ISARA
23 rue J. Baldassini
69364 LYON CEDEX 07

SCOP AGROOF
19 rue du Luxembourg
30140 ANDUZE

EVALUATION DES PERFORMANCES AGRONOMIQUES DES CULTURES MARAICHERES EN SYSTEME AGROFORESTIER MEDITERRANEEN

Etude de la pomme de terre (*Solanum tuberosum)* dans le Gard (30) et le Vaucluse (84)

Mémoire de Fin D'Etudes

BROYER Lola
Elève Ingénieure ISARA-Lyon

51ème Promotion (2018-2023)
Date de Soutenance : 12 septembre 2023

Tuteur Pédagogique :
CELETTE Florian

Directrice de mémoire :
BERAL Camille
Chargée de recherche

Illustration page de garde :
Pommes de terre sous noyers hybrides taille Têtard,
Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)
Lola Broyer, le 12 juin 2023

Ce document ayant été réalisé par des Élèves-Ingénieur.e.s de l'ISARA dans le cadre d'une convention avec SCOP AGROOF, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS
SIGLES ET ABREVIATIONS
TABLES DES FIGURES
TABLES DES TABLEAUX
TABLE DES ANNEXES

I. INTRODUCTION 1

II. CONTEXTE ET ETAT DE L'ART : 3

A. Le maraîchage biologique en climat méditerranéen 3

1. Le bassin méditerranéen français : bassin de production agricole et maraîchère 3

2. Le maraîchage biologique dans le Sud de la France : une filière aux enjeux multiples 4

3. Vulnérabilité au changement climatique du territoire méditerranéen et de la filière maraîchère 5

B. Le maraîchage agroforestier et le projet ALMANAC 6

1. Qu'est-ce que l'agroforesterie ? 6

2. Potentiels de l'agroforesterie 7

3. Le projet ALMANAC 8

C. La pomme de Terre en système agroforestier 9

1. Impacts de l'agroforesterie sur le microclimat 9

2. Réponses écophysiologiques des cultures aux modifications microclimatiques 10

3. Caractéristiques essentielles de la pomme de terre 11

4. Réponses écophysiologiques de la pomme de terre aux modifications microclimatiques 11

III. MATERIEL ET METHODES 14

A. Caractéristiques générales des sites d'étude et matériel biologique 14

1. Ferme du Colibri, Le Thor (84) 14

2. Ferme de la Durette, Avignon (84) 14

3. Les Terres de Roumassouze 15

B. Dispositifs expérimentaux 17

1. Ferme du Colibri, Le Thor (84) 17

2. Ferme de la Durette, Avignon (84) 18

3. Terres de Roumassouze, Vézénobres (30) 19

C. Variables d'études 22

1. Caractérisation du microclimat et du paysage 22

2. Croissance et développement 22

3. Production et valeur commerciale 23

4. Méthodes de traitement statistique 23

IV. RESULTATS 25

A. Ferme de La Durette 25

1. Caractérisation du microclimat 25
2. Performances agronomiques 26
B. La ferme du Colibri 27
1. Caractérisation du microclimat 27
2. Performances agronomiques 30
C. Terres de Roumassouze 34
1. Caractérisation du microclimat 34
2. Performances agronomiques 36
V. DISCUSSION 40
A. Effet des arbres sur le microclimat 40
B. Performances agronomiques et potentiels liens avec le microclimat 41
C. Perspectives 45
VI. QUALITE DE VIE AU TRAVAIL DES MARAICHER.ES AU SEIN DE SYSTEMES AGROFORESTIERS 47
VII. CONCLUSION 49
BIBLIOGRAPHIE 51
ANNEXES

REMERCIEMENTS

Cette partie est dédiée aux remerciements et ne doit pas excéder une page dans le cadre d'un mémoire et rester professionnelle. Cela est d'ailleurs bien dommage car j'aime faire des discours grandiloquents, c'est pourquoi pour avoir plus de liberté dans cet exercice, j'ai envisagé de réaliser une thèse un (très) court instant. Trêve de plaisanteries, je souhaiterais remercier en premier lieu Camille BERAL, ma directrice de mémoire, pour sa confiance, ses remarques toujours pertinentes, son humour et son aide (pour les analyses, la rédaction mais aussi sur le terrain) malgré sa charge de travail particulièrement importante cette année. Son regard et sa prise de recul sur la recherche m'ont été particulièrement enrichissants. Merci également à Ambroise MARTIN-CHAVE pour ses conseils, ses engagements et son aide, notamment en statistiques.

Je remercie Florian CELETTE, mon tuteur pédagogique, pour sa vision de l'agronomie, son exigence et sa bienveillance tout au long de mon parcours.

Je tiens tout particulièrement à remercier les maraîcher.es sans qui cette étude n'aurait pas été possible :
Héléna MENAGER et Olivier GAVACH des Terres de Roumassouze pour leur enthousiasme et leur motivation ;
Nicolas VERZOTI de la ferme du Colibri pour son optimisme contagieux et sa disponibilité ; et enfin, François WARLOP du Grab et l'équipe de la ferme de la Durette pour leur investissement dans le projet.

Ce mémoire n'aurait pas la même allure sans la précieuse aide de Thomas, Hélène, Daria, Valentin, Numa et Pauline. Merci pour votre bonne humeur sur le terrain même lors des départs (très) matinaux et quand j'oubliais le café (à chaque fois finalement). Merci à Pierrick de nous (stagiaires) avoir partagé les différentes missions d'un ingénieur-conseil en agroforesterie.
Un immense merci à l'ensemble de l'équipe d'AGROOF - Sébastien, Daniele, Virginie, Fabien et les autres membres déjà cité.es - pour leur intégration, leur humour décadent et la transmission de leur expériences riches et variées. Mon séjour dans les Cévennes aurait été bien plus terne sans vous. Je remercie aussi mes colocataires de bureau, Pauline et Thomas, pour leur soutien dans les bons comme dans les moins bons moments, pour avoir supporté mon caractère pendant 6 mois et pour toutes les soirées passées ensemble sur la terrasse de Serge.

Pour terminer, je souhaiterais remercier mes proches : d'abord mes ami.es pour leur soutien émotionnel à toute épreuve (vous méritez une belle médaille) et pour avoir rendu ces cinq années étudiantes mémorables ; mais aussi mes parents et ma sœur de m'avoir toujours soutenue dans mes projets, souvent changeants, dans mes questionnements et désillusions et de toujours croire en moi.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADAF : Association Drômoise d'Agroforesterie

CasDAR : Compte d'affectation spécial pour le Développement Agricole et Rural

CIVAM : Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

GIEC : Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Grab : Groupe de Recherche en Agriculture biologique

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

L – T – C : Elagué – Têtard – Plein Soleil (Control)

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PPAM : Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales

SAU : Surface Agricole Utile

SCOP : Société Coopérative et Participative

TABLES DES FIGURES

Figure 1 : Photographie aérienne de la ferme du Colibri et de la parcelle étudiée. Echelle 1:1000. Le Thor (84).....14
Figure 2 : Photographies aériennes de la ferme de La Durette (Echelle 1:3000) et de la parcelle ALMANAC (Echelle 1:750). Avignon (84). 15
Figure 3 : Photographie aérienne de la ferme des Terres de Roumassouze. Echelle 1:5000. Vézénobres (30). 16
Figure 4 : Photographie aérienne des modalités des Terres de Roumassouze. Echelle 1 :1000. Vézénobres (30).....17
Figure 5 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques - La Ferme du Colibri, Le Thor (84) ...18
Figure 6 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques – La Durette, Avignon (84) 19
Figure 7 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques - Terres de Roumassouze, Vézénobres (30).....20
Figure 8 : La Durette a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction des rangs. b. Humidités relatives (%) moyennes par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance à 95% 26
Figure 9 : La Durette. Stade phénologique moyen au 31 mai 2023 en fonction des rangs. 26
Figure 10 : La Durette a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.....27
Figure 11 : La Ferme du Colibri - PAR moyen en µmol par heure en fonction des rangs. 28
Figure 12 : La Ferme du Colibri a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95% b. Humidités relatives (%) moyennes par heure en fonction des rangs.....29
Figure 13 : La Ferme du Colibri. Vitesse moyenne du vent en m/s par jour par rang. 30
Figure 14 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE - Volume moyen en cm^{-3} en fonction des rangs. 30
Figure 15 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE - Stade phénologique moyen au 5 juin 2023 en fonction des rangs. 31
Figure 16 : La Ferme du Colibri - Tensions moyennes dans le sol en cbar (Moyennes des tensions des 2 profondeurs 20 et 40 cm) en fonction des dates en fonction des rangs. 31
Figure 17 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.....32

Figure 18 : La Ferme du Colibri - Variété MAIWEN **a.** Volume moyen en m^{-3} en fonction des rangs. b. Stade phénologique moyen au 5 juin 2023 en fonction des rangs. 33
Figure 19 : La Ferme du Colibri – Variété MAIWEN a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.....33
Figure 20 : Terres de Roumassouze - Ouverture de canopée moyenne en fonction de la modalité. 34
Figure 21 : Terres de Roumassouze - PAR moyen en µmol par heure en fonction de la modalité. 35
Figure 22 : Terres de Roumassouze a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction de la modalité b. Humidités relatives moyennes (%) par heure en fonction de la modalité 36
Figure 23 : Terres de Roumassouze - Hauteur moyenne en cm le 7 juin 2023 en fonction de la modalité.. 37
Figure 24 : Terres de Roumassouze - Hauteur moyenne des plants (cm) au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en %. Modalités TETARD et ELAGUE. Régression linéaire simple. 37
Figure 25 : Terres de Roumassouze. a. Stades phénologiques du 7 juin 2023 en fonction de la modalité. b Masse surfacique en $g.m^{-2}$ en fonction de la modalité. 38
Figure 26 : Terres de Roumassouze a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.....39
Figure 27 : Terres de Roumassouze - Production brute moyenne (g/plant) en fonction de l'ouverture de canopée en %. Modalités TETARD et ELAGUE. Régression linéaire simple. 39

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques principales des sites d'études 16
Tableau 2 : Dispositifs expérimentaux mis en place pour les suivis agronomiques. 21
Tableau 3 : La Durette - Ouvertures de canopée moyenne par rang. 25
Tableau 4 : La Durette – Températures (°C) et humidités relatives (%) journalières moyennes par rang. 25
Tableau 5 : La Ferme du Colibri - Cumul moyen journalier du PAR par rang.....28
Tableau 6 : La Ferme du Colibri - Températures et humidités relatives journalières moyennes par rang. 28
Tableau 7 : Terres de Roumassouze - Cumul de PAR moyen journalier par modalité. 34
Tableau 8 : Terres de Roumassouze - Températures et humidités relatives journalières moyennes en fonction de la modalité. 35

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Tableau de synthèse des itinéraires techniques pour la conduite des pommes de terre sur les 3 sites pilotes

Annexe 2 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - La Durette, Avignon (84)

Annexe 3 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - La ferme du Colibri, Le Thor (84)

Annexe 4 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)

Annexe 5 : Stades phénologiques sélectionnés pour le suivi du dévelopement de la pomme de terre.

Annexe 6 : Tableau de synthèse des variables mesurées

Annexe 7 : Terres de Roumassouze – Hauteur moyenne des plants (cm) de pommes de terre au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en % et des modalités.

Annexe 8 : Terres de Roumassouze – Production moyenne (g/plant) de pommes de terre au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en % et des modalités.

I. INTRODUCTION

De nombreux enjeux pèsent sur l'ensemble des secteurs agricoles. La pression foncière, la gestion de la charge de travail et de la main d'œuvre, la structuration de la filière et plus récemment la crise économique sont des problématiques auxquelles doit faire face le maraîchage biologique diversifié en Méditerranée. D'un point de vue agronomique, les enjeux principaux relèvent de la gestion des adventices et ravageurs mais également du maintien de la fertilité des sols et de la biodiversité. S'ajoutent à cela les conséquences du changement climatique déjà observables autour du bassin méditerranéen et en Provence : modifications de la répartition des précipitations, augmentation des fréquences et de l'intensité des sécheresses, restriction d'eau d'un côté et nécessité d'irriguer de l'autre (IPCC, 2023; Hervieu, Abis, 2006). Dans ce contexte d'adaptation des systèmes de cultures maraîchères au changement climatique, mais également dans une dynamique de conception de systèmes de cultures écologiquement intensifs, diversifiés, économes en intrants et productifs, il apparaît nécessaire de repenser les systèmes de production. L'agroforesterie, c'est-à-dire l'introduction d'arbres au sein des écosystèmes cultivés, est un levier potentiel dont les services pourraient être à même de répondre aux enjeux climatiques, agricoles et environnementaux de notre siècle.

Toutefois, peu de références existent quant aux comportements et performances des cultures maraîchères dans ce type de système. Ces références sont de plus en plus nécessaires par rapport au nombre grandissant d'agriculteur.rices s'intéressant à la conception puis la gestion de systèmes agroforestiers. Depuis les années 2000, le regain d'intérêt pour ces pratiques à susciter l'émergence de différents projets scientifiques. Des projets de recherche ont permis son expansion dans le domaine des grandes cultures, en diminuant notamment les freins techniques. En revanche, la profession demeure presque sans réponse face aux questions posées par la culture de légumes de plein air en agroforesterie.

La SCOP AGROOF, bureau d'études spécialisé en conseil et recherche en agroforesterie créée en 2000, est justement partenaire de différents projets visant à développer les connaissances sur le maraîchage agroforestier. Le projet CasDAR SMART (2012-2014) a permis d'établir un guide technique visant à accompagner les agriculteur.rices interessé.es par la conception de vergers-maraîchers. Des expérimentations menées dans le cadre du projet multi acteurs ARBRATATOUILLE (2014-2020) sous des noyers hybrides, sur cultures de tomates, ont permis de montrer que la présence d'arbres intra-parcellaires de haut jet peut induire une forte compétition sur la production de tomates, notamment pour des niveaux d'ouvertures de canopée inférieurs à 40%. Au-dessus de ce niveau, la productivité des tomates se maintient en comparaison du témoin avec des tomates présentant moins de défauts et donc une meilleure qualité commerciale (Béral et al., 2019). Les arbres semblent donc susceptibles de tamponner certains stress, mais ces références ne sont pas généralisables et davantage de travaux sont

à mener pour identifier les meilleurs leviers de conception et de gestion de ces systèmes (Béral et al., 2019). Des travaux plus récents ont étudié l'effet des arbres sur la variation du microclimat en fonction de la distance de rangs de pommiers et montrent que la productivité du radis entre ces rangs augmente sur les planches de culture plus proches des arbres tandis que celle de la carotte est plus élevée à distance des arbres (Ramanantajovo et al, 2021). L'impact des arbres sur la croissance et les performances agronomiques des cultures maraîchères est donc variable selon les espèces cultivées. Il convient alors de tenter de balayer un large spectre d'espèces mais aussi de variétés cultivées en maraîchage pour mieux appréhender l'impact des arbres sur ces cultures et accompagner la conception de nouveaux systèmes maraîchers.

Le projet de recherche multi acteur ALMANAC (2023-2025) a pour ambition d'enrichir les connaissances technico-économiques et agronomiques sur ce sujet sur des espèces maraîchères jusqu'à là non étudiées en système agroforestier. Présentes sur trois sites pilotes du Gard et du Vaucluse, les expérimentations de l'Action 2 du projet ALMANAC, coordonnées par la SCOP AGROOF, se concentrent cette année sur la pomme de terre, la salade, l'oignon, le haricot et le pois. La présente étude développe les expérimentations et résultats autour de la pomme de terre, espèce phare de cette première année d'expérimentations. Elle a pour ambition **d'appréhender les effets des arbres sur le comportement et les performances agronomiques des pommes de terre en système maraîchers agroforestiers méditerranéens et les liens possibles avec l'influence des conditions microclimatiques.**

Ce rapport s'organise en quatre parties. Dans un premier temps une synthèse bibliographique rendra compte des enjeux actuels du maraîchage biologique dans le bassin méditerranéen français avant de s'intéresser à l'agroforesterie comme potentielle solution. Enfin, seront présentées les réponses écophysiologiques de la pomme de terre et autres espèces maraîchères quant aux modifications microclimatiques induites par les arbres. La démarche retenue, la présentation des expérimentations et les méthodologies employées seront exposées dans un second temps. En troisième partie, les résultats des expérimentations seront présentés et analysés avant d'être discutés dans une dernière partie.

II. CONTEXTE ET ETAT DE L'ART :

A. Le maraîchage biologique en climat méditerranéen

1. Le bassin méditerranéen français : bassin de production agricole et maraîchère

Le bassin méditerranéen s'étend, sur le territoire français, de l'extrême sud des Alpes Maritimes (06) jusqu'aux côtes des Pyrénées Orientales (66). Cette zone possède un climat propre longeant le littoral et remontant le long de la vallée du Rhône jusqu'à Montélimar (Drôme, 26). D'après la classification de Köppen (1936), ce climat est caractérisé par des étés chauds et arides avec des températures pouvant atteindre les 40°C et des hivers doux et humides aux températures rarement inférieures à 5°C (Hufty, 2001). Les jours de pluie sont peu nombreux mais les précipitations annuelles sont relativement abondantes avec par exemple 791 mm de précipitations à Nice, 640 mm à Montpellier et jusqu'à 2000 mm dans les Cévennes (MétéoFrance, 2023a; 2023b; 2023c). Avec ses paysages variés - côtes maritimes, plaines, montagnes - et son climat contrasté, le pourtour méditerranéen est un territoire unique particulièrement fragile face aux événements climatiques extrêmes (sécheresse, érosion, inondation, tempête) (Hervieu, Abis, 2006).

La région méditerranéenne française est un haut lieu de productions viticoles et arboricoles. Sa haute variabilité paysagère se traduit par une forte diversification des productions puisqu'elle rassemble également des grandes cultures, des productions maraîchères et de l'élevage en majorité de petits ruminants (Chambres d'Agriculture Occitanie, CERFRANCE, 2021; INSEE, 2021).

Dans cette étude, l'accent est porté sur les productions maraîchères biologiques des départements du Gard (30) en Occitanie et du Vaucluse (84) en PACA où les différents sites expérimentaux sont implantés. L'agriculture biologique occupe une place de plus en plus importante dans le Gard puisque le nombre d'exploitations agricoles certifiées en agriculture biologique a été multiplié par 2,2 entre 2010 et 2020 pour représenter, en 2021, 23% des exploitations gardoises. Le département dénombre 819 ha cultivés en légumes frais bio soit 2,6% des surfaces certifiées en agriculture biologique (MAS Nicolas, 2023; Agreste, 2022). De la même façon que dans le Gard, les surfaces cultivées en agriculture biologique dans le Vaucluse ont été presque multipliées par 2 tout comme le nombre d'exploitations. En 2020, 26% de la SAU du Vaucluse était certifiée bio. Le maraîchage en PACA est concentré à l'Ouest de la région. Les départements du Vaucluse et des Bouches du Rhône représentent 80% des surfaces maraîchères biologiques de la région avec respectivement 785 ha et 1244 ha (TZORTZIS Isménos *et al.*, 2022).

Bien que la filière connaisse depuis une dizaine d'années une expansion, elle est aujourd'hui confrontée à une crise et d'autres enjeux auxquels il faudra trouver des solutions à court et long termes.

2. *Le maraîchage biologique dans le Sud de la France : une filière aux enjeux multiples*

Les enjeux auxquels le maraîchage biologique doit faire face sont multiples. Pour commencer, si les produits issus de l'agriculture biologique ont connu depuis une dizaine d'années une croissance importante, la filière du bio est touchée par une crise depuis début 2021. Cette crise va de pair avec la crise économique et l'inflation que subit le pays. Les denrées alimentaires sont particulièrement touchées avec, selon l'INSEE, une hausse de 9,8% en 2022 pour les légumes frais (INSEE, 2023). L'Agence Bio estime un recul de consommation de produits issus de l'agriculture biologique de 7,6% en volume entre janvier 2021 et janvier 2022 (Agence Bio, Consumer Science & Analytics (CSA), 2022). Cette baisse de consommation se traduit par la fermeture de magasins spécialisés comme le réseau Biocoop qui a fermé une quarantaine de magasins en 2022 (Pouille, 2023). En revanche, la vente directe est moins impactée et a conservé une croissance de 7% en 2022 (Agence Bio, Consumer Science & Analytics (CSA), 2022).

Ensuite, le maraîchage biologique est soumis, comme toutes les filières agricoles, à la pression foncière. Ce phénomène est d'autant plus marqué sur le pourtour méditerranéen avec une croissance et une immigration démographique forte ainsi que des flux touristiques importants qui tendent à accroître la population des villes et augmenter le nombre d'infrastructures au détriment des terres arables (Hervieu, Abis, 2006). L'accès aux terres est alors difficile, de nombreuses exploitations maraîchères sont en fermage et non en propriété. Cette guerre des terres rend périlleux l'installation de nouveaux maraîcher.ères surtout en périphérie urbaine puisqu'ils.elles peinent à accéder à la « surface minimale d'assujettissement (SMA) » de 0,80 ha pour le maraîchage de plein champ selon la norme officielle, permettant l'accès aux aides publiques (Jarrige, 2004; Préfet du Gard, 2016). Ce phénomène de pression foncière s'observe en PACA d'autant plus dans les installations Hors Cadre Familial, typologie d'installation particulièrement répandue en maraîchage biologique (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2013).

La main d'œuvre est également une préoccupation dans le maraîchage et l'arboriculture. En effet, à l'échelle du territoire nationale, les exploitations de fruits et légumes ne représentent que 4% des exploitations françaises mais 27% de la valeur de la production nationale et concentrent 21% de l'emploi salarié ainsi que plus de 30% de l'emploi saisonnier (Darpeix, Bergeron, 2009). D'ailleurs, selon Pôle emploi, les métiers d'agriculteur.rices salariés, ouvrier.es agricoles, cueilleur.ses et maraîchers salariés font tous partie des dix métiers recrutant le plus à l'échelle nationale et atteignent même le trio de tête dans certains départements dont le Gard et le Vaucluse (Pôle Emploi, 2023).

Enfin, d'un point de vue agronomique, en raison de son cahier des charges, l'agriculture biologique doit mettre en œuvre des leviers préventifs et curatifs pour lutter contre les bioagresseurs et préserver

la fertilité des sols autres que par des produits phytosanitaires. Un des enjeux clés notamment en maraîchage est la gestion de l'enherbement (ITAB, 2005). Le travail du sol et le désherbage mécanique (majoritairement employé en traitement curatif en maraîchage bio en France) doivent être raisonnés prudemment puisque ces leviers peuvent perturber la santé des sols. Le défi pour l'agriculture biologique et par conséquent pour le maraîchage biologique est de ce fait de trouver un équilibre ou des stratégies de gestion de l'enherbement qui ne contrecarrent pas les efforts pour optimiser la santé et la fertilité du sol (Schonbeck *et al.*, 2017).

Au-delà de ces défis agronomiques, sociaux et économiques, la vulnérabilité du territoire méditerranéen au changement climatique, défi majeur du XXIème siècle, et par conséquent son impact sur l'agriculture, constitue un enjeu critique pour la production et la filière des légumes biologiques.

3. Vulnérabilité au changement climatique du territoire méditerranéen et de la filière maraîchère

Selon le dernier rapport du GIEC, les activités humaines, à travers les émissions de gaz à effet de serre, ont provoqué un réchauffement moyen de la surface du globe de 1,1°C entre les périodes 1850-1900 et 2011-2020. Le changement climatique impacte déjà les phénomènes météorologiques extrêmes dans toutes les régions du globe (IPCC, 2023).

La région méditerranéenne est une région particulièrement vulnérable : le réchauffement climatique a augmenté la fréquence et l'intensité des chaleurs extrêmes et canicules mais également les sécheresses (IPCC, 2023). En effet, même si les épisodes de pluies intenses et de crues dans certains départements du pourtour méditerranéen français augmentent légèrement, ceux-ci ne sont pas suffisants pour combler les manques d'eau et sont si violents que l'eau ne peut pas pénétrer dans les sols (Tramblay *et al.*, 2021). En plus des sécheresses estivales, les sécheresses hivernales ont fait récemment leurs apparitions. Ces longs épisodes secs en saisons pluvieuses constituent la principale cause de sécheresses et l'aléa climatique le plus important sur le pourtour méditerranéen (Raymond, Ullmann, 2021). D'ailleurs, l'année 2023 apparaît déjà comme une année sèche avec des restrictions d'eau dans de nombreux départements dès mi-avril et des niveaux de nappes particulièrement bas sur l'arc méditerranéen. Les sols de PACA, l'Occitanie et Corse sont également exceptionnellement secs, avec des quantités d'eau disponible semblables à des conditions de fin juin dès fin avril (Vennetier, 2020; Valo, 2023).

Les conséquences sur l'agriculture et notamment sur le maraîchage sont notables et variables selon les cultures. En fin d'automne et en hiver, moins de froid conduit à un arrêt tardif de la croissance des végétaux, et à une reprise précoce dès la fin d'hiver, voire aucun arrêt pour certaines espèces. En conséquence, on constate déjà une augmentation des risques de dégâts de gel lors des rares épisodes de froid intense, même s'ils sont très courts (Barbier *et al.*, 2016). De plus, les acteurs de la vie du sol

sont également soumis à la sécheresse sur de plus en plus longues périodes réduisant leur temps d'activité et leurs abondances ce qui à terme dégradent la santé et la structure du sol (Vennetier, 2020). Le changement climatique affecte les rendements agricoles et les besoins en eau par une interaction entre les besoins physiologiques spécifiques aux cultures et la disponibilité des ressources en eau à court, moyen et long terme (Barbier *et al.*, 2016).

Il est essentiel de s'adapter à ces changements puisque le climat semi-aride (BS) selon la classification de Köppen devraient s'étendre à des zones de latitudes moyennes comme la Méditerranée ou l'Ouest Nord-Américain, soumis actuellement à des climats tempérés (C) (Cui *et al.*, 2021). Des projections du climat futur indiquent que le climat méditerranéen devrait gagner vers le nord l'équivalent de 25 à 50 % de sa surface actuelle selon les scénarios RCP4.5 and RCP8.5 du GIEC respectivement mais aussi perdre jusqu'à 16 % de cette surface côté sud au profit de zone semi- arides et désertifiées (climat BS) (Vennetier, 2020). De ce fait, il s'agit d'étudier les potentiels d'adaptation au climat méditerranéen tempéré mais également au climat semi-aride (Cui *et al.*, 2021).

Pour s'adapter au mieux aux conséquences du changement climatique, des réflexions autour de la gestion de la ressource en eau à l'échelle des territoires apparaissent comme primordiales. Certain.es agriculteur.rices se tournent vers de nouvelles variétés et d'autres espèces plus adaptées aux évolutions climatiques mais aussi des associations de cultures (Barbier *et al.*, 2016). D'autres études portent sur la capacité de rétention d'eau et de maintien de la fertilité du sol grâce à une couverture de sol permanente (paillage, engrais verts..). Ces pistes d'adaptation combinent à la fois des stratégies low-tech et high-tech avec notamment des suivis et sondes pour irriguer de façon plus efficiente. Cependant, ces solutions ne sont pas suffisantes pour faire face aux autres enjeux développés précédemment. Diversifier ses productions et repenser les systèmes maraîchers biologiques dans leur ensemble semblent être des pistes à étudier. Parmi elles, l'agroforesterie pourrait être un outil pour l'adaptation au changement climatique et pour l'augmentation de la résilience économique des exploitations (Touili *et al.*, 2023).

B. Le maraîchage agroforestier et le projet ALMANAC

1. Qu'est-ce que l'agroforesterie ?

L'agroforesterie est définie comme l'association entre des arbres et des productions agricoles sur une même surface (Dupraz, Liagre, 2011). Selon les productions agricoles, différents termes peuvent être employés pour décrire ces systèmes : agrosylvicoles pour les arbres et les cultures, sylvopastoraux pour les arbres et l'élevage et les systèmes agrosylvopastoraux (arbres, cultures et élevage) (Dupraz, Liagre, 2011). L'agroforesterie n'est pas un concept récent, des traces d'agroforesterie à l'Antiquité ont été retrouvées. Autrefois omniprésents dans les paysages agricoles, les systèmes

agroforestiers traditionnels en climat tempéré étaient multiples et intégraient le maraîchage de diverses façons : *coltura promiscua* originaire d'Espagne et développée en région méditerranéenne (arboriculture et maraîchage ou céréales), joualles (maraîchage et vigne sur fruitiers) et vergers-maraîchers (arboriculture et maraîchage) (Smith, 2010). L'agrandissement et la spécialisation des exploitations, le remembrement et la révolution verte d'après-guerre ont mené à une disparition progressive de l'agroforesterie en France. A partir des années 90, l'intérêt pour ces systèmes émerge de nouveau notamment du côté de la recherche afin d'établir des références techniques et scientifiques agroforestières jusqu'alors inexistantes en climat tempéré (Dupraz, Liagre, 2011).

2. Potentiels de l'agroforesterie

L'implantation d'arbres dans les systèmes agricoles entraine des interactions en lien avec les ressources lumineuses, hydriques et nutritives. Ces interactions sont appréhendables indirectement par l'agriculteur.rice de la conception du système (topographie, pédologie, essence, densité de peuplement, orientation...) à son pilotage (conduite des arbres, gestion du linéaire sous arboré…). Si ces aspects sont intégrés de façon optimale, ceux-ci peuvent mener à une relation complémentaire entre arbres et cultures caractérisées par des mécanismes de facilitation. En revanche, dans certains cas, les arbres et les cultures entrent en compétition pour les ressources. Le bilan entre compétition et facilitation au sein des systèmes agroforestiers, c'est-à-dire des interactions entre les systèmes racinaires et aériens des arbres et des cultures, définit la performance et la rentabilité du système (Dupraz, Liagre, 2011).

