

**AGROCAMPUS
OUEST**

☒ **CFR Angers**

☐ **CFR Rennes**



Agroof Développement



Année universitaire : 2013-2014

Spécialité : Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

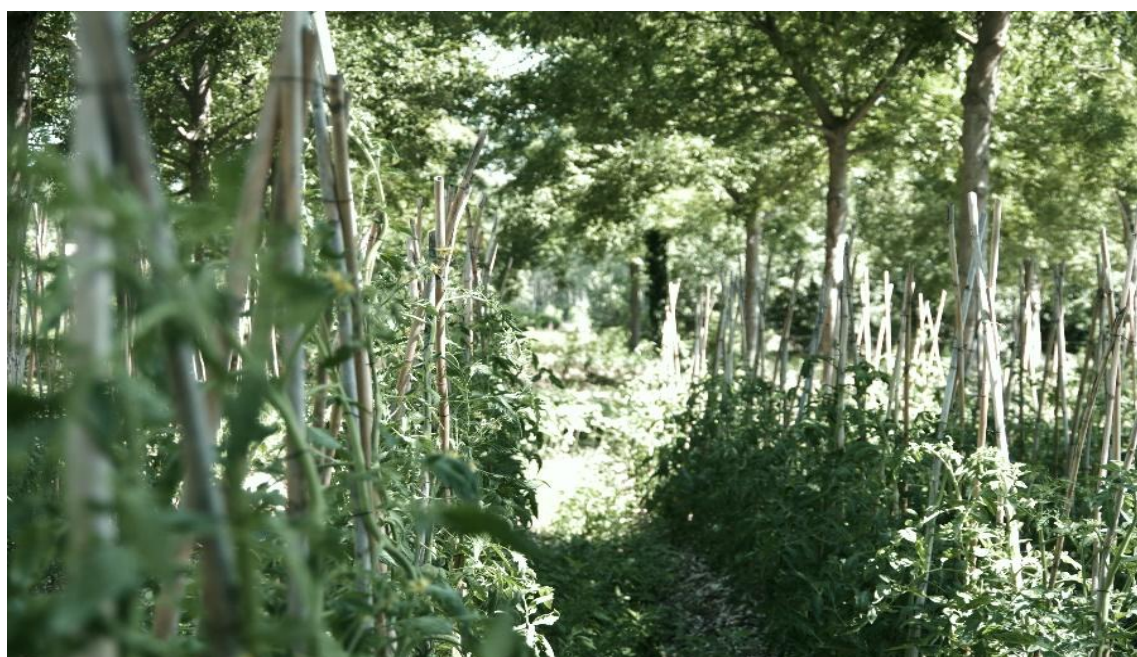
Gestion Durable du Végétal (GDV)

Mémoire de Fin d'Études

- ☒ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Le maraîchage en agroforesterie sous climat méditerranéen : intérêts, potentiel et limites

Etude préliminaire pour l'élaboration d'un protocole d'évaluation centré sur la tomate cultivée sous noyers.



Guilhem HERANNEY

Soutenu à Angers le 30 septembre 2014

Président : Patrice Cannavo

Maîtres de stage : Camille Beral et Fabien Liagre

Enseignant référent : Yann Tricault

Devant le jury composé de :

Autres membres du jury : Marie Gosne (chercheuse UMR System, Montpellier) et Pascale Guillermin (Enseignante-Chercheuse IRHS, Angers)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

En pièce-jointe.

Remerciements

Je dédie ce rapport à mon père et à ma mère qui m'ont soutenu tout au long de mes études, ainsi qu'à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation.

Je tiens à remercier en premier lieu l'équipe d'AGROOF au complet pour son accueil ainsi que pour l'opportunité qu'elle m'a offerte de travailler sur un sujet qui me passionne depuis que je m'intéresse à l'agronomie et à l'horticulture :

- Camille BERAL pour sa patience, ses conseils toujours très avisés et la cohérence qu'elle a pu apporter à ce mémoire.
- Fabien LIAGRE pour sa vision d'ensemble sur l'agroforesterie qu'il n'a jamais hésité à partager.
- Daniele ORI pour le partage de son expérience, en particulier concernant les « coltura promiscua ».
- Nicolas GIRARDIN pour sa créativité et son imagination.
- Yolande LYFOUNG pour sa bonne humeur quotidienne.

Je remercie également tous les agriculteurs des projets Smart et Arbratatouille et tout particulièrement Denis et Virginie FLORES pour la confiance et l'attention qu'ils m'ont porté. Merci pour tout le temps que vous m'avez accordé ainsi que pour votre réel investissement dans la réflexion.

Je tiens à exprimer ma gratitude aussi à toutes les personnes que j'ai pu contacter pour solliciter leur expertise. Ce rapport a pris forme en grande partie grâce à leurs apports éclairés. Des remerciements tout particuliers vont au personnel de l'UMR-SYSTEM de l'INRA Montpellier pour le prêt de l'appareil photo hémisphérique et notamment à Jean François BOURDONCLE pour le partage de son expérience de l'expérimentation de terrain en agroforesterie, aux chercheurs de l'INRA Avignon et particulièrement à Nadia BERTIN pour la mise à disposition d'appareils de mesure, à Marc TCHAMITCHIAN pour sa vision holistique des systèmes, à Jean-François MAINGONNAT pour ses explications et ses démonstrations pour la mesure de la fermeté des tomates, et à Marie WEISS pour la création d'un logiciel de binarisation des images sur mesure.

Je remercie également mon tuteur d'Agrocampus Ouest à Angers, Yann TRICAULT pour ses conseils avisés et le soutien qu'il m'a apporté en particulier durant la période de rédaction.

Je tiens à exprimer aussi des remerciements tout particuliers à Ambroise MARTIN-CHAVE, stagiaire AGROOF avec qui j'ai partagé tant de moments de réflexion, d'échange et d'amitié.

Enfin je voudrais dire toute ma reconnaissance à Manon TRINEL, ma compagne, pour sa patience et sa compréhension vis-à-vis de mon investissement tout au long du stage, et notamment pendant la rédaction de ce mémoire.

Table des matières

Introduction	1
I- Contexte général de l'étude	2
1- Le maraîchage en zone méditerranéenne	2
a- Le climat méditerranéen	2
b- Situation pédologique	3
c- Les grands enjeux agricoles de la région	3
d- Le cas particulier du maraîchage dans le sud est	3
2- L'évolution des pratiques maraîchères, une exigence sociétale	4
a- Les attentes des consommateurs/citoyens	4
b- Les attentes des maraîchers	5
II L'agroforesterie maraîchère en zone méditerranéenne : réalités et perspectives	5
1- L'agroforesterie des climats tempérés	5
a- Qu'est-ce que l'agroforesterie ? Ses ambitions et ses défis.	5
b- Une proposition concrète en réponse aux enjeux contemporains	6
2- Le maraîchage en agroforesterie	6
a- Vie et mort des systèmes traditionnels associant arbres et maraîchage en zone méditerranéenne ; vers une renaissance ?	6
b- Très peu de références récentes sur le sujet	7
c- Quand la pratique précède la recherche	7
3- L'évaluation des cultures intercalaires en agroforesterie : une nouvelle approche	8
a- Une diversité des systèmes très importante	8
b- Des systèmes complexes	8
c- La nécessaire synergie d'approches différentes	8
4- Le cadre de l'étude	9
a- AGROOF	9
b- Le projet SMART (décembre 2013-décembre 2016)	9
c- Le projet ARBRATATOUILLE (mars 2014-mars 2017)	10
III- Les enjeux technico-économiques du maraîchage en agroforesterie, et de la tomate en particulier	10
1 Généralités sur les enjeux économiques de la production de la tomate	10
a- Le rendement : composante primaire du chiffre d'affaires de la production	10
b- La précocité, un enjeu majeur	11
c- La qualité, moyen de valorisation économique de la production	11

2	Les enjeux technico-économiques spécifiques en agroforesterie	11
a-	Conséquences générales de la situation agroforestière sur la culture intercalaire -----	11
b-	Conséquences spécifiques de la situation agroforestière sur la tomate ---	12
b-1-	Effet de l'abaissement de la lumière -----	12
b-2-	Effet de l'abaissement de la température en climat méditerranéen---	13
IV-	Problématique, objectifs de l'étude et hypothèses-----	13
1-	Problématique-----	13
2-	Objectifs -----	14
3-	Hypothèses -----	14
V-	Matériels et méthodes -----	15
1-	La démarche générale de l'étude -----	15
2-	Le dispositif expérimental-----	15
a-	Matériel végétal-----	16
b-	Traitement principal -----	16
c-	Facteurs explicatifs des variations de comportement des plantes -----	16
d-	Les unités expérimentales et l'ITK -----	16
e-	Le dispositif expérimental -----	17
3-	Les indicateurs et protocoles associés-----	17
a-	Caractérisation du rayonnement -----	17
b-	Evaluation quantitative de la production maraîchère du système -----	17
c-	Evaluation qualitative de la production maraîchère -----	18
d-	Etude de la croissance et du développement des plantes -----	18
e-	Détermination de l'âge phénologique de la plante à l'organe -----	18
f-	Traitement des résultats-----	19
VI-	Résultats -----	19
1-	Résultats à la parcelle -----	19
a-	Les données de production-----	20
b-	Affinage par des données explicatives-----	25
2-	Variations intra-parcellaires -----	28

VII-	Discussion -----	30
1-	Limites de l'expérimentation -----	30
2-	Interprétation des résultats obtenus -----	31
3-	Les principaux enseignements méthodologiques du protocole exploratoire	34
VIII-	Perspectives : proposition pistes pour la poursuite de l'étude -----	35
1-	Une nécessaire complémentarité des sites et des niveaux d'études -----	35
2-	Les propositions pour le site principal -----	35
a-	Le matériel végétal -----	35
b-	Les modalités de traitement -----	36
c-	Les modalités d'itinéraire technique -----	37
d-	Les facteurs étudiés -----	37
e-	Les variables à expliquer -----	37
f-	Le dispositif -----	38
3-	Les propositions pour les sites satellites -----	39
	Conclusion -----	40

Liste des abréviations

AF- : traitement Agroforestier à basse densité

AF+ : traitement Agroforestier à haute densité

Cat I : Catégorie commerciale I

Cat II : Catégorie commerciale II

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CV : Coefficient de Variation

DIF : Différence de température entre le jour et la nuit

g : gramme

GLA : Gap Light Analyser (logiciel de traitement d'image)

GRAB : Groupement de Recherche en Agriculture Biologique

GRCIVAM : Groupement Régional des CIVAM (Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural)

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

ITK : Itinéraire Technique

LAI : Leaf Area Index (Indice de Surface Foliaire)

LAR : Leaf Area Ratio (ratio de surface foliaire rapporté au poids)

LER : Land Equivalent Ratio (surface relative nécessaire en culture pure pour avoir la même production qu'une association de cultures).

M : Marmande

MAET : Mesures AgroEnvironnementale Territorialisée

MO : traitement Milieu Ouvert

NAR : Net Assimilation Ratio (ratio d'assimilation net, le gain de poids rapporté à la surface foliaire)

NC : Noire de Crimée

PSH : Plantes et Systèmes Horticoles

RB : Rose de Berne

RGR : Relative Growth Ratio (taux de croissance relatif)

SCOP : Société COopérative et Participative

SG : Striped German

TAB : plateforme Technique Alternative et Biologique

UMR : Unité Mixte de Recherche

σ : écart type

Table des annexes

ANNEXE I : les régions à climat méditerranéen dans le monde

ANNEXE II : les régions à climat méditerranéen en France

ANNEXE III : les plans du Domaine de Roumassouze et de l'expérimentation (3 pages)

III-1 : photographie aérienne du domaine et emplacement des différentes zones

III-2 : plan de la zone agroforestière où s'est déroulé l'expérimentation 2014 et où se déroulerait celle de 2015

III-3 : plan montrant la disposition des parcelles expérimentales agroforestières en 2014

ANNEXE IV : les principaux défauts commerciaux de la tomate (3 pages)

ANNEXE V : les données météorologiques 2014 (poste CNRS de St Christol lès Alès) (3 pages)

Table des figures

<u>Figure 1</u> : production brute de tomates récoltées pour 4 variétés et 3 traitements ; moyenne par pied et écart-type.-----	20
<u>Figure 2</u> : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Marmande-----	21
<u>Figure 3</u> : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Marmande-----	21
<u>Figure 4</u> : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Noire de Crimée -----	21
<u>Figure 5</u> : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Noire de Crimée -----	21
<u>Figure 6</u> : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Rose de Berne -----	22
<u>Figure 7</u> : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Rose de Berne -----	22
<u>Figure 8</u> : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Striped German-----	23
<u>Figure 9</u> : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Striped German-----	23
<u>Figure 10</u> : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Marmande -----	24
<u>Figure 11</u> : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Noire de Crimée -----	24
<u>Figure 12</u> : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Rose de Berne -----	24
<u>Figure 13</u> : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Striped German-----	24
<u>Figure 14</u> : éléments d'évaluation de la qualité physico-chimique de la tomate pour 2 variétés (Rose de Berne et Noire de Crimée) et 3 traitements (agroforesterie haute et basse densité, milieu ouvert).-----	25
<u>Figure 15</u> : responsabilité des types de défauts dans le déclassement des fruits	26
<u>Figure 16</u> : part des différents défauts (en %) dans la mise en déchets de la production	26
<u>Figure 17</u> : répartition des types de défauts (en %) dans la production classée en catégorie II -----	26

Figure 18 : répartition des types de défauts (en %) dans la production classée en catégorie I
----- 26

Figure 19 : étage moyen d'apparition de la première grappe (et écart-type) pour 4 variétés et 3 traitements ----- 27

Figure 20 : niveau moyen des composantes du rendement de la tomate, pour 3 traitements et 4 variétés ----- 27-28

Figure 21 : carte des niveaux de lumière (en pourcentage de la lumière théoriquement disponible en absence d'obstacle) reçue par chaque plante du dispositif expérimental. Les moyennes et écart-types ont été calculés pour chaque ligne (nord-sud et est-ouest), ainsi que pour la totalité du traitement (en caractère gras en bas à droite). ----- 29

Figure 22 : influence du niveau d'éclairement sur la production individuelle des pieds de tomate.----- 29

Figure 23 : proposition de dispositif d'échantillonnage pour prise en compte de l'hétérogénéité en parcelle agroforestière----- 38

Introduction

Le maraîchage fait face aujourd'hui à des enjeux importants. Il apparaît nécessaire d'engager une réflexion concernant la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, la gestion de l'eau en quantité et en qualité, le raisonnement de la fertilisation, la qualité des produits. Mais ces perspectives soulèvent des questions de rentabilité économique des exploitations face à une concurrence internationale pas toujours soumise aux mêmes règles, ainsi que des questions d'ordre technique ; il est donc nécessaire d'aborder ces questions sous ce double aspect technico-économique pour y répondre.

Parmi les réponses possibles, l'agroforesterie est aujourd'hui une piste sérieusement envisagée par les institutions. Des projets de recherche et développement ont permis son expansion dans le domaine des grandes cultures, en diminuant notamment les freins techniques. En revanche, la profession reste sans réponse face aux questions posées par la culture de légumes de plein air en agroforesterie.

Agroof, Société COopérative et Participative spécialisée dans la recherche-développement en agroforesterie, se propose d'apporter des éléments de réponse susceptibles d'amorcer une dynamique de développement des systèmes maraîchers en agroforesterie, domaine pour l'instant très marginal à l'échelle de la France. A travers une étude de l'existant (Warlop, 2014) et une expérimentation de terrain sur un réseau de parcelles en recherche participative (projet Arbratatouille), Agroof entreprend donc à partir de 2014 une investigation du domaine « maraîchage en agroforesterie » destinée à enrichir les connaissances et à dégager des pistes techniques, tout particulièrement en zone méditerranéenne.

L'étude présentée ici est l'étude préliminaire du projet Arbratatouille ; son objectif principal est d'obtenir des premiers résultats destinés à valider des propositions pour la mise en place à partir de 2015 d'un plan d'expérimentation complet à l'échelle d'un réseau de parcelle. Nous nous limiterons ici à rendre compte des résultats obtenus avec le protocole exploratoire mis en place sur culture de tomate au domaine de Roumassouze, à Vézénobres dans le Gard.

Après un rappel des enjeux du maraîchage en contexte méditerranéen, nous nous attacherons à faire l'état des connaissances actuelles dans le domaine de l'agroforesterie en général, puis dans le cas du maraîchage et de la tomate en particulier, afin d'en tirer des enseignements pour la recherche-développement dans ce domaine. Ceci débouchera sur notre problématique à laquelle nous tenterons de répondre. Nous déduirons de tout cela les objectifs et hypothèses retenus pour la mise en place de notre étude, pour ensuite présenter la démarche suivie, ainsi que les matériels et méthodes utilisés. Une dernière partie présentera les résultats et les discutera, pour terminer par la proposition de pistes pour la mise en place d'un protocole plus exhaustif à partir de 2015.

I Contexte général de l'étude

1 Le maraîchage en zone méditerranéenne

a Le climat méditerranéen

Principalement représenté sur le pourtour de la mer Méditerranée, il se retrouve aussi sur les façades ouest d'autres continents, entre 30 et 40° de latitude : Californie, Chili central, région du Cap en Afrique du Sud, Sud et Ouest de l'Australie (Beltrando et Chémery, 1995) (voir carte en annexe I). Nous nous limiterons ici à notre région d'étude : le sud-est de la France.

Köppen (1936), définit le climat méditerranéen par une température moyenne du mois d'hiver le plus froid comprise entre -3°C et 18°C, associée à une pluviométrie moyenne du mois le plus sec de l'été inférieure au tiers de celle du mois d'hiver le plus pluvieux. Dans la zone méditerranéenne française, on trouve des variations importantes (saisonnières, annuelles, décennales), qui concernent toutes les caractéristiques du climat : température, pluviométrie, vitesse et direction des vents. Cela rend la caractérisation fine du climat méditerranéen très difficile (Planton, 2000).

Cependant, quelques généralités peuvent être tirées. Ainsi, Joly et al (2010) différencient :

- le climat méditerranéen franc, caractérisé par des températures annuelles élevées (rareté des jours froids et fréquence des jours chauds), une forte amplitude interannuelle (plus de 17°C entre janvier et juillet), une pluviométrie annuelle de 650 à 800 mm, mais avec des étés très secs, les précipitations étant concentrées sur l'automne et l'hiver avec des épisodes souvent violents (en 2002, à Anduze 730 mm d'eau sont tombées en 24 h du 8 au 9 septembre). Ainsi, ces régions connaissent des étés chauds et secs et des hivers plutôt doux et humides.
- le climat méditerranéen altéré qui présente les mêmes tendances, mais avec une influence continentale ou montagnarde tamponnant les effets du caractère méditerranéen.

En France, la répartition des climats méditerranéens francs et altérés (Joly et al, 2010) est représentée en annexe II.

La bioclimatologie définit couramment les régions méditerranéennes comme « les régions où pousse l'olivier ». Cet arbre, endommagé par le gel lorsque la température descend au-dessous de -10°C, supporte bien plusieurs mois de sécheresse (Planton, 2000).

Désormais, le changement climatique semble être une réalité incontournable (Allison et al, 2009) : élévation de la température, perturbation des périodes de précipitations (décalées, plus concentrées dans le temps, plus violentes et moins valorisables), élévation du niveau des eaux (Turrall et al, 2011). On risque donc d'assister à un renforcement des caractéristiques extrêmes du climat méditerranéen : sécheresse estivale plus marquée, périodes caniculaires plus fréquentes et précipitations plus violentes (Lelièvre et al, 2009).

Les travaux de Lelièvre et al (2009) montrent que la température a augmenté de 1,8°C en moyenne sur 28 ans (1980-2007) dans l'ensemble de la région méditerranéenne française, avec un réchauffement plus important de mars à octobre (+0,4°C à + 0,6°C tous les dix ans) et un effet exacerbé de mai à août (+0,8°C à +1°C par décennie), ce qui entraîne une augmentation de +7,5 jours à température extrême (>30°C) tous les dix ans.

L'augmentation semble plus importante pour le climat méditerranéen altéré (+0,63°C par décennie dans la région de Lyon-Valence contre +0,5°C pour la région de Montpellier) ; l'hypothèse avancée ici serait en liaison avec l'effet tampon de la mer.

En revanche, Lelièvre et al (2009) mettent en évidence une stabilité des précipitations annuelles et saisonnières face au changement climatique en région méditerranéenne, bien qu'on assiste à une augmentation des fréquences des sécheresses estivales (moins de 220 mm de précipitation du 1^{er} mai au 31 août).

b Situation pédologique

De façon générale, les sols de la région méditerranéenne sont très variés, mais peu spécifiques, à l'exception des sols fersiallitiques méditerranéens (Vaudour, 1968 ; Legros, 2007).

Si l'on se limite aux sols sur lesquels les cultures maraîchères sont aujourd'hui pratiquées, ce sont essentiellement des fluvisols : ces sols alluviaux ou colluviaux jeunes sont très généralement riches en bases ou légèrement calcaires, plus ou moins filtrants selon leur richesse en argile (de Franchis, 2003). Quelle que soit leur nature, les sols méditerranéens présentent un certain nombre de points communs (Chambre d'Agriculture Languedoc Roussillon, 2012), qui constituent autant de contraintes fortes qu'il faudra gérer :

- Une faible teneur en matière organique (moins de 1,5% en général), en relation avec un climat favorable à la minéralisation,
- Une forte sensibilité à l'érosion, en relation avec l'existence d'épisodes pluvieux intenses (phénomènes cévenols),
- Une faible teneur en eau du printemps à l'automne, en relation avec un déficit hydrique climatique marqué.

Il est probable que ces contraintes ne feront que s'accroître avec le changement climatique (Leclerc, 2009).

c- Les grands enjeux agricoles de la région

Les conditions climatiques évoquées plus haut et leurs tendances pour les années à venir entraînent un contexte difficile pour l'agriculture.

Ainsi la photosynthèse, processus physiologique majeur pour la production agricole est le premier à être affecté par les excès de chaleurs (pour les plantes en C3) à travers l'abaissement du potentiel hydrique de l'air et du sol notamment (Sage et Kubien, 2007). D'autres désordres physiologiques peuvent survenir lors d'épisodes avec une température élevée comme l'échaudage ou les brûlures (Peet, 2009).

Les périodes de sécheresses sont typiques du climat méditerranéen, alors que l'eau est un facteur de production essentiel en agriculture. Les préfets des départements méditerranéens peuvent prendre des mesures de gestion des stocks pendant ces périodes, limitant les prélèvements d'eau pour l'irrigation au moment où l'ETP est la plus importante.

d- Le cas particulier du maraîchage dans le sud est

Le bassin méditerranéen est l'un des quatre principaux bassins de production de légumes en France (Jeannequin et al 2005). On y cultive principalement la tomate, la salade, l'asperge, le céleri, le concombre, l'ail, le poivron, l'aubergine et le melon (Dosba et al, 2005).

Afin de s'adapter aux fortes contraintes des zones méditerranéennes, des stratégies de protection climatique des cultures maraîchères se sont développées (Brader et al, 1988) : brises-vents, paillages, tunnels de forçage, serres au climat complètement contrôlé, toiles d'ombrages, structures à persiennes, etc. L'utilisation de variétés tolérantes aux stress hydriques et aux excès de chaleur sera également recherchée.

Malgré cela, le problème de l'eau subsiste. Par exemple, en avril 2012, le préfet du Gard avait interdit l'irrigation de 8h à 22h, ce qui a mis les maraîchers en grande difficulté car le

dimensionnement du système d'irrigation ne leur permet pas d'irriguer simultanément la totalité de leurs parcelles.

Les sols méditerranéens connaissant un déficit en matière organique important, une attention particulière devra être portée à la gestion du carbone dans le sol. Les apports de produits organiques sont donc essentiels, mais la ressource est limitée, en particulier parce que l'élevage n'est pas prépondérant en région méditerranéenne.

Le climat méditerranéen est particulièrement favorable à la culture de légumes sous le label Agriculture Biologique (vallée du Rhône en particulier) grâce au climat chaud et sec qui limite le développement des maladies fongiques. De plus, des aides publiques encouragent les exploitants respectant le cahier des charges AB à travers des MAET ou des aides spécifiques au niveau départemental ou régional [1]. Ainsi, avec plus de 10% de sa surface cultivée en agriculture biologique, la région méditerranéenne arrive en première position sur le territoire français.

Le bassin de consommation méditerranéen est très important. Avec de grandes villes telles que Lyon, Valence, Avignon, Montpellier ou encore Marseille, le maraîchage péri-urbain est très présent avec une pression foncière importante et une forte présence de systèmes de commercialisation courts : 46% des agriculteurs ayant des surfaces dédiées aux légumes ont une activité de vente directe (agence Bio, 2011). Les systèmes maraîchers en situation périurbaine et tournés vers la vente directe sont caractérisés par des petites surfaces avec des systèmes de cultures très intensifiés pour valoriser au mieux le sol (Lavergne, 2004), une gamme très diversifiée de légumes et souvent un complément de gamme par des arbres fruitiers ou des petits élevages (Pons et al, 2010). Ces exploitations sont souvent génératrices d'innovation, soit pour intensifier leurs petites surfaces, soit pour former un argument de vente (pratiques respectueuses de l'environnement, innovation dans la composition variétale ou spécifique de la gamme, élaboration d'une qualité supérieure).

