



HAL
open science

Maraîchage sur Sol vivant en conditions méditerranéennes : expérimentation système pluriannuelle basée sur le non travail du sol et la couverture permanente des inter-rangs

Lisandra Guiot

► **To cite this version:**

Lisandra Guiot. Maraîchage sur Sol vivant en conditions méditerranéennes : expérimentation système pluriannuelle basée sur le non travail du sol et la couverture permanente des inter-rangs. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-04034341

HAL Id: dumas-04034341

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04034341>

Submitted on 17 Mar 2023

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

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

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Option « Production Végétale Durable »

Maraîchage sur Sol Vivant en conditions méditerranéennes : expérimentation système pluriannuelle basée sur le non travail du sol et la couverture permanente des inter-rangs



Présenté par Lisandra Guiot

Année de soutenance : 2022

Organisme d'accueil : **SICA Centrex** (Société d'Intérêt Collectif Agricole - CENTRE EXPERIMENTAL du Roussillon sur fruits et légumes)



Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Option « Production Végétale Durable »

Maraîchage sur Sol Vivant en conditions méditerranéennes : expérimentation système pluriannuelle basée sur le non travail du sol et la couverture permanente des inter-rangs



Présenté par Lisandra Guiot

Année de soutenance : 2022

Mémoire préparé sous la direction
de Aurélie Metay

Organisme d'accueil : SICA Centrex

Présenté le 13 septembre 2022

Maître d'apprentissage : Aude Lusetti

devant le jury :

Stephane de Tourdonnet

Léo Garcia

Résumé

Maraîchage sur Sol Vivant en conditions méditerranéennes : expérimentation système pluriannuelle basée sur le non travail du sol et la couverture permanente des inter-rangs

L'objectif de ce mémoire est d'étudier, au travers d'une expérimentation système, les performances agronomiques et économiques – et leurs évolutions – d'un système en Maraîchage sur Sol Vivant en conditions méditerranéennes, les 3 premières années de sa mise en place. Le volet agronomique est traité en 2 grandes parties : le sol et les cultures. La partie économique consiste à faire une balance coûts/produits des deltas financiers observés par poste de dépense.

Pour atteindre cet objectif, 5 saisons culturales sont étudiées, avec un nombre d'indicateurs maximisé en dernière saison de production. Il y a un total de 4 PE (Parcelles Élémentaires) - 2 par modalité – d'abord toutes menées en production d'artichauts. Suite aux piètres résultats agronomiques de la 2ème saison de production des artichauts (plus de 70% de plants morts avant la récolte), les PE ont été réorganisées en 2 groupes, menés avec des successions culturales différentes afin de maximiser la diversité des cultures étudiées.

Les résultats montrent que le système MSV permet d'héberger une plus grande diversité et une plus grande abondance d'auxiliaires à la surface du sol. Dans le sol, les parcelles conduites en MSV ont tendance à présenter une plus forte activité biologique et une plus grande abondance de lombrics. Pour ces deux indicateurs, il s'agit de tendance et non d'une amélioration statistiquement démontrée. Pour finir avec le sol, il résiste mieux aux variations d'eau apportées grâce à une plus grande microporosité, à une meilleure stabilité structurale et à une plus importante capacité d'infiltration.

Les résultats concernant les cultures sont moins favorables à une conversion en MSV puisque la majorité des productions conduisent à un rendement significativement inférieur en MSV avec des taux de mortalité dépassant les 70% des plants pour certaines productions.

Économiquement, une seule production a été étudiée de bout en bout et malgré un rendement plus faible en MSV, elle est plus intéressante économiquement car les coûts supplémentaires en non MSV (ceux liés au travail du sol en particulier) ne sont pas couverts par les produits financiers générés par les meilleurs rendements. Cependant, l'étude d'une seule culture ne permet pas de conclure sur la viabilité économique d'un système complexe.

Mots clés : système de culture, non travail du sol, enherbement permanent, agroécologie, biodiversité, activité biologique, performance

Abstract

Market gardening on living soil in Mediterranean conditions: multi-year system experiment based on no tillage and permanent row cover?

The objective of this thesis is to study, through a system experiment, the agronomic and economic performances - and their evolution - of a market gardening system on living soil in Mediterranean conditions, during the first three years of its implementation. The agronomic part is treated in 2 main parts: the soil and the crops. The economic part consists in making a balance of costs/products of the financial deltas observed by item.

To achieve this objective, 5 cropping seasons are studied, with the number of indicators maximized in the last production season. There are a total of 4 EPs (Elementary Plots) - 2 per modality - initially all conducted in artichoke production. Following the poor agronomic results of the 2nd artichoke production season (more than 70% of plants dead before harvest), the EPs were organized in 2 groups, conducted with different cropping successions in order to maximize the diversity of the studied crops.

The results show that the Market gardening on living soil system allows to host a higher diversity and abundance of beneficials on the soil surface. In the soil, the Market gardening on living soil plots tended to have higher biological activity and earthworm abundance - this is a trend for both indicators, not a statistically demonstrated improvement. Finally, the soil is more resistant to changes in the amount of water supplied, thanks to its greater microporosity, structural stability and infiltration capacity.

The results concerning the crops are less favorable to a conversion in Market gardening on living soil since the majority of the productions lead to a significantly lower yield in Market gardening on living soil with mortality rates exceeding 70% of the plants for certain productions.

Economically, only one crop was studied from start to finish and despite a lower yield under Market gardening on living soil, it is more interesting economically because the additional costs in no Market gardening on living soil (those related to tillage in particular) are not covered by the financial income generated thanks to the better yields. However, the study of a single crop does not allow to conclude on the economic viability of a complex system.

Key words: cropping system, no tillage, permanent grassing, agroecology, biodiversity, biological activity, performance

Remerciements

Je remercie vivement Aude Lusetti, ma maître d'apprentissage, pour son encadrement au cours de ces 2 années d'apprentissage à la SICA Centrex, qui m'a permis d'explorer divers sujets de travail et de construire ce mémoire sur une thématique très actuelle. J'en profite pour saluer et remercier ceux avec qui j'ai travaillé et appris : l'équipe technique – Emma Maury et Tom Pesanti, la cheffe de culture – Agnès Salgado, les ouvriers et l'ensemble du personnel de la société.

Un grand merci à Aurélie Metay pour ses multiples relectures, commentaires, conseils et son soutien ! Merci également à l'ensemble de l'équipe pédagogique de PVD : Isabelle Bastie et les enseignements pour cette année riche d'apprentissages et de moments de partage !

Un grand merci aussi à l'ensemble des étudiants PVD pour les nombreux échanges qu'on a eu au cours de ces 6 mois de travail et pour nos retrouvailles à Avignon après le point stage : un bol d'air frais pendant ce marathon !

Un merci tout particulier à ma maman et mon compagnon qui m'ont beaucoup soutenu et épaulé dans cette épreuve.

Sigles et acronymes

AB = Agriculture Biologique

ACS = Agriculture de Conservation des Sols

BVC = Bois Vert Criblé

MSV = Maraîchage sur Sol Vivant

PE = Parcelle Élémentaire

PO = Pyrénées Orientales

PPP = Produit PhytoPharmaceutique

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	4
Remerciements.....	5
Sigles et acronymes.....	6
Table des matières.....	7
Table des tableaux.....	11
Table des figures.....	11
Table des annexes.....	12
Introduction.....	14
1. Etat de l’art et contexte.....	14
1.1. <i>Le maraîchage dans les Pyrénées Orientales</i>	14
1.1.1. L’importance des cultures maraîchères pour les Pyrénées Orientales.....	14
1.1.2. L’importance des Pyrénées Orientales dans la production maraîchère.....	15
1.1.3. Un marché de niche : l’artichaut.....	15
1.1.4. Dynamique des exploitations maraîchères en Pyrénées Orientales: la déprise agricole.....	15
1.1.5. Les principaux enjeux des Pyrénées Orientales et la triple performance.....	16
1.2. <i>Le maraîchage en France et les attentes des consommateurs</i>	16
1.2.1. La non durabilité des filières maraîchère : un phénomène qui ne touche pas seulement les Pyrénées Orientales.....	16
1.2.2. Les attentes des consommateurs face aux questionnements des maraîchers.....	16
1.3. <i>Les principes agroécologiques pour répondre aux enjeux de durabilité et de résilience des systèmes agricoles</i>	17
1.3.1. L’agroécologie comme réponse à l’enjeu de durabilité et de résilience des systèmes agricoles ..	17
1.3.2. L’Agriculture de Conservation des Sols comme pratique agroécologique.....	17
1.4. <i>L’Agriculture de Conservation des Sols, appliquée au maraîchage</i>	18
1.4.1. La notion de Maraîchage sur Sol Vivant.....	18
1.4.2. L’intérêt aujourd’hui d’expérimenter le Maraîchage sur Sol Vivant.....	18
1.4.3. Le projet SeFerSol et les fermes pilotes.....	19
1.4.4. Quel type d’expérimentation pour évaluer le Maraîchage sur Sol Vivant ?.....	19
1.5. <i>De la réponse aux enjeux des maraîchers des PO à la mise en place d’une expérimentation sur le MSV à la SICA Centrex</i>	19
1.5.1. Le lien entre le MSV et la réponse aux enjeux des maraîchers des PO.....	19
1.5.2. La création et la mise en place du projet SoViMed.....	20
1.5.3. La SICA Centrex, une station expérimentale en zone méditerranéenne.....	20
1.5.4. Problématique et hypothèses de travail.....	20
2. Matériel et méthodes.....	21
2.1. <i>Le dispositif expérimental de SoViMed</i>	21

2.2.	<i>Les cultures mises en place au cours des années d'expérimentation</i>	21
2.2.1.	La succession culturale sur 5 saisons de production	21
2.2.2.	Variétés, densités de plantation et calendrier cultural.....	22
2.3.	<i>Le système de culture : des points communs et divergents entre les 2 modalités</i>	22
2.3.1.	Fertilisation et amendements	23
2.3.2.	Irrigation	23
2.3.3.	Gestion des maladies, ravageurs et de la flore spontanée.....	23
2.3.4.	Gestion du sol.....	24
2.4.	<i>Conditions climatiques de l'essai</i>	24
2.4.1.	Comparaison aux normales saisonnières	24
2.4.2.	Des conditions climatiques proches pour les 3 années d'essai.....	25
2.5.	<i>Variables suivies au cours de l'essai</i>	25
2.5.1.	Données sur le sol	25
2.5.2.	Données sur la culture	28
2.5.3.	Données économiques	29
2.6.	<i>Stratégie d'analyse des données</i>	30
2.6.1.	Données de contextualisation.....	30
2.6.2.	Données analysées statistiquement	30
2.6.3.	Analyse des données économiques	31
2.6.4.	Synthèse par une Analyse en Composante Principale.....	31
3.	Résultats	31
3.1.	<i>Données sur le sol</i>	31
3.1.1.	Homogénéité des sols à de la mise en place de l'essai.....	31
3.1.2.	Moins de variation de l'hygrométrie sur NT que sur W.....	31
3.1.3.	Un sol plus chaud sur NT que sur W	32
3.1.4.	La structure de NT tend à s'améliorer par rapport à W	32
3.1.5.	Peu de vers de terre sur l'ensemble des modalités	33
3.1.6.	Une plus grande diversité d'arthropodes sur NT que sur W	33
3.1.7.	L'activité biologique a tendance à augmenter sous NT dès 1 an et demi après le début de la transition MSV	34
3.1.8.	Infiltration de l'eau plus rapide et plus constante sur NT	35
3.1.9.	Stabilité structurale des mottes sur NT supérieure à celle de W	36
3.2.	<i>Données sur les plantes cultivées</i>	37
3.2.1.	Un meilleur taux de reprise sur NT pour la culture de butternuts et pas de différence de taux de reprise entre les modalités pour la culture de pastèques	37
3.2.2.	Un taux de mortalité à la récolte plus élevé sur NT que sur W.....	37
3.2.3.	Des différences de rendement brut entre modalités variables selon les espèces.....	37
3.2.4.	Des calibres statistiquement identiques entre les modalités sauf en été 2021 pour les productions de potimarrons et de butternuts.....	38

