC se développent plus rapidement en agroforesterie et les RDB en parcelle ensoleillée traditionnelle. Cette tendance est semblable aux résultats obtenus sur les Terres de Roumassouze. Au 30/06, nous n'observons plus de différence.

Le Jardin d'Odile

Le développement des pieds de tomates au Jardin d'Odile (Figure 31 ci-dessous) ne décrit pas de schéma distinct en fonction des modalités pour les deux variétés. La NDC serait peut-être un peu plus précoce en modalité « A » jusqu'à la mise à fruit et ensuite retardée sur le mûrissement du fruit. Cette même tendance peut être observé sur la RDB en modalité « C ». Encore une fois, pour cette exploitation, le dispositif mis en place ne permet pas d'étudier avec précision le comportement de la culture.

Figure 31: Développement des pieds de tomates à travers le temps par modalité et pour chaque variété en 2016 au Jardin d'Odile

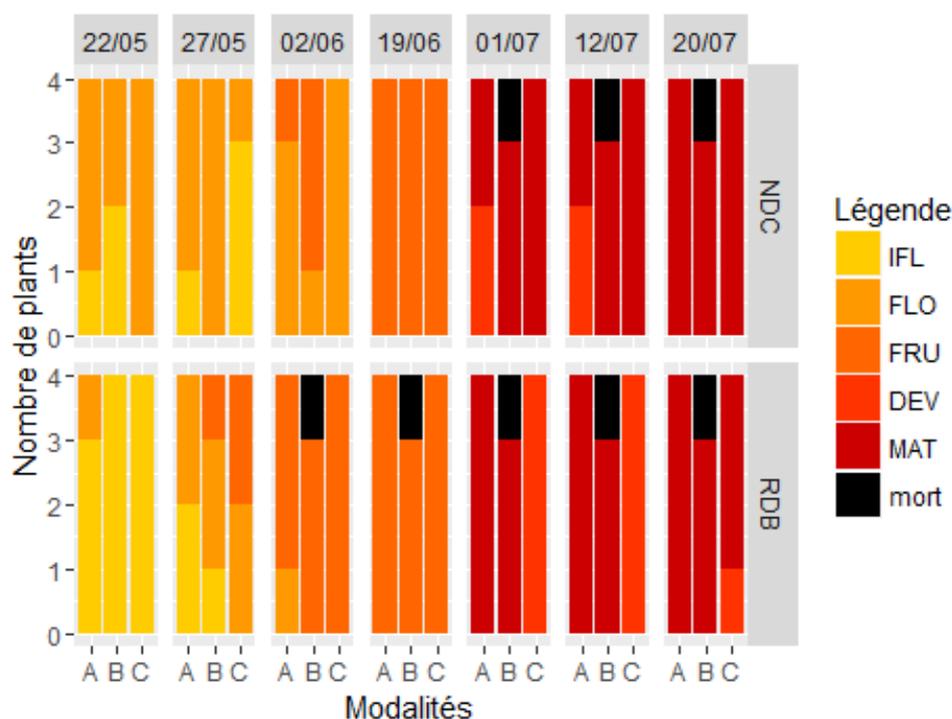


Figure 32: Longueur moyenne d'un entrenœud de plant de tomate sur les Terres de Roumassouze en 2016 en fonction de la variété et de la modalité (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

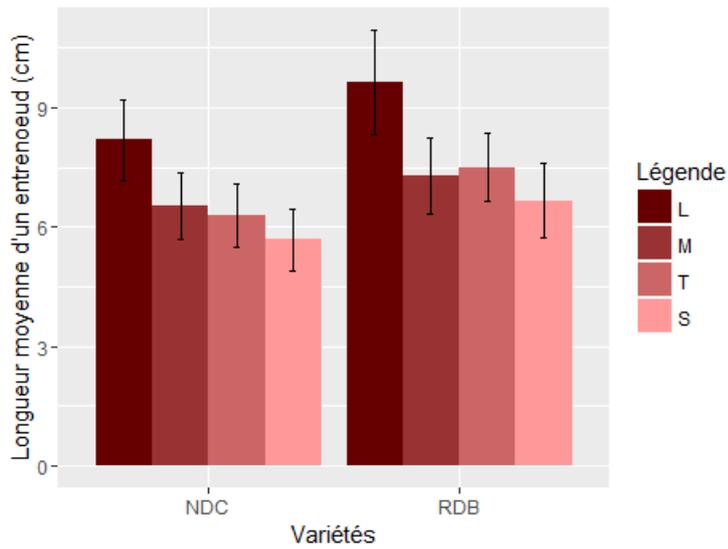


Figure 33: Longueur moyenne des entrenœuds par variété et par modalité au Boulidou en 2016

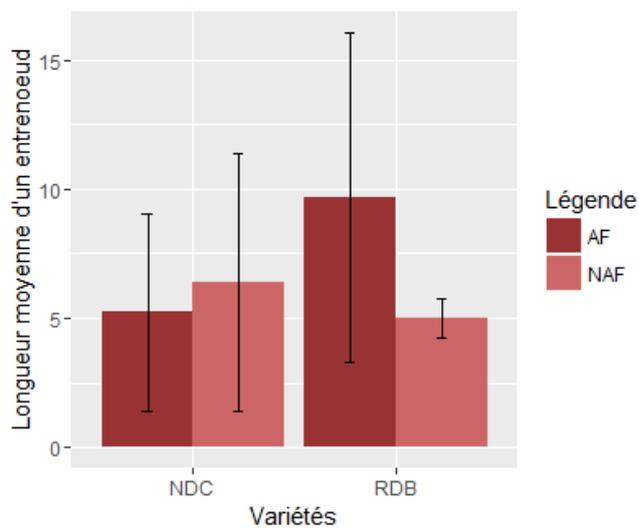
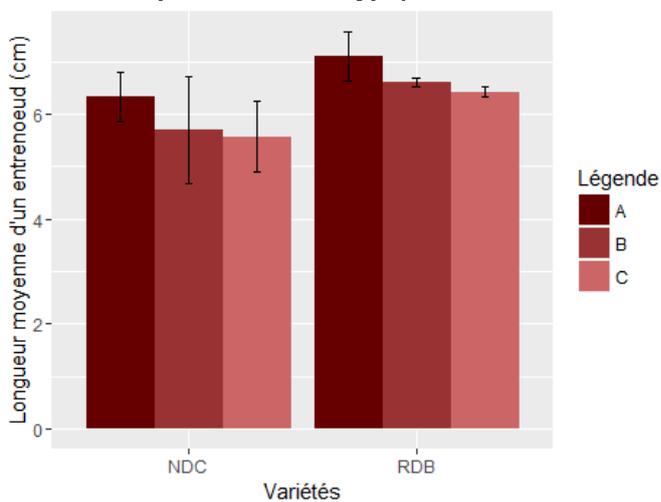


Figure 34: Longueur moyenne d'un entrenœud de plant de tomate au Jardin d'Odile (barres d'erreur indiquant les écart-type)



b. Croissance

Les Terres de Roumassouze

La longueur moyenne des entrenœuds de pied de tomate (Figure 32) révèle tout d'abord la différence variétale. Les pieds de NDC sont plus petits que ceux de RDB. Cependant, les deux variétés évoluent de la même façon en fonction des modalités. Les entrenœuds s'allongent significativement avec la fermeture du milieu tel que $S(5,68 \pm 1,54(c)) < T(6,30 \pm 1,86(b)) = M(6,52 \pm 1,84(b)) < L(8,19 \pm 1,74(a))$ pour la NDC et $S(6,65 \pm 1,85(c)) < T(7,49 \pm 1,96(b)) = M(7,27 \pm 1,98(b)) < L(9,64 \pm 2,61(a))$ pour la RDB. La longueur de l'entrenœud moyen passe de 5,68 cm à 8,19 cm pour la NDC et de 6,65 cm à 9,64 cm pour la RDB.

Le Boulidou

La longueur de l'entrenœud moyen des tomates au Boulidou est présenté Figure 33. La différence est tout d'abord variétale, comme vu sur le site pilote, les NDC sont plus petits que les RDB. Cependant, Les entrenœuds sont effectivement plus longs en agroforesterie pour la RDB ($9,68 \text{cm} \pm 6,41(a)$) qu'en témoin ($5,01 \text{cm} \pm 0,76(b)$) mais la NDC donne le résultat contraire avec $5,12 \text{cm} \pm 5,23(b)$ en agroforesterie et $6,25 \text{cm} \pm 6,38(a)$ en témoin. Ces données présentent des écarts-types tellement élevés qu'il faut prendre ces résultats avec grande prudence.

Le Jardin d'Odile

Comme sur les Terres de Roumassouze, on peut identifier Figure 34 la différence variétale, la longueur de l'entrenœud moyen de NDC étant plus petite que celle de la RDB. L'entrenœud moyen des NDC n'est pas impacté par la distance à l'arbre ($p\text{-value}=0,326$). Pour la RDB, il n'y a pas d'effet de la distance à l'arbre puisque « A » = « B » et « B » = « C » (les buttes de cultures présentes en « A » et « C » étant à la même distance de l'arbre). Par contre la longueur de l'entrenœud de « A » > « C ». Un autre facteur induit donc la taille de l'entrenœud.

c. Performance agronomique

A ce stade de culture, seul l'indicateur de capacité maximale de production peut être étudié.

Les Terres de Roumassouze

Cette capacité est caractérisée par le nombre de fleurs par plant accumulé jusqu'au 5 août. On peut voir sur la figure 35 page suivante que la capacité maximale de production est plus élevée en plein soleil que sur les modalités agroforestières pour la NDC. Pour la RDB, la figure illustre une capacité de production qui s'accroît avec l'ouverture du milieu.

Figure 35: Capacité maximale de production de tomates par variété et par modalité sur les Terres de Roumassouze en 2016 (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

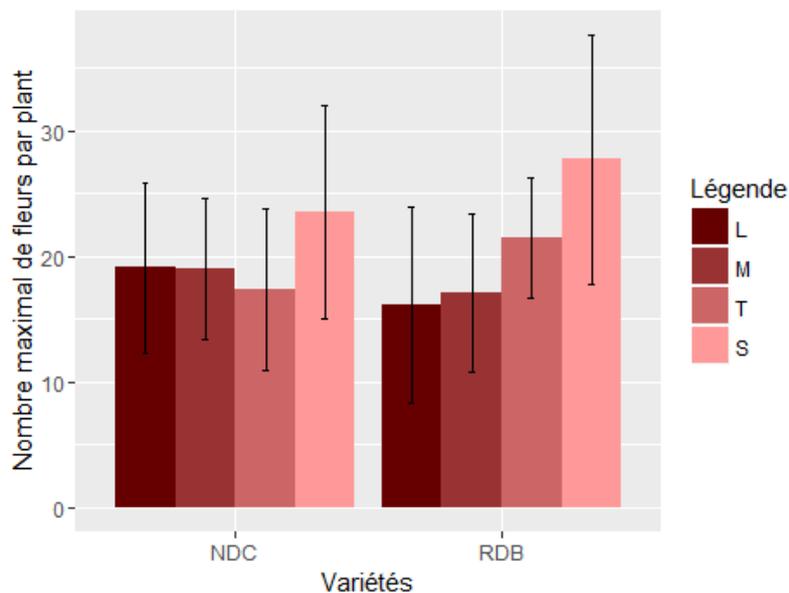


Figure 36: Nombre de fleurs moyen par pied de tomate au Boulidou en 2016 (barres d'erreur indiquant les écarts-types)