A l'opposé on trouve également un nombre important de structures de commercialisation tournées vers l'export pour la France et l'Europe.

2 L'évolution des pratiques maraîchères, une exigence sociétale

a Les attentes des consommateurs/citoyens

En 2004, un groupe de travail commandité par le Ministère de l'Agriculture (Bachelier et al, 2004) publie un rapport sur les attentes sociétales concernant l'agriculture. Il est souhaité :

- Des pratiques plus respectueuses de l'environnement : entretien des paysages agraires pour lesquels la place de l'arbre est soulignée, préservation de l'eau tant en quantité qu'en qualité, maintien de la biodiversité sauvage, etc.,
- Une amélioration de la qualité nutritionnelle et gustative, en particulier des fruits et légumes, avec une grande variété dans le choix,
- Une réelle sécurité alimentaire. Concernant les légumes on ne peut pas réellement parler d'un risque alimentaire quantitatif. En revanche, la culture maraîchère étant très dépendante de la protection phytosanitaire, les consommateurs sont demandeurs de pratiques limitant leur utilisation (Brismontier et al, 2009). La société est également sensible aux dangers d'origines biotiques tels que virus, bactéries ou encore mycotoxines. Une transparence sur les pratiques est donc de plus en plus demandée, traduite par l'émergence de nombreux cahiers des charges.

Malgré toutes ces exigences, le consommateur veut aussi pouvoir acheter des légumes à des prix qu'il considère comme abordables.

b Les attentes des maraîchers

Des interactions complexes entre la sensibilité personnelle, les convictions, l'investissement personnel et la recherche d'efficacité technico-économique définissent le paysage des pratiques et des attentes professionnelles en maraîchage qui sont par conséquent très divers (Bon et al, 2010). On retrouve néanmoins l'attente :

- D'une rentabilité économique satisfaisante. La pression de la concurrence internationale, de l'augmentation des coûts de production et des exigences de la société rendent cette rentabilité de plus en plus aléatoire, en l'état actuel des connaissances techniques (Brismontier et al, 2009).
- D'une amélioration de leurs conditions de travail. Les postes physiquement éprouvants et les fortes chaleurs estivales rendent le travail très pénible (Bon et al, 2010). La difficulté grandissante à trouver de la main d'œuvre saisonnière ainsi que l'abandon d'activité sont en grande partie dues à cette pénibilité.

II L'agroforesterie maraîchère en zone méditerranéenne : réalités et perspectives.

1 L'agroforesterie des climats tempérés

a Qu'est-ce que l'agroforesterie ? Ses ambitions et ses défis.

L'agroforesterie regroupe les agrosystèmes plurispécifiques intégrant des arbres et des cultures annuelles ou bien des animaux. Inspirée de systèmes agricoles traditionnels venant notamment des pays tropicaux, mais aussi de pays soumis à des climats tempérés, l'agroforesterie moderne se distingue par son adaptation aux contraintes contemporaines.

L'agroforesterie vise à complexifier les interactions ainsi qu'à optimiser les synergies et les complémentarités. Les avantages procurés par le système sont dus à la diversification intra-parcellaire, au niveau spécifique et structural :

- plusieurs espèces : complémentarité des besoins, recherche de mutualisme, de commensalisme, amélioration de la stabilité économique des exploitations, perturbation des mécanismes de repérage des bioagresseurs, etc...
- multiplication des strates, tant aériennes que souterraines : optimisation de l'utilisation de la lumière et des ressources souterraines (nutriments, eau), modification du microclimat, hétérogénéité du paysage, multiplication des niches écologiques entraînant une augmentation de la biodiversité (faune, flore, micro-organismes...).

Le but de l'agroforesterie est donc de cultiver la diversité de l'agrosystème afin de le rendre plus stable et plus autonome en favorisant les mécanismes offrant des services écosystémiques.

Mais l'agroforesterie moderne doit, tout en s'inspirant des systèmes agroforestiers traditionnels, s'adapter aux contraintes contemporaines comme la mécanisation, les circuits de commercialisation et leurs exigences, la réglementation ou encore les prix du marché qui imposent souvent des rendements élevés ou des charges faibles. Elle doit aussi gérer au mieux la compétition interspécifique (arbre-culture) pour l'utilisation des ressources, et faire face au manque de variétés adaptées (les variétés actuelles étant sélectionnées en plein soleil dans des agrosystèmes très artificialisés).

L'agroforesterie se heurte également au dogme de l'agronomie d'après-guerre privilégiant des agrosystèmes mono spécifiques et simplifiés, toujours dominants dans le monde agricole

actuel. Cependant depuis quelques années, on observe une évolution avec un réel intérêt pour l'agro-écologie, l'agriculture de conservation ou encore l'agriculture écologiquement intensive, mouvements dans lesquels s'inscrivent bien les systèmes agroforestiers.

b Une proposition concrète en réponse aux enjeux contemporains

Les résultats obtenus sur les systèmes agroforestiers montrent des effets intéressants permettant de répondre aux nombreuses questions actuelles et futures évoquées plus haut. Ainsi, on pourrait attendre des effets positifs sur l'érosion des sols, le maintien de la biodiversité, la tolérance aux épisodes de sécheresse, la monotonie des paysages agricoles, la réduction des pollutions d'origines agricoles (nitrates et produits phytopharmaceutiques), la sécurisation économique des exploitations (Smith (1) (2) 2010, Nair 1993, Verheij 2003).

En termes de production, sous un climat méditerranéen très chaud et sec, qui s'inscrit de plus dans un contexte de réchauffement climatique à l'échelle mondiale, nous pouvons imaginer de nombreux avantages aux systèmes agroforestiers-maraichers : la réduction des radiations solaires, l'effet tampon sur les extrêmes climatiques et le rafraîchissement global du système procuré par les arbres seraient favorables à la culture de légumes.

D'ailleurs, dans ce contexte climatique, de nombreux projets tentent de réduire l'impact des radiations solaires sur les productions légumières à travers l'utilisation de serres ombrières en plein champ ou de blanchissement des serres en culture sous abri. Les essais montrent l'obtention de produits d'une meilleure qualité, un amoindrissement des désordres physiologiques, réduisant ainsi le pourcentage de déchets ainsi qu'un accroissement du rendement global (Jagers 2008, El Abd et al. 1994, El Gizawi et al. 1992, Riga et al. 2008). La production commercialisable se trouve ainsi accrue et potentiellement mieux valorisable grâce à l'ombrage.

2 Le maraîchage en agroforesterie

a Vie et mort des systèmes traditionnels associant arbres et maraîchage en zone méditerranéenne ; vers une renaissance ?

Sur le pourtour méditerranéen français, on retrouvait fréquemment des systèmes traditionnels associant le maraîchage à divers types d'arbres avant qu'ils ne disparaissent pour laisser la place aux systèmes de culture mono spécifiques que l'on connaît aujourd'hui. Ce n'est pas le cas dans de nombreux autres pays, notamment au sud de la méditerranée, mais aussi dans quelques pays voisins comme l'Italie, la Grèce, l'Espagne ou le Portugal.

La « coltura promiscua » en Italie associe généralement le maraîchage aux noyers, agrumes ou encore oliviers (Landi 2004, Cresti et al. 2004, Piccirillo et al. 2013). Les « huertas » en Espagne s'en rapprochent par leur composition (Guillermé et al. 2010). Les « pomeradas » espagnoles associaient pommiers et légumes (Smith (1) 2010). En France, la cerisaie d'Ixassou, système que l'on retrouve dans le Pays Basque associe volontiers cerisiers et maraîchage sur plusieurs hectares (Guillermé et al. 2010). Dans le Dauphiné, ce sont les noyers qui étaient souvent associés aux cultures maraichères (Coulon et al. 2000). Plus largement sur le pourtour méditerranéen (Espagne, Italie, Portugal, Grèce et sud de la France), on retrouve des systèmes de hautains à trois strates : arbres champêtres et vignes plantés sur le rang avec des cultures intercalaires céréalières ou maraichères en inter-rang (Eichhorn et al. 2006). On trouve aussi des cultures de légumes dans des oliveraies (Smith(1), 2010).

Ces systèmes se sont notamment développés pour leur capacité à atténuer les excès du climat, à permettre l'intensification de la productivité du sol et de façon plus anecdotique, pour des associations spécifiquement bénéfiques ou des synergies « pratiques » (par exemple

rendements supérieurs observés en oliveraies après une culture intercalaire, arbres utilisés comme tuteur en système de hautain) (Smith(1) 2010).

La quasi disparition en France de ces systèmes est notamment due à la spécialisation des exploitations et des filières, au remembrement du parcellaire, aux politiques agricoles défavorables aux systèmes mixtes et aux arbres en zone agricole, à l'apparition de la mécanisation, à l'émergence de grand projets d'organisation de l'irrigation rendant inutile l'atténuation de l'ETP due à l'ombre des arbres, à l'exode rurale et par conséquent au manque de main d'œuvre agricole (Smith(1) 2010), à la chute du prix du bois, et à l'obsolescence des pratiques associées à ces systèmes. (Guillerme et al. 2010, Landi 2004, Cresti et al. 2004, Priccirillo et al, 2013, Coulon et al. 2000).

Cette disparition donnera naissance aux systèmes que l'on connaît aujourd'hui, monospécifiques, organisés en bassins de production, très dépendants de l'industrie pétrochimique, phytopharmaceutique et semencière.

Aujourd'hui, le contexte est différent. On assiste à un retour du commerce de proximité, sans intermédiaire, en ce qui concerne la filière fruits et légumes (Cavard-Vibert, 2014). Ceci encourage une diversification de la production au sein de l'exploitation afin d'élargir la gamme de choix proposée aux consommateurs en vente directe. Les agriculteurs, en lien direct avec leurs consommateurs se doivent d'adapter leurs pratiques aux attentes sociétales, notamment vis-à-vis du respect de l'environnement, de la qualité des produits et du respect de la santé (Jeannequin et al. 2005). On peut aussi noter que de plus en plus de filières industrielles ont aussi des exigences fortes en termes de qualité des produits ou de mode de production plus respectueux de l'environnement.

Dans un tel contexte on peut imaginer un retour des systèmes agroforestiers intégrant des cultures maraîchères.

b Très peu de références récentes sur le sujet

Si les systèmes agroforestiers associant grandes cultures et bois d'œuvre ont été étudiés en profondeur, les études modernes concernant les cultures intercalaires de maraîchage en agroforesterie sont peu nombreuses et souvent conçues et réalisées de façon indépendante (Sieffert, 2013, Warlop, 2014). Rosati (2011) propose par exemple un système associant la culture d'asperge à l'olivier, expliquant que 45% de la lumière totale reste disponible pour la culture intercalaire dans ce système. Newman (1986) calcule un « land equivalent ratio » de 2 avec une culture de radis associée à un verger de poiriers. On trouve encore un essai pommiers-arbustes-légumes en cours de mise en place dans le canton d'Argovie en Suisse (Kuster et al, 2012).

On peut aussi transposer des résultats obtenus dans des domaines d'étude proches et qui sont pertinents dans le cas de l'agroforesterie maraîchère en climat méditerranéen. Ainsi, nous pourrions nous intéresser aux thématiques d'études suivantes :

- l'agroforesterie sous climat méditerranéen, tempéré ou tropical,
- les réactions des plantes maraîchères face aux contraintes abiotiques,
- les essais de culture sous serres ombrières avec modulation de l'ombrage,
- les essais de cultures en climat contrôlé avec modulation notamment de l'hygrométrie et de la température.

c Quand la pratique précède la recherche

Les idées basées sur la permaculture et l'agroforesterie ayant été largement diffusées au niveau du grand public, quelques agriculteurs s'en sont inspirés pour concevoir des systèmes associant des arbres et des cultures maraîchères. Sans aucune référence technique, sans

accompagnement et souvent isolés, ils se sont lancés dans la production maraîchère en agroforesterie. L'enquête SMART en a recensé 22 dans la région sud-est (Warlop, 2014).

3 L'évaluation des cultures intercalaires en agroforesterie : une nouvelle approche

a Une diversité des systèmes très importante

Etudier des systèmes agroforestiers revient à étudier une très grande diversité d'associations d'espèces (intercalaires et pérennes), d'aménagements, d'itinéraires techniques, de conduites des arbres, tout cela dans des conditions pédo-climatiques différentes et déterminantes pour les résultats (Stamps et Linit, 1999).

Au sein même du système agroforestier, lorsqu'on désire évaluer la culture intercalaire, la diversité microclimatique étant très importante, il est essentiel de l'appréhender si on veut tirer des conclusions pertinentes (Dupraz et Liagre, 2008). De plus la diversité génétique chez les plants d'arbres en pépinière étant importante, on peut observer des disparités au sein du système, entraînant des conséquences directes sur la culture intercalaire (Sieffert, 2013). Enfin, on peut également s'attendre à des variabilités à l'échelle temporelle. Les conditions du système dépendant de la taille et donc de l'âge des arbres, les résultats vont varier d'une année sur l'autre, évoluant d'une influence presque nulle de la présence des arbres lors de l'implantation jusqu'à une influence déterminante à maturité.

Il semble donc impossible d'obtenir des conditions homogènes pour les cultures intercalaires, et la diversité des situations étant une caractéristique forte des systèmes agroforestiers, nous devons de l'intégrer dans l'évaluation que nous en ferons.

b Des systèmes complexes

La complexité des systèmes agroforestiers est très importante. L'appréhension des mécanismes en jeu pour comprendre le fonctionnement du système dans son ensemble doit passer par la mesure d'un grand nombre d'indicateurs, construisant ainsi, peu à peu, le schéma fonctionnel du système mettant en évidence les grands facteurs influençant les variables d'intérêts.

Si la démarche analytique reste la seule capable de fournir des informations fines sur les interactions existant au sein du système, elle s'avère très lourde à mettre en œuvre lorsqu'on s'intéresse en profondeur aux systèmes de production complexes tels que l'agroforesterie. Ainsi, au vu du nombre d'indicateurs à mesurer et de l'hétérogénéité des systèmes à appréhender, on ne peut pas se permettre de tout baser sur cette méthode comportant un grand nombre de répétitions.

c La nécessaire synergie d'approches différentes

Une autre démarche permet de venir compléter la démarche analytique dans le cadre de l'agroforesterie : l'approche « système ». A travers des dires d'agriculteurs, des diagnostics d'exploitations et quelques relevés simples sur le terrain, cette approche permet de s'intéresser à un très grand nombre d'entités différentes, la robustesse des résultats étant même directement corrélée au nombre d'exploitations évaluées.

Dans le cas de l'agroforesterie, la complémentarité de l'approche analytique et de l'approche système semble donc particulièrement intéressante. Certains auteurs se sont déjà intéressés à cette synergie, qu'ils ont nommé approche intégrée. Ainsi Drinkwater (2002) fait état de la complémentarité entre expérimentation en station et analyse d'un réseau de ferme. Le Gal et al (2011) concluent que l'évaluation de systèmes de cultures innovants doit intégrer l'exploitation, le conseil technique et la recherche.

4 Le cadre de l'étude

a AGROOF

Il s'agit d'un bureau d'étude spécialisé dans la formation et la recherche et développement des pratiques agroforestières (association arbre / culture - élevage) en France et en Europe, pour et auprès des agriculteurs, des étudiants et des collectivités.

Depuis 2000, AGROOF est engagé dans la profonde réflexion sur les pratiques agro écologiques et la place de l'agroforesterie dans l'évolution de nos systèmes de production agricole. Organisée en Société COopérative et Participative (SCOP), la structure vise avant tout à l'avancée des connaissances, au dialogue et au travail avec les agriculteurs.

Aujourd'hui, la SCOP AGROOF, outre la réalisation d'études de recherche et développement, l'accompagnement de projets sur le terrain, la formation et l'expérimentation dans le domaine des pratiques agroécologiques intégrant des arbres, a aussi pour vocation la mise en œuvre de méthodes de travail collaboratives, visant à créer des ponts entre différents acteurs et à susciter une réflexion autour de projets collectifs pour questionner les pratiques agricoles au sein des territoires [2].

Logiquement intéressée par la thématique « maraîchage en agroforesterie », la SCOP s'est investie dans deux projets complémentaires de recherche visant à la compréhension du fonctionnement des systèmes agroforestiers en maraîchage :

- le projet Smart a pour objet l'étude de l'existant et son amélioration,
- le projet Arbratatouille a pour objet l'investigation plus approfondie des systèmes du point de vue de la production maraîchère.

b Le projet Smart (décembre 2013-décembre 2016)

Ce projet a pour but de consolider les références technico-économiques sur les vergers maraîchers par la mise en place de protocoles d'évaluation de systèmes en recherche participative. Il concerne plusieurs régions : nous nous focaliserons sur la région sud-est.

Dans un premier temps (2013/2014), il s'agit d'identifier, de recenser et de caractériser les pratiques agroforestières en vergers maraîchers sur le territoire français. Dans un deuxième temps (après 2014), la création d'un réseau alliant agriculteurs, techniciens et chercheurs visera à élaborer conjointement des protocoles d'étude, puis à les mettre en œuvre dans les exploitations. Dans le sud-est, 22 agriculteurs se sont déclarés potentiellement intéressés pour faire partie du réseau.

Smart est un projet CASDAR, c'est-à-dire qu'il résulte d'un appel à projet émanant du Ministère de l'Agriculture. Ces projets suscitent en général des coopérations transversales entre des organismes techniques, de recherche, de développement et de formation. C'est le cas ici avec la création d'un réseau comprenant notamment le GRAB, la TAB, la Chambre d'agriculture de la Drôme, l'ITAB, l'INRA (unité PSH), le GRCIVAM et AGROOF (pour ce qui est des partenaires du sud-est).

Dans le cadre de Smart, AGROOF s'est vu attribuer la réalisation et l'analyse des enquêtes des agriculteurs référencés dans le Gard et l'Hérault. Ensuite, conjointement avec tous les autres partenaires du projet, AGROOF aura en charge la création et l'animation du réseau d'agriculteurs pour la production de références technico-économiques à travers l'élaboration de protocoles simplifiés organisés en recherche participative.

c Le projet Arbratatouille (mars 2014-mars 2017)

L'objectif global du projet est de produire et de consolider des références technico-économiques et de mieux comprendre les mécanismes en jeu dans les systèmes mixtes associant arbres et cultures légumières de plein air. Pour cela, il faudra :

- Evaluer la réponse des espèces maraîchères à la culture en systèmes agroforestiers en termes de croissance et de développement des plantes, et identifier les conditions optimales pour les légumes testés,
- Mettre en évidence les mécanismes agronomiques et physiologiques en jeu,
- Evaluer les conséquences sur la production,
- Evaluer l'impact économique de ces conséquences à l'échelle de l'exploitation,
- Proposer des outils de conception et des éléments techniques et technico-économiques pour moduler le système.

Il s'agit dans un premier temps d'élaborer des protocoles expérimentaux permettant d'évaluer objectivement des systèmes mixtes en arbres – maraîchage, puis dans un deuxième temps de les éprouver sur le terrain. Les protocoles mis en place ici devront privilégier la compréhension des mécanismes intrinsèques aux agrosystèmes étudiés comme l'auto régulation des bio agresseurs, l'état sanitaire des plantes de manière générale, l'effet du microclimat sur les cultures, la répartition lumineuse et ses conséquences, les conditions d'alimentation et de croissance des cultures.

Le projet comprend 8 sites expérimentaux (1 principal et 7 secondaires) qui se trouvent chez les agriculteurs qui seront associés au projet. Les parcelles sont déjà plantées d'arbres âgés, ce qui permettra d'étudier directement des systèmes pérennes matures (pour les arbres). En revanche, cela pourra poser problème pour le choix des modalités, les vergers étant figés. AGROOF est la structure porteuse de ce projet ; elle aura en charge la coordination, l'élaboration des protocoles ainsi que les suivis concernant la compétition pour la lumière, l'effet de l'environnement aérien au sein des systèmes étudiés et les conditions d'alimentation et de croissance des cultures.

Concrètement, ce rapport sera centré sur le démarrage du projet Arbratatouille, consistant en une étude préliminaire, qui m'a été confié en autonomie et responsabilité guidées ; les résultats de la pré-enquête Smart que j'ai réalisée serviront à enrichir la réflexion et la discussion. Pour cette étude préliminaire, l'idée de départ était de travailler en 2014 sur quatre espèces : un légume feuille (laitue), un légume racine (carotte), un légume fruit (tomate) et un légume d'industrie typique (pomme de terre). Différents accidents (culturels, climatiques) nous ont empêché d'étudier ces quatre espèces.

Notre étude portera donc uniquement sur la tomate en agroforesterie.

III Les enjeux technico-économiques du maraîchage en agroforesterie, et de la tomate en particulier

1 Généralités sur les enjeux économiques de la production de la tomate

a Le rendement : composante primaire du chiffre d'affaires de la production

Le chiffre d'affaires d'une production de tomate est directement lié au rendement puisqu'il résulte du poids commercialisé multiplié par le prix du marché. On distingue cependant le rendement total du rendement commercialisable duquel on a retiré les fruits présentant un défaut majeur affectant de manière trop importante la consommation, la conservation ou la

commercialisation du produit (OCDE, 2002). Les facteurs déterminant l'aptitude des fruits à être commercialisés seront développés plus loin.

b La précocité, un enjeu majeur

La loi de l'offre par rapport à la demande régit le prix de la tomate, et les consommateurs souhaitent en manger dès le printemps. Ainsi, sur les trois dernières années, les prix des tomates de début de saison ont été deux à trois fois plus élevés que les prix des tomates de pleine saison (Serrurier et al, 2014). De plus, dans le cadre d'une vente en circuit court, il est très important d'être en capacité de proposer la tomate le plus tôt possible. En effet, la tomate étant un produit d'appel, les consommateurs délaissent les étals n'en proposant pas, pénalisant ainsi la totalité de la gamme proposée (Denis Florès, comm. perso., 2014).

c La qualité, moyen de valorisation économique de la production

Comme il a été mentionné plus haut, la qualité détermine l'aptitude des tomates à être commercialisés. Ainsi on distingue les catégories suivantes : Extra, Catégorie I, Catégorie II, Catégorie « non commercialisable » (OCDE, 2002 ; Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe, 2009). Il est important de rappeler qu'il n'existe pas une seule, mais plusieurs normes. En effet, en fonction du circuit de commercialisation, le déclassement ne respecte pas les mêmes règles de décisions (Bressoud, 2009). On en distingue trois grands types : les normes du commerce international, les cahiers des charges propres aux centrales d'achats, et les règles de décisions élaborées par les agriculteurs eux-mêmes dans le cas d'une vente en circuit court.

Ces règles prennent généralement en compte les caractéristiques physiques et visuelles de la tomate résultant d'infection par des maladies, de désordres physiologiques, ou d'accidents culturels. Les principaux critères pouvant déclasser un lot de tomate sont : le calibre, la couleur, la forme, les défauts physiologiques, l'infection par des maladies fongiques. La qualité gustative est quant à elle très rarement prise en compte dans l'élaboration du prix, sauf dans le cadre d'un circuit court de commercialisation, où la fidélisation de la clientèle est un enjeu clé et la qualité organoleptique un argument de vente très important (Bressoud, 2009).

2 Les enjeux technico-économiques spécifiques en agroforesterie

a Conséquences générales de la situation agroforestière sur la culture intercalaire

Les cultures sont soumises à des conditions différentes en milieu agroforestier en comparaison avec un milieu ouvert. Les principales modifications liées à la présence d'un maillage arboré dans une parcelle cultivée sont :

- Une diminution de la lumière reçue (Jose et al, 2004 ; Reynolds et al, 2007 ; Benavides et al, 2009)
- Une compétition minérale et hydrique entre les arbres et les cultures (Jose et al, 2004), bien qu'il ait été montré en système agroforestier blé-peuplier un enracinement plus profond des arbres, plaçant spatialement les racines pérennes en dessous des racines annuelles (Dupraz et Liagre, 2008). Le mécanisme en jeu est ici l'hydrotropisme racinaire. Les observations pourraient être inversées en système irrigué de type maraîcher, car dans ce cas, l'horizon irrigué est moins épais et l'irrigation plus soutenue. Ainsi, l'hydrotropisme racinaire pourrait attirer les racines des arbres dans l'horizon irrigué pour les cultures, accentuant ainsi fortement les phénomènes de compétition.

- Une modification des conditions climatiques (température, hygrométrie, vitesse et direction du vent) (Smith (2), 2010)
- Des interactions allélopathiques (Jose et al, 1998).

