

UFR Sciences
2, Bd Lavoisier
49045 ANGERS Cedex 01

AGROCAMPUS OUEST
65 rue de St Brieuc, CS 84 215, BP 35042 -
RENNES Cedex
Université de Rennes I
1, 2 rue du Thabor, CS 46510 - 35065
RENNES Cedex

AGROOF SCOP
9, plan de Brie
30140 ANDUZE

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Sciences Technologie Santé Mention Biologie et Technologie du Végétal

Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)

Parcours : I Productions Végétales Spécialisées / Option : Filières de l'horticulture et du végétal urbain.

Année universitaire 2014-2015

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 ?

Etude de cas en conditions tempérés et en agriculture biologique.

Par : Maxime POISSONNEAU



Soutenu à Angers le : 15/09/2015

Maître de stage : Camille BERAL

Enseignant référent : Pascale Guillermin

UFR Sciences
2, Bd Lavoisier
49045 ANGERS Cedex 01

AGROCAMPUS OUEST
65 rue de St Brieuc, CS 84 215, BP 35042 -
RENNES Cedex
Université de Rennes I
1, 2 rue du Thabor, CS 46510 - 35065
RENNES Cedex

AGROOF SCOP
9, plan de Brie
30140 ANDUZE

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Sciences Technologie Santé Mention Biologie et Technologie du Végétal Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)

Parcours : I Productions Végétales Spécialisées / Option : Filières de l'horticulture et du végétal urbain.

Année universitaire 2014-2015

Evaluer l'influence du système agroforestier et de sa composante microclimatique sur la culture de la tomate et de la salade.

Par : Maxime POISSONNEAU



Soutenu à Angers le : 15/09/2015

Maître de stage : Camille BERAL

Enseignant référent : Pascale Guillermin



AUTORISATION DE DIFFUSION EN LIGNE

STUDENT(E)

N° étudiant : ----- Email : -----

Je soussigné(e) ----- être l'auteur du document intitulé

préparé sous la direction de -----
et soutenu le -----

Je certifie la conformité de la version électronique déposée avec l'exemplaire imprimé remis au jury, certifie que les documents non libres de droits figurant dans mon mémoire seront signalés par mes soins et pourront être retirés de la version qui sera diffusée en ligne par le Service Commun de la Documentation de l'Université d'Angers. Agissant en l'absence de toute contrainte, et sachant que je dispose à tout moment d'un droit de retrait de mes travaux, j'autorise, sans limitation de temps, l'Université d'Angers à les diffuser sur internet dans les conditions suivantes :

- diffusion immédiate du document en texte intégral
- diffusion différée du document en texte intégral ; date de mise en ligne :
- n'autorise pas sa diffusion dans le cadre du protocole de l'Université d'Angers

À Angers, le ----- Signature :

JURY DE SOUTENANCE

- autorise la diffusion immédiate du document en texte intégral
OU
- autorise la diffusion différée du document en texte intégral ; à compter du :

- en libre-accès *OU* en accès restreint

- sous réserve de corrections

OU

- n'autorise pas sa diffusion dans le cadre du protocole de l'Université d'Angers

À Angers, le-----

Nom et Signature du maître de stage:

Nom et Signature du président de jury:

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT
M2 PROTeV
2014-2015

Je, soussigné (e) : POISSONNEAU Maxime

déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour ce rapport, rédigé au cours de mon master 2 Production et Technologie du Végétal (ProTeV).

Je m'engage également à respecter les consignes données pour la rédaction de ce rapport.

A : ANDUZE

Le : 31/08/2015

Signature :



Remerciements

Je tiens, tout d'abord, à remercier l'équipe d'Agrof SCOP au complet pour m'avoir accueilli, soutenu et orienté durant ce stage. Merci de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur cette thématique et dans votre cadre si particulier qu'est la SCOP.

Je tiens à remercier plus particulièrement Camille Beral, pour son soutien, la cohérence ainsi que la structure qu'elle a donné à ce stage.

Je remercie également mes voisins de bureau, Daniele Ori et Sébastien Dulieu pour avoir répondu à mes nombreuses questions.

Je remercie Ambroise Martin-Chave, pour tous ces bons conseils et tous ses moments de réflexions, et pas que.

Je tiens à remercier Fabien Liagre pour sa vision globale de l'étude, Hélène LeGallic, pour m'avoir assisté sur le terrain de nombreuse fois et Nicolas Girardin, pour sa créativité et son imagination.

Je remercie également tous les producteurs ayant assisté au deux projets CASDAR SMART et Arbratatouille et plus particulièrement Denis et Virginie Florès pour leur bonne humeur, leur confiance et leur aide, ainsi que Sonia Guerrin et Odile Sarrazin pour leur participation et leur investissement. Merci à tous pour ces bons moments passés.

Je tiens à remercier Pascale Guillermin pour ses relectures très constructives, son investissement dans la réflexion et sa patience.

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes que j'ai pu contacté ou rencontré pendant ces 6 mois comme Marie Gosme de l'UMR SYSTEM pour son aide à l'utilisation de l'appareil photo hémisphérique. Mme Sandra Prisca pour sa réponse à mes questions concernant les laitues. Et d'autres que j'oublie sûrement.

Table des matières

I.	Introduction	1
1.	L'agroforesterie, solution face aux changements climatiques ?.....	1
2.	L'agroforesterie et l'environnement.....	2
3.	L'agroforesterie, un atout économique.	2
4.	Les enjeux du maraîchage	2
5.	La SCOP Agroof	3
6.	L'agroforesterie maraîchère, des systèmes traditionnels	4
7.	L'agroforesterie, une source d'interactions.....	5
8.	Le microclimat agroforestier.....	5
9.	Le comportement des cultures légumières en agroforesterie	5
10.	Les relations entre le microclimat et le comportement des cultures	5
11.	Problématique, objectifs et hypothèses	6
II.	Matériels et Méthode.....	8
1.	La démarche	8
2.	Les systèmes de cultures	8
1)	Les sites expérimentaux	8
a.	Les Terres de Roumassouze (30)	8
b.	Le Jardin d'Odile (34).....	9
c.	La ferme du Boulidou (34).....	9
2)	Dispositifs expérimentaux.....	9
a.	Les Terres de Roumassouze (Site pilote).....	9
b.	Le jardin d'Odile (Site satellite).....	10
c.	La ferme du Boulidou (Site satellite)	10
3)	Les itinéraires techniques	10
3.	Le matériel végétal	10
4.	Indicateurs	11
1)	Les indicateurs biologiques	11
a.	Le développement	11
b.	La croissance	11
c.	La performance	11
2)	Les indicateurs microclimatiques	12
a.	Température	12
b.	Hygrométrie	12
c.	Lumière	12

5. Méthodologie d'acquisition de donnée	13
6. Analyse des résultats	13
1) La comparaison des systèmes.....	13
2) Les corrélations	14
III. Résultats	15
1. Comparaison des modalités.....	15
1) Tomates	15
a. Développement.....	15
b. Performance	15
c. Croissance	16
2) Laitues	17
a. Développement.....	17
b. Performance	17
c. Croissance	18
2. Hétérogénéité spatiale	18
3. Le microclimat agroforestier.....	19
a. Caractérisation des microclimats	19
b. L'effet tampon.....	20
4. Corrélation des variables	21
1) Corrélation performance/microclimat	21
a. Tomate.....	21
b. Laitue.....	21
2) Corrélation croissance/microclimat.....	21
a. Tomate.....	21
b. Laitue.....	22
Discussion	23
1. Les résultats.....	23
1) L'influence du système agroforestier sur la tomate et la laitue.....	23
a. Performance	23
b. Croissance	23
c. Développement.....	24
2) Spatialisation de l'influence du système agroforestier.....	24
3) Les effets du système agroforestiers sur le microclimat	24
4) Le microclimat agroforestier comme composante explicative ?.....	24
a. Corrélation entre la performance des cultures et le microclimat	24
b. Corrélation entre la croissance des cultures et le microclimat	25
5) Pistes de réflexions.....	25

2.	Les limites	26
a.	Liées à l'étude	26
b.	Liées à des hétérogénéités	26
c.	Liées à l'analyse	27
3.	Perspectives	27
a.	De l'étude	27
b.	Du projet Arbratatouille	28
IV.	Conclusion.....	29
V.	Autres missions	30
VI.	Bibliographie.....	31
VII.	Sitographie	33
VIII.	Annexes.....	34

Liste des abréviations

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Eau

AFAF : Association Française d'AgroForesterie

BBCH : « Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CChemische Industrie »
(Allemand)

BM : Blonde maraîchère

BR : Bissia rossa

ECODEV : Ecodéveloppement

GRAB : Groupe de recherche en agriculture biologique

GRCIVAM : Groupement Régional des Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

LAI : Leaf Area Index

NDC : Noire de Crimée

OCDE : Commission Economique des Nations Unies

PAR : Rayonnement Photosynthétiquement Actif

PSH : Plantes et systèmes de culture Horticoles

RDB : Rose de Berne

RH : Humidité relative

SCOP : Société Coopérative et Participative

Liste des annexes

Annexe I : Les terres de Roumassouze – Plan d’expérimentation Arbratatouille

Annexe II : Illustrations des modalités

Annexe III : Les terres de Roumassouze – Dispositif expérimental tomate

Annexe IV : Les terres de Roumassouze – Dispositif expérimental laitue

Annexe V : Illustrations du jardin d’Odile

Annexe VI : Illustrations de la ferme du Boulidou

Annexe VII : Laitue

Annexe VIII : Tomate

Annexe IX : Dispositif expérimental des sondes microclimatiques sur le site pilote

Table des figures

Figure 1 Répartition géographique des changements de température et de précipitation de 1901 à 2012 (Rapport 2014 du Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique).....	1
Figure 2 Rendements de tomate, coriandre et aubergine (brinjal) en fonction de la distance à l'arbre (Khatum et al, 2009).	5
Figure 3 Rendements et écart-type en Kg par plante obtenus en fonction des modalités et des variétés	15
Figure 4 Dynamique des rendements (Kg/plante) des modalités en fonction des semaines. Noire de Crimée à gauche et Rose de Berne à droite. Site pilote	16
Figure 5 Poids spécifiques moyens et écart-type en fonction des modalités et de la variété... ..	16
Figure 6 Distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de tomates récoltées. A gauche, la variété Noire de Crimée et à droite, la variété Rose de Berne. NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1 ; Extra) Site pilote.....	16
Figure 7 Rendements moyens et écart-type en fonction des deux modalités et des variétés... ..	16
Figure 9 Distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de tomates récoltées. (NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1 ; Extra) Site satellite	17
Figure 8 Graphique présentant la longueur moyenne d'un entre-nœud en fonction de la modalité et de la variété. Site satellite	17
Figure 10 Graphique présentant le stade de développement moyen des salades à la récolte chez les deux variétés.	17
Figure 11 Rendements et poids spécifiques moyens par variété de laitue et par modalité. L'écart-type est seulement valable pour le rendement. (RDT : Rendement ; PDS : Poids spécifique).	18
Figure 12 Distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de laitues récoltées. NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1).....	18
Figure 13 Poids spécifiques moyens en fonction de la variété et des modalités. Site satellite	18
Figure 14 Dimensions finales moyennes, et les écart-types, des laitues selon les modalités et la variété.	19
Figure 15 Dimensions finales moyennes, et les écart-types, des différentes variétés de laitue en fonction de la modalité. Site Satellite.....	19
Figure 16 Production moyenne par plante de Tomate et écart-types en fonction de la butte et de la variété (Elagué, Têtard et Emondé).	20
Figure 17 Rendement moyen de Tomate NDC et écart-types par plante en fonction de la butte et de la modalité.	20
Figure 18 Rendement moyen de Tomate RDB et écart-types par plante en fonction de la butte et de la modalité.	20
Figure 19 Pourcentage d'ouverture moyenne de la canopée et écart-types en fonction des modalités et de deux périodes	21
Figure 20 Schéma spatial du pourcentage d'ouverture moyenne du milieu en fonction des trois modalités agroforestières.....	21

Figure 21 Hygrométrie et température moyennes des différentes modalités. Les écart-types sont valable pour la température	21
Figure 22 Température et hygrométrie moyennes des modalités à deux périodes, Avril et Juillet	21
Figure 23 Température et hygrométrie moyenne sur les deux modalités du site satellite	22
Figure 24 : Variations des températures en fonction du temps et des modalités.....	22
Figure 25 Variations de l'hygrométrie en fonction du temps et des modalités.....	23
Figure 26 Répartition des individus en fonction du nombre d'heures à températures optimales jour et nuit et du rendement, ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de la variété.	23
Figure 27 Répartition des individus en fonction de l'ouverture de la canopée et du rendement (gauche) et du poids spécifique (à droite), ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de la variété.	24
Figure 28 Répartition des individus en fonction du nombre d'inflorescences et de la température moyenne ou de l'ouverture des milieux, ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de lavariété.....	24

Table des tableaux

Tableau I Effets positifs et négatifs de l'association agroforestière (Daizy Rani Batish et al, 2008).....	5
Tableau II Itinéraires techniques appliqués selon les sites d'expérimentation.	11
Tableau III Les types d'indicateurs développés en fonction des objectifs de l'étude.....	12
Tableau IV Répartition des indicateurs étudiés en fonction des sites d'expérimentation.....	12
Tableau V Nombre de jours de la plantation, à la première récolte, en fonction des modalités et de la variété. Site pilote	17
Tableau VI Nombre de jours de la plantation, à la première récolte, en fonction des modalités et de la variété. Site satellite.....	18
Tableau VII Indicateurs en fonction des modalités et de la variété, ainsi que les groupes statistiques et les p-value.....	22
Tableau VIII Indicateurs en fonction des modalités et des deux variétés de laitues, ainsi que les groupes statistiques et les p-value.....	27
Tableau IX Indicateurs microclimatiques par modalités. Site satellite.....	32
Tableau X Indicateurs microclimatiques en fonction des modalités et de deux périodes (Avril et Juillet).....	34
Tableau XI Corrélations performances/microclimat testées sur tomate. Site pilote.....	36
Tableau XII Corrélations performances/microclimat testées sur laitue. Site pilote.....	36
Tableau XIII Coefficient de corrélation en fonction du couple de variables corrélés.....	37
Tableau XIV Comparaison des modalités agroforestières en fonction des témoins, selon les cultures et certains indicateurs.....	37
Tableau XV Descriptifs des deux variétés de laitue testées (Péron J-Y., 2006)	46

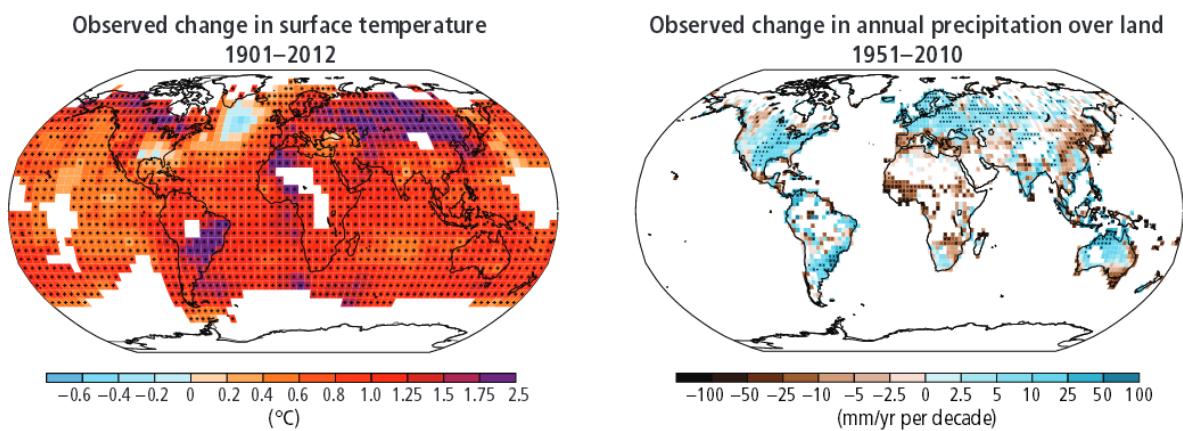


Figure 1 : Répartition géographique des changements de température et de précipitation de 1901 à 2012 (Rapport 2014 du Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique)

I. Introduction

L'agroforesterie consiste en l'association simultanée d'une production arborée et d'une production agricole sur une surface commune (Dupraz and Liagre, 2008). Les systèmes agroforestiers peuvent être classés selon le type d'activités agricoles pratiquées. Le sylvopastoralisme associe l'élevage et l'arbre ; l'agrosylviculture, les cultures et l'arbre ; et l'agrosylvopastoralisme combine l'élevage, les cultures et l'arbre. (Quinkenstein *et al*, 2009). Le terme « Agroforesterie » a été défini pour la première fois en 1977, cependant la pratique, en elle-même, existe depuis l'Antiquité s'illustrant sous différents systèmes traditionnels tels que :

- les *pomeradas* associant les vergers de pommiers à des cultures intercalaires ; (Smith, 2010).
- les *pré-vergers* rassemblant l'arboriculture et l'élevage de bovin ; (Smith, 2010).
- les *dehesas* (ou *montados*) conciliant les productions de bois, de fourrage et l'élevage porcin. (Smith, 2010).

Les systèmes associant une pratique agricole et une production arborée ont commencé à décliner avec la mécanisation de l'agriculture, à l'exception de certaines zones méditerranéennes et d'Europe du Nord soumises à des conditions pédoclimatiques inappropriées à l'agriculture intensive (Smith, 2010 ; Eichhorn *et al*, 2005). La récente volonté, sociale et politique, d'évoluer vers une agriculture durable basée sur des pratiques agro-écologiques, a encouragé la recherche et les producteurs à porter un nouvel intérêt pour les systèmes agroforestiers (Eichhorn *et al*, 2005 ; Charbonnier *et al*, 2013).

1. L'agroforesterie, solution face aux changements climatiques ?

Le rapport 2014 du groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique confirme l'observation d'un changement climatique depuis 1950 issue des activités de l'Homme. Ces changements climatiques bien que réels, ne sont ni spatialement, ni qualitativement uniformes. Le Sud-Est de la France tend à évoluer vers une augmentation de ces températures et vers une diminution des précipitations (Figure 1).

Ces modifications climatiques vont affecter les écosystèmes agricoles (Luedeling *et al*, 2014 ; Altieri *et al*, 2015). Dupraz et al évoquent une possible augmentation des stress thermiques et hydriques que devront subir les agrosystèmes.

L'agroforesterie est une solution envisagée pour répondre à ce changement climatique à travers deux rôles distincts :

- Atténuation, l'agroforesterie permet d'atténuer les causes des changements climatiques, par exemple la séquestration de carbone (Dupraz *et al* ; Luedeling *et al*, 2014)
- Adaptation, l'agroforesterie permet aux agrosystèmes de tolérer les effets de ce changement climatique, par exemple en faisant office de protection vis-à-vis des stress thermiques et hydriques (Dupraz *et al*).

Le contexte climatique actuel incite à développer une meilleure compréhension des potentiels atouts des systèmes agroforestiers face aux variations climatiques futures (Luedeling *et al*, 2014 ; Dupraz *et al*).

2. L'agroforesterie et l'environnement

Dans le contexte environnemental européen, l'agroforesterie démontre également des atouts pour répondre à des projets comme le Plan Ecophyto qui vise la diminution de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires ou la Directive cadre sur l'eau qui préconise une diminution de la pollution des eaux (agriculture.gouv ; developpement-durable.gouv). Intégrer l'arbre dans un agrosystème, le fait potentiellement interagir à différents niveaux environnementaux :

- Le système racinaire limite l'érosion hydrique des sols et son rôle brise-vents atténue l'érosion aérienne des sols.
- Les fonctions hydrologiques d'un système agroforestier protègent et conservent les eaux.
- L'arbre modifie le microclimat (pression parasitaire, confort en élevage, atténuation des extrêmes climatiques, etc)
- L'arbre est un refuge pour la biodiversité. (Dupraz and Liagre, 2011 ; Quinkenstein *et al*, 2009)

Dupraz et Liagre (2011) mettent en avant le besoin de documenter et quantifier tous ces rôles avec précisions malgré leurs complexités.

3. L'agroforesterie, un atout économique.

La situation économique à laquelle doit faire face l'agriculture tempérée pousse à une meilleure productivité et à une meilleure valorisation des surfaces. L'introduction d'une production arborée participe à la pérennisation des agrosystèmes par différents moyens :

- La diversification des productions entraîne une diversification des revenus, qui participe à sécuriser l'exploitation vis-à-vis des fluctuations des marchés.
- La production arborée s'échelonne dans le temps et échelonne donc les dépenses et les revenus.
- Les systèmes agroforestiers semblent plus productifs que l'assoulement activité agricole/ production arborée. (Dupraz and Liagre, 2011 ; A Ofori *et al*, 2014)

Néanmoins l'attractivité économique du modèle agroforestier dépend des prix des produits agricoles et forestiers, et de la marge de progression de la gestion des productions intercalaires tant sur l'aspect variétal qu'agronomique (Dupraz and Liagre, 2011).

4. Les enjeux du maraîchage

Les enjeux majeurs du maraîchage reposent sur trois grands volets, un rendement accru, une plus grande précocité, et une meilleure qualité des productions. Serrurier *et al* (2014) ont remarqué depuis trois ans, des prix inférieurs en cours de saison au prix affichés en début de saison. Il est donc d'importance majeur pour le producteur d'arriver tôt sur les marchés pour bénéficier d'une plus-value de sa production. La qualité commerciale est évaluée grâce aux normes OCDE (Commission Economique des Nations Unies) et permet ainsi un classement de la production qui peut entraîner la mise en déchets de certains produits. Le volume produit est la variable qui conditionne par le rendement, ce qui incite le producteur à produire en plus grande quantité. Ces trois paramètres construisent la rentabilité d'une production et la marge des producteurs, c'est pourquoi, ils représentent des grands enjeux pour les exploitations agricoles dans la pérennité de leurs systèmes.

D'après les premières diffusions de résultats, l'agroforesterie semble une solution durable pour répondre aux enjeux cruciaux auxquels fait face l'agriculture d'aujourd'hui et plus particulièrement le maraîchage. Cependant la compréhension de ces systèmes reste encore insuffisante et inégale. En effet les résultats consultables à ce jour sont principalement issus

de projets en agroforesterie grandes cultures conduits en agriculture conventionnelle. Bien qu'étant le modèle prédominant en agriculture, qu'en est-il des autres cultures et des autres formes d'agroforesteries ?