D'un point de vue économique, l'agroforesterie implique une diversification de la production qui s'associerait à une limitation des risques financiers en cas de hausses des prix agricoles ou forestiers. Au-delà de cette potentielle plus-value économique, la présence d'arbres pourrait apporter des bénéfices aux systèmes de culture notamment à travers la modifications des conditions microclimatiques. En effet, l'ombrage et le microclimat créé pourraient permettre de limiter l'impact des phénomènes extrêmes sur les cultures et par conséquence, d'augmenter la résilience du système (Quinkenstein *et al.*, 2009). Ces modifications localisées permettent aux maraîcher.es de travailler dans de meilleures conditions en période estivale. L'implantation d'arbres dans les systèmes cultivés permet d'augmenter la biodiversité cultivée mais pourrait aussi permettre d'augmenter indirectement la biodiversité associée de l'agroécosystème. Cette augmentation peut être notable du côté des auxiliaires comme du côté des ravageurs (Duprat *et al.*, 2018). Par exemple, Varah *et al.*, (2020) ont observé sur 6 sites expérimentaux (Royaume Uni), 2 fois plus d'abeilles et 2,4 fois plus de bourdons dans des parcelles agroforestières qu'en monoculture. Selon la production agricole en place, ces résultats peuvent avoir un impact positif sur la productivité du système (Varah *et al.*, 2020; Abrol *et al.*,

2019). Les infrastructures agroforestières créent également de nouveaux habitats pouvant servir de refuge, lieu de reproduction et de déplacement pour divers organismes. Ces nouveaux équilibres biotiques restent néanmoins difficiles à appréhender et dépendent de nombreux paramètres qui rendent difficile la généralisation des résultats d'expérimentations (Quinkenstein *et al.*, 2009).

Au niveau pédologique, l'agroforesterie est également susceptible d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. La décomposition des feuilles et des racines des arbres apportent de la matière organique (MO) au sol et stimule l'activité biologique via des organismes détritivores et saproxyliques. La présence de lignes d'arbres non travaillées (végétation herbacée pérenne) couplée aux litières aériennes et souterraines des arbres modifient la dynamique des matières organiques dans les sols et leur capacité à minéraliser des nutriments, stocker du carbone, retenir l'eau et limiter l'érosion (Cardinael *et al.*, 2015). Les arbres constituent un levier agronomique intéressant contre l'érosion des sols (Dupraz, Liagre, 2011). Enfin, les différences de profondeur d'enracinement des arbres matures et des cultures permettraient de faciliter le partage des ressources hydriques et nutritives. Cet aspect, difficile à étudier demeure pour le moment plutôt théorique. En pratique, les producteur.rices peuvent observer dans certains cas une compétition entre les arbres et les cultures pour les ressources (Léger *et al.*, 2019). L'agroforesterie semble être un levier agronomique intéressant pour répondre aux enjeux d'adaptation au changement climatique mais aussi de conception de systèmes de culture résilients. Cependant, la complexité des interactions arbres/cultures rend difficile la prise de recul et l'acquisition de connaissances robustes sur le sujet. Cela montre l'importance de déployer plus de recherches pour mieux appréhender ces interactions et pouvoir ensuite accompagner les agriculteur.ices dans l'installation et la mise en place de projet agroforestier.

3. Le projet ALMANAC

Le projet ALMANAC (Accompagner le Maraîchage Agroforestier par une Approche Collaborative) est un projet multi acteurs de recherche participative dont l'objectif vise à améliorer les connaissances sur les interactions entre arbres et productions maraîchères afin de proposer des pistes de réflexion pour la conception et la gestion de systèmes agroforestiers maraîchers méditerranéens. Il est porté par un partenariat entre AGROOF, ADAF, GRAB, GR CIVAM PACA, SUPAGRO, et est soutenu financièrement par la fondation de France de 2023-2025. Pour répondre à son objectif, le projet se base d'une part sur la mise en réseau de conseillers et maraîchers pour l'échange de techniques et de savoirs faires, et d'autre part, sur l'expérimentation agronomique participative de plein champ. Sur ce dernier point, en raison de la large diversité spécifique et variétale proposée par le maraîchage, l'étude des systèmes maraîchers-agroforestiers est un vaste sujet. Si de précédents projets (ARBRATATOUILLE, SMART…) ont apporté des éclairages sur certaines espèces, il reste un travail conséquent pour traiter

l'ensemble des espèces communément cultivées. Cette année, en accord avec les plans de cultures des maraîcher.es des sites pilotes du projet et du temps disponible, cinq espèces ont été suivies : la pomme de terre, l'oignon, la laitue, le pois et le haricot. L'attention de la présente étude est majoritairement portée sur la pomme de terre puisque cultivée sur les trois sites pilotes à la même période et sur des relativement grandes surfaces.

C. La pomme de Terre en système agroforestier

1. Impacts de l'agroforesterie sur le microclimat

Le microclimat caractérise un « ensemble des conditions climatiques d'un espace homogène très restreint et isolé de son environnement général » (Larousse, 2023). Il est défini par plusieurs paramètres tels que le rayonnement, la température et l'hygrométrie, facteurs primordiaux à la production végétale. En second lieu, la pluviométrie, la force et la direction du vent jouent un rôle aussi important dans la définition du microclimat d'un milieu puisqu'ils impacteront directement ou indirectement les facteurs précédemment cités. L'introduction d'arbres dans les parcellaires modifie les conditions microclimatiques et par conséquent peut impacter les performances agronomiques des cultures sous-jacentes (Sinoquet *et al.*, 2007). Les effets liés au microclimat sont la résultante de la structure du système agroforestier – âge, espèce, conception, ouverture du milieu, orientation des rangs, végétation etc. – dont certaines peuvent être modifiées et contrôlées**.** En climat méditerranéen, les microclimats créés par les systèmes agroforestiers pourraient permettre de tamponner les fortes variations climatiques et par conséquent limiter les stress thermiques et hydriques subis par les cultures (Quinkenstein *et al.*, 2009). Par exemple, les expérimentations menées à Vézénobres (Gard, France) dans le projet ARBRATATOUILLE (Action coordonnée par AGROOF), entre les étés 2016 et 2019 sous des noyers hybrides ont montré qu'au midi solaire (14h) l'écart de températures entre le plein soleil et les arbres élagués est de 3,9°C en moyenne et de 1,5°C sous des arbres en taille têtard. De même pour l'humidité relative pour laquelle on observe un écart d'entre +3,8 à +5,6% selon les modalités (Martin-Chave *et al.*, 2021). En revanche, la nuit, les modalités agroforestières sont plus sèches. Les infrastructures agroforestières semblent effectivement tamponner les températures et humidités extrêmes. Cela est d'ailleurs confirmé par Karvatte *et al.* (2020) dans une étude réalisée au Brésil dans laquelle ils montrent que ces phénomènes de tampons climatiques s'observent selon les mêmes modèles au cours des saisons. De leur côté, Ramananjatovo *et al.* (2021) ont mis en exergue un gradient d'écart de température et d'humidité de l'air dans un verger maraîcher de pommiers : les mesures réalisées (en été et automne) au plus proche des arbres étaient les plus différentes de celles en plein soleil au centre de la parcelle avec des écarts de températures de -1 à 1,5°C entre 10h et 16h

et jusqu'à +2°C entre 16h et 18h. Le même phénomène est observé pour l'humidité relative (Ramananjatovo *et al.*, 2021).

2. Réponses écophysiologiques des cultures aux modifications microclimatiques

Les modifications microclimatiques impactent les cultures intercalaires. Les résultats obtenus sur les réponses écophysiologiques de cultures agroforestières en climat tempéré sont principalement issus de systèmes associant arbres et grandes cultures céréalières, et peu de références existent sur les systèmes associant arbres et cultures maraîchères. Néanmoins, et d'après le travail de synthèse bibliographique de Jose *et al.* (2004) sur les systèmes agroforestiers tempérés, la compétition en eau semble être le facteur le plus incriminé dans les pertes de productivité des systèmes agroforestiers tempérés. La compétition lumineuse, quoique plus facilement gérable est, elle aussi, responsable d'une baisse des performances agronomiques des cultures, notamment à travers la diminution de l'activité photosynthétique. Dans leur méta-analyse, Laub *et al.* (2021) démontrent qu'une réduction importante du rayonnement transmis diminue les rendements de tout type de cultures. En revanche, le taux à partir duquel une diminution est observée varie selon les cultures et même selon les variétés. Pour le maraîchage, il existe une large palette de réponses possibles. Le projet ARBRATATOUILLE a permis de montrer que, dans le contexte de l'exploitation, la présence d'arbres intra parcellaires pouvait induire une forte compétition sur la production de tomates pour des niveaux d'ouvertures de canopée inférieure à 40%. Au-delà de ce niveau, la productivité de tomates se maintient par rapport au témoin avec des tomates présentant moins de défauts et par conséquent une meilleure qualité commerciale (Béral *et al.*, 2019). Dans leur étude**,** Ramananjatovo *et al (*2021) concluent que la productivité du radis entre les rangs de pommiers augmente sur les planches de culture plus proches des arbres tandis que celle de la carotte est plus élevée à distance de ceux-ci. Par ailleurs, pour certaines espèces, la réduction de lumière transmise induit une modification du développement et de l'activité photosynthétique sans pour autant impacter le rendement final. Par exemple pour le poivron, au-delà de 25% de réduction du rayonnement, le nombre de fruits diminue mais chaque individu récolté est plus imposant ce qui compense la perte de quantité (López-Marín *et al.*, 2012). Il est également possible que les variétés d'une même espèce n'aient pas la même réponse à l'ombre : Habib *et al.* (2020) met en exergue le fait qu'au Bangladesh une variété d'Amaranthe est plus adaptée aux conditions agroforestières qu'une autre qui perd en rendement et en qualité lorsqu'elle est cultivée à l'ombre.

Avec la diversité de réponses possibles des cultures maraîchères en fonction des espèces, des variétés et du contexte, de nombreux projets de recherche émergent portés par des organismes divers comme cela est le cas avec ALMANAC et l'étude de la pomme de terre.

3. *Caractéristiques essentielles de la pomme de terre*

Bien que la pomme de terre se caractérise par une grande diversité de débouchés et types de cultures, dans ce rapport seules les cultures de pommes de terre alimentaires de conservation sont étudiées.

La pomme de terre (*Solanum tuberosum)* est une espèce herbacée, vivace par ses tubercules mais cultivée en annuelle de la famille des Solanacées. Sa reproduction est majoritairement végétative (tubercules) et rarement sexuée du fait que, selon les variétés et les conditions du milieu, la floraison n'a pas toujours lieu, de même pour la fructification. Ainsi, la culture de la pomme de terre est réalisée à partir de tubercule-mère germé planté en pleine terre. Après le développement et la croissance de l'appareil foliaire, une floraison peut avoir lieu. En parallèle, la plante atteint un stade clé : la tubérisation. Cette étape apparaît plus ou moins tôt selon la précocité de la variété et des conditions du milieu. Cette phase est induite par l'arrêt de l'élongation des stolons, puis une ébauche des tubercules se forme par croissance radiale du premier entre nœud situé au-dessous du bourgeon apical (Rousselle, 1996). Le tubercule gagne ensuite en volume par accumulation de grains d'amidon et d'eau dans ses tissus. La formation de l'ébauche des tubercules a lieu le plus souvent dans un délai court de 1 à 2 semaines : tous les tubercules ont alors sensiblement le même âge. Les différences observées à la récolte sont dues à la compétition inter & intra-plantes. La croissance de la plante est arrêtée au moment de la tubérisation mais se poursuit parfois après selon la variété, la photopériode, la température ou l'alimentation hydrique (Ellissèche, 1996). La tubérisation et la croissance sont des phénomènes antagonistes régis par des flux hormonaux influencés par la photopériode et les températures. Après cette phase, les tubercules grossissent jusqu'à l'entrée en sénescence de la partie aérienne de la plante. A partir de ce moment-là, le tubercule entre dans sa phase de maturation (Rousselle, 1996).

Au niveau des besoins en eau, la pomme de terre est sensible au stress hydrique. Son système racinaire est superficiel et la majorité des prélèvements se réalisent à 40 cm de profondeur. La phase d'initiation des tubercules (souvent à la floraison) puis celle du grossissement de ceux-ci sont deux périodes critiques. Si la plante est en stress hydrique, la plante n'effectue plus la photosynthèse à son potentiel maximum ce qui peut contribuer à baisser le rendement (Rousselle, 1996).

4. *Réponses écophysiologiques de la pomme de terre aux modifications microclimatiques*

Peu d'études existent sur la pomme de terre cultivée en agroforesterie en climat tempéré. En revanche, les impacts de l'augmentation des températures et d'un ombrage artificiel sur la croissance, le développement et le rendement de la pomme de terre sont plus documentés. La pomme de terre

est considérée comme une plante tolérante à l'ombrage puisque sa fixation du carbone en C3 lui permet de survivre à des conditions d'éclairement modérés (Mariana, Hamdani, 2016). Le rendement de la pomme de terre est déterminé par la durée de ses phases de croissance. La lumière jouant un rôle clé dans la croissance de la plante, le rendement est réduit par l'ombrage et par la baisse d'éclairement solaire (Kooman *et al.*, 1996).

Au niveau de la croissance, l'étude réalisée par Weselek *et al.* (2021) dans un système d'ombrage agrivoltaïque montre que la taille des plants de pommes de terre est plus importante sous les panneaux solaires avec une réduction de rayonnement reçu de 30%. Cela est aussi observé dans l'expérimentation de Schulz *et al.* (2019) (Allemagne) qui visait à caractériser les performances agronomiques de pommes de terre sous un ombrage artificiel avec des taux d'ombrage de 12, 26 et 50% d'ombrage. A partir de 26% d'ombrage, les plantes étaient significativement plus hautes que celles du témoin (Schulz *et al.*, 2019). De même dans une étude plus ancienne (2013) en Egypte, où les plants de pommes de terre cultivés sous filets colorés étaient plus grands que ceux de plein soleil (Abdrabbo *et al.*, 2013). Ce phénomène illustre une stratégie d'évitement de l'ombrage : la plante croît pour atteindre plus de lumière. Cela stimule la plante et cette élongation lui permet de capter plus de rayonnement lumineux (Li *et al.*, 2012). Le développement de la pomme de terre est aussi impacté par l'ombrage. La floraison tend à apparaître plus tardivement dans les modalités ombragées. Dans ces modalités, la sénescence de la partie végétative semble aussi débuter quelques jours après celle des modalités témoins à des taux d'ombrage supérieur à 30% (Weselek *et al.*, 2021; Schulz *et al.*, 2019). En revanche, d'après Weselek *et al.* (2021) ces différences de stades phénologiques ne sont plus visibles à la récolte.

La tubérisation est le stade le plus important du développement de la pomme de terre. Cette étape est régie par des facteurs environnementaux, génétiques et par l'état nutritif de la plante. La tubérisation est favorisée par des températures basses (optimum 15-20°C) et des jours courts (photopériode basse), elle peut être inhibée par des températures trop élevées et des jours longs contrairement au développement de la partie aérienne de la plante (optimum de croissance des feuilles à 25°C) (Dutt *et al.*, 2017; Rousselle, 1996). D'après Chen (2003), l'ombrage diminue le nombre de cellules au moment de l'initiation des tubercules mais également au moment du remplissage de ceux-ci avec une multiplication cellulaire ralentie ce qui pourrait impacter négativement le rendement.

Concernant celui-ci, une étude de Rykaczewska (2015) montre que des températures élevées combinées à une période de sécheresse réduit de 24% le rendement. L'ombre réduirait également le rendement : d'après Schulz *et al.* (2019) les taux d'ombrage de 26 et 50% impliquent une baisse significative du rendement ce qui est aussi le cas dans l'étude de Weselek *et al.* (2021) avec un taux d'ombrage de 30%. Ils font l'hypothèse que le critère principal pour obtenir un rendement optimal est

d'atteindre le point de saturation lumineuse permettant une photosynthèse maximale, point rarement atteint selon eux lors de cultures sous ombrage en milieu tempéré (Schulz *et al.*, 2019).

Le nombre de tubercules peut aussi diminuer avec des taux d'ombrage élevé : jusqu'à 53% avec un taux d'ombrage de 50% (Schulz *et al.*, 2019). Par ailleurs, un état hydrique du sol satisfaisant permettrait d'augmenter le nombre de tubercules (Rykaczewska, 2015). Au-delà du nombre de tubercules, les modifications microclimatiques impactent également la taille des tubercules. Une proportion plus importante de gros tubercules (>50 mm) s'observe sur les parties cultivées en plein soleil ce qui consolide les résultats de Chen (2003) quant à la tubérisation (Schulz *et al.*, 2019; Weselek *et al.*, 2021). La baisse de rendement en masse peut donc s'expliquer par de plus petits tubercules. D'après Weselek *et al.* (2021), l'ombrage favoriserait les calibres moyens (35-50mm) ce qui peut être un avantage commercial puisque ce calibre est le plus recherché.

Les variations de rayonnement transmis (modifié par l'ombrage) et de température semblent être des facteurs primordiaux dans la croissance et la construction du rendement. En revanche, en agroforesterie d'autres facteurs encore peu étudiés peuvent influencer les performances agronomiques de la pomme de terre (vent, partage des ressources en eau et nutriment du sol…). De plus, Gervais *et al.* (2021) et Pantelić *et al.* (2018) soulignent la variabilité de réponses possibles selon les variétés et les génotypes quant à la tolérance à l'ombrage mais aussi à la résistance aux températures élevées.

Ainsi au regard du contexte précédemment évoqué mais aussi pour accompagner au mieux les agriculteur.rices de la région méditerranéenne, des références locales sont nécessaires pour faciliter la conception et la gestion de systèmes maraîchers agroforestiers. Pour ces raisons, la présente étude vise à appréhender, **dans quelles mesures le microclimat créé par les arbres impacte-t-il les performances agronomiques des pommes de terre cultivées en systèmes maraîchers agroforestiers méditerranéens.**

III. MATERIEL ET METHODES

A. Caractéristiques générales des sites d'étude et matériel biologique

L'expérimentation du projet ALMANAC prend place sur 3 sites pilotes : Les Terres de Roumassouze à Vézénobres dans le Gard (30), La Durette à Avignon et La Ferme du Colibri au Thor dans le Vaucluse (84). Leurs caractéristiques principales sont synthétisées dans le Tableau 1.

1. *Ferme du Colibri, Le Thor (84)*

L'exploitation, certifiée en agriculture biologique, s'étale sur 1,5 ha dont 9300 m² en maraîchage biologique, 1200m² d'arboriculture, 200 m² de tunnel froid. Les arbres fruitiers – figuiers, pommiers, poiriers – sont implantés depuis 2012 en rangs intra-parcellaires de 80 à 100 m de long avec une largeur inter rang de 12m et une distance entre 7 et 10 m entre chaque arbre. Des haies multi espèces – noisetiers et pruniers myrobolans - ont également été plantées la même année en alternance avec les rangs de fruitiers. L'orientation des rang est Est-Ouest pour limiter les effets du vent (zone de mistral, vent du Nord) (Figure 1). Les planches sont localisées à 46 m d'altitude, l'accès à l'eau est réalisé par forage. Le sol est léger, limono-sableux et calcaire avec un pH de 8,5 en 2018 pour un taux de matière organique de 4,7%. Les sols sont maintenus couverts ou enherbés toute l'année.

L'expérimentation a lieu dans un système agroforestier composé d'une planche maraîchère de pommes de terre (variétés Maïwen et Désirée) de 13 buttes, avec au Nord une haie multi espèce brise vent et au Sud d'un rang de figuiers et poiriers espacés de 7 m.

Figure 1 : Photographie aérienne de la ferme du Colibri et de la parcelle étudiée. Echelle 1:1000. Le Thor (84)

2. *Ferme de la Durette, Avignon (84)*

La Ferme de la Durette est une ferme pilote de vergers-maraîchers certifiée en agriculture biologique située en zone périurbaine d'Avignon. Les fruitiers ont été plantés à partir de 2013 et le

premier agriculteur s'est installé en 2016. Aujourd'hui, la ferme est dirigée par 3 producteurs qui travaillent aux côtés des chercheur.ses du Grab et de leurs partenaires. La Durette s'étend sur une SAU de 4,2 ha dont 1,5 ha de maraîchage (1 ha de légumes de plein champ, 3500 m² d'engrais vert et 1500 m² de tunnels) avec une trentaine d'espèces cultivées. La surface occupée par les arbres est de 1,43 ha avec 476 fruitiers – pommiers, poiriers, pruniers, cerisiers, pêchers, abricotiers, plaqueminiers et figuiers – implantés en rang double de 6m de large et 10m pour les planches de légumes. Des haies champêtres sont également présentes sur 1500m linéaire. La ferme est située à 27 m d'altitude. Le sol est limono-argileux avec un taux de matière organique d'environ 2% et un pH de 7-7,5. Les sols sont maintenus couverts ou enherbés toute l'année.

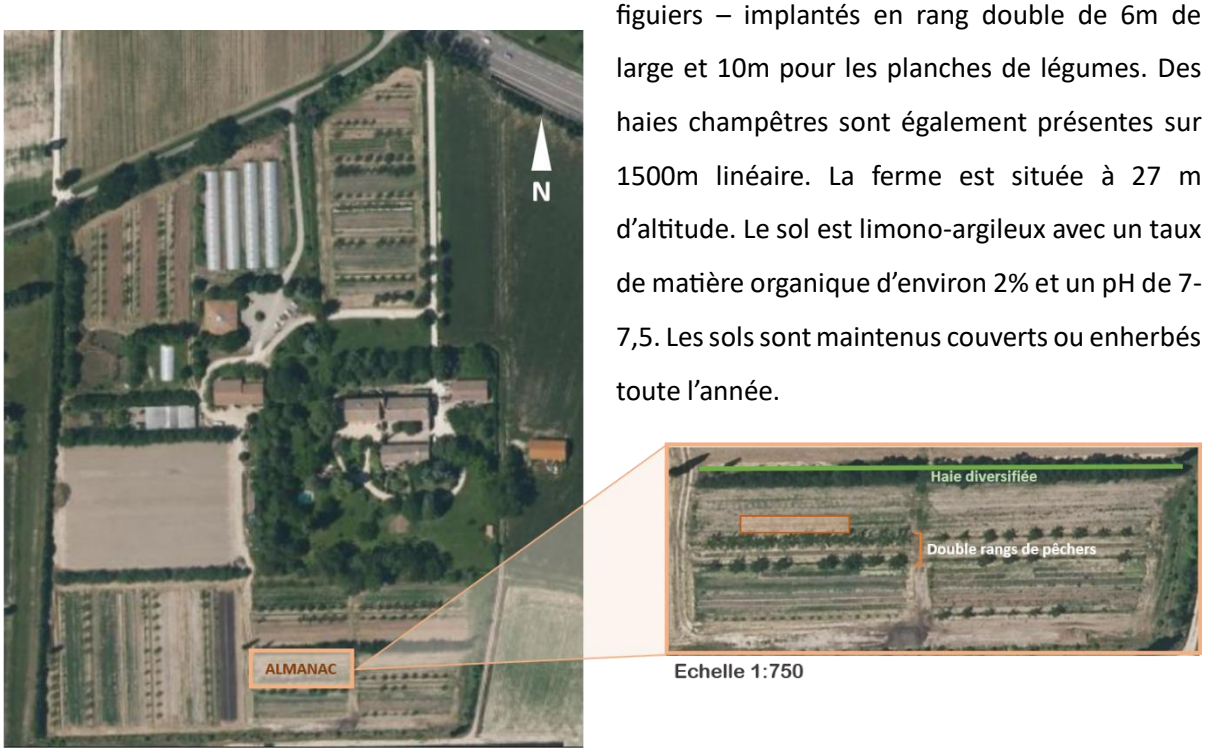


Figure 2 : Photographies aériennes de la ferme de La Durette (Echelle 1:3000) et de la parcelle ALMANAC (Echelle 1:750). Avignon (84).

L'expérimentation a lieu sur un système agroforestier composé d'une planche de pommes de terre (variété Dalida) de 4 buttes, bordé au sud d'un rang de pêchers (*Prunus persica (L.) Batsch*) implanté en double rangs et d'une haie multi espèces brise vent au Nord (Figure 2). Une ligne de lin a été plantée entre la bande enherbée et la première butte de pommes de terre pour tenter de baisser la pression de doryphores.

3. *Les Terres de Roumassouze*

Les Terres de Roumassouze présentent une diversité de peuplements agroforestiers qui avaient été implantés par l'INRAE en 1996 et sont dorénavant gérés par AGROOF. Depuis la fin de l'année 2022, Olivier Gavach et Helena Ménager remplacent Virginie et Denis Flores les maraîcher.es aujourd'hui parti.es à la retraite. La ferme, certifiée en agriculture biologique, s'étale sur 11 ha dont 3 ha de maraîchage en grande partie sous couvert arboré, entre arbres fruitiers, en plein champ et sous serre (Figure 3).

Tableau 1 : Caractéristiques principales des sites d'études

	Site 1 : Ferme du Colibri, Le Thor (84)	**Site 2 : Ferme de la Durette, Avignon (84)**	**Site 3 : Les Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)**
Surface de l'exploitation	1,5ha dont 0,93ha en maraîchage	4,2ha dont 1,5ha en maraîchage	11 ha dont 3ha en maraîchage
Nombre d'exploitant.es	1 UTH	3 UTH fixes + 2 UTH variables (services civiques)	2 UTH + 0,25 UTH pour la taille des arbres
Type de sol	Sol limono-sableux et calcaire Taux de matière organique : 4,7% pH eau 8,5	Sol limono-argileux Taux de matière organique : 2% pH eau 7-7,5	Sol limono-sableux Taux de matière organique : pH eau 8,1
Rotation	3-4 ans	4-5 ans	3-4 ans
Installation AF	Haies : Pruniers myrobolans et noisetiers Rangs de fruitiers Implantation en 12 x 7m	Haies multi espèces Double rang de fruitiers Implantation en 10 x 6m entre les planches et 6x6m entre les rangs d'arbres	Noyers hybrides Haies multi espèces Vergers Implantation en 10 x 10m
Orientation des rangs d'arbres	Est-Ouest	Est-Ouest	Nord-Sud
Objectifs des installations agroforestières	Brise vent Ombrage Diversification	Brise vent Réduction des IFT Production fruitière Diversification	Bois d'œuvre Production fruitière Diversification

Figure 3 : Photographie aérienne de la ferme des Terres de Roumassouze. Echelle 1:5000. Vézénobres (30).

Figure 4 : Photographie aérienne des modalités des Terres de Roumassouze. Echelle 1 :1000. Vézénobres (30)

Le reste de la ferme comprend 4 ha d'un arboretum de feuillus et résineux, 2 ha de fruitiers, 0,5 ha de haies diverses et ripisylves et une surface consacrée à la production de bois d'œuvre (peupliers, paulownias, merisiers, noyers etc.).

Les planches maraîchères expérimentales recouvrent une surface de 4500m² (Figure 4). Les planches sont localisées à 103 m d'altitude, au-dessus d'une nappe alluviale située à 2m de profondeur. Le sol est sablo-limoneux et profond, ce qui favorise l'enracinement des arbres. Il détient un pH de 8, présente un taux de matière organique de 2,5-2,75% et un rapport C/N de 12-13 qui se caractérise par une dégradation rapide de la matière organique.

L'expérimentation a lieu sur un système agroforestier composé de noyers hybrides (*Juglans regia x Juglans nigra*) implantés initialement à 100 tiges/ha (Modalité ELAGUE aujourd'hui 50 tiges/ha) et d'une culture intercalaire de pommes de terre (*Solanum tuberosum)* de la variété Charlotte implantée en planches de 5 buttes orientées Nord/Sud.

L'itinéraire technique mis en place sur les trois sites est synthétisé en Annexe 1.

B. Dispositifs expérimentaux

Le Tableau 2Tableau 2 : Dispositifs expérimentaux mis en place pour les suivis agronomiques. synthétise les dispositifs expérimentaux mis en place pour les suivis agronomiques.

1. *Ferme du Colibri, Le Thor (84)*

- ✓ Suivis agronomiques

Les deux variétés de pommes de terre Maïwen et Désirée sont étudiées indépendamment puisque leur caractéristique et leur précocité sont différentes. D'après les études de sol réalisées en 2018, l'ensemble de la parcelle est globalement homogène.

Pour la variété Maïwen située plus au Nord de la parcelle, l'impact de la compétition avec la haie – de 6m de haut pour les pruniers et 4,5m de haut pour les noisetiers - est étudié avec 4 distances (R1, R2, R4 et R6). L'impact de l'ombre des figuiers et du poirier – de 4 m de haut et de 5m de large en moyenne - situés au Sud de la parcelle est étudié sur la variété Désirée avec un gradient de cinq distances (R12, R10,R7, R5 et R3). La haie peut éventuellement avoir un impact sur les rangs 3 et 5 : cet élément sera

pris en compte lors des analyses (Figure 5). Une zone de parcelle sans arbres située à ~40 m au Sud-Ouest de la parcelle agroforestière est également étudiée pour obtenir des valeurs en plein ensoleillement. Les pommes de terre ont été implantées le 13 mars espacées de 30 cm sur le rang et 60 cm en inter-rangs.

Sur chacun des rangs étudiés 15 individus répartis en 3 placettes de 5 plants consécutifs ont été étudiés.