Ces modifications peuvent avoir des influences positives ou négatives sur la culture intercalaire. Par exemple, Brandle et al (2004) rapportent sur plusieurs cultures une germination plus rapide, une extension de la période de production et une meilleure croissance au printemps en situation agroforestière. En revanche Smith (2) (2010) attire notre attention sur les conséquences de la compétition hydrique en climat méditerranéen.

Qu'en est-il plus précisément pour la culture de la tomate ?

b Conséquences spécifiques de la situation agroforestière sur la tomate

Si aucune référence n'existe sur ce sujet précis (agroforesterie), nous pouvons trouver de nombreuses études sur les effets des paramètres microclimatiques sur la tomate, dont nous savons qu'ils seront différents en situation agroforestière.

b-1- Effet de l'abaissement de la lumière

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'effet d'un ombrage sur la culture de la tomate en climat méditerranéen. Il en ressort deux composantes de l'éclairement : la quantité, souvent exprimée en « lumière photosynthétiquement active » et la qualité, c'est-à-dire la composition spectrale (longueurs d'ondes) transmise aux cultures, un couvert végétal produisant une ombre qui diminue le rapport rouge clair / rouge sombre (Gautier et al, 2004).

En climat méditerranéen, la littérature montre les effets suivants de l'ombrage sur une culture de tomates :

- Un rendement accru (Ilic et al, 2012 ; Kittas et al, 2011 ; El-Abd et al, 1994 ; El-Gizawi et al, 1992). Les auteurs rapportent une amélioration significative du rendement jusqu'à 30-40% d'ombrage, niveau à partir duquel le rendement décroît.
- Une réduction de l'apparition de coups de soleil et de cracking (El Gizawi et al, 1992, Ilic et al, 2012, Kittas et al, 2011), mais une augmentation de la proportion de cat face (El Gizawi, 1992).
- Une floraison et un nombre de fruits plus importants (Kittas et al, 2011 ; el Gizawi et al, 1992).
- Des plantes significativement plus hautes, avec un LAI plus important, ainsi qu'un nombre de feuilles réduit (Ilic et al, 2012 ; Kittas et al, 2011 ; El-Abd et al, 1994 ; El-Gizawi et al, 1992).
- Une augmentation du taux d'acidité titrable et une diminution du taux de matières solubles, notamment les sucres (El Gizawi et al, 1992). Ce résultat est confirmé par Van der Ploeg et Heuvelink (2005) qui soulignent un effet négatif de l'ombrage sur l'appréciation gustative des fruits par les consommateurs.

Beaucoup d'auteurs attirent notre attention sur la relation entre condition d'éclairement et température, émettant l'hypothèse que les résultats obtenus ne seraient pas dus à l'abaissement de la lumière en elle-même mais plutôt à l'abaissement de la température (Battilani et al, 2003 ; Gautier et al, 2008, Adams et al, 2002 ; Pearce et al, 1993 ; Riga et al, 2008).

L'influence de la qualité de la lumière est un vaste sujet qui ne sera pas discuté ici pour des raisons de concision et de pertinence au vu de la simplicité des mesures effectuées dans notre étude. On peut tout de même rapidement citer quelques travaux : Ilic et al (2012) sur le taux de lycopène, Goren et al (2011) sur la conservation post récolte, Jen (1974) sur la maturation, Mehta et Bhavannarayana (1981) sur la synthèse des pigments au cours de la maturation.

b-2- Effet de l'abaissement de la température en climat méditerranéen

Si l'abaissement de la température tempère des conditions extérieures trop chaudes (cas typique de la période estivale en climat méditerranéen), les effets sont globalement les mêmes que ceux de l'ombrage des cultures lorsque les radiations solaires sont trop importantes, décrits ci-dessus.

En revanche, lorsque l'abaissement de la température rafraîchit encore des conditions déjà sub-optimales (moins de 22-25°C), comme c'est le cas par exemple en début de saison sous climat méditerranéen, on peut s'attendre aux effets suivants :

- Une croissance végétative affectée, les effets variant en fonction des indicateurs. Le RGR (taux de croissance relatif) est globalement réduit (Venema et al, 1999) ; Hunt (1990) met en évidence que cet effet peut être dû à la réduction du LAR (ratio de surface foliaire) ou du NAR (taux d'assimilation nette). La taille des plantes est réduite ainsi que le nombre de feuilles (Hurd et Graves, 1985 ; Nieuwhof et al, 1997).
- Une augmentation du nombre de fleurs (Ercan et Vural, 1994), principalement en relation avec la baisse des températures nocturnes. Phatak et al (1966) avaient précédemment démontré que l'abaissement de la température du sol (non mesuré chez Ercan et Vural (1994)) avait un effet plus important que l'abaissement de la température de l'air ce qui est confirmé par Van der Ploeg et Heuvelink (2005).
- Une moindre production de fruits. Optimale aux alentours de 18-20°C (De Koning, 1994), celle-ci est affectée par des températures inférieures à cause d'une mauvaise qualité du pollen produit (Fernandez-Muñoz et Cuartero, 1991 ; Picken, 1984).
- Une croissance ralentie du fruit de manière linéaire entre 26°C et 14°C (De Koning, 2000 ; Adams et al (1), 2001). De Koning (1994) a montré que l'enjeu se situe au début de la croissance, car ensuite, l'augmentation des températures n'est plus corrélée à la vitesse de maturation, résultats confirmés par Adams et al (1) (2001).
- Une baisse du rendement (Adams et al (2), 2001). Van der Ploeg et Heuvelink (2005) ont trouvé pertinent de décomposer cette baisse de rendement afin de mieux la comprendre. Pour eux, les résultats s'expliquent par une apparition plus lente des grappes (due elle-même à une dynamique de l'apparition des feuilles moins rapide) et par un avortement des fruits. Gent et Ma (1998) obtiennent une récolte plus importante en augmentant le DIF (différence de température entre le jour et la nuit) ; d'après Van der Ploeg et Heuvelink (2005), cet effet s'explique par un poids spécifique des fruits plus important.
- Une moindre précocité, en raison du ralentissement des dynamiques de création des grappes, de grossissement des fruits et de leur maturation (Van der Ploeg et Heuvelink, 2005).
- Une augmentation de la fréquence de fruits parthénocarpiques (Van der Ploeg et Heuvelink, 2005).
- L'apparition plus fréquente de pourriture apicale (Barten et Scott, 1992).

IV Problématique, objectifs de l'étude et hypothèses

1 Problématique

Quels protocoles d'étude proposer pour évaluer les cultures maraîchères en systèmes agroforestiers en milieu méditerranéen, en s'appuyant notamment sur les résultats d'une étude exploratoire sur tomate ?

2 Objectifs

Les objectifs spécifiques de notre étude sont de :

Dégager des premières tendances concernant l'impact du système agroforestier sur le développement de la tomate,
Identifier les indicateurs les plus pertinents à suivre,
Définir des méthodes de suivi de ces indicateurs, le tout dans un système de production agroforestier en prenant en compte l'ensemble de ses spécificités,
Proposer des pistes et perspectives pour la mise en place d'un plan d'expérimentation fonctionnel pour 2015.

3 Hypothèses

A travers la synthèse bibliographique, nous avons pu voir que les grandes hypothèses sur le microclimat en système agroforestier découleraient d'un climat plus frais qu'à l'extérieur : réchauffement du sol plus lent au printemps et d'une manière globale, sols plus frais, humidité relative plus importante, vents ralentis, et niveaux d'ensoleillement inférieurs.

La nature et l'âge du peuplement agroforestier peuvent influencer grandement ces facteurs. On peut ainsi observer une hétérogénéité importante au sein du système dépendant de la densité et l'âge des arbres, le choix des espèces, la position spatiale et donc la distance des cultures aux arbres.

Les effets positifs attendus sont :

- une évapotranspiration moins importante et donc une moindre consommation d'eau,
- une meilleure efficacité de l'utilisation des nutriments,
- une protection pendant les périodes de fortes chaleurs évitant les désordres physiologiques associés,
- un développement accru des organes végétatifs,
- un accroissement du taux de certains métabolites d'intérêts rattachés à la qualité,
- une diminution de l'exposition aux stress d'origine abiotique.

Les effets négatifs attendus concernent :

- une activité photosynthétique amoindrie avec des conséquences directes sur la production via une moindre assimilation du carbone,
- une chute du taux de certains métabolites tel que les sucres,
- un retard phénologique dû aux plus faibles températures,
- des désordres physiologiques dus aux faibles températures.

Les facteurs qui pourraient moduler les effets attendus sont :

- le facteur génotypique (arbre et culture légumière),
- la densité de plantation d'arbres,
- l'organisation spatiale de la production maraîchère en relation avec l'hétérogénéité microclimatique au sein du système,
- l'intensité de taille des arbres,
- les modalités de travail du sol,
- les dates de plantation/semis,
- des opérations culturales visant à orienter le comportement de la plante tel que la taille, l'effeuillage, le palissage, etc.

Nous avons donc décidé d'évaluer le système suivant cinq grands thèmes : le microclimat, qui va nous aider à expliquer la production du système, la qualité de cette production, la croissance et la phénologie des plantes.

V Matériels et méthodes

1 La démarche générale de l'étude

Afin de répondre de la manière la plus complète possible aux questions posées, il a été décidé de respecter une approche intégrée, déjà définie comme une démarche expérimentale mêlant l'approche holistique/système et l'approche réductionniste/analytique. Elle permet de combiner les avantages procurés par les deux approches et de compléter ou affiner les résultats et leur analyse (Drinkwater, 2002).

Il aurait été difficile d'imaginer une expérimentation à la ferme sans impliquer l'agriculteur dans la réflexion : cela s'appelle la recherche participative. Des agriculteurs et des chercheurs réfléchissent ensemble autour d'une thématique de recherche basée en général sur l'exploitation et les pratiques des agriculteurs. La participation de ces derniers dans le programme de recherche augmente leur motivation, apporte des questions concrètes et bien inscrites dans le contexte et font évoluer la perception des chercheurs sur les applications des résultats du projet de recherche (Le Gal et al, 2011).

L'expérimentation sera donc transdisciplinaire, respectera à la fois les caractéristiques de l'approche système et de l'approche analytique, et sera menée avec une approche intégrée et une participation active de l'agriculteur à l'élaboration des protocoles.

Des chercheurs, techniciens, animateurs filières, seront consultés en fonction de leurs domaines de compétence et des besoins de l'étude. Leurs réponses aux questions posées viendront consolider, modifier ou invalider des décisions prises sur la base d'études bibliographiques.

A l'échelle du projet Arbratatouille, notre étude de 2014 peut être qualifiée d'exploratoire. Selon Dagnelie (2012), l'expérience préliminaire (ou exploratoire ou d'orientation) s'effectue en amont de l'expérience principale. Elle a pour but de dégager les premières tendances, de valider les protocoles, d'évaluer la variance et d'en déduire des éléments du plan d'expérimentation de l'étude principale pour les années suivantes (Poulain, 1977). Elle peut être relativement sommaire, en raison du manque de marge de manœuvre ou de matériel végétal (Dagnelie, 2012).

2 Le dispositif expérimental

L'expérimentation sera menée chez Denis et Virginie Florès, au Domaine de Roumassouze, situé à Vézénobres dans le Gard, au pied des Cévennes. Soumis à un climat méditerranéen altéré à épisode cévenols (décrit en I-1.), il est situé dans la plaine alluviale du Gardon, bénéficiant ainsi de la proximité de la nappe d'accompagnement (2 à 3 m en fonction des saisons). Le sol est profond (1,5 à 2 m) et sa texture dominante est limono-sableuse. Depuis 2002, suite aux inondations importantes subies dans la région, le domaine est classé en zone inondable. L'exploitation, acquise en 2010, offre 11 Ha de maillage agroforestier divers (voir plan en annexe III) ; les cultures intercalaires sont des céréales, des oléagineux et du maraîchage conduits en agriculture biologique, avec commercialisation en circuit court.

Cette exploitation a un passé de recherche en agroforesterie important puisque c'est là qu'un grand nombre de références ont été acquises sur les systèmes bois d'œuvre-grande culture à travers des expérimentations menées par diverses équipes de recherche notamment par l'UMR System (INRA) jusqu'en 2010, puis par Agroof depuis 2010 (Suivis de biodiversité, dynamique du carbone dans les sols...etc.) dans le cadre de différents projets.

a Matériel végétal

En se fondant toujours sur le principe de travailler avec le système de culture mis en place par l'agriculteur, nous avons choisi cette année de suivre des plants issus de sa propre production, obtenus à partir de semis en serre auto-construite.

Quatre variétés ont été évaluées :

- une variété très précoce : Marmande (M),
- une variété précoce : Noire de Crimée (NC),
- une variété de saison : Rose de Berne (RB),
- une variété tardive : Striped German (SG).

Toutes ces variétés sont des variétés population, ce qui signifie une variabilité génétique et donc phénotypique importante. Pour chaque traitement, 15 plantes représentent chaque variété.

b Traitement principal

Il s'agit de comparer trois situations :

- le plein soleil, ou milieu ouvert (MO) qui servira de témoin : absence d'arbres,
- l'agroforesterie à plus forte densité d'arbres (AF+) : noyers plantés en 1998 à 10 x 10 mètres,
- l'agroforesterie à plus faible densité d'arbres (AF-) : nous avons profité d'un arbre manquant au sud-ouest de la micro-parcelle.

c Facteurs explicatifs des variations de comportement des plantes

Dans la mesure où nous ne disposons pas de matériel pour mesurer les paramètres météorologiques (ou autres) en cette première année exploratoire du projet, nous évaluerons le microclimat uniquement à travers le rayonnement solaire direct, diffus et total reçu par chaque plante, que nous avons pu évaluer.

d Les unités expérimentales et l'ITK

Chacune des trois unités expérimentales (AF+, AF- et MO) comprend deux buttes de plantation (h=30 cm, l base=60 cm, l haut=40 cm) orientées nord-sud et séparées de 1,5 m (d'axe à axe). Chaque butte porte deux lignes de tomates séparées de 35 cm, chaque plant situé en quinconce étant espacé de 60 cm sur la ligne. Cela fait donc 4 lignes par unité expérimentale, chacune représentant une variété. D'est en ouest nous avons donc pour chaque traitement : une première butte portant une ligne de 15 Marmande puis une ligne de 15 Noire de Crimée, une deuxième butte portant une ligne de 15 Rose de Berne puis une ligne de 15 Striped German.(voir plan en annexe III)

Pour chaque ligne, un plant au nord et deux plants au sud (l'effet bordure est supposé plus important au sud) ne seront pas observés pour éliminer l'effet bordure, ce qui laisse 12 plants effectivement observés par ligne. Les effets bordure est et ouest n'ont pas été considérés car le matériel végétal nécessaire pour éliminer ces effets auraient été trop considérables (une ligne complète à chaque fois). Dans notre cas, nous nous rapprochons du schéma planté par les maraîchers qui comporte souvent seulement deux ou trois lignes ; l'effet bordure sera donc important et il faudra en tenir compte dans l'interprétation.

Le précédent était de la courgette. Après rotobêchage, les buttes ont été réalisées juste avant la plantation qui a eu lieu le 27 avril. Avant plantation, toutes les unités ont reçu la même fertilisation : 250 kg/ha de tourteau à 6% d'azote + 250 kg/ha de Biovi® à 10% d'azote. L'irrigation au goutte à goutte est conduite avec un tuyau par butte, un goutteur tous les 20 cm et des apports raisonnés en fonction des conditions météorologiques et de l'aspect des

plantes par apports de 4h. Aucun désherbage n'a été nécessaire. Deux traitements au sulfate de cuivre ont été réalisés dans les parcelles agroforestières (les 10 et 16 août), un seul en milieu ouvert (le 10 août).

e Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un dispositif en ligne sans répétition (voir plan en annexe III).

3 Les indicateurs et protocoles associés

a Caractérisation du rayonnement

La quantité de lumière reçue par chaque plante a été évaluée sous la forme du rayonnement diffus, direct et total.

Pour cela, un appareil photo muni d'un objectif fish-eye a été utilisé. Les photos ont été prises à l'horizontale (niveau intégré sur l'objectif), la prise de vue orientée vers le haut. Une photo a été prise au niveau de chaque plante, le plus près possible du plant, à la hauteur de la deuxième grappe. Les prises de vue ont été réalisées le 2 juillet (proches du solstice d'été) afin d'avoir la lumière correspondant à la période la plus ensoleillée. C'est aussi la période où l'on atteint le maximum de surface foliaire sur les arbres.

Les photos hémisphériques ont été traitées grâce au logiciel d'analyse d'image GLA qui, suite à une binarisation de l'image et à des algorithmes simulant la trajectoire du soleil, est capable de calculer la quantité de lumière reçue tout au long de l'année au point où la photo a été prise. Ce logiciel ne prend pas en compte la nébulosité ni l'évolution du feuillage des arbres ; la lumière réellement reçue par les plantes ne sera donc pas toujours identique aux données qu'il produit.

b Evaluation quantitative de la production maraîchère du système

Il s'agit d'abord du rendement brut, indicateur essentiel pour tous les agriculteurs. Afin de mieux comprendre comment s'élabore ce rendement, nous avons également observé les composantes du rendement.

La récolte se fait deux à trois fois par semaine en fonction des conditions. Tous les fruits récoltés sont évalués, référencés selon le traitement, la variété, le plant et la grappe d'origine : le calibre est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse et le poids est obtenu à l'aide d'une balance précise au dixième de gramme. Les productions totales par grappe, plant ou variété seront obtenus par addition des poids individuels obtenus.

Pour les composantes du rendement, on peut résumer l'élaboration du rendement d'un pied de tomate par la formule suivante :

$$R = G * FI * No * Pu(m) = \sum (Fr * Pu(s))$$

R : rendement (g)

No : taux de nouaison (%)

G : nombre de grappes par plante

Pu(m) : poids unitaire moyen (g)

FI : nombre de fleurs par grappe

Pu(s) : poids unitaire spécifique (g)

Fr : nombre de fruits par plante

La valeur de chacune de ces composantes a été notée pour chaque plante.

c Evaluation qualitative de la production maraîchère

Toujours importante, la qualité est essentielle pour la tomate car elle va déterminer non seulement le prix de vente, mais aussi le rendement réellement commercialisable.

La qualité a été évaluée sous deux aspects :

- La qualité physico-chimique : cinq fruits par traitement sont prélevés de façon aléatoire, mais le plant d'origine est noté (afin de pouvoir établir une corrélation avec des niveaux de lumière). Les indicateurs suivants ont été mesurés :

- la fermeté par la méthode de compression à 3% (deux mesures par fruit),
- la teneur en matière sèche par dessiccation au four (72 h à 60°C puis 24 h à 70°C),
- le taux de matière soluble (équivalent au taux de sucre) à l'aide d'un réfractomètre digital (sur deux quartiers opposés prélevés sur le fruit, fruit par fruit ou sur un mélange au sein du lot)

On considère habituellement que la qualité organoleptique sera d'autant meilleure que le taux de matières solubles et le taux de matière sèche sont importants. Pour la fermeté, les avis sont divergents, certains préférant des fruits plus fermes, d'autres moins (Bressoud, 2009).

- La qualité physiologique/visuelle. Les désordres physiologiques pouvant dévaluer la valeur marchande d'un fruit et ayant fait l'objet d'une notation sont les coups de soleil, le cracking, le cat face, la pourriture apicale et le microfendillement (voir photographies en annexe IV). L'échelle de notation allant de 0 à 3 a été fixée avec l'agriculteur en fonction du niveau de dévaluation :

- 0 : défaut absent : catégorie Extra
- 1 : défaut présent mais ne dévaluant pas la valeur marchande : Catégorie I
- 2 : défaut présent et dévaluant la valeur marchande : Catégorie II
- 3 : défaut présent et rendant le fruit non commercialisable en frais : Déchets

d Etude de la croissance et du développement des plantes

Un comptage des feuilles (= nombre d'étages) ainsi qu'une mesure de la hauteur de la plante ont été effectués chaque semaine jusqu'à ce que les plantes atteignent le sommet de leur tuteur (2m50).

Un étage est défini par l'insertion d'une feuille sur l'axe principal. Concernant les nouvelles feuilles rassemblées en bouquet au niveau de l'apex, nous n'avons compté que les feuilles étalées, c'est-à-dire définies et à l'horizontale. Les cicatrices d'insertion de feuilles ayant chuté sont comptabilisées également comme étage.

Au repiquage, les plants ayant été enterrés jusqu'à la première paire de vraies feuilles, les mesures de la hauteur des plants se feront à partir du sol jusqu'à l'apex porté par la tige principale.

e Détermination de l'âge phénologique de la plante à l'organe

Il est important ici de discerner l'âge phénologique de la plante d'une part et des organes d'autre part.

A l'échelle de la plante, la tomate ayant une croissance monopodiale dans un premier temps, le pas de temps ou le nombre de feuille avant l'apparition de la première grappe nous donne l'âge (en jours, ou en feuille) de la plante pour atteindre sa maturité sexuelle.

Après l'apparition de la deuxième grappe, la croissance de la tomate est dite sympodiale. La dynamique de l'apparition des grappes nous donnera alors une indication sur l'âge physiologique de l'individu.

Pour les déterminer, chaque semaine, une observation de chaque plant permet de noter la date d'apparition de nouvelles grappes. L'apparition d'une grappe est notée à partir du moment où elle présente au moins une fleur ouverte. Les grappes sont notées dans l'ordre d'apparition, de 1 à n. A l'échelle de chaque grappe, on note l'évolution des organes à une fréquence d'une semaine, en distinguant trois stades : la floraison (la fleur est ouverte et fraîche), le stade indéterminé (la fleur a fané, mais n'a toujours pas donné de fruit) et la fructification (la fleur a donné un fruit). Pour chaque grappe on note donc chaque semaine le nombre de fleurs, de fruits et d'indéterminés.

Ainsi nous connaissons l'âge physiologique des organes et le pas de temps qu'il leur faut pour l'atteindre.

f- Traitement des résultats

La période d'observation débute le 27 avril 2014 pour s'achever le 12 août 2014, pendant laquelle plus de 10 000 données élémentaires ont été récoltées. Nous avons choisi de présenter les résultats les plus représentatifs en suivant une logique « de la parcelle au fruit », permettant un changement d'échelle du plus grand au plus petit, et aussi un changement de point de vue, depuis le plus concret qui est celui du producteur notamment (quantité, qualité, période de production...), jusqu'à celui plus explicatif de l'expérimentateur/chercheur (compréhension des mécanismes en jeu).

Les notations ont été arrêtées au 12 août, alors que la période de production se poursuit normalement jusqu'à fin octobre, en particulier pour les variétés les plus tardives. Enfin, il est à noter qu'une attaque de mildiou non contrôlée (traitement cuivre trop tardif) à partir de début août a fortement pénalisée la production (attaques sur feuilles, tiges, fleurs et fruits).

Le dispositif expérimental exploratoire mis en place (faibles effectifs, absence de répétitions) ne permet pas, pour l'essentiel, de tester la validité statistique des résultats obtenus (analyse de variance, test de Newman-Keuls par exemple). Il ne s'agit donc ici que de tendances qui sont exprimées, et qui doivent nous servir à la mise en place d'une expérimentation plus complète pour les années à venir

Les abréviations suivantes seront couramment utilisées pour présenter les résultats :

- MO : milieu ouvert,
- AF- : agroforesterie à faible densité d'arbre,
- AF+ : agroforesterie à forte densité d'arbre
- M : variété Marmande
- NC : variété Noire de Crimée
- RB : variété Rose de Berne
- SG : variété Striped German

VI- Résultats

1- Résultats à la parcelle

Pour rappel, chaque parcelle élémentaire est constituée d'une ligne de 12 plantes. Les résultats présentés ici concernent donc des valeurs obtenues sur l'ensemble de ces 12 plantes pour chaque traitement.

a- Les données de production

La production brute

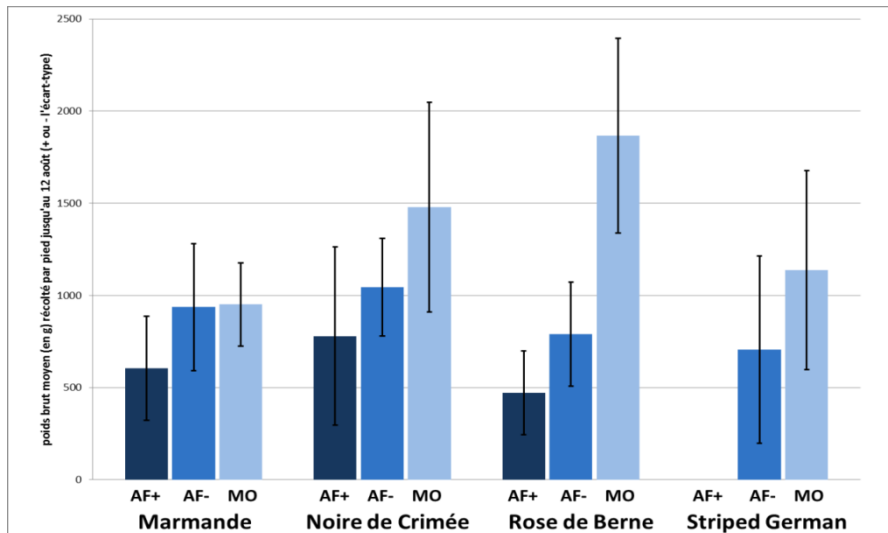


Figure 1 : production brute de tomates récoltées pour 4 variétés et 3 traitements ; moyenne par pied et écart-type.