5. La SCOP Agroof

Dans ce contexte, la Société COopérative et Participative (SCOP) Agroof, bureau d'étude spécialisé en agroforesterie cherche à combler ce décalage en se positionnant comme « charnière » entre la Recherche et le Développement. Les principales activités du bureau sont :

- Comprendre et référencer les différents systèmes agroforestiers étudiés grâce à des projets de recherche et de développement européens, nationaux ou locaux.
- Accompagner et conseiller les porteurs de projet à l'échelle individuelle et territoriale.
- Former les producteurs, les conseillers et les étudiants. La SCOP Agroof est déclaré comme organisme de formation depuis 2014.
- Diffuser et communiquer sur les résultats des travaux de recherche via différents supports (vidéo, film, livre, cahier DVD, base de donnée).

Une société coopérative et participative est une société en rupture avec le schéma pyramidal souvent adopté par la plupart des sociétés. La SCOP Agroof ne s'organise pas autour d'un seul dirigeant. Ce sont les salariés qui sont associés majoritaires, partageant alors les décisions et se répartissant ainsi les responsabilités.

Le pôle recherche et développement de la SCOP Agroof participe à des projets de recherche en agroforesterie, qui font suite à des appels à projet déposé par l'Union européenne, soit par des organismes français (CASDAR, ADEME, Fondation de France). Deux projets, l'un émanant du gouvernement français et le second interne à la SCOP Agroof, traitent de manière complémentaire du sujet de l'agroforesterie maraîchère.

Le projet CASDAR SMART (Systèmes Maraîchers en Agroforesterie : création de Références Techniques et économiques) vise à produire des connaissances techniques et socio-économiques de systèmes agroforestiers associant arbres fruitiers et cultures légumières, comme base à la production d'outils et d'instruments de conception, de pilotage et d'évaluation. Le projet, coordonné par le GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique) et l'AFAF (Association Française d'AgroForesterie), a été initié en décembre 2013 et se clôturera en décembre 2016. Ce projet a pour objectifs :

- de structurer un réseau national associant fermes de production, fermes expérimentales et établissements de formation agricole ;
- de décrire et d'analyser les systèmes de production pour déterminer leurs performances agronomiques, environnementales, économiques et sociales ;
- de développer des outils d'aides à la conception et au pilotage de ces systèmes ;
- d'élaborer des outils de communication et de sensibilisation pour les professionnels ;
- de produire un contenu pédagogique pour l'enseignement.

Le projet fait intervenir plusieurs partenaires tels que le GRAB, la plateforme TAB, la Chambre d'agriculture de la Drôme, l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique), l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), et le GRCIVAM (Groupement Régional des Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural), collaborant pour la partie Sud-Est de la France. La SCOP Agroof a pour responsabilité de mener ce projet dans le Gard et l'Hérault, deux départements du Languedoc-Roussillon et plus précisément de rassembler et animer un réseau de producteurs, en vue de construire de manière participative, des références technico-économiques sur ces systèmes.

Le projet Arbratatouille, financé en partie par la Fondation de France et coordonné par Agroof, vise à produire et consolider les connaissances sur les systèmes de production associant l'arbre et les cultures légumières ainsi que les mécanismes d'interactions inhérents à cette mixité. Ces objectifs sont :

- évaluer la réponse (biologique, environnementale, agronomique et économique) des cultures légumières en systèmes agroforestiers ;
- identifier et mettre en évidence les interactions (positives ou négatives) ayant lieu dans l'association agroforestière ;
- produire des références techniques sur la conduite optimale des associations arbres/cultures légumières.

Initié en mars 2014 par la SCOP Agroof, ce projet s'étale sur 3 ans et rassemble des partenaires de l'INRA, l'unité Plantes et Systèmes de culture Horticoles (PSH) et l'unité Ecodéveloppement (ECODEV), ainsi que trois producteurs en agroforesterie maraîchère.

Le projet Arbratatouille se concentre sur quatre cultures légumières, la laitue (*Lactuca sativa L.*), la tomate (*Solanum lycopersicum L.*), la carotte (*Daucus carota*) et la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) sous plusieurs couverts agroforestiers. Une thèse débutée cette année par Ambroise Martin-Chave vise l'étude de l'influence des systèmes agroforestiers sur les cortèges de prédateurs (carabes et araignées principalement).

6. L'agroforesterie maraîchère, des systèmes traditionnels

Les systèmes traditionnels en agroforesterie maraîchère étaient rassemblés pour la plupart sur le pourtour méditerranéen, où le manque de terre arable et le caractère vivrier des systèmes ont modelé ces associations (Dupraz and Liagre, 2011). Prenant différents noms, les systèmes en agroforesterie maraîchère se sont façonnés selon la localisation ou les essences d'arbres cultivées :

- *Coltura promiscua* (Italie), association entre l'arbre (fruitier ou fourrager), la vigne et les cultures légumières (Dupraz and Liagre, 2011, Smith, 2010).
- *Huerta* ou *verger-maraîcher* (Espagne et Sud de la France), association entre l'arbre fruitier (olivier, pêcher, prunier, etc.) et les cultures légumières (Dupraz and Liagre, 2011, Smith, 2010). Par exemple, les *Pomeradas* (Espagne), associant les pommiers aux légumes (Smith, 2010).

La diversité des systèmes en agroforesterie maraîchère illustre un certains « succès » de ce modèle depuis l'Antiquité jusqu'au début du siècle dernier (Dupraz and Liagre, 2011).

Tableau I Effets positifs et négatifs de l'association agroforestière (Daizy Rani Batish *et al*, 2008)

Effets positifs	Effets négatifs
<ul style="list-style-type: none"> - Facilitation pour les ressources - Augmentation de la fertilité des sols - Amélioration du microclimat - Maintien la qualité de l'eau - Gestion des adventices et maladies - Conservation de la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> - Ombrage - Compétition pour les ressources - Interférence allélopathique - Comportement invasif des espèces introduites - Habitat pour les organismes ravageurs

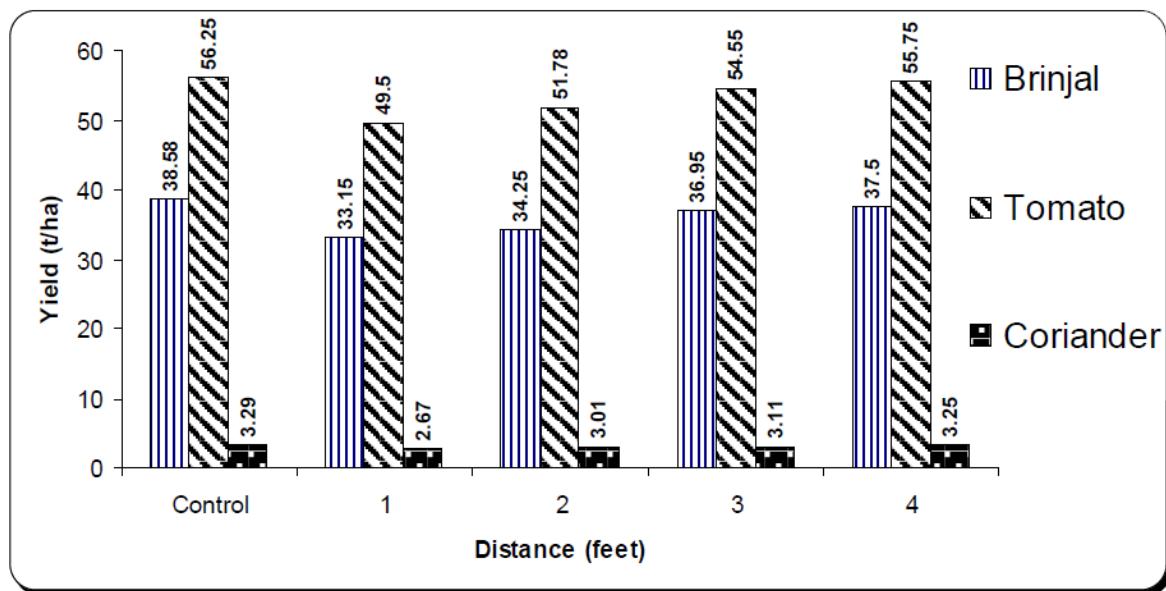


Figure 2 Rendements de tomate, coriandre et aubergine en fonction de la distance à l'arbre (Khatum *et al*, 2009).

7. L'agroforesterie, une source d'interactions

L'agroforesterie maraîchère cherche par une complexification de sa biodiversité végétale, à créer une somme d'effets positifs pour le système agricole. Daizy Rani Batish *et al* (2008), ont détaillé les effets qui émergent des systèmes agroforestiers en séparant les effets bénéfiques et les effets négatifs (Tableau I). Par la mise en commun d'un environnement, une association de culture, telle que l'agroforesterie, engendre des mécanismes de compétition ou de facilitation pour des ressources tels que l'espace, la lumière, l'eau ou l'azote (Dupraz and Liagre, 2011).

8. Le microclimat agroforestier

Le microclimat est un des principaux facteurs de la performance d'une culture, en termes de croissance, de développement et de rendement (Lott *et al*, 2008). Les couverts arborés, par la diversification de leurs architectures, engendent des modifications du microclimat comme la réduction de la vitesse du vent, des températures plus modérées et une humidité plus importante, pouvant être bénéfiques pour la culture intercalaire (Quinkenstein, 2009 ; Taugourdeau *et al*, 2014). Lin (2006) présentait l'effet d'un couvert arboré sur le microclimat d'une plantation de cafiers, et notamment son rôle tampon face aux températures extrêmes, à l'intensité lumineuse et donc à une meilleure efficience de l'utilisation de l'eau selon les saisons (évapotranspiration réduite).

A l'inverse, l'ombre formée par la canopée semble être un des éléments du microclimat les plus délétères pour les cultures intercalaires (Montheith *et al*, 1991). La partie aérienne de l'arbre modifie la disponibilité et la qualité de la lumière comme par exemple un ratio rouge clair/rouge sombre plus faible en agroforesterie (Montheith *et al*, 1991). Ce ratio, via son récepteur végétal, le phytochrome, agit sur des processus biologiques comme la germination des graines, le développement des mécanismes de la photosynthèse, l'architecture du végétal, la floraison, la tubérisation, la dormance des bourgeons, la réponse à une compétition d'un couvert voisin ou encore, l'allocation des ressources dans les racines, la tige et les feuilles (Smith, 2000).

9. Le comportement des cultures légumières en agroforesterie

Face au nombre important de facteurs auxquels est soumise la culture intercalaire, la littérature scientifique s'attache à observer le comportement du peuplement végétal. Les études concernant les cultures légumières ne sont pas nombreuses et principalement réalisées en milieu tropical.

Khatum et al (2009) résume les effets d'un couvert arboré sur une culture de tomate par une moindre production, des plus petits calibres et une hauteur de la plante plus faible par rapport à un témoin. Ces effets sont modulés selon la distance de la culture par rapport à l'arbre (Khatum et al, 2009). Plus la tomate est proche de l'arbre plus les effets cités ci-dessus sont importants et plus la culture s'en éloigne et moins ceux-ci sont visibles (Khatum *et al*, 2009). La fermeture du milieu semble exacerber les effets délétères à la culture de la tomate. Islam (2008) rejoints les conclusions précédentes à l'exception d'effets inverses en termes de croissance. Le couvert arboré provoque, dans ce cas-ci, une hauteur et un nombre de feuille plus importants qu'en milieu ouvert (Islam, 2008). Les effets observés sur la tomate sont identiques sur l'aubergine et la coriandre (Figure 2).

10. Les relations entre le microclimat et le comportement des cultures

La littérature est étayée en ce qui concerne la culture en conditions contrôlées, les mécanismes sont donc plutôt bien connus.

Température

Les auteurs proposent plusieurs relations entre la température et la tomate :

- Une plus haute sensibilité des fruits aux températures élevées dans les derniers stades de croissance. (Adam *et al*, 2001)
- Des températures qui affectent le volume de fruits développés, plus la température est faible et plus le volume de fruits développés est faible. (Adam *et al*, 2001)
- Les fortes températures sont autant délétères que les faibles. A 14°C comme à 26°C, il y a une tendance des tomates à produire plus de fruits parthénocarpiques. A 26°C, il a été observé un taux de nouaison plus faible et un nombre inférieur de fleurs qu'à 16°C. (Adam *et al*, 2001). Ce nombre de fleur est également diminué sous des températures de l'ordre de 30/35°C (Lohar and Peat, 1997)
- L'optimum de température diurne est aux alentours de 25°C (Péron, 2006). Les préconisations de l'ITAB (2015) situent plutôt l'optimum journalier entre 18°C et 24°C et l'optimum nocturne entre 15°C et 17°C.
- Il faut un thermopériodisme journalier de 10°C optimum, modulable selon le stade (Péron, 2006)
- Les températures extrêmes favorisent l'apparition de dégâts, du type collet jaune (Péron, 2006)
- Une température nocturne supérieure à 21°C favorise le rendement en augmentant le taux de nouaison des fleurs de tomate (Willits and Peet, 1998).

Pour la laitue, la température optimale de croissance en jours longs est de 20°C, cette référence est d'autant plus vrai pour la pommaison des salades (Péron, 2006). Des températures élevées favorisent la montée à floraison et inhibe la pommaison (ITAB, 2015)

Hygrométrie

L'hygrométrie doit être modérée (80% d'humidité relative) durant la culture de la tomate, sous peine de voir apparaître des maladies (ITAB, 2015). Cependant l'humidité nocturne (90-95% RH) favorise le développement aérien de la tomate en termes de LAI (Leaf Area Index) et de poids sec de tige (Choi *et al*, 1997). Suzuki et al (2015) évoquent une corrélation instable entre l'augmentation des rendements en fonction d'une humidité journalière en hausse, cependant ils montrent qu'une humidité relative plus importante favorise l'efficience de l'utilisation de l'eau par la plante.

Lumière

La laitue réclame un fort éclairement à température optimale (20°C) (Péron, 2006). De faibles éclaircements entraînent l'accumulation de nitrates dans les feuilles (ITAB, 2015).

Fan *et al* (2013) ont montré que la tomate avait une croissance aérienne accrue sous une lumière d'une intensité comprise entre 300 et 550 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

11. Problématique, objectifs et hypothèses

Le contexte actuel et les multiples atouts de l'agroforesterie donnent un second souffle à des modèles traditionnels comme l'agroforesterie maraîchère. Séduit par les potentialités de ces systèmes, tant sur les aspects économiques et environnementaux que sociaux (confort procurés par les arbres), les producteurs qui projettent d'évoluer en agroforesterie maraîchère sont en augmentation (Source : Daniele Ori, Agrof SCOP). Il semble donc nécessaire d'apporter à ces derniers ainsi qu'à la recherche des références et une meilleure compréhension de ces systèmes agricoles, pour optimiser le développement et la conduite de ce modèle d'agroforesterie. Au vu du faible nombre d'étude dans ce domaine et des attentes des producteurs, il semble donc impératif, de compléter la littérature scientifique sur les effets du système agroforestier sur les cultures légumières.

C'est pourquoi ce mémoire traitera de la problématique suivante :

Quels sont les effets du système agroforestier et de sa composante microclimatique sur la production, le développement et la croissance de cultures de tomate et laitue ? Etude de cas en conditions tempérées et en agriculture biologique.

Les objectifs liés à cette problématique sont :

- 1- Evaluer de manière quantitative et qualitative, l'influence du système agroforestier sur les cultures de tomates et laitues.
- 2- Caractériser le microclimat agroforestier.
- 3- Mesurer l'influence de la composante microclimatique du système agroforestier sur la performance et le comportement des cultures de tomates et laitues.

Des hypothèses ont été formulées pour orienter l'étude :

Hypothèse n°1 : Le système agroforestier induit des différences de comportement chez la tomate et la salade.

Hypothèse n°2 : Le système agroforestier induit des différences de microclimat. Ce microclimat est modulé par le climat régional, la conduite de l'arbre, les essences et l'organisation spatiale du maillage forestier.

Hypothèse n°3 : Le microclimat agroforestier est, pour partie, responsable des différences de comportements observées sur la tomate et la salade.

Ce mémoire, après présentation de la démarche appliquées et du matériel utilisé, s'appliquera à présenter et interpréter les données, de façon à répondre aux objectifs, puis développera une discussion critique et construite autour des résultats pour finir par une conclusion constructive.

II. Matériels et Méthode

1. La démarche

La démarche choisie est conditionnée par une analyse factorielle comparative et corrélative, et l'échelle du système de culture. Le sujet de l'étude est le système agroforestier, des associations complexes qui nécessitent une approche système. L'étude ambitionne de défricher certaines interactions, notamment via le microclimat, pour initier un début de compréhension de l'association entre l'arbre et les légumes. Pour cela, une approche analytique est développée sur la base d'indicateurs. Cette méthodologie s'est également construite sur la base d'une démarche de recherche participative, qui implique directement et tient compte des producteurs partenaires de l'étude.

Ci-dessous, les étapes constituant la démarche générale adoptée pour cette étude :

- Caractérisation du cadre agronomique des différents systèmes de cultures étudiés.
- Définition d'une liste d'indicateurs pertinents en vue de répondre aux objectifs.
- Développement des protocoles et dispositifs expérimentaux adaptés aux indicateurs et au degré d'investissement des producteurs partenaires.
- Mise en place des outils d'échange participatif et acquisition les données.
- Comparaison des différentes modalités agroforestières par rapport au témoin agricole.
- Rechercher des corrélations entre indicateurs selon les ambitions de l'étude.
- Discussion des résultats et émission de proposition d'évolution.

2. Les systèmes de cultures

1) Les sites expérimentaux

L'étude se base sur trois sites expérimentaux, tous en agriculture biologique, dont le site pilote, Les Terres de Roumassouze (Denis et Virginie Florès, Gard 30), ainsi que deux sites satellites, La ferme du Boulidou (Sonia Guerin, Hérault 34) et Le Jardin d'Odile (Odile Sarrazin, Hérault 34).

a. *Les Terres de Roumassouze (30)*

Situées à Vézénobres, au pied des Cévennes, les Terres de Roumassouze sont sous climat méditerranéen avec des épisodes cévenols (pluviométries intenses sur une courte durée). Implantée dans les alluvions du Gardon, l'exploitation agricole de Denis et Virginie dispose, depuis 2010, de 11 hectares d'un mélange d'espace agroforestier et ouvert. Le sol est limono-sableux d'une profondeur d'1,5 à 2 mètres. Il profite de la proximité de la nappe du Gardon l'été et subit des inondations l'hiver (zone inondable). Sur ce site, le maraîchage se mélange aux céréales (blé) et à la culture d'oléagineux (tournesol). Denis et Virginie disposent d'une serre passive pour la réalisation de leurs plants et commercialisent tout en circuits courts (cueillette, magasin de producteurs).

D'un point de vue historique, ce sont des parcelles qui ont été utilisées comme support de recherche, notamment en agroforesterie grandes cultures avant d'être abandonnées par l'INRA en 2010. Depuis, la SCOP Agroof, en partenariat avec Denis et Virginie, a repris les travaux de recherches et les expérimentations.

L'expérimentation a lieu sur un maillage de noyers distant de 10 mètres chacun et d'un espace en plein soleil, sur une ancienne parcelle de peupliers en friche début mars 2015. Cette expérimentation s'étale sur environ 5 000 m² avec quatre zones distinctes selon les modalités : émondé, élagué, têtard et plein soleil.

b. Le Jardin d'Odile (34)

Ce site expérimental est situé près de Marseillan dans l'Hérault où y travaille, depuis 2009, Odile Sarrazin. D'une surface d'1,37 ha, ce site à la particularité d'abriter un verger d'oliviers en 6X6 mètres, où s'intercalent vignes et productions maraîchères sous un climat typiquement méditerranéen (*Coltura promiscua*). Les planches de culture sont soit orientées Nord-Ouest/Sud-Est, soit Nord-Est/Sud-Ouest. Le sol a une texture lourde argilo-sableuse avec des fortes tendances à l'asphyxie. Odile dispose d'une serre pour y faire ses propres semis et y préparer les paniers de légumes qu'elle vend en circuit court.

Sur ce site expérimental, il n'y a pas de zone prédéfinie pour réaliser les expériences. Odile incorpore les essais d'Arbratatouille dans ces espaces dédiés à la production.

c. La ferme du Boulidou (34)

Sonia Guerin est maraîchère depuis 2012 sur une superficie de 0,5 ha d'une ancienne parcelle de vigne abandonnée pendant 10 ans. Elle hérite d'un sol argilo-limoneux très compact et d'un mesclun d'arbres très diversifiés (pommiers, abricotiers, jujubiers, merisiers, etc.). Situé à Cazhilac, au pied des Cévennes, elle bénéficie d'un climat méditerranéen alterné d'épisodes cévenols. Elle dispose d'une serre pour y faire ses plants. La ferme du Boulidou vend en circuits courts, magasin de producteurs et paniers essentiellement.

L'expérimentation se greffe au plan de culture établi par Sonia.

2) Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux sont différents pour chacun des trois sites, car ils sont adaptés à la surface, aux contraintes sociales et agronomiques des producteurs.

a. Les Terres de Roumassouze (Site pilote)

Le site dispose depuis février 2015, de plusieurs modalités de conduite des arbres avec (Annexe I et II) :

- une zone élaguée, où les branches basses ont été coupées ;
- une zone émondée, où le bas du houppier des arbres a été réduit ;
- une zone têtard, où les arbres ont été étêtés ;
- et un témoin agricole, sans arbre.

Sur le site de Denis et Virginie Florès, l'essai d'environ 5 000 m² est organisé de façon à avoir systématiquement une planche de tomate, une planche de laitue et une planche de carotte (hors mémoire) dans chacune des modalités agroforestière. Chaque modalité est séparée par une planche de blé pour éviter les interférences entre les systèmes agroforestiers. Une planche mesure 25 mètres de long et 10 mètres de large, elle est composée de 5 buttes de culture séparée centre à centre de 1,5 mètres. L'essai est orienté Nord-Sud et la ligne d'arbre est laissée en végétation spontanée. Le dispositif expérimental développé sur ce site comprend un maillage de placette élémentaire formant deux blocs complets (Annexe III et IV). Ce maillage s'impose par la multiplication des gradients contraires et leurs multidirectionnalités. Une planche compte donc 2 blocs de 15 placettes élémentaires chacun, réparties équitablement sur

Tableau II Itinéraires techniques appliqués selon les sites d’expérimentation.

les 5 buttes. Les deux blocs forment une répétition identique des conditions microclimatiques entre placettes élémentaires.