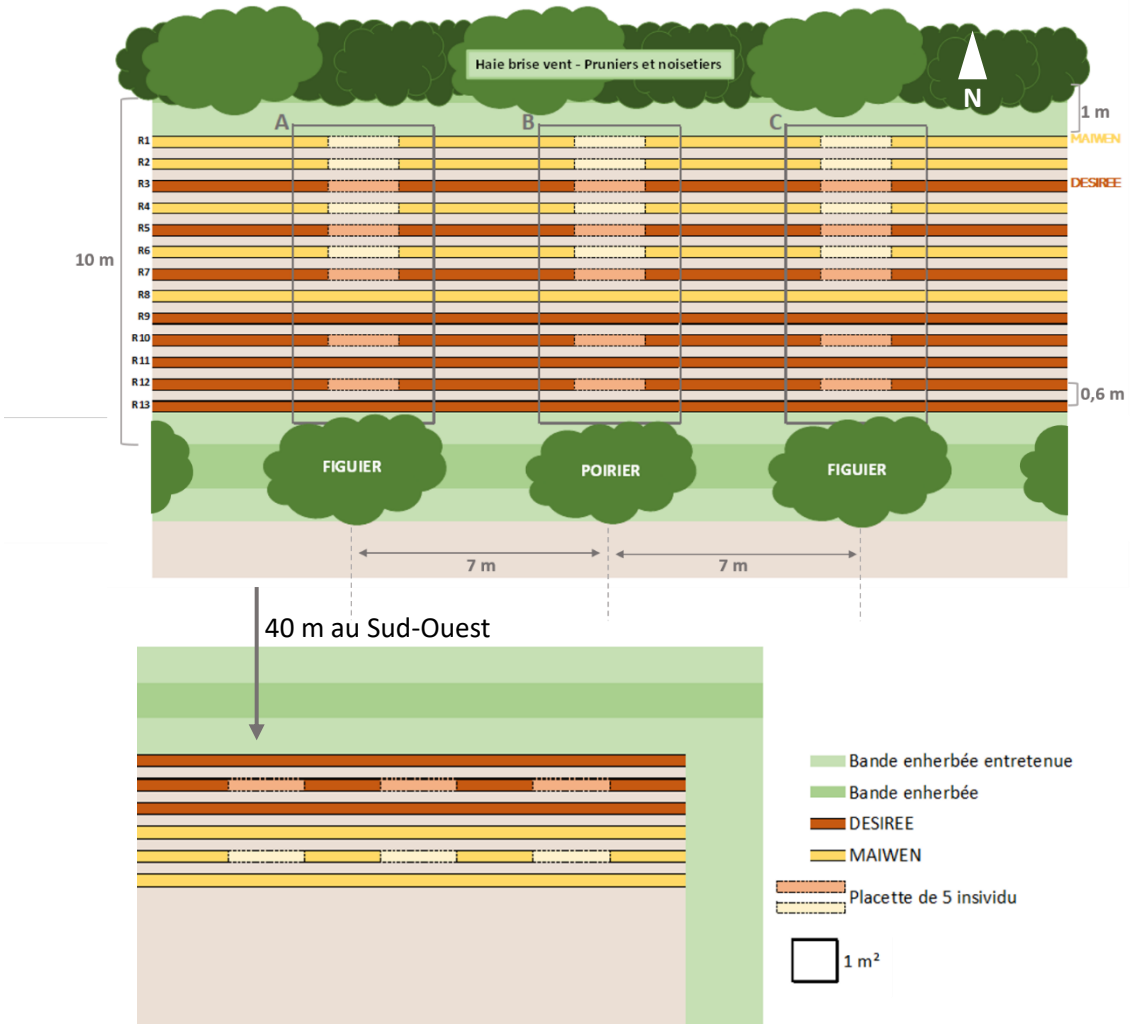


Figure 5 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques - La Ferme du Colibri, Le Thor (84)

- ✓ Suivis microclimatiques

Le dispositif microclimatique est positionné de façon à avoir des variables mesurées à l'ombre des figuiers et du poirier (R12), d'autres au centre de la parcelle agroforestière (R7) et les dernières sur la zone non arborée en plein soleil, avec à chaque fois, trois répétitions (Annexe 3). Les mesures ont été relevées en continu entre le 5 juin et le 7 juillet 2023.

2. *Ferme de la Durette, Avignon (84)*

- ✓ Suivis agronomiques

Sur ce site, les pêchers font en moyenne 3,5m de haut et possèdent un houppier d'environ 5m de large. L'échantillonnage a porté sur un gradient de trois distances aux arbres a été étudié : le rang 2 (R2) situé à 3,60 m des troncs de pêchers – de 3,5m de haut et 5,m de large en moyenne -, le rang 3 (R3) situé à 4,20m des arbres et le rang 4 (R4) situé à 4,80m en plein soleil (Figure 6). Sur chacun des rangs sélectionnés 15 individus répartis en 3 placettes de 5 plants consécutifs ont été étudiés.

Les pommes de terre ont été plantées le 6 mars 2023 espacées de 30 cm sur le rang et 60 cm en inter-rangs.

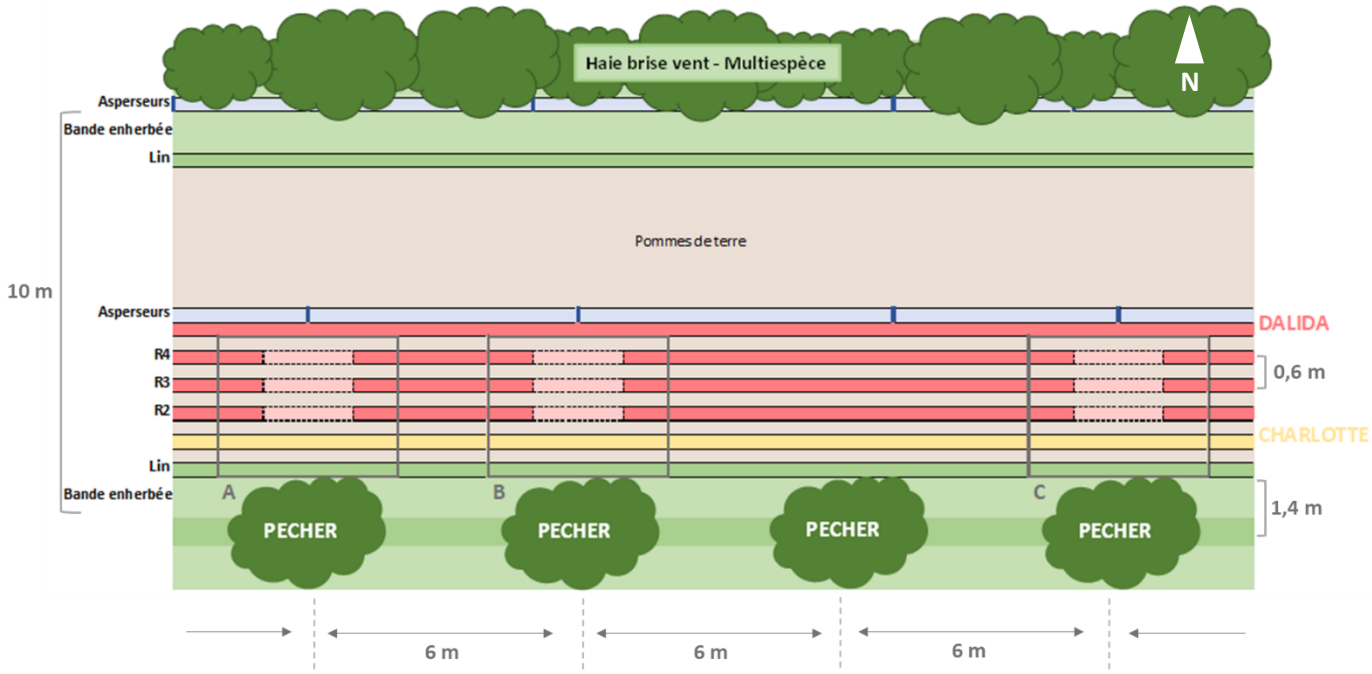


Figure 6 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques – La Durette, Avignon (84)

✓ Suivis microclimatiques

Les suivis microclimatiques ont été réalisés sur le premier (R1) et le quatrième rang (R4) (Annexe 2). Les relevés ont eu lieu entre le 31 mai et le 12 juillet.

3. *Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)*

✓ Suivis agronomiques

Sur cette exploitation, trois modalités dont deux modalités agroforestières ont été étudiées :

- Modalité élaguée (L) présentant des arbres d'en moyenne 20 m de haut, orientés N/S, caractérisés par la taille des charpentes les plus basses et un écartement de 20 x 10 m,
- Modalité têtard (T) présentant des arbres d'en moyenne 13 m de haut, plantés en 10 x 10m, orientés N/S, et dont les houppiers ont été rabattus en 2023 autour des principales branches charpentières,

- La modalité sans arbre plein soleil (C) conduites depuis 2015 de la même manière que les modalités agroforestières.

Bien que des variabilités fines et complexes puissent exister au sein des parcelles de chaque modalité selon les distances aux arbres, seule la comparaison entre les modalités de taille est présentée dans cette étude.

D'après les études de sol réalisées en 2023, l'ensemble de la parcelle est globalement homogène. Ces différentes modalités agroforestières permettent la création d'un gradient d'ouverture de canopée aux conditions microclimatiques et taux de rayonnement transmis spécifiques. L'échantillonnage a été réalisé afin de couvrir l'ensemble des planches. Les trois modalités sont représentées par une planche de culture de 250 m² (10 x 25m) contenant chacune 5 rangs (Figure 7).

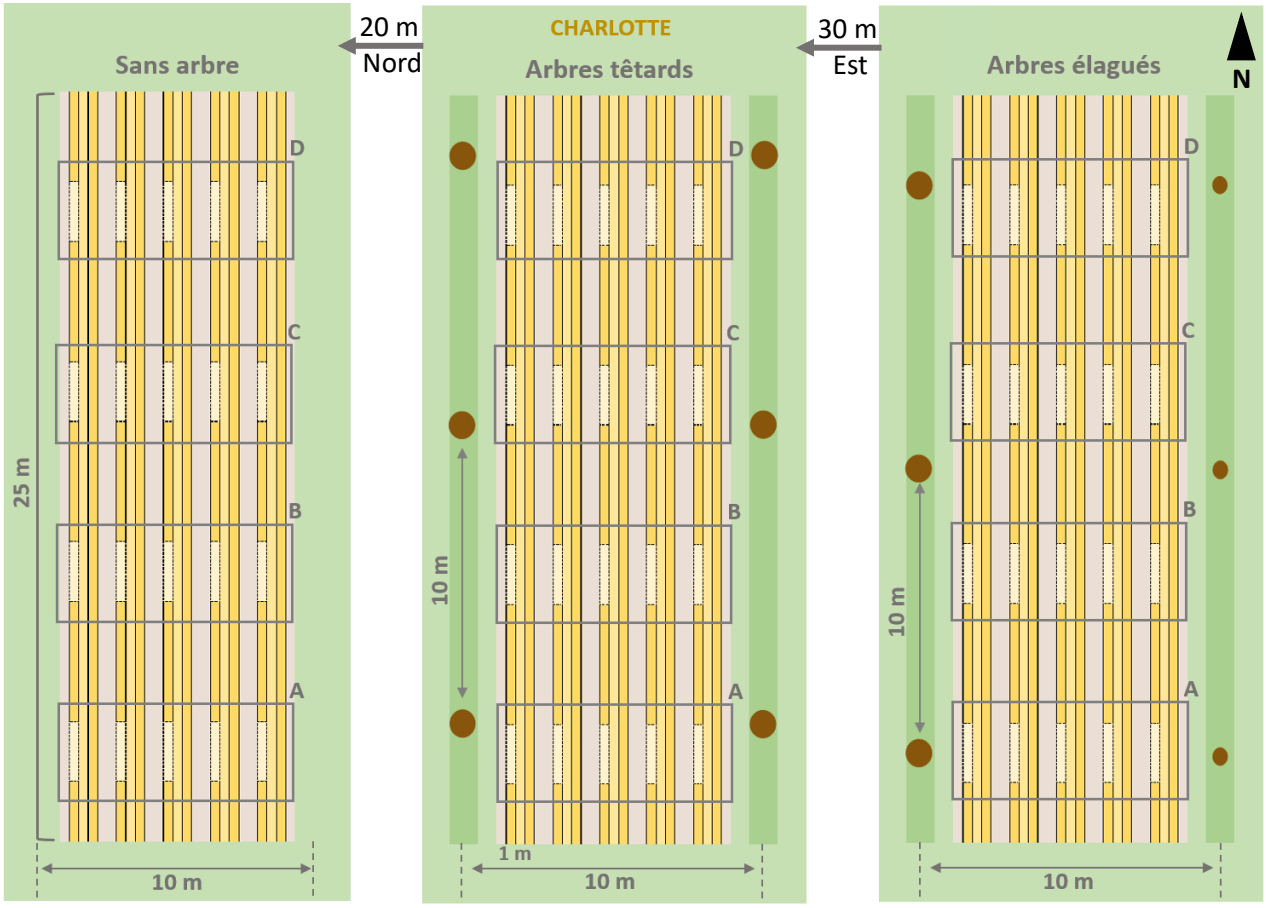


Figure 7 : Dispositif expérimental pour les suivis agronomiques - Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)

Au total, 3 rangs de chaque modalité ont été étudiés. Sur chacun d'eux, les mesures ont été réalisées sur 20 individus répartis sur 4 placettes de 5 plants soit 100 individus par modalité. Les plants sont espacés de 30 cm sur le rang et 60 cm en inter-rangs. Une bande enherbée spontanée est conservée sur les lignes d'arbres. Les tubercules germés ont été mis en terre entre le 6 et 7 avril 2023 sur des buttes de 20cm au couvert hivernal préalablement broyé. Les buttes ont été paillées sur 25cm de hauteur.

✓ Suivis microclimatiques

Les suivis microclimatiques ont été réalisés dans le but d'étudier les différences selon les positions par rapport aux arbres mais aussi selon les modalités (Annexe 4). Pour les modalités ELAGUE et TETARD, les rangs 1, 2 et 5 sont équipés et pour le témoin (CONTROL), les sondes sont placées au rang 3. En raison de la dimension de chacune des modalités agroforestières, il était impossible de prévoir des répétitions de positions par rapport aux arbres. Le choix a donc été fait de choisir plusieurs situations couvrant l'hétérogénéité des modalités. Les mesures ont été réalisées entre le 7 juin et le 10 août 2023.

Tableau 2 : Dispositifs expérimentaux mis en place pour les suivis agronomiques.

	Site 1 : Ferme du Colibri, Le Thor (84)		**Site 2 : Ferme de la Durette, Avignon (84)**	**Site 3 : Les Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)**
Variétés étudiées	Maïwen	Désirée	Dalida	Charlotte
Caractéristiques principales de la variété	Plante de taille moyenne Demi précoce Tubercule oblongue, gros à chair et peau jaunes	Plante haute Moyenne à demi-tardive Tubercule oblongue, gros à chair jaune et peau rouge	Plante de taille moyenne Moyenne à demi tardive Tubercule rond, gros à chair jaune et peau rouge	Plante de taille moyenne Demi précoce Tubercule allongé, moyen à chair et peau jaunes
Rendement potentiel moyen	75 t/ha	59 t/ha	59,5 t/ha	59 t/ha
Méthode	Gradient de 4 points & 1 point en plein soleil 3 répétitions	Gradient de 5 points & 1 point en plein soleil 3 répétitions	Gradient de 3 points dont 1 point en plein soleil 3 répétitions	2 modalités en AF (Elagué et Têtard) et 1 modalité plein soleil. Gradient de 5 points. 4 répétitions
Nombre d'individus étudiés	75	95	45	300
Type d'installation	Haie pruniers – noisetiers 4,5 – 6 m de haut	Figuiers 4x4m et 4x6m Poirier 5,4 x 4 m	Pêchers en double rang – 3,5 x 5,5 m	Noyers hybrides Elagué : ~20 m Têtard : ~13 m
Effet étudié	Distance à la haie	Distance aux arbres	Distance aux arbres	Modalité

Source des rendements potentiels : Fiches techniques Variétés – Résultats pluriannuels (ARVALIS et GEVES, 2016a; 2016b; 2016c; 2016d)

C. Variables d'études

1. *Caractérisation du microclimat et du paysage*

L'évaluation du microclimat est réalisée via la collecte de données atmosphériques (hygrométrie et température) issues d'enregistreurs autonomes VOLTCRAFT © situés sous abri et installées mi-mai. Aux Terres de Roumassouze, pour les modalités ELAGUE et TETARD, deux types de sonde de température/humidité relative ont été placés : des sondes VOLTCRAFT © et une sonde Température/Humidité relative reliée au boitier Pepipiaf. Les résultats entre ces deux types de sondes ont différé aux heures les plus chaudes. Il est possible de suspecter un échauffement des sondes Voltcraft au cours de la journée. Pour l'analyse des résultats, seules les données des sondes Voltcraft ont été conservées pour l'homogénéité entre modalités. Pour le suivi microclimatique, les mesures de températures et humidités ont été collectées sous des abris non standardisés. Malgré toutes les précautions (matériau utilisé, protection pour éviter l'échauffement) il est possible que les résultats soient surévalués. Après comparaison avec des stations météorologiques (Avignon (84) et Saint-Hilaire-de-Brethmas (30) - (InfoClimat, 2023a; 2023b)), une dérive, de +1°C en moyenne pour les températures minimales et de +2°C en moyenne pour les maximales (jusqu'à 4°C les jours les plus chauds sur le site des Terres de Roumassouze) est observée avec en cause un échauffement des sondes en journée. Les valeurs absolues sont par conséquent considérées avec du recul.

Des capteurs de Rayonnement Photosynthétiquement Actif (PAR), des anémomètres, pluviomètres et tensiomètres à deux profondeurs (20 et 40cm) ont également été mis en place reliés à des boîtiers autonomes PEPIPAF. L'ensemble des capteurs ont été placés à 0,8 m de haut et ont enregistré les données atmosphériques toutes les 10 minutes jusqu'à la fin de l'expérimentation. Le PAR désigne le rayonnement dont les longueurs d'ondes sont comprises entre 400 et 700 nm, autrement dit les longueurs d'onde pouvant être utilisé dans l'activité photosynthétique des plantes (McCree, 1981).

L'ouverture de canopée des arbres a été mesurée sur le site de La Durette, pour compenser l'absence de données des capteurs de PAR endommagés par des vents violents, et aux Terres de Roumassouze puisque les dimensions des arbres ferment plus ou moins le milieu selon les modalités. Les photographies ont été prises au niveau de chaque placette de cultures à 1 m de haut avec un objectif hémisphérique (Fish Eye) après le coucher du soleil en juillet, lorsque les arbres étaient à pleine feuille. Ces photographies ont ensuite été traitées par le logiciel CANEYE.

2. *Croissance et développement*

A partir du 20 avril à la ferme du Colibri, du 10 mai aux Terres de Roumassouze et du 17 mai à la ferme de La Durette, les plants de pommes de terre de l'ensemble des sites expérimentaux ont été suivi toutes les deux semaines jusqu'à l'entrée en sénescence des plants. Le suivi précédant ce stade

est considéré comme le stade de fin de croissance : les plants ont atteint leur taille maximum. Pour chaque individu, sont relevés à chaque passage, le stade phénologique () (Hack, 1993), les diamètres (cm) des plants, la hauteur (cm) de la tige la plus haute et le nombre de tiges.

A chaque passage une note sur l'état sanitaire de l'ensemble de chaque plant a été attribuée avec, si le plant est endommagé, la cause du/des dégâts.

Une fois dans l'expérimentation, au stade pleine floraison (fin mai-début juin) la masse surfacique (LMA, Leaf Mass per Area) et la teneur en matière sèche de la 3ème feuille de la tige principale de chaque plant étudié a été calculée. Cet indicateur de croissance mesuré en g.cm^{-2} (ou g.m^{-2}) est le rapport entre la masse sèche d'une feuille par rapport à sa surface. En d'autres termes, la masse foliaire par surface (LMA) mesure l'investissement en masse sèche des feuilles par unité de surface foliaire interceptant la lumière déployée. Les feuilles ayant une LMA élevée ont un limbe plus épais ou des tissus plus denses, ou les deux (Wright *et al.*, 2004).

3. Production et valeur commerciale

Au moment de la récolte, la production brute et nette (production commercialisable) de chaque individu est évaluée. Pour chaque individu suivi, les tubercules ont été comptés et les tubercules non-commercialisables retirés. Les tubercules de chaque individu ont été calibrés. Les critères de sélection sont tirés de la NORME CEE-ONU FFV-52 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des POMMES DE TERRE PRIMEURS ET POMMES DE TERRE DE CONSERVATION ÉDITION 2017 (CDEE, 2018). Le calibrage des pommes de terre est le résultat d'une simplification de la norme CEE-ONU FFV-52 et des échelles de calibrage d'expérimentations conduites par Arvalis annuellement sur les variétés de pommes de terre (CDEE, 2018; GRAVOUEILLE *et al.*, 2016). Cette échelle a été simplifiée pour des raisons de temps de travail et de praticité à la récolte. L'échelle choisie comporte ainsi 4 classes de diamètre :

- <35 mm (les pommes de terres <18mm sont déclassées)
- 35-45 mm
- 45-55 mm
- >55 mm

Le tableau en

Annexe 6 synthétise les variables mesurées et étudiées.

4. Méthodes de traitement statistique

Chaque site pilote a été analysé indépendamment. Les résultats obtenus pour chaque variable ont été comparés entre eux d'après leur distance à l'arbre ou leur modalité. Les conditions d'application des tests paramétriques ont été contrôlées. La normalité des données et des résidus a été vérifiée

graphiquement et en cas de doute, grâce au test de Shapiro-Wilk, avec un risque α fixé à 5%. L'homogénéité des variances a été vérifiée graphiquement et en cas de doute, grâce au test du Khi² de Bartlett, avec un risque α fixé à 5%. Les variables pour lesquelles des p-values > 0,05 ont été obtenues pour ces deux tests, respectent les conditions d'application de tests paramétriques. Dans ce cas, un test ANOVA à 1 facteur (α = 5%) suivi d'un test de Tukey (α = 5%) ont été effectués, afin de déterminer les différences significatives entre les moyennes des groupes. En cas de non-normalité, le test non paramétrique de Kruskal Wallis (α = 5%) suivi du test de Dunn (α = 5%) ou de Wilcoxon (α = 5%) ont été appliqués. Des régressions linéaires ont été réalisées, pour le site des Terres de Roumassouze, pour étudier la corrélation entre l'ouverture de canopée et certaines variables (hauteur et production brute).

.

IV. RESULTATS

A. Ferme de La Durette

1. *Caractérisation du microclimat*

Ouverture de canopée – Les pourcentages moyens d'ouverture de canopée sont significativement différents entre les trois rangs (R2 < R3 < R4) avec des valeurs d'ombrage respectives d'environ 20%, 18% et 16% soit une amplitude 4 % entre le premier et le dernier rang étudié (Tableau 3). Cette faible différence est due à la hauteur des pêchers (3,5m en moyenne) et à la distance à laquelle les individus ont été étudiés. Les deux premiers rangs de la parcelle étant dédiés à du lin et une autre variété de pommes de terre, le Rang 2 était déjà situé à 3,6 m des arbres fruitiers.

Tableau 3 : La Durette - Ouvertures de canopée moyenne par rang. ANOVA 1. Test de Tukey. α = 5% . p-value = 6.21x10-5. Moyenne ± écart-type

Distance	R2	R3	R4
% d'ouverture de canopée	**79,19** ± 0,45 **(a)**	**81,99** ± 0,57 **(b)**	**84,31** ± 0,54 **(c)**

Température et humidité relative – Les températures moyennes journalières mesurées sur la période de juin à mi-juillet 2023 sont similaires. La température maximum moyenne est légèrement supérieure pour le rang 4 (Tableau 4). Les différences mesurées s'observent surtout au niveau des moyennes horaires (Figure 8). Bien que les intervalles de confiance (à 95%) se superposent, les températures du Rang 1 sont inférieures à celles du Rang 4 de plus d'1°C aux heures les plus chaudes (entre 10h et 14h). Le phénomène inverse se produit en soirée et la nuit avec des températures au Rang 1 jusqu'à 0,8°C supérieures au Rang 4. Concernant l'humidité, peu de différences sont remarquables qu'ils s'agissent des températures moyennes journalières ou horaires : les écarts entre les rangs sont faibles et les intervalles de confiance importants.

Tableau 4 : La Durette – Températures (°C) et humidités relatives (%) journalières moyennes par rang. Moyenne ± écart-type

	TEMPERATURE (°C)			HYGROMETRIE RELATIVE (%)		
	Moyenne	*Max*	*Min*	*Moyenne*	*Max*	*Min*
R1	23,94 ± 5,90	32,44 ± 3,58	16,70 ± 2,50	70,50 ± 21,40	94,63 ± 10,31	42,31 ± 9,99
R4	23,91 ± 6,28	33,90 ± 3,22	16,20 ± 2,46	71,32 ± 21,76	95,26 ± 9,69	40,98 ± 9,93

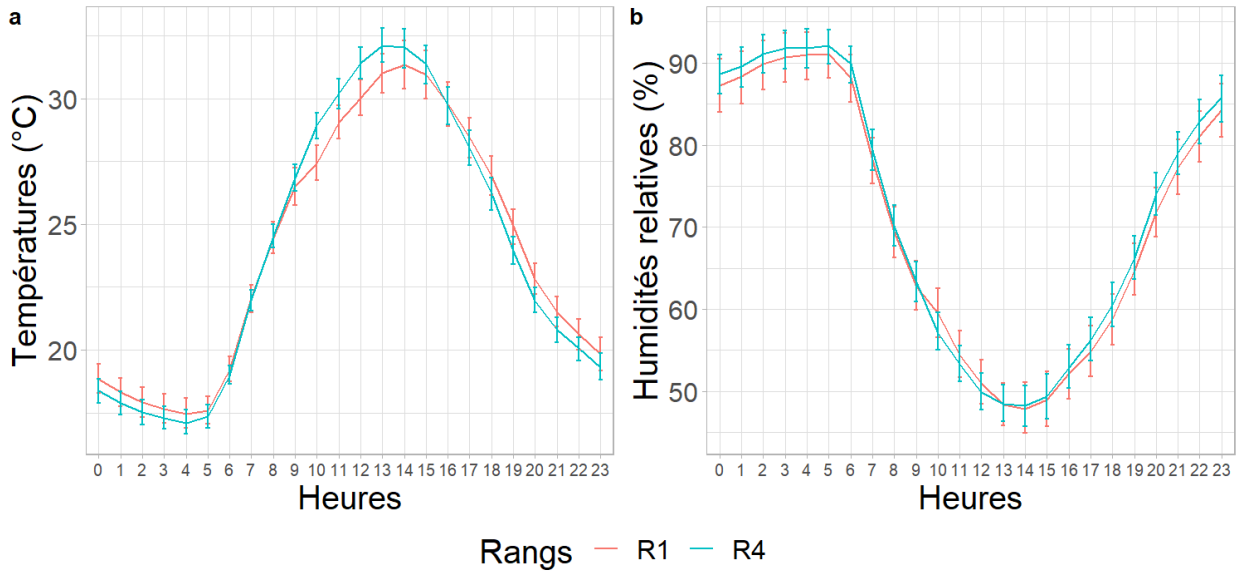


Figure 8 : La Durette a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction des rangs. b. Humidités relatives (%) moyennes par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance à 95%

2. *Performances agronomiques*

Croissance - Les comparaisons de hauteurs ont été réalisées sur le 31 mai 2023, dernier suivi avant le début de la sénescence des individus : la hauteur maximale avait été atteinte. Au terme de la phase de croissance, aucune différence significative n'a été observée entre les rangs (R2 : 49,8 ± 10,8 ; R3 : 53,4 ± 9,8 ; R4 : 53,8 ± 7,1 ; p-value = 0,44).

Développement - La correspondance entre les stades phénologiques et les stades associés est détaillée en Annexe 4. Aucune différence n'est remarquable entre les stades phénologiques relevés le 31 mai 2023 même si la moyenne pour le Rang 2 est légèrement inférieure en tendance. En effet, les individus de ce rang sont en fin de floraison alors que ceux des autres rangs (3 et 4) débutent leur fructification. Au moment de la récolte, toutes les plantes étaient fanées au même stade (Figure 9).

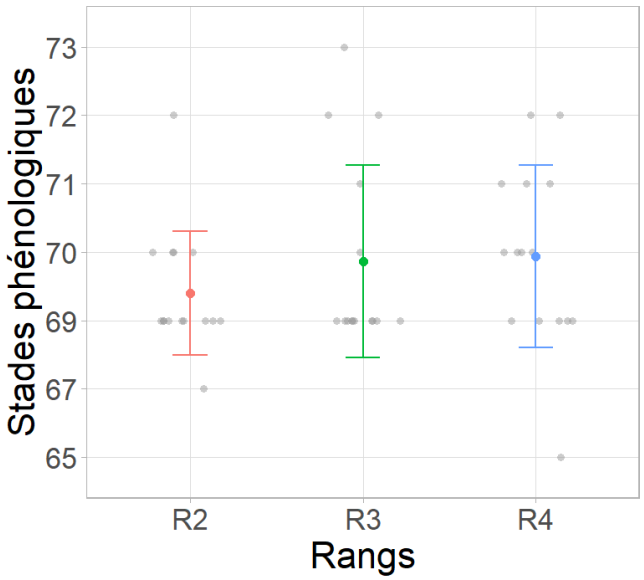


Figure 9 : La Durette. Stade phénologique moyen au 31 mai 2023 en fonction des rangs. Test de Kruskal Wallis. α = 5% . p-value = 0,3489. Barre d'erreur = écart-type

Production - Le Rang 2 a une production plus faible que le R4 en termes de masse brute et nette moyenne par plant (Figure 10a et b). Un gradient de production est observé en lien avec l'éloignement à l'arbre (Production brute : p-value = 0,005 ; Production nette : p-value= 0,006) même si la différence est surtout significative entre le Rang 2 et le Rang 4 (Production brute R2-R4 : p-value = 0,0041 ; Production nette R2-R4 : p-value = 0,0056). Peu de pertes sont observées entre la production brute et la production nette pour les trois distances. La

différence de production en masse entre le Rang 2 et le Rang 4 peut s'expliquer par la différence du nombre de tubercules : bien que la différence ne soit pas significative (p-value= 0,069) celle-ci est proche du seuil de 0,05 (Figure 10c). La différence peut également être expliquée par la plus grosse proportion de tubercules de gros calibre (>55mm) au Rang 4 qu'au Rang 2 (Rang 2 : 51,0 ± 2,7% ; Rang 4 : 55,7 ± 1,9 %). Pour le Rang 3, le plus faible nombre de tubercules (bien que la différence ne soit pas significative) serait compensé par un taux plus important de tubercules de gros calibres (Figure 10d).