Les écart-types sont élevés : on ne peut donc parler que de tendances. Toutes variétés confondues, un gradient de production brute «MO (464 g/pl)>AF- (869 g/pl)>AF+ (1358 g/pl)» apparaît. Si le traitement AF+ est toujours inférieur aux autres pour toutes les variétés, on peut voir des comportements variétaux différents pour les traitements AF- et MO :

- pour Marmande, les traitements AF- (936 g/pl) et MO (952 g/pl) sont quasiment identiques,
- pour Noire de Crimée, le traitement AF- (1044 g/pl) est sensiblement inférieur au traitement MO (1478 g/pl),
- pour Rose de Berne, le traitement AF- (790 g/pl) est très nettement inférieur au traitement MO (1867 g/pl),
- pour Striped German, le traitement AF- (707 g/pl) est nettement inférieur au traitement MO (1137 g/pl).

La hiérarchie des variétés n'est pas la même selon les traitements :

- en milieu ouvert : RB (1867 ± 529 g/pl) > NC (1478 ± 568 g/pl) > SG (1137 ± 540 g/pl) > M (952 ± 226 g/pl)
- en agroforesterie basse densité : NC (1044 ± 264 g/pl) > M (936 ± 343 g/pl) > RB (790 ± 283 g/pl) > SG (707 ± 508 g/pl)
- en agroforesterie haute densité : NC (778 ± 484 g/pl) > M (605 ± 283 g/pl) > RB (472 ± 227 g/pl) > SG (0 g/pl)

Enfin, la variabilité inter-plante mesurée par l'écart-type montre des résultats contrastés entre les variétés. En tendance (toutes variétés confondues), la variabilité semble augmenter avec l'ouverture du milieu : MO ($\sigma=466$)>AF- ($\sigma=350$)>AF+ ($\sigma=248$) ; cependant, si nous rapportons ces écart-types aux valeurs moyenne de production, en calculant par exemple le coefficient de variation, on constate une tendance inverse : AF+ (cv=53%)>AF- (cv=40%)>MO (cv=34%).

La production par catégorie commerciale

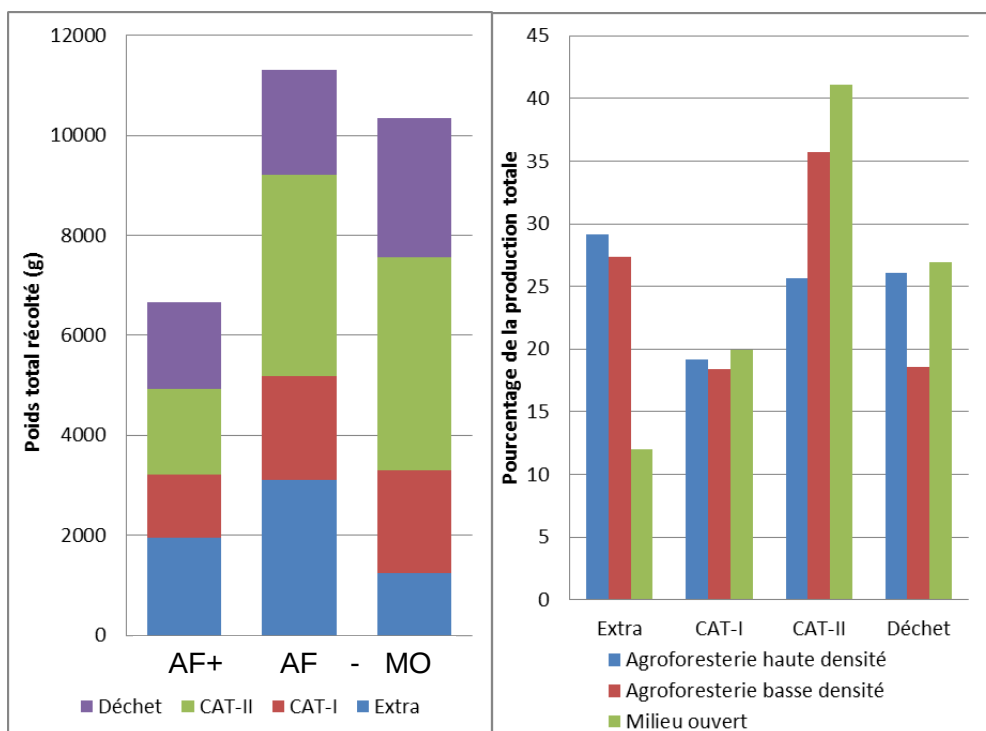


Figure 2 : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Marmande

Figure 3 : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Marmande

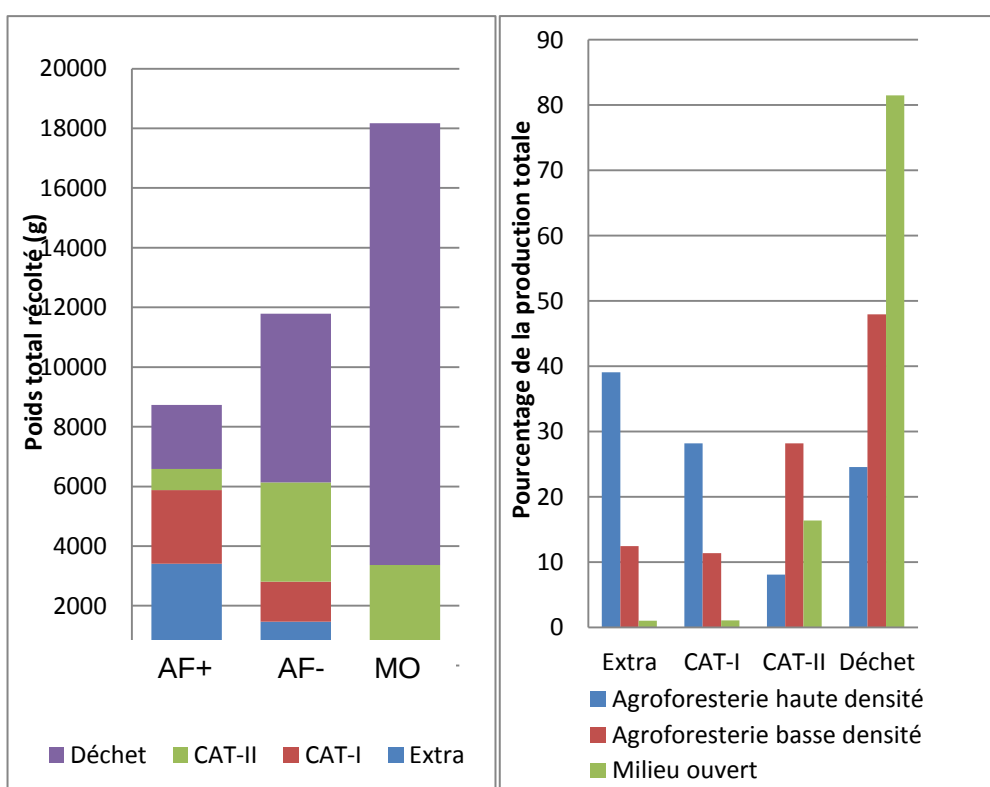


Figure 4 : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Noire de Crimée

Figure 5 : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Noire de Crimée

Marmande (figures 2 et 3) montre son meilleur comportement en agroforesterie basse densité, tant en production totale qu'en production commercialisable, les déchets ne représentant que 19% de la production brute. Malgré une bonne qualité (26% de déchets), la conduite en agroforesterie haute densité décroche nettement sur le plan quantitatif, en brut comme en commercialisable. Plus d'un quart de la production des parcelles agroforestières est classé en extra (29% pour AF+, 27% pour AF-).

Noire de Crimée (figures 4 et 5) a une production brute nettement supérieure en milieu ouvert, mais l'importance des déchets (81%) en fait le moins bon traitement en production commercialisable. A l'inverse, le traitement agroforesterie haute densité pénalise fortement la production brute, mais la bonne qualité (23% de déchets) dans ce traitement le place en tête de la production commercialisable, suivi de très près par le traitement agroforesterie basse densité qui est lui pénalisé par l'importance des déchets (48%).

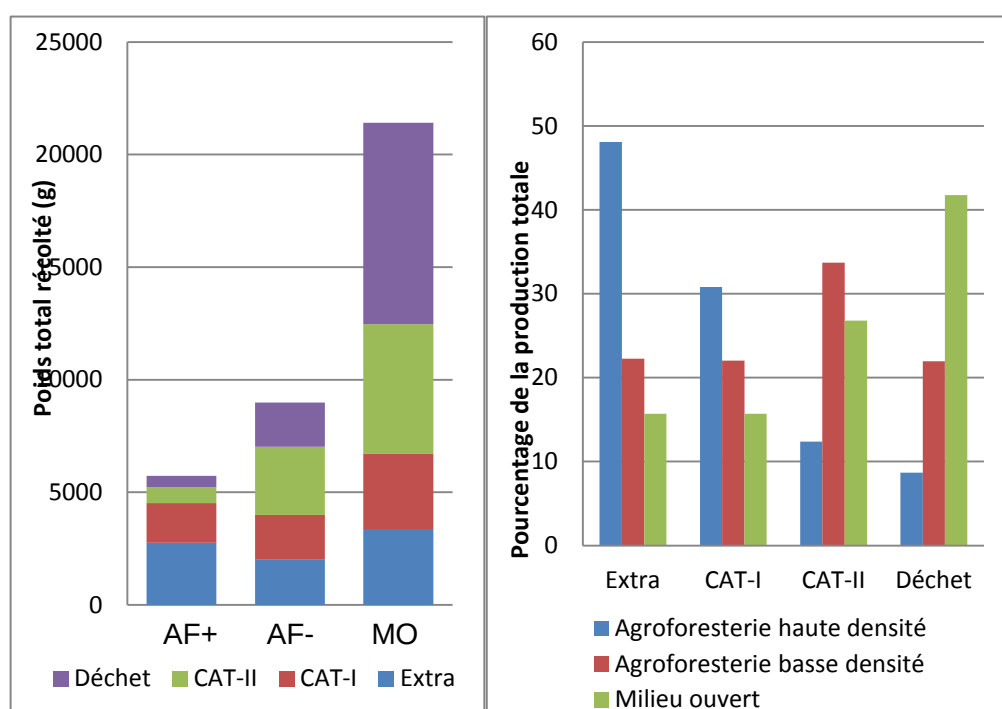


Figure 6 : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Rose de Berne

Figure 7 : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Rose de Berne

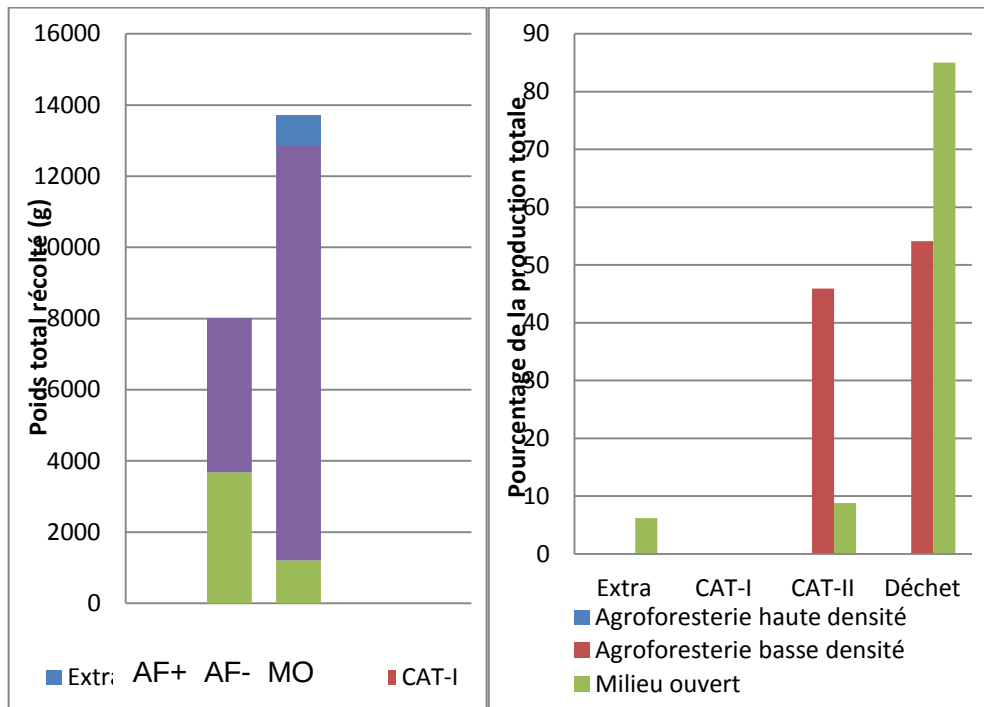


Figure 8 : répartition de la production totale (en g) par catégories commerciales pour la variété Striped German

Figure 9 : répartition de la production totale (en %) par catégories commerciales pour la variété Striped German

Pour Rose de Berne (figures 6 et 7), même si les traitements agroforestiers donnent une production de bien meilleure qualité (9% de déchets en AG+ et 22% en AG-, contre 43% en MO), le milieu ouvert permet une production nettement plus abondante, tant en brute qu'en commercialisable.

Avec des résultats très partiels, Striped German (figures 8 et 9) montre une meilleure production brute en milieu ouvert, mais avec 85% de déchets, sa production commercialisable est très faible. En agroforesterie, la meilleure qualité (54% de déchets) procure une production commercialisable plus importante. Pour les deux traitements, il n'y a aucun fruit dans les catégories I et Extra.

Au final, la tendance générale toutes variétés confondues montre une qualité toujours meilleure en agroforesterie, avec un moindre déclassement (déchets: AF+(20%)<AF-(35%)<MO(61%)). Sur le plan de la production commercialisable, l'effet est plus nuancé entre les différents traitements, chaque variété montrant un comportement particulier.

La période de production

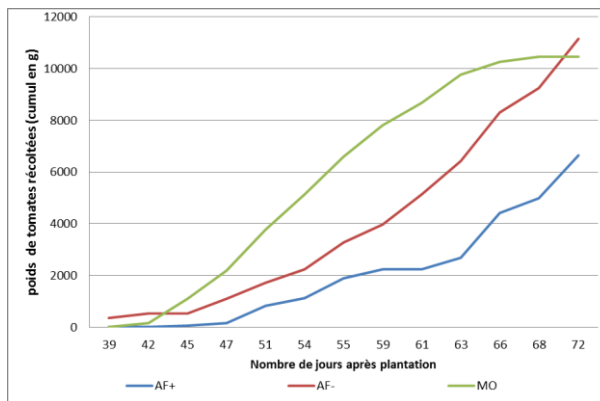


Figure 10 : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Marmande

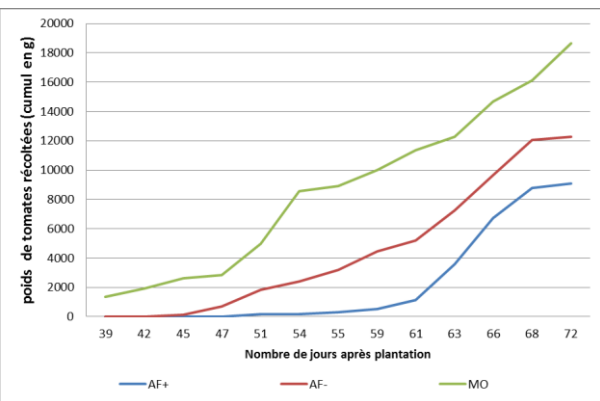


Figure 11 : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Noire de Crimée

Pour la variété Marmande (figure 10), les traitements MO et AF- débutent leur production aux alentours du 42^{ème} jour après plantation, tandis qu'il faut attendre le 47^{ème} jour en AF+. Après démarrage, le traitement MO a une production plus soutenue que AF-, ces deux traitements finissant par avoir le même niveau de production au 70^{ème} jour. Le milieu ouvert permet donc une production plus précoce mais de même niveau au final que l'agroforesterie basse densité, tandis que la parcelle agroforestière haute densité montre à la fois un retard et un moindre niveau de production.

Pour Noire de Crimée (figure 11), la production est nettement diminuée et retardée dans les traitements agroforestiers (démarrage avant le 39^{ème} jour en MO, au 45^{ème} en AF-, et au 55^{ème} en AF+), suivant un gradient proportionnel à la fermeture du milieu.

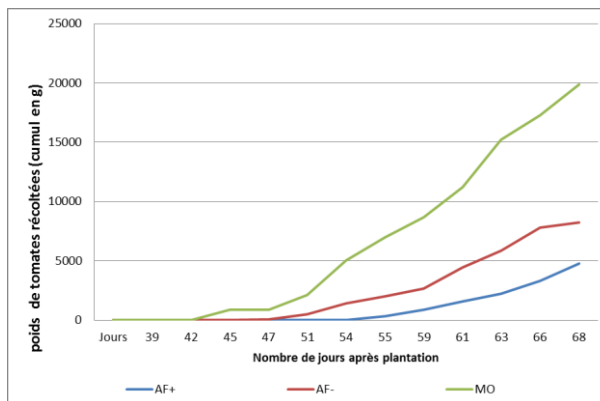


Figure 12 : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Rose de Berne

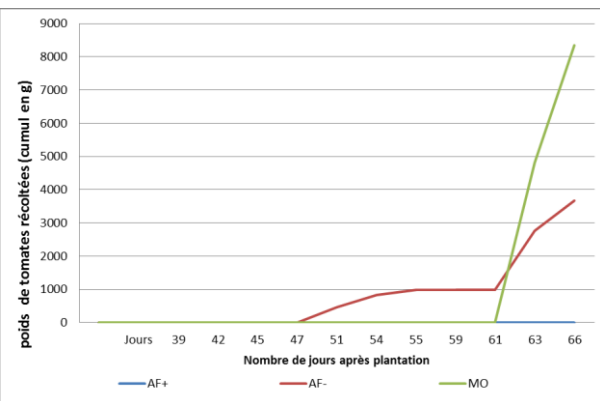


Figure 13 : évolution de la récolte (cumul en g) en fonction du temps et des traitements pour la variété Striped German

Pour Rose de Berne (figure 12), la production est nettement diminuée et très retardée dans les traitements agroforestiers, suivant là encore un gradient proportionnel à la fermeture du milieu. La production commence au 42^{ème} jour en MO, au 47^{ème} en AF- et au 54^{ème} en AF+.

Striped German (figure 13), fait exception en produisant dès le 47^{ème} jour en agroforesterie basse densité, alors qu'il faut attendre le 61^{ème} jour pour que la production commence en

milieu ouvert. La production en agroforesterie haute densité reste nulle jusqu'à la fin des mesures.

La qualité physico-chimique

Les données ne sont pas ici exhaustives : les mesures n'ont été faites que sur deux variétés (une seule pour la teneur en matière sèche) pour des raisons de moyens disponibles d'une part, et pour ne pas réaliser trop de prélèvements pour mesures destructrices sur la récolte commercialisable de l'agriculteur d'autre part. Le choix des variétés s'est fait en fonction de leur disponibilité au moment des mesures. Les écart-types n'ont pas pu être calculés pour le taux de matières solubles, car les mesures ont été réalisées sur un mélange des jus des cinq fruits prélevés.

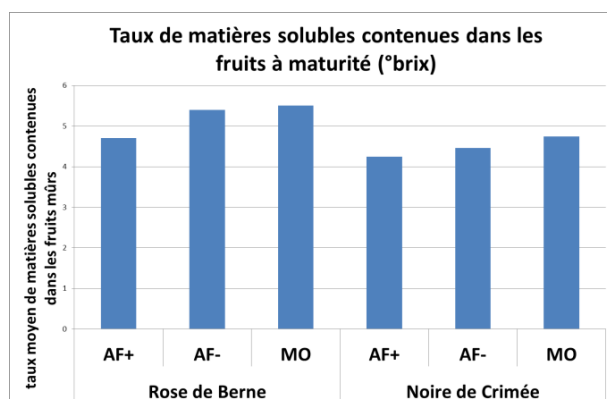
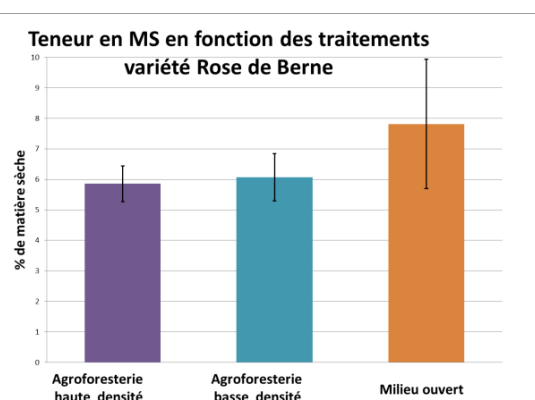
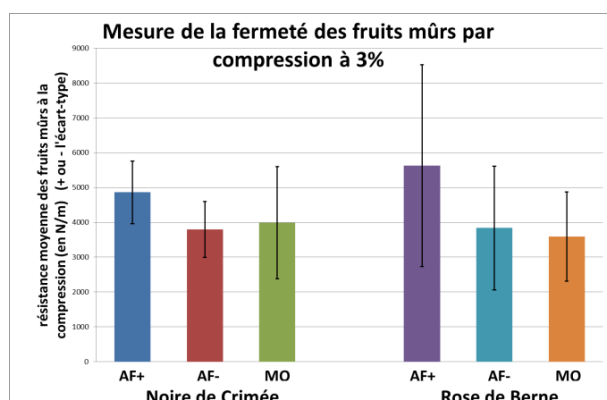


Figure 14 : éléments d'évaluation de la qualité physico-chimique de la tomate pour 2 variétés (Rose de Berne et Noire de Crimée) et 3 traitements (agroforesterie haute et basse densité, milieu ouvert).



Pour les deux variétés, le taux de matières solubles augmente avec l'ouverture du système, tandis que la fermeté des fruits diminue. La teneur en matière sèche des tomates est plus élevée en milieu ouvert qu'en agroforesterie.

Transposés en qualité organoleptique, ces résultats sont systématiquement à l'avantage des milieux les plus ouverts

b- Affinage par des données explicatives

La typologie du déclassement

Pour chaque couple variété/traitement, le total des défauts peut dépasser 100%, un fruit pouvant cumuler plusieurs défauts

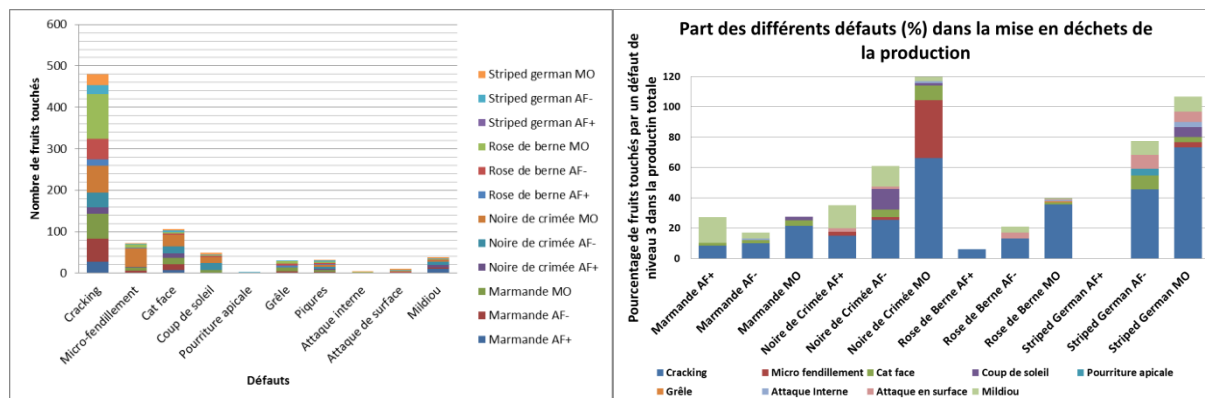


Figure 15 : responsabilité des types de défauts dans le déclassement des fruits.

Figure 16 : part des différents défauts (en %) dans la mise en déchets de la production

Comme le montre la figure 15, toutes variétés et tous traitements confondus, le cracking modéré est le défaut responsable du plus grand nombre de déclassements (61%). On trouve ensuite le cat face (13%), les microfendillements (9%), les coups de soleil (6%), le mildiou (3%), les piqûres (1%) et la grêle (1%).