3.2.5.	Aucune différence de qualité de la récolte entre les 2 modalités	39
3.2.6.	Un écart de précocité est graphiquement observé sur la culture d'artichauts en 2020/2021 et sur celle de choux en 2021/2022	40
3.3.	<i>Effet du MSV sur l'ITK</i>	40
3.3.1.	IFT herbicide supérieurs d'en moyenne 0,3 par saison de production sur NT	40
3.3.2.	Irrigations plus conséquentes et plus fréquence sur NT	41
3.4.	<i>Données économiques</i>	41
3.4.1.	Temps de travaux quasiment identiques en salade et supérieurs sur NT en pastèque	41
3.4.2.	Le paillage induit un coût supplémentaire sur W	41
3.4.3.	Comme l'IFT est plus élevé sur NT, les coûts des PPP le sont aussi	42
3.4.4.	Les stratégies de fertilisation et d'amendement sur pastèques sont plus coûteuses en NT par rapport à W.....	42
3.4.5.	Le coût en carburants fossiles est favorable sur NT pour la culture de salades mais par pour celle de pastèques	42
3.4.6.	Les rendements supérieurs sur W amène à des produits financiers supérieurs	43
3.4.7.	Comparaisons des différences coûts et produit : les produits supplémentaires générés par la supériorité des rendements de salades W ne couvrent pas les coûts supplémentaires nécessaires à la conduite de W	43
3.5.	<i>Globalement, NT permet des conditions de production favorables mais les rendements restent en faveur de W</i>	44
4.	Discussion	45
4.1.	<i>La conduite en MSV permet-elle une amélioration du sol ?</i>	45
4.1.1.	Hypothèse a1 : les pratiques MSV ont un effet positif sur l'activité biologique	45
4.1.2.	Hypothèse a3 : après plusieurs cycles culturaux, la structure du sol conduite en MSV présente une meilleure structure que celle d'un sol travaillé	46
4.1.3.	Hypothèse a2 : les pratiques MSV permettent au sol d'être plus résilient face aux événements climatiques (pluies principalement)	46
4.2.	<i>La conduite en MSV nécessite-t-elle une modification de la stratégie de traitement et permet-elle un maintien de la production et sa qualité ?</i>	47
4.2.1.	Hypothèse b1 : le système MSV, puisqu'il favorise la présence d'auxiliaires de culture (enherbement), permet une diminution des traitements contre les insectes ravageurs	47
4.2.2.	Hypothèse b2 : le MSV favorise le maintien d'inoculum primaires et d'adventices sur la parcelle et ainsi augmente les traitements fongicides et herbicides.....	47
4.2.3.	Hypothèse b3 : le MSV n'impacte pas le rendement et la qualité de la production – hypothèse b3	47
4.3.	<i>La conduite en MSV est-elle économiquement viable ?</i>	48
4.3.1.	Hypothèse c1 : le temps de main d'œuvre et la pénibilité du travail sont augmentés par le MSV	48
4.3.2.	Hypothèse c2 : l'emploi d'énergies fossiles est diminué par le MSV	48
4.3.3.	Hypothèse c3 : la balance coûts/produits en MSV est proche de celle en non MSV	48

4.4. <i>Le MSV vis-à-vis de la triple performance : une bonne piste pour le volet sociale et environnemental</i>	49
4.5. <i>Des limites à la méthode et des pistes d'améliorations</i>	49
4.5.1. Les modalités.....	49
4.5.2. Les indicateurs	49
4.5.3. L'analyse statistique.....	50
4.5.4. Les choix techniques.....	50
4.6. <i>Suite et perspectives du projet</i>	50
5. Conclusion	51
Bibliographie	53
Annexes	57

Table des tableaux

Tableau 1. Calendrier cultural et informations sur les espèces cultivées	22
Tableau 2. Comparaison des iTK des 2 modalités	23
Tableau 3. Présentation des indicateurs du sol suivis tout au long de l'essai : température du sol, humidité du sol, nombre de lombrics/m ³ et pourcentage de masse perdue lors de la dégradation des sachets de thé dans le sol	26
Tableau 4. Présentation des indicateurs du sol mis en place en fin d'essai : quantité et diversité des arthropodes vivants à la surface du sol, structure du sol, vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et le taux de dégradation des mottes dans l'eau	27
Tableau 5. Présentation des indicateurs suivis au champ : taux de reprise, chétivité et mortalité, IFT. 28	
Tableau 6. Présentation des types de récolte par espèce et des données acquises à la récolte : précocité et composantes du rendement	29
Tableau 7. Taux de dégradation journalier moyen des sachets de thé à 10 cm et à 30 cm de profondeur, par modalité et pas période de test.....	34
Tableau 8. Taux de dégradation journalier moyen des sachets de rooibos à 10 cm et à 30 cm de profondeur, par modalité et pas période de test	35
Tableau 9. Répartition des calibres de potimarrons 2021 : proportion du nombre de fruits récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre (en gras la p-value correspondant à une différence significative sur la classe de calibre testée)	38
Tableau 10. Calibrage butternuts 2021 : proportion du nombre de fruits récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre (en gras la p-value correspondant à une différence significative sur la classe de calibre testée)	39
Tableau 11. Calibrage choux 2021 : proportion du nombre de choux récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre	39
Tableau 12. Récapitulatif des différences des coûts & produits, par modalités, pour les productions de salade 2021 et de pastèques 2022	43

Table des figures

Figure 1. Organisation spatiale des 4 PE (A, B, C et D), des modalités (W et NT) et des 4 rangs de plantations par PE (bandes verticales).....	21
Figure 2. Successions culturales de 2019 à aujourd'hui par groupe de PE (A/B et C/D)	22
Figure 3. Photographie de la structure du sol prélevé après extraction et avant étude interne, lors du test bêche structure - modalité W (témoin travaillé)	32
Figure 4. Photographie de la structure du sol prélevé après extraction et avant étude interne, lors du test bêche structure - modalité NT (système MSV)	32
Figure 5. Diversité et abondance des arthropodes vivants à la surface du sol, par ordre et par PE	33
Figure 6. Photographie de l'état de dégradation des slips lors du test slips du printemps 2022, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), après 58 jours dans le sol	35
Figure 7. Résultat statistique par groupe de parcelle de l'infiltration de la première itération (17 mm)	36
Figure 8. Slake test : photographie du test en cours, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), après 5 minutes d'immersion en statique.....	36
Figure 9. Représentation spatiale par l'ACP des PE (A, B, C et D) et des modalités (NT = système MSV, W = système travaillé) avec les PE A et D en modalité NT et les PE B et C en modalité W	44
Figure 10. Cercle des corrélations des variables concernant le sol, les cultures et l'ITK.....	44

Table des annexes

Annexe 1. Photographies des parcelles élémentaires d'artichauts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (2 ^{ème} saison de production – 05/03/21).....	57
Annexe 2. Photographies des parcelles élémentaires de potimarrons, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (3 ^{ème} saison de production – 07/07/2021).....	57
Annexe 3. Photographies des parcelles élémentaires de butternuts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (3 ^{ème} saison de production – 05/08/2021).....	57
Annexe 4. Photographies des parcelles élémentaires de choux, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (4 ^{ème} saison de production – 09/12/2021).....	58
Annexe 5. Photographies des parcelles élémentaires de salades, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (4 ^{ème} saison – NT : 20/10/21 – W = 22/11/21).....	58
Annexe 6. Photographies des parcelles élémentaires de pastèque, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé s (5 ^{ème} saison de production – 08/06/2022).....	58
Annexe 7. Photographies des parcelles élémentaires de butternuts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (5 ^{ème} saison de production – 01/07/2022).....	59
Annexe 8. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) température et pluviométrie en 2019 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes.....	60
Annexe 9. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes.....	60
Annexe 10. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) – température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes.....	61
Annexe 11. écart aux normales saisonnière (1981-2010) – température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes.....	61
Annexe 12. Températures minimales, moyennes et maximales, par saison de production et par culture (jusqu'au 19/07/2022) – source station Agriscope – localisation SICA Centrex.....	62
Annexe 13. Somme des pluviométries mensuelles, par saison de production et par culture (jusqu'au 19/07/2022) – source station Agriscope – localisation SICA Centrex.....	63
Annexe 14. Organisation des groupes fonctionnels dans le cadre du piège barber.....	63
Annexe 15. Présentation des variables mobilisées pour l'ACP.....	64
Annexe 16. Résultats des analyses de sol du laboratoire Teyssier (automne 2019) pour les PE A et D (modalité témoin avec travail du sol).....	65
Annexe 17. Résultats des analyses de sol du laboratoire Teyssier (automne 2019) pour les PE B et C (modalité MSV sans travail du sol).....	66
Annexe 18. Sondes butternuts 2022 : tension (cbar) par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 20 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus.....	68
Annexe 19. Sondes butternut 2022 : tension (cbar) par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 40 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus.....	68
Annexe 20 : Sondes butternut 2022 : température (°C) journalière moyenne par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 20 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus.....	69
Annexe 21. Test bêche structure : résultats descriptifs par PE (NT = système MSV, W = témoin travaillé).....	70
Annexe 22. Test bêche lombrics : résultats (nb/m3) par espèces de lombrics, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par date de test (mai 2020, mars 2021 et mars 2022).....	71
Annexe 23. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par Parcelle Élémentaire (A, B, C, D).....	72
Annexe 24. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par modalité (NT = système en MSV, W = système travaillé).....	73

Annexe 25. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par groupe de Parcelles Elementaire	73
Annexe 26. Tests thé (10 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé).....	74
Annexe 27. Tests thé (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé).....	74
Annexe 28. Tests rooibos (10 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)	75
Annexe 29. Tests rooibos (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)	75
Annexe 30. Tests slips (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2020 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé).....	76
Annexe 31. Test Beerkan : dynamique d'infiltration de l'eau dans le sol (minutes/mm) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) au printemps 2022	76
Annexe 32. Slake test : résultats (en pourcentage de motte restant) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), pas espèce et par étape du test, au printemps 2022	77
Annexe 33. Slake test : résultats (en pourcentage de motte restant) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par étape du test	77
Annexe 34. Taux de mortalité avant la récolte, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1 ^{ère} à la 4 ^{ème} saison de production.....	78
Annexe 35. Rendements bruts (en kg/m ²) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1 ^{ère} à la 4 ^{ème} saison de production	78
Annexe 36. Calibre moyen d'un individu (en g ou en kg) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1 ^{ère} à la 4 ^{ème} saison de production.....	79
Annexe 37. Taux d'individus non commercialisables, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), concernant la récolte d'artichauts de 2020/2021 et les récoltes d'hiver 2021/2022	79
Annexe 38. Artichauts 2019/2020 : précocité de la récolte (pourcentage de capitules récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)	80
Annexe 39. Artichauts 2020/2021 : précocité de la récolte (pourcentage de capitules récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)	80
Annexe 40. Choux 2021/2022 : précocité de la récolte (pourcentage de choux récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé).....	81
Annexe 41. PE A et B : récapitulatif des IFT de septembre 2019 à juillet 2022 inclus, par Parcelle Elémentaire, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), et par saison de production ..	82
Annexe 42. PE C et D : récapitulatif des IFT de septembre 2019 à juillet 2022 inclus, par Parcelle Elémentaire, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par saison de production ...	82
Annexe 43. Apport d'eau (pluie et irrigations) quotidien sur les cultures de pastèques (en m ³ /h), par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), du 03/05/2022 au 01/08/2022 inclus.....	83
Annexe 44. Apport d'eau (pluie et irrigations) quotidien sur les cultures de butternuts (en m ³ /h), par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), du 03/05/2022 au 01/08/2022 inclus.....	84
Annexe 45. Pastèques 2021 : temps de travaux (heures décimales) et nombre de passages, par poste de travail et par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et cumul par type d'outils nécessitant du carburant fossile, sur l'intégralité de la culture	85
Annexe 46. Salades 2022 : temps de travaux (heures décimales) et nombre de passages, par poste de travail et par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et cumul par type d'outils nécessitant du carburant fossile, du début de culture jusqu'au 01/08/2022 et hors récolte	85

Introduction

La France se positionne comme le 4^{ème} pays producteur de légumes frais en Europe grâce à près de 40 000 maraîcher.ère.s (site Anefa, consulté en 2022). La filière légumes française se caractérise par une grande diversité des modes de production (près de 80 espèces différentes cultivées, en plein champ ou hors-sol, sous abri chauffé ou non, pour des légumes primeurs, de saison ou de contre-saison), une haute technicité, et une forte exigence qualitative (GALICHER et al., 2017).

Ces maraîcher.ère.s font face, comme l'ensemble des agriculteur.trice.s, au besoin d'adapter leurs pratiques à leur environnement, à savoir : la déprise agricole, l'érosion du sol, la perte de biodiversité, le réchauffement climatique, etc... Pour faire face, l'agroécologie s'érige en solution depuis plusieurs années maintenant. Une application de l'agroécologie au maraîchage est le MSV (Maraîchage sur Sol Vivant). Cette pratique est innovante dans le sens où, au-delà de la production agricole à proprement parler, elle est sensée agir positivement sur l'environnement.