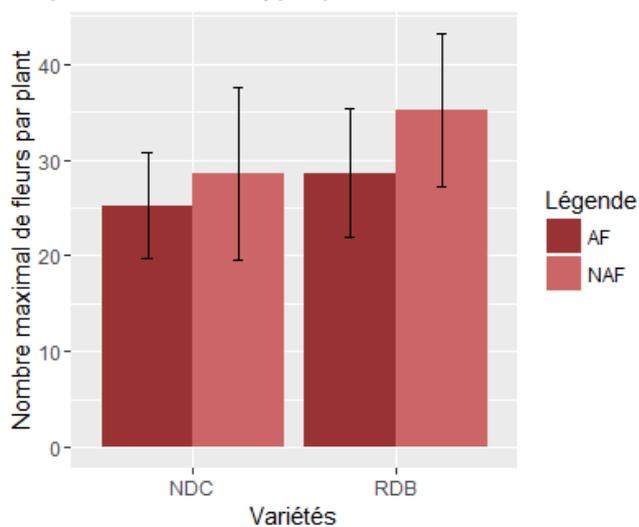
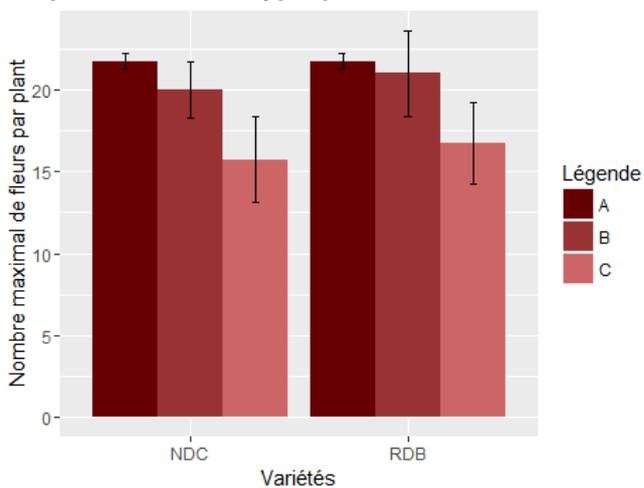


Figure 37: Capacité maximale de production de tomates au Jardin d'Odile (barres d'erreur indiquant les écarts-types)



Ces différences se sont confirmées significatives. La capacité maximale de production de la NDC évolue tel que $S(23,56) > L(19,08) = M(18,97) = T(17,36)$ ($p\text{-value} = 8,75e-4$) et celle de la RDB, $S(27,71) > T(21,45) > M(17,10) = L(16,13)$ ($p\text{-value} = 9,82e-10$).

Le Boulidou

L'accumulation des nouvelles fleurs chaque semaine a été répertoriée jusqu'au 7 juillet. On peut observer Figure 36 les mêmes tendances au Boulidou que sur le site pilote avec une capacité maximale de production moindre en agroforesterie chez les deux variétés. Le nombre de fleurs varie entre $25,1 \pm 5,52$ et $29,0 \pm 9,0$ pour la NDC et de $28,9 \pm 6,7$ à $35,2 \pm 8,0$ pour la RDB.

Le Jardin d'Odile

La capacité maximale de production est caractérisée sur ce site par l'accumulation du nombre de fleurs par pied de tomate jusqu'au 20 juillet (Figure 37). Les deux variétés répondent de la même façon. On ne peut dégager de conclusions à propos des tomates sur ce site en rapport avec le microclimat imposé par les arbres.

Le tableau 7 de la page suivante résume les indicateurs mesurés sur tomates sur le site pilote avec pour chacun d'entre eux, la moyenne, la p-value et le groupe statistique.

Tableau 7: Résumé des indicateurs mesurés sur les tomates sur les Terres de Roumassouze en 2016

	Indicateur	Variété	Elagué	Emondé	Têtard	Témoin	p-value
Développement	Stade 7 feuilles au 09/06 (%)	NDC	77,5	73,7	80	82	0,831
		RDB	55	55	75	76,3	0,061
	Stade floraison au 23/06 (%)	NDC	47,5	52,6	70	56,4	0,213
		RDB	15 (b)	10 (b)	60 (a)	73,7 (a)	7,902e-11
	Stade fructification au 30/06 (%)	NDC	2,5 (d)	13,5 (c)	50 (a)	35,9 (b)	2,846e-6
		RDB	2,5 (c)	15 (b)	72,5 (a)	76,3 (a)	2,409e-15
	Stade maturité au 05/08 (%)	NDC	2,5 (c)	0 (c)	17,9 (a)	7,7 (b)	0,0116
		RDB	0 (c)	10 (b)	42,1 (a)	42,1 (a)	7,89e-7
Croissance	Longueur moyenne d'un entrenœud au 05/08 (cm)	NDC	8,19 (a)	6,52 (b)	6,30 (b)	5,68 (c)	2,2e-16
		RDB	9,64 (a)	7,27 (b)	7,49 (b)	6,65 (c)	2,2e-16
Performance	Capacité maximale de production au 05/08 (nb de fleurs/plant)	NDC	19,08 (b)	18,97(b)	17,36(b)	23,56(a)	8,75e-4
		RDB	16,13 (c)	17,10(c)	21,45 (b)	27,71(a)	9,82e-10

IV/ Discussion

A. Les résultats

Pour rappel, la problématique consiste à évaluer l'impact des arbres et de leurs composantes climatiques sur la production légumière en agroforesterie maraîchère. Afin d'y répondre, les différents axes d'études abordés dans les résultats vont maintenant être discutés. Les résultats de la Ferme du Boulidou viennent consolider ceux du site expérimental pilote. Ceux du Jardin d'Odile n'ont pas permis d'accepter ni même de réfuter les hypothèses retenues dû à leur hétérogénéité.

1. Influence du système agroforestier sur le microclimat

Les deux hypothèses de départ concernant la caractérisation du microclimat en fonction des arbres se sont révélées être exactes. En effet, la présence d'arbres crée des conditions d'ombrage, de température et d'hygrométrie différentes en comparaison d'une parcelle ouverte. Les variations d'ouverture de canopée, de température et d'hygrométrie se font savoir à deux échelles de temps. Au niveau saisonnier où le microclimat créé par les arbres varie avec leur développement et au niveau journalier où le microclimat diffère grâce à l'effet tampon que les arbres sont capables d'apporter. Plus le milieu est fermé, plus les amplitudes de température et d'hygrométrie sont réduites. On peut tirer les enseignements suivants à propos des systèmes agroforestiers :

- Une disponibilité lumineuse maximale moindre qu'en système classique, qui diminue avec la fermeture du milieu.
- Des températures plus froides le jour et plus chaudes la nuit qu'en système ouvert qui diminuent et augmentent respectivement avec la fermeture du milieu. Les arbres ont refroidi l'air ambiant de 3,62°C le jour et réchauffé de 0,91°C la nuit.
- Une hygrométrie plus élevée le jour et moindre la nuit qu'en système ouvert qui augmentent et diminuent respectivement avec la fermeture du milieu. Les arbres ont rafraîchi l'air de 6,41% le jour et asséché de 3,79% la nuit.

Ces résultats sont en accords avec ceux de Chen et al.,(1999) (- 2,27°C le jour et +1,59°C la nuit), Morecroft et al. (1998) et Lin (2007). Tous ont observé les mêmes tendances que dans notre étude, c'est-à-dire des températures plus faibles et une hygrométrie plus élevée en agroforesterie avec un effet tampon qui réduit les

Tableau 8: Résumé des impacts des arbres sur les cultures légumières en 2016

			Site pilote			Site satellite
	Indicateurs	Cultures	L	M	T	AF
Développement	Précocité	Salade	-	-	+	na
		Tomate	-	-	+	=
Croissance	Longueur d'un entrenœud	Tomate	+	+	+	+
Performance	Production brute	Salade	-	-	+	na
	Capacité de production	Tomate	-	-	-	-

extremums moyens. A noter que ce sont bien les tendances qui sont identiques et non les résultats chiffrés, le choix des arbres et la topographie du terrain notamment étant différents. Les tendances obtenues cette années sont les mêmes que l'année dernière mais l'ouverture de canopée s'est réduite sur les modalités agroforestières, les arbres n'ayant pas été retaillés. Par exemple, en têtard, cette modalité disposait de 60% de lumière en juillet alors qu'en 2016, l'ouverture de canopée est de 47,2%. La température et l'hygrométrie en sont aussi impactées. Les écarts de températures avec le témoin l'an dernier étaient de 2°C pour « élagué », 1,5°C pour « émondé » et 0,5°C pour « têtard ». L'écart s'est donc creuser avec le développement des arbres.

2. Influence du système agroforestier sur les cultures de salades et tomates

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons affirmer que le système agroforestier influence le comportement des cultures légumières de salades et de tomates. Le tableau 8 page ci-contre résume les résultats du site pilote et de la ferme du Bouldou en fonction des témoins respectifs.

a. Le développement

Notre hypothèse était que le système agroforestier induisait un retard de développement des cultures. Cette hypothèse se vérifie en effet pour les parcelles les plus ombragées. Par contre, à faible ombrage, les salades et les tomates NDC se développent plus rapidement. La RDB arrivent aussi vite à maturité en plein soleil qu'à faible ombrage. Donc plus la lumière est disponible, plus les cultures arrivent à maturité rapidement jusqu'à un optimum qui est, ici, de 47% de lumière.

Pour les tomates, la diminution de la température en élagué et émondé est trop importante pour permettre un développement aussi rapide qu'en plein soleil. Ce sont les mêmes conclusions que Van der Ploeg et Heuvelink (2005). Par contre, il semblerait que, dans le cas de notre étude, cette affirmation se relativise en parlant plutôt de seuil de température pour lequel la précocité est retardée.

D'autre part, les résultats 2016 sur tomates ne sont pas en adéquation avec ceux de 2015. L'année dernière, les tomates plein soleil étaient arrivées avant les tomates en agroforesterie même en têtard.

b. La croissance

L'hypothèse de modifications physiologiques des légumes est validée par l'expérience sur salades comme sur tomates. En effet, le microclimat imposé par les arbres change la dynamique de croissance des légumes.

Les salades Blondes maraîchères, à port dressé ont une croissance classique sur les parcelles les plus ensoleillée (T et S), c'est-à-dire, une croissance verticale rapide dans un premier temps puis plus lente à l'horizontale. Or, sur les modalités les plus ombragées, la croissance est d'abord horizontale puis verticale et ne rattrape jamais celle des salades sur les modalités les plus ensoleillées. Pour la Biscia Rossa, salade à couper donc au port plutôt étalé, la croissance est d'avantage horizontale que verticale sur les modalités les plus ensoleillées. Le phénomène inverse a été observé sur les modalités les plus ombragées. L'ombre des arbres modifie la stratégie de pousse des salades.

La différence entre le plein soleil et le faible ombrage, ici à 52,8%, s'explique par l'augmentation de l'efficacité d'interception lumineuse des salades. Marron et al. (2013) explique ce phénomène par l'accroissement de la surface foliaire.