Sur la figure 16, on voit que pour les défauts de niveau 3, tous traitements confondus, les variétés Marmande (22%) et Rose de Berne (23%) en présentent moins que Noire de Crimée (72%) et Striped German (92%). Pour l'ensemble des variétés étudiées, le cracking apparaît comme le défaut le plus déclassant avec 13% pour Marmande, 35% pour Noire de Crimée, 18% pour Rose de Berne et 59% pour la variété Striped German. La proportion de cracking déclassant augmente avec l'ouverture du milieu (10% en AF+, 23% en AF- et 49% en MO). Pour les autres défauts déclassants, on peut noter que Noire de Crimée en milieu ouvert semble particulièrement sensible au micro fendillement (38%). Enfin, les attaques de mildiou semblent plus importantes en agroforesterie (11% en AF+, 8% en AF- et 4% en MO).

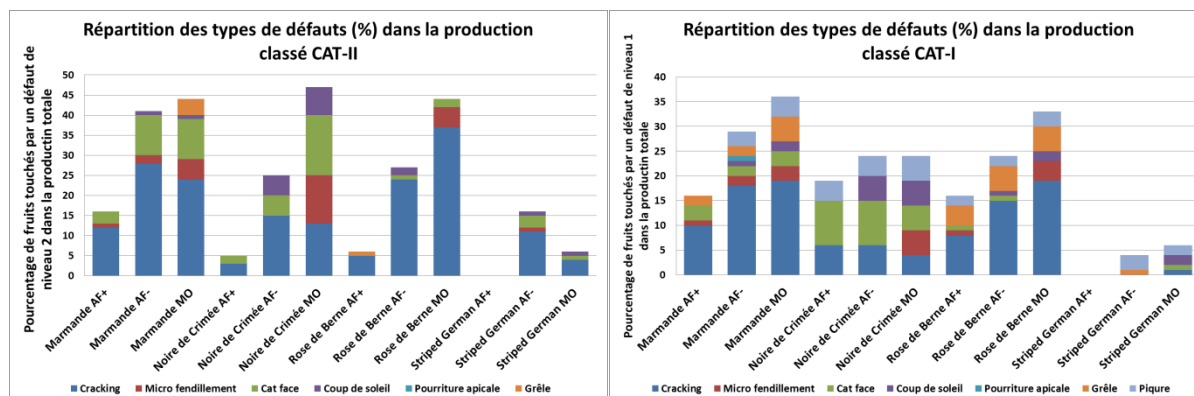


Figure 17 : répartition des types de défauts (en %) dans la production classée en catégorie II

Figure 18 : répartition des types de défauts (en %) dans la production classée en catégorie I

Pour la mise en catégorie II (figure 17), on retrouve les mêmes tendances entre variétés et entre traitements que pour la mise en déchets, à l'exception du mildiou qui est absent. On peut remarquer une certaine importance du cat face, dans les milieux les plus ouverts (2% en AF+, 5% en AF- et 7% en MO).

Pour la catégorie I (figure 18), c'est encore le cracking qui est la cause principale du déclassement ; le cat face est important sur Noire de Crimée (8%) ; Rose de Berne (5%) et

dans une moindre mesure Marmande (3%) s'avèrent plus sensibles à la grêle, tandis que Noire de Crimée (4%) est plus touchée par les piqures.

Apparition de la première grappe

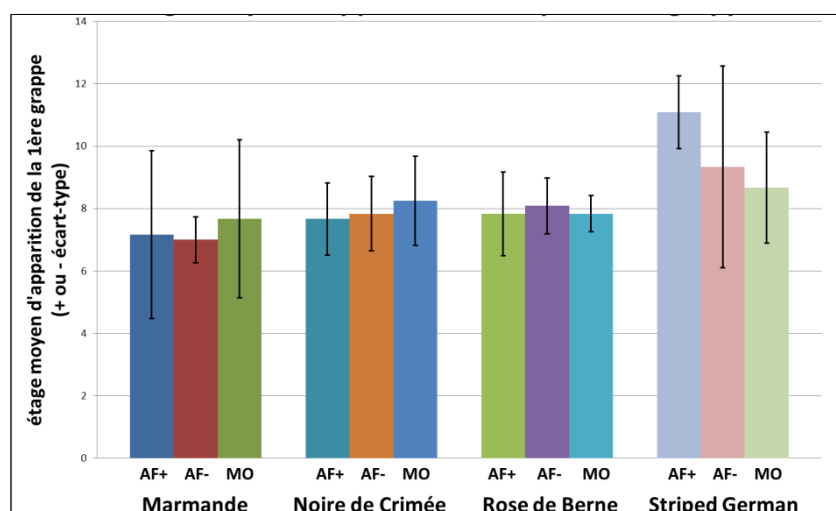
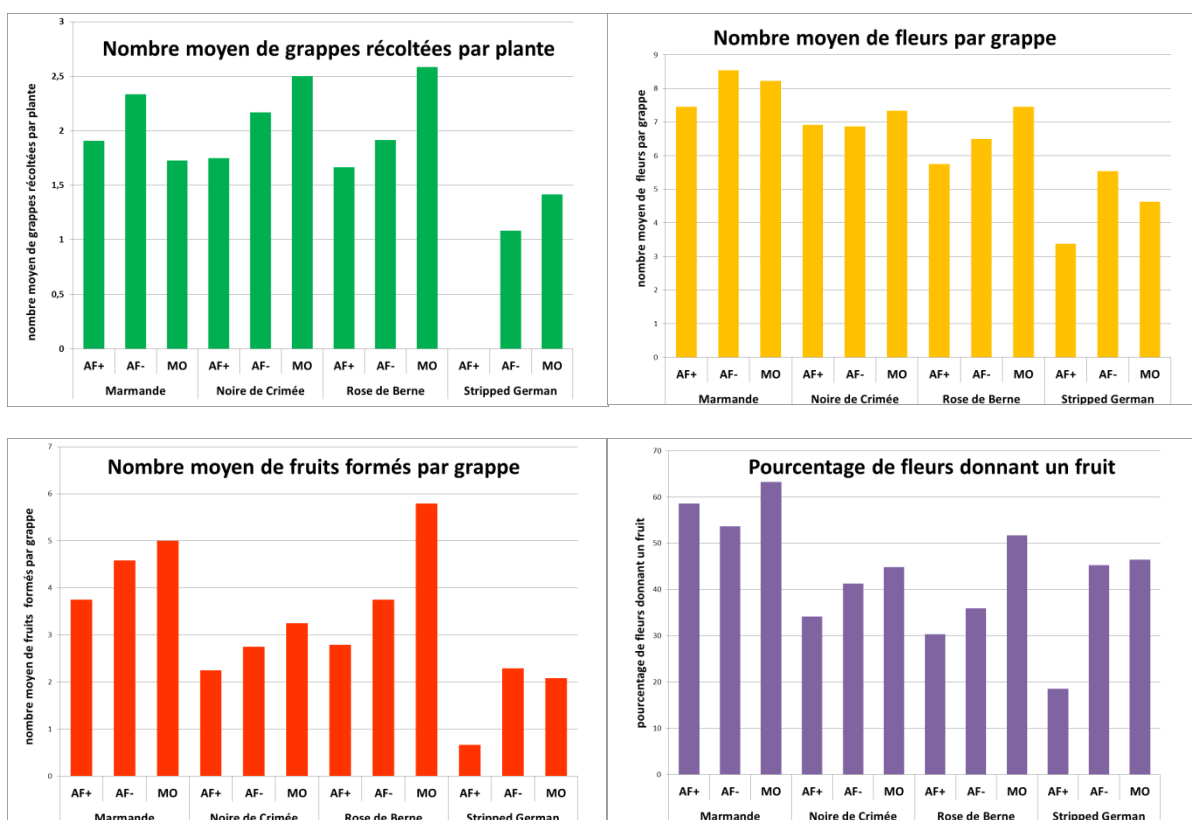


Figure 19 : étage moyen d'apparition de la première grappe (et écart-type) pour 4 variétés et 3 traitements

Pour Marmande, Noire de Crimée et Rose de Berne, l'étage moyen d'apparition de la première grappe est peu variable : entre 7 et 8,3 avec très peu de différences entre les traitements. Striped German montre une première grappe située à un étage d'autant plus bas que le milieu est plus ouvert (11,1 en AF+, 9,3 en AF-, 8,7 en MO).

Les composantes de rendement



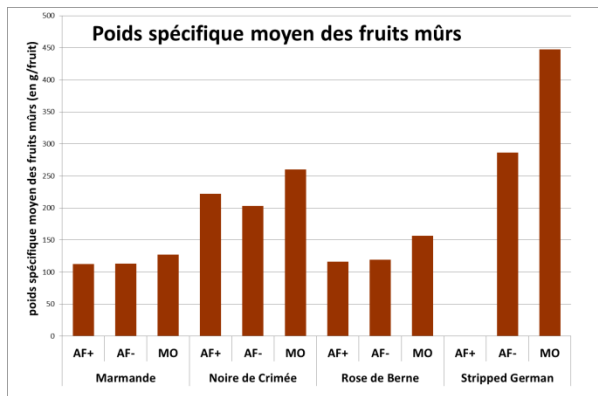


Figure 20 : niveau moyen des composantes du rendement de la tomate, pour 3 traitements et 4 variétés

Le nombre de grappes récoltées par plante semble proche d'une variété à l'autre (de 1,7 à 2,6), sauf pour Striped German pour laquelle il apparaît plus faible (de 1,1 à 1,4). Pour toutes les variétés, sauf Marmande pour laquelle c'est moins net, le nombre de grappes récoltées augmente avec l'ouverture du système (en moyenne toutes variétés confondues : 1,3 en AF+, 1,9 en AF-, 2,1 en MO).

Pour le nombre de fleurs par grappe, la situation est contrastée entre les variétés. En tendance, ce nombre augmente avec l'ouverture du système (en moyenne toutes variétés confondues : 5,9 en AF+ ; 6,9 en AF- ; 6,9 en MO). Cette augmentation est très nette chez Rose de Berne (5,8 en AF+ ; 6,5 en AF- ; 7,5 en MO), tandis que la différence apparaît beaucoup moins marquée pour Marmande (7,5 en AF+ ; 8,5 en AF- ; 8,2 en MO), Noire de Crimée (6,9 en AF+ ; 6,9 en AF- ; 7,3 en MO) et Striped German (3,4 en AF+ ; 5,5 en AF- ; 4,6 en MO). Le traitement agroforesterie haute densité produit toujours le plus petit nombre de fleurs.

Pour toutes les variétés, le pourcentage de fleurs donnant fruit augmente régulièrement avec l'ouverture du système, même si cette augmentation est moins évidente chez Marmande. On peut remarquer que ce taux reste faible, presque toujours inférieur à 50% ; toutes variétés confondues, il est de 35% en AF+, 44% en AF- et 52% en MO.

Le nombre de fruits formés par grappe est d'autant plus élevé que la parcelle est plus ensoleillée pour toutes les variétés sauf Striped German pour laquelle c'est un peu moins net. Toutes variétés confondues, le nombre moyen de fruits formés par grappe est de 2,3 en AF+, 3,3 en AF- et 4 en MO.

Le poids spécifique des fruits à maturité apparaît surtout comme étant une caractéristique variétale : Marmande a les plus petits fruits (moins de 120 g) ; Rose de Berne fait à peine mieux (130 g), tandis que Noire de Crimée (228 g) et surtout Striped German (367 g) ont des fruits beaucoup plus lourds. L'impact des systèmes agroforestiers sur le poids des fruits est moins évident que pour d'autres composantes, même si on ne trouve pas les fruits les plus gros dans les systèmes les plus fermés.

2- Variations intra-parcellaires

L'hétérogénéité des parcelles en termes de lumière

	SG	RB	NC	M	moy	σ
traitement AF+	17	16	41	51	31	17,4
	36	28	58	57	45	15,3
	43	38	61	60	50	11,3
	46	57	41	62	52	9,8
	56	56	49	54	54	3,4
	43	51	32	36	41	8,1
	27	44	26	36	33	8,2
	29	29	28	34	30	2,5
	16	27	22	28	23	5,6
	15	27	12	25	20	7,4
	16	18	20	18	18	1,5
	12	17	24	15	17	5,0
moy	30	34	35	40	34	15,4
σ	14,9	14,8	15,4	16,6		

	SG	RB	NC	M	moy	σ
traitement AF-	24	25	33	31	28	4,5
	36	24	38	36	33	6,1
	20	30	24	40	28	8,8
	39	36	55	46	44	8,3
	49	40	59	57	51	8,7
	44	55	59	64	55	8,2
	62	60	66	64	63	2,4
	64	50	67	62	61	7,5
	56	67	48	67	60	9,6
	73	71	67	60	68	5,9
	70	55	64	53	61	7,9
	59	72	63	64	64	5,5
moy	50	49	53	54	51	15,2
σ	17,2	17,4	14,7	12,2		

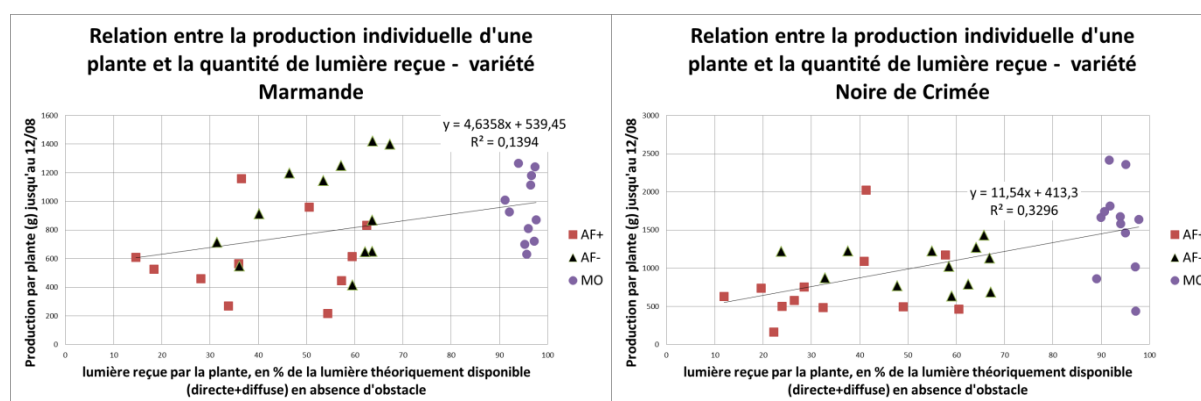
	SG	RB	NC	M	moy	σ
traitement MO	84	97	92	98	93	6,2
	95	95	98	96	96	1,3
	92	68	94	95	87	12,8
	88	96	89	97	93	4,6
	95	89	95	96	94	3,3
	85	81	95	94	89	6,9
	85	92	90	97	91	4,9
	92	86	97	97	93	5,4
	94	74	94	91	88	9,6
	84	96	91	97	92	5,9
	94	87	97	96	94	4,5
	94	80	92	92	89	6,3
moy	90	87	94	96	92	6,3
σ	4,53	9,31	2,96	2,13		

Figure 21 : carte des niveaux de lumière (en pourcentage de la lumière théoriquement disponible en absence d'obstacle) reçue par chaque plante du dispositif expérimental. Les moyennes et écart-types ont été calculés pour chaque ligne (nord-sud et est-ouest), ainsi que pour la totalité du traitement (en caractère gras en bas à droite).

On voit nettement que l'éclairement moyen varie de façon logique en fonction du traitement : AF+ (34%)<AF-(51%)<MO(92%). La variabilité de l'éclairement (évaluée par l'écart-type) varie en sens inverse du niveau d'éclairement : AF+ (15,4%)>AF-(15,2%)>MO (6,3%).

Sur le traitement AF+, on voit deux gradients très nets : l'un orienté nord-sud (variations de 17% à 54%), l'autre ouest-est (de 30% à 40%). Sur le traitement AF-, seul le gradient nord-sud existe. Aucun gradient n'est visible dans le traitement MO.

L'hétérogénéité lumineuse et le rendement



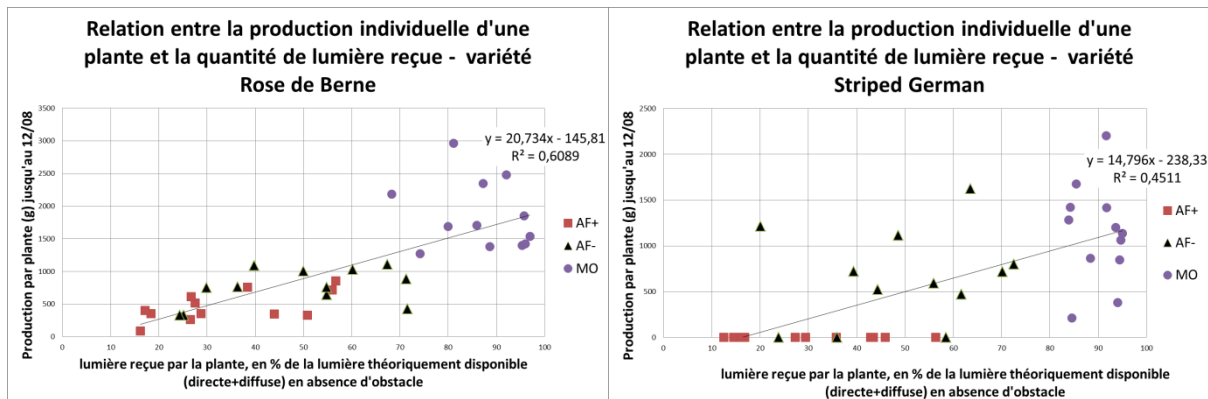


Figure 22 : influence du niveau d'éclairement sur la production individuelle des pieds de tomate.

Des tests de Student réalisés avec le logiciel « R » montrent que les pentes des droites de régression de la figure 22 sont toutes significatives au seuil de 5% : valeurs p de 0,03 pour Marmande, $25 \cdot 10^{-5}$ pour Noire de Crimée, $2 \cdot 10^{-8}$ pour Rose de Berne et $7 \cdot 10^{-6}$ pour Striped German.

Nous observons donc un effet significativement positif de l'éclairement sur le rendement. Les coefficients de corrélation sont en revanche très faibles sauf pour rose de Berne, ce qui montre que d'autres facteurs ont aussi considérablement influencé le rendement.

VII- Discussion

1- Limites de l'expérimentation

Les conditions météorologiques

D'après les données du poste CNRS de St Christol lès Alès (voir en annexe V), l'année 2014 jusqu'à fin août a été atypique :

- Un hiver et un printemps très doux (écart de la température 2014 à la moyenne sur 65 ans = $+3^{\circ}\text{C}$),
- Des mois de juillet et août plutôt frais (écart de la température 2014 à la moyenne sur 65 ans = $-0,2^{\circ}\text{C}$ et $-0,4^{\circ}\text{C}$),
- Seulement 7 jours présentant des températures extrêmes caractéristiques du climat méditerranéen ($>35^{\circ}\text{C}$), mais une période caniculaire notable du 8 au 14 juin,
- Des précipitations anormalement importantes au mois de juillet (écart de 2014 à la moyenne sur 65 ans = $+51 \text{ mm}$),
- Un ensoleillement réduit durant l'été (70 à 80% de la normale pour juin-juillet-août dans le Gard selon Météo-France).

En conséquence, l'année 2014 ne nous permettra de tester nos hypothèses que de façon partielle, notre problématique portant sur une étude en climat méditerranéen dont cette année n'est pas parfaitement représentative.

Les variables explicatives

La lumière n'est pas la seule variable qui influence la croissance et le développement des plants de tomates : on ne pourra donc pas expliquer nos résultats uniquement vis-à-vis des traitements et de la lumière.

Comme le suggère notre synthèse bibliographique, des mesures de la température de l'air et du sol, de l'hygrométrie ainsi que du potentiel hydrique et de la conductivité électrique du sol (couplée à une analyse chimique) auraient pu nous permettre une analyse plus fine.

Le plan expérimental

Notre étude exploratoire a dû se greffer cette année sur le schéma de production mis en place par Denis Florès, ce qui ne nous a pas permis de réaliser un véritable plan expérimental. Nous avons dû nous adapter à l'existant, sans pouvoir mettre en place de répétitions. Ainsi, les résultats présentés devront être interprétés avec la plus grande précaution et l'analyse ne pourra porter que sur des tendances. En revanche l'observation de 4 variétés pour chaque traitement peut apporter une certaine puissance à l'analyse des résultats afin de confirmer ou relativiser les tendances observées sur telle ou telle variété.

La période de notation

Nous l'avons déjà précisé mais il est bon de le rappeler : la tomate de plein air se cultive en climat méditerranéen jusqu'à fin octobre. Ici, les observations se sont arrêtées au 12 août. Les observations ne portant pas sur l'ensemble de la période de production, il nous sera donc très difficile de tirer des conclusions quant au potentiel global de production des systèmes étudiés.

2- Interprétation des résultats obtenus

La production

Contrairement à ce que disent les résultats de Ilic et al (2012), Kittas et al (2011), El-Abd et al (1994) et El-Gizawi et al (1992), l'ombrage n'a pas eu un effet positif sur le rendement de la tomate à Vézénobres en 2014. Plusieurs explications peuvent être avancées :

- Les conditions climatiques ont été peu favorables durant l'été 2014, notamment au niveau de l'éclairement,
- Les résultats cités plus haut ont été obtenus sous un climat méditerranéen beaucoup plus marqué que dans le Gard (latitudes inférieures, donc températures et ETP plus élevées, éclairement plus important...),
- Ces mêmes résultats ont été obtenus sous ombrage artificiel. Or, on peut penser que dans notre étude, des effets de compétition par les arbres aient pu intervenir en système agroforestier, pénalisant le rendement de la tomate dans ces conditions.

De Koning (1994), Fernandez-Muñoz et Cuartero (1991), Picken (1984), De Koning (2000), Adams(1) (2001), Van der Ploeg et Heuvelink (2005) suggèrent que des températures sub-optimales entraînent une chute du rendement, à cause d'un nombre de fruit réduit. Dans notre étude, nous semblons être dans ces conditions de températures sub-optimales, à cause notamment des conditions climatiques particulières de 2014 (manque d'ensoleillement et de chaleur, associés à de fortes précipitations), ce qui a pu désavantager la production agroforestière (microclimat moins chaud sous les arbres). Nous n'avons pas constaté la réduction du nombre de fleurs et de fruits observée en milieu ouvert par El Gizawi et al (1992), confirmée par Kittas et al (2011).

Nos résultats concernant les principaux désordres physiologiques sont plutôt en accord avec la littérature :

- Le taux de cracking sur les fruits récoltés est plus faible en agroforesterie, comme l'envisageaient El Gizawi et al (1992), Ilic et al (2012), Kittas et al (2011). Cela atténue l'impact négatif de l'agroforesterie sur le rendement brut si l'on prend en compte la valeur économique de la production.

- Le traitement agroforestier a augmenté la proportion de cat face léger, comme l'annonçait El Gizawi (1992). Cependant, ces défauts classent majoritairement la production dans la catégorie I et les fruits restent commercialisables. La tendance semble s'inverser pour les fruits présentant un cat face plus grave (catégorie II ou déchets), que l'on retrouve majoritairement en milieu ouvert.
- L'effet bénéfique de l'ombrage sur la proportion de coups de soleil (El Gizawi et al (1992), Ilic et al (2012), Kittas et al (2011)) n'a pas été observé dans notre étude. On peut imaginer que cela est dû à l'ensoleillement particulièrement faible de 2014. Une autre hypothèse mérite cependant d'être soulevée : on remarque que le taux de fruits présentant des coups de soleil est nul en AF+ et plus important en AF- qu'en MO. Or, les résultats qui signalent un impact bénéfique de l'ombrage sur ce défaut ont été obtenus sous des filets, lesquels créent un ombrage très homogène. En agroforesterie, l'ombrage a la forme d'un maillage de taches d'ombre et de trous de lumière. Pour le traitement AF+, l'ombrage est dense et les trous de lumière peu importants. En revanche dans le cas du traitement AF-, l'arbre manquant laisse un trou béant exposant certains fruits directement aux radiations solaires aux heures les plus critiques de la journée, alors qu'ils étaient à l'ombre des arbres adjacents le matin. Les fruits ne se réchauffent pas de façon progressive et subissent un choc thermique brutal lorsqu'ils sont éclairés pour la première fois de la journée au midi solaire.

La précocité

On observe globalement dans notre étude un retard de production en agroforesterie, comme pouvaient l'indiquer les résultats de El Gizawy (1992) vis-à-vis de l'ombrage, ou Van der Ploeg et Heuvelink (2005) vis-à-vis de températures sub-optimales :

- Les variétés Marmande et Noire de Crimée montrent une dynamique de croissance similaire en fonction des traitements une fois la production démarrée,
- Rose de Berne cumule un retard au début de production et une dynamique de croissance affectée par les modalités agroforestières,
- Striped German n'a produit aucun fruit dans le traitement AF+ ; le début de production très précoce du traitement AF- comparé au traitement MO reste sans explication.

Il aurait été intéressant de décomposer la précocité de la production en distinguant d'abord la précocité de la floraison, puis le temps nécessaire à la nouaison, et enfin la durée de grossissement puis de maturation des fruits, pour approcher plus finement les mécanismes d'élaboration du rendement. Dans un souci de concision, ces éléments n'ont pas été rapportés ici.