Etat sanitaire – Au suivi du 17 mai 2023, la différence de note sanitaire sur 5 n'est pas significative mais proche du seuil 0,05 (p-value = 0,09 ; R2 : 1,80 ± 1,01 ; R4 : 1,27 ± 0,59).

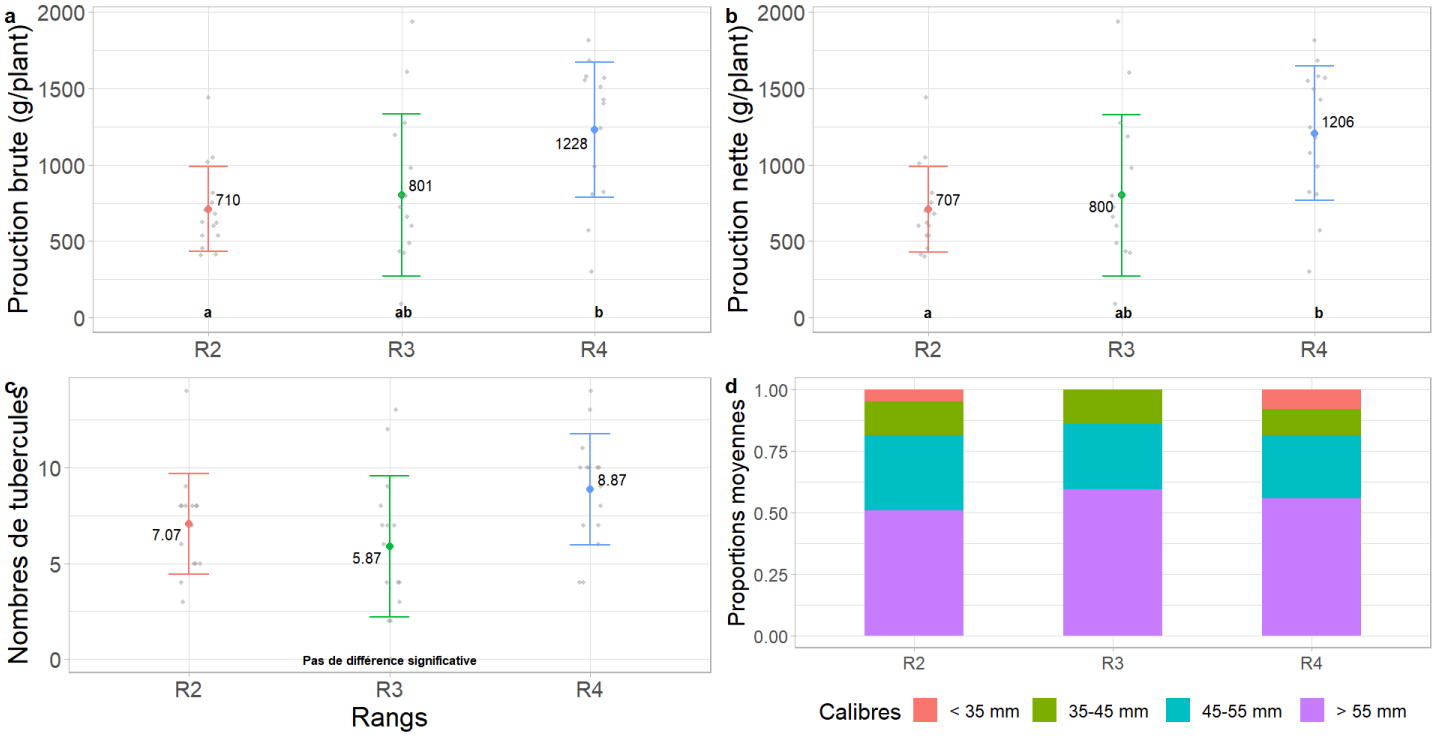


Figure 10 : La Durette
a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5% . p-value = 0,005. – Barre erreur = écart-type
b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5%. p-value = 0,006. – Barre erreur = écart-type.
c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5%. p-value = 0,069. – Barre d'erreur = écart-type
d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.

B. La ferme du Colibri

1. *Caractérisation du microclimat*

Rayonnement - Le rayonnement photosynthétique actif (PAR) cumulé moyen par jour est divisé par 2,8 entre le rang plein soleil et le rang sous couvert arboré (R12). Le Rang 7 est légèrement inférieur au Rang 0 (Tableau 5). La différence entre chaque rang est significative (R12 < R7 < R0).

Tableau 5 : La Ferme du Colibri. Cumul moyen journalier du PAR par rang. Test de Kruskal Wallis. Test de Dunn. p-value < 2,2 x 10^{-16}. Moyenne ± Ecart-type.

Distance	R0	R7	R12
Cumul de PAR journalier en µmol	58 324 ± 16 656	52 889 ± 16 891	20 805 ± 14 281

Sur les horaires diurnes, pour le Rang 7 et Rang 0, le PAR atteint son maximum à 13h (R0 : 1235 ± 302 µmol ; R7 : 1137 ± 316 µmol). L'écart entre ces deux rangs est toujours le même selon les heures de la journée : le Rang 7 est environ 9% inférieur au Rang 0. Le Rang 12 est grandement inférieur au PAR des rangs 0 et 7. Le minimum en journée est atteint à midi (156 ± 82 µmol), heure à laquelle l'ombre est maximale au pied des arbres. En amont et en aval de cette période, les courbes illustrent le mouvement solaire et l'ombre induite selon la forme du houppier de l'arbre. Les plants cultivés au pied sur le rang 12 reçoivent entre 50 à 60% de PAR en moins par rapport au Rang 0 (Figure 11).

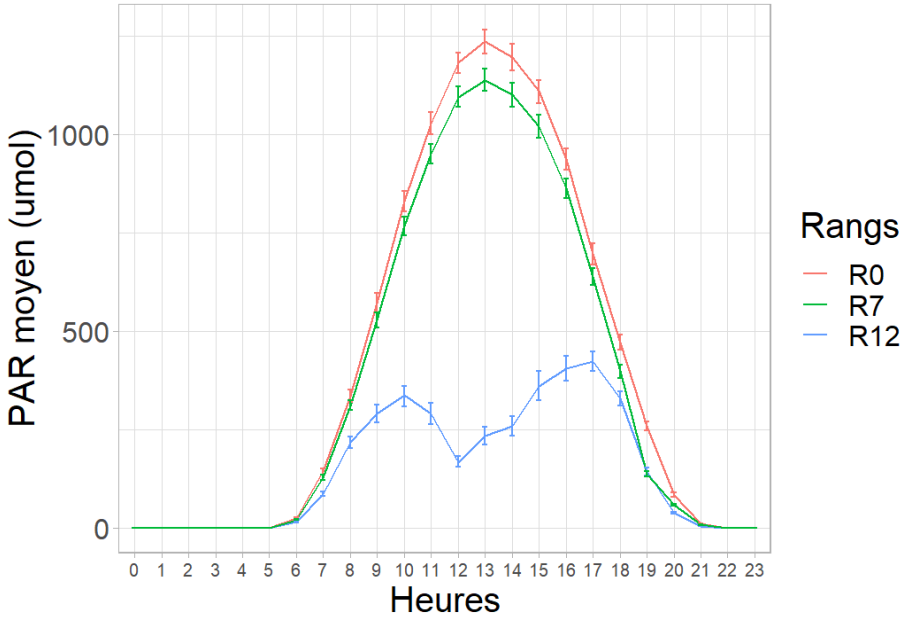


Figure 11 : La Ferme du Colibri - PAR moyen en µmol par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%

Température et humidité relative - La température journalière moyenne diminue légèrement avec l'éloignement aux arbres (Tableau 6). Sur une période d'un jour de 24h, les températures augmentent dès 5h jusqu'à atteindre leur pic à 14h (R0 : 32,5 ± 3,5°C et R7 : 32,3 ± 3,3°C) et 16h (R12 : 31,5 ± 3,2°C) puis diminuent jusqu'à 5h. Les températures en matinée et jusqu'au midi solaire (~14h sur la période de mesures) sont plus faibles sur le rang sous couvert (R12)

Tableau 6 : La Ferme du Colibri - Températures et humidités relatives journalières moyennes par rang. Moyenne ± écart-type

	TEMPERATURES JOURNALIERES MOYENNES (°C)		
	Moyenne	*Max*	*Min*
R0	23,99 ± 6,64	33, 98 ± 2,81	15,58 ± 2,09
R7	23,94 ± 6,54	34,76 ± 2,94	15,71 ± 2,10
R12	23,67 ± 6,01	33, 41 ± 2,60	15,94 ± 2,17

que sur les autres avec une diminution maximale à midi de -2,33 ± 0,78 °C. Les différences entre le Rang 7 et le Rang 0 plein soleil sont moindres en matinée. L'après-midi, peu d'écarts sont observables entre les trois rangs. Les températures nocturnes sont légèrement inférieures à sur la parcelle CONTROL (R0) que dans la partie agroforestière (Figure 12a).

Sur 24h, l'humidité relative est plus élevée pendant la nuit et atteint son pic à 6h du matin (R0 : 86,9 ± 12,7 % ; R7 : 87,2 ± 12,4 % ; R12 : 85,0 ± 12,1 %). Elle diminue ensuite et atteint son seuil le plus bas à 15h (R0 : 39,8 ± 11,5 % ; R7 : 41,4 ± 10,2 % ; R12 : 41,0 ± 10,7 %) lorsque les températures sont quasiment les plus élevées. Le rang 7 est globalement plus humide sur l'ensemble des heures de la journée. Le rang sous les arbres (R12) conservent mieux l'humidité lors de l'augmentation des températures pendant la matinée jusqu'à 15h. Les humidités relatives diurnes sont supérieures sous couvert agroforestier qu'à ciel ouvert. Cette tendance s'inverse ensuite légèrement pendant la nuit (Figure 12b).

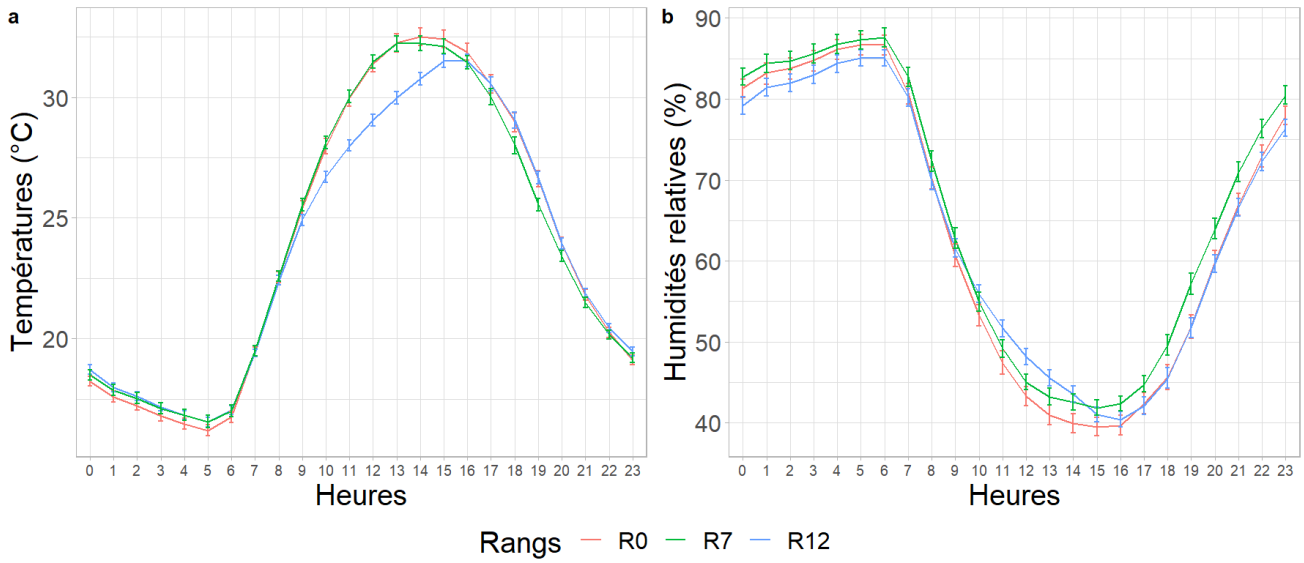


Figure 12 : La Ferme du Colibri
a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%
b. Humidités relatives (%) moyennes par heure en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%

Vent - Sur l'ensemble de la période étudiée, des jours très venteux ont été observés avec notamment le 23 juin avec des rafales à plus de 90km/h. Sur l'ensemble de la période les vents dominants provenaient du Nord/Nord-Ouest. (InfoClimat, 2023b). Le rang en plein soleil est le plus exposé aux vents au regard de la vitesse moyenne du vent. Le Rang 7 au milieu de la parcelle agroforestière est moins sujet au vent que le Rang 12 (Figure 13).

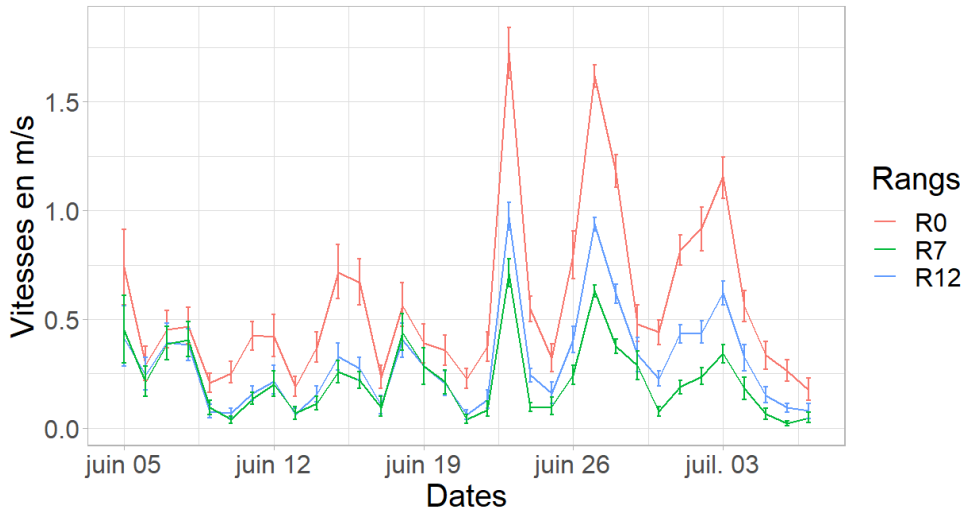


Figure 13 : La Ferme du Colibri. Vitesse moyenne du vent en m/s par jour par rang. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%.

2. *Performances agronomiques*

✓ Variété Désirée

Croissance – Pour ce site, la croissance est estimée à partir d'un indicateur de Volume (Hauteur x Diamètre 1 x Diamètre 2). La différence de volume entre les rangs est significative (p-value = $1{,}095 \times 10^{-4}$) (Figure 14). Les individus du Rang CONTROL plein-soleil sont moins volumineux que les rangs 3, 7 et 10. Il n'y a pas de différences significatives au sein de la parcelle agroforestière. Les volumes du Rang 3, 5 et 12 sont particulièrement variables comparés aux autres rangs.

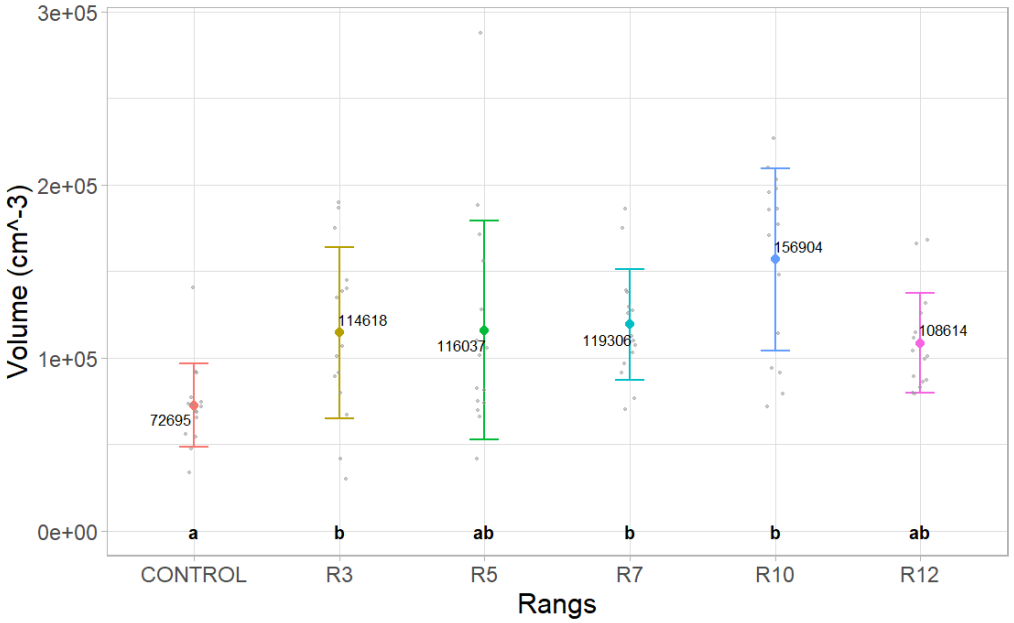


Figure 14 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE - Volume moyen en cm^{-3} en fonction des rangs. Test de Kruskal Wallis - Test de Dunn. α = 5%. Barre d'erreur = Ecart-type

Développement – Le dernier relevé du stade phénologique le 5 juin 2023 met en exergue une précocité significative de l'entrée en sénescence (stade phénologique 9) des individus du Rang CONTROL. Les Rangs 3 et 7 sont les moins développés. Les rangs 10 et 12, sous le couvert des fruitiers occupent une place intermédiaire. Ces écarts de phénologie ne sont plus observés au moment de la récolte un mois plus tard (Figure 15).

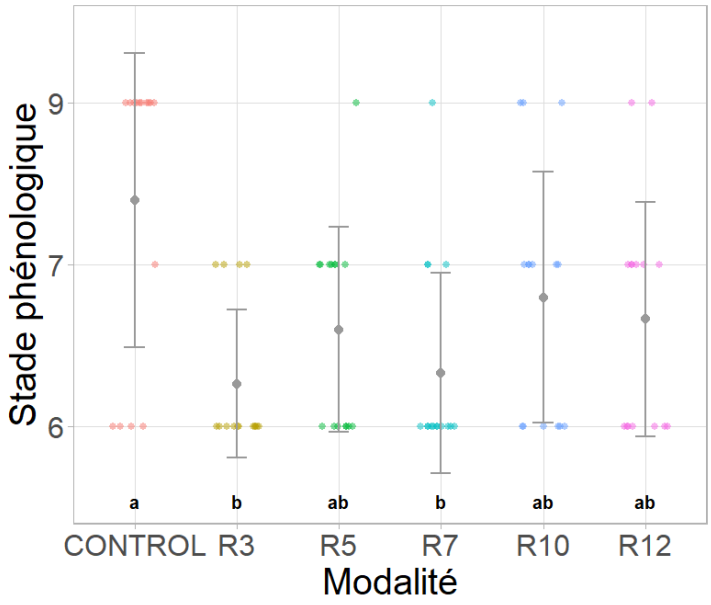


Figure 15 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE - Stade phénologique moyen au 5 juin 2023 en fonction des rangs. Test de Kruskal Wallis. Test de Wilcoxon. α = 5%. p-value = 0.001953. Barre d'erreur = Ecart-type

Etat hydrique & tensiomètres – Le sénescence précoce du rang CONTROL est illustré à travers le relevé des tensions du sol. Entre la période du 5 au 16 juin 2023, la pression augmente plus pour les Rang 7 et 12 que pour le Rang 0 (CONTROL) (Figure 16). Cela est possiblement lié à l'arrêt de prélèvement d'eau dans le sol par les plantes au moment de leur entrée en sénescence. Les prélèvements sur R7 et R12 se poursuivent encore temporairement ce qui augmente plus la tension que sur le rang en plein soleil (R0).

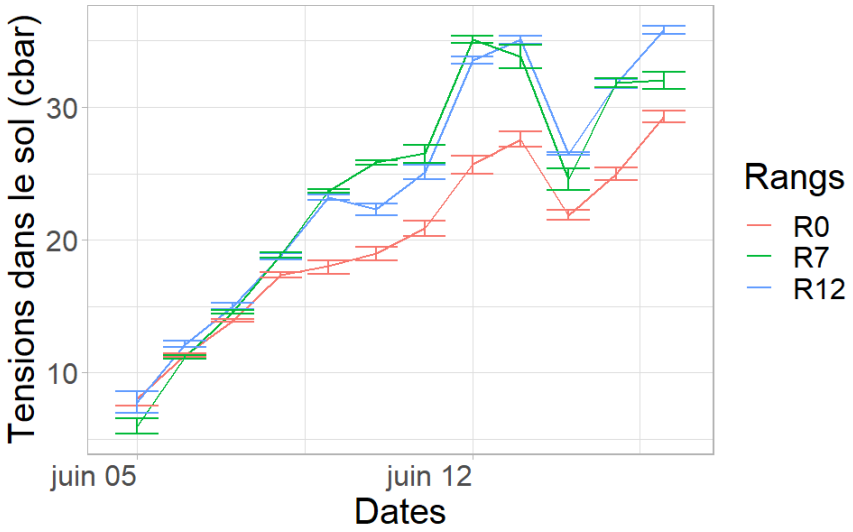


Figure 16 : La Ferme du Colibri - Tensions moyennes dans le sol en cbar (Moyennes des tensions des 2 profondeurs 20 et 40 cm) en fonction des dates en fonction des rangs. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%.

Production – La production nette et brute varie de façon significative selon les rangs (Figure 17a et b. Brute : p-value = 0,002 ; Nette : p-value = 0,006). Le Rang 10 est en tendance le plus productif en terme

de masse mais aussi en terme de nombre de tubercules bien que cette différence entre les rangs ne soit pas significative (Figure 17c. p-value = 0,281). Le rang CONTROL est moins productif que le rang 10 de la parcelle agroforestière. La production du rang 12, le plus couvert, n'est pas significativement différente que les autres rangs de la parcelle. Les calibres ont globalement la même répartition selon les rangs avec une proportion importante de calibres moyens (Figure 17d).

Etat sanitaire - La différence entre les moyennes des notes des individus par distance est significative (test de Kruskal Wallis, alpha=5%, p-value = 0.00014). Cependant après comparaison par paires (test de Dunn), seul le Rang 7 obtient une note significativement supérieure à tous les autres rangs.

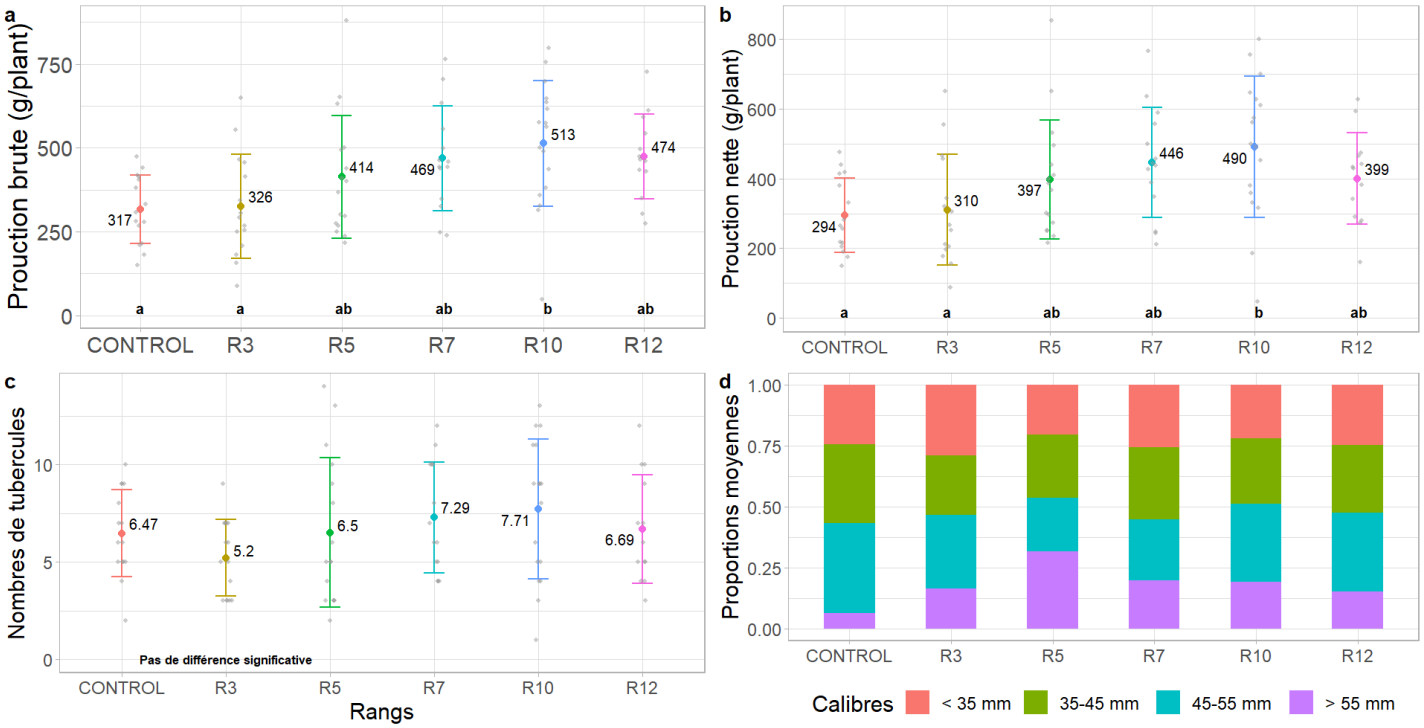


Figure 17 : La Ferme du Colibri – Variété DESIREE
a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5% . p-value = 0,002. Barre d'erreur = Ecart-type
b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5% . p-value = 0,006. Barre d'erreur = Ecart-type
c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey. α = 5% . p-value = 0,281. Barre d'erreur = Ecart-type
d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.

- ✓ Maïwen

Croissance – Les volumes obtenus à partir des données du 17 mai 2023 sont considérés comme les volumes maximums des individus. Les différences obtenues sont significatives (Figure 18a, p-value = 0,016). Le volume moyen du Rang CONTROL est inférieur au volume moyen des rangs de la parcelle agroforestière. Sur cette dernière, le rang 6, le plus éloigné de la haie a un volume moyen supérieur en tendance aux autres rangs (R1, R2 et R4) situés plus proches de la haie.

Développement – Le dernier relevé du stade phénologique le 5 juin 2023 met en exergue une précocité de l'entrée en sénescence (stade phénologique 9) des individus du Rang CONTROL. Le rang 6 et CONTROL n'ont pas de différence significative. Le Rang 2 est moins développé que le Rang 6 situé plus au centre de la parcelle agroforestière. Ces écarts de phénologie ne sont plus observés au moment de la récolte, un mois plus tard (Figure 18b).