Pour les tomates, les deux variétés réagissent de la même façon. Plus l'ombrage est important, plus la longueur des entrenœuds augmentent. La plante s'étirole de façon à capter la lumière. L'expérience de Runkle et Heins (2002) va aussi dans ce sens. Les résultats 2016 viennent confirmer ceux de 2015 qui montraient une longueur moyenne des entrenœuds telles que **S**(1,93cm(c)) <**M**(2,42cm(b)) =**T**(2,84cm(b)) <**L**(3,66(a)).

c. Etat sanitaire de la culture de salades

L'hypothèse de départ qui soupçonnait les modalités agroforestières plus sensibles aux dégâts sanitaires s'est dévoilée exacte à propos des dégâts d'origines biologiques. De fait, l'augmentation de l'hygrométrie sous les arbres favorise la présence et/ou l'activité des ravageurs connus sur le site : limaces et campagnols.

Par contre, pour les dégâts d'origines physiologiques, on a observé le phénomène de montaison particulièrement en modalités agroforestières à fort ombrage : 100% des salades ont monté en élagué et émondé. Par conséquent, la diminution de l'ouverture de canopée, de la température et l'augmentation de l'hygrométrie ont favorisé la montaison des salades. Ce phénomène est difficilement explicable mais comme les échantillons de salades en fin de cycle ne nous ont permis de réaliser une analyse statistique fiable, peut-être qu'il n'y pas de différence avec les autres modalités plus ensoleillées où un grand nombre de salades ont aussi monté.

d. Performance des cultures légumières

Les résultats de production brute de salades viennent confirmer l'hypothèse de départ. En effet, la production de laitues a augmenté avec la fermeture du milieu

jusqu'à un optimum. L'optimum est ici atteint en modalité têtard comme l'année dernière. C'est tout à fait en accord avec les résultats de Runkle et Heins (2002) qui ont observé des rendements égaux ou supérieurs au système traditionnel lorsque les salades sont ombragées à 50% et 70%. Les rendements très bas malgré une production brute normale (au moins pour la modalité têtard) s'explique par l'excessive présence de limaces cette année et une gestion de ces ravageurs peu adaptée à la situation.

Le retard de la production de tomates ne nous a pas permis d'étudier les rendements mais seulement la capacité maximale de production à travers l'étude du nombre de fleurs par pied de tomates. Cette capacité de production est bien supérieure quand l'ouverture de canopée et la température augmente ainsi que l'hygrométrie diminue. A partir de là, on pourrait s'attendre à ce que les pieds de tomates en plein soleil aient de meilleurs rendements. Cependant, nous savons que la baisse de la température est particulièrement propice à la fructification (Rylski (1979), Adams et al. 2001)). La proportion de fleurs coulées en plein soleil sera probablement un facteur de plus faible rendement en plein soleil par rapport aux modalités agroforestières ainsi que la qualité des fruits, comme observé les années précédentes.

Au vu de ces résultats, nous ne pouvons pas tirer de conclusions hâtives sur la faisabilité de la production maraîchère en agroforesterie. En effet, les rendements de salades ont été tellement bas cette année sur toutes les modalités. Pour les tomates, l'étude sera particulièrement intéressante en fin de saison. Néanmoins, les résultats de production brutes de salades sont accords avec les rendements observés l'année dernière. Un faible ombrage serait de fait propice aux cultures légumières. De plus, cette année 2016 aura été le support de création de références qui permettent de mieux comprendre le comportement des cultures dans le domaine de la physiologie de la plante et une bonne année pour étudier les dégâts des cultures.

Si la modalité où les arbres ont été éêtés favorise la pratique des cultures légumières, on peut se demander si cette pratique représente un compromis intéressant pour limiter la compétition lumineuse à un certain âge et avoir des productions secondaires comme dans ce cas sur les Terres de Roumassouze le BRF et le bois de chauffage.

B. Les limites

1. Du contexte de l'étude

Pour commencer, les sites satellites sont présents uniquement pour valider ou modérer les résultats obtenus sur le site pilote que sont les Terres de Roumassouze. De fait, les dispositifs et protocoles qui y sont associés ne permettent pas de tirer de conclusions fiables. Au Bouldou, les arbres sont trop diversifiés en essences, en taille et surtout implantés de façon très éparse sur le site de production. L'hétérogénéité est donc difficile à appréhender par la suite dans l'analyse des résultats. Au Jardin d'Odile, l'orientation du site est nord-est. Une orientation peu adaptée à la pratique de l'agroforesterie et qui du moins perturbe les comparaisons avec les autres sites. D'autre part, il n'y a pas de parcelle témoin sur ce site. Nous obtenons donc des résultats de production en agroforesterie que nous ne pouvons pas comparer à un système classique soumis aux mêmes conditions environnementales et mêmes pratiques culturales. Il serait intéressant de poser une sonde pour la mesure du microclimat à l'extérieur des parcelles agroforestières en guise de témoin. Sur le site pilote, les modalités « émondé » et « élagué » sont aux frontières du dispositif expérimental. D'un côté, la modalité « émondé » est proche d'un arboretum de multiples espèces de haut-jet et de l'autre la modalité « élagué » est à côté d'une parcelle plein soleil. Ces deux modalités ne sont donc pas exposées de la même façon aux vents ni soumises au même rayonnement indirect. Ces effets bordures, bien qu'amoindrie au maximum (taille des premiers arbres de l'arboretum en émondé) ont probablement eu un effet sur le murissement des tomates par exemple plus ou moins exposées à la lumière. Ces disparités font tout de même la force du projet participatif, l'expérimentation est menée sur l'exploitation d'un agriculteur ce qui implique une réalité de terrain indéniable. La caractérisation du microclimat pourrait tout de même être améliorée avec la mise en place de stations météo qui serait plus précise dans les mesures et surtout qui apporterait plus d'informations climatologiques comme la pluviométrie, la vitesse du vent et surtout, le PAR (Photosynthetic Active Radiation)

Ensuite, les variétés choisies pour l'expérimentation sont des variétés populations pour être en accord avec les valeurs que portent les agriculteurs. L'hétérogénéité variétale a de fait toute son importance dans les écarts observés au sein d'une même modalité et d'une même variété dans l'analyse du comportement des cultures.

Aussi, l'étude de la culture de salades s'est limitée à la butte 1, butte proche de l'arbre. Le faible échantillonnage (18 salades de chaque variété étudiée) amoindrit de toutes les salades mortes au cours du cycle n'est pas assez robuste pour définir des résultats fiables statistiquement. Les tendances que nous relevons génèrent cependant de nouveaux échanges entre partenaires et restent malgré tout scientifiques, propices à l'alimentation de références techniques.

D'autre part, de manière générale, les itinéraires de cultures engagés sur les sites de production sont assez atypiques des itinéraires de culture traditionnels. Par exemple, sur le site pilote, la fertilisation serait assurée par les apports de BRF, la présence des arbres et par la non-perturbation de l'activité biologique en limitant le travail du sol. De plus, à cause d'une surcharge de travail excessive, certaines opérations culturales primordiales (en particulier, le désherbage et la taille des pieds de tomates) n'ont pas été réalisées à temps. Les résultats observés en termes de production et rendement sont donc à relativiser. C'est tout l'enjeu de la recherche participative : trouver le bon compromis entre les prises de décision de l'agriculteur et celles de l'expérimentateur dans un objectif commun. Il serait pertinent de mettre en place un groupe de travail regroupant plusieurs maraîchers en AB de la région pour dégager les pratiques culturales les plus courantes afin de pouvoir valoriser d'autant plus les observations.

2. De l'analyse des résultats

Tous les indicateurs n'ont pu être analysés par manque de temps et de concision du mémoire par rapport à la totalité de l'étude. A propos du microclimat, l'indicateur d'ouverture de canopée a manqué de précision. Il aurait été intéressant de comparer la température et l'hygrométrie heure par heure. Cette analyse aurait mis en valeur la rapidité de réchauffement et de refroidissement de l'atmosphère en fonction de la morphologie de l'arbre. L'étude des maximums et minimums aurait été pertinente. On sait en effet que les cultures ont des seuils de températures au-delà desquels elles sont en stress thermique qui implique différents dégâts. Les arbres ont probablement le pouvoir d'atténuer ses stress. Du coup, une analyse des corrélations entre microclimat et comportement des cultures légumières aurait été particulièrement appropriée. Les corrélations identifiées auraient pu être quantifiées à travers une analyse statistique poussée afin de calculer la part explicative du microclimat sur les cultures. Aussi, l'analyse de la température et de l'hygrométrie aurait mérité d'être analysée en fonction de la nébulosité. Dans notre analyse mensuelle, les données

météorologiques sont lissées. Une mesure de jours ensoleillé et nuageux avec une notation en gradient aurait permis d'être plus précis et pourquoi pas d'expliquer certains phénomènes culturaux plus facilement ou du moins avec plus de précision.

C. Les perspectives

Il serait opportun d'étudier les conditions d'alimentations des végétaux en associant une étude aérienne des cultures et une étude souterraine sur la dynamique de croissance racinaire des arbres notamment à propos du partage des ressources en eau.

Une autre perspective d'évolution a été amorcée par la réalisation de premiers essais de mesure en 3D des arbres grâce au scanner LIDAR qui se sont révélés pertinents, une façon de modéliser le développement de l'arbre. La modélisation en agroforesterie est en effet un outil particulièrement intéressant. De fait, les systèmes agroforestiers sont figés dans le temps et dans l'espace. La modélisation du comportement des cultures en fonction du système agroforestier serait un atout de taille pour la recherche. Certains auteurs comme Gary et al. (2003) se sont déjà penchés sur la modélisation de la culture de tomate sous serre et en plein champs avec des données recueillies en Martinique et au Chili grâce au logiciel STICS (version 5). Forcément, la modélisation impliquerait que les agriculteurs utilisent des variétés hybrides pour limiter toute hétérogénéité génétique au sein de la même variété. Cette dernière version offre un cadre général de simulation des bilans d'eau et d'azote dans le système sol-culture, la possibilité de simuler des successions culturales et de simuler un schéma de développement basé sur une floraison étalée dans le temps. Il sera tout à fait possible par la suite de coupler le modèle obtenu avec un modèle arbre (obtenu grâce aux données LIDAR). Cette association débouchera sur un modèle agroforestier tel que Hi-Safe, déjà en place pour les cultures de maïs et blé en agroforesterie qui permet de déterminer l'impact des systèmes agroforestier (essence, aménagement) dans le temps sur la production de la culture en fonction des itinéraires de culture engagés et des conditions pédoclimatiques associées.

Des perspectives envisageables seulement après avoir réalisé un bilan des trois années du projet Arbratatouille. Ce sera l'occasion d'analyser tous les indicateurs avec autant de précision possible au cours des années successives. 2017 sera donc l'année où la discussion entre Agroof, l'INRA PSH et les agriculteurs impliqués sera

orientée sur le bilan technique et celui de la méthode participative de l'expérimentation. Il s'agira de redéfinir le cadre de l'étude, d'une part pour mettre en adéquation les projets respectifs des agriculteurs avec le projet Arbratatouille, d'autre part, pour redélimiter leur implication dans au sein du projet, surtout en termes de temps passé.

VI/ Conclusion

L'objectif de l'étude présentée consiste à comprendre l'impact du microclimat créé par les arbres sur les cultures de salades et tomates AB en agroforesterie en zone méditerranéenne. Pour atteindre ce but, la caractérisation des microclimats agroforestiers ainsi que celle du comportement des cultures ont été réalisées grâce à une expérimentation végétale en système de culture innovant sous une approche participative, Arbratatouille.