La culture de tomate se traduit sur la butte par une ligne de tomate Noire de Crimée et une ligne de tomate Rose de Berne. Les deux lignes sont séparées d'environ 0.45 mètre. Les plants de tomate sont organisés en quinconce, ce qui fait un espacement sur la ligne de 0.6 mètre. Une placette élémentaire comprend deux tomates successives de Noire de Crimée et deux tomates, également successives de Rose de Berne.

La culture de la laitue s'organise avec quatre lignes de plants par butte, deux de la variété Blonde maraîchère et deux autres de la variété Bissia rossa. Chaque ligne est séparée de 0.2 mètre et chaque plant est également séparé de 0.2 mètre. Les plantes sont situées en quinconce. Une placette correspond à quatre plants de laitue, deux Blondes maraîchères et deux Noires de Crimée. Les plantations de salade sont échelonnées environ tous les mois avec la plantation d'une butte à chaque fois selon les conditions.

b. Le jardin d'Odile (Site satellite)

Sur le site satellite d'Odile Sarrazin, le dispositif n'est pas séparé de la partie production, il doit donc s'adapter à des contraintes agronomiques fortes, comme :

- des effectifs réduits ;
- des essais incorporés dans les planches de production ;
- l'éclatement des essais selon l'assolement ;
- des expositions différentes engendrant des microclimats différents.

C'est pourquoi, il y a un dispositif pour chaque planche expérimentale qui se traduit par l'étude de la totalité des plants de tomates (Annexe V). Ce choix se fait au cas par cas en fonction de l'effectif, de l'homogénéité de la planche et son organisation. Seules les tomates seront étudiées chez Odile.

c. La ferme du Boulidou (Site satellite)

Chez Sonia, deux zones ont été distinguées selon leur degré d'ouverture, une zone ensoleillée et une zone ombragée. Pour les mêmes raisons qu'au Jardin d'Odile, les dispositifs sont adaptés aux caractéristiques agronomiques du système de culture (Annexe VI). En revanche, comme la totalité des effectifs de l'essai ne sont pas évaluables, 10 individus par zone et par variété sont sélectionnés de façon échelonnée sur la butte pour lisser la forte hétérogénéité du maillage forestier.

3) Les itinéraires techniques

En plus des caractéristiques générales, il est impératif de poser le cadre agronomique des différents systèmes de culture (Tableau II). Le but étant d'informer sur les caractéristiques agronomiques et techniques des systèmes étudiés, pour disposer d'une vision globale et d'identifier de potentiels facteurs influants.

3. Le matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour l'expérimentation est issu de semences paysannes, c'est-à-dire provenant des récoltes antérieures des producteurs. Les semences paysannes introduisent la notion de variété-population, qui diffère de la variété pure par une hétérogénéité génétique et donc potentiellement une hétérogénéité physiologique et phénotypique. Cette année, deux

Tableau III Les types d'indicateurs développés en fonction des objectifs de l'étude.

Objectifs	Types d'indicateurs
Evaluer de manière quantitative et qualitative, l'influence du système agroforestier sur les cultures de tomates et laitues.	Biologiques
Caractériser le microclimat agroforestier.	Microclimatiques
Mesurer l'influence de la composante microclimatique du système agroforestier sur la performance et le comportement des cultures de tomates et laitues.	Biologiques et microclimatiques

Tableau IV Répartition des indicateurs étudiés en fonction des sites d'expérimentation.

Indicateurs		Site pilote	Site satellite
Biologique	Performance	Rendement, Répartition de la qualité commerciale et Poids moyen	
		Pourcentage de fructification	
	Croissance	Croissance foliaire ou aérienne et Longueur moyenne d'un entre-nœud	
		Capacité maximale de production	
	Développement	Précocité et période production	
Microclimatique		Lumière, Hygrométrie et Température	

variétés-populations sont testées pour la laitue et deux autres pour la tomate (Annexe VII et VIII).

4. Indicateurs

Les indicateurs sont des outils méthodologiques qui sont utilisés pour caractériser, suivre ou évaluer des complexes, comme des systèmes de cultures par exemple. Certains indicateurs sont des variables et d'autres nécessitent plusieurs variables pour être évalués (Tableau III).

Les indicateurs ne seront pas utilisés en totalité sur les trois sites expérimentaux. La démarche participative entraîne une modulation de la « lourdeur » des expérimentations selon les disponibilités des producteurs (Tableau IV)

1) Les indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques doivent servir à montrer une différence du comportement physiologique de la tomate selon les systèmes de cultures. Les indicateurs peuvent être classés en quatre classes : la performance, la croissance, le développement.

a. Le développement

La développement ou phénologie consiste à étudier l'« âge » ou la maturité de la plante. Pour cela, plusieurs stades clés ont été identifiés sur la base des échelles BBCH (Feller *et al*, 1995 a). Cela se traduit concrètement par un nombre de semaines par stade et donc par un suivi hebdomadaire du stade phénologique. A l'exception de la période de production qui est renseignée en nombre de jours (Tomate).

b. La croissance

La croissance est l'évolution des dimensions des organes.

La croissance verticale et horizontale (Salade)

Evaluer la croissance revient à mesurer l'évolution des dimensions des organes foliaires de la laitue. Comme celle-ci développe de très nombreuses feuilles lors d'une partie de sa maturation, la rosette semble être l'organe le plus facilement mesurable. Une rosette est une « disposition de feuilles nombreuses et étalées, arrangées en cercle, » (Littré-Robin, 1855) toutes issues du collet de la laitue. Ces deux indicateurs sont mesurés une fois par semaine, en soustrayant à la mesure n, la mesure n-1 acquise la semaine précédente.

La taille moyenne d'un entre-nœud (Tomate)

La taille moyenne d'un entre-nœud sur tomate est un indice important du comportement de la plante selon les différents systèmes de cultures et qui permet de caractériser l'étiollement, un phénomène irréversible, mais qui doit être régulièrement suivi pour être observé. Cet indicateur est donc mesuré toutes les deux semaines.

La capacité maximale de production (Tomate)

La capacité de fructification est le maximum de boutons floraux qu'a développé la tomate. Cela revient à compter le nombre de bourgeons floraux émis par la plante au total. Cette notation a lieu lorsque l'inflorescence est terminée.

c. La performance

La performance d'une culture rassemble des indicateurs à la frontière entre l'évaluation agronomique et économique.

Le poids spécifique (Salade et Tomate)

Cet indicateur consiste à évaluer le poids spécifique de la production d'une plante. Pour la salade, cela consiste à peser l'appareil aérien après nettoyage et parage de la jupe. Pour la tomate, cela consiste à calculer le poids moyen d'un fruit, et donc :

$$Poids\ spécifique = \frac{\text{Poids de la production de la plante}}{\text{Nombre de fruits produits par plante}}$$

La pesée doit se faire immédiatement après la récolte pour que les organes restent turgescents.

La répartition de la catégorie commerciale (Salade et Tomate)

Cet indicateur consiste à accorder une qualité commerciale à la production selon les normes OCDE des fruits et légumes. La répartition se fait en fonction du pourcentage de la production commercialisable.

Le pourcentage de fructification (Tomate)

Le pourcentage de fructification se mesure en comparant la capacité maximale de production (cf. Croissance) au nombre de fruit commercialisable produit. La capacité maximale de production est mesurée en comptant le nombre de bourgeons floraux émis par la plante.

$$\text{Pourcentage de fructification} = \frac{\text{Capacité maximale de production}}{\text{Nombre de fruits produits par plante}} \times 100$$

Le rendement (Salade et Tomate)

Le rendement est un indicateur clé du système de culture. Il est décliné en rendement par plante et en rendement par hectare.

2) Les indicateurs microclimatiques

Les variables microclimatiques rassemblent des données de température, d'hygrométrie et de disponibilité de la lumière.

a. Température

La température est mesurée en degré Celsius toutes les 15 minutes (site pilote) et 30 minutes (sites satellites). Pour caractériser le microclimat, le minimum (au Nord d'un arbre) et maximum (au milieu de 4 arbres) sont évalués à deux hauteurs différentes, 2 mètres (standard) et 1 mètre (Annexe IX). Les données sont ensuite travaillées pour obtenir des indicateurs connus pour influencer les cultures, comme les fourchettes de température présentées en Introduction. Les optimums de températures sont mesurés de la manière suivante : le nombre d'heures entre 15 et 17°C la nuit et entre 18 et 24°C le jour pour la tomate (références ITAB). Et entre 19 et 21 °C pour la laitue (Référence Péron)

b. Hygrométrie

L'hygrométrie est mesurée en pourcentage d'humidité relative, toutes les 15 minutes (site pilote) et 30 minutes (sites satellites). Pour caractériser le microclimat, le minimum (au Nord d'un arbre) et le maximum (au milieu de 4 arbres) sont évalués à la hauteur de 2 mètres. Les données sont également retravaillées pour obtenir des indicateurs des optimums d'hygrométrie pour les cultures, comme le nombre d'heures au-dessus de 80%RH pour la tomate (référence ITAB).

c. Lumière

La disponibilité en lumière se traduit par le traitement, de photographies hémisphériques prises de la canopée, grâce au logiciel Gap Light Analyzer. La disponibilité en lumière se mesure grâce à la variable « Canopy ouvertes » qui mesure l'ouverture du milieu, autrement

dit, le pourcentage de ciel que la canopée ne recouvre pas. Les photographies ont été prises de manière à spatialement caractériser une modalité.

5. Méthodologie d'acquisition de donnée

Les notations de suivi sont hebdomadaires, et les récoltes se font selon la maturité des légumes. Les notations du site pilote sont prise en charge par la SCOP Agroof, tandis que les producteurs des sites satellites assurent les notations de leurs expérimentations.

6. Analyse des résultats

L'analyse de résultat se base principalement autour d'une évaluation statistique des résultats grâce au logiciel R. Des axes d'analyses ont été préalablement choisis pour structurer l'analyse autour des points-clés de l'étude.

Ces axes se rassemblent en deux groupes, l'un concernant plus l'aspect comparatif de l'étude et le second, l'aspect mise en relation avec les variables explicatives.

1) La comparaison des systèmes

Axe 1 Comparaison de variables en fonctions des modalités. Montrer des différences significatives entre les différents systèmes de cultures sur les indicateurs quantitatifs et qualitatifs des cultures

Tests :

Quantitatif paramétrique : Test Anova à 1 facteur (+ test de validité) + test de Tukey (Comparaison multiple)

Quantitatif non-paramétrique : Test de Kruskall-Wallis (+ test de validité) + test de Mann-Whitney.

Qualitatif : Test du Chi² + Test de Mann Whitney

Axe 2 Comparaison de variables quantitatives en fonction de la disposition spatiale en butte. Montrer une hétérogénéité spatiale (butte) entre les variables quantitatives (Rendement, Poids spécifique, Nombre de fruit) dans la modalité et entre les modalités.

Tests :

Quantitatif paramétrique : Test Anova à 1 facteur (+ test de validité) + test de Tukey (Comparaison multiple)

Quantitatif non-paramétrique : Test de Kruskall-Wallis (+ test de validité) + test de Mann-Whitney.

Axe 3 Comparer le microclimat des modalités. Montrer la présence d'un microclimat significativement différent dans les modalités agroforestières face à un témoin agricole.

Tests :

Quantitatif paramétrique : Test Anova à 1 facteur (+ test de validité) + test de Tukey (Comparaison multiple)

Quantitatif non-paramétrique : Test de Kruskall-Wallis (+ test de validité) + test de Mann-Whitney.

2) Les corrélations

Axe 3 Identifier des corrélations entre des variables

Montrer une vue d'ensemble des corrélations possibles entre variables. A resserrer par une corrélation au cas par cas tout en vérifiant la cohérence scientifique du couple de variables testées.

Tests : Analyse Factorielle Multiple

Axe 4 Expliquer une variable à expliquer par une ou plusieurs variable(s) explicative(s)

Permet de montrer la part explicative d'une ou plusieurs variable(s) sur une autre.

Tests : Régression linéaire simple.

Tableau V Nombre de jours de la plantation, à la première récolte, en fonction des modalités et de la variété. Site pilote

Variété	Modalité	Jour de plantation	Jour de la première récolte	Nombre de jours après plantation
Noire de Crimée	Elagué	16/04/2015	13/07/2015	88
	Emondé	20/04/2015	15/07/2015	85
	Têtard	21/04/2015	13/07/2015	84
	Témoin	21/04/2015	17/07/2015	87
Rose de Berne	Elagué	16/04/2015	15/07/2015	90
	Emondé	20/04/2015	13/07/2015	83
	Têtard	21/04/2015	13/07/2015	84
	Témoin	21/04/2015	28/07/2015	98

Tableau VI Nombre de jours de la plantation, à la première récolte, en fonction des modalités et de la variété. Site satellite

Variété	Modalité	Jour de plantation	Jour de la première récolte	Nombre de jours après plantation
Noire de Crimée	Ensoleillé	19/05/2015	20/07/2015	62
	Ombragée	19/05/2015	24/07/2015	66
Rose de Berne	Ensoleillé	19/05/2015	22/07/2015	64
	Ombragée	19/05/2015	24/07/2015	66

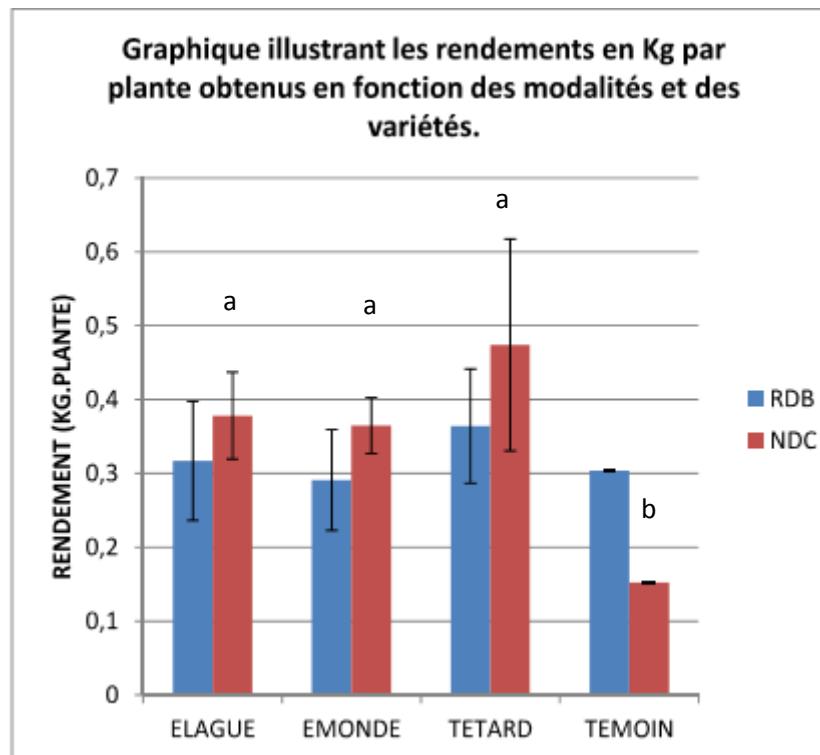


Figure 3 Rendements et écart-type en Kg par plante obtenus en fonction des modalités et des variétés. Les lettres a, b, c représentent les groupes statistiques significativement différent pour un α de 0.05.

III. Résultats

Les résultats sont présentés selon la méthodologie développée pour analyser les données, c'est-à-dire organisés dans un premier temps sur la comparaison des systèmes et dans un second temps sur la recherche de corrélation.

La comparaison des systèmes s'effectue à deux échelles, la modalité entière et la butte de culture ainsi que sur deux composantes, les cultures et le microclimat, en reprenant l'organisation des axes d'analyses (1,2 et 3).

1. Comparaison des modalités

Les résultats issus du site pilote (Les terres de Roumassouze) et les résultats du site satellite (La ferme du Boulidou) sont présentés de manière conjointe.

1) Tomates

a. Développement

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

Le tableau V renseigne sur la précocité des deux variétés de tomates en fonction des modalités. Il n'y a pas de différence très importante entre les modalités en ce qui concerne la précocité de la variété Noire de Crimée, en revanche les modalités agroforestières semblent diminuer le nombre de jours nécessaire au développement et à la maturation de la tomate Rose de Berne. Les modalités Emondés, Têtard et Elagué ont permis de réduire la phase non-productive de la tomate, respectivement de 15, 14 et 8 jours.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

Le tableau VI permet de confirmer une partie des résultats du site pilote, notamment sur la variété Noire de Crimée, avec aucune différence de précocité. En revanche, la modalité agroforestière ne suit pas la même tendance que celle du site pilote, en ne rendant pas plus précoce les variétés Rose de Berne.

b. Performance

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

Un des premiers indicateurs de performance est le rendement. La figure 3 résume les rendements (en kilogramme par plante) des modalités selon les deux variétés de tomate. Aucune différence significative n'est observée entre les modalités pour la variété Rose de Berne, en revanche les modalités agroforestières ont des rendements significativement plus importants en ce qui concerne la variété Noire de Crimée. La modalité Têtard engendre des rendements de tomates plus importants que n'importe quelle autre modalité, indépendamment de la variété.

L'observation de l'acquisition de ce rendement dans le temps vient compléter l'analyse de cet indicateur (Figure 4). La dynamique des rendements des différentes modalités dans le temps est la même pour les deux variétés de tomates. Les rendements observés sous la modalité Elagué sont supérieurs aux autres modalités durant les semaines 31 et 32, avant de diminuer à la semaine 33. La période caniculaire pourrait être responsable d'une telle différence. Les rendements observés sous les modalités Emondé, Têtard et Témoin sont en constante augmentation. A la semaine 33 la modalité Têtard engendre des rendements supérieurs, suivent les rendements d'Emondé et Elagué, et pour finir le Témoin.

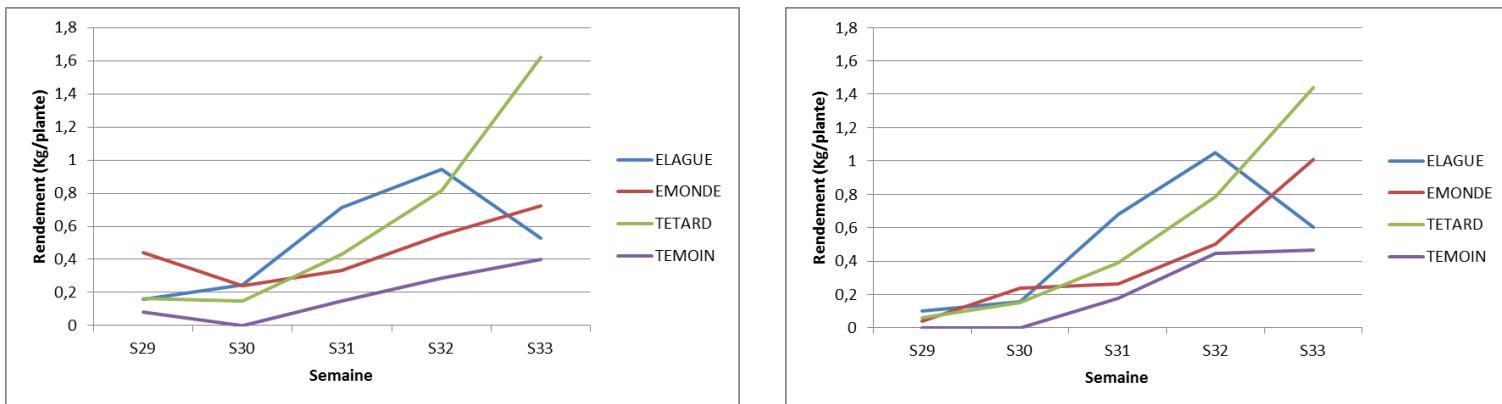


Figure 4 Dynamique des rendements (Kg/plante) des modalités en fonction des semaines. Noire de Crimée à gauche et Rose de Berne à droite. Site pilote

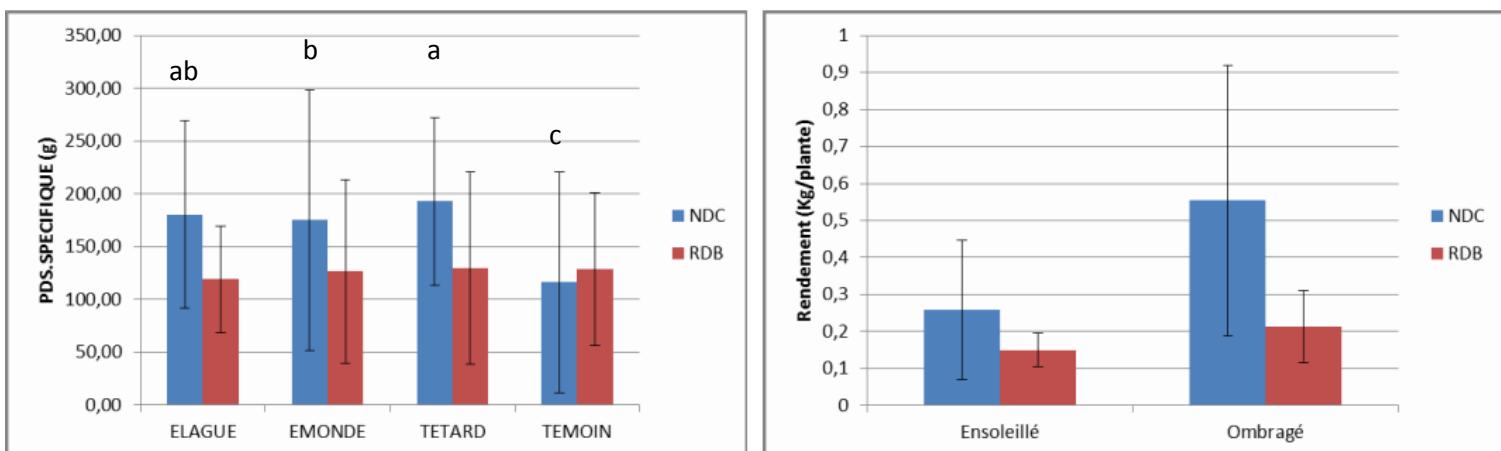


Figure 5 Poids spécifiques moyens et écart-type en fonction des modalités et de la variété. Les lettres a, b, c représentent les groupes modalités et des variétés. Site satellite.