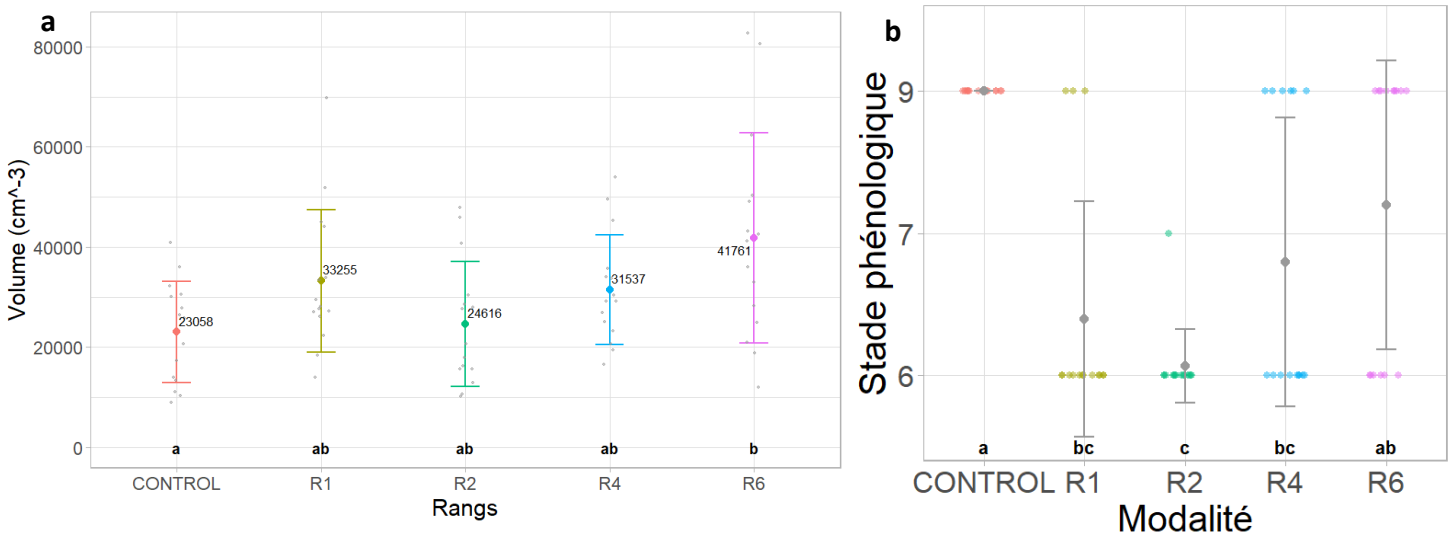


Figure 18 : La Ferme du Colibri - Variété MAIWEN
a. *Volume moyen en m^{-3} en fonction des rangs. Test de Kruskal Wallis - Test de Dunn. α = 5%. p-value = 0,016. Barre d'erreur = Ecart-type*
b. Stade phénologique moyen au 5 juin 2023 en fonction des rangs. Test Kruskal Wallis. α = 5%. p-value = $7{,}393 \times 10^{-7}$. Barre d'erreur = Ecart-type

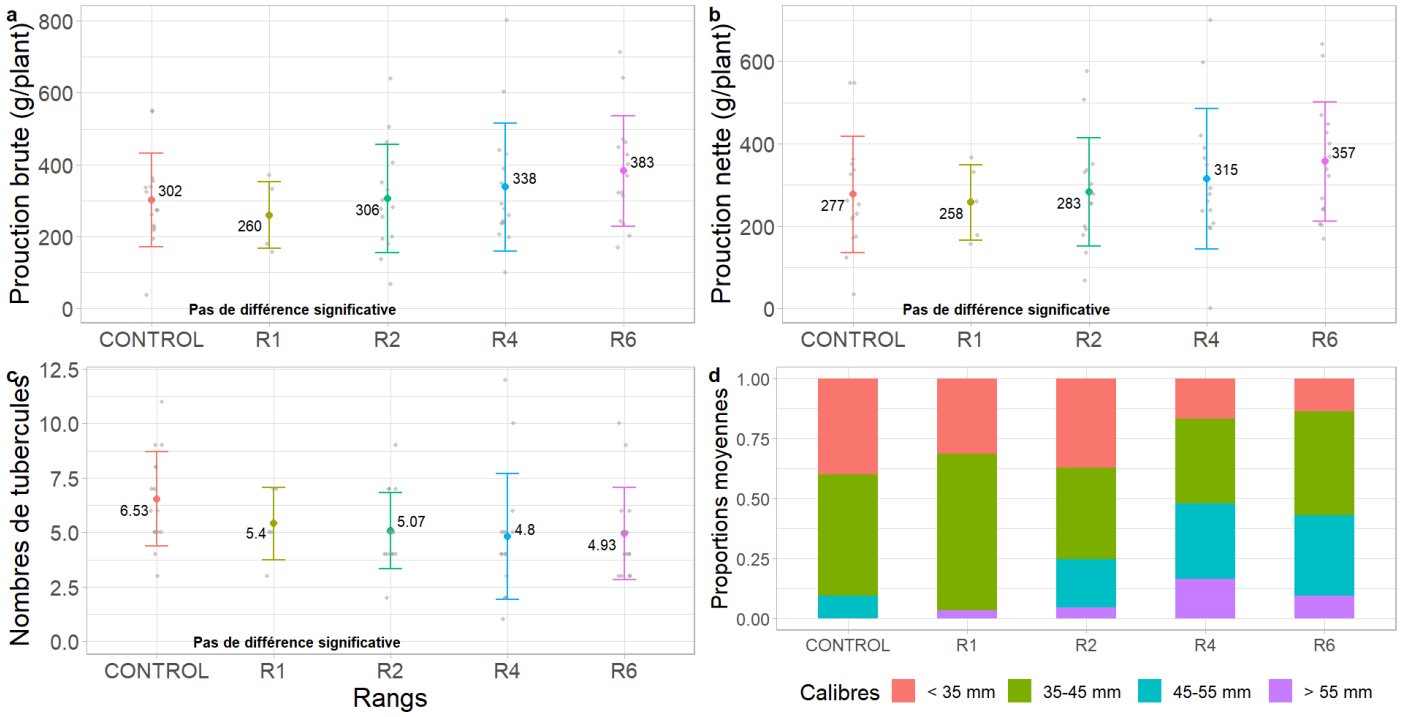


Figure 19 : La Ferme du Colibri – Variété MAIWEN
a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. Test de Kruskal-Wallis α = 5% . p-value = 0,372. Barre d'erreur = Ecart-type
b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. Test de Kruskal-Wallis α = 5% . p-value = 0,455. Barre d'erreur = Ecart-type
c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. Test de Kruskal-Wallis α = 5% . p-value = 0,09. Barre d'erreur = Ecart-type
d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.

Production – Les différences observées entre les rangs pour les productions brutes et nettes ne sont pas significatives (Brute : p-value = 0,372 ; Nette : p-value = 0,455) (Figure 19a et b). La différence de nombre de tubercules selon les rangs n'est pas non plus significatif (p-value=0,09) mais proche du seuil 0,05. Les tubercules du Rang CONTROL apparaissent en tendance plus nombreux (en moyenne 1 en plus) mais plus petits (Figure 19c). La répartition des calibres selon les rangs diffèrent : le Rang CONTROL et le Rang 1 ont des tubercules globalement plus petits avec une grande variabilité (CONTROL : <35mm = 39,8 ± 28,1 % ; 35 – 45 mm = 50,9 ± 30,1% / R1 : <35mm = 31,3 ± 22,1 % ; 35 – 45 mm = 65,3 ± 26,5 % - Moyenne ± écart-type) (Figure 19d). Le rang 6 présente un pourcentage plus important de calibres moyens, 35 – 55mm (35 – 45 mm = 43,1 ± 33,8 % ; 45 – 55 mm = 33,7 ± 33,8 % ; moyenne ± écart-type) malgré une grande variabilité.

C. Terres de Roumassouze

1. *Caractérisation du microclimat*

Ouverture de canopée - La taille des arbres a un impact conséquent sur les pourcentages moyens d'ouverture de canopée par modalité. Un gradient d'ouverture en lien avec la modalité est observé : CONTROL > TETARD > ELAGUE. L'ouverture du milieu est plus importante dans la modalité CONTROL plein soleil qu'en modalité TETARD et ELAGUE avec un écart respectif de 31 et 43%. La différence entre les modalités TETARD et ELAGUE est moins importante (Figure 20). La variabilité des relevés pour la modalité TETARD est plus importante que pour les autres modalités.

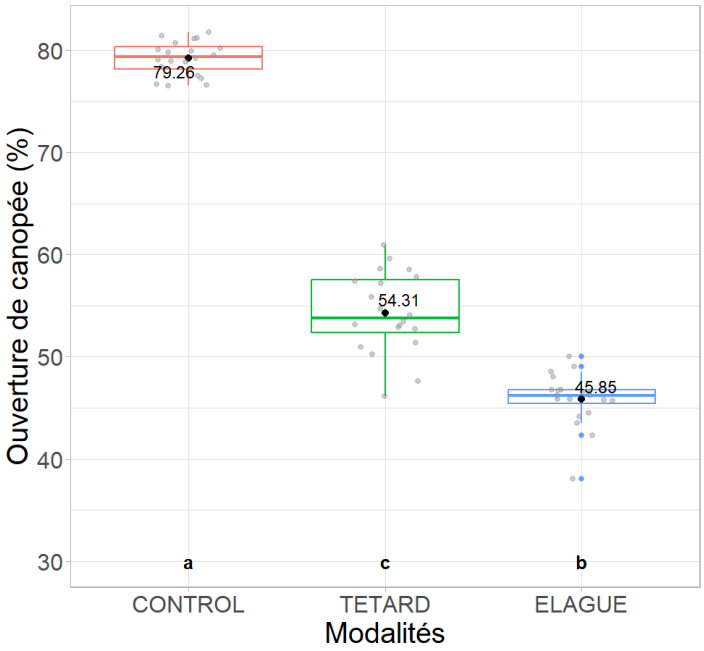


Figure 20 : Terres de Roumassouze - Ouverture de canopée moyenne en fonction de la modalité. Test de Kruskal-Wallis et test de Dunn. α = 5%. p-value = 1.045e-11. Boxplot : Médiane, Quartiles et intervalle à 95% .

Rayonnement - Le rayonnement photosynthétique actif (PAR) cumulé moyen par jour est divisé par 2,1 entre la modalité CONTROL et ELAGUE (Tableau 7) et par 1,6 entre la modalité CONTROL et TETARD. Les écart-types augmentent avec la valeur de PAR cumulé.

Tableau 7 : Terres de Roumassouze - Cumul de PAR moyen journalier par modalité. Test de Kruskal Wallis et test de Dunn. α = 5% . p-value <2,2x10^{-16}. Moyenne ± Ecart-type.

Distance	**CONTROL**	**TETARD**	**ELAGUE**
Cumul de PAR journalier	57 881 ± 13 598	36 919 ± 11 114	26 938 ± 7 847

Pour la modalité TETARD et ELAGUE, le PAR atteint son maximum à 12h (T : 907 ± 201 µmol ; L : 931 ± 351 µmol - ± écart-type) (Figure 21). Le PAR de la modalité CONTROL atteint son pic à 13h (1171 ± 344 µmol). Les modalités TETARD et CONTROL suivent globalement la même courbe à des hauteurs différentes (entre 25 et 30% d'écart) sauf entre 9h et 11h où les différences sont plus importantes (~55%). A l'inverse de la modalité ELAGUE dont le sommet de la courbe est concentré autour de 12h avant de redescendre fortement dans l'après-midi. Ce phénomène s'explique par le fort d'ombrage sur la modalité ELAGUE l'après-midi. La différence entre la modalité CONTROL et ELAGUE s'élève à près de 80% à 16h.

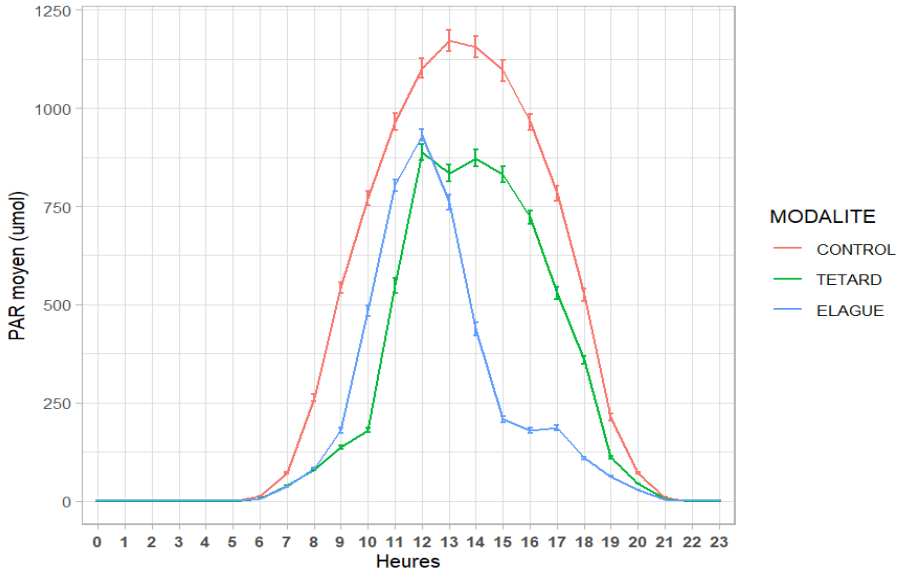


Figure 21 : Terres de Roumassouze - PAR moyen en µmol par heure en fonction de la modalité. Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%

Température et humidité relative

La température journalière moyenne diminue avec la fermeture du milieu (Tableau 8. L < T < C). Ce potentiel effet tampon se confirme lors de l'étude des températures moyennes sur 24h (Figure 22a). En journée (6h à 20h), les températures des modalités sous couvert (T et L) sont inférieures à la modalité plein soleil (C). Les températures augmentent à partir de 6h jusqu'à atteindre leur pic à 12h pour la modalité ELAGUE (32,6 ± 4,5°C) et 15h pour les modalités TETARD et CONTROL (C : 34,6 ± 4,5°C ; T : 33,2 ± 4,3°C). La différence entre la modalité TETARD et CONTROL est plus importante le matin que l'après-midi ce qui peut être expliquée par la présence d'arbres à l'est de la parcelle qui augmente l'ombre sur la modalité TETARD en matinée. Quant à la différence entre la modalité ELAGUE et CONTROL, la baisse de températures de la modalité ELAGUE dans l'après-midi s'explique par la présence des noyers (~20m de haut) à l'ouest

Tableau 8 : Terres de Roumassouze - Températures et humidités relatives journalières moyennes en fonction de la modalité. Moyenne ± écart-type

	TEMPERATURES JOURNALIERES MOYENNES (°C)		
	Moyenne	*Max*	*Min*
CONTROL	24,22 ± 8,1	36,96 ± 3,52	14,10 ± 2,55
TETARD	23,80 ± 7,05	36,43 ± 3,81	15,15 ± 2,30
ELAGUE	23,63 ± 6,57	36,51 ± 4,17	15,31 ± 2,30

de la parcelle tandis qu'à l'est des cépées moins imposantes subsistent (~4m) (Figure 22a). Le phénomène inverse se produit pour les températures nocturnes : les modalités sous couvert (L et T) ont des températures plus élevées que la modalité plein soleil (C) tout au long de la nuit avec par exemple, un écart à 2h de 1,27 ± 0,54°C entre les modalités C et L, et de 1,16 ± 0,57°C entre C et T.

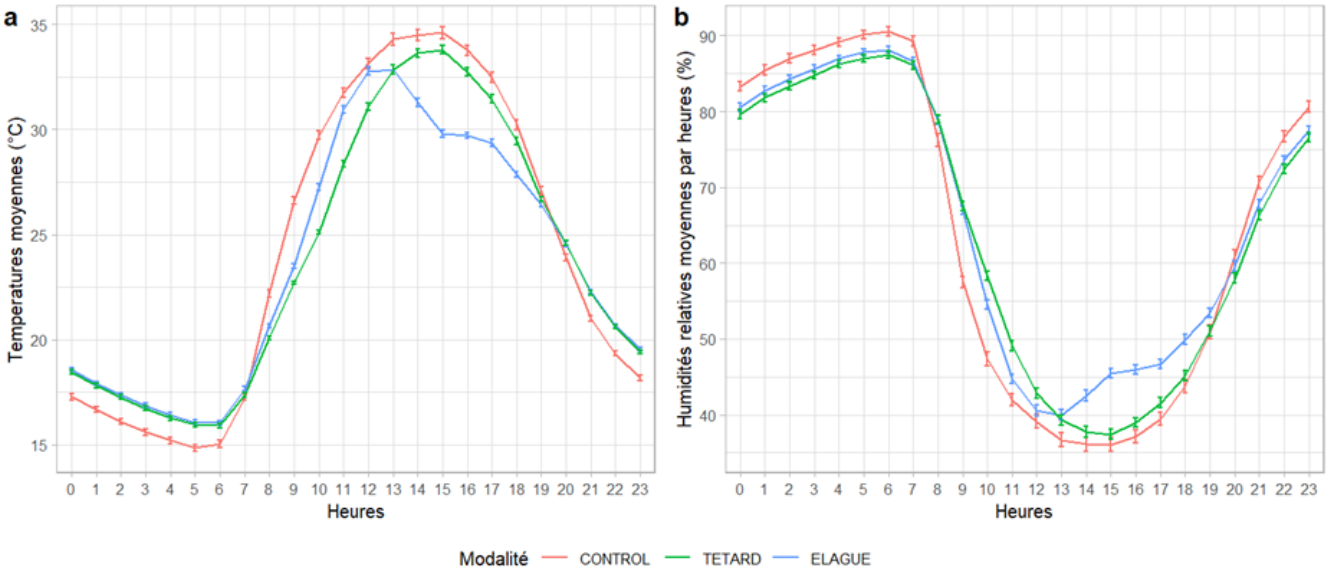


Figure 22 : Terres de Roumassouze
a. Températures (°C) moyennes par heure en fonction de la modalité
b. Humidités relatives moyennes (%) par heure en fonction de la modalité
Barre d'erreur = Intervalle de confiance 95%

Concernant l'humidité relative, sur 24h, le phénomène inverse que pour les températures est observé (Figure 22b). En journée, l'humidité diminue avec l'augmentation des températures pour atteindre son taux le plus faible à 15h pour la modalité T et C (T : 39,2 ± 15,2% ; C : 36,0 ± 15,0%) et à 13h pour la modalité L (40,6 ± 15,5%). L'après-midi l'humidité relative de la parcelle ELAGUE augmente grâce à l'ombrage plus important à cette période. Les modalités sous couvert sont plus humides que la modalité à ciel ouvert (C) au cours de la période diurne. La nuit les humidités relatives de la modalité CONTROL sont plus élevées que pour les modalités sous couvert (L et T) de l'ordre de 3 à 4%. La différence des humidités relatives nocturnes entre les modalités TETARD et ELAGUE sont moindres.

2. Performances agronomiques

Croissance – Les pommes de terre ayant poussé de façon étendue pour percer le paillage, seule la hauteur a été étudiée pour caractériser la croissance des individus. Les hauteurs moyennes relevées le 7 juin 2023 montrent un gradient significatif TETARD < CONTROL < ELAGUE (p-value = 9.37×10^{-8}) (Figure 23). Les hauteurs élevées mesurées en ELAGUE peuvent traduire un phénomène d'évitement de l'ombrage puisque cette modalité à une fermeture de canopée importante de l'ordre de 55%. La régression linéaire (Figure 24) permet d'appréhender le lien entre la hauteur des individus et

l'ouverture de canopée. Cependant, des valeurs reliées à des ouvertures entre 60 et 75% (L et T < 60% et C >75%) sont manquantes (Annexe 7) et ne permettent pas d'interpréter correctement ces représentations. Les régressions réalisées utilisent uniquement les valeurs des Modalités L et T (Figure 24). Bien que le R^2 soit faible, la hauteur des individus tend à diminuer à mesure que l'ouverture de canopée augmente.

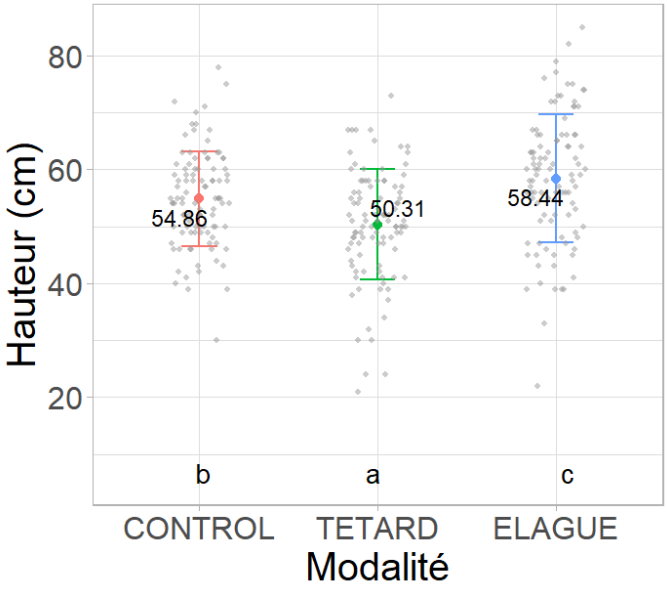


Figure 23 : Terres de Roumassouze - Hauteur moyenne en cm le 7 juin 2023 en fonction de la modalité. ANOVA 1. Test de Tukey. α = 5%. p-value = 9.37x10-8 . Moyenne ± Ecart-type.

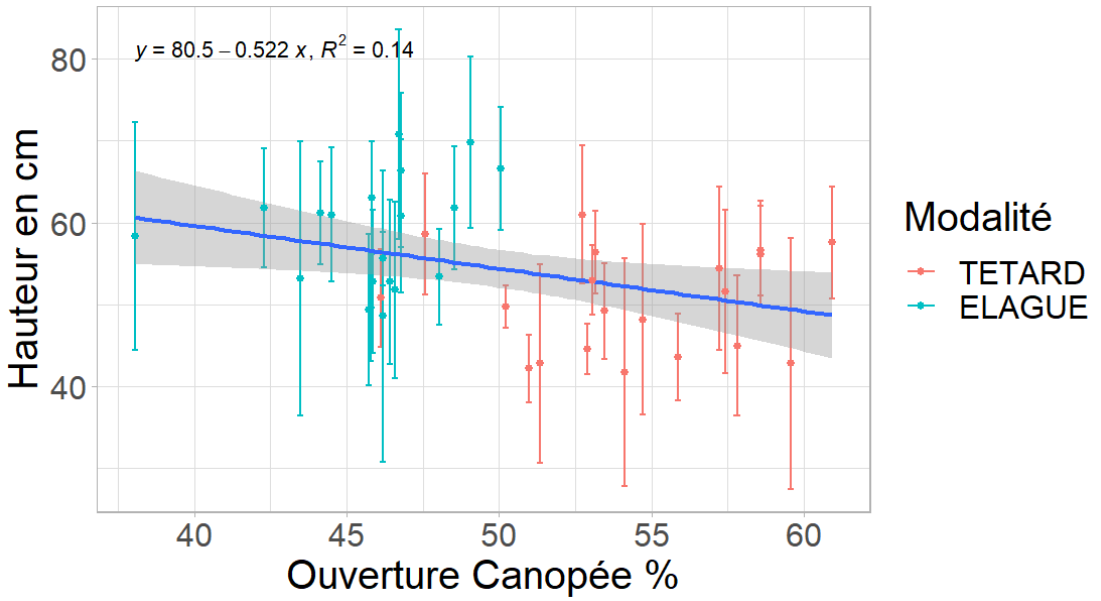


Figure 24 : Terres de Roumassouze - Hauteur moyenne des plants (cm) au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en %. Modalités TETARD et ELAGUE. Régression linéaire simple. R^2 = 0,14. Barre d'erreur = Ecart-type.

Développement – Le stade phénologique au 7 juin 2023 (Figure 25a.) montre un retard significatif de développement de la modalité ELAGUE.

Masse surfacique (LMA – *Leaf Mass per Area*) – La masse surfacique des feuilles estimée à partir du prélèvement du 12 juin 2023 est significativement différente selon les modalités (p-value=$8.036x10^{-5}$). La LMA de la modalité ELAGUE est inférieure à celle des modalités TETARD et CONTROL (Figure 25b).

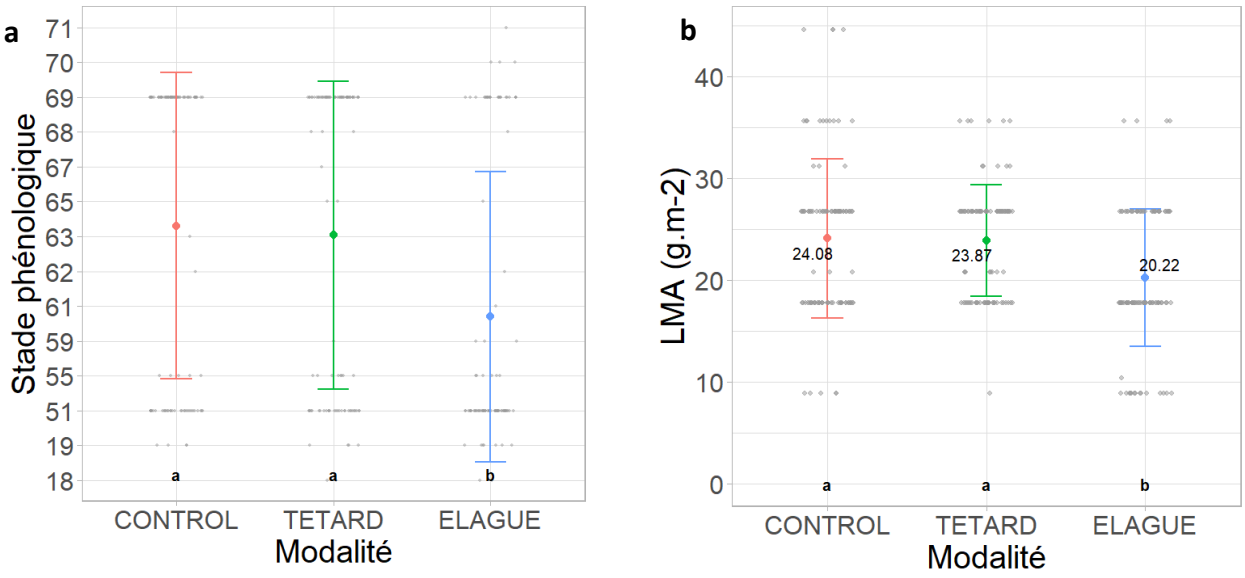


Figure 25 : Terres de Roumassouze.
a. Stades phénologiques du 7 juin 2023 en fonction de la modalité. Test de Kruskal Wallis. Test de Wilcoxon. α = 5%. p-value = 0.0001589. Moyenne ± Ecart-type
b Masse surfacique en g.m^{-2} en fonction de la modalité. Test de Kruskal Wallis ; Test de Dunn. α = 5%. p-value = 8.036x10^{-5}. Moyenne ± Ecart-type

Production – La production brute de la modalité ELAGUE est significativement inférieure à celles des modalités TETARD et CONTROL (p-value = 1,05x10^{-15}) (Figure 26a). Les pertes de production non commercialisable sont plus importantes pour la modalité CONTROL que pour la TETARD : pour la production nette toutes les différences sont significatives (L < C < T ; p-value= 1,22x10^{-18}) (Figure 26b). Ces écarts de productions sont causés en partie par un nombre inférieur significatif de tubercules en modalité ELAGUE (p-value = 1,705x10^{-5}) (Figure 26c) mais aussi par des calibres inférieurs en modalité CONTROL et ELAGUE (Figure 26d). Par ailleurs, la production ELAGUE a été réduite par la présence de rats taupiers. Il existe une corrélation linéaire positive entre l'ouverture de canopée et la production brute (Figure 27) : la production brute a tendance à augmenter avec l'ouverture de la canopée sur une étendue d'ouverture de 40 à 60%. Comme pour la hauteur, il est difficile de conclure pour une régression compilant les ouvertures des 3 modalités. Cependant, il est possible de supposer une baisse de production brute à partir de 40% d'ombrage (Annexe 8).

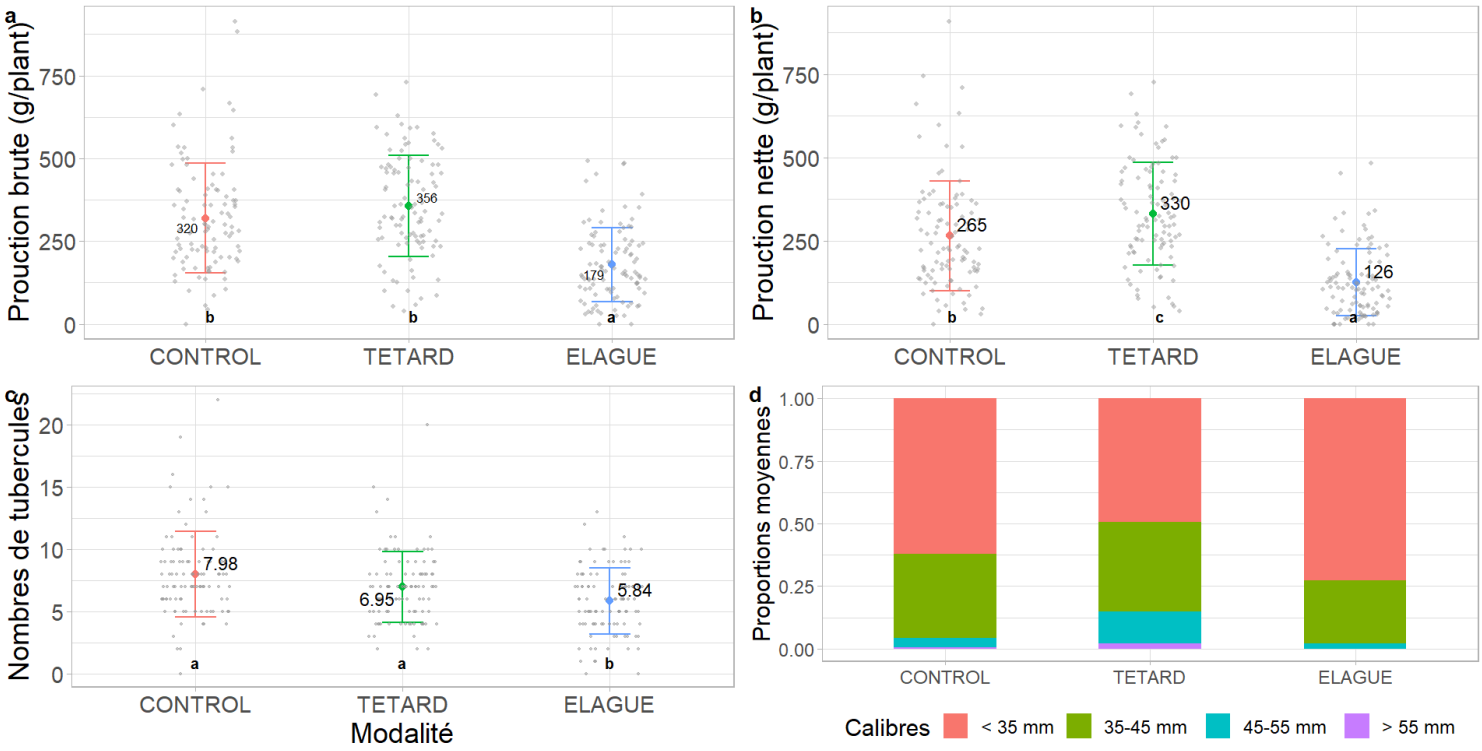


Figure 26 : Terres de Roumassouze
a. Productions brutes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey.α = 5% . – Barre d'erreur = Ecart-type
b. Productions nettes moyennes par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey.α = 5% . – Barre d'erreur = Ecart-type
c. Nombres de tubercules moyens par individu en fonction des rangs. ANOVA 1 – Test de Tukey.α = 5% . – Barre d'erreur = Ecart-type
d. Proportions moyennes des calibres par individu en fonction des rangs.