Cette expérimentation a su répondre en partie aux questionnements de l'étude. En effet, en fonction de leur morphologie, les arbres créent des conditions microclimatiques différentes qui influencent le comportement des cultures légumières (développement, croissance, état sanitaire, performance). La présence d'arbres diminue la disponibilité en lumière et réduit les amplitudes journalières thermique et hygrométrique. La fermeture du milieu serait favorable à la production de salades et tomates jusqu'au seuil d'ombrage optimum de 53%.

De par le caractère participatif de l'étude, la difficulté principale réside dans le fait de trouver le bon compromis entre les choix et valeurs des agriculteurs et les besoins de l'expérimentation. Mais c'est aussi ce caractère qui fait toute la force du projet et son intérêt. En effet, c'est une approche système au plus près des contraintes de réalités de terrain des maraîchers.

Les résultats obtenus sont en accords avec ceux de l'année passée. On pourrait imaginer une suite de projet en rapport avec la vie souterraine des systèmes agroforestiers notamment sur le partage de la ressource en eau, ressource qui demande une attention particulière en zone méditerranéenne. La modélisation de ses systèmes est aussi une perspective d'évolution intéressante pour la recherche, un outil qui rendrait les agroécosystèmes agroforestiers mobiles dans le temps et dans l'espace.

Bibliographie

Adams, Cockshull et Cave, 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits, *Annals of Botany* 88 n°5, 869-877 p.

Adenle, Azadi, Arbiol, 2015. Global assessment of technological innovation for climate change adaptation and mitigation in developing world, *Journal of environmental management*, 261-275 p.

AFAF, 2014. La nouvelle Politique Agricole Commune: une opportunité pour développer l'agroforesterie, 8 p.

AFAF, 2015, L'agroforesterie, qu'est-ce que c'est ?, <http://www.agroforesterie.fr> consulté le 8/03/2016

AgenceBio, 2015. La bio dans les territoires, les carnets de l'Agence Bio, 70 p.

Agreste, 2016. Surfaces, productions, rendements des légumes, résultats 2014 définitifs et 2015 semi-définitifs, <http://agreste.agriculture.gouv.fr> consulté le 12/06/2016.

Agrooof, 2009. Agroforesterie : Définitions et perspectives, <http://www.agrooof.net> consulté en avril 2016

ALAADRAH, 2015. L'appui au développement des agricultures respectueuses de l'environnement par le conseil et la vulgarisation agricoles. [Univ works] auto-saisine, 33 P.

Ambroise, Bonneaud, Brunet-Vinck, 2001. Paysage et agriculture: un nouveau projet, *Aménagement et nature* n°141, 29-42 p.

Bansept, 2013a. Eau et forêt première partie : L'influence des arbres sur la quantité des eaux, *Revue forestière française* LXV 2, 145-162 p.

Bansept, 2013b. Eau et forêt Deuxième partie : l'influence des arbres sur la qualité des eaux, *Revue forestière française* LXV 3, 207-220 p.

Blanco, Eby, Edmonds, Fleurbaey, Gerlagh, Kartha, Kunreuther, Rogelj, Schaeffer, Sedláček, Sims, Ürge-Vorsatz, Victor, Yohe, 2014. Résumé à l'intention des

décideurs de la synthèse du 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, <http://www.developpement-durable.gouv.fr> consulté en mai 2016.

Cardinael, Chevallier, Bartgès, Saby, Parent, Dupraz, Bernoux, Chenu, 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon – A case study in a Mediterranean context, *Geoderma*, 288-299 p.

CGIAR, 2014. Pour une agriculture intelligente face au changement climatique au Sénégal : Recueil de bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation, Document de travail n°85, 180 p.

Chen, Saunders, Crow, Naiman, Brosofske, Mroz, Brookshire et Franklin, 1999. Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology: Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes, *BioScience* Vol. 49-4, 288-298 p.

Coulon, Dupraz, Liagre, Pointereau, 2000. Etude des pratiques agroforestières associant des arbres fruitiers de haute tige à des cultures ou des pâtures, Solagro-INRA, 203 p.

Diemer, Marquat, Castagnet, 2015. Les prémisses d'un modèle alimentaire plus solidaire et plus durable, *Archives ouvertes*, 135-160 p.

Dupraz et Capillon, 2005. L'agroforesterie : une voie de diversification écologique de l'agriculture européenne ?, *Cahier d'étude DEMETER*, 11 p.

Dupraz et Liagre, 2011. *Agroforesterie*, Editions France agricole, 432 p.

Dupraz, Fournier, Balvay, Dauzat, Pesteur, Simorte, 1999. Influence de quatre années de culture intercalaire de blé et de colza sur la croissance de noyers hybrides en Agroforesterie, *Bois et Forêts des agriculteurs*, Actes du colloque de Clermont-Ferrand 20 et 21 octobre 1999, CEMAGREF Editions, 95-114 p.

e-phy, 2016. Catalogue des usages actuels. <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/usa/filac.htm>, consulté le 1/06/2016.

Ercan et Vural, 1994. The effects of low temperatures on fruit set of tomatoes. *Acta Horticulturae* 366, 65-72 p.

Fournier, 2002. L'agroforesterie du Domaine de Restinclière (Hérault) : une expérience originale au service des professionnels du bois et de l'agriculture, Forêt méditerranéenne XXIII n°4, 327 – 331 p.

Fu, Li, Wu, 2012. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield lettuce, Scientia Horticulturae 135, 45-51 p.

Garofalo et Warnier, 1972. Rôle de l'arbre dans le pays de Caux, Revue Forestière Française XXIV 4, 256-268 p.

Guillaumin, Dockès, Tchakérian, Daridan, Gallot, Hennion, Lasnier, Perrot, 2008. Demandes de la société et multifonctionnalité de l'agriculture : attitudes et pratiques des agriculteurs. Courrier de l'environnement de l'INRA n°56, 45-66 p.

Guillerme, Alet, Briane, Coulon, Maire, 2009. L'arbre hors-forêt en France : diversité, usages et perspectives, Revue Forestière Française LXI 5.

Hervieu, 2006. L'agriculture : un secteur stratégique en Méditerranée. 2ème Conférence euro-méditerranéenne sur l'agriculture « Pour une politique agricole rurale euro-méditerranéenne dans un cadre mondialisé ». Parlement européen – Conseil de l'Europe- 28 et 29 septembre 2006, Strasbourg.

Hervieu, Purseigle, 2013. *Sociologie des mondes agricoles*, Paris, Armand Colin, coll. « U Sociologie », 2013, 318 p.

Hurd et Graves, 1985. Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes, Journal of Horticultural Science 60, 359-371 p.

Kawasaki, Tominaga, Yabuta, Watanabe, Jaiphong, Ueno, Kawamitsu, 2015. Responses of growth, photosynthesis and associated components to hypoxia at different light intensities in red leaf lettuce, Scientia Horticulturae 193, 330-336 p.

Le Gruss, 2009. Contraintes et perspectives de développement pour l'Agriculture Méditerranéenne. Partie 1 : stratégie de développement agricole durable en Méditerranée. Symposium international « Agriculture durable en région méditerranéenne (AGDUMED) », Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009, 11-21 p.

Liagre, 2009. Reconsidérer la place de l'arbre en agriculture : le cas de l'agroforesterie, 10 p.

Lorenz et Wiebe, 1980. Effect of temperature on photosynthesis of lettuce adapted to different light and temperature conditions, *Scientia Horticulturae* 13, 115-123 p.

Macary et Bordenave, 2008. Estimation d'un risque environnemental : la contamination des eaux de surface par les intrants agricoles. Application sur les coteaux de Gascogne. Colloque "Vulnérabilité sociétale, risques et environnement", Toulouse.

Marion, 1980. Le brise-vent et les arbres dans le secteur agricole, *Revue Forestière Française* XXXII -4, 389-393 p.

Marrou, Guillioni, Dufour, Dupraz, Wery, 2013. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agric. For. Meteorol.* 177, 117–132 p.

Mérot, 1976. Quelques données sur l'hydrologie de deux bassins versants élémentaires granitiques, bocager et ouvert. Table ronde CNRS « Les bocages » Rennes.

Milano, Reynard, Kolplin, Weingartner, 2015. Climatic and anthropogenic changes in Western Switzerland: Impacts on water stress, *Science of the Total Environment* 536, 12-24 p.

Ministère de l'environnement et des ressources halieutiques, 2015. Plan national d'adaptation aux changements climatiques (PNA) du Burkina Faso, 155 p.

Morecroft, Taylor et Oliver, 1999. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site, *Agricultural and Forest Meteorology* 90, 141-156 p.

Morel et Léger, 2015. Aspirations, stratégies et compromis des microfermes maraichères biologiques, *Agroecology and sustainable Food systems*, 13 p.

Moreno, Obrador, Garcia, 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas, *Agriculture Ecosystems and Environment* 119, 270-280 p.

Nieuwhof, Keizer, Van Oeveren, 1997. Effects of temperature on growth and development of adult plants of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Journal of Genetics and Breeding 50, 185-193 p.

Ouzeau, Déqué, Jouini, Planton, Vautard, 2014. Le climat de la France au XXI^e siècle Volume 4 Scénarios régionalisées : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outres-mer, 62 p.

Palma, Graves, Burgess, Keesman, Keulen, Mayus, Reisner, Herzog, 2007. Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale, Ecological engineering 29, 450-462 p.

Pellerin, Bamière, Angers, Béline, Benoît, Butault, Chenu, Colnenne-David, De Cara, Delame, Doreau, Dupraz, Faverdin, Garcia-Launay, Hassouna, Hénault, Jeuffroy, Klumpp, Metay, Moran, Recous, Samson, Savini, Pardon, 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92p.

Pérez-Lopez, Miranda-Apodaca, Munoz-Rueda, Mena-Petite, 2015. Interacting effects of light and elevated CO₂ on the nutraceutical quality of two differently pigmented *Lactuca sativa* cultivars (Blonde of Paris Batavia and Oak Leaf), Scientia Horticulturae 191, 38-48 p.

Péron, 2006. Références productions légumières, 2e Edition Lavoisier, 613p.

Poissoneau, 2015. Quels sont les effets du système agroforestier et de sa composante microclimatique sur la production, le développement et la croissance des cultures de tomate et laitue ? Mémoire de fin d'études Master 2 Sciences Technologie Santé, 42 p.

Ramachandran Nair et Nair, 2014. « Solid-fluid-gas » : the state of knowledge on carbon-sequestration potential of agroforestry systems in Africa, Current Opinion in Environmental Sustainability 2014, 6:22-27 p.

Randriamampita, 2015. L'agroforesterie en Languedoc-Roussillon, une alternative pour demain ?, Actes de la journée des innovations pour une alimentation durable 2015, 31-37 p.

Rey, Coulombel, Jobbé-Duval, Melliand, Jonis, Conseil, Guide technique "*Produire des légumes biologiques* », Tome 2 : fiches techniques par légume, ITAB, 2015.

Reynolds, Simpson, Thevathasan, Gordon, 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada, *Ecological Engineering* 29, 362-371 p.

Riedacker, 1997. La gestion du couvert végétal et le changement climatique, *Aménagement et nature* 126, 55-70 p.

Runkle et Heins, 2002. Environmental conditions under an experimental near infrared reflecting greenhouse film, *Acta Horticulturae* 578, 181-185 p.

Rylski, 1979. Effect of temperatures and growth regulators on fruit malformation in tomato, *Scientia Horticulturae* 10, 27—35 p.

Serrurier, Miladinovic, Bertrand, 2016. Achats de fruits et légumes frais par les ménages français, *Données 2015*, 7p.