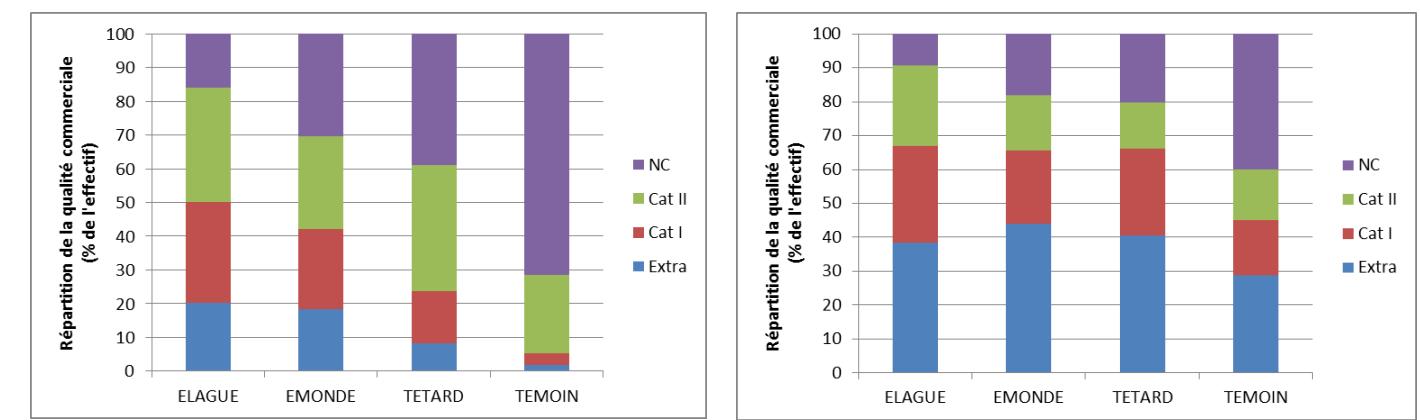


Figure 6 Distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de tomates récoltées. A gauche, la variété Noire de Crimée et à droite, la variété Rose de Berne. NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1 ; Extra)

Les différentes modalités semblent avoir une influence sur le poids spécifique des tomates Noire de Crimée récoltées, à l'inverse la variété Rose de Berne ne voit pas son poids spécifique varier (Figure 5). Pour la variété Noire de Crimée, les modalités agroforestières, Têtard en tête, provoquent des tomates plus lourdes que le Témoin agricole. La différence atteint environ 77 grammes entre Têtard et Témoin.

Les modalités influencent également la qualité commerciale de la production (Figure 6). Il y a homogénéité des effets selon les variétés, malgré des effets accentués sur la variété Noire de Crimée. La modalité Elagué a entre 80 et 90% de nombre de tomate qui sont commercialisables, à l'opposé le Témoin a entre 30 et 60 % du nombre de tomates qui sont commercialisables. Entre ces derniers, les modalités Emondé et Têtard semblent intermédiaires, avec un léger avantage pour Emondé qui produit plus de tomates Extra que la modalité Têtard.

Pour finir, le pourcentage de fructification, autrement dit le pourcentage de boutons floraux ayant abouti à la production d'une tomate, est à ce stade encore faible, étant donné que les boutons floraux relevés ne sont pas tous arrivés à terme (Tableau 7). Cependant une tendance s'observe avec le groupe Elagué-Emondé qui semble avoir un pourcentage de fructification supérieur aux modalités Têtard-Témoin.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

Même si ces données reposent sur le début de la récolte, ils viennent confirmer que la modalité agroforestière a une production supérieure au témoin. Avec dans ce cas, plus du double du rendement pour la variété Noire de Crimée (Figure 7). Comme évoqué plus haut, la variété Noire de Crimée semble plus sensible aux conditions agroforestières que la variété Rose de Berne.

La figure 8 présente la répartition des catégories commerciales selon l'effectif de tomates récoltées. La modalité Ombragée produit plus d'Extra que la partie Ensoleillée.

c. Croissance

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

La capacité maximale de production fait écho au pourcentage de fructification, avec également deux groupes de modalités, avec Elagué-Emondé qui produisent significativement moins de boutons floraux que Têtard-Témoin (Tableau VII).

La croissance de l'appareil aérien est mesurée par la longueur moyenne d'un entre-nœud, traduisant la présence d'un effet « étiollement » (Tableau VII). Les données présentées résultent d'une mesure faite fin mai, une dernière mesure devant être réalisée début septembre pour clôturer la partie Suivi. La modalité Elagué semble plus s'étioler que les autres modalités, avec une différence s'approchant d'1 cm. Il y a une homogénéité statistique présente chez les trois autres modalités, mise à part le Témoin qui, pour la variété Noire de Crimée diminue jusqu'à 1.93 cm par entre-nœud.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

La figure 9 montre que la modalité agroforestière engendre des entre-nœuds plus longs d'environ 0.5 cm. Cela caractérise un phénomène d'étiollement des tomates soumises à des conditions provoquant l'allongement de la tige.

Pour conclure cette partie de l'analyse, des différences sont observées entre modalités sur plusieurs indicateurs, avec des variations variétales peu importantes. Les modalités

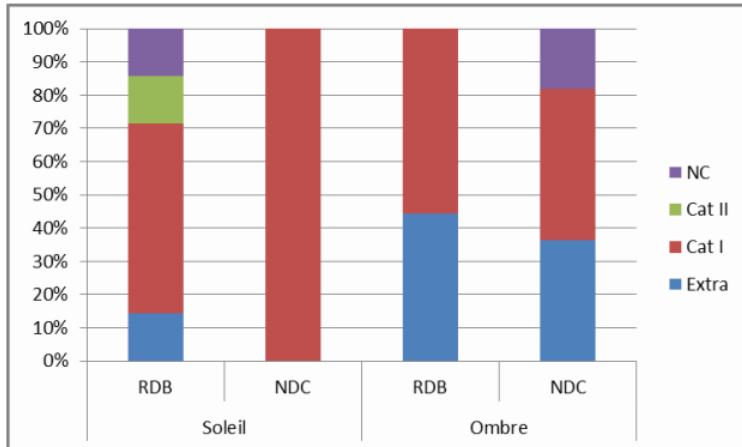


Figure 9 Graphiques représentant la distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de tomates récoltées. (NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1 ; Extra) Site satellite

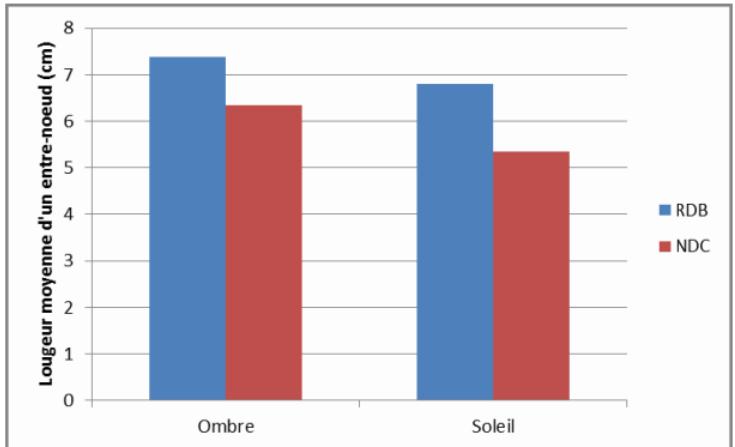


Figure 8 Graphique présentant la longueur moyenne d'un entre-nœud en fonction de la modalité et de la variété. Site satellite

Tableau VII Indicateurs en fonction des modalités et de la variété, ainsi que les groupes statistiques et les p-value.

	Indicateurs	Variété	Elagué	Emondé	Têtard	Ouvert	p-value
Performance	Rendement (Kg/m ²)	NDC	2.52 (a)	2.44 (a)	3.16 (a)	1.02 (b)	2.294 e-05
		RDB	2.11	1.94	2.43	2.03	0.428
	Rendement (Kg/plante)	NDC	0.378 (a)	0.365 (a)	0.474 (a)	0.152 (b)	2.294 e-05
		RDB	0.317	0.291	0.364	0.304	0.428
	Poids spécifique (g)	NDC	180.56 (ab)	175 (b)	192.93(a)	116.15(c)	1.05 e-07
		RDB	119.18	126.45	129.62	128.73	0.5632
	Distribution des catégories commerciales (% de l'effectif récolté)	NDC	Extra	20,3	18,3	8,1	1,8
			Cat I	29,7	23,9	15,6	3,6
			Cat II	34,1	27,5	37,5	23,2
			NC	15,9	30,3	38,8	71,4
		RDB	Extra	38,5	44,0	40,5	28,8
			Cat I	28,5	21,6	25,6	16,3
			Cat II	23,8	16,4	13,7	15,0
			NC	9,2	18,1	20,2	40,0
	Pourcentage de fructification (%)	NDC	6.79 (a)	6.87 (a)	4.16 (b)	2.23 (b)	2.56 e-06
		RDB	6.74	4.82	4.38	6.12	0.2495
Croissance	Hauteur moyenne d'un entre-nœud (cm)	NDC	3.66 (a)	2.42 (b)	2.84 (b)	1.93 (c)	5.14 e-12
		RDB	3.80 (a)	2.48 (b)	2.47 (b)	2.86 (b)	2.8 e-07
	Capacité maximale de production (Nombre maximal de boutons floraux émis par plante)	NDC	48.37 (a)	52.63 (a)	64.80 (b)	54.94 (ab)	5.3 e-05
		RDB	36.7 (a)	36.5 (b)	48.8 (b)	48.72 (b)	4.815 e-08

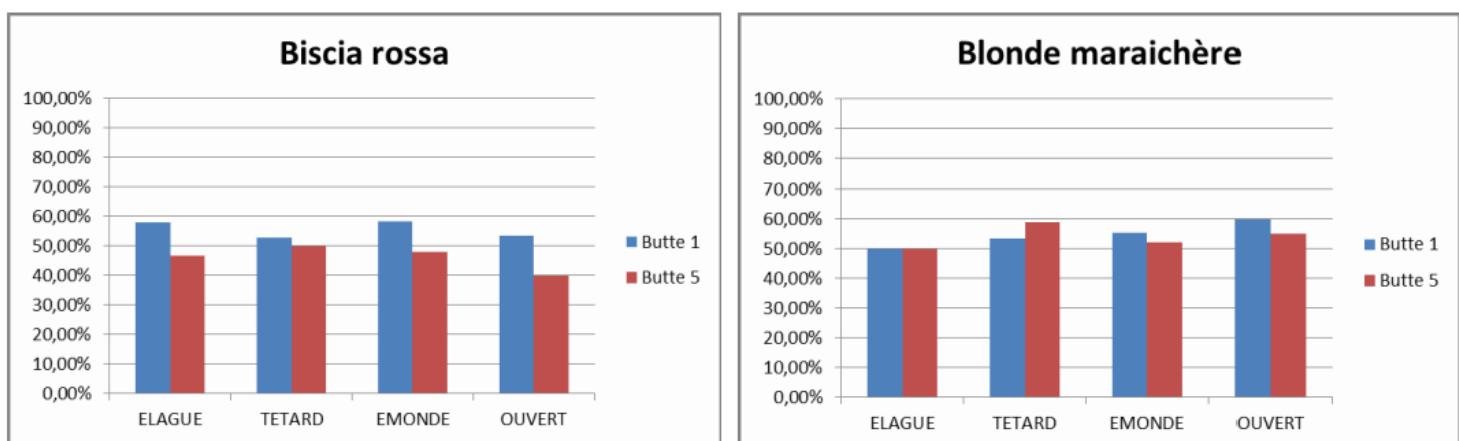


Figure 10 Graphique présentant le stade de développement moyen des salades à la récolte chez les deux variétés.

agroforestières semblent plus performantes que le Témoin, avec la modalité Têtard qui est la plus performante en termes de rendement et de poids spécifique. En revanche la modalité Elagué bénéficie d'une production de meilleure qualité commerciale. La modalité Emondé semble intermédiaire entre ces deux dernières.

2) Laitues

a. Développement

Le développement des laitues a souffert des conditions caniculaires de cette année, c'est pourquoi la plupart des salades ont été récoltées avant leur optimum végétatif, les risques de montaison étant trop importants (Figure 10).

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

Il n'y a pas de différence entre les modalités sur le stade de récolte. Cela s'explique également par une gestion de la récolte dans son ensemble et non au cas par cas. La récolte a eu lieu en même temps pour toutes les modalités

b. Performance

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

La figure 11 renseigne sur le rendement obtenu par variété et pour chaque modalité. La modalité Têtard produit les meilleurs rendements et les laitues les plus lourdes. La modalité la moins performante est Elagué avec des rendements presque deux fois inférieurs à Têtard et des poids spécifiques allégés d'environ 80 grammes. La modalité Emondé est supérieure au Témoin en terme de rendement pour la variété Bissia rossa mais pas pour la variété Blonde maraîchère. De plus Emondé est inférieur au Témoin en poids spécifique, chez les deux variétés.

La répartition des catégories commerciales est fortement influencée par les différentes modalités en ce qui concerne la variété Blonde maraîchère (Figure 12). A l'inverse la variété Bissia rossa, n'enregistre pas de forte différences à l'exception d'une plus forte proportion de laitues catégorie 1 pour Emondé. La laitue Bissia rossa n'a pas bien fonctionné dans la totalité des modalités avec environ 80% de laitues non commercialisables, rejetées soit pour un poids trop faible, soit pour un début de montaison. Cette conclusion semble plus modulable pour la variété Blonde maraîchère, la modalité Têtard approchant les 55 % de laitues commercialisables. Malgré moins de laitues commercialisables, les modalités Emondés et Têtard arrivent à dégager quelques individus de 1^{ère} catégorie. La modalité Elagué semble faire souffrir les deux variétés de laitues de la même manière, en n'arrivant à produire que 20% de l'effectif.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

Les salades de la variété Blonde maraîchère n'ont pas pu être récoltées dans la zone ombragée, les conditions ont évolués rapidement, ce qui s'est traduit par une montaison immédiatement. C'est pourquoi, ces résultats seront absents des figures associées, mais bien entendu pris en compte dans l'analyse.

La figure 13 permet de confirmer que des milieux plus ouverts produisent des salades plus lourdes que les modalités agroforestières. Les salades à l'Ombre ont très peu de poids en comparaison de la modalité Soleil, qui produit des individus au moins 3 fois plus lourds.

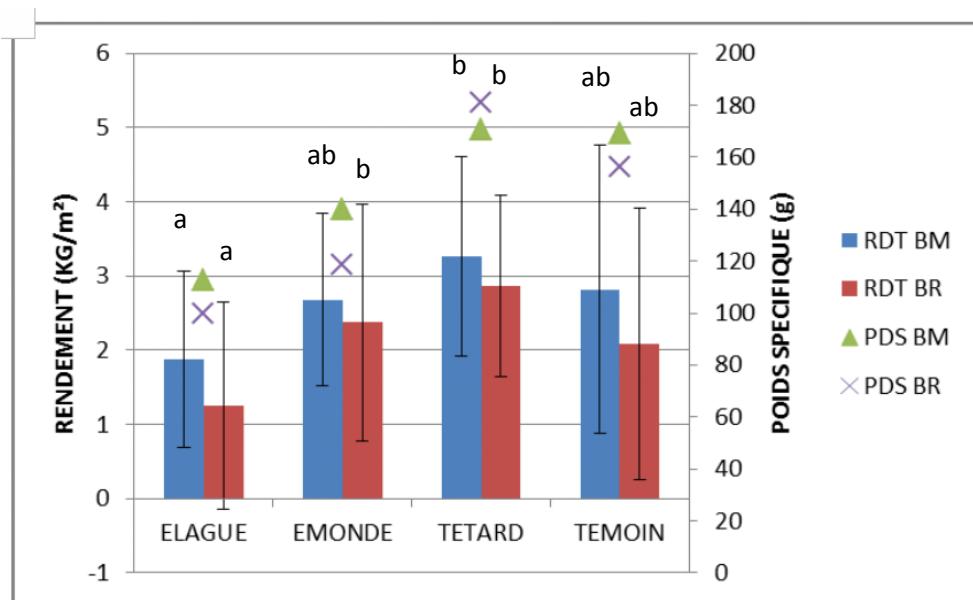


Figure 11 Rendements et poids spécifiques moyens par variété de laitue et par modalité. L'écart-type est seulement valable pour le rendement. Les lettres a, b, c représentent les groupes statistiques significativement différent pour un α de 0.05. (RDT : Rendement ; PDS : Poids spécifique)

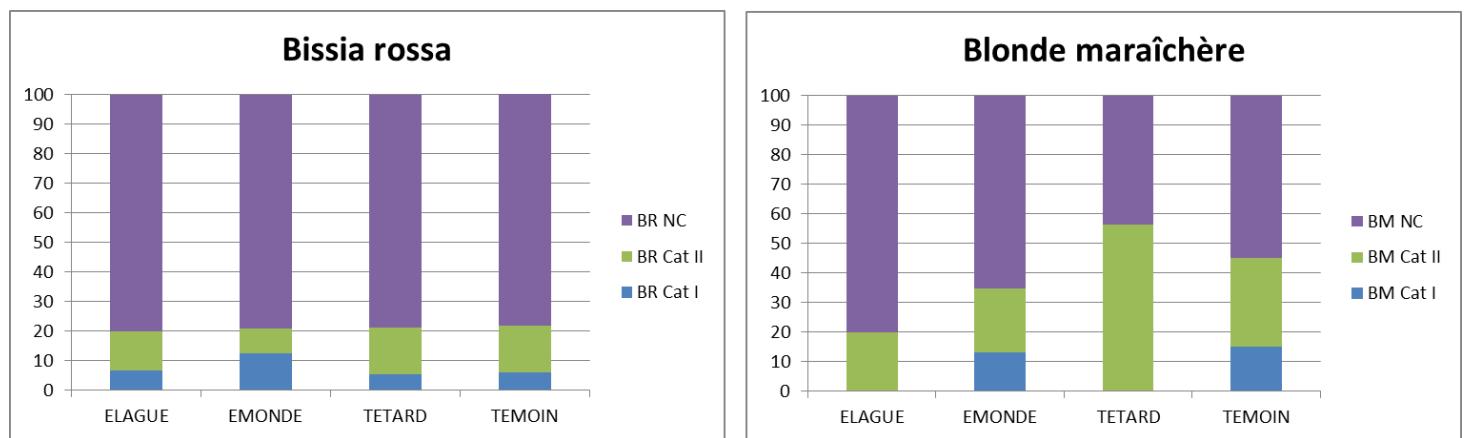


Figure 12 Distribution de la qualité commerciale sur les effectifs de laitues récoltées. NC : Non commercialisable ; Cat II : Catégorie 2 ; Cat I : Catégorie 1

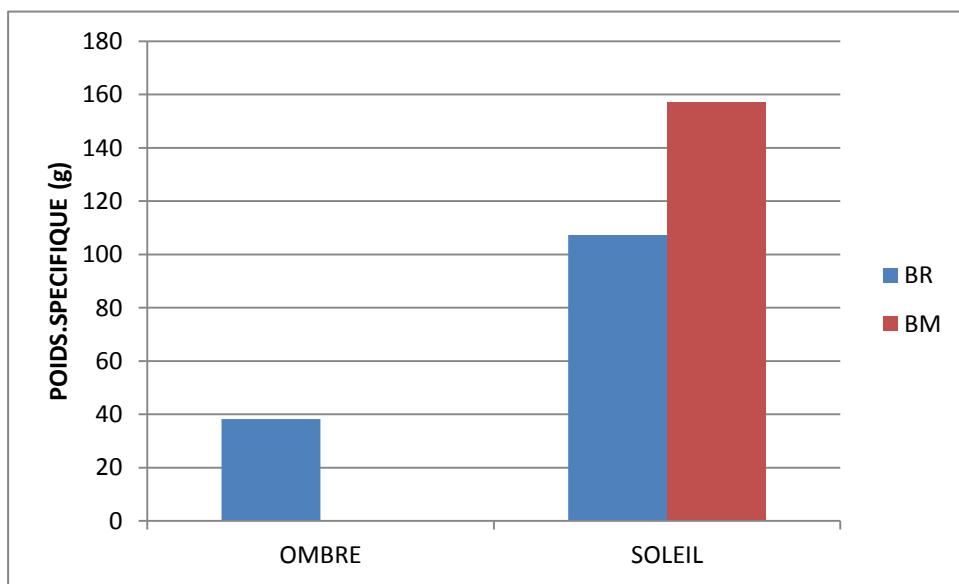


Figure 5 Poids spécifiques moyens en fonction de la variété et des modalités. Site satellite

c. Croissance

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

La croissance foliaire d'une laitue se présente de deux manières, la première qui consiste à évaluer la vitesse de croissance (Tableau VIII) et la seconde qui évalue les dimensions finales des individus (Figure 14).

Il y a peu de différences notables entre les différentes modalités, à l'exception d'un diamètre de rosette qui augmente en fonction de la fermeture du milieu. Cela traduit un phénomène observé de visu avec des laitues qui ont tendances à étaler leurs feuillages pour étendre leurs surfaces de captage de la lumière.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

En termes de dimensions des laitues, la zone Ombragée semble induire des salades plus hautes et plus larges que le témoin Ensoleillé pour la variété Blonde maraîchère (Figure 15). En revanche pour Bissia rossa, c'est le témoin qui induit des laitues plus larges.

Pour conclure, malgré des dimensions relativement similaires, les modalités se départagent sur la qualité de leurs productions et sur leurs poids spécifique. Des soupçons portent sur la fermeture lumineuse des modalités qui influencerait la densité foliaire des individus et donc expliquerait des poids spécifiques aussi contrastés. La modalité Têtard est la seule modalité agroforestière qui obtienne des résultats supérieurs au Témoin.

2. Hétérogénéité spatiale

Pour cet axe, seuls les résultats du site pilote sont présentés. Les facteurs de production se traduisent par des gradients multiples et multidirectionnels, c'est pourquoi, il est nécessaire d'analyser également l'hétérogénéité spatiale intra-modalité et inter-modalité de certains indicateurs comme le rendement. Cet axe d'analyse concerne seulement la culture de tomate car la salade n'est pas plantée sur toutes les buttes à la même date.