La qualité physico-chimique

L'importance des écart-types au regard des faibles variations mesurées doit nous conduire à considérer nos résultats avec prudence. Le taux de matières solubles diminue légèrement de MO à AF+ (-13%), AF- étant intermédiaire. Selon les résultats de la littérature, nous aurions pu nous attendre à des différences plus marquées. Ainsi, Riga et al (2008) observent une baisse de 35% du taux de sucre suivant une baisse de quelques degrés seulement. El Gizawy et al (1992), enregistrent une baisse régulière du taux de matières solubles avec l'augmentation de l'ombrage (-32% entre 0% et 65% d'ombre)

Pour les deux variétés évaluées, la fermeté des fruits mûrs dans notre étude semble nettement plus élevée pour le traitement AF+ (5247 N/m), les traitements AF- (3818 N/m) et MO (3794 N/m) ne présentant pas de grosse différence entre eux. Ce résultat est à l'inverse des résultats de Riga et al (2008), qui constataient une fermeté croissante en fonction de la température et du pourcentage de lumière photosynthétiquement active.

Comme nous pouvions nous y attendre d'après De Koning (1994) et Riga et al (2008), le taux de matière sèche est plus important en MO (7,9%) qu'en AF+ (5,9%) et AF- (6,1%) qui présentent des taux équivalents.

Van der Ploeg et Heuvelink (2005) expliquent que l'appréciation des fruits par les consommateurs va croissante en fonction des conditions de température dans lesquels les plantes ont été cultivées, le facteur déterminant étant la sensation de sucré. Nous n'avons pas fait de test de dégustation dans notre étude, mais l'ensemble des résultats que nous avons obtenu (fermeté, compression, matières solubles, matière sèche) semblent confirmer ces résultats, si l'on considère que lumière et température varient dans le même sens.

L'impact de la lumière

Comme le suggéraient Jose et al (2004), Reynolds et al (2007) ou Benavides et al (2009), nous obtenons des niveaux de lumière inférieurs en agroforesterie. Gillespie et al (2000) parlent d'une hétérogénéité selon deux gradients, nord sud et est-ouest. Nous avons fait les mêmes constats dans notre étude.

Nous observons un effet significativement positif de l'éclairement sur le rendement. En revanche les faibles coefficients de corrélation (sauf pour rose de Berne) nous laissent penser que d'autres facteurs sont intervenus également. On peut penser à la température, l'humidité ou la compétition racinaire avec les arbres. Constatant qu'à niveau d'éclairement identique, les traitements AF- produisent en tendance plus que les traitements AF+, la compétition arbres-tomates semble une hypothèse pertinente.

Dans notre étude, l'éclairement a été estimé par l'analyse des trous de lumière. Cette méthode ne mesure pas la lumière effectivement disponible pour la culture intercalaire mais estime plutôt un potentiel d'exposition à la lumière photosynthétiquement active. Cette estimation devrait être complétée par des mesures directes à l'aide d'un luxmètre ; cela semble particulièrement important lors de périodes à forte nébulosité, comme cela s'est produit en 2014.

De plus, nous avons estimé l'éclairement à partir de photographies qui ont été prises au niveau de la deuxième grappe, en dessous donc de la canopée de la culture de tomate. Le logiciel GLA analysant les trous de lumière sur photographie, le moindre obstacle aura une influence sur le résultat de l'analyse. Ainsi, une feuille de tomate qui aura une influence réelle mineure sur l'ombrage des fruits pourra modifier fortement le résultat de l'analyse par le logiciel si elle apparaît sur l'image. Même si nous avons dévié les feuilles les plus gênantes (placées juste au-dessus de l'objectif) lors de la prise de vue, il reste très difficile d'obtenir un résultat sans biais en faisant des prises de vue en dessous de la canopée de la culture intercalaire.

Enfin, nos images ont été prises à date unique et ne rendent donc pas compte de l'évolution de la densité de la canopée du débourrement à la chute des feuilles. Dans notre étude, les arbres ayant fini de débourrer début juin, ils ont peu diminué la lumière reçue par les tomates en début de culture.

Pour finir, la production de la tomate étant multi-étagée (plusieurs grappes à des hauteurs différentes), il est difficile de rendre compte de la lumière effectivement reçue par chaque fruit. Gautier et al (2004) précisent que l'exposition du fruit à la lumière est capitale dans les processus de maturité, l'exposition de la plante passant au second plan. Mc Collum (1954) souligne le même phénomène concernant le taux de caroténoïde et la couleur du fruit. Si l'on veut comprendre au mieux les phénomènes observés, il est donc nécessaire de mesurer la lumière réellement disponible au niveau de chaque étage de production (grappe).

L'effet variétal

Comme le suggéraient les auteurs, nous avons observé une variation des résultats en fonction des variétés :

- Striped German et Rose de Berne semblent particulièrement pénalisées par les traitements agroforestiers,
- Noire de Crimée présente une baisse de rendement plus limitée à la fermeture du milieu,
- Marmande montre un rendement équivalent en milieu ouvert et semi fermé, et décroche en milieu fermé.

Ces différences entre les variétés peuvent être relativisées si l'on considère la position des parcelles élémentaires par rapport aux lignes d'arbres, comme l'ont décrit Gillespie et al (2000). L'effet bordure a pu également intervenir.

3- Les principaux enseignements méthodologiques du protocole exploratoire

Nous n'avons pas pris en compte l'hétérogénéité du milieu de manière suffisamment précise et exhaustive. Nous n'avons d'abord travaillé que sur le niveau aérien, alors que la connaissance des hétérogénéités souterraines nous aurait été également très utile. Il aurait donc fallu mieux caractériser cette hétérogénéité dans les trois dimensions :

- horizontalement sur les axes nord-sud et est-ouest, mais aussi par rapport à la distance aux lignes d'arbres,
- verticalement au niveau de chaque grappe dans le cas de la tomate, et à différentes profondeurs du sol.

En évaluant seulement la quantité de lumière reçue par chaque plante, nous n'avons pas pris en compte tous les facteurs qui auraient pu expliquer nos résultats. Il aurait été nécessaire de pouvoir mesurer :

- les principaux facteurs microclimatiques et leurs variations dans l'espace et dans le temps : lumière, températures, humidités, ETP, etc...
- les principaux paramètres édaphiques et leurs variations dans l'espace et dans le temps, pour mieux appréhender notamment la réalité de la compétition souterraine arbres-culture : eau disponible, éléments nutritifs assimilables, température, oxygénation, pH, etc.

L'absence de répétitions dans les traitements et les faibles effectifs de plantes dans nos unités expérimentales ne nous ont pas permis de mesurer correctement la validité statistique de nos résultats. Il aurait donc été nécessaire de multiplier les répétitions et d'augmenter nos effectifs pour avoir des résultats qui ne soient pas seulement des tendances

Le choix de différentes échelles d'observation (le système, la parcelle intercalaire, la plante, la grappe, le fruit) nous apparaît pertinent, car chacune répond à des objectifs particuliers, depuis la recherche de références technico-économique pour répondre aux préoccupations quotidiennes des agriculteurs, jusqu'à la compréhension fine des mécanismes agronomiques mis en jeu. Pour chacune de ces échelles, le choix d'indicateurs différents en fonction des objectifs nous a lui aussi semblé pertinent.

L'absence de données météorologiques obtenues in situ nous a empêchés de prendre en compte correctement les conditions locales, ce qui a pénalisé notre interprétation des résultats obtenus.

Bien sûr, l'amélioration de la précision et de l'exhaustivité de notre étude se serait traduite par une multiplication du nombre de méthodes et d'instruments à utiliser, de mesures et

d'observations à réaliser, ce qui était impossible cette année, pour des raisons déjà évoquées.

VIII- Perspectives : proposition de pistes pour la poursuite de l'étude

Ces pistes, qui seront proposées à l'ensemble des partenaires du projet Arbratatouille, devront être discutées et retravaillées pour mettre en place définitivement le projet pour 2015 et 2016.

1- Une nécessaire complémentarité des sites et des niveaux d'études

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la suite du projet devrait se dérouler sur plusieurs sites : un site qualifié de principal (ou pilote) et plusieurs autres sites satellites (ou secondaires).

Les sites satellites devraient intégrer des observations légères, tant en terme de temps que de technicité nécessaires pour les mesures, afin qu'elles soient réalisables en majorité par les agriculteurs. Le site pilote disposant, quant à lui, de personnel dédié, il pourrait accueillir des expérimentations plus poussées.

Nous allons donc faire nos propositions dans ce sens.

2- Les propositions pour le site principal

Sur le site principal, nous devrions disposer de 7500 m² de planches cultivables en agroforesterie et autant en milieu ouvert sur une parcelle adjacente. Il y aurait 15 planches de 300 m² (30m x 10m), leur taille et leur disposition étant déterminées par la disposition des arbres (10m x 10m) (cf plan en annexe III). Comme pour notre protocole exploratoire, ces surfaces seraient mises à notre disposition par Denis Florès sur le Domaine de Roumassouze.

Suite à notre étude préliminaire de 2014 et après analyse des résultats, nous sommes en mesure de proposer les pistes suivantes pour l'élaboration d'un plan expérimental.

a- Le matériel végétal

Les espèces

La surface disponible pourrait porter une expérimentation sur 4 espèces, afin d'avoir une vue la plus large possible quant au comportement des grands types de légumes n'ayant pas les mêmes enjeux pédoclimatiques. Ainsi, le choix des espèces à expérimenter pourrait être :

- un légume racine qui fait bien ressortir l'effet de la température du sol,
- un légume feuilles qui fait bien ressortir l'effet de la lumière,
- un légume fruit qui traduit bien les effets conjugués de la lumière et de la température de l'air,
- un légume d'industrie présentant plus de contraintes liées à la maniabilité des engins et à l'hétérogénéité de la production.

Les variétés

Les résultats de notre étude montrent un effet variétal assez marqué, notamment pour la tolérance à l'ombre, la gamme de températures optimales et critiques, et la précocité. Nous avons noté un écart-type important dans nos résultats, peut-être dû au fait de travailler avec des variétés populations connues pour leur hétérogénéité et leur instabilité.

Pour la suite du projet, il semble essentiel de travailler le facteur variétal en intégrant des variétés plus homogènes et plus stables génétiquement comme des hybrides ou certaines

variétés populations (Marmande, Rose de berne par exemple pour la tomate), et en évaluant la diversité. Une observation variétale à plusieurs niveaux semble nécessaire :

- Un premier niveau, par une revue bibliographique, permettrait de dégager des variétés présentant des caractères a priori adaptés aux conditions agroforestières. Par exemple Volcan (1989) fait état d'une liste de variétés commerciales de tomates adaptées à des conditions de lumière faible ; Catala et Costa (1990) démontrent une possible amélioration de la culture de la tomate sous des températures sub-optimales grâce au facteur variétal.
- Un deuxième niveau consisterait en un screening sur le terrain des variétés repérées au préalable. L'observation se ferait durant 2 ou 3 ans, sur quelques critères discriminants avec un faible nombre d'individus par variété (5 à 10), pour éliminer sans doute un très grand nombre de variétés (80 à 90%). Comme l'hétérogénéité des parcelles agroforestières rendrait extrêmement difficile l'évaluation objective des indicateurs sur un faible groupe d'individus, on pourrait utiliser des filets photosélectifs de couleur verte qui permettent de se rapprocher des conditions microclimatiques agroforestières, mais de façon beaucoup plus homogène.
- Un troisième niveau poursuivrait l'évaluation des quelques variétés retenues à plus grande échelle (augmentation de la taille des parcelles élémentaires et du nombre d'indicateurs discriminants).
- Un quatrième et dernier niveau, par une évaluation multisite des variétés, permettrait de confronter les performances observées sur le site principal à d'autres conditions pédoclimatiques.

b- Les modalités de traitement

Les deux principales modalités seraient l'agroforesterie et le milieu ouvert.

L'étude de 2014 semble montrer une différence de réaction des cultures en fonction de la densité d'arbre. Qu'en est-il de l'intensité de taille ? de la forme de l'arbre ? de la hauteur du houppier ? de l'espèce ? de l'âge des arbres ?

Plusieurs de ces questions ne pourront pas être travaillées sur le terrain d'étude de Vézénobres, car la réalité du terrain nous impose :

- une seule espèce : le noyer. Pourtant une deuxième parcelle disponible permettrait d'évaluer les cultures sous d'autres espèces plantées en mélanges (une quinzaine d'espèces comme le merisier, le murier blanc, le tilleul, le cormier, le noyer commun, le poirier par exemple.). Cependant, la mise en culture de cette parcelle serait compliquée : le terrain est en friche à l'heure actuelle, les arbres peu entretenus et le réseau d'irrigation ne l'atteint pas. Il existe une troisième parcelle, plantée en fruitier, mais trop jeunes pour en évaluer l'impact sur les cultures maraîchères. Elle ne sera exploitable que d'ici quelques années.
- une densité et une disposition des arbres (100 arbres/ha disposés en carrés de 10m x 10m). Denis FLORES serait disposé à éliminer certains arbres, ce qui nous permettrait de jouer sur la disposition et sur la densité.
- un âge fixé ; les noyers ainsi que les espèces de la partie « arboretum » (mélange d'espèces) ont été plantés en 1998.
- une hauteur de houppier fixée à 6 m. Là encore, Denis FLORES serait disposé à les remonter si nécessaire.
- une forme du houppier fixée également, éventuellement modulable également en cas de besoin.

Ainsi, Denis Flores serait disposé à adapter la taille des arbres aux besoins de l'expérimentation dans la mesure où cela n'aurait pas un impact trop important sur eux.

c- Les modalités d'itinéraire technique

Des éléments d'itinéraire technique pourraient venir directement moduler les effets observés plus haut.

On pourrait par exemple imaginer un effeuillage des pieds de tomates afin de réduire le temps nécessaire à leur maturation (Adams et al, 2002), l'application de glycinebétaine connue pour ses effets stimulants sur la photosynthèse et applicable sous forme d'extrait de betterave (Kanechi et al, 2013), l'utilisation de tunnels pour contrecarrer le retard en début de production, des actions de lutte efficaces contre le mildiou, dont les attaques sont accentuées en agroforesterie, une protection des fleurs contre les nuits fraîches de début de saison à l'aide de bougies, ou bien encore un travail du sol permettant d'aider à son réchauffement au printemps. Bien sûr, les surfaces disponibles ne nous permettraient pas d'évaluer tous ces éléments de manière indépendante.

Les résultats pourraient être présentés en fin de chaque campagne aux agriculteurs, techniciens et chercheurs du projet afin de remodeler les protocoles déjà essayés et/ou d'imaginer ensemble de nouvelles techniques à tester.

d- Les facteurs étudiés

Nous avons relevé des effets dus à :

Des facteurs climatiques : température (du sol, de l'air, de l'organe commercialisé), éclaircissement (mesure directe), hygrométrie (humidité relative, totale, point de rosée), vent (vitesse et direction), précipitation (volume, fréquence, intensité), la concurrence avec les arbres : hydrique, minérale, lumineuse, etc.

Tous ces facteurs sont répartis sur des gradients d'hétérogénéité liés à la disposition des arbres : il nous faudrait disposer d'un grand nombre d'appareils de mesure afin de localiser et de quantifier la valeur de ces gradients.

La mise en place d'une station météorologique sur site semblerait indispensable. La station météorologique de l'antenne du CNRS située à Saint Christol lès Alès (à 10 km du site de Vézénobres) qui nous a fourni les données disponibles en annexe V aurait pu nous servir de référence. Cependant, le climat méditerranéen à influence cévenole étant caractérisé par des épisodes d'orages très localisés, nous ne pouvons pas nous fier aux données récoltées même à de courtes distances, particulièrement pour les précipitations. Par exemple, les données fournies par Saint Christol pour 2014 ne font pas état des 120 mm relevés par le pluviomètre de Denis Florès en date du 2 août 2014.

e- Les variables à expliquer

Comme nous l'avons montré, et au vu de la hiérarchisation entre « suivi léger » et « suivi lourd » au sein du réseau de parcelles, il serait particulièrement intéressant dans le cadre de cette étude de poursuivre une évaluation à trois, voire quatre niveaux :

- Un premier niveau mesurant des résultats sur des indicateurs choisis en fonction de leur pertinence technique, économique ou environnementale par rapport aux enjeux de la région et des cultures concernées ; on pourrait par exemple quantifier le niveau de production et certains niveaux d'efficacité (volume d'eau/rendement, masse d'azote absorbé/rendement) à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation.
- Un deuxième niveau permettant d'expliquer du point de vue de l'élaboration du rendement les résultats du niveau primaire. Par exemple, en 2014, une observation plus fine nous a permis d'identifier la perte de fleurs entraînant une diminution du nombre de fruit comme principale responsable de la baisse de rendement de la tomate en agroforesterie

- Un troisième niveau permettant d'appréhender l'hétérogénéité de la parcelle grâce à des instruments de mesures rendant compte de la compétition et du microclimat. Ces éléments devraient être mis en relation avec les performances agronomiques des cultures intercalaires. Ceci nous permettrait de tirer des enseignements et des solutions. Par exemple, on peut imaginer que certaines espèces/variétés, plus exigeantes en terme de conditions lumineuses ne seraient intéressantes à cultiver qu'au milieu de l'inter-rang, tandis que d'autres plus tolérantes pourraient être réservées pour être cultivées contre les lignes d'arbres en conditions beaucoup plus ombragées.
- Un quatrième niveau pourrait même être envisagé, pour expliquer d'un point de vue physiologique les résultats des niveaux précédents.

Cette hiérarchisation des niveaux d'investigation permettrait d'organiser le réseau de parcelles en fonction des possibilités d'investissement financier et humain de chacune, et permettrait d'expliquer finement les niveaux de production récoltée en fonction des facteurs étudiés et des différents traitements. Ceci rendrait possible une orientation plus efficace des itinéraires techniques à mettre en place dans différentes situations.

f- Le dispositif

Lorsqu'on désire appréhender l'hétérogénéité en expérimentation, la méthode des transects est particulièrement adaptée à l'agroforesterie. Ainsi, Somarriba et al (2001) l'utilisent pour évaluer un système de caféier en agroforesterie et Huth et Poulton (2007) l'appliquent à l'étude de la consommation d'eau par les cultures et les arbres en systèmes de haies. Cette méthode consiste à placer des parcelles élémentaires à intervalles réguliers en suivant des gradients d'hétérogénéité connus ou supposés.

Les gradients d'hétérogénéité en systèmes agroforestiers sont multi directionnels et multifactoriels. Ainsi, Gillespie et al. (2000) mettent en évidence un gradient d'hétérogénéité lumineuse nord-sud et est-ouest avec des conséquences sur la culture intercalaire de maïs quand Jose et al (2004) rapportent des gradients d'intensité de compétition hydrique circulaire, dégressifs en partant de la base des arbres.

Un maillage de parcelles élémentaire le plus fin possible dans l'allée cultivée serait un bon moyen de faire état de cette hétérogénéité. Mais, en raison de la lourdeur d'un tel dispositif, un bon compromis pourrait être la combinaison de la méthode du transect avec la méthode du maillage.

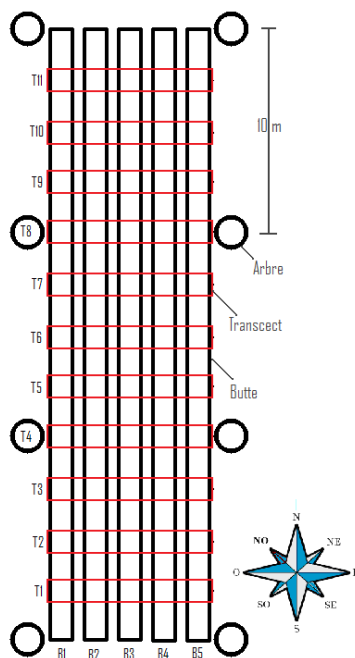


Figure 23 : proposition de dispositif d'échantillonnage pour prise en compte de l'hétérogénéité en parcelle agroforestière

Nous proposons donc suite à cette étude un dispositif intégrant des transects axés nord-sud et est-ouest. Les buttes seraient utilisées comme transects nord-sud ; elles seraient donc au nombre de cinq et d'une largeur d'environ 1 m. Des transects est-ouest, de 1m de largeur, perpendiculaires aux buttes seraient placés à d*0 (T4 et T8), d*1/4 (T1, T5 et T9), d*1/2 (T2,

T6 et T10), $d \times 3/4$ (T3, T7 et T11) et $d \times 1$, d étant la distance entre deux arbres, soit 10 m. A chaque croisement entre deux transects, une parcelle élémentaire de 1 m² serait matérialisée et comprendrait de 3 à 100 individus en fonction des espèces (tomate, pomme de terre, salade, carotte). On pourrait si nécessaire moduler ce dispositif en fonction des moyens humains et financiers disponibles, par exemple en retirant la moitié des parcelles élémentaires tout en gardant une disposition en quinconce, pour conserver un maillage homogène.

3- Les propositions pour les sites satellites

Sur les sites satellites, nous devons proposer des observations moins chronophages, basées sur la participation des agriculteurs et sur l'échange.

Tout d'abord, il faudrait caractériser les conditions pédoclimatiques auxquelles chaque site est soumis, afin d'avoir des éléments de comparaison qui permettraient d'élaborer des hypothèses sur les différences de résultats entre les exploitations.

La récolte des données de production par les agriculteurs, datant et pesant les récoltes brutes puis nettes, nous donneraient les volumes de production, les proportions de déchets ainsi que leur périodicité. Les agriculteurs passent beaucoup de temps sur les parcelles. Ainsi, relever leurs observations empiriques et l'interprétation qu'ils en font pourrait amener à des investigations plus poussées sur le site pilote et amener une dimension pratique et technique aux problèmes posés.

Le suivi et l'enregistrement des itinéraires techniques et des règles de décisions reflèteraient d'une certaine manière les problèmes techniques auxquels sont confrontés les agriculteurs et leurs façons d'y répondre, apportant des informations précieuses quant aux enjeux du maraîchage en agroforesterie. Une discussion avec l'agriculteur directement au champ pourrait permettre de l'amener à expliquer les choses différemment ou bien à donner des informations qu'il n'aurait pas données autour d'une table (Marc Tchamitchian, Directeur de l'UR Eco-développement, INRA Avignon, comm. perso.)

Au final, quelques visites par an pourraient suffire à récolter des données d'ordre indicatif sur des thématiques comme la phénologie, les composantes de rendement, la santé des plantes.

Conclusion

Notre étude avait pour objectif de proposer un protocole destiné à étudier les systèmes maraichers conduits en agroforesterie dans la zone méditerranéenne française, en s'appuyant en particulier sur une expérimentation exploratoire que nous avons menée au domaine de Roumassouze (Vézénobres, Gard).

En comparant le comportement de quatre variétés de tomate (Marmande, Noire de Crimée, Rose de Berne et Striped German) cultivées soit en systèmes agroforestiers (avec deux densités de plantation d'arbres), soit en milieu ouvert, nous avons d'abord pu montrer qu'il existait de réelles différences entre les systèmes :

- la production brute est d'autant plus importante que le système est plus ouvert ; un plus grand nombre de fruits est formé, principalement à cause d'un taux plus élevé de transformation des fleurs en fruits,
- la qualité commerciale des tomates est bien meilleure en système agroforestier, ce qui permet souvent une production commercialisable plus importante qu'en milieu ouvert, notamment en agroforesterie basse densité,
- la qualité gustative, évaluée à travers des paramètres physico-chimiques jugés pertinents (taux de sucre, taux de matière sèche et fermeté des fruits), est moins bonne en agroforesterie comparée au milieu ouvert,
- la production dans les systèmes agroforestiers est plus tardive qu'en milieu ouvert,
- il existe une relation significative entre les niveaux de lumière reçus par les plantes et leur productivité, même si nos résultats montrent que de nombreux autres facteurs jouent aussi de façon importante sur le rendement.

Sur le plan méthodologique, nous avons montré :

- l'importance de prendre en compte l'hétérogénéité intra-parcellaire dans l'évaluation spécifique des systèmes agroforestiers,
- la nécessité de mieux connaître les différences de comportement entre espèces et entre variétés dans ces systèmes agroforestiers,
- l'importance de disposer localement et micro-localement de mesures précises des principales variables climatiques et édaphiques,
- la nécessité de hiérarchiser les sites expérimentaux en fonction de la « lourdeur » des protocoles à mettre en place, depuis la simple récolte des données de la production pour les sites les plus « légers », jusqu'à la mise en place d'un protocole complexe permettant d'identifier des mécanismes explicatifs plus fins.

Nous avons enfin montré que les résultats obtenus dans les différents systèmes testés pouvaient dépendre considérablement des conditions climatiques de l'année. A cet égard, 2014 n'a pas été très représentative d'un climat méditerranéen typique.