L'agriculture est une activité qui s'adapte aux conditions biotiques et abiotiques du milieu. Ainsi les préceptes qui valent pour un lieu, une pédologie, un climat et un environnement donné ne valent pas forcément pour un autre. Donc, même si le MSV semble particulièrement intéressant, il est nécessaire de vérifier les effets de son application à chaque contexte agricole.

Le bassin Perpignanais est une zone de production maraîchère importante, notamment concernant la production spécifique de certains légumes puisqu'il est le 1^{er} département français producteur de salades et le 2^{ème} producteur de concombres et d'artichauts (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017). Pour offrir aux maraîcher.ère.s de ce secteur des références sur l'application de pratiques MSV dans leur contexte pédoclimatique, la SICA Centrex, station expérimentale en PO (Pyrénées Orientales) spécialisée dans les cultures maraîchères et fruitières, a répondu à un appel à projet. Ainsi le FEADER finance une expérimentation pluriannuelle MSV d'une durée de 3 ans (fin 2019 – début 2023) à hauteur de 80%. Cette expérimentation s'appelle SoViMed (Sols Vivants maraîchers en région Méditerranéenne) et a pour but de comparer un système MSV avec un système non-MSV sur 3 sites expérimentaux sélectionnés (1 site dans l'hérault et 2 sites dans les PO). Après 3 années d'expérimentation, les organismes porteurs de ce projet doivent évaluer les systèmes de cultures MSV testés – ce mémoire se concentre uniquement sur les systèmes conduits à la SICA Centrex, basés sur le non travail du sol et l'enherbement permanent des inter-rangs. L'objectif est de répondre à cette problématique : **Quelles sont les performances agronomiques et économiques des systèmes maraîchers sur sol vivant (MSV) en conditions méditerranéennes et comment évoluent-elles au cours des 3 premières années de mise en place ?** Après un état des connaissances sur le sujet et une présentation de la méthode d'évaluation utilisée, ce mémoire présente et discute les résultats de 5 saisons de production.

1. Etat de l'art et contexte

1.1. Le maraîchage dans les Pyrénées Orientales

1.1.1. L'importance des cultures maraîchères pour les Pyrénées Orientales

Aujourd'hui, les exploitations maraîchères et horticoles représentent 27% des exploitations agricoles des PO après les exploitations viticoles (37%) et avant les exploitations fruitières (26%) (site internet du Département des PO, consulté en 2022). En 2014 ce département comptabilise 486 exploitations maraîchères qui représentent de nombreux emplois sur le département¹ (site internet de la Chambre d'Agriculture des PO, consulté en 2022).

¹ Par exemple un hectare de tomates représente 7 UTH (Unité de Travailleur Humain) directs production, et le double si les emplois indirects sont inclus (site internet de la Chambre d'Agriculture des PO, consulté en 2022).

1.1.2. L'importance des Pyrénées Orientales dans la production maraîchère

En 2018, en France métropolitaine, les surfaces maraîchères représentent 0,7% de la SAU (Surface Agricole Utile) totale avec un cumul de 212 063 ha. Plus des $\frac{3}{4}$ de ces surfaces maraîchères sont réparties sur 5 des 12 grandes régions et la région Occitanie se classe 4^{ème} avec ses 16 109 ha de maraîchage (Agreste élaboré par FranceAgriMer, 2018).

En Occitanie le département des PO est important dans la production spécifique de certains légumes : 75% des concombres (14 400 t), 56% des salades (13 714 t) et 31% des tomates (20 795 t) (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017).

La filière légume du département des Pyrénées Orientales se démarque aussi au niveau national : d'un point de vue économique il se positionne comme 1^{er} département producteur de salades et 2nd département producteur de concombres (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017). La filière fruits/légumes/horticulture compte pour près de la moitié (48,9%) de la valeur produite par le secteur agricole avec plus de 190 millions d'euros générés (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017).

1.1.3. Un marché de niche : l'artichaut

Au-delà des cultures maraîchères « standards » (salade, concombre, tomate...), le bassin du Languedoc Roussillon constitue la 2^{nde} plus importante zone de production d'artichauts en France (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017) après la Bretagne (site internet agriculture-nouvelle, consulté en 2022). En 2015 le bassin du Languedoc Roussillon produit 7 000 tonnes d'artichauts (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2015). En 2017 les PO produisent la quasi-totalité (97%) des artichauts de ce bassin de production (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017).

Commercialement, les artichauts du bassin du Languedoc Roussillon ont un premier atout commercial avec la création de l'IGP Artichauts du Roussillon en 2015 (site internet Nos Produits de Qualité, consulté en 2022). A dire d'expert, un autre atout commercial pour cette production est sa période de récolte qui est à l'intersection entre les artichauts espagnols et les artichauts bretons (discussion avec Gilles Planas – conseiller de la Chambre d'Agriculture des PO, en 2020).

1.1.4. Dynamique des exploitations maraîchères en Pyrénées Orientales : la déprise agricole

Malgré l'importance de la production maraîchère des PO, le renouvellement des générations dans le secteur de la production fruit/légumes n'est pas assuré. Ce constat est global à l'ensemble des productions agricoles de la région Occitanie, et même si en 2018 le taux de reprise a augmenté par rapport aux 4 précédentes années, encore 39% des exploitations n'ont pas de repreneur.euse.s lors du départ à la retraite des exploitant.e.s (Chambre d'Agriculture Occitanie, 2021). Globalement, en 2019, le nombre de chef.fe.s d'exploitations toutes productions confondues sur la région Occitanie a diminué d'environ 1% : il y a plus de départs que d'installations, et ce phénomène est en voie pour continuer car le nombre de chef.fe.s d'exploitations de plus 50 ans augmente (Chambre d'agriculture Occitanie, 2021). Une conséquence directe est la perte de surfaces maraîchères qui croît depuis les années 2000 (Projet Agricole Départemental, 2016). Mais ce phénomène ne concerne pas que le maraîchage et c'est bien le secteur agricole dans son ensemble qui connaît une baisse globale de 40% du nombre d'exploitations agricoles depuis 20 ans et une diminution de 20% de la SAU en 10 ans (site du Département des PO, consulté en 2022). En ce sens, le département des PO fait face à une déprise agricole.

Concernant le maraîchage en particulier, quelques chiffres clés des principales productions illustrent cette diminution des surfaces, avec en 16 ans (de 2000 à 2016) une perte de 56% des surfaces d'artichaut (- 700 ha) et une perte de 69% des surfaces de salade en plein champs sous abris (- 1515 ha) dans le département des PO (Projet Agricole Départemental, 2016). Ces surfaces sont en compétition

avec l'urbanisation ce qui rend l'accès au foncier difficile et fragilise leur maintien (Chambre d'agriculture des PO, 2018).

1.1.5. Les principaux enjeux des Pyrénées Orientales et la triple performance

Le maintien de la filière légumes est une des priorités avec des enjeux tels que l'adaptation des coûts de production (entre autres en optimisant les moyens de production, notamment la main d'œuvre qui représente un coût conséquent pour les chefs d'exploitation), la création de la valeur ajoutée ou encore la mise en place des solutions de gestion des risques climatiques (Projet Agricole Départemental, 2016). Dans cette optique le département des PO s'est déjà engagé en faveur de l'agroécologie au travers de la production raisonnée depuis plus de 30 ans (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017), avec des agriculteurs labellisés AB sur 26% de la SAU et plus récemment en s'investissant significativement dans le Plan Ecophyto (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017). L'importance de la triple performance économique, environnementale et sociétale est au cœur des préoccupations du monde agricole, les PO n'y échappent pas avec plus de 9 GIEE (Groupement d'Intérêt Économique et Environnemental) reconnus depuis 2017 (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2017).

1.2. Le maraîchage en France et les attentes des consommateurs

1.2.1. La non durabilité des filières maraîchère: un phénomène qui ne touche pas seulement les Pyrénées Orientales

Les acteur.trice.s agricoles du département des PO ne sont pas les seul.e.s à se questionner sur la durabilité de la filière légumes. En 2018, 24 CIVAM (Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural) se sont regroupés à l'initiative des agriculteur.trice.s pour travailler sur la question de la durabilité des fermes maraîchères. Un groupe de travail a ainsi été constitué pour « caractériser la durabilité de systèmes maraîchers » et « proposer des éléments pour les politiques publiques pour soutenir les systèmes maraîchers durables ». Les principaux éléments soulevés s'articulent autour du temps de travail, de l'efficacité globale du système, de la gestion de l'eau ou encore de la gestion de la MO (matière organique) (site internet des CIVAM, consulté en 2022).

D'un point de vue économique, la durabilité passe par la rentabilité de l'outil de travail. Or, les nouveaux.velles installé.e.s peinent à pérenniser leur exploitation agricole (site internet des CIVAM, consulté en 2022). Corrélés à la rentabilité, le temps de travail et la difficulté du travail alimentent le volet social de la durabilité. En maraîchage, les temps de travaux hebdomadaires varient en général entre 40 et 60 h par semaine. Cette charge de travail est subie par les agriculteur.trice.s comme une contrainte forte (Sud&Bio, 2014). Enfin, d'un point de vue agronomique et environnemental, « la gestion conjointe de l'enherbement et de la fertilité du sol » représente un grand défi pour les maraîcher.ère.s qui tendent vers un cahier des charges AB (SEFerSol, 2017).

1.2.2. Les attentes des consommateurs face aux questionnements des maraîchers

En 2020, la crise sanitaire a accentué l'intérêt que portent les Français.es aux questions santé/environnement. Depuis, « la qualité de l'alimentation et des produits est particulièrement au cœur de leurs attentes » (Site du Ministère de la Transition Écologique « La bio en pleine croissance : découvrez les chiffres ! », consulté en 2022). Par exemple, en 2012, 67% du panel de consommateur.trice.s sollicité.e.s par l'enquête « Consommation » du CREDOC (Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie) considéraient « que le fait qu'un produit ait des garanties écologiques les incite à l'acheter » (Conseil d'Orientation pour l'Emploi, 2018). Ainsi, depuis plus de 10 ans, un critère d'achat des consommateur.trice.s est l'impact environnemental du produit. Ceci explique en partie leur l'engouement pour les produits labellisés AB, comme l'illustre la croissance de ce marché en 2013 (Agence bio, 2014). Selon Dekhili (et al., 2013), le choix d'une consommation

écologique est lié majoritairement à des préoccupations environnementales mais aussi à des préoccupations personnelles comme la santé, le bien-être ou la qualité et à des préoccupations sociales et éthiques. En ce sens le choix d'une consommation écologique appliquée aux produits agricoles peut s'appliquer en choisissant des produits AB (préoccupations environnementales), en préférant des produits portant la mention de non résidus de PPP (Produits PhytoPharmaceutiques) (préoccupations personnelles) ou encore en favorisant des circuits de commercialisation permettant une meilleure valorisation du travail des agriculteur.trice.s (préoccupations sociétales et éthiques).

1.3. Les principes agroécologiques pour répondre aux enjeux de durabilité et de résilience des systèmes agricoles

1.3.1. L'agroécologie comme réponse à l'enjeu de durabilité et de résilience des systèmes agricoles

Depuis le Sommet de la Terre à Rio en 1992, la notion de Développement Durable se popularise et pose les bases d'une dynamique sociale et politique vers des systèmes agricoles durables et résilients (MOOC Agroécologie, consulté en 2021). Pendant son mandat (2012-2017) de ministre de l'agriculture, Mr Le Foll a développé un plan agroécologique pour la France (Le Foll, 2017).

L'agroécologie est une notion évolutive et sa définition diffère suivant le temps, l'espace et le point de vue de la personne qui cherche à définir le concept (MOOC Agroécologie, consulté en 2021). Selon les « fondateurs » de l'agroécologie, elle est définie comme la gestion scientifique des ressources naturelles (Altieri, 1995) et comme une conception et une gestion écologique des agrosystèmes dans un objectif de durabilité (Gliessmann, 1998). Plus récemment, une synthèse des définitions de l'agroécologie a abouti à la définir comme un ensemble d'approches visant la résolution des défis actuels de la production agricole, grâce à une pensée systémique appliquée et à des approches de recherches interdisciplinaires (Wesel et al., 2009). Aujourd'hui l'agroécologie ne s'intéresse plus seulement aux aspects de la production agricole et de la protection de la culture car elle intègre des notions environnementales, sociales, économiques, éthiques et de développement. Plusieurs échelles d'étude peuvent être mobilisées en agroécologie : la parcelle, l'exploitation agricole et l'ensemble du système alimentaire (Wesel et al., 2009).