Au vue de la Figure 16, aucune butte ne semble se dégager des autres, en revanche les buttes 2 et 3 semblent être les moins productives, indépendamment de la variété. A l'inverse les buttes 4 et 5 sont les deux plus productives. Les buttes 1 et 5, les plus proches de l'arbre semblent être peu impactées par ce dernier, alors que les buttes 2 et 4 semblent être influencées, négativement ou positivement.

Les Figures 17 et 18, décortiquent l'analyse entre les modalités et les variétés. La variété Rose de Berne ne traduit pas d'hétérogénéité spatiale, hormis pour la modalité Têtard avec une performance accrue sur les buttes 1 et 2. A l'inverse Elagué concentre les meilleures productions sur les buttes 4 et 5. La variété Noire de Crimée semble plus plastique face aux gradients d'hétérogénéité. Il semble difficile de dégager un schéma identique pour chaque modalité. La butte 3 est la plus performante chez Elagué, chez Emondé c'est la butte 5 et chez Têtard c'est la butte 4, qui produit plus du double de la butte 2. Il semble y avoir un gradient d'hétérogénéité mono ou multifactoriel, mais la réponse des modalités face ce dernier semble différente.

Tableau VIII Indicateurs en fonction des modalités et des deux variétés de laitues, ainsi que les groupes statistiques et les p-value

	Indicateurs	Variété	Elagué	Emondé	Têtard	Ouvert	p-value
Performance	Rendement (Kg/m ²)	BM	1.88 (a)	2.68 (ab)	3.27 (b)	2.82 (ab)	0.0155
		BR	1.25 (a)	2.37 (b)	2.87 (b)	2.08 (ab)	0.02497
	Poids spécifique (g)	BM	112.75 (a)	140 (ab)	170.83 (b)	168.95 (b)	0.0111
		BR	99.6 (a)	118.42 (ab)	181.16 (b)	156 (ab)	0.01909
	Distribution des catégories commerciales (% de l'effectif)	BM	Cat I	0	13	0	0.02456
			Cat II	20	21.7	56.5	30.0
			NC	80	65.2	43.5	55.0
		BR	Cat I	6.7	12.5	5.3	0.9666
			Cat II	13.3	8.3	15.8	15.8
			NC	80.0	79.2	78.9	81.2
Croissance	Croissance verticale (cm/semaine)	BM	2.35	2.58	2.53	2.20	0.533
		BR	2.04	2.52	1.48	2.14	0.1865
	Croissance horizontale (cm/semaine)	BM	2.21	2.03	2.24	1.86	0.4612
		BR	2.52	2.72	3.13	2.63	0.4213

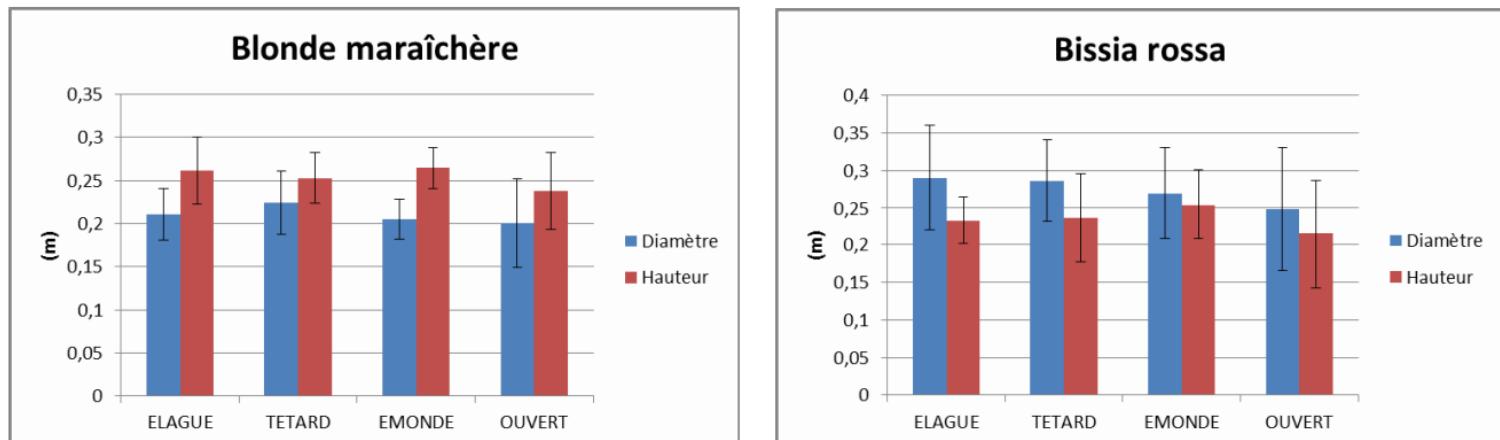


Figure 6 Dimensions finales moyennes, et les écart-types, des laitues selon les modalités et la variété.

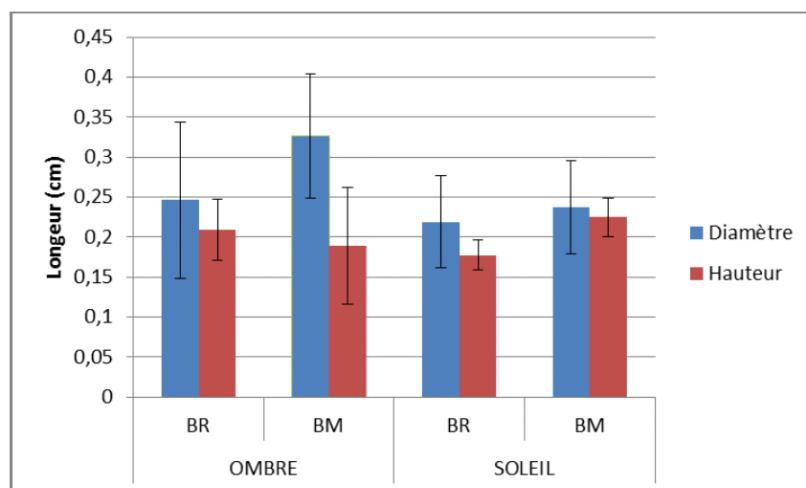


Figure 7 Dimensions finales moyennes, et les écart-types, des différentes variétés de laitue en fonction de la modalité. Site Satellite

3. Le microclimat agroforestier

Le microclimat a été caractérisé sur deux sites d'expérimentations, cependant l'analyse du site satellite est plus succincte que celle du site pilote. Cette analyse vise à montrer des différences de microclimats agroforestiers, vis-à-vis du Témoin. Ces différences se traduisent de manière temporelle et spatiale et se déclinent avec la lumière, la température et l'hygrométrie. Cette année 2015, un épisode caniculaire a eu lieu durant le mois de juillet.

a. Caractérisation des microclimats

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

La quantité de lumière disponible, est un des premiers critères de variations entre les modalités, c'est pourquoi le degré d'ouverture des milieux est étudié. La figure 10, montre un pourcentage de lumière au sol qui augmente en fonction de l'ouverture des milieux et quelle que soit la période. La modalité Elagué est la plus fermée, 30% d'ombrage en avril, jusqu'à près de 80 % d'ombrage en juillet. Ensuite les modalités Emondé et Têtard qui sont intermédiaire entre Elagué et le Témoin (figure 19). Le développement du feuillage de l'arbre exacerbe la fermeture du milieu.

La figure 20 représente la spatialisation des données d'ouverture de la canopée. Les différences s'observent principalement entre les modalités et peu dans les modalités. Les données ne permettent pas de montrer une hétérogénéité spatiale forte dans aucune des modalités. En revanche, l'absence d'un arbre en Têtard modifie l'environnement proche de l'emplacement supposé de ce dernier, ce qui montre la bonne sensibilité de cet indicateur.

La figure 21 illustre les différences de température et d'hygrométrie moyennes qui existent entre les différentes modalités. D'un point de vue statistique, l'hygrométrie du Témoin et des modalités Têtard et Emondé ne sont pas significativement différent. La modalité Têtard est plus chaude que le Témoin. A l'inverse la modalité Emondé semble plus froide Pour finir la modalité Elagué, est plus humide et moins chaude que le Témoin. Les trois modalités agroforestières représentent trois cas de figures distincts.

Ce microclimat n'est pas uniforme dans le temps, notamment à cause du couvert arboré et des saisons. C'est pourquoi, l'analyse, tout comme la lumière, s'intéresse à deux périodes d'étude, avril, qui précède la période où l'arbre (noyers) débourre et juillet où l'arbre a atteints un premier optimum de son feuillage (Figure 22). Les observations d'avril concluent sur l'absence de différences significatives entre les modalités, hormis une humidité plus importante en Elagué que sur les trois autres modalités. De la même manière, pour la période de juillet, aucune différence significative n'est observée entre les modalités.

Ce qui soulève la question, de l'origine des différences observables sur la température et l'hygrométrie moyennes de la période de l'étude.

Site satellite (La ferme du Boulidou)

Les microclimats présents sur les deux zones de ce site varient sur le même schéma que le site pilote. En termes de lumière, il y a environ 20% de lumière directe en moins de disponible pour la modalité agroforestière (Figure 23). La modalité agroforestière est plus froide que le témoin, et comme la modalité Emondé du site pilote, la zone Ombragée est moins humide que le témoin Ensoleillé.

Cependant ces différences sont minimes sur la moyenne, en revanche le tableau IX renseigne sur la valeur de l'effet tampon qui atteint 0.63 °C pour la température et près de 2% pour l'hygrométrie.

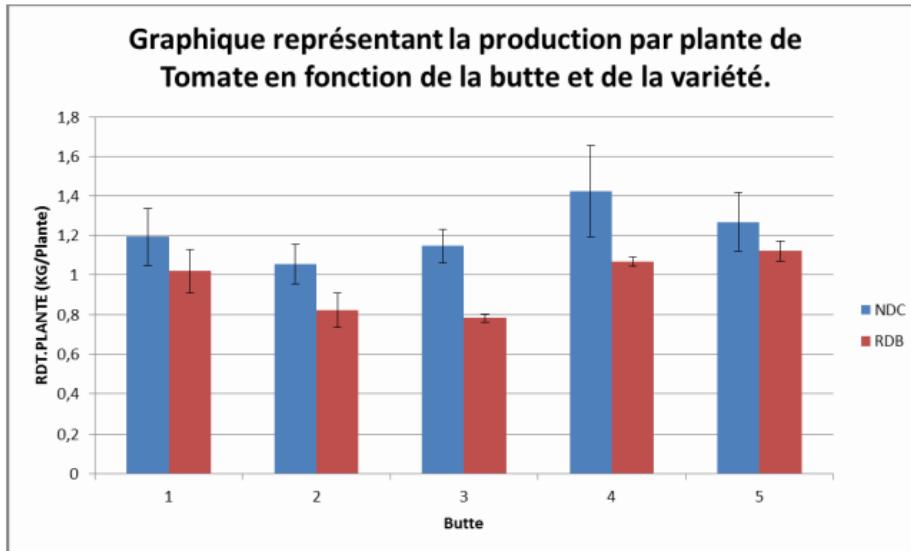


Figure 8 Production par plante de Tomate et écart-types en fonction de la butte et de la variété (Elagué, Tétard et Emondé).

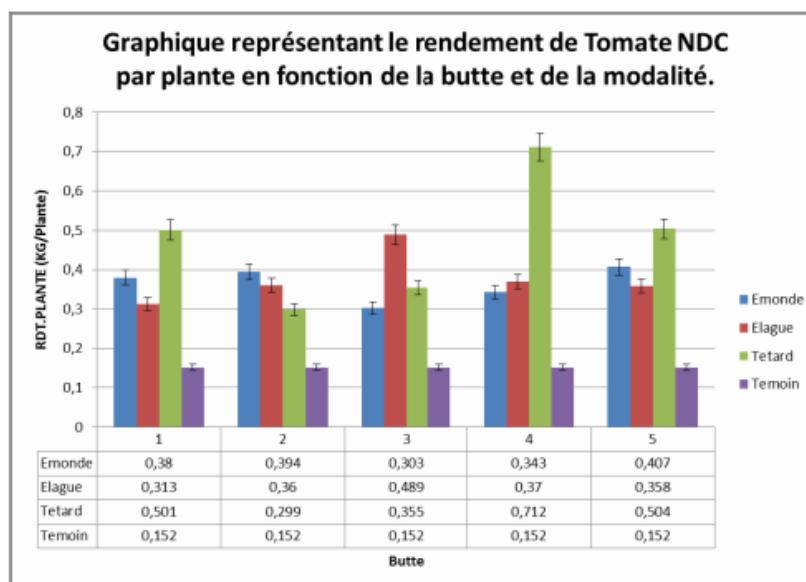


Figure 9 Rendement de Tomate NDC et écart-types par plante en fonction de la butte et de la modalité.

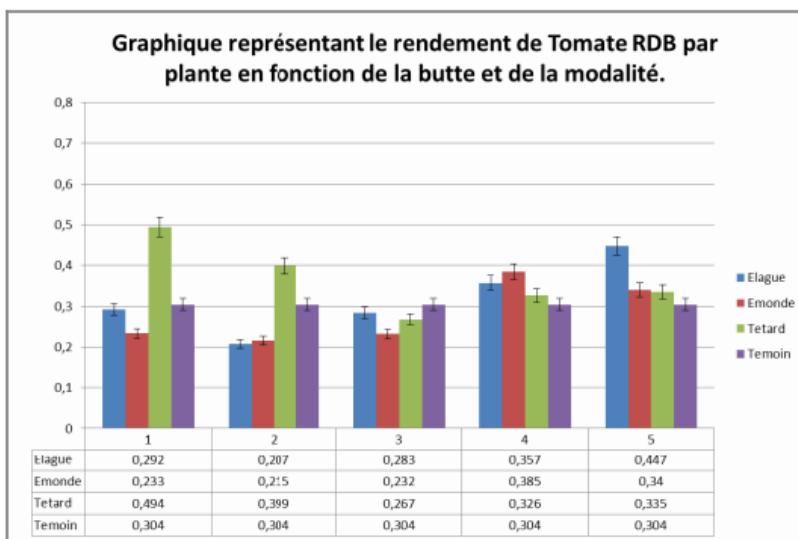


Figure 10 Graphique représentant le rendement de Tomate RDB par plante en fonction de la butte et de la modalité.

Malgré un maillage hétérogène, un microclimat différent a pu être caractérisé sur ce site, ayant les mêmes tendances que le site pilote, à l'exception de l'hygrométrie.

b. L'effet tampon

L'effet tampon se traduit par des atténuations des extrêmes de température et hygrométrie par rapport au témoin. C'est un phénomène transitoire qui ne se traduit pas sur des moyennes de courtes périodes. Cet effet est visible grâce à la figure 24, où l'on observe des variations de pics de températures (négatif ou positif). Un schéma régulier s'extract de cette figure, avec les modalités agroforestières généralement en dessous des températures du Témoin, la journée. A l'inverse la nuit, les modalités agroforestières descendent moins bas en terme de température. Pour exemple, la modalité Elagué semble avoir le plus fort effet tampon, comme le confirme la différence moyenne (positive et négative), avec près de 1.39 °C sur toute la période de l'étude.

Sur le même schéma que la température, l'hygrométrie est tamponnée. La modalité Témoin enregistre les plus fortes variations de pourcentage d'humidité relative (Figure 25). La nuit, l'humidité remonte plus haut et la journée elle descend plus bas que pour les modalités agroforestières. En revanche, l'analyse visuelle ne permet pas de séparer les modalités agroforestières les unes des autres. Mais d'après le tableau X, il semble qu'Elagué est la modalité enregistrant le plus fort effet tampon, avec 3.44 % d'humidité relative de différence par rapport au Témoin.

Pour résumé, la couverture arborée engendre des modifications microclimatiques significatives que ce soit en termes de disponibilité en lumière, en température ou encore en humidité. Un effet tampon a été observé pour la température et l'hygrométrie. La modalité Elagué est la plus fermé à la lumière (20% d'ouverture en Juillet), en revanche elle enregistre les plus faibles températures toutes modalités confondues.

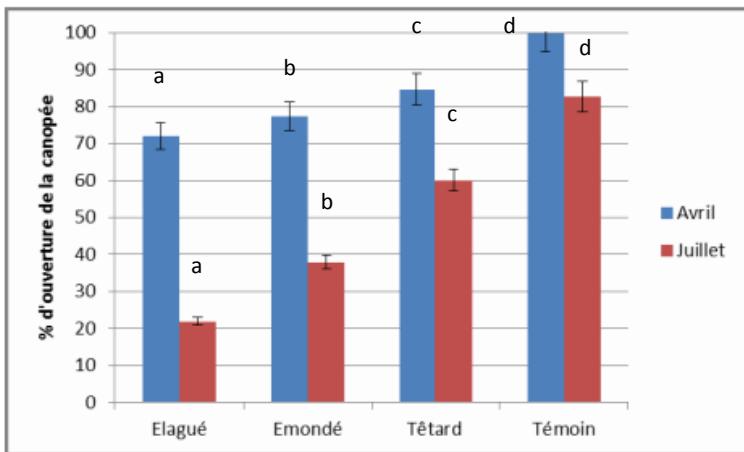


Figure 12 Graphique du % d'ouverture de la canopée en fonction des modalités et de deux périodes. Les lettres a, b, c et d représentent les groupes statistiques significativement différent pour un α de 0.05.

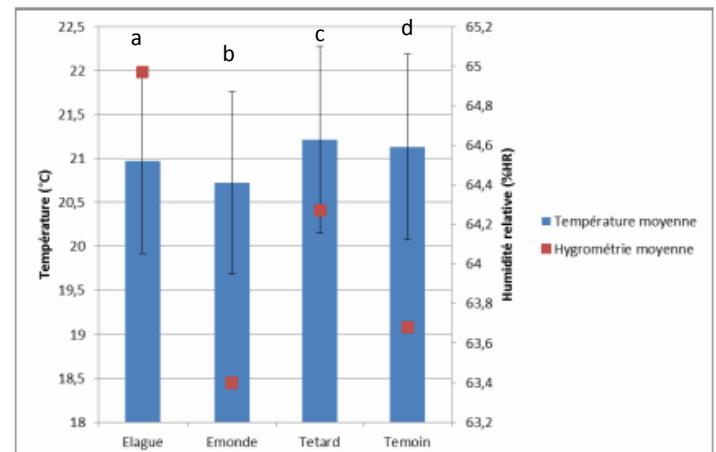


Figure 11 Graphique de l'hygrométrie et de la température moyenne des différentes modalités. Les écart-types sont valable pour la température. Les lettres a, b, c et d représentent les groupes statistiques significativement différent pour un α de 0.05.

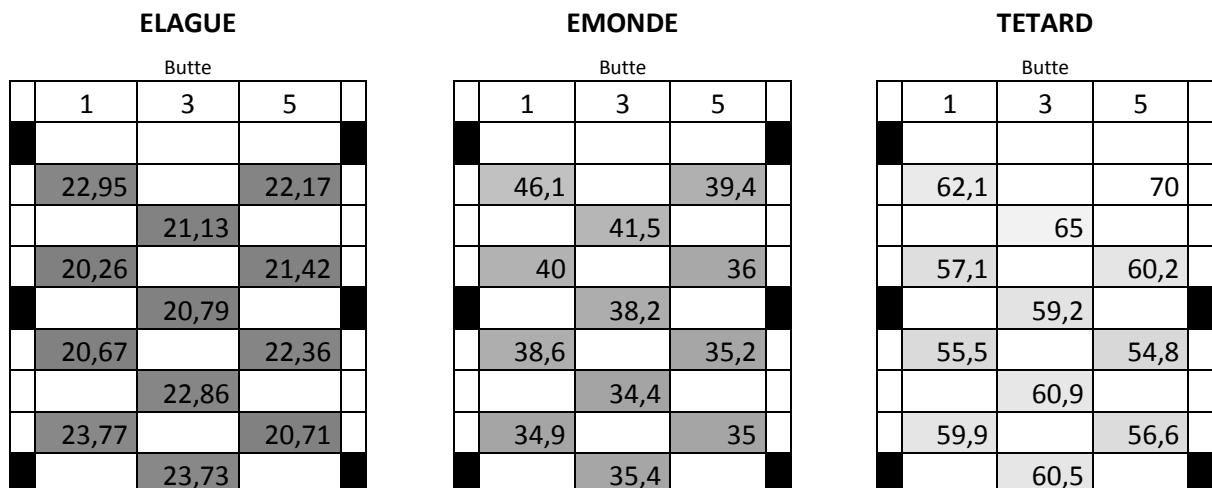


Figure 13 Schéma spatial du pourcentage d'ouverture du milieu en fonction des trois modalités agroforestières.

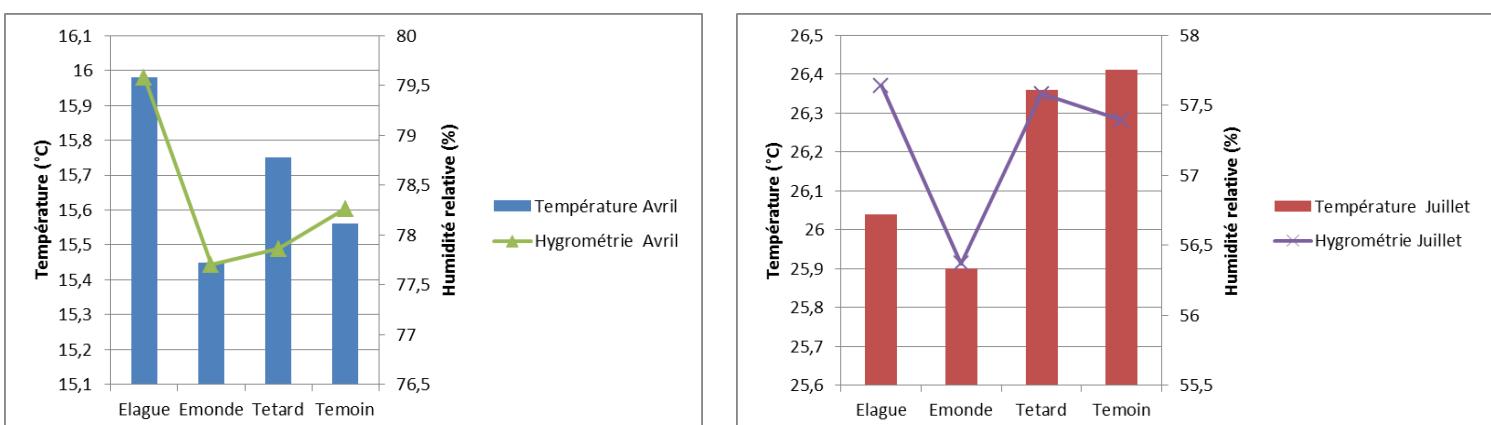


Figure 22 Températures et hygrométrie moyennes des modalités à deux périodes, Avril et Juillet

4. Corrélation des variables

Cette partie de l'analyse consiste à chercher des corrélations entre les différentes variables de l'étude, pour avoir une compréhension plus fine des mécanismes en jeu dans l'association agroforestière. Cette phase de l'analyse est exploratoire et incomplète. Elle a été testée sur le site pilote et le site satellite du Jardin d'Odile.