A l'issue de ce travail exploratoire, nous avons pu proposer des pistes pour la suite du projet, concernant notamment l'organisation en réseau (un site principal et plusieurs sites secondaires), et plus spécifiquement pour le site principal, l'amélioration des plans d'expérimentation (prenant mieux en compte les hétérogénéités et les différences de comportement entre espèces et variétés), le choix des indicateurs de performance ou d'état (et de leurs méthodes d'évaluation), et les différents traitements à comparer. La mise en place de ces protocoles devrait permettre de proposer dès la campagne 2016 les toutes premières références utilisables par les agriculteurs.

Bibliographie

- Agence BIO (2011). Le secteur des fruits et légumes biologiques. In : Fruits et Légumes, pp.131-148
- Adams (1) S.R., Valdés V.M., Cave C.R.J., Fenlon J.S. (2001). The impact of changing light level and fruit load on the pattern of tomato yields. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76, pp.368-373.
- Adams (2) S.R., Cockshull K.E., Cave C.R.J. (2001). Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*, 88, pp.869-877.
- Adams S.R., Valdes V.M. (2002). The effect of periods of high temperature and manipulating fruit load on the pattern of tomato yields. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 77, 3, pp.461-466.
- Allison I., Bindoff N.L., Bindschadler R.A. et al. The Copenhagen Diagnosis –Updating the World on the Latest Climate Science-. Sydney (AU), Climate Change Research Centre (CCRC), 2009, 60 p. Rapport d'études ISBN : 978-0-9807316-0-6
- Bachelier B. Nouvelles attentes de la société. Paris (FR), COPEIAA (Conseil de Prospective Européenne et Internationale pour l'Agriculture et l'Alimentation, 2004. 35 p. Rapport d'études 12/04.
- Barten J.H.M., Scott J.W., Kedar N., Elkind Y. (1992). Low temperatures induce rough blossom-end Scarring of tomato fruit during early flower development. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 117, 2, pp.298-303.
- Battilani A., Bonetti G., Di Luccca G. (2003). Tomato root growth under different soil and climate conditions. *Acta Horticulturae*, 613, pp.47-55.
- Beltrando G., Chémery (1995). Dictionnaire du climat. Larousse ed., Paris (FR), 344 p.
- Benavides R., Douglas G.B., Osoro K. (2009). Silvopastoralism in New Zealand : review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *AgroforestrySystems*, 76, pp.327-350.
- Bon N., Lanciano E., Aubrée P., Herault C. (2010). Diversité des logiques de travail dans les exploitations maraîchères en circuits courts. In : 4èmes Journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD, Rennes, 9-10/12, 19 p.
- Brader et al (1988). Cultures protégées en climat méditerranéen. FAO éd., Rome (IT), 317 p.
- Brandle J.R, Hodges L., Zhou X.H. (2004). Windbreaks in North American Agricultural Systems. *AgroforestrySystems*, 61, pp.65-78.
- Bressoud F. (2009). Produire des tomates pour des circuits courts -Vers de nouveaux critères d'évaluation variétale- INRA-SAD ed., Avignon (FR), n°2009/29, 4 p.
- Brismontier, E.P. Nicot, Pitrat M. et al. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires -tome III. Analyse comparative de différents systèmes en cultures légumières-. Paris (FR), INRA, 2009, 63 p. Rapport d'études.
- Catala M.S., Costa J. (1990). Tomato fruit set under low temperatures. *Acta Horticulturae*, 287, pp.171-180.

- Cavard-Vibert P. (2013). Le comportement du consommateur des ses achats de fruits et de légumes -Lieux d'achats/Modes de vente-. CTIFL ed., Paris (FR), 94 p.
- Chambre d'Agriculture Languedoc Roussillon (2012). Les produits organiques utilisables en Languedoc Roussillon. 198 p.
- Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe (2009). NORME CEE-ONU FFV-36 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des tomates. Natins Unies ed., Genève (CH), 9 p.
- Coulon F., Dupraz C., Liagre F., Pointereau P. Etudes des pratiques agroforestières associant des arbres fruitiers de haute tige à des cultures ou des pâtures. Toulouse (FR), Association SOLAGRO-INRA, 2000. 203 p. Rapport d'études n°LC176/00.
- Cresti G., Gucci R., Zorini L.O., Polidori R., Vieri M. (2004). Modellitecnici ed economici per la riduzione dei costi di produzione nelle realtà olivicole della toscana. Bollettino Ufficiale della RegioneToscana, 25, del 23-06, 68 p.
- Dagnelie P. (2012). Principes d'expérimentation -Planification des expériences et analyse de leurs résultats. Les Presses Agronomiques de Gembloux (B) ed., 414 p.
- De Franchis L. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Valbonne (FR), Plan Bleu, 2003. 70 p. Rapport d'études ISBN : 2-912081-13-0.
- De Koning A.N.M. (2000). The effect of temperature, fruit load and salinity on development rate of tomato fruit. Acta Horticulturae, 519, pp.85-93.
- De Koning A.N.M. (1994). Development and dry matter distribution in glasshousetomato: a Quantitative Approach. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen (NL), 240 p.
- Dieleman J.A., Heuvelink E. (1992). Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. Journal of Horticultural Science, 67, pp.1-10.
- Dosba F., Amiot-Carlin M.J. (2005). Fruits et légumes: caractéristiques et principaux enjeux. INRA, Paris (FR), 114 p.
- Drinkwater L.E. (2002). Cropping systems research : reconsidering agricultural experimental approches. HortTechnology, 12, 3, pp. 355-361.
- Dupraz C., LiagreF. (2008). Agroforesterie –Des arbres et des cultures-.Editions France Agricole, (FR), 413 p.
- Eichhorn 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. (2006). Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. Agroforestry Systems, 67, pp.29–50
- El Abd M.T.G., Shanan S.A., Abou-Hadid A.F., Saleh M.M. (1994). Effect of different shading densities on growth and yield of tomato and cucumber plants. Egyptian Journal Of Horticulture. 21, 1, pp.65-80.
- El-Gizawi A.M., Gomaa H.M., El-Habbasha K.M., Mohamed S.S. (1992).Effects of different shading levels on tomato plants. 1. Growth, flowering and chemical composition. Acta Horticulturae, 323, pp.341-347.

- El-Gizawi A.M., Abdallah M.M.F., Gomaa H.M., Mohamed S.S. (1992). Effects of different shading levels on tomato plants. 2. Yield and fruit quality. *Acta Horticulturae*, 323, pp.349-354.
- Ercan N., Vural H. (1994). . The effects of low temperatures on fruit set of tomatoes. *Acta Horticulturae*, 366, pp.65-72.
- Fernandez-Muñoz R., Cuartero J. (1991). Effects of temperature and irradiance on stigma exertion, ovule viability and embryo development in tomato. *Journal of Horticultural Science*, 66, 4, pp.395-401.
- FranceAgrimer (2013). La tomate en 2013 –Bilan de campagne-.8 p.
- Gautier H., Rocci A., Buret M., Grasselly D., Dumas Y., Causse M. (2004). Effect of photoselective filters on the physical and chemical traits of vine-ripened tomato fruits. *Can. J. Plant Sci.*, 85, pp.439-446.
- Gautier H., Diakou-Verdin V., Bénard C., Reich M., Buret M., Bourgaud F., Poëssel J.L., Caris-Veyrat C., Génard M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance ? *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 56, pp.1241-1250.
- Gent M.P.N., Ma Y.Z. (1998). Diurnal temperature variation of the root and shoot affects yield of greenhouse tomato. *HortScience*, 33, pp.47-51.
- Gillespie A.R., Jose S., Mengel D.B., Hoover W.L., Pope P.E., Seiferti J.R., Biehle D.J., Stall T., Benjamin T.J. (2000) Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. *Agroforestry Systems*, 48, pp.25–40.
- Goren A., Alkalia-Tuvia S., Perzelan Y., Aharon Z., Fallik E. (2011). Photo selective shade nets reduce postharvest decay development in pepper fruits. *Advances in horticultural science*, 25, 1, pp.26-31.
- Guillerme S. et al. (2010). Les paysages d'arbres hors forêt (PAHF) – Multi-valorisation dans le cadre d'un développement local durable en Europe du Sud. CNRS-GEODE, Toulouse, (FR), 283 p.
- Hugh Turrall H., Burke J., Faurès J.M. (2011). Climate change, food and water security. FAO ed., Rome (IT), 200 p.
- Hunt R. (1990). Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman ed., London, UK, 112 p.
- Hurd R., Graves C.J. (1985). Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 60, pp.359-371.
- Huth N.I., Poulton P.L. (2007). An electromagnetic induction method for monitoring variation in soil moisture in agroforestry systems. *Australian Journal of Soil Research*, 45, pp.63–72.
- Ilic Z. S., Milenkovic L., Stanojevic L., Cvetkovic D., Fallik E. (2012). Effects of the modification of light intensity by colorshade nets on yield and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 139, pp.90-95.
- Jagers F. (2008). Higher yields thanks to retractable roof. *Fruit & Veg Tech ed.*, (NL), 2 p.
- Jeannequin B., Dosba F., Amiot-Carlin M.J. (2005). Un point sur la filière fruits et légumes - caractéristiques et principaux enjeux-. INRA éditions, Paris (FR), 116 p.

- Jen J.J.(1974). Spectral quality of light and the ripening characteristics of tomato fruit. Hortscience, 9, 6, pp.548-549.
- Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhes J., Hilal M., Wavresky P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. Cybergeog, Revue Européenne de Géographie [en ligne], document 501, <http://cybergeog.revues.org/23155> ; DOI : 10.4000/cybergeog.23155.
- Jose S., Gillespie A.R. (1998). Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. II. Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology. Plant and Soil, 203, pp.199-205.
- Jose S., Gillespie A.R., Pallardy (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry. Agroforestry Systems, 61, pp.237-255.
- Kanechi M. (2013). Application of sugarbeet pure and crude extracts containing glycinebetaine affects root growth, yield and photosynthesis of tomato grown during summer. Scientia Horticulturae, 152, pp.9-15.
- Kittas C., Katsoulas N., Rigakis N., Bartzanas T., Kitta E. (2011). Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 87, 1, pp.7-12.
- Köppen W. (1936). Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, Berlin, Volume 1, Part C., (In German).
- Kuster M., Herzog F., Rehnus M., Sorg J.P. (2012). Systèmes agroforestiers novateurs - monitoring des opportunités et limites-. Recherche Agronomique Suisse, 3, 10, pp.470-477.
- Landi R. (2004). Seminati vinudi ed arborati. Atlante dei tipi geografici, IGM, Firenze (IT), pp.401-402.
- Lavergne M. (2004). L'agriculture urbaine dans le bassin méditerranéen, une réalité ancienne à l'heure du renouveau. In Interface : agricultures et villes à l'Est et au Sud de la Méditerranée. Delta éd., p. 53.
- Leclerc B. (2009). Recensement des études et expérimentations existantes sur l'utilisation des composts en région méditerranéenne, ADEME éd., 73 p.
- Le Gal P.Y., Dugué P., Faure G., Novak S. (2011). How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. Agricultural Systems 104, pp. 714–728.
- Legros J.P. (2007). Sols rouges des zones méditerranéennes et tropicales sèches ch.9. In : Les grands sols du monde. PPUR éd., 574 p.
- Lelièvre F., Satger S., Sala S., Volaire F et al (2009). Analyse du changement climatique récent sur l'arc péri-méditerranéen et conséquences sur la production fourragère. CR du colloque « Changement climatique : conséquences et enseignement pour les grandes cultures et l'élevage herbivore », 22 oct. Institut de l'Élevage éd., Paris (FR), pp.3-16.
- Mc Collum J.P. (1954). Effects of light on the formation of carotenoids in tomato fruits. Food Research, 19, pp.182-189.
- Mehta P.M., Bhavannarayana K. (1981). Influence of red and far-red light on pigment systems in ripening tomato fruits. Indian Journal of Plant Physiology, 24, 3, pp.224-228.

- Nair P.K.R. (1993). An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers ed., Dordrecht (NL), 499 p.
- Nieuwhof M., Keizer L.C.P., Van Oeveren J.C. (1997). Effects of temperature on growth and development of adult plants of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Genetics and Breeding, 50, pp.185-193.
- Newman S.M. (1986). A pear and vegetable interculture system land equivalent ratio light use efficiency and productivity. Experimental Agriculture, pp.383-392.
- OCDE (2002). Normalisation internationale des fruits et légumes –Tomates-. 98 p.
- Peet M.M. (2009) Physiological Disorders in Tomato Fruit Development. Acta Horticulturae 821, pp.151-160.
- Pearce B.D., Grange R.I., Hardwick K. (1993). The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. Journal of Horticultural Science, 68, pp.1-11.
- Phatak S.C., Wittwer S.H., Teubner F.G. (1966). Top and root temperature effects on tomato flowering. Journal of the American Society for Horticultural Science, 88, pp.527-531.
- Piccirillo P., De Luca A., Ciarmiello L.F. (2013). Possibilità di rilancio della coltura del noce nella zona di origine della Costiera Sorrentina. FRUTTICOLTURA, 6, pp.49-54.
- Picken A.J.F. (1984). A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Horticultural Science, 59, pp.1-13.
- Planton S. (2000) Modélisation climatique et environnement. CNES éd., 19 p.
Disponible sur www2.ac-Toulouse.fr
- Pons T., Miehé A. (2010). Innovations dans les circuits courts -Facteurs de réussite et points de vigilance-. CASDAR RCC éd., (FR), 124 p.
- Poulain J.F. (1977). Conception, organisation et conduite des expérimentations agronomiques -Remarques sur l'interprétation statistique et agronomique-. I.R.A.T. éd., Haute-Volta, 15p.
- Reynolds P.E., Simpson J.A., Thevathasan N.V., Gordon A.M. (2007). Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. Ecological Engineering, 29, pp.362-371.
- Riga P., Anza M., Garbisu C. (2008). Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88, pp.158-166.
- Rosati A. (2011). Asparaginell'oliveto E la produzione raddoppia. Strategie e mercati, 7-8, pp.20-24.
- Sage R.F. Kubien D.S. (2007). The temperature response of C(3) and C(4) photosynthesis. Plant Cell Environ., 30, 9, pp.1086-1106.
- Serrurier M., Miladinovic D. (2014). Achats de fruits et légumes frais par les ménages français. FranceAgrimer éd., Montreuil (FR), 8 p.

- Sieffert, A. (2013). Conception de systèmes « vergers-maraichers » associant arbres fruitiers, légumes et arbres champêtres -Application au cas de la ferme agro-écologique pilote de la Durette-.INRA-PSH éd., Avignon (FR), 139 p.
- Smith J. (1) (2010).The history of temperate Agroforestry. The Organic Research Centre ed., Newbury (UK), 17 p.
- Smith J. (2) (2010).Agroforestry : reconciling production with protection of the environment -A synopsis of research literature-. The Organic Research Centre ed., Newbury (UK), 24 p.
- Somarriba E., Beer J., Muschler R.G. (2001). Research methods for multistrata agroforestry systems with coffee and cacao: recommendations from two decades of research at CATIE. Agroforestry Systems, 53, pp.195–203.
- Stamps W.T.,Linit M.J. (1999).The problem of experimental design in temperate agroforestry. Agroforestry Systems, 44, pp.187–196
- Van Der Ploeg A., Heuvelink E. (2005). Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80, 6, pp.652-659.
- Vaudour J. (1968). Annales de Géographie, 77, 422, pp.483-488.
- Venema J.H., Posthumus F., Van Hasselt P.R. (1999).Impact of suboptimal temperature on growth, photosynthesis, leaf pigments and carbonhydrates of domestic and high-altitude wild *Lycopersicon* species.Journal of Plant Physiology, 155, pp.711-718.
- Verheij E. (2003). Agroforestry. Agromisa Foundation ed., Wageningen (NL), 85 p.
- Volcan V. (1989).A model for testing the suitability of tomato hybrids for cultivation in deficient natural light. Acta Horticulturae, 248, pp.95-100.
- Warlop F. (2014). Systèmes maraîchers en agroforesterie : création de références techniques et économiques (SMART). CASDAR SMART, 24p.

Sitographie

- [1] Agence BIO (2014). Espace pro/Accompagnements/Aides publiques
<http://www.agencebio.org/aides-publiques>. Consulté le 12 juillet 2014.
- [2] Agroof (2013). Statuts de la SCOP. http://www.agroof.net/statut_SCOP_%20AGROOF.pdf
consulté le 02 février 2014.

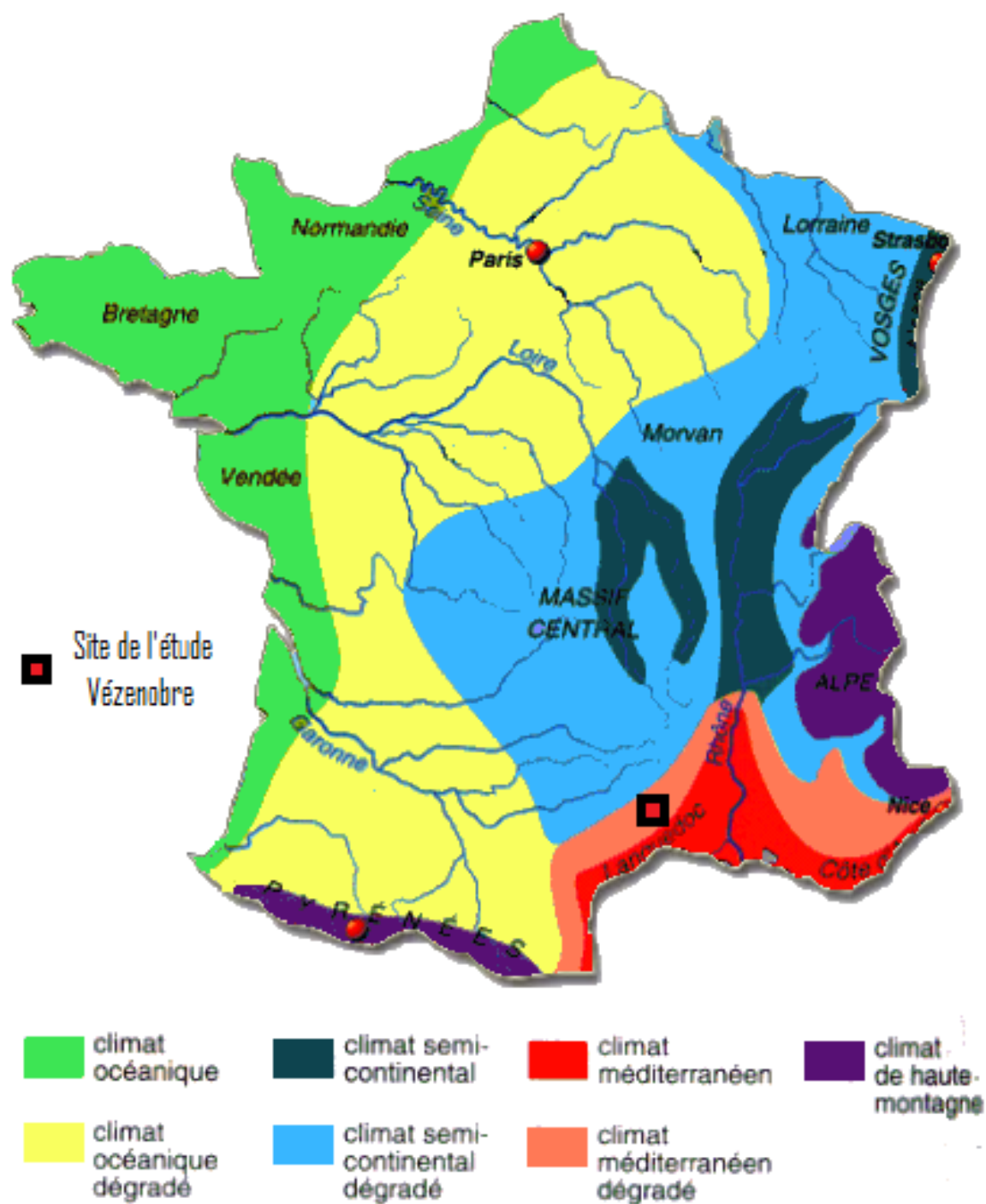
ANNEXE I : les régions à climat méditerranéen dans le monde

Source : Mediterranean City Climate Change Consortium



ANNEXE II : les régions à climat méditerranéen en France

Source : Carte de France du climat (Cartedefrance.fr)



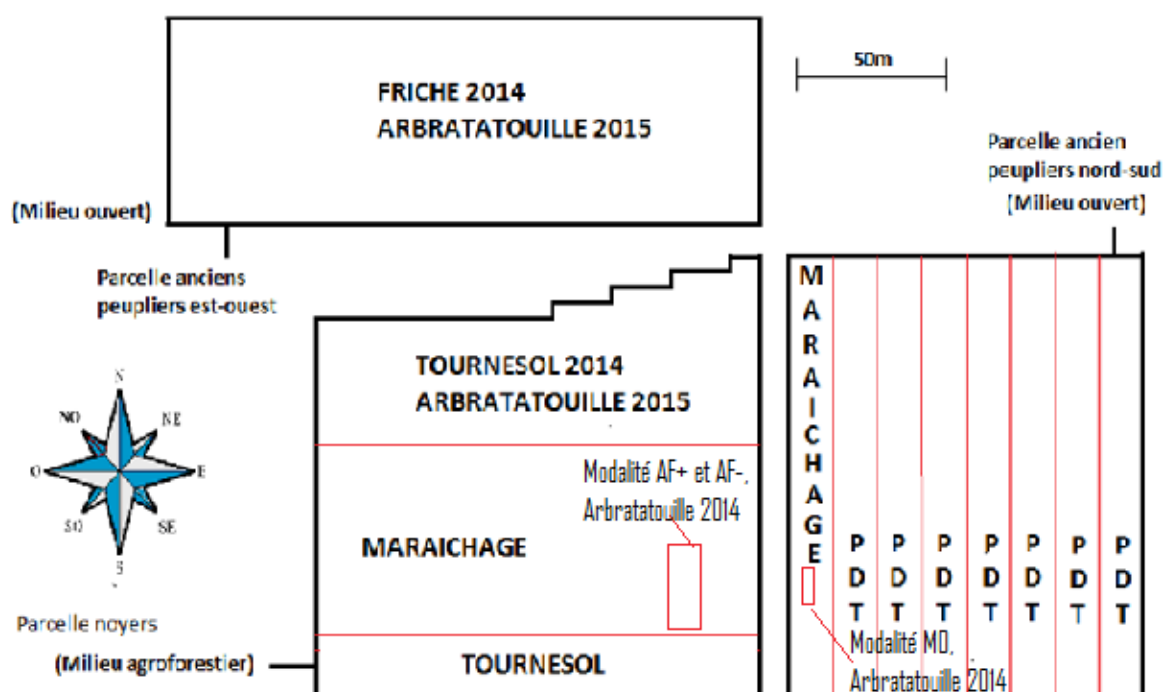
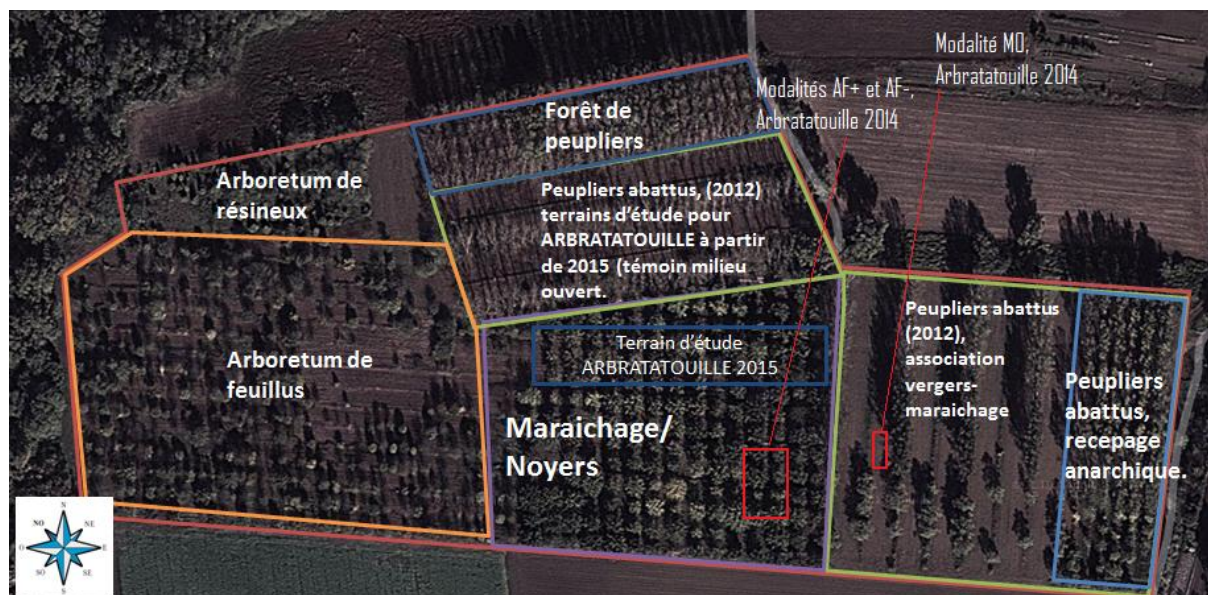
ANNEXE III : les plans du Domaine de Roumassouze et de l'expérimentation