1.3.2. L'Agriculture de Conservation des Sols comme pratique agroécologique

Le sol, ressource naturelle intégrée à l'agrosystème, est aujourd'hui une préoccupation majeure de la transition agroécologique (Altieri et al., 2015). La dégradation des sols, qu'elle soit physique (ex : compaction), chimique (ex : appauvrissement en éléments minéraux) et/ou biologique (ex : baisse de la biodiversité) peut être liée aux activités de production agricole (Robert et Stengel, 1999). Produire mieux et améliorer le fonctionnement des sols passe donc par arrêter de le dégrader, mais les pratiques peuvent aller plus loin en « valorisant certaines de leurs propriétés » et en gérant « leurs fonctions essentielles ». En ce sens, l'agroécologie est une solution car de nombreuses pratiques agroécologiques visent à la conservation du sol et au maintien de la fertilité biologique de celui-ci, le non-travail du sol est l'une d'entre elles (Delahaie et al., 2016). En effet, ces pratiques permettent de « rétablir et d'améliorer les multiples processus biologiques du sol » (site CDA, consulté en 2022) et donc correspondent à la définition de l'agroécologie faite par le ministère de l'agriculture (2013), selon qui l'agroécologie permet entre autres de préserver les ressources naturelles (la ressource sol ici) et de favoriser la biodiversité. L'ACS (Agriculture de Conservation des Sols) est une pratique agroécologique qui se base sur les TCS (Techniques Culturelles Simplifiées), le maintien d'une couverture permanente du sol et une rotation raisonnée et diversifiée (Chambres d'Agriculture France, 2021). Ces préceptes de l'ACS apportent une solution pratique aux défis des maraîcher.ère.s mentionnés plus haut à savoir la gestion conjointe de l'enherbement et de la fertilité du sol.

1.4. L'Agriculture de Conservation des Sols, appliquée au maraîchage

1.4.1. La notion de Maraîchage sur Sol Vivant

L'ACS, et en particulier le non travail du sol, appliquée au maraîchage correspond à une technique appelée le MSV (Maraîchage sur Sol Vivant). Daniel et François Mulet ont créé le réseau MSV il y a 20 ans, en Normandie, dans l'Eure, en parallèle de la reprise de l'exploitation familiale. Ils cherchaient alors des références et des formations sur la thématique de la reconstruction des sols, en vain ; c'est ainsi qu'ils ont eux-mêmes commencé, en 2013, à organiser des rencontres sur cette thématique (site asso-sol, 2017).

Le MSV rassemble 2 grands principes de l'agroécologie : la couverture permanente du sol et la réduction du travail du sol (site internet ADAF26, consulté en 2022). L'objectif des SdC (Systèmes de Culture) en MSV est de maintenir la santé des sols et ainsi i) augmenter la résilience du système face aux événements climatiques extrêmes, ii) satisfaire la demande alimentaire d'une population grandissante (et en premier les agriculteurs eux même en leur permettant de dégager un revenu suffisant) iii) fournir d'autres services écosystémiques (comme la séquestration de carbone par exemple) (site internet ADAF26, consulté en 2022).

Quelques années après la création du réseau MSV par les frères Mulet, une expansion du MSV démarre en Normandie (2012-2016) jusqu'à aboutir à la création d'une association nationale composée de maraîcher.ère.s, d'autres réseaux d'agriculteur.trice.s, associations et GIEE ont vu le jour depuis (site MSV Normandie IDF, consulté en 2022). Au niveau national, la dynamique de transition vers des systèmes MSV est assez hétérogène et peu avancée, hormis en Normandie/Île-de-France grâce au groupe local très actif ce qui permet une bonne maîtrise des pratiques. Le réseau national MSV travaille à l'adaptation de ces pratiques aux autres conditions pédoclimatiques et au développement du MSV sur l'ensemble du territoire. C'est pour accompagner cette transition qu'aujourd'hui, des systèmes MSV sont en phase d'expérimentation, en station expérimentale avec par exemple le projet SeFerSol qui inclut une modalité de maraîchage conduit en agriculture de conservation du sol (site Ecophyto, consulté en 2022), ou en fermes pilotes dans le cadre de la recherche-action participative (site ADAF26, consulté en 2022).

1.4.2. L'intérêt aujourd'hui d'expérimenter le Maraîchage sur Sol Vivant

La littérature scientifique est abondante sur l'agroécologie, il existe pourtant un fossé entre les principes théoriques et les applications pratiques. Cette différence peut être en partie expliquée car de mêmes processus mis en place sur différents sites n'aboutissent pas à la fourniture des mêmes services écosystémiques, en raison d'interactions site/processus (Duru et al. 2015). Ainsi, depuis plusieurs années, des expérimentations sur la diminution du travail du sol en grandes cultures (agriculture de conservation, semi sous couvert...) sont menées (ADAF26, consulté en 2022). Elles ont prouvé que « le non travail du sol favorise la biodiversité microbienne du sol et améliore sa fertilité » (site internet du ministère de l'agriculture, publié en 2016). En 2017, Gayard et al. concluent que les TCS (Techniques Culturelles Simplifiées) comme le semis direct ou le semis sous couvert aboutissent à de nombreuses améliorations du système sol comme la lutte contre l'érosion, le stockage du carbone, l'augmentation de l'activité biologique du sol et l'augmentation de sa teneur en MO (site internet Ecophytopic, consulté en 2022).

Les pratiques TCS des grandes cultures et le MSV sont 2 systèmes basés sur la conservation du sol en excluant totalement le travail profond et le retournement des horizons (labours) de leurs ITK. Il est donc envisageable que le MSV ait les mêmes effets positifs que les systèmes en TCS. Expérimenter le MSV doit dans un premier temps vérifier cette première hypothèse mais il est nécessaire d'aller plus loin en observant aussi les effets sur les cultures (rendements, maladies...) et sur le système en sa totalité (intrants, temps de travaux, rentabilité...).

1.4.3. Le projet SeFerSol et les fermes pilotes

Récemment, le projet SeFerSol mentionné plus haut s'est intéressé à la fertilité du sol et à la gestion de l'enherbement via, entre autres, une modalité en ACS (en l'occurrence en MSV). Ce projet de 5 ans se terminera en 2023, mais de premiers résultats intermédiaires ont été publiés en lien avec l'emploi de la méthode Biofunctool (Brauman et al. 2020) : le système en agriculture de conservation a tendance à être meilleur que celui de référence (plus faible densité du sol, plus importante humidité du sol, libération des nitrates au printemps, plus grande activité microbienne) exceptée l'activité minéralisant de la microfaune qui est plus faible en système de conservation qu'en système de référence (site internet Pôle Maraîchage, consulté en 2022). Les résultats du projet SeFerSol sur l'état du sol sont encourageants. Sur le critère des rendements, d'autres résultats sont aussi encourageants : certain.e.s agriculteur.trice.s témoignent d'une stabilité des rendements lors de la conversion en MSV (site Produire Bio, consulté en 2022), quand d'autres affirment que le MSV est un levier qui a permis d'augmenter leurs rendements (site Petit Maraîcher, consulté en 2022). Ainsi, il semble nécessaire d'expérimenter le MSV avec ou non un cadre de contrainte AB, pour évaluer en même temps des critères relatifs au sols et des critères relatifs aux rendements, si ce n'est plus !

1.4.4. Quel type d'expérimentation pour évaluer le Maraîchage sur Sol Vivant ?

L'expérimentation système est une démarche qui a pour but de tester un ensemble de pratiques en tenant compte des interactions de celles-ci (site internet Ecophytopic, consulté en 2022). En ce sens, elle aboutit à la définition et l'évaluation d'un système de culture dans sa globalité et permet donc de traiter les enjeux du développement durable (Deytieux et al. 2012). Ces expérimentations sont différentes de celles factorielles qui s'intéressent à un seul facteur du système de culture, pour un contexte expérimental précis, toutes choses étant égales par ailleurs (Reau et Doré, 2008).

1.5. De la réponse aux enjeux des maraîchers des PO à la mise en place d'une expérimentation sur le MSV à la SICA Centrex

1.5.1. Le lien entre le MSV et la réponse aux enjeux des maraîchers des PO

Le MSV n'est pas abordé comme une solution aux divers problèmes rencontrés par la filière maraîchage des PO mais comme une solution (parmi d'autres) pour optimiser/maximiser la durabilité globale (économique, agronomique, environnementale) à l'échelle de la parcelle (voire de l'exploitation agricole). Le MSV peut aussi se positionner en solution de gestion des risques climatiques. Par exemple, si le sol présente une meilleure porosité il sera plus à même d'absorber l'eau en cas de fortes précipitations. Un autre exemple est la présence de couverture permanente sur l'inter-rang qui peut permettre une meilleure régulation de la température du sol face à la température extrême dans l'air (gel/canicule). Ainsi, même si le MSV, comme n'importe qu'elle autre pratique, ne peut répondre à l'ensemble des problèmes auxquels sont confronté.e.s les maraîcher.ère.s des PO, il peut les accompagner dans le défi identifié précédemment : la gestion conjointe de l'enherbement et de la fertilité du sol. Aussi, dans le cas d'un agriculteur.trice.s en vente directe, iel pourra mieux valoriser sa production en communiquant sur ses pratiques en MSV face à des consommateur.trice.s pour qui l'impact environnemental est devenu primordial. Ces exemples illustrent que le MSV peut être un outil qui participe à la triple performance (économique, environnementale et sociétale), plébiscitée par la Chambre d'Agriculture et les GIEE locaux, et qui favorise une efficacité globale du système.

La mise en place d'une expérimentation du MSV dans les PO peut favoriser l'appropriation du MSV par les agriculteur.trice.s du département. En effet, la perspective de changer son système de production sans références techniques locales n'est pas aisé.

1.5.2. La création et la mise en place du projet SoViMed

Le projet Sols Vivants maraîchers en région Méditerranéenne (SoViMed) a été élaboré pour répondre au besoin d'expérimentation(s) systémique(s) sur la thématique du MSV en contexte méditerranéen, mis en évidence précédemment. Le projet SoViMed est porté par la SICA Centrex est mis en place sur 3 sites : la SICA Centrex (Torreilles, 66), le CIVAM Bio 66 (Théza, 66) et Sud Expé (Marsillargues, 34). Il s'agit d'un projet cofinancé par le FEADER (Fond Européen Agricole pour le Développement Rural) et les 3 stations (SICA Centrex, Civam Bio 66 et Sud Expé) elles-mêmes.

Le projet a été financé pour une durée de 48 mois (du 01/03/2019 au 28/02/2023) avec la thématique suivante : « Etude du Non-travail du sol et des couverts végétaux sur la diminution des apports en eau, l'amélioration de la qualité du sol et la rétention des éléments fertilisants, en cultures maraîchères » (Annexe 1 de la Demande Subvention, 2019).

Il a été convenu que la SICA Centrex et Sud Expé étudient le MSV en plein champ en agriculture raisonnée et que le CIVAM Bio 66 l'étudie en plein champ sous abris en AB. Ces modes de cultures correspondent aux habitudes de production et d'expérimentation de chacune des stations. Concernant le choix des espèces, il se fait selon des logiques de rotations que pourraient mettre en place les agriculteurs en maraîchage diversifié. Chaque station choisit la succession culturale qu'elle met en place en y intégrant une culture spécifique. Chaque station a le statut d'expert et de référent pour la culture spécifique qui lui est attribuée et doit justifier que MSV peut être une solution pour un problème identifié par les agriculteur.trice.s et conseiller.ère.s. Les cultures spécifiques attribuées par station sont les suivantes : artichaut pour la SICA Centrex, salade pour le CIVAM Bio 66 et melon pour Sud Expé.

Le problème identifié sur la production d'artichauts, attribué à la SICA Centrex, est l'enfouissement du tuyau d'irrigation par le buttage pour les parcelles conduites en gouttes à gouttes. Le MSV est envisagé comme solution car le non travail du sol amène au non buttage des rangs et par conséquent au non enfouissement du tuyau.