Smith, 2010. Agroforestry : Reconciling production with protection of the environment – A synopsis of research literature, *The Organic research center*, 21 p.

Stancheva, Bencheva, Petkova, Piralkov, 2007. Possibilities for agroforestry development in Bulgaria : Outlook and limitations, *Ecological engineering* 29, 382-387 p.

Terasson, 1994. Agriculture et forêt, de la concurrence à la complémentarité. *Aménagement et nature* 115, 87-93 p.

Thomas et Archambeaud, 2013. *Les couverts végétaux*, Editions France Agricole.

Torquebiau, 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification, *Life science* 323, 1009-1017 p.

Van der Ploeg et Heuvelink, 2005. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review, *Journal of horticultural science and biotechnology* 80, 6, 652-659 p.

Willey, 1979. Intercropping: its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. Part 2. Agronomy and research approaches. *Fields crops abstracts*. 32 (1), (2), 1-10, 73-85 p.

Annexe 1 : *Lactuca sativa* L. Romaine Blonde Maraichère

Date d'inscription au catalogue : 1954

Famille : Asteraceae

Type morphologique : laitue romaine

Hauteur à maturité : 30 cm

Couleur : vert clair et nervures principales blanches

Caractéristiques organoleptiques : pomme allongée non serrée composée de feuilles rigides, épaisses et croquantes légèrement amères

Poids moyen : 300 à 500 grammes

Rendement moyen : 14 têtes/m²

Rusticité : moyenne

Durée du cycle : 60 jours pour les buttes plantées au printemps et 30 jours pour les buttes plantées en été

Particularité : semence population



Nature-corner.fr

Catalogue officiel national des variétés potagères, GEVES, 2015

La culture de la salade bio en Lot et Garonne : une production annuelle. Chambre d'agriculture du lot et garonne

Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB, Fruits et légumes Fiche n°11. FRAB, 2009.

Annexe 2 : *Lactuca sativa* L. *Biscia rossa*

Date d'inscription au catalogue : 1954

Famille : Asteraceae

Type morphologique : laitue à couper, sans pomme véritable, feuilles à limbes plus ou moins fins, à forme de feuille de chêne

Hauteur à maturité : entre 15 et 20 cm

Couleur : vert foncé du collet au cœur et feuilles rouges

Poids moyen : 300 grammes

Rendement moyen : 14 têtes/m²

Rusticité : moyenne

Période de maturité : 60 jours pour les plants de printemps et 30 jours pour les plants d'été

Particularité : semence population, très lente à monter



Kokopelli-semences.be

Catalogue officiel national des variétés potagères, GEVES, 2015

La culture de la salade bio en Lot et Garonne : une production annuelle. Chambre d'agriculture du lot et garonne

Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB, Fruits et légumes Fiche n°11. FRAB, 2009.

Annexe 3 : *Solanum lycopersicum* L. Noire de Crimée

Date d'inscription au catalogue : 2000

Famille : Solanaceae

Forme : gros fruit côtelé légèrement aplati

Couleur : peau et chaire pourpre avec collet vert foncé

Caractéristiques organoleptiques : fruit juteux et charnu sans acidité

Poids moyen : 200 grammes

Nombre moyen de fruit par pied : 15

Rendement moyen : 3 kg/pied

Rusticité : faible, pas de résistance, très sensible aux maladies fongiques en particulier au mildiou

Période de maturité : tardive (à partir de 80 jours)

Particularité : variété population, ancienne



GEVES, 2013



boutique-vegetale.com

Formulaire OCVV de description variétale, Catalogue officiel français des espèces et variétés potagères. Geves, 2013.

Variétés de tomate – Bilan des travaux du GRAB en culture biologique sous abris. Catherine Mazollier, 2009.

Guide pratique – Bien choisir ses variétés. Claude Bureaux, 2013.

Annexe 4 : *Solanum lycopersicum* L. Rose de berne

Famille : Solanaceae

Forme : gros fruit rond

Couleur : rose

Caractéristiques organoleptiques : peau fine, chair dense juteuse et sucrée

Poids moyen : 170 grammes

Nombre de fruit par pied : 20

Rendement moyen : 3,5 kg/pied

Rusticité : faible, pas de résistance, sensible aux troubles physiologiques en particulier au fendillement

Période de maturité : hâtive à mi-saison (entre 55 et 70 jours)

Particularité : variété population, ancienne, non-inscrite au catalogue



boutique-vegetale.com



fungardener.wordpress.com

Variétés de tomate – Bilan des travaux du GRAB en culture biologique sous abris. Catherine Mazollier, 2009.

Guide pratique – Bien choisir ses variétés. Claude Bureaux, 2013.

Annexe 7: Itinéraire de culture de tomates sur la Ferme du Boulidou

Opération culturale	Modalité	Date	Profondeur ou hauteur	Outil	Variété	Nombre de plants	Produit	Dose
Fertilisation	NAF	15-avr	10 cm	pelle			fumier de cheval	
	AF	25-avr	10 cm	pelle			fumier de cheval	
Plantation	NAF	11-mai	15 cm	manuelle	RDB	12		
	NAF	11-mai	15 cm	manuelle	NDC	12		
	AF	25-mai		manuelle	RDB	12		
	AF	25-mai		manuelle	NDC	12		
Couverture du sol	NAF	15-avr	10 cm	pelle			BRF	
	AF	25-avr	10 cm	pelle			BRF	
Irrigation	toutes	tous les jours		goutte à goutte				3L/m ² /jour
Protection phytosanitaire	toutes	mi-avril					purin d'ortie	
	toutes	12-mai					purin d'ortie	
	toutes	19-mai						
	toutes	23-mai						
	toutes	10-juin						
	toutes	05-juil						
Entretien	toutes	fin mai		ficelle				
Récolte	à partir du 13/07							

Annexe 8: Itinéraire de culture de tomates au Jardin d'Odile

Opération culturale	Date	Outil	Variété	Nombre de plants	Produit	Dose
Fertilisation	22 avril				Orga 3 + Bochevo(N=120)	
Plantation	22 avril		NDC/RDB	12x2		
Irrigation	22 et 23/04	Goutte à goutte				1,5L/plant
	27/04 au 15/06 tous les 2 jours	Goutte à goutte				3,5L/plant
	A partir du 19/06 tous les 2 jours	Goutte à goutte				7L/plant
Protection phytosanitaire	12/05				Fer chélaté	30g
	12/05				Huiles essentielles d'orange et sauge	30 gouttes de chaque
	12/05				Savon noir	
Entretien	19/05 : buttage et désherbage	Pelle et manuel				
Récolte	A partir du 19/06					

Annexe 9 : Caractérisation des modalités en fonction de la taille des arbres sur les Terres de Roumassouze



Modalité « élaguée »



Modalité « émondée »

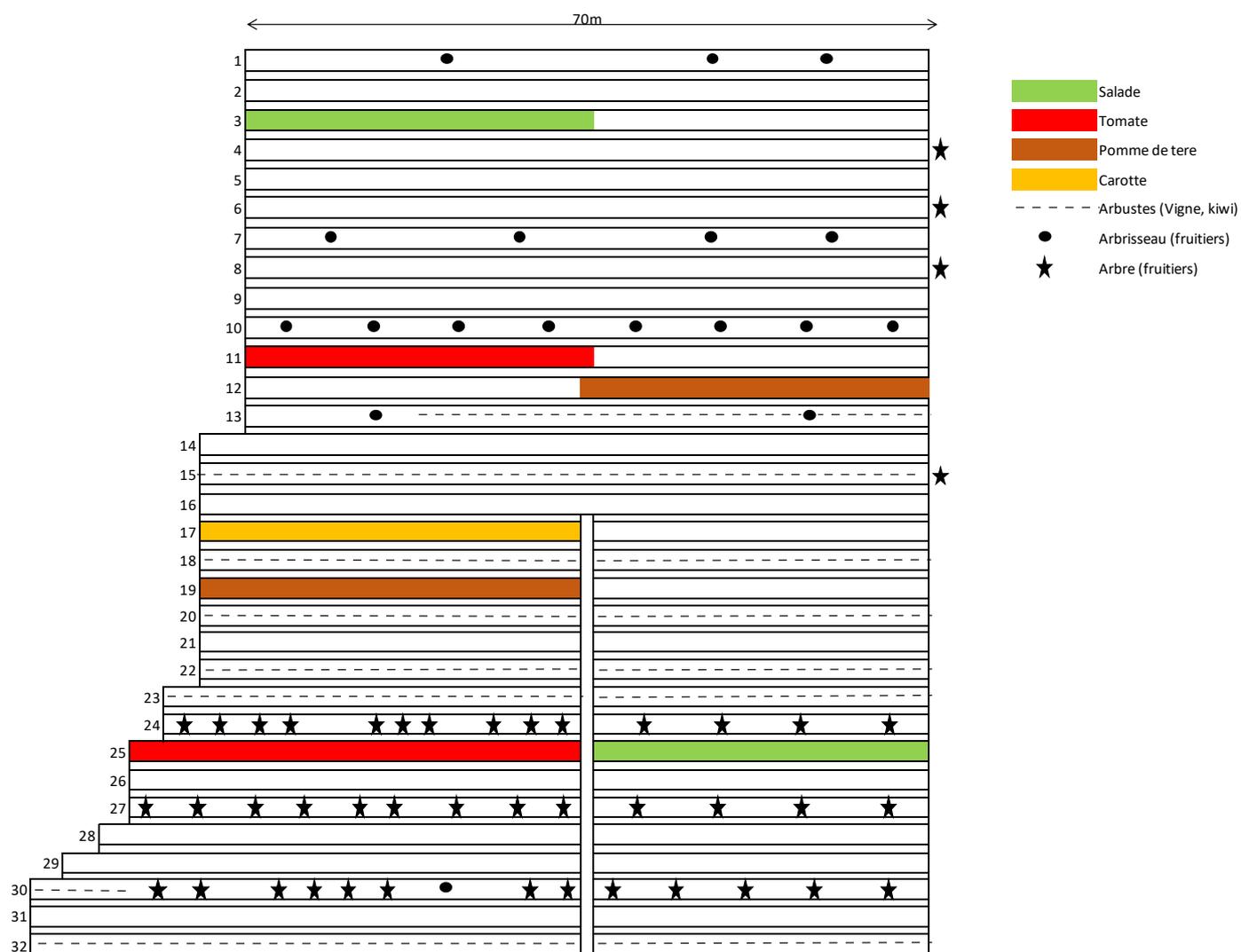


Modalité « têtard »