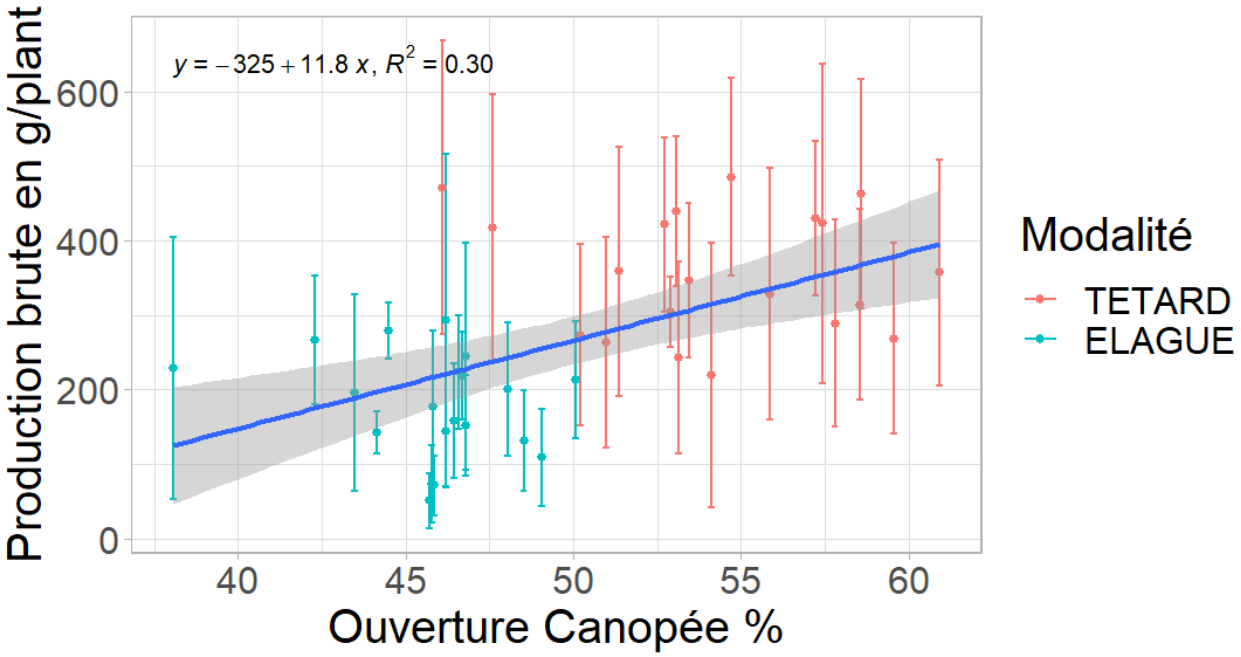


Figure 27 : Terres de Roumassouze - Production brute moyenne (g/plant) en fonction de l'ouverture de canopée en %. Modalités TETARD et ELAGUE. Régression linéaire simple. R² = 0,30. Barre d'erreur = Ecart-type

V. DISCUSSION

A. Effet des arbres sur le microclimat

Les résultats obtenus pour le Rayonnement Photosynthétique Actif retranscrivent le taux de rayonnement transmis à travers leur canopée. Les rangs aux abords des arbres ou sous les modalités agroforestières connaissent une diminution de quantité de PAR, différente dans chacun des sites en fonction aussi du type d'arbres, par rapport aux rangs en plein soleil (Terres de Roumassouze : L < T < C ; Colibri : R12 << R7<R0)). Cette diminution de PAR rend compte d'une réduction de lumière disponible pour la photosynthèse et semble impacter les cultures sous-jacentes comme l'évoque Sinoquet *et al.* (2007). Sur le site des Terres de Roumassouze, les résultats de PAR sont confortés par la mesure du pourcentage d'ouverture de canopée avec le même gradient (L < T << C). La grande variabilité obtenue pour la modalité TETARD rend compte de l'hétérogénéité de la canopée présente au sein de cette parcelle liée au type de taille. L'ombrage résultant (appréhendé par les PAR) de cette modalité est également plus hétérogène que les autres au cours de la journée. Les arbres ont également montré un impact sur la vélocité du vent. Sur la Ferme du Colibri, le gradient observé entre les rangs (R7 < R12 < R0) laisse supposer un effet brise-vent de la haie au nord de l'allée maraîchère. La présence de haies brise-vent successives sur cette zone pourrait avoir atténué la force du vent sur cette parcelle. Dans leur étude, Böhm *et al.* (2014) démontre d'ailleurs que les haies successives réduisent la vitesse du vent d'autant plus lorsque la distance entre ces dernières est réduite. Les arbres interagiraient avec le vent par action mécanique directe et aussi potentiellement indirecte (modification des conditions Températures/humidités ayant pour conséquence une variation des flux d'air) et réduiraient sa vélocité comme le souligne Kort (1988).

Ces modifications microclimatiques semblent alors se répercuter sur les conditions de températures et d'humidités puisqu'un gradient corrélé à la distance aux arbres ou au type de taille a été mis en évidence. Cela illustre la capacité des modalités agroforestières ou rangs agroforestiers à tamponner les extremums et minimums climatiques. Sur le site des Terres de Roumassouze, les modalités agroforestières affichent une température moyenne journalière plus faible (L<T<C) et une hygrométrie plus élevée qu'en modalité plein soleil (C<T<L). Cette tendance est forte en journée et s'inverse pendant la nuit. Les variations sont par conséquent moins fortes sous couvert agroforestier (L<T<C). Le même phénomène est observé sur les sites de La Durette et de la Ferme du Colibri où les rangs les plus proches des arbres ont des variations de températures et d'humidités plus faibles que les rangs plus éloignées ou en plein soleil (Durette : R2<R3<R4 et Colibri : R12 < R7< R0). Ces conclusions confirment celles précédemment obtenues sur le site de Roumassouze dans le cadre d'un autre projet (ARBRATATOUILLE) (Martin-Chave *et al.*, 2021; Béral *et al.*, 2019) et d'autres études (Karvatte *et al.*,

2020; Ramananjatovo *et al.*, 2021). Ils appuient également les propos de Quinkenstein *et al.* (2009) quant au potentiel de l'agroforesterie à tamponner les forts extremums climatiques dans le cadre d'une élévation des températures.

Bien que la présence d'arbres a mis en exergue un impact sur les suivis microclimatiques, il est important de souligner que l'hétérogénéité des parcelles n'est pas seulement à définir d'après leurs éléments internes mais aussi d'après les éléments paysagers adjacents. Dans le cas des parcelles (ou rangs) CONTROL, cela est particulièrement pertinent. En effet, ces parcelles, bien qu'en plein soleil, ont différents éléments paysagers qui pourraient avoir un impact sur le microclimat. Sur la Ferme du Colibri, une habitation bordée d'imposants platanes est située à 30m au Nord ainsi qu'une haie de jardins à 10 m au Nord de la parcelle CONTROL (R0). De même, la modalité CONTROL des Terres de Roumassouze est entourée d'éléments paysagers structurants (haies de haut-jets au Nord, bandes enherbées de plus d'1m). Il n'est par conséquent pas négligeable de penser que ces éléments pourraient avoir un effet sur le climat local et la culture en place. Au-delà de ces précisions sur les dispositifs expérimentaux, les suivis réalisés ont bien montré que les arbres modifiaient le microclimat au sein des systèmes agroforestiers. Ces modifications pourraient avoir un impact sur la culture sous-jacente.

B. Performances agronomiques et potentiels liens avec le microclimat

Concernant la croissance, la réduction du rayonnement transmis induite par les arbres et la modalité de taille semblent augmenter la croissance en hauteur des individus. Ce phénomène constaté sur le site des Terres de Roumassouze appuie les conclusions obtenues dans les études de Schulz *et al.* (2019), Weselek *et al.* (2021) et Abdrabbo *et al.* (2013) qui ont observé une augmentation de la taille des plants à partir de 26% d'ombrage. Cette corrélation illustre d'ailleurs le phénomène d'évitement de l'ombrage décrit par Li *et al.* (2012). En revanche, cette théorie supposerait que la modalité CONTROL est la moyenne la plus élevée, ce qui n'est pas le cas dans notre étude. Cela pourrait s'expliquer par une compétition interspécifique sur la parcelle puisqu'un enherbement important de Sorgho d'Alep (*Sorghum halepense*) a été observé sans pour autant été quantifié. Cette hypothèse est appuyée par le fait que la compétition avec les adventices nuirait à la croissance des plants de pommes de terre (Siddiqui *et al.*, 2023). Ensuite, concernant la LMA, il semblerait que la réduction de lumière reçue par les plants réduise la masse surfacique. Cela traduit une réponse adaptative de la plante à l'ombrage : en augmentant la surface d'une unité de biomasse foliaire (ce qui par conséquence réduit la LMA), la quantité de lumière interceptée est accrue dans des conditions de faible rayonnement (Poorter *et al.*, 2009; Niinemets *et al.*, 2015). Cette plasticité pourrait également rendre compte de la capacité de la pomme de terre à supporter des conditions de cultures ombragées (Mariana, Hamdani, 2016; Poorter *et al.*, 2009). En revanche, pour confirmer avec plus de robustesse la conclusion de cette étude au sujet de cet indicateur, la révision de l'échantillonnage pourrait être intéressante. En effet, pour obtenir plus

de précision lors des pesées, il serait possible de réaliser la manipulation par placette et non par individu afin de mieux discriminer les modalités entre elles et éviter les résultats par seuil.
Sur les autres sites, les effets de l'ombrage sur la croissance n'ont pas été observés. Ces résultats, bien qu'inattendus au vu des conclusions des études précédemment réalisées (Abdrabbo *et al.*, 2013; Schulz *et al.*, 2019; Weselek *et al.*, 2021) peuvent néanmoins s'expliquer par plusieurs facteurs. En premier lieu, il est possible que les seuils de couverture du milieu, induisant une réduction de rayonnement reçue par les plants, n'aient pas été atteints. Cela pourrait notamment être le cas de La Durette dont l'ombrage maximal est de près de 20%. Dans leurs études, Schulz *et al.* (2019) et Weselek *et al.* (2021) ont respectivement observé un impact sur la croissance à partir de 26 et 30% d'ombrage. Enfin, la diminution du volume des plants sur le rang 0 (CONTROL) à la Ferme du Colibri ne semble pas liée à un phénomène d'évitement de l'ombrage (rang en plein soleil) ni aux températures plus élevées mesurées sur cette parcelle. En effet, d'après Rykaczewska (2015) des températures plus élevées que l'optimal dans des conditions d'humidité de sols favorables stimuleraient la croissance de la partie aérienne de la plante. La réduction de la vélocité du vent par la succession de haies brise-vent au Nord de la parcelle agroforestière a pu contribuer à la croissance des plants comme le suggère l'étude Sun, Dickinson (1997) dans laquelle ils observent une augmentation de la taille des plants de pommes de terre à proximité des haies (pic maximum à 3 fois la hauteur de la haie).

Ensuite, un effet des arbres sur le développement de la pomme de terre a été observé avec notamment, un retard de phénologie lié à la présence d'arbres sur les sites de La Ferme du Colibri et des Terres de Roumassouze. Ce phénomène est également relevé par Schulz *et al.*, (2019) et Weselek *et al.* (2021) dans leurs études et pourrait s'expliquer par la quantité moindre de lumière reçue par les individus sous couvert arboré ou aux abords des arbres qu'en plein soleil. Cette diminution réduirait l'activité photosynthétique de la plante qui se développerait alors plus lentement (Seabrook, 2005). De plus, les températures plus élevées ont tendance à accélérer le développement phénologique des plants de pommes de terre (Naz *et al.*, 2022). Ainsi, la combinaison de la réduction de la lumière reçue et des températures moins importantes sur les parcelles agroforestières semblent expliquer les retards de développement observés. Cependant, cet écart n'est pas remarqué sur le site de La Durette. Il est possible de supposer que les différences moindres de températures relevées et de pourcentages de fermeture de canopée mesurés ne se répercutent pas sur la phénologie des plants étudiés.
Au-delà de ces interprétations, il est nécessaire de noter que le suivi du stade phénologique sur les pommes de terre n'est pas chose aisée sans destruction. Après le développement foliaire, il est possible de se fonder sur trois codes différents, évoluant en parallèle, pour appréhender le développement de la plante : la croissance des tubercules (tubérisation), la floraison/fructification et le pourcentage de recouvrement (Annexe 5). Le choix a été porté sur le suivi par le code de la floraison/fructification

puisque la destruction n'était pas envisageable et que le pourcentage de recouvrement apparaissait comme un indicateur trop subjectif. Toutefois, les nombreux avortements des fleurs après leur éclosion ont sûrement engendré des imprécisions dans les observations, les variétés étant sélectionnées pour favoriser la tubérisation et non la reproduction sexuée (Ellissèche, 1996). Il s'est avéré difficile d'attribuer des stades phénologiques aux individus après le début de la floraison et ce jusqu'à l'entrée en sénescence. Une autre méthode pourrait être de relever le nombre de jours nécessaires avant la levée puis avant l'apparition de la première fleur puis avant l'entrée en sénescence. En revanche, cette méthode implique plus de passages sur les exploitations, ce qui n'est pas toujours aisé au vu de l'éclatement géographique des sites pilotes.

Au sujet de la production, l'étude a mis en évidence un effet des arbres sur la production de façon non systématique, et fonction de la variété et des infrastructures agroforestières. Sur le site des Terres de Roumassouze, la fermeture du milieu induite par le type de taille semble impliquer une diminution de production. Une corrélation positive entre le pourcentage d'ouverture de canopée et la production brute a d'ailleurs été établi (pour les modalités TETARD et ELAGUE) montrant qu'à partir de 40% d'ombrage la production brute diminue. Les plants de la modalité TETARD réalise une meilleure performance (production brute et nette) comparée au témoin ce qui est inattendu puisqu'il semblerait que l'ombrage réduirait le rendement (Weselek *et al.*, 2021; Schulz *et al.*, 2019). Cependant de nombreux autres facteurs ont pu également impacter les résultats de production. De plus, les importants dégâts causés par les rats taupiers sur les modalités CONTROL et en particulier ELAGUE constituent un autre facteur aggravant les différences de production entre modalités. Cette pression de ravageurs s'illustrent à travers des pertes de production brute lorsque les tubercules sont entièrement consommés par les rongeurs mais aussi au niveau de la production nette : si les tubercules sont grignotés à plus de 10% du volume du tubercule, ils ne sont pas commercialisables (OCDE, 2009). L'écart de production brute et nette est de ce fait particulièrement important pour ces deux modalités. De plus, la sénescence des modalités CONTROL et ELAGUE est apparue en amont de celle de la modalité TETARD. Or, le rendement de la pomme de terre est notamment déterminé par sa durée de croissance et la quantité de lumière reçue au cours de celle-ci (Kooman *et al.*, 1996). Ainsi, les tubercules de la modalité TETARD ont pu bénéficier d'une phase de remplissage plus longue : ils sont d'ailleurs plus gros au regard des calibres. Cette précocité d'entrée en sénescence peut s'expliquer par la forte pression d'adventices (sorgho d'Alep - *Sorghum halepense* et liseron - *Calystegia sepium*) sur les modalités CONTROL et ELAGUE impliquant une compétition pour les ressources en eau et nutriments. Pour mieux quantifier ce décalage d'entrée en sénescence, il aurait été pertinent de compter le nombre de jours entre l'entrée en sénescence et la récolte selon les modalités. Ainsi, pour le site des Terres de Roumassouze même si les conséquences de l'ombrage (réduction de la lumière reçue) semblent avoir

un impact sur la production et la valeur commerciale venant appuyer de précédentes études (Schulz *et al.*, 2019; Weselek *et al.*, 2021), les résultats obtenus sont à considérer avec du recul puisque d'autres facteurs sont déterminants dans la construction de la production finale. Le phénomène de compétition serait également un facteur important jouant sur la production sur le site de La Ferme du Colibri en particulier pour la variété Maïwen. Si les arbres ne semblent pas impacter la production, il convient de souligner une augmentation de la proportion de petits calibres aux abords de la haie. Tous les tubercules ayant été formés au même moment, il est possible que la compétition avec la haie puisse expliquer cette diminution des calibres ou bien l'ombre que celle-ci fournit (Rousselle, 1996). En effet, certaines branches de pruniers débordent largement de la haie et offre une part d'ombre aux premiers rangs de la parcelle (ombrage non quantifié dans l'étude). Un résultat similaire est obtenu dans l'étude de Schulz *et al.* (2019) avec une augmentation de petits tubercules (<30mm) pour des ombrages jusqu'à 26%. Cela est renforcé par l'explication théorique du phénomène concernant la multiplication cellulaire ralentie par l'ombrage au moment du remplissage des tubercules exposée par Chen (2003). La compétition avec la haie pourrait s'être aussi manifestée pour la variété Désirée (au rang 3). De plus, la température est un facteur pouvant diminuer la production avec potentiellement un nombre de tubercules plus important mais surtout une taille plus petite. Cela proviendrait d'un changement de localisation de la biomasse des stolons (et donc des tubercules) vers les feuilles, stimulé par de hautes températures (Hancock *et al.*, 2014). La diminution de production entre la parcelle CONTROL et les rangs aux abords des arbres pourraient alors s'expliquer par les températures plus importantes relevés sur le rang CONTROL d'autant que la variété Désirée n'est pas la plus résistances au fortes chaleurs (Rykaczewska, 2015). Enfin, sur le site de La Durette, la distance à l'arbre paraît avoir un impact sur la production puisque le rang le plus proche des arbres est moins productif que le rang le plus éloigné. Ces différences ne s'expliquent pas par des différences de croissance ou de développement en amont. Il est possible que cette diminution soit liée à l'état sanitaire des individus puisque le Rang 2 a été la cible de doryphores en mai. L'irrigation a également pu jouer un rôle dans cette écart : la ligne d'asperseurs étant au centre de la parcelle, certaines zones des rangs proches des arbres pourraient recevoir moins d'eau. La période de tubérisation et de remplissage est particulièrement critique concernant le stress hydrique : un léger déficit à ce moment-là pourrait avoir des répercussions négatives sur le rendement final (Rousselle, 1996).

Bien que les modifications microclimatiques puissent les influencer, les résultats obtenus sur les trois sites au sujet de la production et la valeur commerciale témoignent de fortes variabilités de réponses liées aux contextes agro-climatiques, aux pratiques des agriculteur.rices, aux infrastructures agroforestières mais aussi aux variétés.

C. Perspectives

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude (première année du projet ALMANAC) ouvre une réflexion quant à la poursuite de projets et de leurs thématiques de recherche potentielles. Il est notamment nécessaire de rappeler que l'activité de recherche menée dans ce projet est participative. Elle vise bien entendu à approfondir et produire des connaissances sur les systèmes agroforestiers maraîchers mais surtout à obtenir et diffuser des références techniques répondant aux besoins et interrogations des producteur.rices. Dans cette configuration, l'étude analytique à l'échelle de la parcelle ou de la modalité semble pertinente puisqu'au plus proche de l'échelle d'observation des maraîcher.es. Si la recherche participative permet un lien fort avec la réalité du terrain, il s'agit également de s'adapter aux contraintes des agriculteur.rices qui malgré leur investissement ne peuvent pas toujours mettre en place les dispositifs construits en amont et suivre précisément les itinéraires techniques convenus en raison, parfois, d'une charge de travail trop importante.

L'étude menée cette année montre la difficulté d'obtenir des résultats généralisables tant le nombre de facteurs à prendre en compte est conséquent. Le contexte de l'exploitation, le type d'infrastructures et la variété utilisée constituent des facteurs primordiaux dans ce type de projet et pourraient avoir un impact élevé sur les résultats obtenus. Il serait d'ailleurs judicieux pour mieux appréhender ces variabilités variétales et contextuelles de sélectionner une variété et de la mettre en culture dans différents systèmes agroforestiers. Cela permettrait d'un côté d'étudier l'influence de différentes infrastructures agroforestières en supprimant l'effet variétal mais aussi, si l'étude est répétée avec d'autres variétés, de pouvoir comparer les performances des variétés entre elles pour déterminer les plus adaptées à différents types de systèmes agroforestiers. Même s'il existe des études de comparaison variétale concernant les effets de la température (Rykaczewska, 2015; 2013), celles-ci sont conduites en milieu contrôlé et ne prennent donc pas en compte la complexité d'un système dans son ensemble. Les producteur.rices pourraient alors faire le choix de la variété la plus adaptée au contexte de leur exploitation.

Les dispositifs mis en place cette année visaient à caractériser le microclimat au sein des parcelles agroforestières des différents sites pilotes et à évaluer les performances agronomiques des pommes de terre cultivées sur celles-ci. L'incidence du microclimat sur les performances a pu être établi en tendance mais pour avoir plus de précisions dans ces liens, il serait intéressant d'étudier la possibilité de n'instrumenter qu'un seul site. La contrainte de budget étant conséquente et les dispositifs de mesures microclimatiques coûteuses, il semble impossible d'augmenter la quantité de sondes pour cartographier l'ensemble des variabilités intra-parcellaires. En revanche, une solution envisageable pourrait être de réduire le nombre de placettes et donc d'individus suivis. L'objectif serait

d'associer une placette d'individus à un suivi microclimatique pour pouvoir appréhender plus finement les liens entre les modifications microclimatiques et les performances agronomiques. Pour suivre plus précisément le développement et pour obtenir d'autres mesures (qualité du tubercules notamment à travers la matière sèche), il serait pertinent d'effectuer des relevés et des mesures dites destructrices au cours de la campagne. Le prélèvement de certains individus à des stades phénologiques prédéfinis permettrait de mieux étudier les processus de tubérisation et de remplissage, phases essentielles dans la construction du rendement des plants de pommes de terre. Cependant, en recherche participative, le prélèvement de certains plants nuiraient au rendement final commercialisé par les agriculteur.rices. Il s'agirait alors de trouver le bon équilibre pour avoir un nombre d'échantillons adéquat pour les analyses sans pour autant pénaliser la commercialisation ou bien d'alors envisager un dédommagement.

Si cette étude s'est surtout focalisée sur l'étude de la ressource lumineuse, des besoins de recherches similaires sont également mis en évidence concernant la ressource en eau. Malgré des résultats soulignant le potentiel de l'agroforesterie à tamponner les extremums climatiques, peu de références et données techniques existent concernant l'hypothèse de sa capacité à optimiser l'utilisation de la ressource en eau. A la demande des agriculteur.rices, le projet ALMANAC a pour ambition dans les prochaines années d'aborder cette thématique d'autant que la région méditerranéenne est de plus en plus soumise aux sécheresses extrêmes. L'analyse de la performance globale de l'irrigation des systèmes agroforestiers maraîchers par rapport à une culture en plein-soleil pourrait participer à la définition des besoins optimums de la culture en maximisant les rendements et minimisant les pertes en eau.

Pour terminer, dans la perspective de poursuite du projet mais aussi d'études futures, il est important de rappeler que ce projet s'adresse aux producteur.rices installés en maraîchage biologique diversifié. Sur ces exploitations, de nombreuses espèces étant cultivées, un échange avec des maraîchers agroforestiers complétés par une veille scientifique permettrait de sélectionner de nouvelles espèces maraîchères pour la suite des expérimentations. Par exemple, López-Marín *et al.* (2012) ont également démontré le potentiel agronomique du poivron cultivé sous serre et sous ombrage (40-60%) en zone méditerranéenne. Les critères de sélection des espèces maraîchères suivies devront être en lien avec les performances agronomiques, les contraintes et demandes des agriculteur.rices mais aussi avec les attentes des consommateurs. D'autre part, dans le cadre d'un projet de recherche participatif, il serait intéressant de confronter les résultats obtenus avec les connaissances et expériences techniques des producteur.rices. Cela pourrait conduire à une approche plus empirique, intéressante pour l'accompagnement local des maraîcher.es.

VI. QUALITE DE VIE AU TRAVAIL DES MARAICHER.ES AU SEIN DE SYSTEMES AGROFORESTIERS

D'après le Ministère de la santé et de la prévention, la qualité de vie au travail (QVT) est caractérisée par l'amélioration du quotidien des personnes et de leur permettre de réaliser leur travail dans de bonnes conditions. Elle s'exerce sur différents leviers notamment les conditions de travail, l'environnement, la sécurité, la santé, la formation et l'évolution professionnelle (Ministère de la santé et de la prévention, 2017). Concevoir et gérer un système maraîcher agroforestier demandent une réflexion sur les objectifs de l'exploitant.e mais aussi sur sa qualité de vie au travail. La compétence choisie pour aborder la Qualité de vie au Travail est par conséquent : « Concevoir une ingénierie de projet en prenant en compte le travail ». Cette partie traite, à travers le prisme de cette compétence, de l'impact de la mise en place et de la gestion de ces systèmes sur la qualité de vie au travail des maraîcher.es.

A la conception d'un projet de verger-maraîcher ou de maraîchage avec des rangs arborés, l'agriculteur.rice et les conseiller.es doivent définir les objectifs de l'installation et surtout le temps de travail disponible à allouer aux arbres. Les premières années, les greffons demandent une attention particulière notamment sur l'arrosage puis au niveau de la taille de formation. Une fois productifs, les arbres fruitiers doivent être taillés une à deux fois par an et il faut également prévoir une surcharge de travail en période de récolte de la production si l'agriculteur.rice commercialise les fruits. Ces étapes demandent un temps de travail additionnel qui peut parfois nuire aux conditions de travail et à l'équilibre entre vie privée et vie professionnelle de l'exploitant.e. Les pics de travail en maraîchage se situent autour du printemps et de l'été de même pour de nombreux fruits à noyaux : il convient alors de réfléchir aux essences à implanter les plus adaptées au contexte et à la disponibilité de l'exploitant. Ensuite, dans la conception du projet, il est important d'envisager la disposition des arbres (un rang, double rangs) de façon à faciliter au maximum les interventions et limiter l'achat de nouveaux matériaux qui pourraient faire perdre du temps et de l'argent.

En revanche, même si l'organisation peut être contraignante, les maraîcher.es rencontrés au cours de cette étude soulignent les bienfaits que leur apportent les installations agroforestières en intraparcellaire[1]. D'abord, l'ombrage procuré par les arbres rend le travail en période estivale moins pénible grâce au microclimat créé. Ensuite, un aspect souligné par la plupart des agriculteur.rices rencontré.es est l'esthétisme apporté par la présence des arbres. Travailler dans un beau lieu constitue même un objectif pour certain.es. Les arbres apportent selon eux de la diversité de paysages mais aussi

[1] Cette partie est issue des propos recueillis lors de discussions informelles avec les maraîcher.es des sites pilotes et d'autres exploitant.es rencontré.es lors de formations et visites.

de la biodiversité (oiseaux notamment) et de la couleur lors des floraisons : les lieux sont plus agréables.

La conception d'un projet agroforestier doit donc se construire autour d'une réflexion complète pour ne pas, sur le long terme, souffrir d'aspects non-étudiés en amont qui nuiraient aux conditions de travail des exploitant.es. S'il est bien réalisé, un projet agroforestier peut permettre d'améliorer le confort et la satisfaction des agriculteur.rices dans leur travail.

VII. CONCLUSION

Le maraîchage biologique diversifié sur petite surface fait face à de nombreux enjeux technico-économiques, environnementaux et climatiques en région méditerranéenne. Ce constat incite à concevoir et à développer de nouveaux systèmes de cultures plus à même de répondre ces problématiques. Pour ces divers bénéfices potentiels, l'agroforesterie représenterait un levier de développement pour pallier à ces enjeux. Cependant, malgré le regain d'intérêt récent porté à ce type de système, peu de références existent concernant les potentialités de l'agroforesterie maraîchère. D'autant que la diversité des espèces cultivées en maraîchage suppose une grande variabilité de réponses possibles.

L'objectif de cette étude était d'évaluer dans quelles mesures la présence des arbres pouvait impacter le microclimat de la parcelle et les performances agronomiques de la culture sous-jacente. Ce travail, intégré au projet ALMANAC, fait suite à de précédents projets conduits sur différentes espèces (tomates notamment). Il vise à améliorer les connaissances sur les interactions entre arbres et cultures maraîchères afin de proposer des références techniques et d'accompagner les agriculteur.rices dans la conception et la gestion de systèmes agroforestiers. Lors de cette première année d'expérimentations, l'accent a été porté sur le suivi des pommes de terre, espèce cultivée sur les 3 sites pilotes.

D'après les résultats obtenus sur les 3 sites, l'arbre crée un microclimat dont l'effet tampon limite l'impact des phénomènes climatiques extrêmes. Ce microclimat est influencé par l'ombrage offert par les arbres mais aussi par d'autres paramètres comme la réduction de la vélocité du vent. Les réponses écophysiologiques de la pomme de terre semblent varier selon la distance aux arbres ou la modalité de taille et donc selon la quantité de lumière reçue. Un retard de développement est observé sur les rangs les plus ombragés et un phénomène d'évitement de l'ombrage avec une taille plus importante des plantes, est également notable sur le site des Terres de Roumassouze, dans le milieu le plus fermé. Au sujet de la production, les rangs aux abords des arbres ou les plus couverts apparaissent comme moins productifs à partir d'un certain taux d'ombrage avec en cause une potentielle compétition et/ou une quantité de lumière moindre. Cependant, d'autres facteurs comme l'enherbement, les ravageurs ou les infrastructures d'irrigation ont pu impacter les résultats de production obtenus.