1.5.3. La SICA Centrex, une station expérimentale en zone méditerranéenne

La SICA Centrex est une station d'expérimentation spécialisée en production fruitières et maraîchères, localisée à Torreilles (66). Sa principale mission est « d'établir une interface entre la recherche fondamentale et la production agricole » (site SICA Centrex, consulté en 2022). La SICA Centrex a été créée en 1975, avec un focus sur les problématiques des producteurs d'abricots uniquement. C'est en 1990 que la station expérimentale s'ouvre aux autres productions de fruits et légumes du département. Les expérimentations sont généralement localisées sur les parcelles de la SICA Centrex qui totalisent 24 ha. Le maraîchage plein champs représente une surface de 18,3 ha dont 10,4 ha en AB (ou conversion AB). Le projet SoViMed à la SICA Centrex se déroule sur les parcelles en production raisonnée. Le climat caractérisant les alentours de la ville de Torreilles (5 m d'altitude) correspond au climat méditerranéen qui a la particularité de faire coïncider le minimum de pluviométrie et le maximum thermique annuels (Tabarly S. et Bouron. J.B., 2021). Deux principaux types de vent sont présents dans les Pyrénées Orientales. La tramontane, un vent du nord-ouest, froid, sec et violent, qui peut dépasser les 100 km/h et souffler toute l'année (115 jours/an en moyenne à Perpignan). Et le marin, vent du Sud-Est par la mer Méditerranée, il est doux, humide et souffle principalement au printemps. (Site Tempêtes Météo, consulté en 2022).

1.5.4. Problématique et hypothèses de travail

L'étude de SoViMed sur le site de la SICA Centrex permet de répondre à la question suivante :

Quelles sont les performances agronomiques et économiques des systèmes maraîchers sur sol vivant (MSV) en conditions méditerranéennes et comment évoluent-elles au cours des 3 premières années de mise en place ?

Cette problématique conduit à l'identification de plusieurs questions :

a) La conduite en MSV permet-elle une amélioration du sol ?

Hypothèse a1 : les pratiques MSV ont un effet positif sur l'activité biologique

Hypothèse a2 : après plusieurs cycles culturaux, la structure du sol conduite en MSV présente une meilleure structure que celle d'un sol travaillé

Hypothèse a3 : les pratiques MSV permettent au sol d'être plus résilients face aux événements climatiques (pluies principalement)

b) La conduite en MSV nécessite-t-elle une modification de la stratégie de traitement et permet-elle un maintien de la production et sa qualité ?

Hypothèse b1 : le système MSV, puisqu'il favorise la présence d'auxiliaires de culture (enherbement), permet une diminution des traitements contre les insectes ravageurs

Hypothèse b2 : le MSV favorise le maintien d'inoculum primaires et d'adventices sur la parcelle et ainsi augmente le recours aux traitements fongicides et herbicides

Hypothèse b3 : le MSV n'impacte pas le rendement et la qualité de la production

c) La conduite en MSV est-elle économiquement viable ?

Hypothèse c1 : le temps de main d'œuvre et la pénibilité du travail sont augmentés par le MSV

Hypothèse c2 : l'emploi d'énergies fossiles est diminué par le MSV

Hypothèse C3 : la balance coûts/produits en MSV est proche de celle en non MSV

2. Matériel et méthodes

2.1. Le dispositif expérimental de SoViMed

Le dispositif expérimental du projet SoViMed à la SICA Centrex est une expérimentation système, pluriannuelle (3 ans) et monosite (les modalités restent localisées sur les mêmes PE (Parcelles Élémentaires) tout au long de l'étude). Le dispositif expérimental est composé de 4 PE organisées en 2 groupes de 2 PE (groupe A/B et groupe C/D). La figure 1 présente l'agencement spatial de 4 PE. Chacune d'elle fait environ 500 m² et leur état initial est proche car elles ont été découpées dans une grande parcelle de 2000 m².

Dans chaque groupe de PE il y a :

- une PE témoin (W) – avec travail du sol
- une PE MSV (NT) – sans travail du sol

Chaque PE présente 4 répétitions qui correspondent aux 4 rangs de plantation. Chaque rang fait 1 m de large sur environ 60 m de long, idem pour les inter-rangs. Il s'agit d'un dispositif criss-cross témoin adjacent.

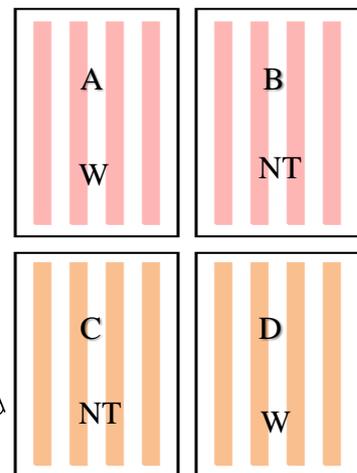


Figure 1. Organisation spatiale des 4 PE (A, B, C et D), des modalités (W et NT) et des 4 rangs de plantations par PE (bandes verticales)

2.2. Les cultures mises en place au cours des années d'expérimentation

2.2.1. La succession culturale sur 5 saisons de production

Pendant les 2 premières saisons de conduite de l'expérimentation (2019/20 et 2020/21), une production d'artichauts est conduite sur les 4 PE. Après ces 2 premières saisons, le choix des espèces est diversifié en prenant en compte les exigences des rotations en maraîchage, les circuits de

commercialisation à la disposition de la SICA Centrex et les connaissances techniques des équipes. La figure 2 présente les successions culturales par groupe de PE. Chacune des modalités est illustrée par une photographie pour chaque espèce cultivée, de la 2^{ème} à la 5^{ème} saison culturale, en annexes 1 à 7.

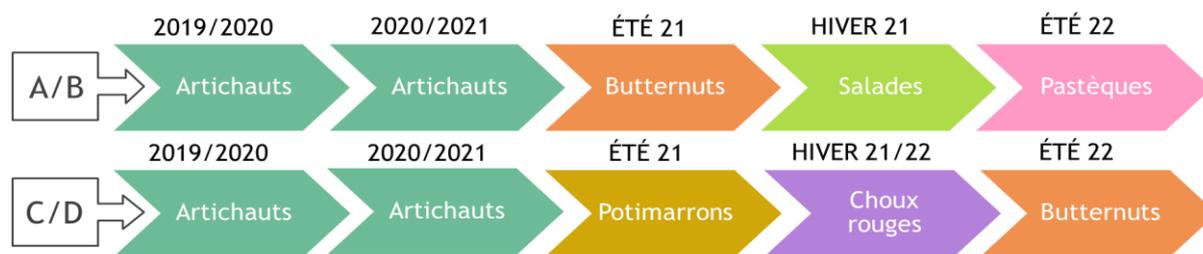


Figure 2. Successions culturales de 2019 à aujourd'hui par groupe de PE (A/B et C/D)

2.2.2. Variétés, densités de plantation et calendrier cultural

Les variétés sont choisies par rapport aux productions les plus fréquentes sur le bassin Torreillan et aux conseils du pépiniériste qui fournit les plants à la SICA Centrex. Les variétés, les densités de plantation et les calendriers culturaux sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Calendrier cultural et informations sur les espèces cultivées

Saison de production	Espèce	Variété	Densité de plantation	Date de plantation	Date de récolte
2019/2020 (1 ^{ère})	Artichaut	Sambo	5 555 plants/ha	24/07/2019	9 passages du 09/03/2020 au 30/04/2020
2020/2021 (2 ^{ème})					5 passages du 23/03/2021 au 03/05/2021
ETE 2021 (3 ^{ème})	Butternut	Havana	0,833 plants/m ²	26/05/2021	01/09/2021
	Potimarron	Orange summer			28/07/2021
HIVER 2021/2022 (4 ^{ème})	Salade	Laitue Rossia	Planche : 16 plants/m ² PE: 8 plants/m ²	23/09/2021	22/11/2021 02/12/2021
	Choux rouge	Rodéo	Planche : 3,3 plants/m ² PE: 6,6 plants/m ²	24/08/2021 25/08/2021	6 passages du 09/11/2021 au 21/01/2022
ETE 2022 (5 ^{ème})	Pastèque	Mini-Love	0,83 plants/m ²	05/05/2022	Juillet/Août
	Butternut	Havana		02/06/2022	Début Septembre

2.3. Le système de culture : des points communs et divergents entre les 2 modalités

L'organisation spatiale (distance entre les PE et système d'irrigation avec une électrovanne par PE) permet la réalisation de chaque opération culturale à la PE, et non par groupe de PE interdépendantes.

Les itinéraires culturaux conduits sur les 2 modalités sont proches en début d'expérimentation (seules différences = le travail du sol et la gestion de l'inter-rang) et se différencient au cours du temps. Le tableau 2 présente les différences entre ITK par saison de production.

Tableau 2. Comparaison des itinéraires techniques de culture des 2 modalités

Saison de production	Travail du sol	Gestion de l'inter-rang	Irrigation	Traitement	Fertilisation & Amendement
1 ^{ère}	≠	≠	=	=	=
2 ^{ème}	≠	≠	=	=	=
3 ^{ème}	≠	≠	≠	=	=
4 ^{ème}	≠	≠	≠	≠	=
5 ^{ème}	≠	≠	≠	≠	≠

2.3.1. Fertilisation et amendements

La fertilisation est fractionnée avec des apports maximaux de 80 U d'N/ha. Une fertilisation organique de fond est généralement appliquée en amont de la plantation (elle est enfouie mécaniquement sur W et est posée au sol sur NT). En cours de culture la fertilisation se fait en fertirrigation minérale et est raisonnée selon la quantité de nitrates présents dans le sol (quantification nitracheck) et selon le stade phénologique de la culture en place.

Les amendements sont réalisés de manière arbitraire. Les pratiques sont les suivantes : l'apport est effectué sur l'ensemble de la parcelle et est enfoui pour les PE W et il est fait sur le rang uniquement, sous forme de mulch, pour les parcelles NT. Un premier amendement en BVC (Bois Vert Criblé) est réalisé sur les 4 PE pour les cultures d'été 2021 (3^{ème} saison de production) à raison de 15 t/ha. Deux autres apports d'une dose de 200 t/ha (soit 100 t/ha à la parcelle) sont effectués. L'un, sur les PE C/D avant la plantation des cultures d'hiver (4^{ème} saison de plantation). L'autre, sur les PE de la modalité NT avant l'implantation des pastèques et butternuts (5^{ème} saison de production).

2.3.2. Irrigation

L'irrigation se fait en goutte à goutte via des tuyaux réutilisables avec des goutteurs d'un débit de 1,6 litres/heure positionnés tous les 30 cm. Le déclenchement de l'irrigation se fait selon les observations de l'humidité du sol, sur le rang, à minima sur la profondeur de prospection racinaire. Pour les 2 premières saisons de production, l'irrigation est gérée par rapport aux données des sondes tensiométriques. Pour les saisons de production suivantes la gestion change : pour le groupe de PE A/B, des prélèvements à la tarière sur le rang (60 cm de profondeur) sont réalisés au moins 1 fois par semaine, idem pour le groupe C/D avec, en supplément, les données de sondes Watermark (2 jeux de 6 sondes) installées sur chaque PE. Pour plus de précision dans les choix d'irrigation, les ETP du bimensuel L'Agri sont consultés à chaque parution. D'après cette information, les apports en eau nécessaire théoriques sont calculés en prenant en compte le coefficient cultural de la culture en place et la réserve utile du sol. La quantité d'eau théoriquement nécessaire est comparée aux programmes appliqués d'après l'observation à la tarière.

2.3.3. Gestion des maladies, ravageurs et de la flore spontanée

Les cultures sont conduites en agriculture raisonnée avec un recours non systématique aux PPP (Produits Phytopharmaceutiques) AB, de biocontrôle et conventionnels. L'objectif est de minimiser l'IFT mais aussi la dangerosité et l'impact sur l'environnement des matières actives utilisées. Quand cela est possible, les traitements sont localisés plutôt qu'appliqués sur l'intégralité de la PE.

Pour gérer les maladies/ravageurs, le déclenchement des traitements se fait en fonction des avertissements agricoles régionaux et/ou après la détection du bioagresseur en fonction de sa vitesse de développement d'une semaine sur l'autre, des prévisions météorologiques et de l'activité d'auxiliaires spécifiques observée.

Pour gérer les adventices et l'enherbement, le recours à la lutte mécanique est privilégié.

2.3.4. Gestion du sol

La gestion du sol est différente pour les PE NT (MSV en non travail du sol) et pour les PE W (témoin travaillé), car cela fait partie intégrante du système MSV étudié. Pour la modalité W, le sol est travaillé sur 30 à 40 cm avant les plantations et après les récoltes. Les résidus de cultures sont enfouis. Le sol est nu en interculture et les inter-rangs sont nus en cours de culture. Le rang est paillé (sauf pour la culture d'artichauts qui est butée) avec un paillage plastique biodégradable. Pour la modalité NT, le dernier travail du sol profond est effectué pour la plantation de la première culture (artichauts 2019). Aucun autre travail du sol profond n'est prévu sur les 3 ans d'essai. Un travail superficiel (5 cm) peut être réalisé sur les rangs après la fin d'une culture. Un couvert de trèfle blanc est implanté en début d'expérimentation sur l'inter-rang et est entretenu par tonte/broyage.