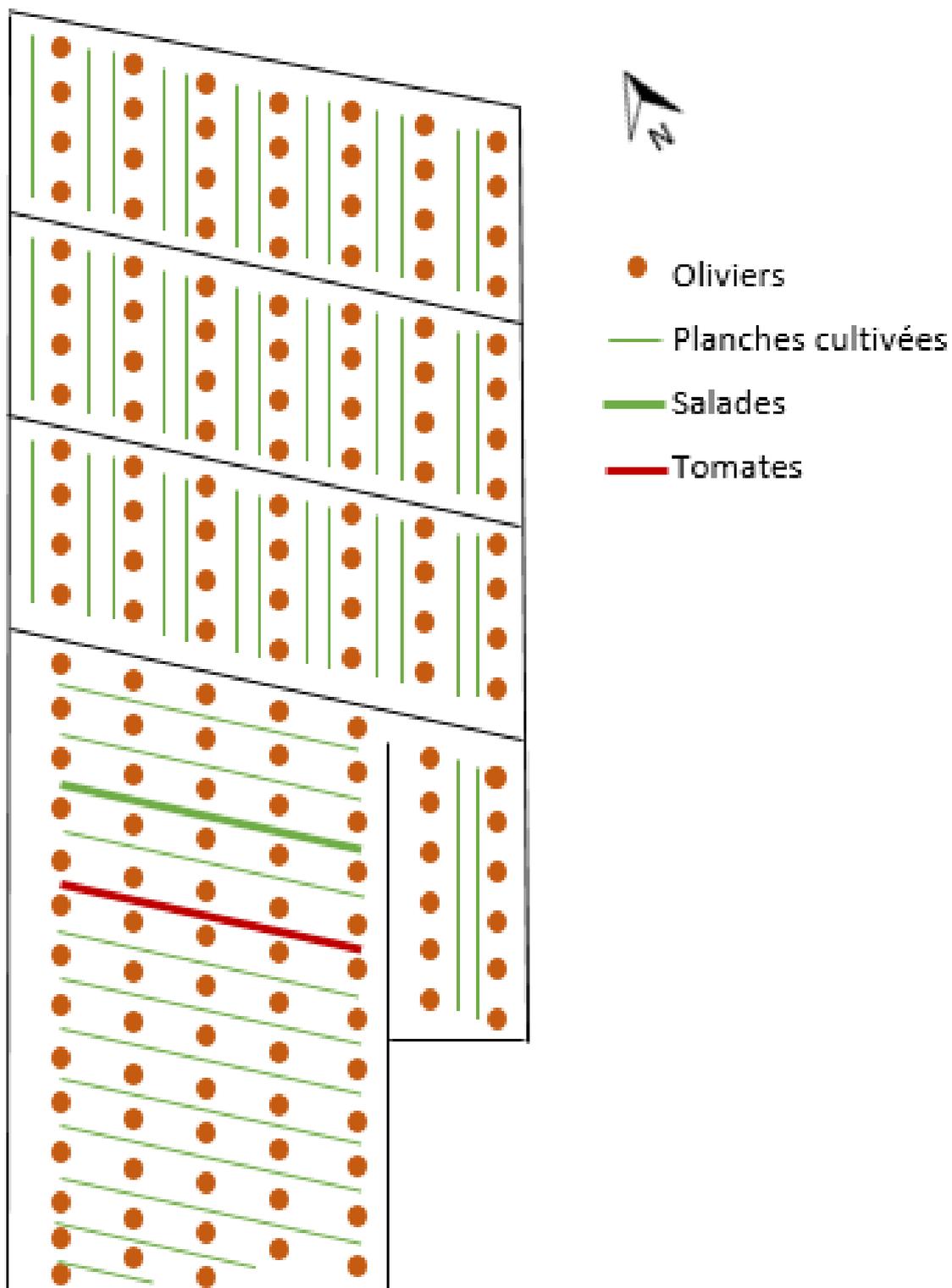


Témoin « Plein Soleil »

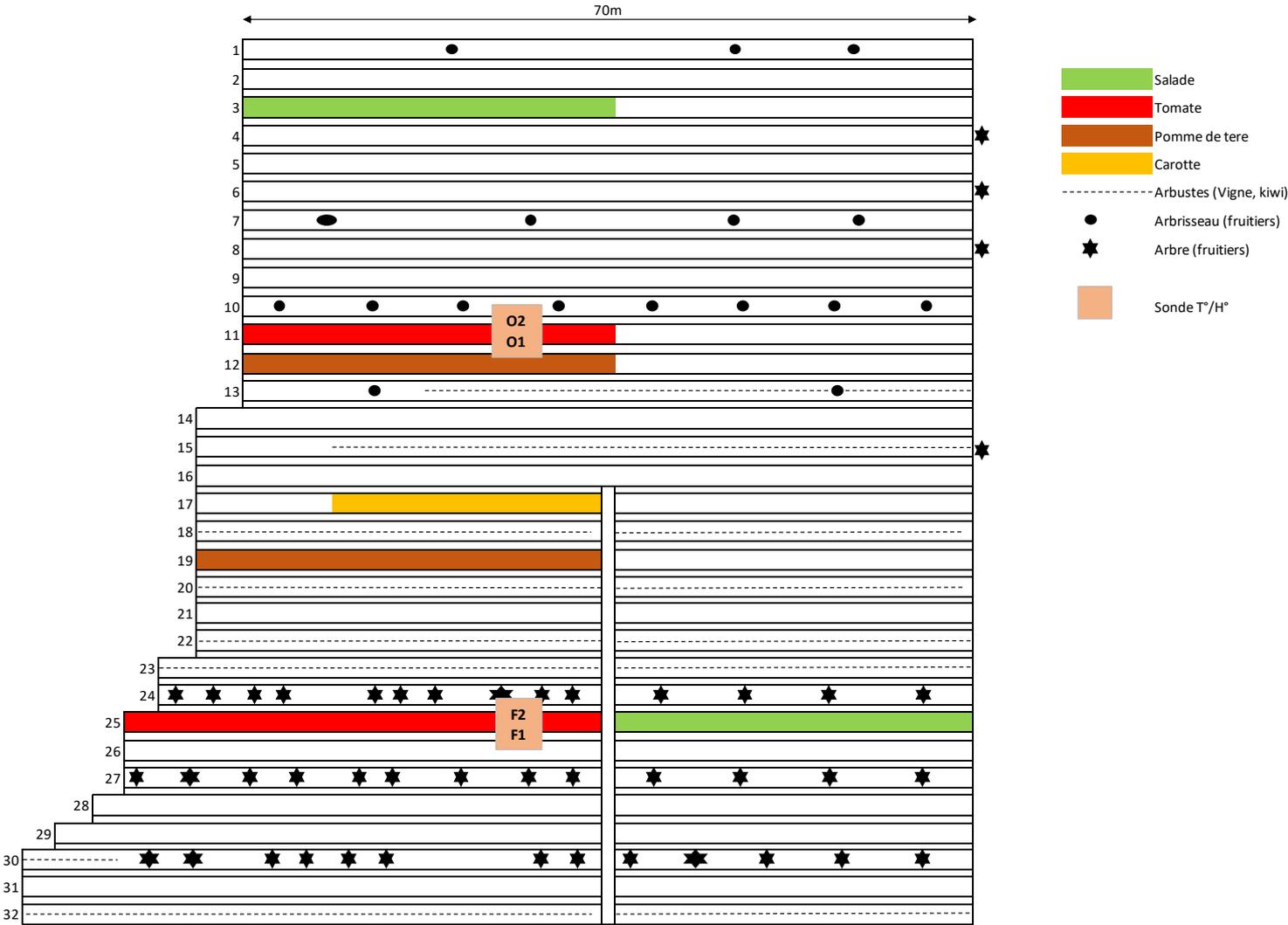
Annexe 10 : Dispositif expérimental général 2016 du Boulidou



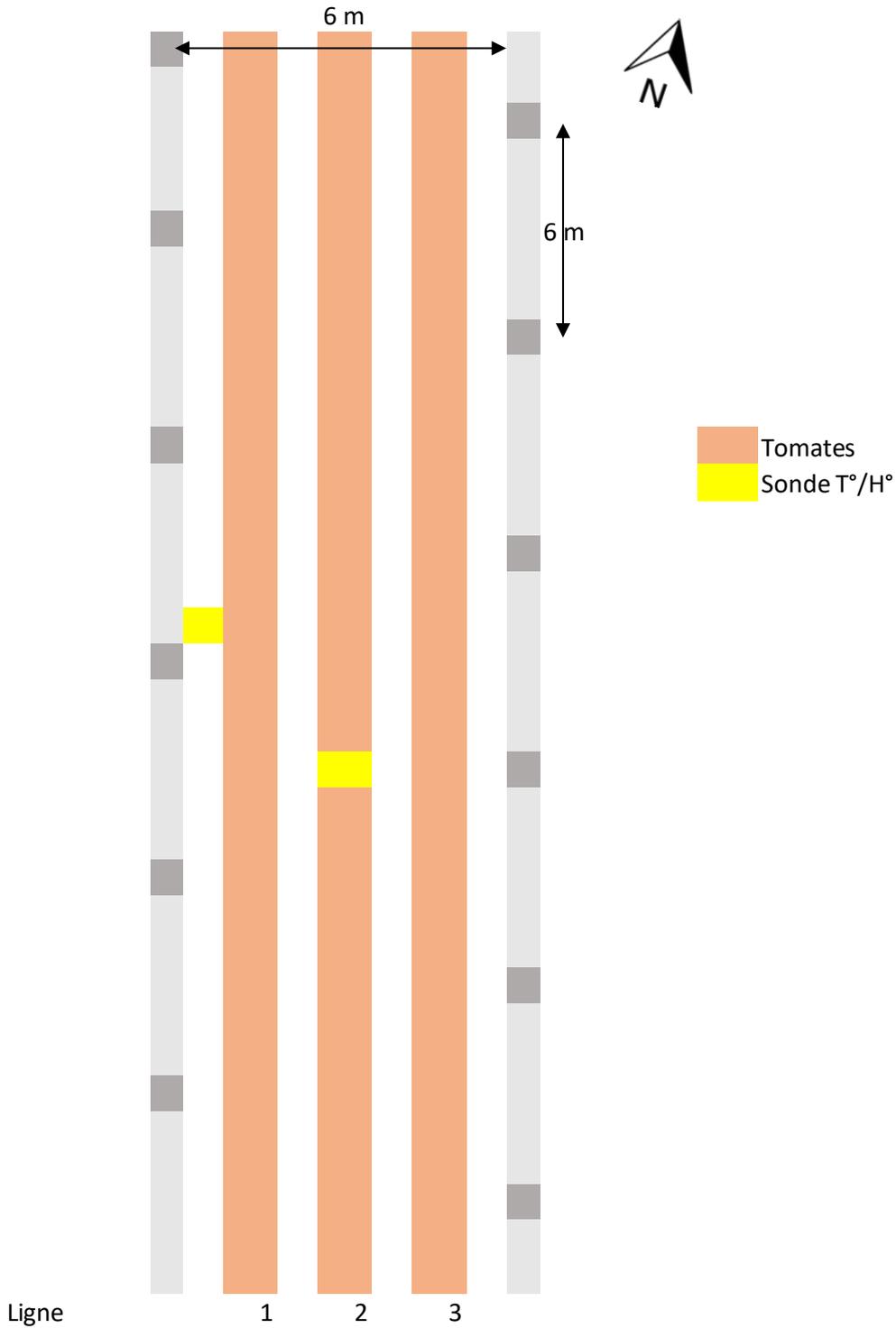
Annexe 11 : Dispositif expérimental général 2016 sur le Jardin d'Odile