1) Corrélation performance/microclimat

Dans cette partie, l'analyse cherche à expliquer les variables de performance en fonction des variables microclimatiques.

a. Tomate

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

Les principales corrélations identifiées sur tomates dans ce site sont (Figure 26) :

- Une corrélation négative entre le rendement par plante et le nombre d'heure où la tomate a été soumise à des températures nocturnes optimales (cf Matériel et méthode).
- Une corrélation positive entre le rendement par plante et le nombre d'heure où la tomate a été soumise à des températures diurnes optimales (cf Matériel et méthode).

Le tableau XI renseigne sur la faiblesse de corrélation entre les variables microclimatiques et le rendement (inférieur à 1%).

Site satellite (Le jardin d'Odile)

Sur le site satellite du jardin d'Odile, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence, cependant ce résultat se base sur seulement trois dates de récolte. Le rendement et la température moyenne, un coefficient de corrélation inférieur à 0.01, malgré une hausse de la récolte et de la température moyenne sous couvert arboré.

b. Laitue

De la même manière sur laitue, les deux seules corrélations possibles sont positives, et concernent les variables de lumière et le rendement ou le poids spécifique.

Dans les deux cas de corrélations possibles, la variété Blonde maraîchère semble plus concernée par l'influence de la lumière que Bissia rossa (Figure 27).

Le tableau XII présente les coefficients de corrélation selon les couples de variables testés.

Pour conclure, le rendement de la laitue semble influencé par l'ouverture du milieu et donc de la disponibilité maximale de lumière, mais cela reste en de faible proportion (de 0.0364 à 0.1251 de corrélation), d'autres paramètres non mesurés influence le rendement. Le poids spécifique peut être expliqué par la variable de lumière à hauteur de 21% maximum. Les deux corrélations testées sont influencées par une hétérogénéité variétale non négligeable, la variété Blonde maraîchère semble plus sensible au facteur lumière que la variété Bissia rossa.

2) Corrélation croissance/microclimat

Dans cette partie, l'analyse cherche à expliquer les variables de croissance en fonction des variables microclimatiques.

Site pilote (Les terres de Roumassouze)

a. Tomate

Deux corrélations potentielles, de type croissance/microclimat, sont détectées :

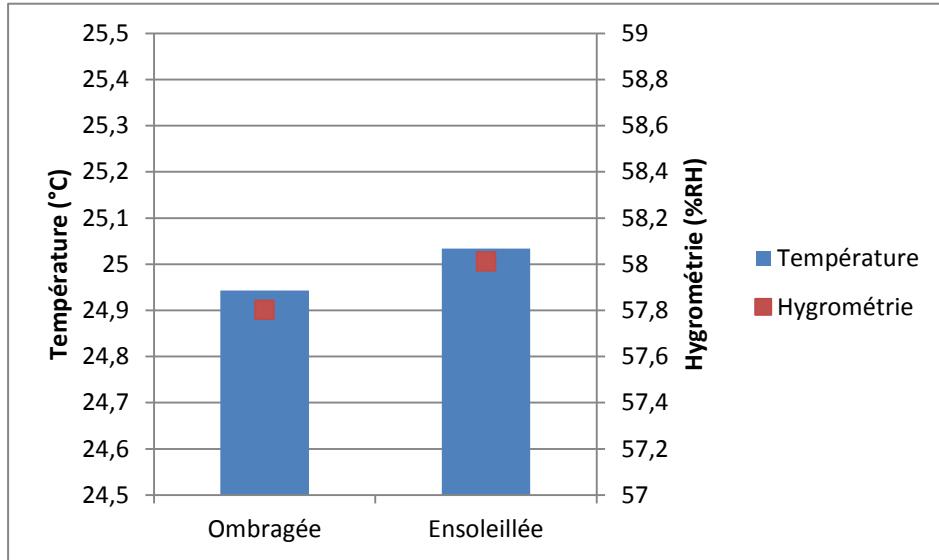


Figure 14 Température et hygrométrie moyenne sur les deux modalités du site satellite

Tableau IX Indicateurs microclimatiques par modalités. Site satellite

		Ombragée	Ensoleillée
Pourcentage d'ouverture du milieu		62.59	82.51
Température	Moyenne	24,9433026	25,03346848
	Différence	0,63191955	0
Hygrométrie	Moyenne	57,8017214	58,01175859
	Différence	1,98653203	0

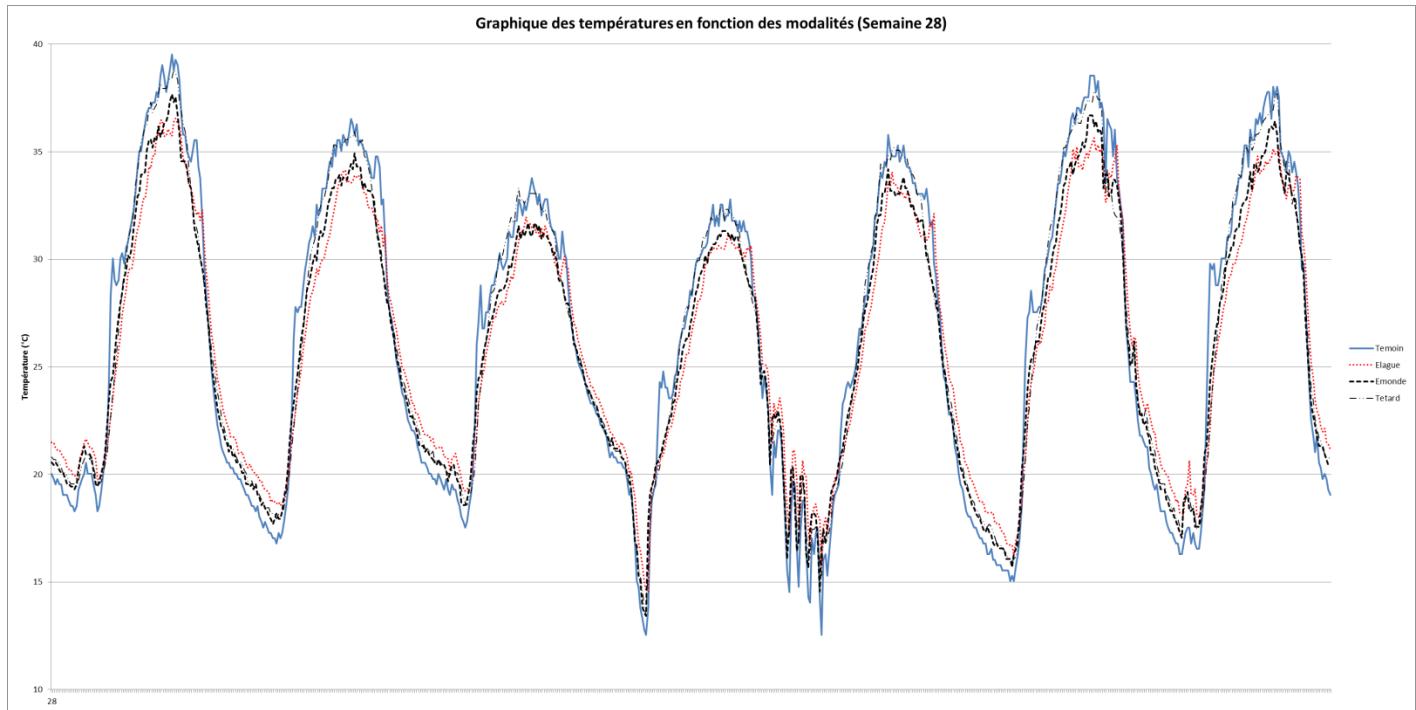


Figure 15 : Variations des températures en fonction du temps et des modalités.

- Le nombre d'inflorescence semble corrélé avec la température moyenne, les optimums de température et d'hygrométrie.
- Le nombre d'inflorescences peut être négativement corrélé à l'ouverture des milieux.

La figure 28 montre l'influence de la température moyenne sur le nombre d'inflorescence d'une tomate et dans une moindre mesure l'influence de la variables lumineuses sur cette dernière. Les corrélations sont assez homogènes selon la variété choisie.

Le tableau XIII montre un fort coefficient de corrélation, confirmant l'influence de la température moyenne sur le nombre d'inflorescence à hauteur de 72.25 % de part explicative. En d'autres termes cela signifie que plus la température moyenne augmente, plus le nombre d'inflorescences est élevé. Pour ce qui est de l'influence de la quantité maximale de lumière reçue sur le nombre d'inflorescence, la corrélation est négative et plus faible, 12.2% de part explicative. Au total, près 85% de la variable nombre d'inflorescence arrive à être expliqué par ces deux variables microclimatiques, indépendamment de la variété.

b. Laitue

Aucune corrélation n'est trouvée en ce qui concerne la laitue. Le cercle de corrélation ne montre aucune corrélation possible avec les variables microclimatiques. Les dimensions ne décrivent pas assez la variabilité existant entre les modalités.

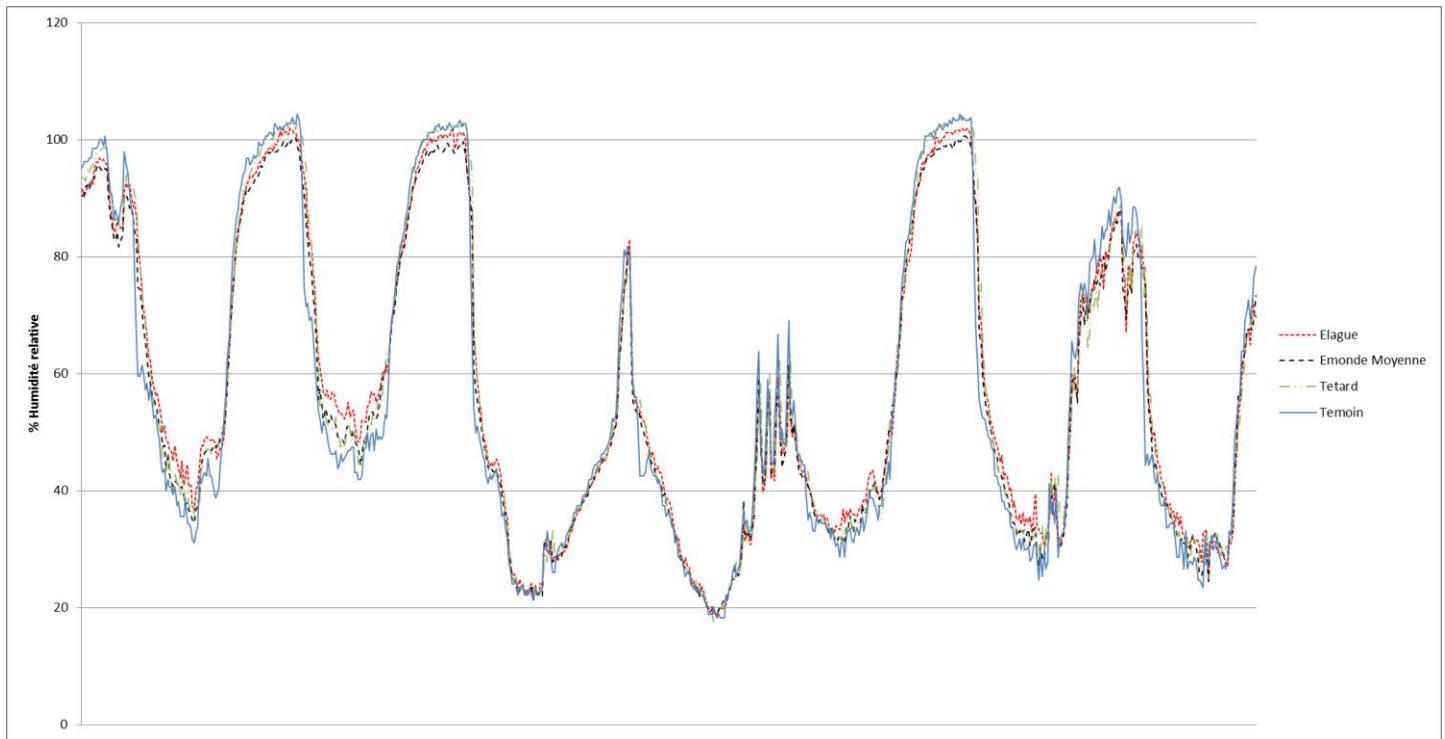


Figure 16 Variations de l'hygrométrie en fonction du temps et des modalités.

Tableau X Indicateurs microclimatiques en fonction des modalités et de deux périodes (Avril et Juillet)

Indicateur		Elagué	Emondé	Tétard	Témoin	p-value
Pourcentage d'ouverture du milieu	Avril	72.1 (a)	77.4 (b)	84.6 (c)	99.9 (d)	5.39 e-07
	Juillet	21.9 (a)	37.9 (b)	60.1 (c)	82.8 (d)	4.44 e-07
Température (°C)	Moyenne	15.98	15.45	15.75	15.56	0.1416
	Différence	0.54 (a)	0.28 (b)	0.33 (c)	0	2.2 e-16
Hygrométrie (% humidité relative)	Moyenne	79.58 (a)	77.7 (b)	77.86 (b)	78.26 (b)	8.43 e-05
	Différence	2.73	1.84	1.83	0	2.2 e-16
Température (°C)	Moyenne	26.04	25.90	26.36	26.41	0.5535
	Différence	1.85 (a)	1.39 (b)	0.95 (c)	0	2.2 e-16
Hygrométrie (% humidité relative)	Moyenne	57.64	56.37	57.58	57.39	0.4038
	Différence	4.09	3.45	3.42	0	2.2 e-16
Température (°C)	Moyenne	20.97 (a)	20.72 (b)	21.21 (c)	21.13 (d)	6.67 e-07
	Différence	1.39 (a)	1.10 (b)	1.31 (c)	0	2.2 e-16
Hygrométrie (% humidité relative)	Moyenne	64.97 (a)	63.40 (b)	64.27 (c)	63.68 (cb)	6.26 e-08
	Différence	3.44	2.80	2.84	0	2.2 e-16

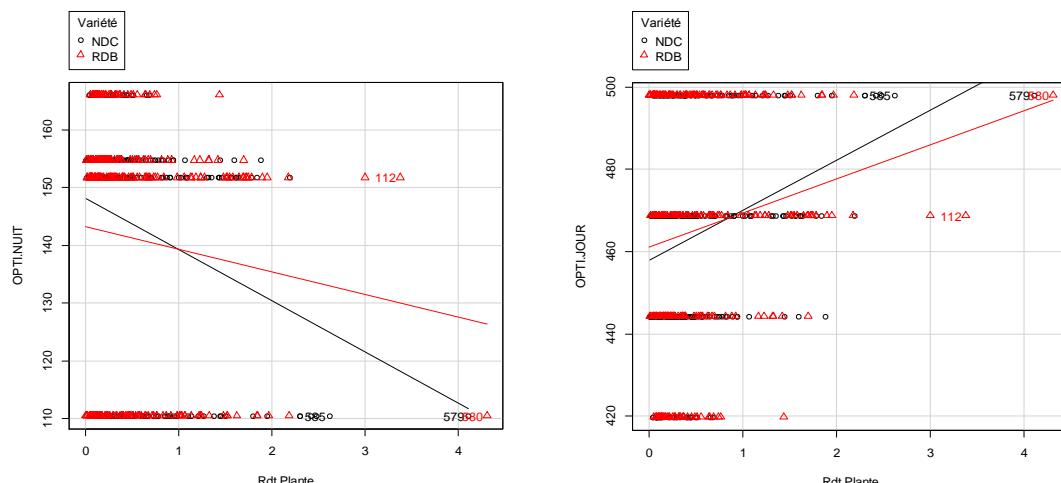


Figure 26 Répartition des individus de tomate en fonction du nombre d'heures à températures optimales jour et nuit et du rendement, ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de la variété

Discussion

1. Les résultats

Pour rappel, la problématique consiste à « évaluer l'influence du système agroforestier et de sa composante microclimatique sur les cultures de tomate et salade ». Pour y répondre, des axes d'analyses ont été définis, hiérarchisant l'étude et son analyse.

1) L'influence du système agroforestier sur la tomate et la laitue

Au vu des résultats obtenus, il est possible de répondre que le système agroforestier influence les cultures intercalaires de tomate et laitue. Certains résultats présentés plus haut peuvent se résumer dans le tableau XIV en fonction des témoins respectifs. Cela permet de caractériser les effets du maillage d'arbres sur les cultures.

a. Performance

Les systèmes agroforestiers sous toutes les formes étudiées ont un effet bénéfique sur le rendement, le poids spécifique et la qualité commerciale des tomates. Ces résultats illustrent la présence d'une balance d'interactions positive pour la performance de la culture de tomate. Cette balance, malgré quelques modulations est commune à tous les systèmes étudiés.

En revanche, pour la laitue, ce résultat est plus mitigé avec la présence de tous les cas de figure. Un système fermé comme celui Elagué, semble être délétère à la performance de la laitue. Plus le système s'ouvre plus cette performance s'améliore, jusqu'à dépasser le Témoin pour le système agroforestier le plus ouvert (Têtard). La balance d'interaction positive diminue avec la fermeture de la canopée et finit par être négative dans les modalités les plus fermées.

Khatum (2009) et Islam (2008) ont montré l'influence négative de l'arbre sur les rendements de tomate, sous climat tropicaux. Les premiers résultats de cette étude montrent l'exact inverse de leurs conclusions sous un climat tempéré.

Il semble important de souligner également l'établissement des rendements observés dans le temps. Sur la période étudiée, le système le plus fermé (Elagué) a eu les rendements les plus élevés sur le début de la période de récolte avant de régresser, alors que des modalités intermédiaires entre cette dernière et le Témoin, ont commencé par des rendements plus modestes mais sont en constante augmentation et dépasse la modalité Elagué au bout de la troisième semaines de production.

b. Croissance

En termes de croissance des cultures, le système agroforestier est également source d'interactions. Comme l'a montré Islam (2008), le maillage agroforestier provoque un étiollement des tomates qui se traduit dans cette étude par une longueur d'entre-nœud plus importante en fonction de l'ouverture du milieu. Ce phénomène d'étiollement est initié par un stress que subissent les tomates, probablement via le manque d'une ressource lumineuse comme le soulignait Montheith *et al* (1991). Le système agroforestier influence la tomate sur sa capacité de production, en réduisant le nombre de boutons floraux émis par plante au fur et à mesure que le système se referme.

Pour la laitue, il y a peu de différence notable entre les différentes modalités, à l'exception d'un diamètre de rosette qui augmente en fonction de la fermeture du milieu. Cela traduit un phénomène observé de visuel avec des laitues qui ont tendances à étaler leurs feuillages pour étendre leurs surfaces de captage de la lumière.

Tableau XI R² Corrélations performances/microclimat testées sur tomate. Site pilote.

Variables à expliquer	Variables explicatives	Variété	Coefficient de corrélation
Rendement	Températures optimales Nuit	NDC	0.072
		RDB	0.0044
	Températures optimales Jour	NDC	0.072
		RDB	0.004

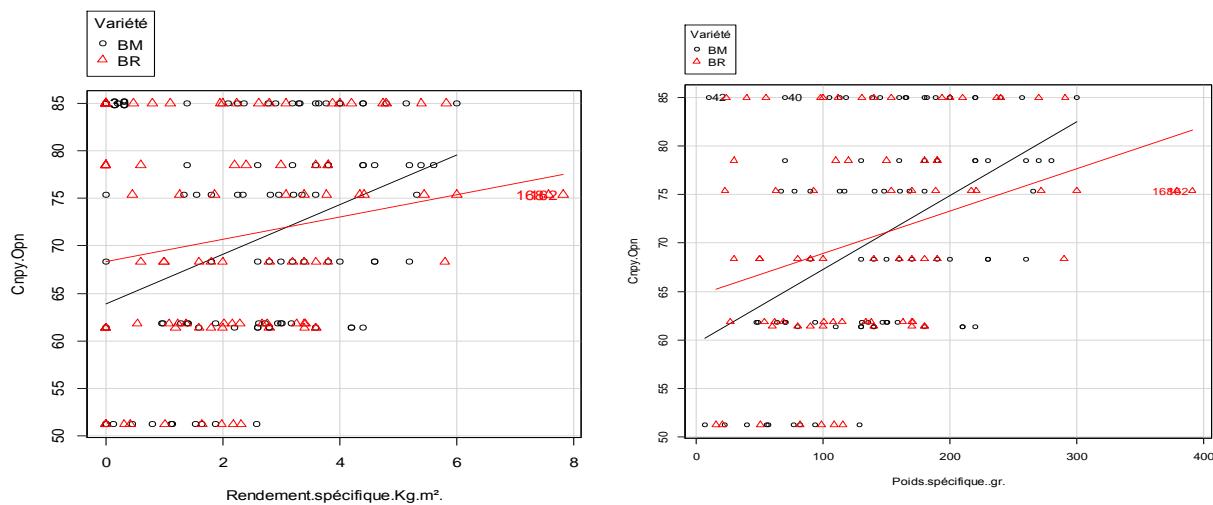


Figure 27 Répartition des individus de laitue en fonction de l'ouverture de la canopée et du rendement (gauche) et du poids spécifique (à droite), ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de la variété.

Tableau XII Corrélations performances/microclimat testées sur laitue. Site pilote.