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude met en avant la complexité des interactions entre arbres et cultures maraîchères. Les phénomènes de compétition et de facilitation sur les ressources du milieu sont difficiles à appréhender à l'échelle du système de culture tant les facteurs à considérer sont nombreux. Cette étude met en évidence la grande diversité des réponses possibles liées au type d'infrastructures agroforestières (dimensions, tailles, orientation…), à la variété – certaines pouvant être plus résistantes que d'autres à l'ombre ou aux températures – et au contexte agro-climatiques de l'exploitation. Il est donc difficile de généraliser les résultats obtenus. Cependant,

ils demeurent néanmoins pertinents puisque la recherche participative a vocation d'apporter des références concrètes locales aux agriculteur.rices afin d'optimiser leur gestion et /ou conception de système. Cette étude incite donc la poursuite des recherches sur d'autres espèces maraîchères et sur le fonctionnement des systèmes agroforestiers maraîchers en zone méditerranéenne pour accompagner le développement, l'amélioration et l'adaptation des systèmes de cultures maraîchers au changement climatique. Une activité de recherche sur la ressource en eau et son utilisation par les cultures maraîchères agroforestières, envisagée par le projet ALMANAC, permettrait d'évaluer le potentiel de l'agroforesterie à optimiser ou non la ressource en eau d'autant que la région méditerranéenne connait des épisodes de sécheresses intenses.

Mise en pratique de la charte d'éthique de l'ingénieur.e :

Ce stage et la rédaction de ce mémoire a été l'occasion de mettre en pratique les valeurs de la charte d'éthique de l'ingénieur.e rédigée par l'IESF. Tout d'abord, le sujet de mon mémoire ainsi que les missions d'AGROOF sont ancrées dans la « Durabilité » et la prise en compte de l'environnement par l'adaptation au changement climatique. Tout au long du stage, les recherches bibliographiques, la mise en place des expérimentations, les suivis, les analyses ainsi que les conclusions tirées de ces dernières ont fait l'objet d'une réflexion et organisation scientifique rigoureuse dans le but d'être la plus objective possible. Il est de notre responsabilité, nous, ingénieur.es (et chercheur.es), de prendre du recul sur les résultats, d'avoir conscience et d'admettre les limites de nos connaissances. Cela est particulièrement valable dans les postes d'ingénieur.e chargé.e de recherche (et plus généralement en recherche) dans lesquels il faut être en mesure de dire qu' « on ne sait pas » ce qui est primordial pour ne pas biaiser ou véhiculer des connaissances infondées. Ensuite, cette étude m'a permis de développer les compétences liées à l'adaptation de la réalité du terrain. J'ai pris conscience qu'il était souvent nécessaire dans les projets de recherche de faire des compromis entre nos attentes et ce qui était réellement possible de faire à cause d'un budget limité. D'autre part, il a fallu s'adapter à certaines contraintes sur le terrain lors de la mise en place des expérimentations, les agriculteur.rices n'ayant pas pu, parfois, installer les cultures aux endroits définis en amont, ou encore suivre rigoureusement les itinéraires techniques convenus. Nous avons dû, l'équipe de recherche et moi-même, trouver rapidement des alternatives à ce que nous avions initialement prévu. Enfin, les résultats de cette première année serviront à la suite des expérimentations et à la communication prévue dans le cadre du projet ALMANAC. Ils pourront notamment être diffusés aux conseillers et techniciens mais surtout aux agriculteur.rices des sites pilotes ou extérieur.es lors de journées techniques. Cette diffusion et accessibilité des résultats aux acteur.rices et maraîchèr.es sont centrales dans les missions du métier d'ingénieur.e.

BIBLIOGRAPHIE

ABDRABBO, M.A, FARAQ, A.A et ABUL-SOUD, M., 2013. The intercropping effect on potato under net house as adaption procedure of climate change impacts. *Appl. Res* [en ligne]. 2013. N° 5, pp. 48-60. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Farag-6/publication/274897597_The_Intercropping_Effect_on_Potato_under_Net_House_as_Adaption_Procedure_of_Climate_Change_Impacts/links/552c24a90cf29b22c9c4420c/The-Intercropping-Effect-on-Potato-under-Net-House-as-Adaption-Procedure-of-Climate-Change-Impacts.pdf

ABROL, Dharam Pal, GORKA, Anil Kumar, ANSARI, Mohammad Javed, AL-GHAMDI, Ahmad et AL-KAHTANI, Saad, 2019. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en ligne]. mars 2019. Vol. 26, n° 3, pp. 524-530. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1016/j.sjbs.2017.08.003. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319562X17302085

AGENCE BIO et CONSUMER SCIENCE & ANALYTICS (CSA), 2022. Etude n°2100912 : *Baromètre de consommation et perception des produits biologiques en France* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2022/03/Barometre-de-consommation-et-de-perception-des-produits-bio-Edition-2022_VF.pdf

AGRESTE, 2022. 17 : *Gard - Recensement agricole 2020* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/agreste_etude_ra20_gard_20072022.pdf

ARVALIS ET GEVES, 2016a. CHARLOTTE Pomme de terre : Précocité Mildiou Rendement, Résultats ARVALIS. [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?mode=fv&id_espece=001&id_variete=79

ARVALIS ET GEVES, 2016b. DESIREE Pomme de terre : Précocité Mildiou Rendement, Résultats ARVALIS. *Les Fiches ARVALIS* [en ligne]. 2016. [Consulté le 7 mars 2023]. Disponible à l'adresse : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?mode=fv&id_espece=001&id_variete=115

ARVALIS ET GEVES, 2016c. MAIWEN Pomme de terre : Précocité Mildiou Rendement, Résultats ARVALIS. *Les Fiches ARVALIS* [en ligne]. 2016. [Consulté le 7 mars 2023]. Disponible à l'adresse : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?mode=fv&id_espece=001&id_variete=20539

ARVALIS ET GEVES, 2016d. DALIDA Pomme de terre : Précocité Mildiou Rendement, Résultats ARVALIS. *Les Fiches ARVALIS* [en ligne]. 2016. [Consulté le 7 mars 2023]. Disponible à l'adresse : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?id_espece=001&id_variete=110

BARBIER, Jean Marc, BAURY, Claude et BERTUZZI, Patrick, 2016. *Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur* [en ligne]. Groupe régional d'experts sur le climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR). [Consulté le 10 mai 2023]. Cahier thématique du groupe de travail « Agriculture et forêt ». Disponible à l'adresse : https://hal.science/hal-01871694/HAL: hal-02800614

BÉRAL, Camille, MARTIN-CHAVE, Ambroise et FLORÈS, Denis, 2019. *Effets de l'agroforesterie sur la production de tomates en système maraicher biologique et tempéré* [en ligne]. Agroof. Disponible à l'adresse : https://arbratatouille.projet-agroforesterie.net/docs/tomates1BD.pdf

BÖHM, Christian, KANZLER, Michael et FREESE, Dirk, 2014. Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry*

Systems [en ligne]. août 2014. Vol. 88, n° 4, pp. 579-591. [Consulté le 30 août 2023]. DOI 10.1007/s10457-014-9700-y. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/s10457-014-9700-y

CARDINAEL, Rémi, CHEVALLIER, Tiphaine, BARTHÈS, Bernard G., SABY, Nicolas P.A., PARENT, Théophile, DUPRAZ, Christian, BERNOUX, Martial et CHENU, Claire, 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — A case study in a Mediterranean context. *Geoderma* [en ligne]. décembre 2015. Vol. 259-260, pp. 288-299. [Consulté le 28 août 2023]. DOI 10.1016/j.geoderma.2015.06.015. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706115300021

CDEE, 2018. *NORME CEE-ONU FFV-52 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des POMMES DE TERRE PRIMEURS ET POMMES DE TERRE DE CONSERVATION* [en ligne]. New-York et Genève : ONU. Disponible à l'adresse : https://unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/standard/fresh/FFV-Std/French/52_EarlyAndWarePotatoes.pdf

CHAMBRES D'AGRICULTURE OCCITANIE et CERFRANCE, 2021. *Agri'scopie Occitanie* [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/AGRISCOPIE-crao2021.pdf

CHEN, C.-T., 2003. Response of Potato Tuber Cell Division and Growth to Shade and Elevated CO2. *Annals of Botany* [en ligne]. 1 février 2003. Vol. 91, n° 3, pp. 373-381. [Consulté le 12 juillet 2023]. DOI 10.1093/aob/mcg031. Disponible à l'adresse : https://academic.oup.com/aob/article-lookup/doi/10.1093/aob/mcg031

CUI, Diyang, LIANG, Shunlin et WANG, Dongdong, 2021. Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate classification. *WIREs Climate Change* [en ligne]. mai 2021. Vol. 12, n° 3. [Consulté le 31 mars 2023]. DOI 10.1002/wcc.701. Disponible à l'adresse : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.701

DARPEIX, Aurélie et BERGERON, Emeline, 2009. L'emploi et la compétitivité des filières de fruits et légumes : situation française et comparaison européenne. *Notes et études socio-économiques* [en ligne]. 2009. N° 32, pp. 6-40. [Consulté le 24 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://hal.inrae.fr/hal-02658251/documentHAL: hal-02658251

DUPRAT, Paul, THIECHART, Marion et SARTHOU, Jean-Pierre, 2018. Biodiversité associée : Définition. [en ligne]. 2018. [Consulté le 7 août 2023]. DOI 10.17180/6WBE-T019. Disponible à l'adresse : https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/biodiversite-associee/

DUPRAZ, Christian et LIAGRE, Fabien, 2011. *Agroforesterie - Des arbres et des cultures*. France Agricole. Tours. ISBN 198-2-85557-150-8.

DUTT, Som, MANJUL, Anshul Sharma, RAIGOND, Pinky, SINGH, Brajesh, SIDDAPPA, Sundaresha, BHARDWAJ, Vinay, KAWAR, Prashant G., PATIL, Virupakshagouda U. et KARDILE, Hemant Balasaheb, 2017. Key players associated with tuberization in potato: potential candidates for genetic engineering. *Critical Reviews in Biotechnology* [en ligne]. 3 octobre 2017. Vol. 37, n° 7, pp. 942-957. [Consulté le 16 mars 2023]. DOI 10.1080/07388551.2016.1274876. Disponible à l'adresse : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07388551.2016.1274876

ELLISSÈCHE, D., 1996. Aspects physiologiques de la croissance et du développement. In : *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Paris : Inst. National de la Recherche Agronomique [u.a.]. pp. 687. ISBN 978-2-7380-0676-9. K10plus ISBN

GERVAIS, Taylor, CREELMAN, Alexa, LI, Xiu-Qing, BIZIMUNGU, Benoit, DE KOEYER, David et DAHAL, Keshav, 2021. Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis. *Frontiers in Plant Science* [en ligne]. 12 août 2021. Vol. 12, pp. 698060. [Consulté le 7 mars 2023]. DOI 10.3389/fpls.2021.698060. Disponible à l'adresse : https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.698060/full

HABIB, Zannatul Firdaus Binte, HASSAN, Md. Rashedul, NAHER, Nazmun et HALIM, Abdul, 2020. Study on the Effect of Shading on Performance of Leafy Vegetables. *Journal of Scientific Research and Reports* [en ligne]. 31 décembre 2020. pp. 8-24. [Consulté le 10 mars 2023]. DOI 10.9734/jsrr/2020/v26i1030318. Disponible à l'adresse : https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/1196

HACK, et al., 1993. *Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées - La Pomme de Terre - BBCH Monographie*. Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l`Agriculture et les Forêts.

HANCOCK, Robert D., MORRIS, Wayne L., DUCREUX, Laurence J. M., MORRIS, Jenny A., USMAN, Muhammad, VERRALL, Susan R., FULLER, John, SIMPSON, Craig G., ZHANG, Runxuan, HEDLEY, Pete E. et TAYLOR, Mark A., 2014. Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature: Systems biology of heat stress in potato. *Plant, Cell & Environment* [en ligne]. février 2014. Vol. 37, n° 2, pp. 439-450. [Consulté le 30 août 2023]. DOI 10.1111/pce.12168. Disponible à l'adresse : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.12168

HERVIEU, Bertrand et ABIS, Sébastien, 2006. Les dynamiques agricoles en Méditerranée. *Confluences Méditerranée* [en ligne]. 2006. Vol. N°58, n° 3, pp. 169. [Consulté le 31 mars 2023]. DOI 10.3917/come.058.0169. Disponible à l'adresse : http://www.cairn.info/revue-confluences-mediterranee-2006-3-page-169.htm?ref=doi

HUFTY, André, 2001. *Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine*. Saint-Nicolas, Québec : [Paris] : Presses de l'Université Laval ; De Boeck université. Travaux du Département de géographie de l'Université Laval. ISBN 978-2-7637-7783-2. QC981 .H635 2001

INFOCLIMAT, 2023a. *Station météorologique de Saint-Hilaire-de-Brethmas (30)* [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/000BZ/aout/2023/saint-hilaire-de-brethmas.html

INFOCLIMAT, 2023b. *Station météorologique d'Avignon* [en ligne]. 2023. 07563. Disponible à l'adresse : https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/07563/juillet/2023/avignon.html

INSEE, 2021. *Identité agricole des régions* [en ligne]. INSEE. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/statistiques/5039859?sommaire=5040030

INSEE, 2023. 9 : *En moyenne en 2022, nette accélération des prix à la consommation Prix à la consommation - moyennes annuelles (IPC) - année 2022* [en ligne]. [Consulté le 28 avril 2023]. Informations rapides. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/statistiques/6688595#consulter

IPCC, 2023. *SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)* [en ligne]. Climate change 2023. Disponible à l'adresse : https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

ITAB, 2005. *Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques*. Paris (149 rue de Bercy, 75595 Cedex 12) : ITAB, Institut technique de l'agriculture biologique. ISBN 978-2-9515855-5-3.

JARRIGE, Françoise, 2004. Les mutations d'une agriculture méditerranéenne face à la croissance urbaine : dynamiques et enjeux autour de Montpellier. *Cahiers d'Agriculture* [en ligne]. 2004. N° 13, pp. 64-74. [Consulté le 19 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30423/30183

JEAN-MICHEL, GRAVOUEILLE, MARIELLE CHEDOT, et FLORENCE COURIC, 2016. *VARIETES DE CONSOMMATION RECENTES INSCRITES AU CATALOGUE FRANCAIS* [en ligne]. Arvalis Institut du Végétal. Disponible à l'adresse : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/CR_VARIETE_PDT/CR_VARIETE_PDT_2015.pdf

JOSE, S., GILLESPIE, A.R. et PALLARDY, S.G., 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* [en ligne]. juillet 2004. Vol. 61-62, n° 1-3, pp. 237-255. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b

KARVATTE, Nivaldo, MIYAGI, Eliane Sayuri, DE OLIVEIRA, Caroline Carvalho, BARRETO, Camilla Diniz, MASTELARO, Ariadne Pegoraro, BUNGENSTAB, Davi José et ALVES, Fabiana Villa, 2020. Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Science of The Total Environment* [en ligne]. août 2020. Vol. 731, pp. 139252. [Consulté le 10 mars 2023]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139252. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720327698

KOOMAN, P.L., FAHEM, M., TEGERA, P. et HAVERKORT, A.J., 1996. Effects of climate on different potato genotypes 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. *European Journal of Agronomy* [en ligne]. décembre 1996. Vol. 5, n° 3-4, pp. 193-205. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1016/S1161-0301(96)02031-X. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S116103019602031X

KORT, John, 1988. 9. Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en ligne]. août 1988. Vol. 22-23, pp. 165-190. [Consulté le 27 août 2023]. DOI 10.1016/0167-8809(88)90017-5. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0167880988900175

LAROUSSE, 2023. Définition - Microclimat n.m. *Larousse* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/microclimat/51182

LAUB, Moritz, PATACZEK, Lisa, FEUERBACHER, Arndt, ZIKELI, Sabine et HÖGY, Petra, 2021. Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems. A meta-analysis. *agriRxiv* [en ligne]. janvier 2021. Vol. 2021, pp. 20210479141. [Consulté le 10 mars 2023]. DOI 10.31220/agriRxiv.2021.00099. Disponible à l'adresse : http://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.31220/agriRxiv.2021.00099

LÉGER, F., MOREL, K., BELLEC-GAUCHE, A. et WARLOP, F., 2019. SMART - Agroforesterie maraîchère : un choix stratégique pour garantir une durabilité en transition agroécologique ? Innovations Agronomiques 71, 259-273. [en ligne]. 2019. [Consulté le 8 août 2023]. DOI 10.15454/EK039O.

Disponible à l'adresse : https://www6.inra.fr/ciag/content/download/6602/48416/file/Vol71-18-L%C3%A9ger%20et%20al.pdf

LI, Lin, LJUNG, Karin, BRETON, Ghislain, SCHMITZ, Robert J., PRUNEDA-PAZ, Jose, COWING-ZITRON, Chris, COLE, Benjamin J., IVANS, Lauren J., PEDMALE, Ullas V., JUNG, Hou-Sung, ECKER, Joseph R., KAY, Steve A. et CHORY, Joanne, 2012. Linking photoreceptor excitation to changes in plant architecture. *Genes & Development* [en ligne]. 15 avril 2012. Vol. 26, n° 8, pp. 785-790. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1101/gad.187849.112. Disponible à l'adresse : http://genesdev.cshlp.org/lookup/doi/10.1101/gad.187849.112

LÓPEZ-MARÍN, J., GÁLVEZ, A., GONZÁLEZ, A., EGEA-GILABERT, C. et FERNÁNDEZ, J.A., 2012. EFFECT OF SHADE ON YIELD, QUALITY AND PHOTOSYNTHESIS-RELATED PARAMETERS OF SWEET PEPPER PLANTS. *Acta Horticulturae* [en ligne]. octobre 2012. N° 956, pp. 545-552. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.17660/ActaHortic.2012.956.65. Disponible à l'adresse : https://www.actahort.org/books/956/956_65.htm

MARIANA, Merlyn et HAMDANI, Jajang Sauman, 2016. Growth and Yield of Solanum Tuberosum at Medium Plain with Application of Paclobutrazol and Paranet Shade. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* [en ligne]. 2016. Vol. 9, pp. 26-30. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1016/j.aaspro.2016.02.117. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210784316301176

MARTIN-CHAVE, Ambroise, BÉRAL, Camille, FLORÈS, Denis, DAUZAT, Jean et VÉZY, Rémi, 2021. *Ombrage, microclimat en agroforesterie intraparcellaire*. Restitution du projet de recherche participative. Arbratatouille - Agroforeterie maraîchère.

MAS NICOLAS, 2023. ISBN : 978-2-11-097750-2 : *Agreste - Mémento 2023 - Occitanie* [en ligne]. Agreste & Draaf Occitanie. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/p_memento2023_vdef.pdf

MCCREE, K. J., 1981. Photosynthetically Active Radiation. In : LANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B. et ZIEGLER, H. (éd.), *Physiological Plant Ecology I* [en ligne]. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. pp. 41-55. [Consulté le 27 août 2023]. ISBN 978-3-642-68092-2. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-68090-8_3

MÉTÉOFRANCE, 2023a. Climat Nice - Normales 1991-2020. [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : https://meteofrance.com/climat/normales/france/provence-alpes-cote-d-azur/NICE

MÉTÉOFRANCE, 2023b. Climat Montepellier Aéroport - Normales 1991-2020. [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : https://meteofrance.com/climat/normales/france/occitanie/montpellier-aeroport

MÉTÉOFRANCE, 2023c. Station météorologique du Mont Aigoual - Normales et records (1991-2020). [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1991-2020/mont-aigoual/valeurs/07560.html

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DE LA PRÉVENTION, 2017. Qualité de vie et des conditions de travail : de quoi parle-t-on ? [en ligne]. 1 juillet 2017. Disponible à l'adresse : https://sante.gouv.fr/professionnels/ameliorer-les-conditions-d-exercice/qualite-de-vie-au-travail/

NAZ, Sahrish, AHMAD, Shakeel, ABBAS, Ghulam, FATIMA, Zartash, HUSSAIN, Sajjad, AHMED, Mukhtar, KHAN, Muhammad Azam, KHAN, Ahmad, FAHAD, Shah, NASIM, Wajid, ERCISLI, Sezai, WILKERSON, Carol Jo et HOOGENBOOM, Gerrit, 2022. Modeling the impact of climate warming on potato

phenology. *European Journal of Agronomy* [en ligne]. janvier 2022. Vol. 132, pp. 126404. [Consulté le 30 août 2023]. DOI 10.1016/j.eja.2021.126404. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030121001751

NIINEMETS, Ülo, KEENAN, Trevor F. et HALLIK, Lea, 2015. A worldwide analysis of within-canopy variations in leaf structural, chemical and physiological traits across plant functional types. *New Phytologist* [en ligne]. février 2015. Vol. 205, n° 3, pp. 973-993. [Consulté le 30 août 2023]. DOI 10.1111/nph.13096. Disponible à l'adresse : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.13096

OCDE, 2009. *Normes internationales pour les fruits et légumes POMMES DE TERRE DE PRIMEUR ET POMMES DE TERRE DE CONSERVATION* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://agroof01.aquelia.net:20000/mailbox/detach.cgi/OCDE_Pomme_de_terre.pdf?id=cur%2F1678785138%2E99066%5F0%2Eagroof01%2Eaquelia%2Enet&folder=0&attach=3

PANTELIĆ, Danijel, DRAGIĆEVIĆ, Ivana Č., RUDIĆ, Jelena, FU, Jianming et MOMČILOVIĆ, Ivana, 2018. Effects of high temperature on in vitro tuberization and accumulation of stress-responsive proteins in potato. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* [en ligne]. juin 2018. Vol. 59, n° 3, pp. 315-324. [Consulté le 16 mars 2023]. DOI 10.1007/s13580-018-0043-x. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/s13580-018-0043-x

PÔLE EMPLOI, 2023. *Besoins en Main d'oeuvre 2023* [en ligne]. Pôle Emploi. Disponible à l'adresse : https://statistiques.pole-emploi.org/bmo

POORTER, Hendrik, NIINEMETS, Ülo, POORTER, Lourens, WRIGHT, Ian J. et VILLAR, Rafael, 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist* [en ligne]. mai 2009. Vol. 182, n° 3, pp. 565-588. [Consulté le 26 août 2023]. DOI 10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x. Disponible à l'adresse : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x

POUILLE, Jordan, 2023. A Blois, les maraîchers bio subissent de plein fouet la baisse de la demande. *Le Monde* [en ligne]. 2 mars 2023. [Consulté le 28 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/03/02/a-blois-les-maraichers-bio-subissent-de-plein-fouet-la-baisse-de-la-demande_6163888_3234.html

PRÉFET DU GARD, 2016. *ARRETE N°DDTM-SEA-2016-0007 - Surface minimale d'assujettisement (SMA) pour le département du Gard* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.gard.gouv.fr/contenu/telechargement/22069/161625/file/ARR_20160915_surface_minimale_assujetissement.pdf

QUINKENSTEIN, Ansgar, WÖLLECKE, Jens, BÖHM, Christian, GRÜNEWALD, Holger, FREESE, Dirk, SCHNEIDER, Bernd Uwe et HÜTTL, Reinhard F., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy* [en ligne]. décembre 2009. Vol. 12, n° 8, pp. 1112-1121. [Consulté le 10 juillet 2023]. DOI 10.1016/j.envsci.2009.08.008. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462901109001166

RAMANANJATOVO, Toky, CHANTOISEAU, Etienne, GUILLERMIN, Pascale, GUÉNON, René, DELAIRE, Mickaël, BUCK-SORLIN, Gerhard et CANNAVO, Patrice, 2021. Growth of Vegetables in an Agroecological Garden-Orchard System: The Role of Spatiotemporal Variations of Microclimatic Conditions and Soil Properties. *Agronomy* [en ligne]. 21 septembre 2021. Vol. 11, n° 9, pp. 1888. [Consulté le 6 mars 2023]. DOI 10.3390/agronomy11091888. Disponible à l'adresse : https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1888

RAYMOND, Florian et ULLMANN, Albin, 2021. Chapitre 10 - Impact spatial du changement climatique sur les sécheresses hivernales en Méditérranée et ses conséquences sur l'agriculture. In : *LES IMPACTS SPATIAUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE - Encyclopédie SCIENCES* [en ligne]. ISTE Group. [Consulté le 10 mai 2023]. ISBN 978-1-78948-009-2. Disponible à l'adresse : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=uzMQEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA211&dq=m%C3%A9diterran%C3%A9e+changement+climatique&ots=QOiSeAyjSY&sig=ELlJe9ufjXIgCeWJHS6rcaZWYBo&redir_esc=y#v=onepage&q=m%C3%A9diterran%C3%A9e%20changement%20climatique&f=false

RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR, 2013. *CONCERTATIONS REGIONALES POUR LE PROGRAMME «AMBITION BIO 2017»* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://agriculture.gouv.fr/programme-national-ambition-bio-2017

ROUSSELLE, Patrick (éd.), 1996. *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Paris : Inst. National de la Recherche Agronomique [u.a.]. ISBN 978-2-7380-0676-9.

RYKACZEWSKA, Krystyna, 2013. The Impact of High Temperature during Growing Season on Potato Cultivars with Different Response to Environmental Stresses. *American Journal of Plant Sciences* [en ligne]. 2013. Vol. 04, n° 12, pp. 2386-2393. [Consulté le 28 août 2023]. DOI 10.4236/ajps.2013.412295. Disponible à l'adresse : http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ajps.2013.412295

RYKACZEWSKA, Krystyna, 2015. The Effect of High Temperature Occurring in Subsequent Stages of Plant Development on Potato Yield and Tuber Physiological Defects. *American Journal of Potato Research* [en ligne]. juin 2015. Vol. 92, n° 3, pp. 339-349. [Consulté le 7 mars 2023]. DOI 10.1007/s12230-015-9436-x. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/s12230-015-9436-x

SCHONBECK, Mark, JERKINS, Diana et LOWELL, Vicki, 2017. *Soil Health and Organic Farming Understanding and Optimizing the Community of Soil Life* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://ofrf.org/wp-content/uploads/2019/09/Soil_Biology_Guide.pdf

SCHULZ, Vanessa S., MUNZ, Sebastian, STOLZENBURG, Kerstin, HARTUNG, Jens, WEISENBURGER, Sebastian et GRAEFF-HÖNNINGER, Simone, 2019. Impact of Different Shading Levels on Growth, Yield and Quality of Potato (Solanum tuberosum L.). *Agronomy* [en ligne]. 21 juin 2019. Vol. 9, n° 6, pp. 330. [Consulté le 10 mars 2023]. DOI 10.3390/agronomy9060330. Disponible à l'adresse : https://www.mdpi.com/2073-4395/9/6/330

SEABROOK, Janet E. A., 2005. Light effects on the growth and morphogenesis of potato(Solanum tuberosum) in vitro: A review. *American Journal of Potato Research* [en ligne]. septembre 2005. Vol. 82, n° 5, pp. 353-367. [Consulté le 27 août 2023]. DOI 10.1007/BF02871966. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/BF02871966

SIDDIQUI, Ahmad Omid, IŞIK, Doğan et JABRAN, Khawar, 2023. Impact of Weed Competition on Morphological and Biochemical Traits of Potato: a Review. *Potato Research* [en ligne]. 10 août 2023. [Consulté le 26 août 2023]. DOI 10.1007/s11540-023-09647-3. Disponible à l'adresse : https://link.springer.com/10.1007/s11540-023-09647-3

SINOQUET, H., STEPHAN, J., SONOHAT, G., LAURI, P. É. et MONNEY, Ph., 2007. Simple equations to estimate light interception by isolated trees from canopy structure features: assessment with three-dimensional digitized apple trees. *New Phytologist* [en ligne]. juillet 2007. Vol. 175, n° 1, pp. 94-106. [Consulté le 10 juillet 2023]. DOI 10.1111/j.1469-8137.2007.02088.x. Disponible à l'adresse : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2007.02088.x

SMITH, Jo, 2010. *Agroforestry: Reconciling Production with Protection of the Environment A Synopsis of Research Literature* [en ligne]. The Organic Research Center. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/277754782_Agroforestry_Reconciling_Production_with_Protection_of_the_Environment_A_Synopsis_of_Research_Literature

SUN, D. et DICKINSON, G.R., 1997. Early growth of six native Australian tree species in windbreaks and their effect on potato growth in tropical northern Australia. *Forest Ecology and Management* [en ligne]. juillet 1997. Vol. 95, n° 1, pp. 21-34. [Consulté le 26 août 2023]. DOI 10.1016/S0378-1127(97)00005-4. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112797000054

TOUILI, Nabil, AUBRY, Christine et MOREL, Kevin, 2023. *CLIMALEG: Adaptation des productions légumières au changement climatique. Rapport de synthèse* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-03986180/HAL: hal-03986180 , version 2

TRAMBLAY, Yves, RIBES, Aurélien, SOMOT, Samuel, NEPPEL, Luc, LUCAS-PICHER, Philippe, VINET, Freddy et SAUQUET, Eric, 2021. Impacts du changement climatique sur les pluies intenses et les crues en Méditerranée. *LHB* [en ligne]. 1 janvier 2021. Vol. 107, n° 1, pp. 1-5. [Consulté le 12 mai 2023]. DOI 10.1080/00186368.2021.1912971. Disponible à l'adresse : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00186368.2021.1912971

TZORTZIS ISMÉNOS, MASSE STÉPHAN, et MICHELET BARBARA, 2022. ISSN : 2558-5738 : *Agreste - Mémento 2021 -Provence-Alpes-Côte-d'Azur* [en ligne]. Agreste & Draaf PACA. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2021_paca.pdf