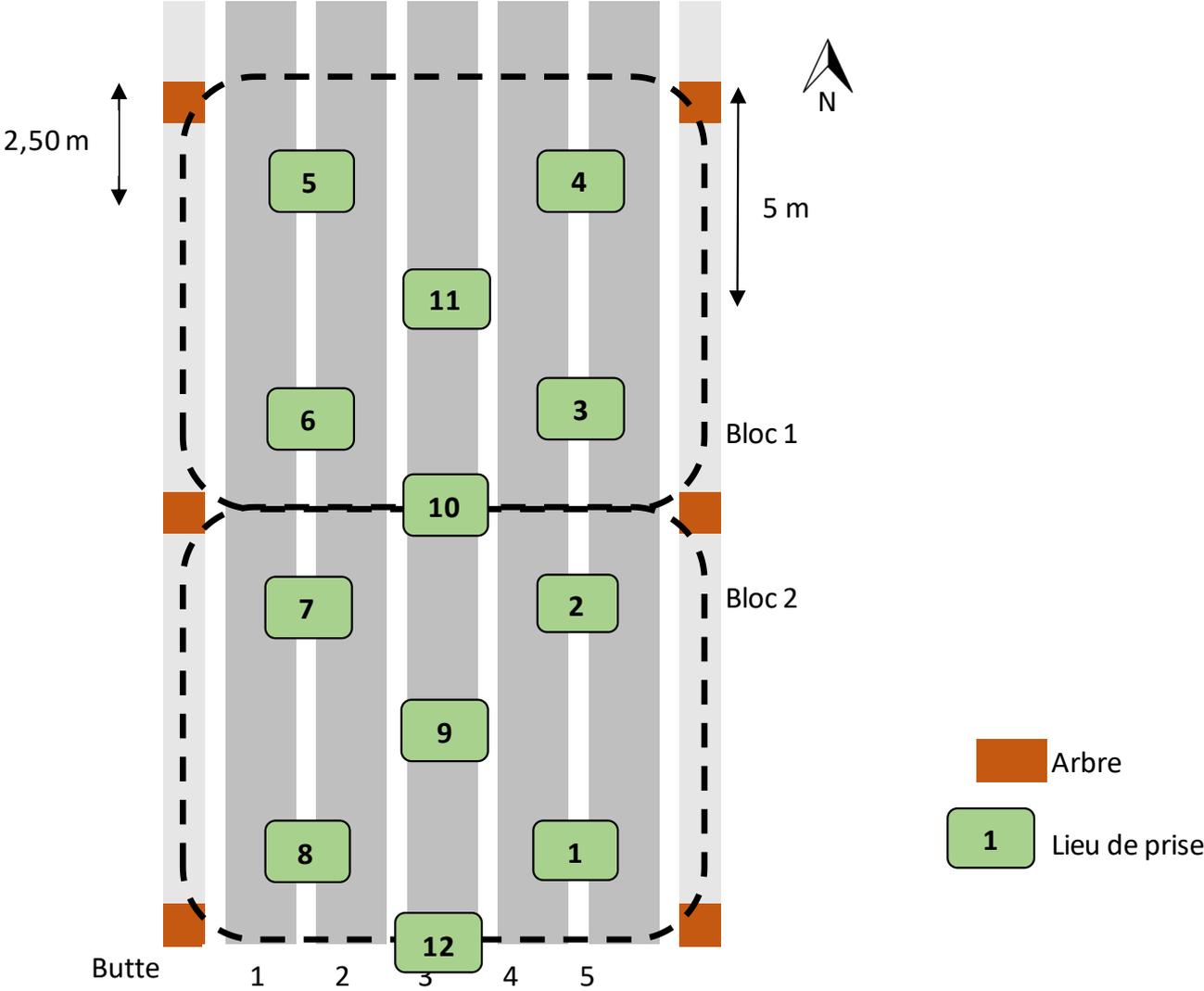
Annexe 12 : Dispositif microclimatique 2016 de la Ferme du Boulidou



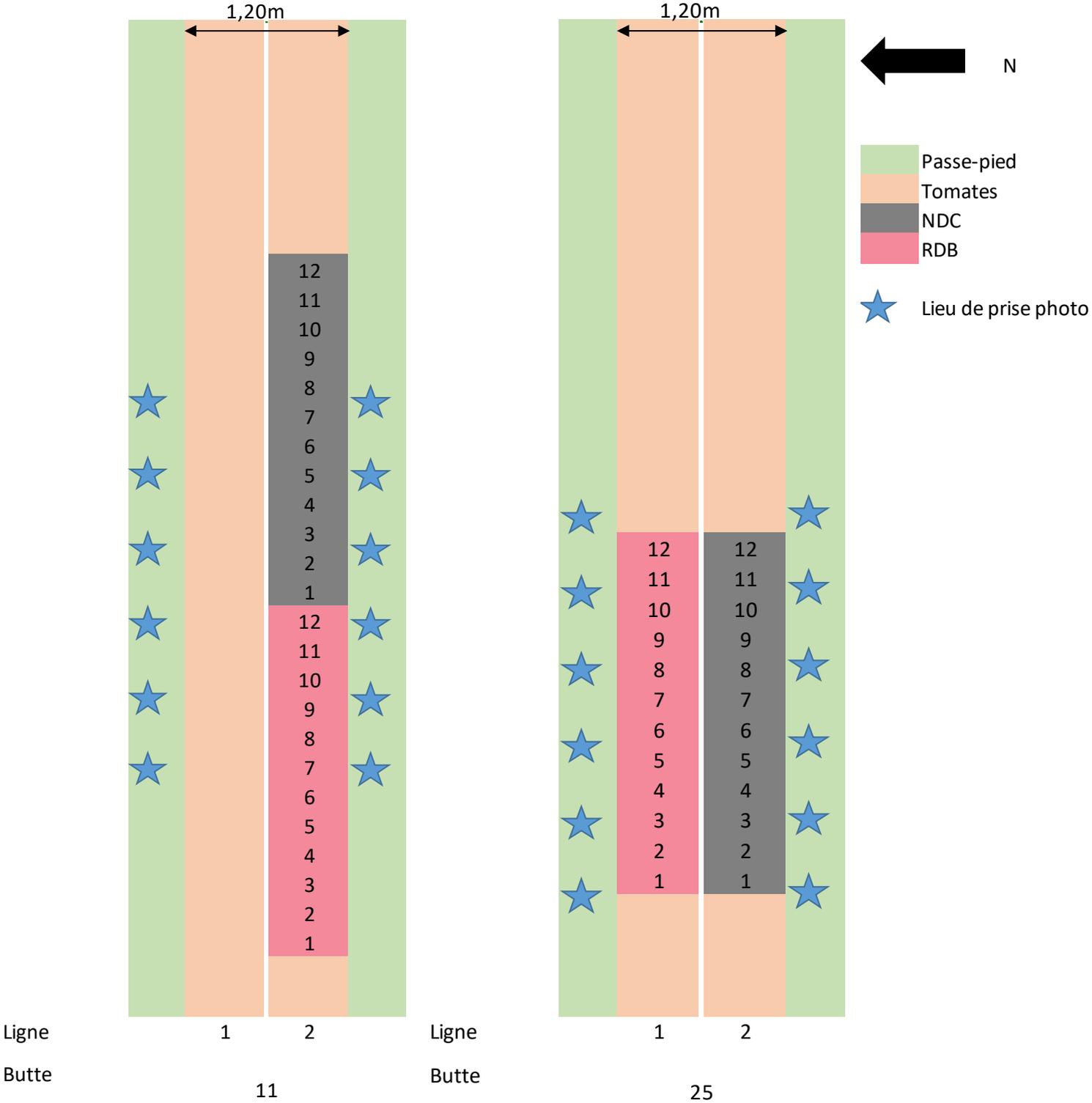
Annexe 13 : Dispositif expérimental microclimatique 2016 sur le Jardin d'Odile



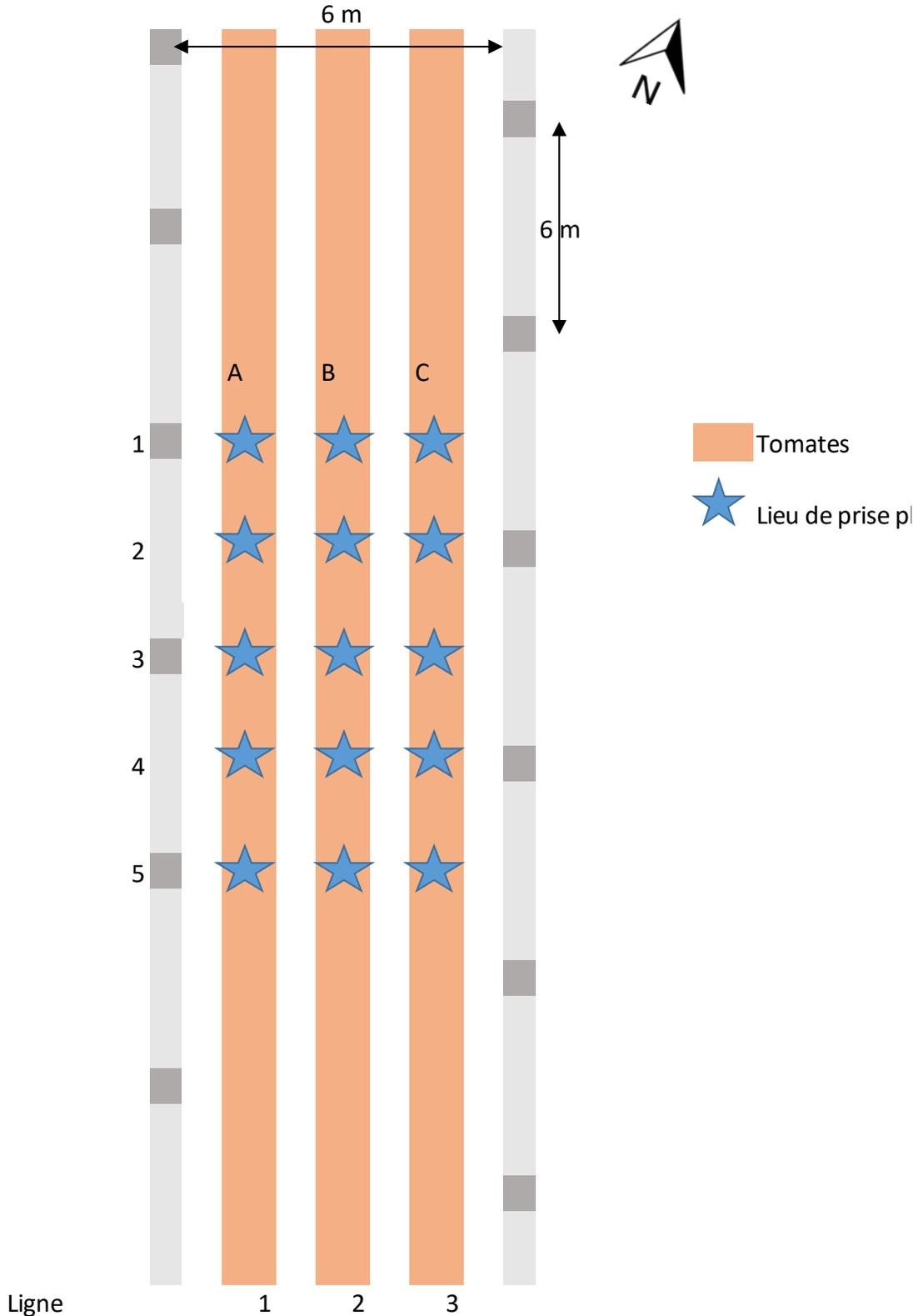
Annexe 14 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée 2016 sur les Terres de Roumassouze



Annexe 15 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée et de la culture de tomates en 2016 sur la Ferme du Boulidou



Annexe 16 : Dispositif expérimental de l'ouverture de canopée 2016 sur le Jardin d'Odile



Annexe 17 : Aide à l'identification des dégâts foliaires sur salades

Dégâts physiologiques



Montaison



Brûlure de la pointe



Nervation brune

Dégâts biologiques



Aleurode



Gastéropodes



Chenille (Noctuelle)