2.4. Conditions climatiques de l'essai

2.4.1. Comparaison aux normales saisonnières

Pour comparer les conditions météorologiques d'une saison de production avec les normales saisonnières, ce sont les données de la station météorologique Météo-France de Perpignan-Rivesaltes (récupérées sur le site infoclimat.fr) qui sont mobilisées. Les écarts aux normales de température minimales, moyennes et maximales et aux normales de précipitation pour les années 2019, 2020, 2021 et 2022 jusqu'en juillet sont présentés dans les annexes 8, 9, 10 et 11 respectivement. Les données des 4 années étudiées sont comparées aux normales saisonnières de 1981 à 2010.

Pour la production d'artichauts de 2019/2020 (1^{ère} saison de production, de début octobre 2019 à fin avril 2020), la température minimale moyenne est de 8,6°C soit +1,1°C par rapport aux normales (la minimale extrême est de -0,2°C), la température moyenne moyenne est de 12,9°C soit +1,4°C par rapport aux normales et la température maximale moyenne est de 17,2°C soit +1,6°C par rapport aux normales saisonnières (la maximale extrême est de 26,7°C. Les précipitations aussi sont supérieures aux normales saisonnières en début (+38 mm en septembre et +60 mm en octobre) et en fin (+143 mm en avril) de culture.

Pour la production d'artichauts de 2020/2021 (2^{ème} saison de production, de début octobre 2020 à fin avril 2021), la température minimale moyenne est de 7,6°C soit +0,2°C par rapport aux normales (la minimale extrême est de -3,8°C), la température moyenne moyenne est de 11,8°C soit +0,3°C par rapport aux normales et la température maximale moyenne est de 16,1°C soit +0,4°C par rapport aux normales saisonnières (la maximale extrême est de 24,5°C. Hormis en août et septembre, les précipitations sont systématiquement inférieures aux normales saisonnières (environ -40 mm).

Pour la production d'été 2021 (3^{ème} saison de production, de début juin 2021 à fin août 2021), la température minimale moyenne est de 19,4°C soit +0,9°C par rapport aux normales (la minimale extrême est de -15,4°C), la température moyenne moyenne est de 24,5°C soit +1,2°C par rapport aux normales et la température maximale moyenne est de 29,8°C soit +1,7°C par rapport aux normales saisonnières (la maximale extrême est de 37,3°C.

Pour la production d'hiver 2021/2022 (4^{ème} saison de production, de début septembre de 2021 à fin janvier 2022), la température minimale moyenne est de 9,9°C soit +0,7°C par rapport aux normales (la minimale extrême est de -2,6°C), la température moyenne moyenne est de 14,1°C soit +0,7°C par

rapport aux normales et la température maximale moyenne est de 18,3°C soit +0,7°C par rapport aux normales saisonnières (la maximale extrême est de 30°C).

Pour la production d'été 2022 (5^{ème} saison de production, de début mai 2022 à fin juillet 2022), la température minimale moyenne est de 18,7°C soit +2,3°C par rapport aux normales (la minimale extrême est de -11,3°C), la température moyenne est de 24,1°C soit +3,1°C par rapport aux normales et la température maximale moyenne est de 29,5°C soit +3,7°C par rapport aux normales saisonnières (la maximale extrême est de 39,8°C).

2.4.2. Des conditions climatiques proches pour les 3 années d'essai

La station Agriscope de la SICA Centrex enregistre les données météorologiques toutes les heures. Pour un maximum de précision c'est celles-ci qui sont utilisées pour comparer les conditions climatiques des 3 années d'essais. L'annexe 12 présente les températures minimales, moyennes et maximales par saison de production et l'annexe 13 présente les pluviométries mensuelles par saison de production.

Il est mis en évidence que les températures minimales lors de la production d'artichauts 2020/2021 sont plus basses (jusqu'à -5°C) que les températures minimales lors de la production d'artichauts de 2019/2020. La période avec des températures minimales a duré plus longtemps en 2020/2021 qu'en 2019/2020. A la plantation, les températures maximales sont plus élevées en 2020/2021 qu'en 2019/2020 puis la tendance est inversée sur le reste de la période de production. Ainsi la 2^{ème} saison de production d'artichauts connaît des températures plus extrêmes et moins stables que la première saison de production. Les précipitations y sont aussi environ 2x moins importantes.

En été 2021 les cultures connaissent des températures maximales moins élevées qu'en été 2022 (les températures maximales de juillet 2022 atteignent les 40 °C) mais des températures minimales plus élevées également. Le sol a aussi été plus humidifié en amont grâce aux pluies de mai 2021 plus élevées que celles de 2022.

Enfin en hiver 2021/2022, l'ensemble des températures diminue de septembre à janvier, et en fin de culture de choux, des températures négatives sont enregistrées. En novembre la pluviométrie est la plus importante enregistrée sur tout l'essai avec environ 150 mm.

2.5. Variables suivies au cours de l'essai

2.5.1. Données sur le sol

a. *Caractérisation initiale du sol : analyses granulométrique et chimique*

Des analyses de sols sont réalisées par modalité (une analyse pour la modalité NT sur les PE B et C et une analyse pour la modalité W sur les PE A et D) à la mise en place de l'expérimentation. Il s'agit de la seule donnée de caractérisation initiale du sol. De nouvelles analyses de sol seront réalisées, cette fois ci par PE, à la fin des 3 ans d'expérimentation, à la même saison que les premières analyses. Ces analyses seront effectuées par le même laboratoire qui a effectué les premières analyses et présenteront au moins les mêmes indicateurs. D'autres indicateurs pourront y être ajoutés, comme l'activité biologique, par exemple.

b. *Les données acquises tout au long de l'essai*

Certaines analyses sont effectuées régulièrement depuis le début de l'essai. C'est le cas du suivi des populations de lombrics et du test thé/rooibos/slip. Les variables acquises, les objectifs et une synthèse du protocole sont présentés, pour ces 3 suivis, par le tableau 3.

Tableau 3. Présentation des indicateurs du sol suivis tout au long de l'essai : température du sol, humidité du sol, nombre de lombrics/m³ et pourcentage de masse perdue lors de la dégradation des sachets de thé dans le sol

Variabes & Unité	Objectifs	Mode de prélèvement ou d'analyse	Répétitions	Date(s)
Activité des lombrics → nombre de lombrics (par espèce) /m ³	Quantifier l'activité biologique	Un prélèvement correspond à un volume de terre de 25 cm de largeur sur 30 cm de profondeur (18 750 cm ³). Les prélèvements se font sur les inter-rangs des PE, la terre est émietlée pour isoler chaque lombric afin de tous les identifier et les dénombrer. Selon le protocole d'EcoBioSol ² ,	3 à 6 prélèvements de terre par PE	En sortie d'hiver chaque année
Activité biologique dans le sol → pourcentage de masse organique dégradée	Evaluer l'activité biologique du sol	Des sachets de thé sont positionnés sur le rang à 2 profondeurs : 15 et 30 cm. Ils sont de forme pyramidale et en plastique. A partir de 2021 les sachets sont mis en pochons insect-proof et reliés à la surface du sol par un fil de pêche. Chaque sachet est pesé avant mise dans le sol (balance de précision). Leur durée dans le sol sera variable selon la période du test et les résultats du test précédent. Une fois sortis de terre, les sachets de thé sont nettoyés, séchés à l'étuve puis pesés à nouveau sur la même balance. Selon le même protocole, des tests avec des sachets de rooibos peuvent être effectués, idem pour le test slip (à 30 cm de profondeur seulement).	3 à 4 répétitions par PE	Au moins 1 fois par an

c. Les données acquises en fin d'essai

Certaines analyses sont effectuées une seule fois en fin d'essai pour comparer les systèmes après plusieurs saisons de production. C'est le cas du test bêche, des pièges barber, du slake test et du test beerkan. En plus des tests, les données tensiométriques et thermiques du sol sont enregistrées à l'aide de sondes. Pour l'ensemble de ces mesures, les variables acquises, les objectifs, et une synthèse du protocole sont présentés par le tableau 4.

² EcoBioSol. Protocole Test Bêche Vers de Terre [en ligne]. <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/protocole-participatif-test-beche-vers-de-terre>

Tableau 4. Présentation des indicateurs du sol mis en place en fin d'essai : quantité et diversité des arthropodes vivants à la surface du sol, structure du sol, vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et le taux de dégradation des mottes dans l'eau

Variabes & Unité	Objectifs	Mode de prélèvement ou d'analyse	Répétitions	Date(s)
Biodiversité de la microfaune sauvage à la surface du sol → quantité et diversité des arthropodes	Quantifier et qualifier la microfaune présente sur l'inter-rang	Les pièges Barber sont installés sur les inter-rangs pour une durée de 48h. Ils sont remplis d'une solution saline avec quelques gouttes de liquide vaisselle sans parfum. Selon le protocole de piégeage des carabes par Roux. M et al ³ . Les arthropodes piégés sont triés par famille en groupes fonctionnels – cf. annexe 14	3 pièges par PE	Une fois en dernière saison de production
Température du sol → °C	Caractériser l'évolution de la température et de l'humidité du sol	Sondes tensiométriques (WATERMARK) positionnées à 20 et 40 cm de profondeur, sur le 2 ^{ème} rang de plantation. Les données sont enregistrées toutes les 6 heures et consultables sur la plateforme Challenge Agriculture.	1 jeu de 6 sondes sur la PE-C, idem sur la PE-D	Positionnées sur toutes les saisons de production mais enregistrées et analysées sur la dernière saison de production
Humidité du sol → Cbar				
Structure du sol (pas d'unité unique)	Caractériser la structure du sol sur le rang	Chaque prélèvement de sol mesure 25 cm*25 cm*30 cm de profondeur. Ils sont réalisés sur le rang. i) observation sous forme de bloc sur la bêche pour détermination des horizons ii) étude de chaque horizon et de ses mottes. Selon le protocole de l'ISARA ⁴	1 prélèvement par PE	A l'inter-culture entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison de production et au moins 1 mois après le dernier travail du sol
Infiltration de l'eau → min/mm	Evaluer le comportement du sol face aux pluies sur la PE	Chronométrage (en seconde) du temps d'infiltration d'au moins 4 itérations de 30 cl dans un cylindre (diamètre : 15 cm, profondeur 15 cm). Il y a 3 modalités d'ITK pour cet indicateur : W, NT rang et NT inter-rang. Protocole inspiré de la méthode Orion pour le Test Beerkan par Derivrye et Goillon ⁵ .	4 répétitions par PE	
Stabilité structurale → pourcentage de mottes restant	Evaluer la stabilité structurale sur le rang	Mottes prélevées entre 10 et 20 cm de profondeur, séchées à l'étuve. La première notation correspond au pourcentage de motte restant après 5 minutes d'immersion dans l'eau. Après cette étape les mottes subissent 5 cycles d'extraction/immersion dans l'eau. Le pourcentage de motte restant est noté. Protocole inspiré de la méthode Orion pour le Slake Test par Derivrye et Goillon ⁸ .	1 prélèvement par rang pour chaque PE. Etude de 3 mottes par prélèvement	

³ Roux M. et al. Les carabes, échantillonnage et pièges, [en ligne] https://www.supagro.fr/ress-pepites/carabes/co/6_Echantillonnage.html

⁴ ISARA Lyon (Décembre 2016). Test Bêche Guide d'utilisation, [en ligne]. https://sorgprints.org/id/eprint/31137/1/peigne-et-al-2016-GuideTestBeche-ISARA_Lyon.pdf

⁵ Derivry E. et Goillon C. (Novembre 2019). Fiches techniques indicateurs de la qualité du sol, [en ligne]. <https://aprel.fr/pdf2/830375550L031%20ORION%20fiches%20techniques%20indicateurs.pdf>

2.5.2. Données sur la culture

Des données sont acquises lorsque la culture est en place (comme le taux de reprise, de chétivité et de mortalité, les IFT, les quantités et fréquences d'irrigation) et d'autres sont acquises à la récolte (précocité, rendement, calibres et qualité de la récolte). Ces données sont présentées dans les tableaux 5 et 6 respectivement.