VALO, Martine, 2023. Le risque de sécheresse se confirme en France, malgré des sols plus humides dans certaines régions. *Le Monde* [en ligne]. 28 avril 2023. [Consulté le 11 mai 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/planete/article/2023/04/28/le-risque-de-secheresse-se-confirme-en-france-malgre-des-sols-plus-humides-dans-certaines-regions_6171302_3244.html

VARAH, Alexa, JONES, Hannah, SMITH, Jo et POTTS, Simon G., 2020. Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en ligne]. octobre 2020. Vol. 301, pp. 107031. [Consulté le 16 août 2023]. DOI 10.1016/j.agee.2020.107031. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880920302164

VENNETIER, Michel, 2020. Forêts et changement climatique. Le constat en région méditerranéenne: *Sciences Eaux & Territoires* [en ligne]. 27 juillet 2020. Vol. Numéro 33, n° 3, pp. 18-25. [Consulté le 10 mai 2023]. DOI 10.3917/set.033.0018. Disponible à l'adresse : https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2020-3-page-18.htm?ref=doi

WESELEK, Axel, BAUERLE, Andrea, HARTUNG, Jens, ZIKELI, Sabine, LEWANDOWSKI, Iris et HÖGY, Petra, 2021. Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development* [en ligne]. octobre 2021. Vol. 41, n° 5, pp. 59. [Consulté le 10 mars 2023]. DOI 10.1007/s13593-021-00714-y. Disponible à l'adresse : https://link.springer.com/10.1007/s13593-021-00714-y

WRIGHT, Ian J., REICH, Peter B., WESTOBY, Mark, ACKERLY, David D., BARUCH, Zdravko, BONGERS, Frans, CAVENDER-BARES, Jeannine, CHAPIN, Terry, CORNELISSEN, Johannes H. C., DIEMER, Matthias, FLEXAS, Jaume, GARNIER, Eric, GROOM, Philip K., GULIAS, Javier, HIKOSAKA, Kouki, LAMONT, Byron B., LEE, Tali, LEE, William, LUSK, Christopher, MIDGLEY, Jeremy J., NAVAS, Marie-Laure, NIINEMETS, Ülo, OLEKSYN, Jacek, OSADA, Noriyuki, POORTER, Hendrik, POOT, Pieter, PRIOR, Lynda, PYANKOV, Vladimir I., ROUMET, Catherine, THOMAS, Sean C., TJOELKER, Mark G., VENEKLAAS, Erik J. et VILLAR, Rafael, 2004. The

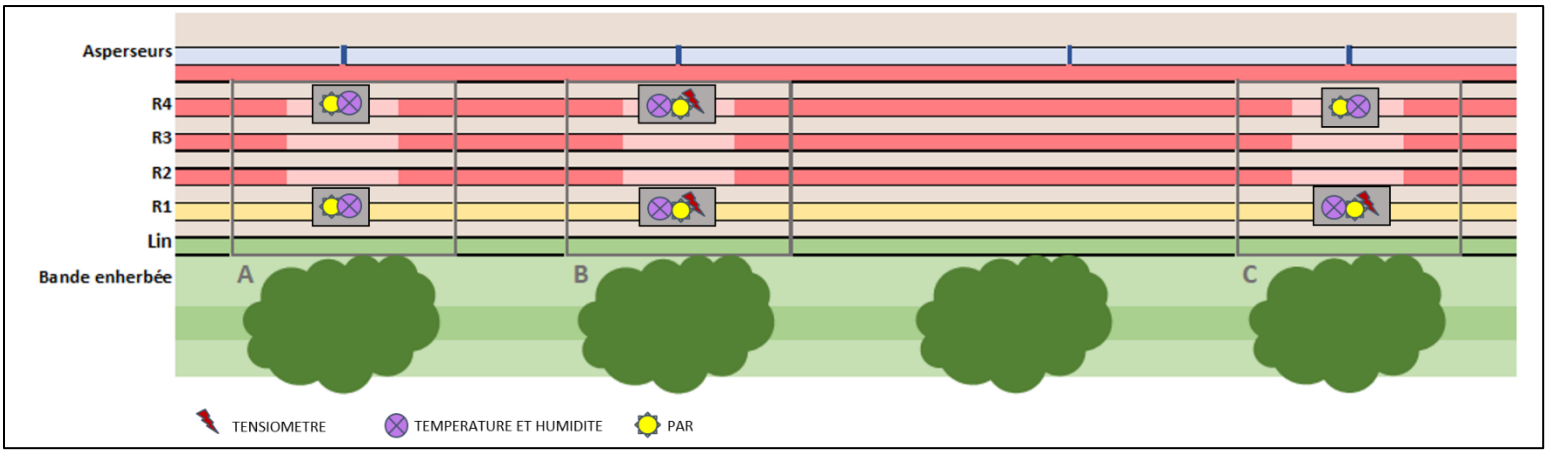
worldwide leaf economics spectrum. *Nature* [en ligne]. avril 2004. Vol. 428, n° 6985, pp. 821-827. [Consulté le 27 août 2023]. DOI 10.1038/nature02403. Disponible à l'adresse : https://www.nature.com/articles/nature02403

ANNEXES

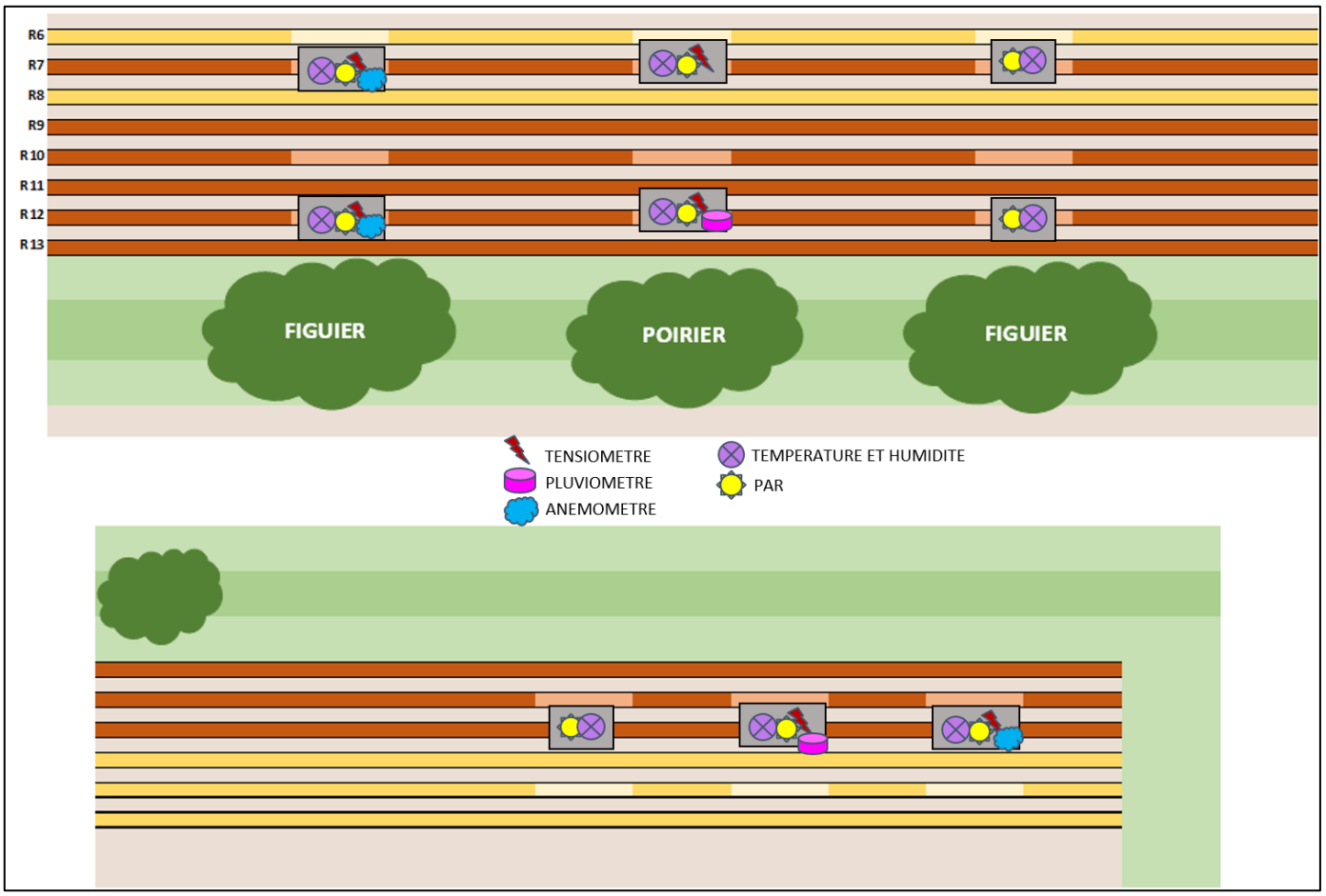
Annexe 1 : Tableau de synthèse des itinéraires techniques pour la conduite des pommes de terre sur les 3 sites pilotes

	Site 1 : Ferme du Colibri, Le Thor (84)	*Site 2 : Ferme de la Durette, Avignon (84)*	*Site 3 : Les Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)*		
			C	*T*	*L*
Précédent	Carotte	Navet et radis noir	Jachère		
Préparation du sol	2 passages de griffes et 2 sarclages	Disques déchaumage Décompactage profond et passage de disque	Pas de travail du sol Passage du gyrobroyeur		
Implantation	22 mars	13 mars	6-7 avril		
Mode de cultures	4 buttages successifs	3 buttages successifs	Sous paillage de 25cm		
Fertilisation	Avant implantation : 150 kg/ha de fumier de moutons (3U d'N/ha) Après implantation, : 75 kg/ha de fumier de moutons (1,5U d'N/ha)	Avant plantation : 500kg/ha farine de plume (60U d'N/ha) Au premier buttage : 800kg/ha de tourteau de ricin (40U d'N/ha)	Avant implantation : 2500kg/ha de tourteaux de ricin (112U d'N/ha)		
Irrigation	Aspersion	Micro-aspersion	Goutte à goutte		
Eau apportée	~260 mm	~315 mm	~250 mm		
Entretien de la culture intercalaire	1 désherbage manuel début mai 1 application de Success 4 sur les foyers de doryphores : 23 mai	2 applications de Success 4 sur les foyers de doryphores : mi-mai & début juin Lignes de lin aux extrémités de la parcelle	1 passage de débroussailleuse dans l'inter-rang		
Entretien de la ligne arborée	Taille douce en sortie d'hiver - mars	Taille d'hiver en février Taille en vert en juillet-août Récolte des fruits du 5 au 15 juin	Pas d'arbres	Etêtage des charpentières	Elagage des charpentières les plus basses
			Cycle de taille de 3 ans. Taille en février 2023 (année 1/3).		
Problèmes rencontrés	Légère pression doryphore	Légère pression doryphores Pression importante des pucerons sur les pêchers	Enherbement très important		
			Sorghos d'Alep et armoises	Ronces	Liserons
Récolte	7 juillet 2023	12 juillet 2023	10 août 2023		

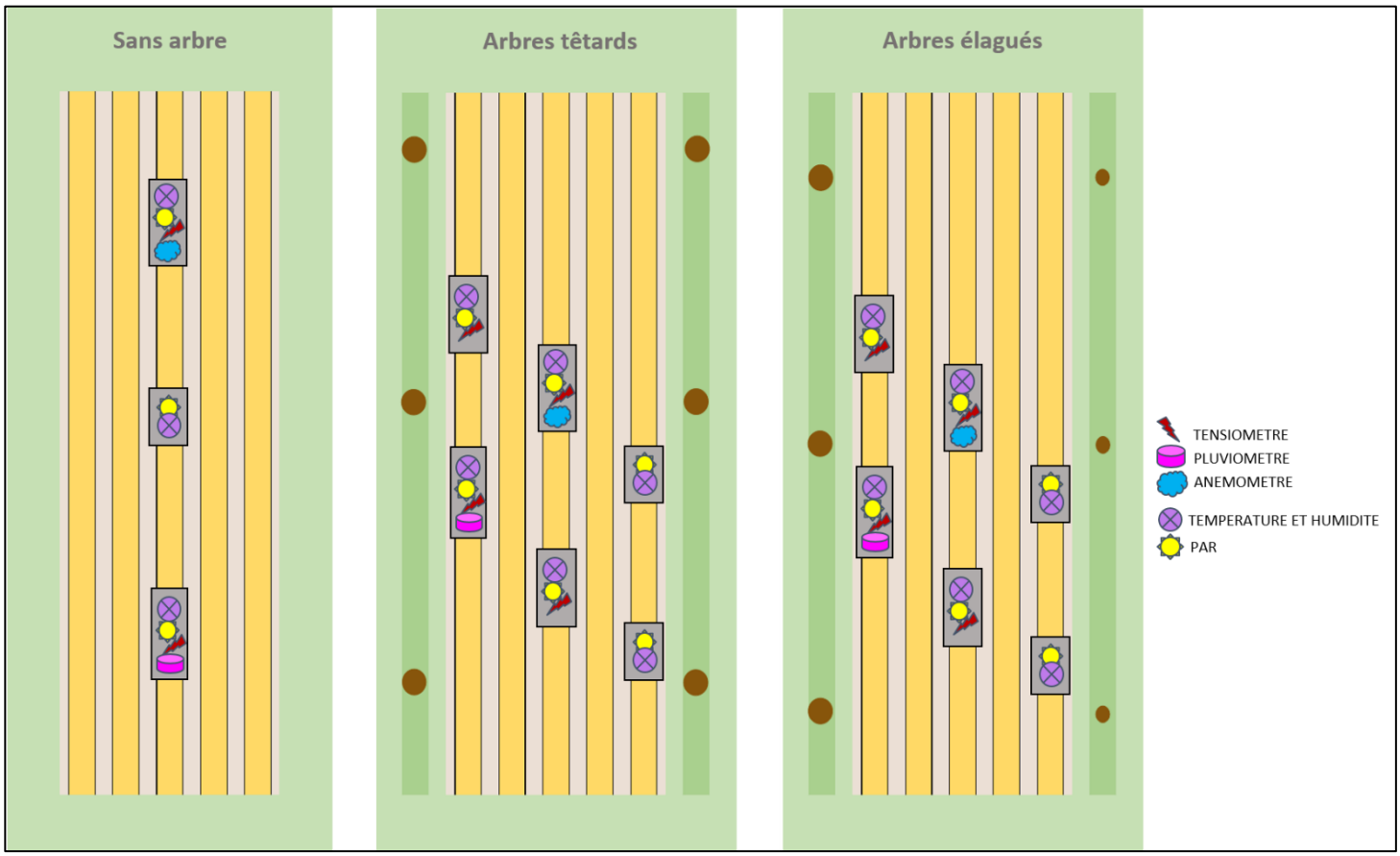
Annexe 2 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - La Durette, Avignon (84)



Annexe 3 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - La ferme du Colibri, Le Thor (84)



Annexe 4 : Dispositif expérimental pour les suivis microclimatiques - Terres de Roumassouze, Vézénobres (30)



Annexe 5 : Stades phénologiques sélectionnés pour le suivi du développement de la pomme de terre.

Stade de développement	Code	Description
0 - Germination	09	Levée : les tiges percent la surface du sol
1 - Développement foliaire	10	les premières feuilles s'allongent, cotylédons complètement étalés
	11	la première feuille de la tige principale est étalée (> 4 cm)
	12	la deuxième feuille de la tige principale est étalée (> 4 cm)
	1.	et ainsi de suite ...
	19	ou davantage de feuilles de la tige principale sont étalées (> 4 cm)
5 – Apparition de l'inflorescence	51	les premiers boutons floraux (1–2 mm) de la première inflorescence (celle de la tige principale) sont visibles
	55	les boutons de la première inflorescence ont 5 mm
	59	les premiers pétales sont visibles sur la première inflorescence
6 - Floraison	60	les premières fleurs dans la population sont ouvertes
	61	début floraison: 10% des fleurs de la première inflorescence
	6.	et ainsi de suite ...
	69	fin de la floraison sur la première inflorescence

7 – Développement du fruit	70	les premières baies sont visibles
	71	10% des baies de la première infrutescence (tige principale) ont atteint leur taille finale
	7.	et ainsi de suite ...
9 - Sénescence	91	début de la décoloration des feuilles
	93	la plupart des feuilles sont jaunâtres
	95	50% des feuilles sont brunes
	97	feuilles et tiges sont mortes, les tiges sont décolorées et sèches

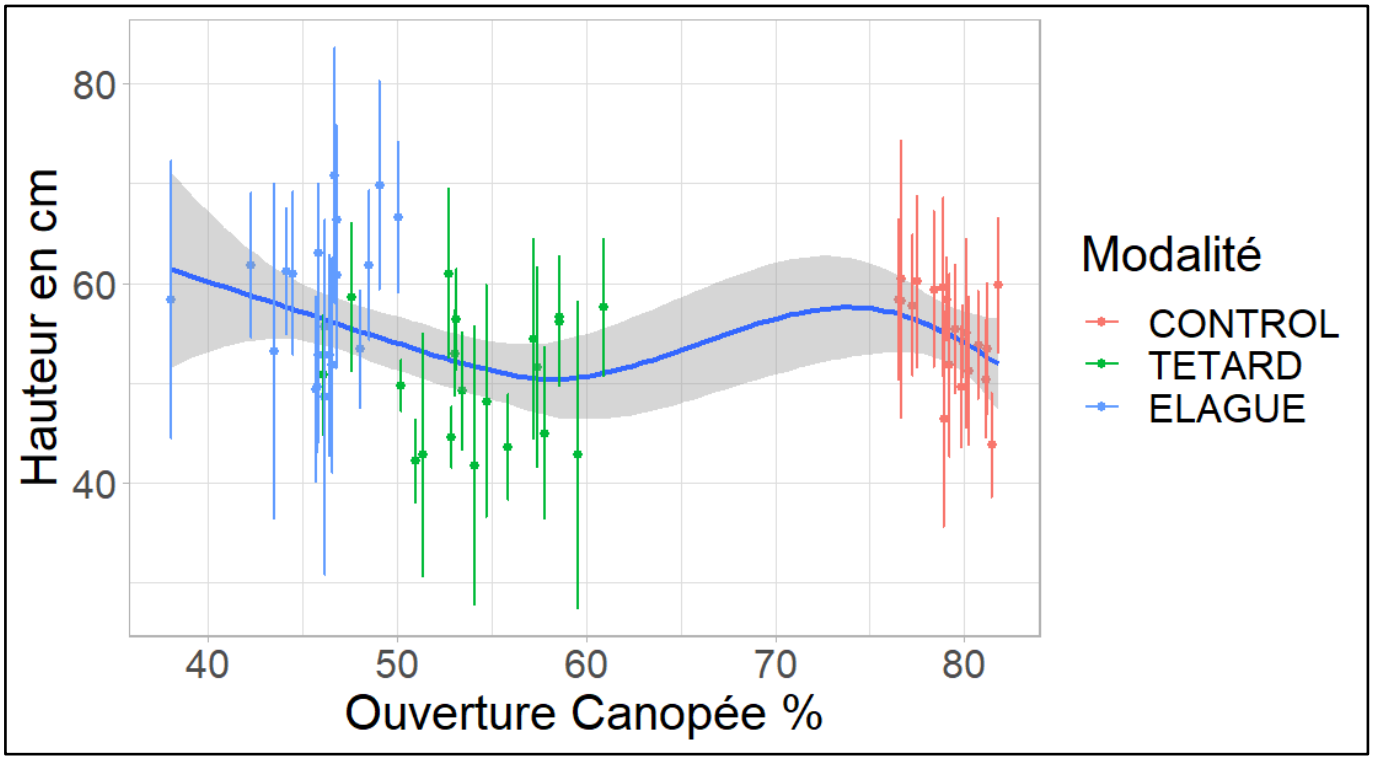
Source : Echelle BBCH des stades phénologiques de la pomme de terre (Solanum tuberosum L.). Hack et al. 1993

Annexe 6 : Tableau de synthèse des variables mesurées

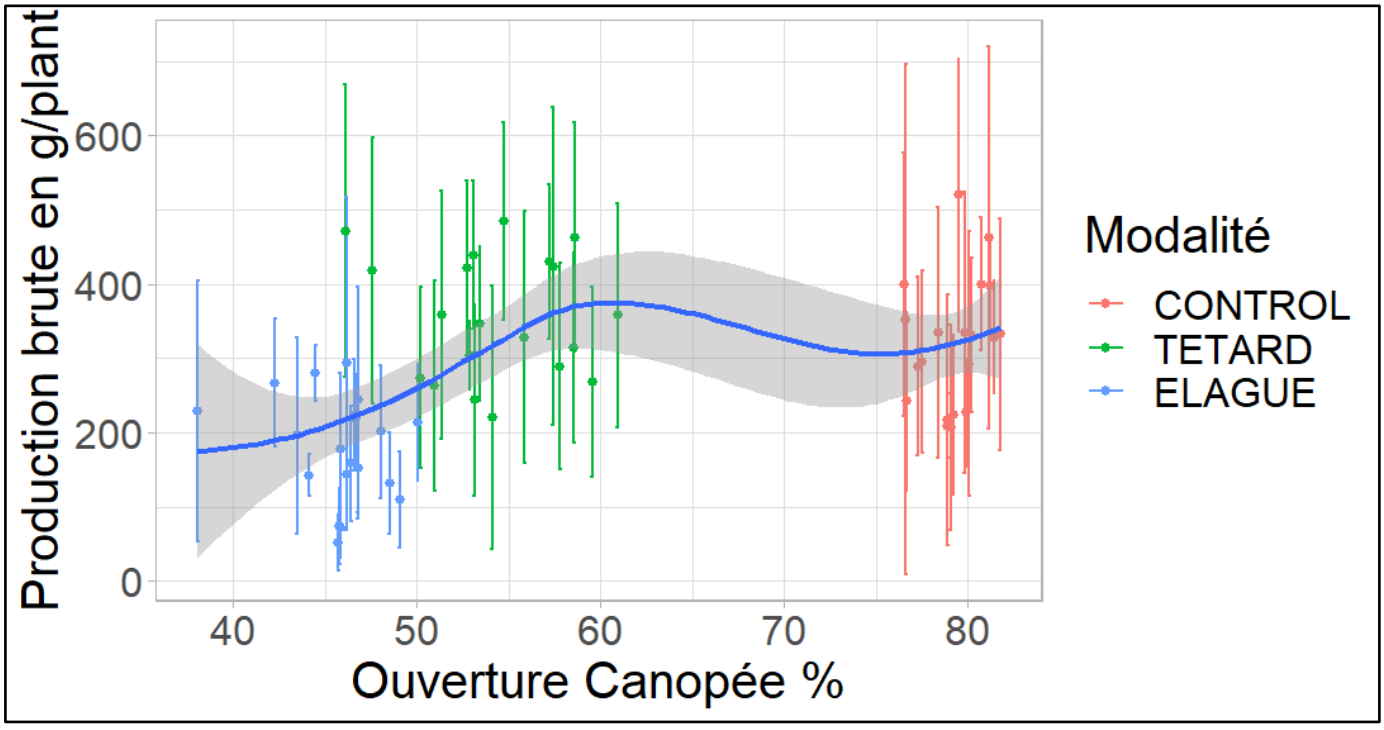
<table>
<tr><th rowspan="2">ETUDE</th><th rowspan="2">Variables</th><th colspan="3">Effet mesuré</th><th rowspan="2">Résultats attendus</th></tr>
<tr><th>Site 1</th><th>Site 2</th><th>Site 3</th></tr>
<tr><td rowspan="8">Microclimat</td><td>Température</td><td colspan="2" rowspan="4">Distance à l’arbre</td><td rowspan="4">Modalité</td><td rowspan="8">Caractérisation des conditions microclimatiques
Taux d’ouverture / placette</td></tr>
<tr><td>Hygrométrie</td></tr>
<tr><td>Rayonnement Photosynthétique Actif</td></tr>
<tr><td>Ouverture de canopée</td></tr>
<tr><td>Pluviométrie</td><td rowspan="2">Distance à l’arbre</td><td rowspan="2">x</td><td rowspan="2">Modalité</td></tr>
<tr><td>Force et direction du vent</td></tr>
<tr><td>Tensiomètre</td><td colspan="2">Distance à l’arbre</td><td>Modalité</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Croissance & développement</td><td>Stade phénologique</td><td colspan="3" rowspan="6">Distance à l’arbre</td><td rowspan="6">Modalité</td><td rowspan="2">Développement et croissance des plants en fonction du temps</td></tr>
<tr><td>Hauteur</td></tr>
<tr><td>Diamètre(s)</td><td rowspan="2">Germination, différence variétale</td></tr>
<tr><td>Nombre de tiges</td></tr>
<tr><td>Etat sanitaire</td><td rowspan="2">Proportion et types de dégâts</td></tr>
<tr><td>Masse Surfacique</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Rendement</td><td>Production brute</td><td colspan="3" rowspan="4">Distance à l’arbre</td><td rowspan="4">Modalité</td><td rowspan="4">Masse des tubercules par plants et par calibres par plants

Dégâts physiologiques
Valeur commercialisable</td></tr>
<tr><td>Nombre de tubercules</td></tr>
<tr><td>Production nette</td></tr>
<tr><td>Nombre de tubercules par calibres</td></tr>
</table>

Annexe 7 : Terres de Roumassouze – Hauteur moyenne des plants (cm) de pommes de terre au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en % et des modalités. Barre d'erreur = Ecart-type



Annexe 8 : Terres de Roumassouze – Production moyenne (g/plant) de pommes de terre au 7 juin 2023 en cm en fonction de l'ouverture de canopée en % et des modalités. Barre d'erreur = Ecart-type



Auteur :
BROYER Lola

Thème : RECHERCHE - DEVELOPPEMENT
Confidentiel : Non

Performances agronomiques des cultures maraîchères en système agroforestier méditerranéen

Etude de la pomme de terre (Solanum tuberosum) dans le Gard (30) et le Vaucluse (84)

Agronomic performances of market gardening crops in mediterranean agroforestry system

Study on potato (Solanum tuberosum) in the Gard (30) and Vaucluse (84) regions

Mots-clés : Agroforesterie, Maraîchage biologique, Pomme de terre, Microclimat, Performances agronomiques
Key-words : Agroforestry, Organic market gardening, Potato, Microclimate, Agronomic performances

Résumé :
Le maraîchage biologique diversifié fait face à de nombreux enjeux : crise économique, pression foncière mais surtout changement climatique. Ses conséquences en Méditerranée imposent la conception et le développement de nouveaux systèmes de cultures. L'agroforesterie se veut être un levier potentiel pour répondre à ses enjeux. Cette étude de recherche participative vise à apporter de nouvelles références techniques sur les performances agronomiques de la pomme de terre cultivée sous couvert arboré, espèce peu documentée en système agroforestier méditerranéen. La croissance et le développement des plants ainsi que la production et la valeur commerciale des tubercules ont été suivis sur 3 sites pilotes aux infrastructures agroforestières différentes (pêchers, figuiers et haie, noyers hybrides) situés dans le Gard et le Vaucluse. Sur ceux-ci, les réponses écophysiologiques des pommes de terre par rapport au microclimat créé par l'éloignement ou au type de taille des arbres ont été étudiées. Les relevés microclimatiques mettent en évidence un effet tampon créé par les arbres sur les extremums/minimums climatiques en termes de température et d'hygrométrie. La fermeture du milieu lié au type de taille ou au rapprochement des arbres implique une réduction de Rayonnement Photosynthétique Actif reçu par les plantes. Les résultats montrent une augmentation de la croissance (phénomène d'évitement de l'ombrage) et un retard de développement avec la fermeture de canopée. L'impact des arbres sur la production est plus variable selon les variétés et les sites. Une diminution de production est néanmoins observée à partir de 40% de fermeture de canopée. La réduction de lumière perçue par les plantes sous couvert arboré pourrait expliquer ces résultats même si d'autres facteurs doivent être pris en compte (enherbement, ravageurs...). Ces analyses soulignent la complexité des interactions arbres/plantes. La variété, le type de système agroforestier et le contexte agro-climatique apparaissent également comme des facteurs déterminants. Si cette étude permet d'apporter localement des réponses aux maraîcher.es, elle est difficilement généralisable d'où la pertinence de suivis pluriannuels ou en réseau.

Abstract :
Diversified organic market gardening is facing a number of challenges: economic crisis, pressure on land and, above all, climate change. The consequences of climate change in the Mediterranean region require the design and development of new cropping systems. Agroforestry is seen as a potential lever to meet these challenges. The aim of this participatory research study is to provide new technical references on the agronomic performance of potatoes grown under tree cover, a species that has been little documented in Mediterranean agroforestry systems. Plant growth and development, as well as tuber production and commercial value, were monitored on 3 sites located in Gard and Vaucluse, with different agroforestry infrastructures (peach trees, fig trees and hedgerows, hybrid walnut trees). On these sites, the ecophysiological responses of the potatoes to the microclimate created by the distance or the type of tree pruning were studied. The microclimatic data revealed a buffering effect created by the trees on climatic extremes/minimums in terms of temperature and humidity. The closure of the environment due to the type of pruning or the proximity of the trees implies a reduction in the Active Photosynthetic Radiation received by the plants. The results show an increase in growth (shade avoidance phenomenon) and a delay in development as the canopy closes. The impact of the trees on production varied according to variety and site. However, a reduction in production was observed from 40% canopy closure. The reduction in light perceived by plants under tree cover could explain these results, although other factors must be taken into account (weed cover, pests, etc.). These analyses highlight the complexity of tree/plant interactions. The variety, the type of agroforestry system and the agro-climatic context also appear to be determining factors. While this study provides local answers for market gardeners, it is difficult to generalize, hence the relevance of multi-year or network monitoring.

Nombre de pages du document final : 75

Demandeur (entreprise, organisme...) :
SCOP AGROOF DEVELOPPEMENT