Variables à expliquer	Variables explicatives	Variété	Coefficient de corrélation
Rendement	Ouverture du milieu	BM	0.1251
Poids spécifique			0.2082
Rendement	Ouverture du milieu	BR	0.0364
Poids spécifique			0.1133

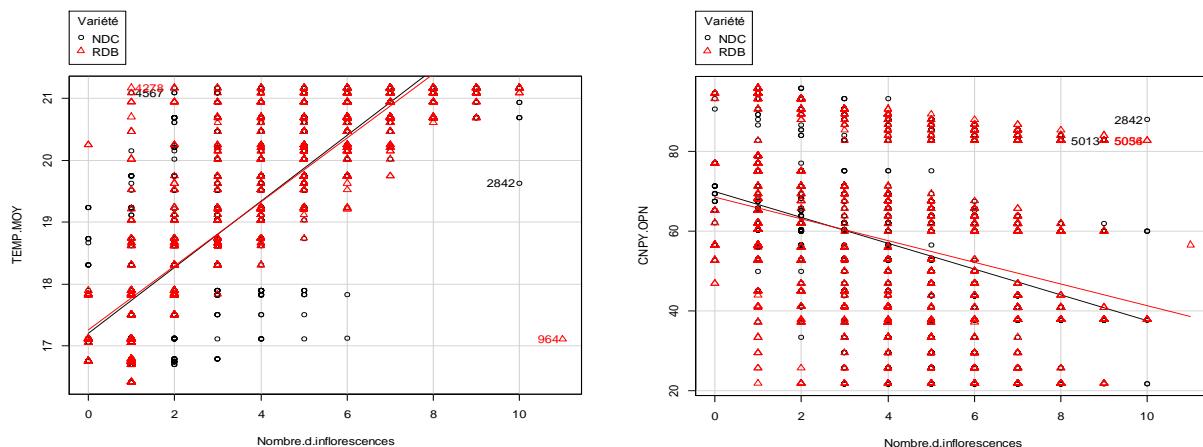


Figure 28 Répartition des individus en fonction du nombre d'inflorescences et de la température moyenne ou de l'ouverture des milieux, ainsi que la droite des moindres carrés en fonction de la variété.

c. Développement

Le système agroforestier n'engendre, ni un retard, ni une plus grande précocité des tomates, à l'exception de la tomate Rose de Berne où les modalités agroforestières ont pu gagner jusqu'à 14 jours. Ce résultat et ceux de l'année dernière doivent être mis en relief sur plusieurs années pour être confirmés, car la variété Rose de Berne, qualifiée de précoce a mis autant de jours que la variété Noire de Crimée à atteindre le stade Récolte.

2) Spatialisation de l'influence du système agroforestier

Khatum (2009) a montré que la distance par rapport à l'arbre influençait les effets observés sur les cultures, en les diminuant. C'est pourquoi l'analyse s'est ensuite portée sur une échelle plus petite que la modalité, la butte, pour pouvoir détecter une éventuelle hétérogénéité spatiale des effets agroforestiers. Les résultats montrent de manière significative la présence d'une hétérogénéité spatiale de la performance de la tomate. Malgré qu'aucun schéma n'ait été dégagé, la présence d'un ou plusieurs gradients est soupçonnée, comme par exemple une meilleure exposition des buttes extérieures de tomates à la lumière matinale ou du soir.

3) Les effets du système agroforestiers sur le microclimat

Les résultats ont levé le doute de l'existence d'un microclimat agroforestier significativement différent d'un témoin ouvert que l'on peut caractériser à différentes échelles de temps et d'espace :

- (i) Des microclimats généraux sensiblement différents au Témoin, avec la disponibilité lumineuse maximale qui diminue en fonction de la fermeture du milieu et plus précisément de la canopée. Des températures plus faibles en agroforesterie, à l'exception de la modalité Têtard. Une hygrométrie plus forte dans les modalités Têtard et Elagué, mais moins importante dans Emondé.
- (ii) Des microclimats qui évoluent dans le temps à deux échelles de temps distinctes. Il existe des variations à l'échelle du mois, qui impliquent l'arbre et son développement, ce qui peut entraîner de fortes différences, et des variations journalières avec la description d'effets tampon significatifs. Plus le milieu est fermé, plus l'effet tampon est important.
- (iii) Des microclimats assez homogènes dans l'espace, les variations restent faibles à l'intérieur des modalités.

Quinkenstein (2009) a exposé les mêmes tendances microclimatiques que cette étude en ce qui concerne la température et l'hygrométrie. Lin avait également évoqué la formation d'un effet tampon sous les couverts arborés provoquant des atténuations des extrêmes de température, d'hygrométrie, de lumière et indirectement d'évapotranspiration.

4) Le microclimat agroforestier comme composante explicative ?

Lott (2008) évoquait le microclimat agroforestier comme une des composantes majeures responsable des variations de performance, de croissance et de développement. Au regard des résultats, la question reste entière. Le caractère exploratoire et le choix des tests statistiques dans cette partie porte préjudice aux résultats. Cette partie est non-exhaustive et ne présente pas un travail confirmé.

a. Corrélation entre la performance des cultures et le microclimat

Les résultats des tests ne montrent pas de corrélation entre les variables microclimatique et le rendement ou le poids spécifique des tomates. Contrairement à la littérature scientifique, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre la température et le rendement, même après un retravail des variables selon les optimums conseillés de l'ITAB (2015). Les corrélations observées l'année dernière, lors de l'étude préliminaire, n'ont pas pu être observées cette année. Le dispositif expérimental est différent, avec moins de variété, mais

Tableau XIII Coefficient de corrélation en fonction du couple de variables corrélés.

Variables à expliquer	Variables explicatives	Coefficient de corrélation
Nombre d'inflorescence	Température moyenne	0.7225
	Ouverture lumineuse des milieux	0.122

Tableau XIV Comparaison des modalités agroforestières en fonction des témoins, selon les cultures et certains indicateurs.

Typologie	Indicateurs	Culture	Elagué	Emondé	Têtard	Ombragée
Performance	Rendement	Tomate	+	+	+	+
		Laitue	-	=	+	-
	Poids spécifique	Tomate	+	+	+	+
		Laitue	-	=	+	-
	Qualité commerciale	Tomate	+	+	+	+
		Laitue	-	=	+	-
Développement	Précocité	Tomate	=	=	=	=
		Laitue				

plus de répétitions, plus de modalités et l'année climatique 2014 ne semble pas ressembler au début de l'année 2015.

La performance de la laitue et plus précisément le poids spécifique se retrouve corrélé positivement à hauteur de 15% à la disponibilité maximale en lumière. Péron (2006) avait déjà souligné les besoins importants des laitues en éclairement. Comme fortement associé au calcul du rendement, la corrélation entre le poids spécifique et la variable lumineuse engendre également une corrélation à hauteur de 8 % entre le rendement et la disponibilité maximale en lumière.

b. Corrélation entre la croissance des cultures et le microclimat

Comme aucune corrélation importante n'a été trouvée en confrontant le rendement de tomate et le microclimat agroforestier, les tests ont été réitérés avec les variables de croissance des tomates, pour voir si une corrélation pouvait exister en amont de la performance.

Le nombre d'inflorescence est très corrélé à la température moyenne et dans une moindre mesure à l'éclairement. En effet, une température élevée et un éclairement faible augmentent le nombre d'inflorescence produit en moyenne par plante. Adam *et al* (2001) avait effectivement trouvé que plus la température augmentait et plus le volume de tomate récolté augmentait et donc avec elles tous les facteurs d'établissement du rendement. Dans cette étude, la relation entre le nombre d'inflorescence et le rendement ne peut pas encore être utilisée car les inflorescences comptées n'ont pas toutes été récoltées. Donc une diminution de leurs nombres ne s'est peut-être pas encore traduite sur le rendement.

En laitue, aucune corrélation n'a pu être montrée entre les variables microclimatiques et les variables de croissance.

Pour conclure, peu de corrélations ont été mises en évidence entre le comportement des cultures et le microclimat. En plus du caractère exploratoire et non confirmé, ces résultats pourraient s'expliquer de deux autres manières :

- (i) Soit le caractère multifactoriel de certaines variables empêche de détecter un facteur explicatif fort. L'interprétation vectorielle des variables à expliquer est complexifiée par la somme des variables explicatives positives et négatives.
- (ii) Soit des indicateurs ne sont pas pertinents, absents ou pas assez travaillés.

5) Pistes de réflexions

Malgré le faible taux de corrélation statistique, il est possible de tirer des tendances d'après les résultats de la partie comparative :

- (i) La modalité Têtard est la plus performante, en laitue et tomate, et elle dispose d'un microclimat moins ouvert, mais plus chaud et plus humide que le témoin.
- (ii) La modalité Elagué est la deuxième plus performante en tomate, mais est inférieure au Témoin en Salade. Son microclimat se caractérise par des températures plus faibles, une humidité plus forte et la canopée moins perméable à la lumière.
- (iii) La modalité Emondé est la dernière modalité agroforestière pour les tomates mais est équivalente au Témoin pour les salades. Elle caractérise son microclimat par une humidité et une température plus faible que le Témoin. La quantité de lumière passante est intermédiaire entre Têtard et Elagué.

Au vu de ces résultats, il semblerait que la conduite de la tomate en agroforesterie soit favorisée par l'ombrage des cultures en début de production, contrairement à la salade. La question est légitime, la salade semble fuir l'ombrage se porte bien sous Têtard, et à l'inverse

la tomate qui semble s'accommoder de l'ombrage se porte mieux sous un plus faible ombrage.

Pourquoi l'ombrage semble convenir à ces deux cultures recherchant pourtant des environnements différents ?

On peut imaginer que l'ombrage d'un arbre têtard soit suffisamment dense pour bénéficier à la tomate et suffisamment éclairci pour convenir à la salade, mais on peut aussi émettre l'hypothèse que l'un des facteurs clé soit le fait que la modalité Têtard présente un ombrage mobile et passager tout le long de la journée, tandis que les deux autres modalités agroforestières ont un ombrage plus fixe.

Il serait peut-être judicieux de mesurer de façon ponctuelle l'effet du passage de l'ombrage d'un arbre têtard, en plaçant une sonde sur la trajectoire de l'ombre. L'hypothèse étant que, localement on observe des variations microclimatiques.

Il est plus compliqué de trouver un schéma pour les variables de températures et d'hygrométries.

Par rapport à l'étude préliminaire de l'année dernière, certaines tendances se confirment comme une production de meilleure qualité sous les modalités agroforestières. En revanche certaines hypothèses n'ont pas été observées comme une baisse de rendement sur tomate en agroforesterie, c'est même l'inverse qui a lieu cette année. La troisième étude sera cruciale pour infirmer ou confirmer les tendances.

2. Les limites

a. Liées à l'étude

En tomate, la première limite réside dans la période de récolte étudiée, en effet les données traitées ne sont que le début de la récolte. Sur le site de Roumassouze, l'étude a travaillée sur 1 mois de récolte. Ces résultats sont donc incomplets.

En laitue, les deux buttes étudiées sont les buttes 1 et 5, c'est-à-dire les plus proches des arbres, la butte 3 n'ayant pas finie d'être récoltée. L'étude des deux buttes potentiellement les plus soumises à la compétition de l'arbre ne sont représentative de toute la modalité.

Sur le dispositif expérimental mis en place sur le site des Terres de Roumassouze, la totalité des placettes ne sont pas au complet. En effet l'importance du maillage de placette de l'expérimentation ne nous a pas fait échapper aux échecs de transplantations. En conséquence certaines placettes sont incomplètes, réduisant l'effectif d'individus par modalité et par butte

b. Liées à des hétérogénéités

Les dispositifs expérimentaux de l'étude en sont à leurs premières années de mise en place. Pour les modalités agroforestières, le sol était cultivé l'année dernière, à l'inverse le Témoin était en friche depuis trois ans et a dû subir un défrichage et un travail du sol intense pour le rendre arable (Mars). Les résultats obtenus sur cette modalité ne sont peut-être pas similaire à un témoin cultivé en 2014. Cependant une analyse de sol a été effectuée sur les quatre modalités en début d'année 2015, elle servira à compléter l'analyse finale. Dans le même esprit, il y a une hétérogénéité dans le paysage voisin des modalités qui n'est pas homogène. La modalité Elagué bénéficie d'une meilleure ouverture car elle se situe à la frontière du maillage agroforestier, alors qu'à l'inverse la modalité Emondé est dans une zone plus dense en arbres. Certains paramètres non mesurés comme le vent ou le rayonnement indirect peuvent être sensiblement différents.

Du même ordre, cette année a subit des épisodes caniculaires courant Juillet, ayant fortement impacté les cultures. De visuel, les tomates du Témoin ont énormément souffert, presque de manière irrémédiable pour certaine, de l'insolation. L'année climatique n'est peut-être pas très standard pour le maraîchage conventionnelle, mais c'est à ce type de climat que l'agroforesterie doit proposer des réponses.

c. Liées à l'analyse

Tout d'abord cette partie de l'analyse est non-exhaustive et le protocole développé présente des erreurs, rendant les résultats erronés et non représentatifs. Les corrélations traitées dans ce mémoire ne peuvent pas être considérées comme confirmées.

L'analyse n'a pu être effectuée sur tous les indicateurs mis en place, de plus l'analyse de corrélation, a principalement concerné le site pilote. Le manque de temps a réduit le champ d'investigation de l'étude et a tronqué son caractère multi-sites.

Certains indicateurs sont à revoir, soit par leurs remplacement où leurs modification. Par exemple les deux variables de croissance sur laitue, la hauteur et la largeur, ne traduisent pas les rendements ni les poids spécifiques observés. Il serait peut-être intéressant de compléter avec un indicateur mesurant la densité foliaire de la salade plutôt que leurs dimensions, comme un comptage des feuilles de laitues récoltées ou avec un duromètre à aiguille, en revanche ce dernier paramètre ne fonctionnera que sur des laitues « pommées ».

Il y a également des disparités dans le pas de temps des variables microclimatiques qui limitent l'analyse, en effet la température et l'hygrométrie sont relevées toutes les 15 minutes. Alors que la lumière, dispose de deux relevés à deux dates séparées de 3 mois.

Enfin, il paraît important de souligner l'analyse statistique de corrélation qui n'a montré que de très faible résultat au regard des intuitions des expérimentateurs et de la littérature. Bien que le microclimat ne soit pas le seul facteur de variabilité, les résultats de notre étude montrent plutôt qu'il interagit très peu avec les cultures.

3. Perspectives

a. De l'étude

A l'échelle du dispositif, il serait intéressant que le site du jardin d'Odile se dote d'un témoin, pour ainsi pouvoir réaliser une analyse complète avec également la partie comparative. Actuellement, seule la partie agroforestière est étudiée, mais Odile serait prête à exploiter une zone plus ouverte de sa parcelle ayant les mêmes conditions pédoclimatiques.

L'analyse du microclimat pourrait être complétée avec une variable évaluant la qualité de la lumière, comme le Rayonnement Photosynthétiquement Actif (PAR). Autrement dit l'analyse des longueurs d'ondes favorables à la photosynthèse. Cela permettrait dans un premier de temps d'évaluer la qualité de la lumière et plus seulement sa quantité. Et dans un second temps, cette variable servirait de « pont » entre le microclimat et des comportements biologiques des cultures, en évaluant le niveau d'énergie potentiellement acquis par les plantes d'une modalité. Bien que disponible chez quelques fournisseurs, les sondes PAR doivent être alimentés, ce qui n'est pas possible pour l'instant sur le site des terres de Roumassouze. L'achat d'un luxmètre est plus envisageable, avec des mesures régulières du PAR. La variable quantitative de la lumière peut être également améliorée, via l'achat d'un logiciel de type Winscanopy ou Caneye, qui permet avec seulement quelques photos hémisphériques de pourvoir modéliser une année microclimatique. Ce logiciel permet de calculer la course du soleil et le photopériodisme en fonction de la saison.

Un volet qualité organoleptique a été imaginé à la base de l'étude, mais par manque de temps celui-ci a été abandonnée dans ce mémoire. Pourtant compléter l'analyse de performance, de croissance et de développement avec cette thématique peut soulever l'intérêt des avantages organoleptiques des systèmes agroforestiers.

b. Du projet Arbratatouille

Les perspectives présentées ci-dessous ont déjà fait l'objet de discussion plus ou moins actées, indépendamment des résultats de l'étude. Le projet Arbratatouille va bientôt bénéficier d'un scan de ces arbres grâce à un scanner LIDAR. Le projet a pour objectif d'observer l'évolution des arbres dans le temps. Pour notre étude, la modélisation des arbres en trois dimensions permettra de pouvoir simuler l'association arbre/cultures légumières autour de paramètre de performance.

Suite à une réunion intermédiaire du projet, une discussion à porter sur les solutions développées par les agriculteurs lors de la non-compatibilité de certaines cultures légumières ou de certaines pratiques face à l'agroforesterie. Ce qui ressort, c'est la volonté des producteurs à développer des semences et pratiques adaptés aux conditions agroforestières, Odile Sarrazin et Denis Florès ont déjà commencé à développer des graines sur la base d'une sélection massale. A la suite de ce projet Abratatouille, visant un état de l'association agroforesterie et maraichage, des solutions sont déjà en marche et peuvent faire l'objet de nouveaux projets d'études.

IV. Conclusion

Cette étude avait pour objectifs d'évaluer de manière quantitative et qualitative, l'influence du système agroforestier sur les cultures de tomates et laitues, de caractériser le microclimat agroforestier et de mesurer l'influence de la composante microclimatique du système agroforestier sur la performance et le comportement des cultures de tomates et laitues. Pour cela, trois sites en agroforesterie maraîchère ont été étudiés de manière participative.

A l'issue de ce travail, plusieurs conclusions ressortent :

- Le système agroforestier favorise la performance et la qualité commerciale des tomates, en revanche, les systèmes les plus fermés semblent défavorable à la laitue à la performance et la qualité commerciale des laitues.
- Le couvert arboré engendre des modifications du microclimat, qui se caractérisent à différente échelle de temps. Ce microclimat se traduit par une température moins élevée, une hygrométrie plus forte et une capacité maximale de lumière passante diminuée. Plus la canopée est dense plus les modifications microclimatiques sont forte.
- L'étude n'a pas permis de mettre en évidence l'influence du microclimat sur le comportement des deux cultures, mise à part une bonne corrélation entre la température moyenne et la variable de lumière sur le nombre d'inflorescence émis par plante.

La modalité la plus performante est une modalité agroforestière dont les arbres ont été éêtés, plusieurs questionnements sont nés des résultats. L'ombrage atypique de ces arbres peuvent-ils être responsable d'une meilleure performance ? Est-ce l'ombrage qui engendre un microclimat favorable aux cultures ? Est-ce un développement aérien simultané aux cultures qui favorise certains stades clefs de la performance ?

L'étude doit se poursuivre l'année prochaine pour confirmer ou infirmer certaines tendances, face à une année climatique différente de 2015 et à un Témoin mieux implanté. Les investigations pourront aller plus loin car l'analyse comparative montre un fort potentiel de l'agroforesterie à répondre à des enjeux, comme l'efficience de l'utilisation de l'eau ou les atténuations climatiques. Il y a donc de forte motivation à poursuivre l'étude pour référencer et illustrer les avantages et inconvénients de l'agroforesterie maraîchère.

V. Autres missions

Durant ce stage, j'ai été amené à réaliser d'autres missions non mentionnées dans ce mémoire. Dans le cadre du projet CASDAR SMART, j'ai animé le réseau pour que les producteurs participant puissent commencer à réaliser les travaux demandés dans ce projet. Un suivi technico-économique de leur système d'exploitation leur a été demandé avec une composante biodiversité qui s'est traduit par la mise en place des Observatoires de la biodiversité qui comprend un relevé des populations lombriciennes, des planches de suivi des invertébrés et des nichoirs à poliniseurs.

Dans le projet Arbratatouille, j'ai dû assurer la mise en place d'un dispositif expérimental allégé pour la culture de carotte et pomme de terre, ainsi que la récolte de la carotte. La mise en place de l'expérimentation et son bon déroulement sur les cultures de carotte et pomme de terre, ont fait partie de mes missions.

VI. Bibliographie

- Adams S. R., Cockshull K. E., & Cave C. R. J. « Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits ». *Annals of Botany* 88, n° 5 (2001): 869-77.
- Altieri M. A., Nicholls C. I., Henao A. et Lana M. A. « Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems ». *Agron. Sustain. Dev.* 35 (2015): 869-890.
- Charbonnier F., Le Maire G., Dreyer G., Casanoves F., Christina M., Dauzat J., U. H. Eitel J., Vaast P., A. Vierling L., & Roupsard O. « Competition for light in heterogeneous canopies: Application of MAESTRA to a coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system ». *Agricultural and Forest Meteorology* 181 (2013): 152-69.
- Choi J. H., Chung G. C., & Suh S. R. « Effect of night humidity on the vegetative growth and the mineral composition of tomato and strawberry plants ». *Scientia Horticulturae* 70, n° 4 (1997): 293-99.
- Daiy R. B., Ravinder K. K., Shibu J. & Harminder P. S. « Ecological basis of agroforestry » *CRC Press* (2008) 382 p.
- Dupraz C. & Liagre F. « Agroforesterie : Des arbres et des cultures » 1^{ière} et 2nd ed., *Editions France Agricole*, (2008 et 2011) 413 p.
- Dupraz C., Talbot G., Possoz J. & Querne A. « Quels sont les atouts de l'agroforesterie face au changement climatique » INRA, Montpellier - UMR SYSTEM (Systèmes de Culture Tropicaux et Méditerranéens) 2 p.
- Eichorn M.P., Paris P., Herzog F., Incoll L.D., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Papanastasis V.P., Pilbeam D.J., A. Pisanelli A. & Dupraz C., « Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects » *Agroforestry Systems*, 67, (2006) 29-50
- Fan X.-X., Xu X.-G., Liu X.-Y., Tang C.-M., Wang L.-W. & Han X.-L. « Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light » *Scientia Horticulturae* 153 (2013): 50-55
- Feller C., Bleiholder H., Buhr L., Hack H., Hess M., Klose R., Meier U., Stauss R., Van Den Boom T. & Webber E. « Phenological growth stages of vegetable crops. II. Fruit vegetables and pulses. Coding and description according to the extended BBCH scale with illustrations » *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 47 (1995): 217-232
- Islam F., Islam K. K., & Rahim M. A. « Performance of winter vegetables in guava-coconut based multistrata Agroforestry system ». *J. Agrofor. And Environ* 2, n° 1 (2008): 35-38.
- Khatun M. A., Wadud M. A., Yasmin R., Sayed M. K. I., & Rahman G. M. M. « Agroforestry practices with three winter vegetables during early establishment period of civit (*Swintonia floribunda*) plantation ». *J. Agrofor. and Environ* 3, n° 1 (2009): 1-4.
- Lin B. B. « Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture ». *Agricultural and Forest Meteorology* 144, n° 1-2 (2007): 85-94.