Tableau 5. Présentation des indicateurs suivis au champ : taux de reprise, chétivité et mortalité, IFT

Variabiles & Unité	Objectifs	Mode de prélèvement ou d'analyse	Nombre de répétitions	Cultures concernées
Taux de reprise → nombre de plants reprisés / nombre de plants plantés	Quantifier le taux de reprise	La reprise se fait les 2 premières qui suivent la plantation. A chaque reprise effectuée, le nombre de plants remplacés est enregistré et rapporté au nombre de plants plantés. La notation se fait par rang et par PE.	4 répétitions par PE	Salades 21 Pastèques 22 Butternuts 22
Taux de chétivité → nombre de plants chétifs / nombre de plants plantés	Quantifier la chétivité en fin de culture	Le nombre de plants chétifs est enregistré avant la récolte et rapporté au nombre de plants à la fin de la reprise. La notation se fait par rang et par PE.	4 répétitions par PE	Artichauts
Taux de mortalité → nombre de plants morts / nombre de plants plantés	Quantifier la mortalité en fin de culture	Le nombre de plants morts est enregistré avant la récolte et rapporté au nombre de plants à la fin de la reprise. La notation se fait par rang et par PE	4 répétitions par PE	Toutes
IFT	Quantifier l'IFT	Calcul standard (1 traitement à pleine dose homologuée et sur 100% de la surface vaut 1). Présentation par PE, par saison de production et par typologie de PPP (insecticide, herbicide, fongicides). Au sein de chaque typologie les PPP chimiques et les PPP de biocontrôle sont dissociés entre eux.	Pas de répétition	Toutes
Quantité et fréquence d'irrigation → m ³ /ha	Quantifier les besoins en eau	Relevé hebdomadaire des quantités d'eau d'irrigation apportées pour mener à bien la culture. L'enregistrement se fait à la PE.	Pas de répétition	Pastèques 22 Butternuts 22

Tableau 6. Présentation des types de récolte par espèce et des données acquises à la récolte : précocité et composantes du rendement

Culture	Type de récolte	Précocité	Composantes du rendement notées
Artichauts 2019/2020	Récolte des capitules en plusieurs fois selon leur maturité (critère = maximiser la taille du capitule avant son ouverture)	Evaluation par représentation graphique du pourcentage d'atteinte de la récolte à chaque date de récolte.	Poids moyen d'un capitule, rendement brut en kg/m ² et en nombre de capitule/plant non chétif. → Les notations se font par rang et par PE.
Artichauts 2020/2021			
Salades 2021	2 dates de récoltes identiques entre les modalités	Comparaison des rendements atteints aux différentes dates de récoltes par modalités	Poids moyen d'une salade, rendement brut en kg/m ² . → Les notations se font par rang et par PE.
Choux 2021/2022	Récolte en plusieurs fois selon la maturité (critère = maximiser la taille du chou avant son ouverture)	Evaluation par représentation graphique du pourcentage d'atteinte de la récolte à chaque date de récolte.	Poids moyen d'un chou, pourcentage de choux dans différentes classes de calibre, rendement brut en kg/m ² . → Les notations se font par rang et par PE.
Potimarrons 2021	Récolte par PE selon le stade BBCH et le développement moyen des fruits	Comparaison des dates de récolte des 2 modalités.	Poids moyen d'un fruit, pourcentage de fruits dans différentes classes de calibre, rendement brut en kg/m ² et en nombre de fruits/plant. → Les notations se font par individu.
Butternuts 2021&2022			
Pastèques 2022	Récolte en plusieurs fois selon la maturité (critère = vrille sèche)	Evaluation par représentation graphique du pourcentage d'atteinte de la récolte à chaque date de récolte.	

Une autre notation est effectuée pour l'ensemble des cultures (hormis celle d'artichauts en 2019/2020 en lien avec les temps travaux limités en présentiel à cause du confinement), c'est la qualité de la récolte. Elle est assimilée au pourcentage d'individus avec des dégâts entraînant une commercialisation - par type de dégâts.

2.5.3. Données économiques

Les données économiques sont acquises tout au long des cultures de salades 2021, pastèques 2022 et butternut 2022. Pour la culture de salades 2021, les données sont enregistrées et analysées sur toute la saison de production. Pour la production de pastèques 2022, les données sont enregistrées et analysées depuis la préparation du sol à la plantation jusqu'au 1^{er} août inclus.

L'objectif est de comparer les coûts et les produits des 2 modalités et non de dresser un bilan économique au sens comptable. Ainsi, les coûts de fonctionnement de l'exploitation sont considérés comme identiques pour les 2 modalités. Ainsi, lorsqu'un coût est considéré comme identique pour les 2 modalités, il n'est pas calculé car cela n'apporterait rien à la comparaison. Les données, acquises par PE et présentées à l'hectare, sont donc strictement liés aux ITK des 2 modalités, soit :

- Temps de travaux (* taux horaire moyen = coût de main d'œuvre)
- Temps d'utilisation d'engin à énergie fossile (*consommation moyenne de l'engin * prix moyen du carburant = coût en énergies fossiles⁶)

⁶ Ainsi le coût direct des énergie fossile est résumé au coût du carburant pour les tracteurs et autres auto-moteurs

- Le coût du paillage, de l'irrigation, des PPP, des amendements et des fertilisants (= coût des intrants)
- Les produits théoriques des ventes par rapport aux rendements réels

2.6. Stratégie d'analyse des données

2.6.1. Données de contextualisation

Les données des sondes, les résultats du test bêche et les IFT sont utilisés pour caractériser les modalités et les comparer entre elles afin de répondre à la problématique. Cependant, l'absence de répétition de permet pas d'analyser statistiquement ces données. Les données concernant la précocité présentent des répétitions mais ne sont pas non plus analysées statistiquement. Elles sont interprétées par lecture graphique uniquement, par modalité.

2.6.2. Données analysées statistiquement

L'existence d'au moins 3 répétitions par modalité pour les tests bêche lombrics, les données collectées au niveau des pièges barber, les tests thé/rooibos/slips, les slake test, et les données concernant le taux de reprise/chétivité/mortalité, le rendement, le calibrage et la qualité des récoltes permet une analyse statistique.

Les données de la 1^{ère} à la 4^{ème} saison de production sont traitées avec l'extension Excel StatBox Agri. Le logiciel produit une feuille Excel qui rassemble les tests de validation des hypothèses, le résultat de l'ANOVA (α est fixé à 0,05 en amont), le test de la puissance à postériori et la création de grouPE homogènes de moyenne (α aussi fixé à 0,05) lorsque H_0 est rejeté lors de l'ANOVA. Si les hypothèses ne sont pas validées, une transformation des données est effectuée. Si elles ne sont toujours pas validées, une analyse graphique sans statistiques est privilégiée.

Les données de la 1^{ère} à la 4^{ème} saison sont analysées par date de test ou par saison de production. Il s'agit d'une ANOVA à 2 facteurs sans interaction (modalité + rang) mais les résultats concernant le rang ne sont pas analysés car cela ne permet pas de répondre à la problématique posée. Les données concernant le facteur modalités sont traitées de la manière suivante :

- Lombrics : analyse de la somme des observations par rang et par modalité (soit 4 rangs)
- Thé/Rooibos/Slip : analyse de la moyenne des observations par rang et par modalité
- Données sur la culture (taux de mortalité, taux de chétivité, rendement, calibre et qualité) : pas de traitement des données en particulier

Les données acquises après la 4^{ème} saison de production concernant les lombrics et les tests thé/rooibos/slips sont traitées de la même manière que les données des précédentes saisons de production, dans un souhait d'homogénéité dans le traitement des données pluriannuelles. Les autres données sont testées avec le logiciel R (R for Windows 4.1.1, via l'interface RStudio 2021.09.0 Build 351). Les données concernant les pièges barber, le test beerkan et le slake test sont testées par une ANOVA à 2 facteurs avec interaction (modalité * groupe de PE). L'interaction (soit la PE) est testée en premier, si celle-ci est significative alors les 2 facteurs sont gardés dans le modèle, dans le cas contraire les effets principaux sont testés à leur tour afin de définir le modèle le plus juste. Pour ce cas d'ANOVA à 2 facteurs, le test de la puissance se fait à postériori en ayant recours à une matrice. Les données concernant la culture (les seules présentées concernant les cultures en 5^{ème} saison de production sont les taux de reprise) sont testées par espèce cultivé avec une ANOVA à 1 facteur (modalité). Dans ce cas, le test de la puissance à postériori se fait à l'aide de la fonction `pwr.anova.test`. Dans les 2 cas les hypothèses sont vérifiées après avoir établi le modèle, à l'aide 4 graphiques : « Residuals vs. Fitted », « Normal Q-Q », « Scale-Location » et « Residuals vs Leverage ». Dans le cas d'hypothèses non validées, les données peuvent être transformées. Si elles ne sont toujours pas validées, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué par groupe de PE pour ne tester que l'effet de l'ITK.

2.6.3. Analyse des données économiques

Les données économiques ne sont pas analysées statistiquement en raison de l'absence de répétition. Les résultats des comparaisons entre les modalités sont comparés entre eux par poste de dépense et un tableau comparatif concatènera l'ensemble des postes des dépenses pour aboutir à un total « coût supplémentaires » + « produits supplémentaires » par modalité et par culture.

2.6.4. Synthèse par une Analyse en Composante Principale

L'objectif est de résumer en 2 axes la variabilité des variables quantitatives d'évaluation des systèmes en fin d'essai. Concernant le sol, les données mobilisées sont celles acquises en 2022, concernant les cultures (comme le mémoire ne tient compte des données que jusqu'au 1^{er} août, et que les récoltes de la 5^{ème} saison de production ne sont pas finies) les données mobilisées sont principalement celles de l'été 2021 (5^{ème} saison de production). L'annexe 15 présente l'ensemble des variables mobilisées pour l'ACP. Pour être traitées, les données sont résumées par des moyennes par PE. L'ACP aboutit à la formation d'un graphique de représentation spatiale des individus (1 individu = 1 PE) avec une variable qualitative supplémentaire qui est la modalité et à la formation d'un graphique de représentation spatiales des variables. Cette ACP est réalisée avec le logiciel R (R for Windows 4.1.1, via l'interface RStudio 2021.09.0 Build 351) à l'aide du package FactoShiny.

3. Résultats

3.1. Données sur le sol

3.1.1. Homogénéité des sols à de la mise en place de l'essai

Les copies des analyses de sol sont en annexe 16 et 17 pour les modalités W et NT respectivement.

Les proportions des éléments argile-limon-sable sont proches entre les PE W et les PE NT, le sol y est caractérisé comme un LSA (limon sablo-argileux), sans cailloux. La CEC est proche entre les 2 modalités (environ 12,4 meq/100g), idem pour le pH_{eau} (8,2), le pH_{KCl} (7,7), le taux de calcaire actif (11%) et total (2%), la quantité d'azote (environ 1 200 mg/kg) et le K₂ (environ 1%). D'après la comparaison des analyses de sol (présentées en annexe 16 et 17), les ordres de grandeur pour les autres éléments minéraux (Anhydride Phosphorique, Oxyde de Potassium, Oxyde de Magnésium, Oxyde de Calcium, Fer, Zinc, Sodium...) sont très proches entre les 2 modalités.

D'après les référentiels du laboratoire d'analyse, certaines valeurs obtenues sont très différentes des VS (Valeurs théoriquement Souhaitables):

- Des valeurs très faibles pour le bore (0,41 mg/Kg pour les 2 modalités soit la VS est 2,2x supérieure à la valeur mesurée)
- Des valeurs élevées à très élevées pour K₂O (en moyenne 338 mg/Kg soit 1,4x supérieur à la VS), MgO (en moyenne 284 mg/Kg soit 2,4x supérieur à la VS) et CaO (en moyenne 9 634 mg/Kg soit 3,4x supérieur à la VS)
- Valeurs très élevées pour le cuivre (en moyenne 51,1 mg/Kg soit 127x supérieur à la VS)

Enfin, les 2 modalités présentent les mêmes aptitudes à la fissuration (3 – faible), stabilité structurale (4 – instable) et risque d'asphyxie (2 – moyen à élevé).