Oidium des chicorées (*Erysiphe cichoracearum*)



Puceron



Anthracnose *panattotiana* (*Marssonina*)



Mildiou (*Bremia lactucae*)



Bactériose de la laitue (*Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas cichorii*)

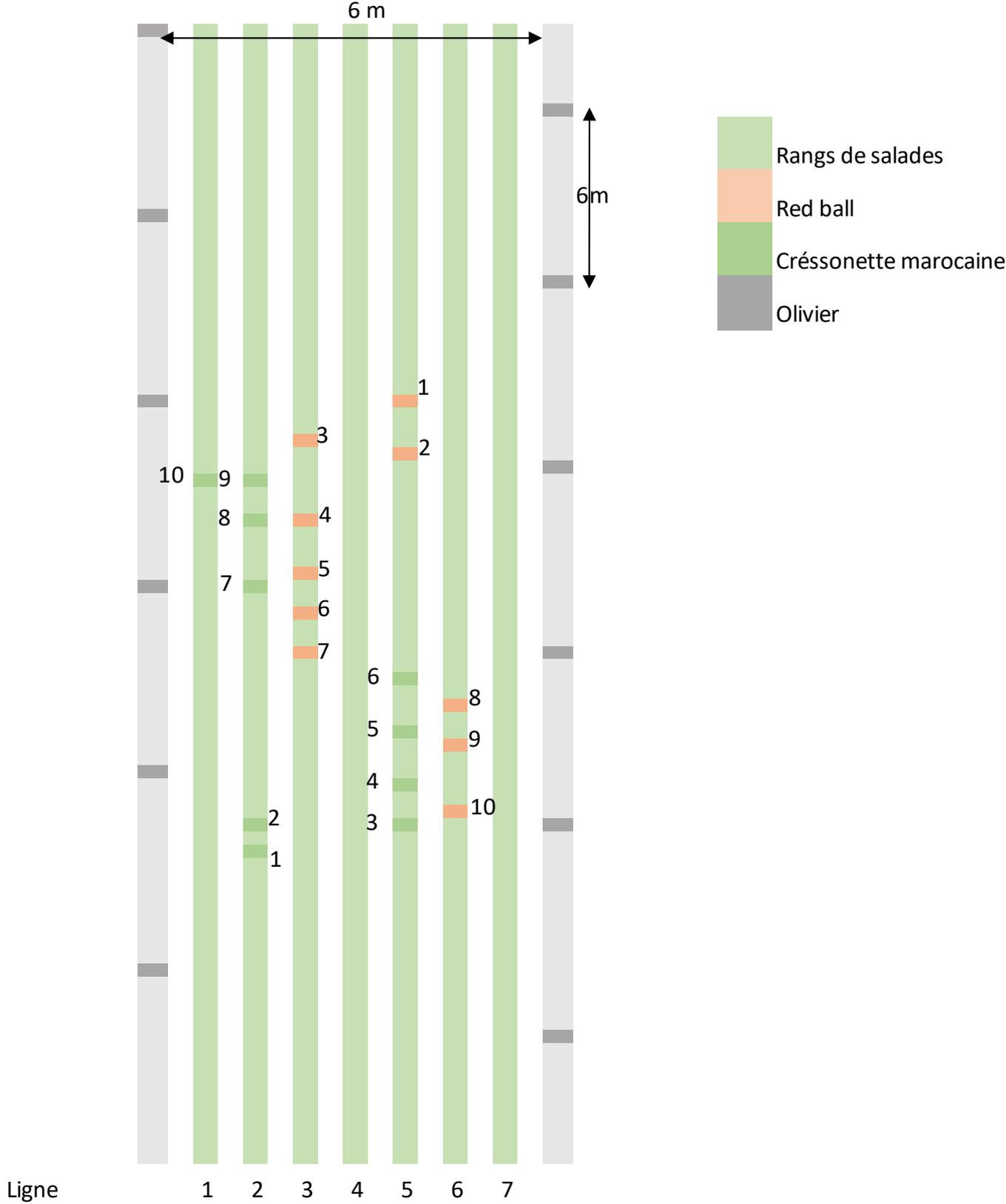


Virus (Big vein)

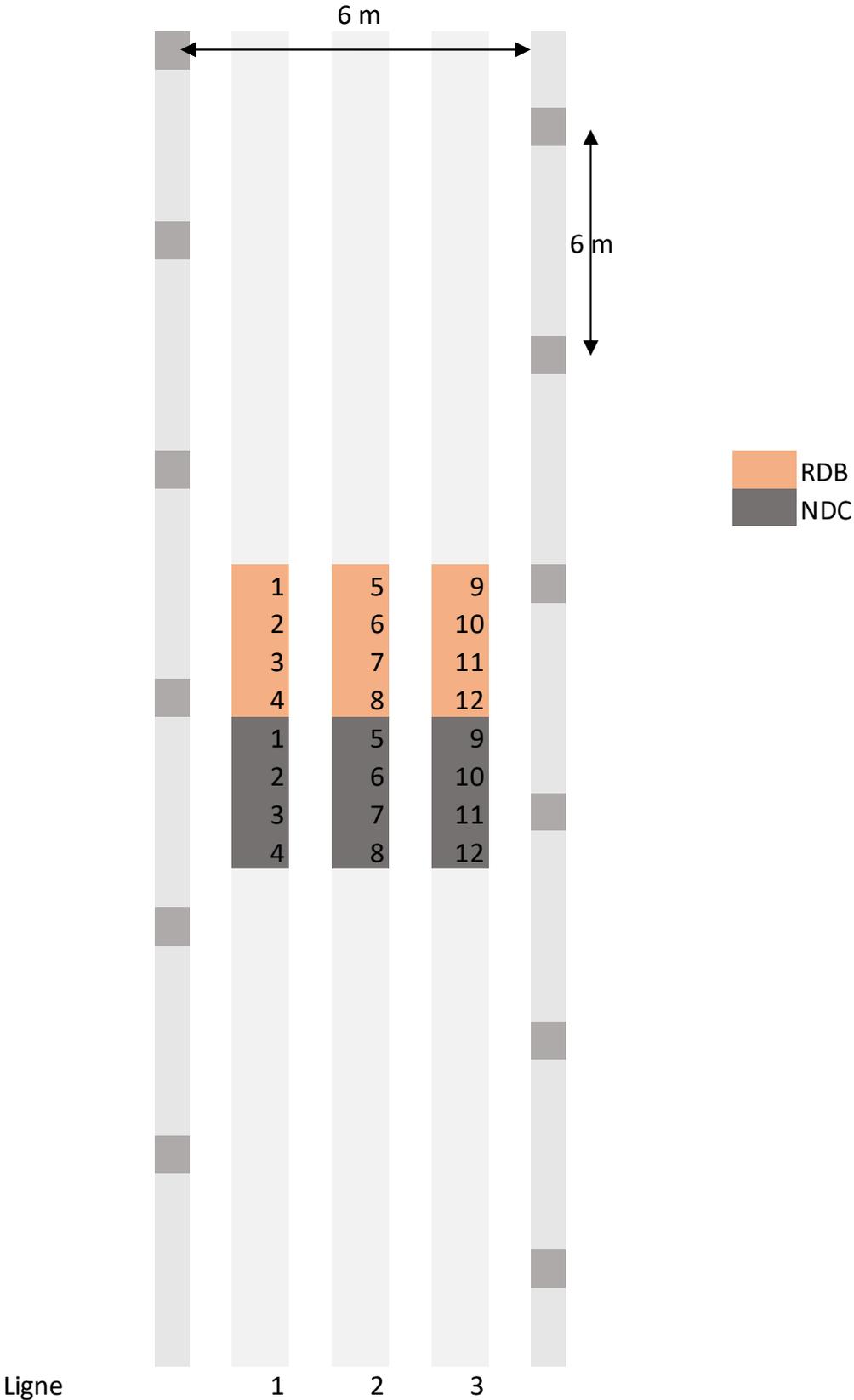
Annexe 18 : Dispositif expérimental de la culture de salades en 2016 de la Ferme du Boulidou



Annexe 19 : Dispositif expérimental de la culture de salades en 2016 au Jardin d'Odile



Annexe 20 : Dispositif expérimental de la culture de tomates en 2016 au Jardin d'Odile



Résumé

La production maraîchère en zone méditerranéenne doit faire face à des enjeux technico-économiques et environnementaux en particulier lié au changement climatique. L'agroforesterie est un système de culture qui apporterait, selon les contextes, de nombreux bénéfices environnementaux, économiques et territoriaux qui permettraient de répondre à ces enjeux. Par conséquent, l'étude présentée tente de répondre à la question suivante : Quelle est l'influence des arbres, du microclimat créé, sur le développement, la croissance, l'état sanitaire et la performance agronomique des cultures de salades et tomates AB en système agroforestier ? Le projet de recherche participative Arbratatouille (2014-2016), porté par Agroof SCOP en partenariat avec l'INRA PSH, se propose d'y répondre en 2016 en Languedoc-Roussillon chez trois maraîchers en AB installés en agroforesterie. Le site pilote dispose d'une parcelle expérimentale de 6000m² agrémentée de noyers hybrides de 20 ans espacés de 10m par 10m. Trois modalités agroforestières y sont différenciées en fonction de la taille des arbres (élaguée, émondée, étêtée) et d'une parcelle témoin en plein soleil. Après avoir caractérisé le microclimat imposé par les arbres et évalué les cultures légumières sur les trois sites expérimentaux, les résultats ont montré que les arbres influençaient le microclimat et que celui-ci modifiait le comportement des cultures. La présence d'arbres diminue la disponibilité en lumière et réduit les amplitudes journalières thermique et hygrométrique. La fermeture du milieu est favorable à la production de salades et tomates jusqu'au seuil d'ombrage optimum de 53% par rapport à la production en plein soleil. En complément de l'analyse aérienne du système, la vie souterraine pourrait être étudiée en particulier sur le partage de la ressource en eau, ressource qui demande une attention particulière en zone méditerranéenne.

Mots clés : agroforesterie, maraîchage, zone méditerranéenne, impact de l'arbre, microclimat, comportement des cultures, salades, tomates, développement, croissance, état sanitaire, performances de cultures

The vegetable production in Mediterranean zone has to face to technico-economic and environmental issues in particular in climate changes. The agroforestry system could generate, in function of context, a lot of environmental, economic and territorial advantages which could respond to this issues. Consequently, this study tries to respond to the following question: What is the trees influence on salads and tomatoes development, growth, health situation and crops performances. Arbratatouille (2014-2016), managed in participative research is led by Agroof SCOP and INRA PSH. It could answer in 2016 in Languedoc-Roussillon in three organic farmers in agroforestry. The principal site is plot with walnut trees (20 years old) spaced of 10m by 10m. Three agroforestry treatments are different in function of cutting (pruned, trimmed, polarding) and one full sun plot. After carrying out microclimate and crops behaviors characterizations on the three sites, results have shown trees impact microclimate and this one, changes behavior crops. Trees presence reduce light availability and thermic and hygrometric day magnitude. The closing environment is profitable to vegetables crops up to the threshold shade of 53% compared to full sun production. To complete aerial analysis of system, life underground could be studied in particular on water resource sharing.

Keywords: agroforestry, vegetable production, Mediterranean zone, tree impact, microclimate, crop behavior, lettuces, tomatoes, development, growth, health situation, crops performances