III-1 : photographie aérienne du domaine et emplacement des différentes zones

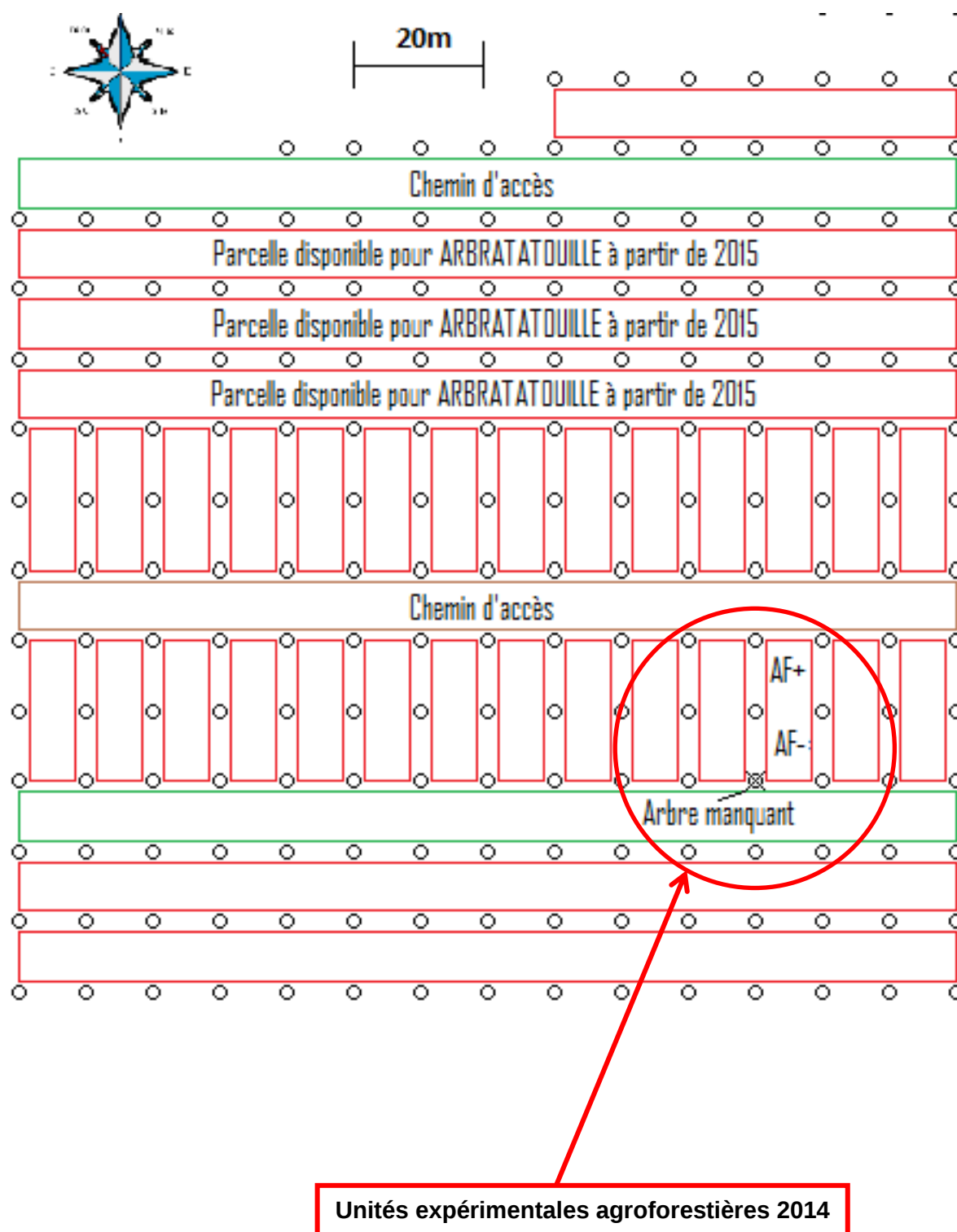
III-2 : plan de la zone agroforestière où s'est déroulé l'expérimentation 2014 et où se déroulerait celle de 2015

III-3 : plan montrant la disposition des parcelles expérimentales agroforestières en 2014

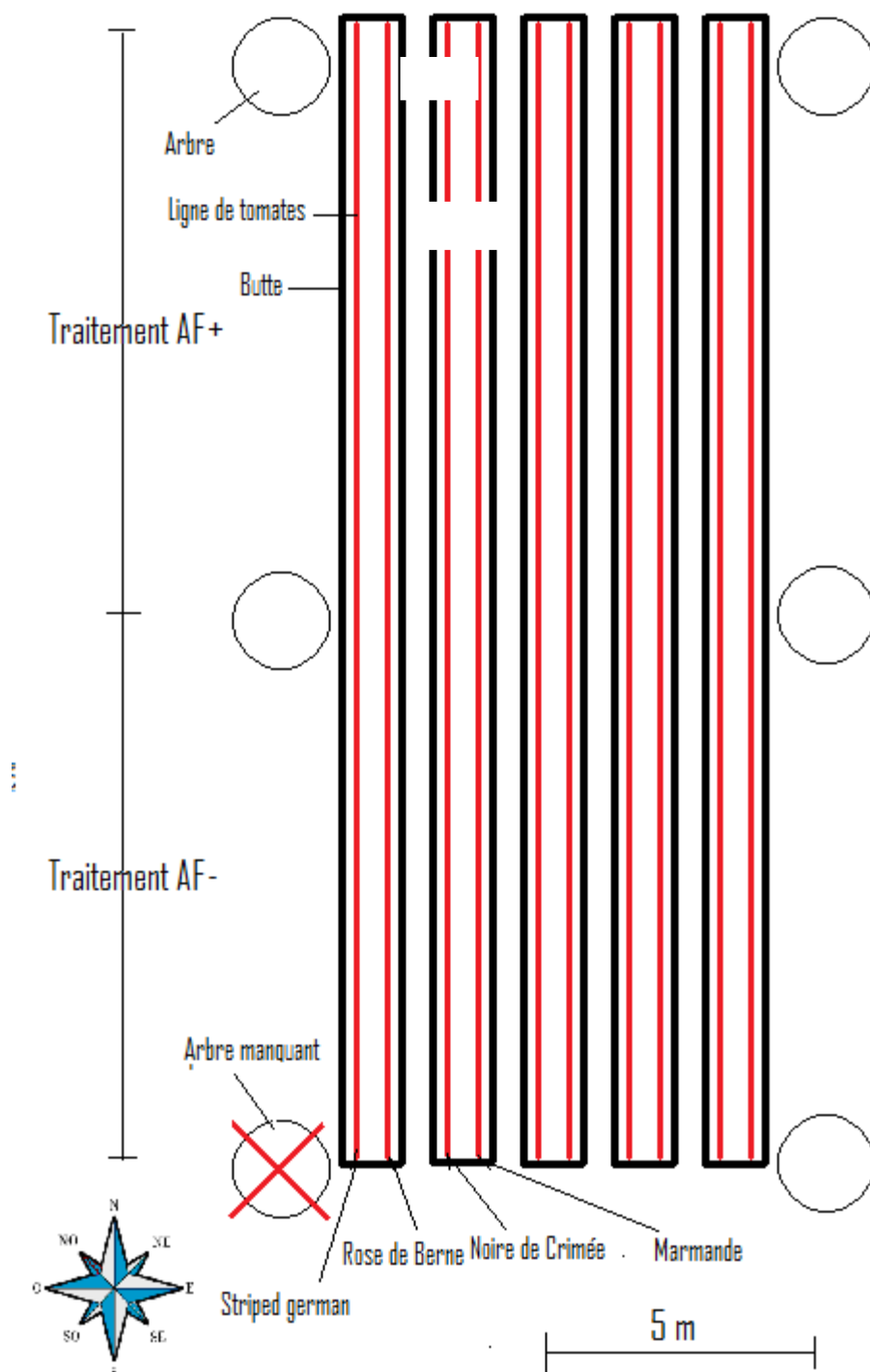
III-1 : photographie aérienne du domaine et emplacement des différentes zones



III-2 : plan de la zone agroforestière où s'est déroulé l'expérimentation 2014 et où se déroulerait celle de 2015



III-3 : plan montrant la disposition des parcelles expérimentales agroforestières en 2014



ANNEXE IV : les principaux défauts commerciaux de la tomate

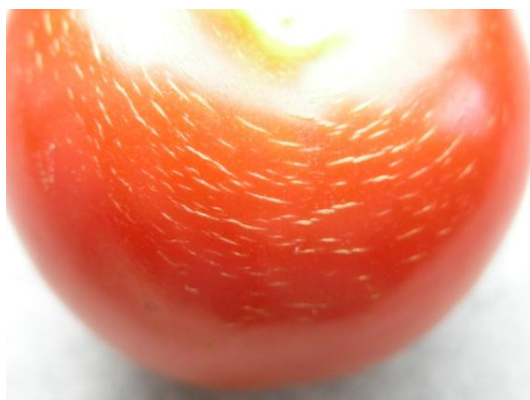
Cracking



Cat face



Micro-fendillement



Coup de soleil



Pourriture apicale



Grêle



Piqûre



Mildiou



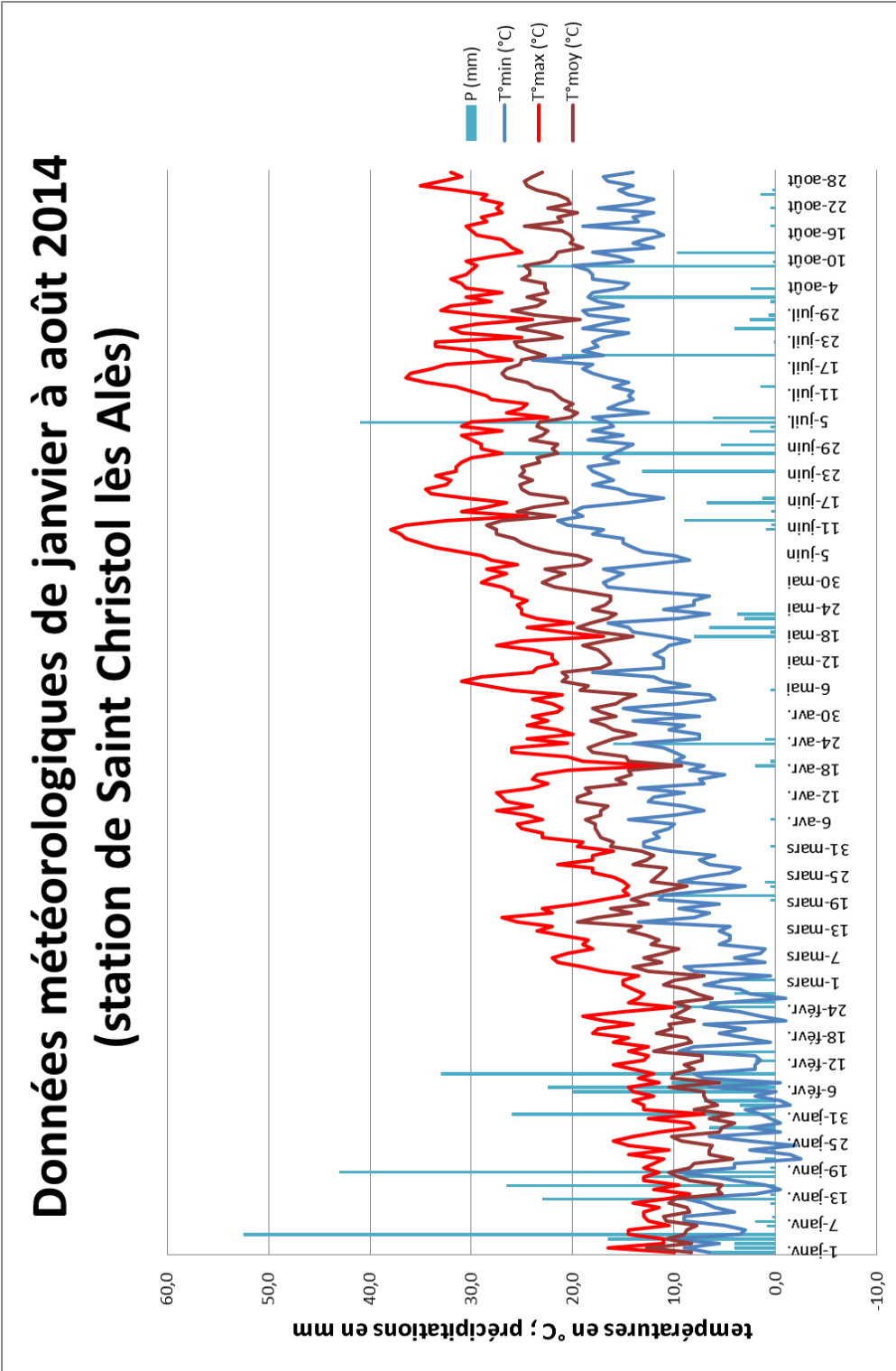
Attaque en surface



Attaque interne



ANNEXE V : les données météorologiques 2014 (poste CNRS de St Christol lès Alès)



ANNEXE V (suite) : les données météorologiques 2014 (poste CNRS de St Christol lès Alès)

2014	jan		fev		mar		avr		mai		jui		jui		aou	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1	6,5	10,0	15	7,0	3,5	14,0	10,5	16,0	7,5	24,0	16,0	28,0	14,0	29,0	15,0	32,0
2	9,0	16,5	3,0	13,0	7,0	15,0	13,0	19,5	13,0	21,5	15,0	26,5	18,5	30,0	17,5	28,0
3	5,5	11,0	-1,5	13,0	5,0	15,0	13,0	19,0	15,0	21,0	17,0	28,5	15,0	31,0	18,5	30,5
4	10,5	11,0	-0,5	14,0	0,5	13,5	11,5	23,0	9,5	22,0	12,5	25,5	18,0	27,0	18,0	27,0
5	3,5	14,5	2,0	12,0	8,0	17,0	12,0	23,0	6,0	24,0	8,5	28,0	16,0	31,0	15,0	30,5
6	3,0	14,5	0,0	14,0	9,0	19,0	10,5	25,0	6,5	21,0	10,0	29,0	16,5	30,0	14,5	31,0
7	5,0	10,5	6,5	14,5	10	21,5	10,0	25,5	12,5	26,0	13,0	31,0	18,0	22,5	18,0	32,0
8	9,0	12,5	-0,5	11,5	4,0	22,0	14,5	23,0	8,5	28,5	14,0	33,5	12,5	26,5	18,0	30,5
9	9,0	13,0	7,0	13,5	15	20,5	10,0	24,5	11,0	31,0	15,0	35,0	16,5	25,0	18,5	30,0
10	4,0	13,0	8,0	12,0	10	18,0	7,0	27,5	12,0	29,0	15,0	36,5	15,5	24,5	20,0	29,5
11	6,0	11,5	2,0	14,0	5,5	19,0	9,0	24,0	18,0	24,0	18,0	37,0	14,0	28,0	14,0	30,5
12	7,0	14,0	2,0	16,0	4,5	18,5	12,5	26,5	11,0	23,5	17,0	38,0	14,5	28,5	15,5	28,0
13	9,0	10,5	1,5	13,0	4,5	21,0	12,0	27,0	11,0	21,5	20,5	36,5	14,0	30,0	18,0	25,0
14	2,0	8,5	2,0	12,5	5,5	23,5	9,0	27,5	11,0	22,0	21,5	32,5	16,0	31,5	12,0	26,0
15	-0,5	12,0	9,5	14,5	4,5	22,0	13,5	24,0	12,0	22,0	19,0	24,5	14,5	34,5	14,0	26,5
16	10	9,5	8,0	12,5	13,5	25,5	7,0	22,5	11,0	24,0	20,0	31,0	16,5	36,5	13,0	27,0
17	4,0	13,0	0,5	16,0	8,0	27,0	7,5	24,0	10,5	27,5	19,0	28,5	18,0	36,0	11,0	29,5
18	6,0	13,0	3,0	14,5	6,5	22,0	5,0	23,5	8,5	25,0	14,5	26,5	19,0	34,0	12,0	30,0
19	9,5	11,5	5,5	18,0	9,5	23,0	8,5	20,5	11,0	17,0	11,0	30,5	18,0	32,5	19,0	30,5
20	4,0	13,0	3,0	17,5	5,5	19,5	7,0	11,5	14,0	21,0	14,5	34,0	24,0	26,0	13,5	28,5
21	4,0	12,0	7,0	14,0	11,5	17,0	10,0	19,0	14,5	24,5	15,5	34,5	17,0	28,5	14,0	29,0
22	-2,5	11,0	-1,0	17,0	11,0	14,5	9,0	20,5	16,5	20,0	18,0	32,5	19,0	29,5	12,0	27,0
23	-1,5	14,5	1,5	19,0	6,5	15,0	10,0	26,0	9,5	23,5	16,0	32,0	17,5	33,5	17,5	27,5
24	2,5	10,5	3,5	15,0	3,0	14,5	11,0	26,0	6,5	25,0	17,0	33,5	18,0	33,5	13,5	27,0
25	-2,0	14,5	7,0	10,0	9,5	15,0	14,0	20,5	11,0	25,0	18,0	31,5	17,0	25,0	12,0	29,0
26	2,5	16,0	5,5	14,5	7,5	16,0	7,5	24,5	8,0	25,5	18,5	31,5	14,5	31,0	14,5	28,5
27	6,5	14,0	-1,0	13,5	4,5	18,0	7,5	20,0	8,0	24,5	15,5	31,0	19,0	32,0	15,5	31,5
28	-0,5	11,5	2,5	13,0	3,5	18,0	10,5	21,5	6,5	26,0	17,0	30,0	17,0	29,5	14,0	35,0
29	2,5	8,0			6,5	21,5	9,0	24,5	12,0	26,0	16,0	27,0	14,5	24,0	16,5	33,0
30	-0,5	8,5			7,5	18,0	14,0	22,5	16,5	27,0	15,0	29,0	18,5	29,0	17,0	31,0
31	0,5	12,5			6,0	18,0			17,0	29,0			19,0	33,0	14,0	32,0
D1	6,5	12,7	2,6	12,5	4,1	17,6	11,2	22,6	10,2	24,8	13,6	30,2	16,1	27,7	17,3	30,1
D2	4,8	11,7	3,7	14,9	6,8	22,1	9,1	23,1	11,8	22,8	17,5	31,9	16,9	31,8	14,2	28,2
D3	1,0	12,1	3,1	14,5	7,0	16,9	10,3	22,5	11,5	25,1	16,7	31,3	17,4	29,9	14,6	30,0
mois		8,07		8,51		12,37		16,46		17,69		23,51		23,27		22,40
min	-2,5	8,0	-1,5	7,0	0,5	13,5	5,0	11,5	6,0	17,0	8,5	24,5	12,5	22,5	11,0	25,0
max	10,5	16,5	9,5	19,0	13,5	27,0	14,5	27,5	18,0	31,0	21,5	38,0	24,0	36,5	20,0	35,0

ANNEXE V (suite) : les données météorologiques 2014 (poste CNRS de St Christol lès Alès)

Précipitations													
	jan	fev	mar	avr	mai	juin	jui	aou	sep	oct	nov	dec	année
1	6,5	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0					
2	4,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5					
3	4,0	3,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0					
4	16,5	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0					
5	52,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,4					
6	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,0	0,0					
7	0,8	22,5	0,0	0,0	0,5	0,0	6,2	0,0					
8	2,0	10,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0					
9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
10		33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5					
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2					
12	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0					
13	23,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	9,7					
14	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,5	0,0					
15	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
16	26,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0					
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
18	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0					
19	43,0	0,0	0,0	0,0	8,0	1,3	0,0	0,5					
20	0,5	0,0	0,0	2,0	0,5	0,0	0,0	0,0					
21	0,0	0,0	0,5	0,5	6,5	0,0	21,0	0,0					
22	1,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
23	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,5					
24	0,5	0,0	0,5	0,0	3,8	0,0	0,1	0,0					
25	0,0	11,0	1,0	16,0	0,0	13,2	0,0	0,0					
26	0,0	6,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,5					
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,3					
28	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
29	6,5		0,0	0,0	0,0	28,0	2,5	0,0					
30	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0					
31	0,0		0,0		0,0		0,0	0,0					
1	87	122	6	1	1	0	56	46					
2	107	11	0	2	9	19	2	10					
3	8	22	15	18	13	41	28	2					
mois	201,6	154,7	20	20,5	22,4	60	85,4	59,1					624
moyenn	81	74	72	73	79	60	34	57	121	151	98	94	993

	<u>Diplôme</u> : Ingénieur en 5 ans <u>Spécialité</u> : Horticulture <u>Spécialisation / option</u> : Gestion Durable du Végétal (GDV) <u>Enseignant référent</u> : Yann Tricault	
<u>Auteur</u> : Guilhem Heranney	<u>Organisme d'accueil</u> : AGROOF	
<u>Date de naissance</u> : 31/03/1989	<u>Adresse</u> : 120 impasse des 4 vents	
<u>Nb pages</u> : 40 <u>Bibliographie</u> : 6 <u>Annexe(s)</u> : 5	30140 Anduze – France	
<u>Année de soutenance</u> : 2014	<u>Maîtres de stage</u> : Camille Beral et Fabien Liagre	
<u>Titre français</u> : Le maraîchage en agroforesterie sous climat méditerranéen : intérêt, potentiel et limites. Etude préliminaire pour l'élaboration d'un protocole d'évaluation sur la tomate cultivée sous noyers.		
<u>Titre anglais</u> : Market gardening in agroforestry systems under mediterranean climate, challenges, potential and limitations. Preliminary study for the development of a protocol of evaluation based on tomato grown under walnut trees		
<u>Résumé</u> (1600 caractères maximum) : Le maraîchage doit faire face à de nouveaux enjeux, environnementaux, économiques et sociaux. En contexte méditerranéen, des enjeux spécifiques concernent en particulier la gestion du climat. Pour y répondre, l'agroforesterie pourrait être une proposition intéressante. Si en France, elle connaît actuellement un réel essor en grande culture, ce n'est pas le cas pour les cultures maraîchères, car les références disponibles sont insuffisantes. Agroof, bureau d'étude spécialisé en agroforesterie, s'est engagé dans deux projets visant à acquérir ces références. Le travail présenté est l'étude préliminaire du projet Arbratatouille, visant à mieux comprendre les spécificités du maraîchage en contexte méditerranéen français, à proposer et tester des hypothèses quant à l'apport de l'agroforesterie dans ce contexte par la mise en place d'un protocole exploratoire. Nous avons comparé le comportement de quatre variétés de tomate cultivées en systèmes agroforestiers ou en milieu ouvert. Nous avons d'abord pu montrer qu'il existait de réelles différences entre les systèmes : une production d'autant plus importante que le système est ouvert, mais une qualité meilleure en agroforesterie, ce qui permet souvent une production commercialisable plus importante. L'importance de la prise en compte de l'hétérogénéité intra-parcellaire dans l'évaluation spécifique des systèmes agroforestiers, ainsi que la nécessité de travailler le choix variétal dans ces systèmes ont été démontrés, ainsi que la sensibilité des résultats aux conditions climatiques de l'année. A l'issue de ce travail exploratoire, nous avons pu proposer des pistes pour la suite du projet : l'organisation en réseau, et spécifiquement pour le site principal, l'amélioration des plans d'expérimentation, le choix des indicateurs de performance ou d'état, les différents traitements à comparer.		
<u>Abstract</u> (1600 caractères maximum) : Vegetable production is facing new environmental, economic and social challenges and in the Mediterranean context, specific issues, notably regarding climate management. In response, agroforestry could be an interesting proposition. While in France, it is experiencing a real boom in field crops, this is not the case for vegetable crops, because the references are insufficient. Agroof, consulting firm specializing in agroforestry has engaged in two projects to acquire these references. This paper is a preliminary study of Arbratatouille project to better understand the specifics of market gardening in French Mediterranean context, to propose and test hypotheses about the contribution of agroforestry in this context by the establishment of an exploratory protocol. We compared the behavior of four varieties of tomato grown in agroforestry systems or open areas. We have shown that there are real differences between the systems: for example, an even more important production as the system is open, but of better quality in agroforestry, which often allows higher marketable production. The importance of taking into account the intra-plot heterogeneity in the specific evaluation of agroforestry systems, and the need to work on varietal choice in these systems have been demonstrated as well as the sensitivity of results to climate conditions of a specific year. At the end of this exploratory work, we could suggest ways for the rest of the project: the network organization, and specifically to the main site, improving experimental plans, the choice of performance indicators, and the different kind of design that could be compared.		
<u>Mots-clés</u> : agroforesterie ; protocole exploratoire ; recherche participative ; tomate ; maraîchage, climat méditerranéen		
<u>Key Words</u> : agroforestry; exploratory work; participatory research; tomato; market gardening, Mediterranean climate		