Lohar D. P., & Peat W. E. « Floral characteristics of heat-tolerant and heat-sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars at high temperature ». *Scientia Horticulturae* 73, n° 1 (1998): 53-60.

Lott J. E., Ong C. K., & Black C. R. « Understorey microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya ». *Agricultural and Forest Meteorology* 149, n° 6-7 (2009): 1140-51.

Luedeling E., Kindt R., Huth N. I., & Koenig K. « Agroforestry systems in a changing climate — challenges in projecting future performance ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Sustainability challenges, 6 (2014): 1-7.

Monteith J. L., Ong C. K., & Corlett J. E. « Microclimatic interactions in agroforestry systems ». *Forest Ecology and Management*, Agroforestry: Principles and Practice, 45, n° 1-4 (1991): 31-44.

Ofori D. A., Gyau A., Dawson I. K., Asaah E., Tchoundjeu Z., & Jamnadass R. « Developing more productive African agroforestry systems and improving food and nutritional security through tree domestication ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Sustainability challenges, 6 (2014): 123-27.

Péron J-Y. « Références Productions légumières » 2^{ième} éd. *Lavoisier*, (2006) 613 p.

Quinkenstein A., Wöllecke J., Böhm C., Grünwald H., Freese D., Schneider B. U., & Hüttl R. F. « Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe ». *Environmental Science & Policy*, Sustainability impact assessment and land-use policies for sensitive regions, 12, n° 8 (2009): 1112-21.

Rey F., Coulombel A., Jobbé-Duval M., Melland M.L., Jonis M., Conseil M., Guide technique. « Produire des légumes biologiques », Tome 2 : fiches techniques par légume, *ITAB* (2015) 420 p.

Serrurier M., Miladinovic D. « Achat de fruits et légumes frais par les ménages français », *FranceAgrimer* éd. (2015) 8 p.

Smith H. « Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis ». *Nature* 407, (2000): 585-591.

Smith J. « Agroforestry: Reconciling Production with Protection of the Environment - A Synopsis of Research Literature » The Organic Research Center (2010) 24 p.

Suzuki M., Umeda H., Matsuo S., Kawasaki Y., Ahn D., Hamamoto H., et Iwasaki Y. « Effects of relative humidity and nutrient supply on growth and nutrient uptake in greenhouse tomato production ». *Scientia Horticulturae* 187 (2015): 44-49.

Taugourdeau S., Le Maire G., Avelino J., Jones J. R., Ramirez L. J., Quesada M. J. & Charbonnier F. « Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192 (2014): 19-37.

Willits, D. H., & Peet M. M. « The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climates ». *Agricultural and Forest Meteorology* 92, n° 3 (1998): 191-202.

VII. Sitographie

Agroof SCOP. <http://www.agroof.net/> (consulté le 26/05/2015)

Les SCOP. <http://www.les-scop.coop/sites/fr/> (consulté le 26/05/2015)

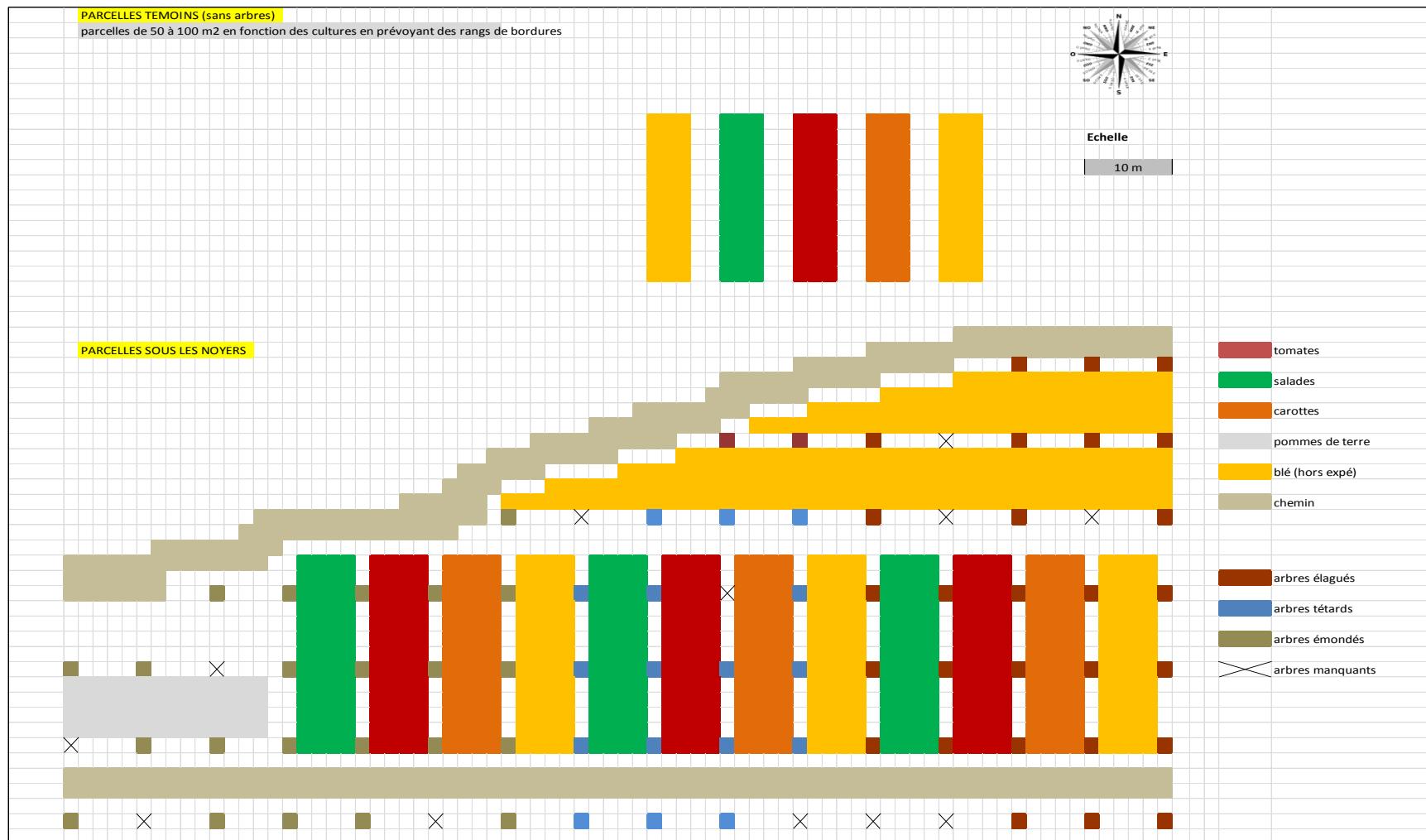
Site du Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.
<http://agriculture.gouv.fr/> (consulté le 16/06/2015)

Site du Ministère de l'environnement, du développement durable et de l'énergie.
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/> (consulté le 16/06/2015)

Site Intergovernmental Panel on Climate Change – Rapport 2014 du Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat.
https://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml (consulté le 27/06/2015)

VIII. Annexes

Annexe I : Les terres de Roumassouze – Plan d'expérimentation Arbratatoouille



Annexe II : Illustrations des modalités

ELAGUE



EMONDE



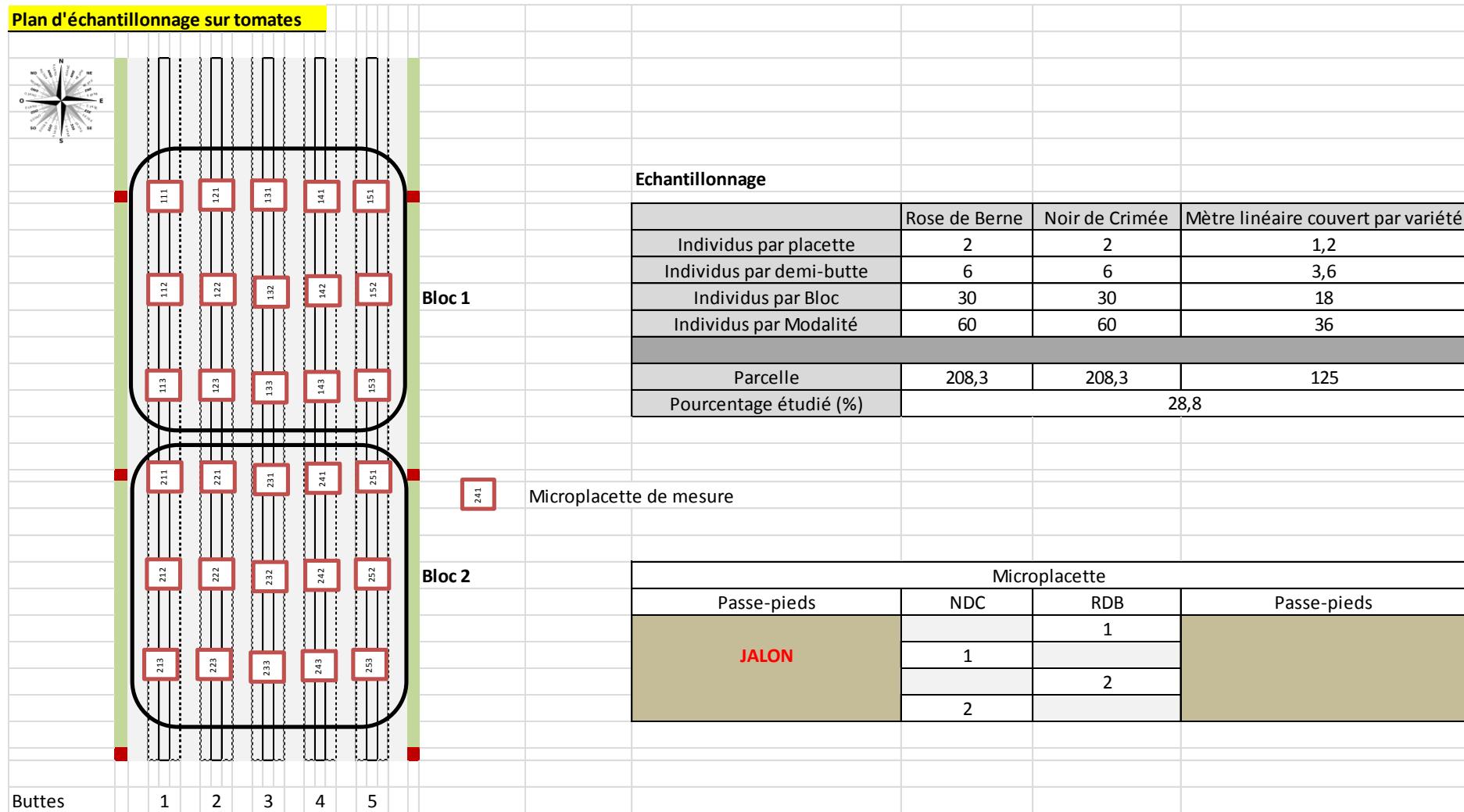
TETARD



TEMOIN

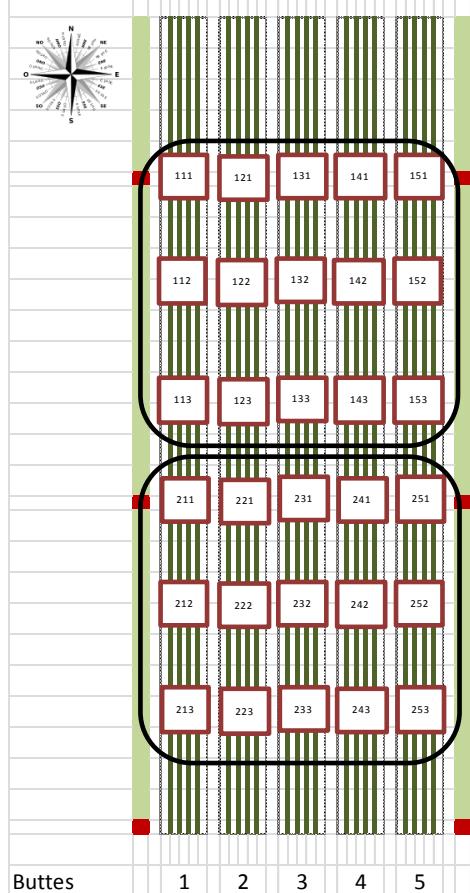


Annexe III : Les terres de Roumassouze – Dispositif expérimental tomate



Annexe IV : Les terres de Roumassouze – Dispositif expérimental laitue

Plan d'échantillonnage sur salades



Echantillonnage

	Blonde maraichère	Lollo rossa	Mètre linéaire par variété
Par placette	2	2	0,4
Par demi-planche	6	6	1,2
Par Bloc	30	30	6
Par Modalité	60	60	12
Parcelle	1250	1250	250
Pourcentage étudié (%)	4,8		4,8



Microplacette

Microplacette

Passe-pieds	BM	BM	LR	LR	Passe-pieds
JALON		2		2	

JALON

1

1

Annexe V : Illustrations du jardin d'Olie



Annexe VI : Illustrations de la ferme du Boulidou



ENSOLEILLEE



OMBRAGEE

Annexe VII : Laitue

La laitue (Lactuca sativa L.)

La laitue est une plante annuelle de la famille des Astéracées. Légume privilégiant une photopériode de jours longs, la laitue est une plante de cycle court, autrement dit, elle produit rapidement ses organes de récolte. Dans un premier temps, la laitue développe ses organes foliaires sous forme d'une rosette plus ou moins pommée selon les caractéristiques variétales. Dans un second temps, la plante subit une élévation de sa tige avant de former une hampe florale pour sa production de semence. La récolte se réalise à la fin de la première phase, lorsque l'appareil foliaire est le plus développé et avant que la tige rentre en montaison. Les deux variétés produites sur les sites expérimentaux sont la Blonde maraîchère et la Bissia rossa.

Tableau 1 Descriptifs des deux variétés de laitue testées (Péron J-Y., 2006)

Variété	Blonde maraîchère	Bissia rossa
Type variétal	Laitue romaine	Laitue à couper
Nom latin	<i>Lactuca sativa var. longifolia</i>	<i>Lactuca sativa var. crispa</i>
Description du morphotype	Pomme oblongue non serrée et à feuilles épaisses.	Sans pomme véritable, feuille à limbe plus ou moins fin, subovale, à forme de feuille de chêne.
Couleur	Feuilles vert clair et nervures principales blanches	Feuille vert foncé et rouge (teneur en anthocyanes peut varier)
Illustration		

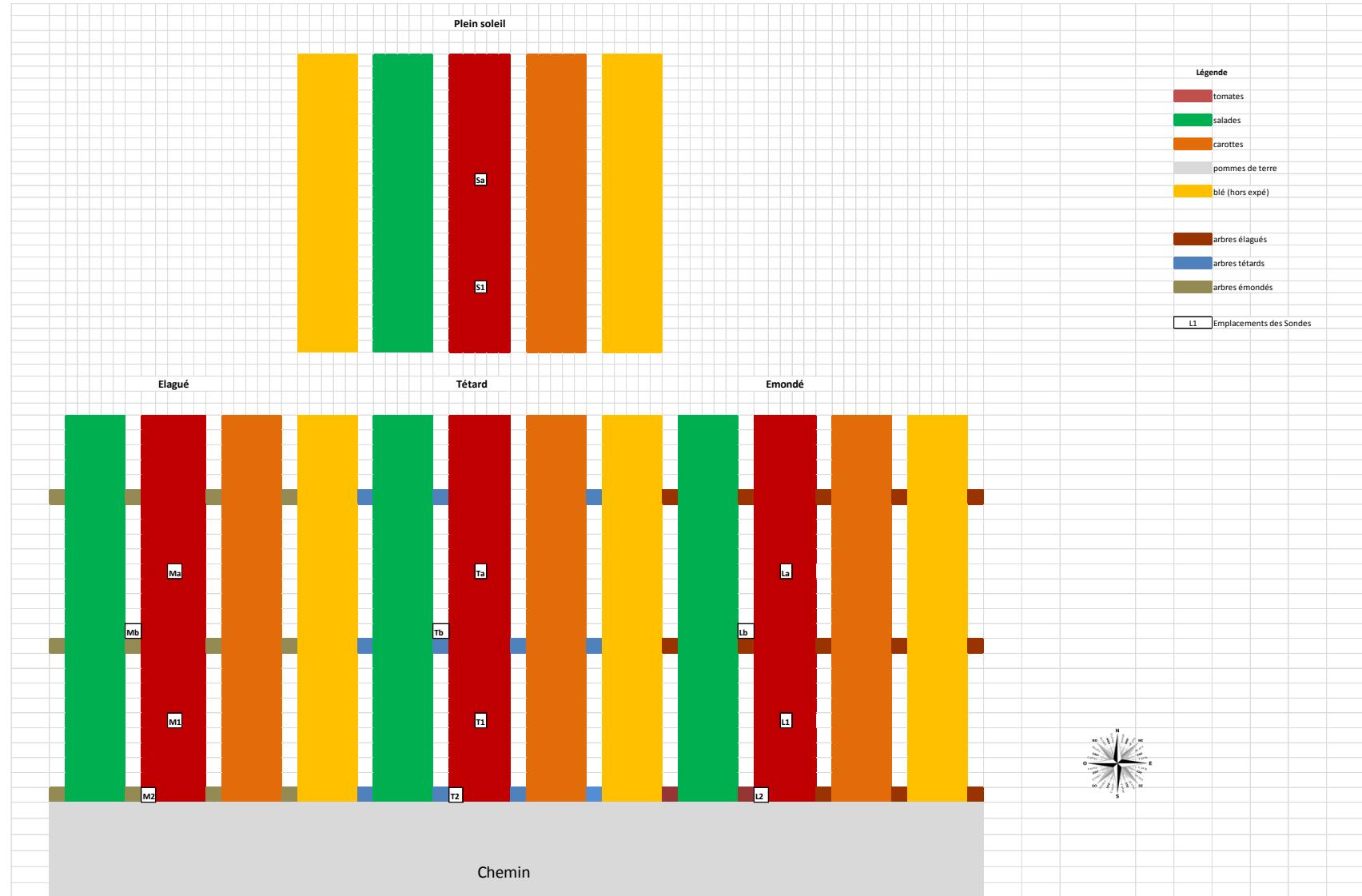
Annexe VIII : Tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*)

La tomate est une plante de la famille des Solanacées dont la croissance peut être indéterminée ou déterminée. Au début monopodiale, la plante devient progressivement sympodiale, entraînant alors un port buissonnant en absence d'intervention. Le fruit qui est une baie polymorphe et polychrome, est l'organe récolté de cette plante. Les deux variétés utilisées sont la Noire de Crimée et la Rose de Berne.

Variété	Noire de Crimée	Rose de Berne
Précocité	Tardive	Précoce
Description du fruit	Fruit lisse ou à côtes	Fruit lisse
Couleur*	Rouge foncé (dessous) à noire (dessus).	Rose
Illustration		
		

Annexe IX : Dispositif expérimental des sondes microclimatiques sur le site pilote



  	<p>Diplôme / Mention : Master 2 Sciences Technologie Santé- Mention Biologie et technologie du végétal Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV) Parcours : Productions végétales spécialisées Option : Filières de l'horticulture et du végétal urbain</p>
Auteur(s) : Maxime Poissonneau Date de naissance : 19/07/1992	Organisme d'accueil : AGROOF SCOP Adresse : 9 Plan de Brie 30140 ANDUZE - FRANCE Maître de stage : Camille Beral
Nb pages : 33 Annexe(s) : 9	
Année de soutenance : 2015	
<p>Titre français : 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 ? Etude de cas en conditions tempérés et en agriculture biologique.</p> <p>Titre anglais : What are the effects of agroforestry system and its microclimate component on the production, development and growth of lettuce and tomato crops ? Case study in temperate conditions and in organic farming.</p>	
<p>Résumé (1600 caractères maximum) :</p> <p>L'agroforesterie est considérée comme une des solutions envisageables pour répondre aux futurs enjeux de l'agriculture. Adaptés de systèmes traditionnels, l'agroforesterie maraîchère connaît un nouvel essor, notamment grâce aux facilitations qu'elle pourrait faire bénéficier aux systèmes légumiers. Agroof SCOP, un bureau d'étude spécialisé en agroforesterie a développé un projet visant à acquérir des références et une meilleure compréhension de ces systèmes de cultures. L'étude présentée cherche à évaluer les effets du système agroforestier et de sa composante microclimatique sur la performance, la croissance et le développement des cultures de tomate et laitue. Le comportement des cultures a été étudié sous plusieurs systèmes agroforestiers. L'analyse comparative montre tout d'abord un effet des systèmes agroforestiers sur les deux cultures différentes. L'association entre l'arbre et les tomates est significativement bénéfique pour la culture légumière sous tous les aspects. En revanche la laitue semble préférer les systèmes plus ouvert, malgré de très bonnes performances observées sous une canopée réduite. Il a été montré que le système agroforestier engendre un microclimat moins chaud et plus humide. Cependant peu de relations ont pu être mises en évidence entre le microclimat et le comportement des cultures. A l'issue de cette étude certaines hypothèses ont pu être confirmées mais d'autres le reste encore.</p>	
<p>Abstract (1600 caractères maximum) :</p> <p>Agroforestry is considered a possible solution to find future agricultural issues. Based on traditional systems, vegetable agroforestry experiencing a revival, thanks to facilitations that could benefit on vegetable systems. Agroof SCOP, consulting firm specializing in agroforestry has developed a project to acquire references and a better understanding of these crop systems. This paper aims to evaluate the effects of agroforestry system and its microclimate component on the performance, development and growth of lettuce and tomato crops. The behavior of crops has been studied in several agroforestry systems. The comparative analysis shows an effect of agroforestry systems on both crops. The association between tree and tomato is significantly beneficial for vegetable crop in all aspects. However lettuce seems to prefer more open systems, despite good performances observed under a reduced canopy. It was shown that the agroforestry system generates a cooler and more humid microclimate. Few relationships could be found between the microclimate and the behavior of crops. At the end of this study, some hypothesis could be confirmed but others still.</p>	
<p>Mots-clés : agroforesterie maraîchère, microclimat, tomate, laitue, système de culture, démarche participative</p> <p>Key Words: Vegetable agroforestry, microclimate, tomato, lettuce, crop system, participative approach</p>	