3.1.2. Moins de variation de l'hygrométrie sur NT que sur W

Les annexes 18 et 19 présentent les variations d'hygrométrie du sol des PE C et D au cours du temps, par modalité, à 20 cm de profondeur et 40 cm de profondeur respectivement. La modalité W présente des tensions très variables sur un pas de temps court (à la journée) à 20 cm et à 40 cm, mais aussi sur l'ensemble de la durée des mesures avec une tension moyenne à 21 cbar à 20 cm de profondeur et à

29 cbar à 40 cm de profondeur. A 20 cm de profondeur le sol présente des excès d'eau (tensions inférieures à 10 cbar) 21 jours et de l'assèchement (tensions supérieures à 40 cbar) 9 jours. A 40 cm de profondeur aucun excès d'eau n'a été enregistré et il y a eu seulement 5 jours qui présentent un assèchement. La modalité NT présente moins de variations à court terme de l'hygrométrie que la modalité W et la tension moyenne enregistrée est de 52 cbar à 20 cm de profondeur et est de 24 cbar à 40 cm. A 20 cm, aucune mesure ne présente un excès d'eau mais 32 jours présentent des tensions d'assèchement et ce cumul tombe à 7 jours à 40 cm.

3.1.3. Un sol plus chaud sur NT que sur W

L'annexe 20 présente les variations de température du sol des PE C et D de la plantation en juin 2022 à fin juillet 2022. La température moyenne observée sur NT est de 25,8 °C, sur W elle est de 24°C. Le sol NT avait tendance à être plus froid que celui de W jusqu'au 01 juillet 2022 puis la tendance s'est inversée.

3.1.4. La structure de NT tend à s'améliorer par rapport à W

Le test bêche pour évaluer la structure du sol a été effectué le 19/04/2022 soit avant le travail du sol sur W et après l'application de compost sur les rangs de NT. Sur NT les mini profils ont été creusés sur le rang, après avoir retiré l'épaisseur de compost. L'annexe 21 reprend en détail les notations par PE.

Les 4 PE présentent un total de 3 horizons sur les 25 cm étudiés avec des caractéristiques différentes entre les modalités.

Les 2 PE de la modalité W présentent des structures quasiment identiques. La surface du sol est majoritairement occupée par du sol nu (60% à 70%) et des adventices (30% à 40%). Le sol nu présente des fentes de dessiccation. H0 (0 -1 cm) correspond à une croûte de battance très compacte. H1 (1-10cm et 1-15cm) et H2 (10-25 cm et 15-25cm) présentent des mottes généralement moyennement poreuses et avec un assemblage fragmentaire. La porosité observée est globalement de la macro porosité, ainsi les blocs extraits ne tiennent pas sur la bêche (voir figure 3). Peu de traces de lombrics (bioturbation, trous et galeries) observés et pas de matière organique non décomposée. Les 2 premiers horizons sont secs et le 3^{ème} est frais.



Figure 3. Photographie de la structure du sol prélevé après extraction et avant étude interne, lors du test bêche structure - modalité W (témoin travaillé)



Figure 4. Photographie de la structure du sol prélevé après extraction et avant étude interne, lors du test bêche structure - modalité NT (système MSV)

organique non décomposée. Les 2 premiers horizons sont secs et le 3^{ème} est frais.

Les 2 PE de la modalité NT présentent des structures proches mais avec un peu plus de différence qu'entre les 2 parcelles W. La surface du sol est quasi intégralement occupée par le mulch de BVC non incorporé (+20% d'adventices sur la parcelle B). Les tailles des horizons observés sont tout à fait différentes entre les modalités mais les deux H1 sont proches dans leur organisation, idem pour les deux H2. Les H1 présentent des mottes à forte porosité, soudées (ce qui permet au bloc de tenir sur la bêche, voir figure 4) entre elles mais facilement discernables. Le tout est facilement émiettable. Les H2 présentent des mottes généralement moyennement poreuses et avec un assemblage fragmentaire. Le regroupement des assemblages est fortement émietté. Il y a de la micro et de la macro porosité sur les 2 horizons, avec plus de macro porosité en H2 et plus de

microporosité en H1. Toujours en H1, des traces de matière organique non décomposée sont observées. Les 2 premiers horizons sont frais et le 3^{ème} humide mais friable.

3.1.5. Peu de vers de terre sur l'ensemble des modalités

L'annexe 22 présente l'ensemble des résultats en nombre d'individus/m² de sol sur les 30 premiers cm. Le 20/05/2020, sur l'ensemble des prélèvements effectués, la modalité NT présente un total de 20 individus/m² (des endogés et des juvéniles) et la modalité W présente un total de 4 juvéniles/m². Le 08/03/2021, sur l'ensemble des prélèvements effectués, la modalité NT présente un total de 36 individus/m² (des anéciques, des endogés et des juvéniles) et la modalité W présente un total de 12 anéciques/m². Le 29/03/22, sur l'ensemble des prélèvements effectués, la modalité NT présente un total de 16 individus/m² (des épigés, des anéciques, des endogés et des juvéniles) et la modalité W présente un total de 8 individus/m² (des épigés, des endogés et des juvéniles). Ainsi, à chaque date de test la modalité NT présente un nombre de lombrics plus important que la modalité W et au moins autant de diversité.

Pour toutes les dates de test, aucune différence statistique n'a été mise en avant entre les modalités, ni sur le critère de l'abondance des lombrics, ni sur le critère de la diversité des lombrics présents (les puissances a posteriori varient entre 0,1 et 0,47).

3.1.6. Une plus grande diversité d'arthropodes sur NT que sur W

Les pièges barber ont été posés en juin 2022 pour une durée de 48 heures. Les résultats globaux par ordre sont présentés en figure 5.

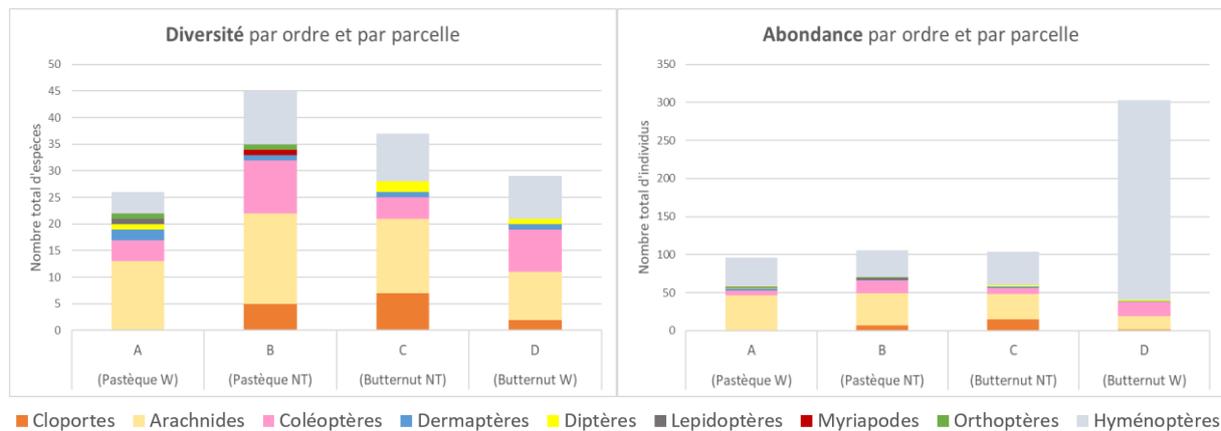


Figure 5. Diversité et abondance des arthropodes vivants à la surface du sol, par ordre et par PE

La modalité NT a tendance à présenter une plus grande diversité d'arthropodes que la modalité W, avec un total de 82 et 55 groupes observés, respectivement. Sur ce critère de la diversité, la différence est moindre entre les PE avec un total de 71 groupes sur les PE A et B et 66 groupes sur les PE C et D. Sur le critère de la quantité, il y a près de 2 fois plus d'individus piégés sur W par rapport à NT, idem pour les PE C et D par rapport aux A et B. Cette différence est principalement due aux fourmis (hyménoptères) piégées en grande quantité sur la PE D.

Les résultats par groupe fonctionnels sont présentés par PE par modalité et par groupe de PE par les annexes 23, 24 et 25 respectivement.

La modalité NT présente une plus grande diversité d'arthropodes que la modalité W (p-value = 0,008994). Sur le critère de la quantité d'arthropodes piégés, il y a un effet statistique de la modalité (p-value = 0,03995), de la PE (p-value = 0,02898) et de l'interaction modalité x PE (p-value = 0,02675).

Les résultats par groupe fonctionnels sont les suivants :

- Diversité de détritivores : effet modalité
- Quantité de détritivores : effet modalité (NT>W) + effet PE (PE C et D > PE A et B)
- Diversité d'auxiliaires : effet modalité (NT>W) + effet PE (PE A et B > PE C et D)
- Quantité d'auxiliaires : effet PE (PE A et B > PE C et D)
- Diversité de ravageurs : pas de différence statistique
- Quantité de ravageurs : pas de différence statistique
- Diversité d'autres : pas de différence statistique
- Quantité d'autres : pas de différence statistique

3.1.7. L'activité biologique a tendance à augmenter sous NT dès 1 an et demi après le début de la transition MSV

a. *Activité biologique mise en évidence par le test thé : pas de différence statistique entre les modalités*

Les résultats en taux de dégradation total des sachets de thés à 10 cm et à 30 cm de profondeur sont présentés en annexes 26 et 27 respectivement. Le tableau 8 présente les taux de dégradation journaliers moyen des sachets de thés à 10 cm et à 30 cm de profondeur.

Tableau 7. Taux de dégradation journalier moyen des sachets de thé à 10 cm et à 30 cm de profondeur, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé) et par période de test

Profondeur	Modalité	Hiver 2019	Eté 2020	Printemps 2021	Printemps 2022
10 cm	NT	0,40%	0,45%	1,66%	1,04%
	W	0,43%	0,55%	1,50%	1,03%
30 cm	NT	0,48%	0,69%	1,29%	0,99%
	W	0,5%	0,53%	1,46%	0,98%

Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les modalités pour aucune période de test ni pour aucune profondeur. Les puissances à posteriori varient entre 0,05 et 0,34. Les tendances sont les suivantes :

- A 10 cm de profondeur, la tendance est en faveur de W jusqu'en 2020 et passe en faveur de NT à partir de 2021 :
 - En hiver 2019 et en été 2020 les taux de dégradation des sachets de thé de la modalité W ont tendance à être supérieurs à ceux de la modalité NT
 - Aux printemps 2021 et 2022 c'est les taux de dégradation des sachets de thé de la modalité NT qui ont tendance à être supérieurs à ceux de la modalité W
- A 30 cm de profondeur, la tendance varie d'une année sur l'autre :
 - En hiver 2019 et au printemps 2021 les taux de dégradation des sachets de thé de la modalité W ont tendance à être supérieurs à ceux de la modalité NT
 - En été 2020 et au printemps 2022 les taux de dégradation des sachets de thé de la modalité NT ont tendance à être supérieurs à ceux de la modalité W

b. *Activité biologique mise en évidence par le test rooibos : en 2022, à 10 cm de profondeur, une activité biologique plus importante sur NT*

Les résultats en taux de dégradation total des sachets de rooibos à 10 cm et à 30 cm de profondeur sont présentés en annexes 28 et 29 respectivement. Le tableau 9 présente les taux de dégradation journaliers moyen des sachets de rooibos à 10 cm et à 30 cm de profondeur.

Tableau 8. Taux de dégradation journalier moyen des sachets de rooibos à 10 cm et à 30 cm de profondeur, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé) et pas période de test

Profondeur	Modalité	Hiver 2019	Été 2020	Printemps 2021	Printemps 2022
10 cm	NT	0,16%	0,46%	0,73%	0,47%
	W	0,20%	0,30%	0,53%	0,37%
30 cm	NT	0,16%	0,48%	0,74%	0,46%
	W	0,23%	0,40%	0,65%	0,40%

Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les modalités pour aucune période de test ni pour aucune profondeur hormis au printemps 2022 où **la modalité NT présente un taux de dégradation des sachets de rooibos à 10 cm supérieur à la modalité W (p-value = 0,004, puissance à postériori = 0,91)**. Pour toutes les autres profondeurs et autres périodes de test, les puissances à postériori varient entre 0,07 et 0,34. Les tendances à 10 cm et à 30 cm de profondeur sont les mêmes à savoir :

- En hiver 2019, le taux de dégradation des sachets de rooibos de la modalité W a tendance à être supérieur à celui de la modalité NT
- En été 2020 et aux printemps 2021 et 2022, c'est les taux de dégradation des sachets de rooibos de la modalité NT qui ont tendance à être supérieurs à ceux de la modalité W

c. *Activité biologique mise en évidence par le test slip : en 2021, une activité biologique plus importante sur W*

En été 2020, le taux de dégradation journalier moyen des slips est de 0,70% pour la modalité NT et de 0,71% pour la modalité W. Il n'y a pas eu de test statistique car il y avait seulement 2 répétitions par modalité.

Au printemps 2021, le taux de dégradation journalier moyen des slips est de 0,12% pour la modalité NT et de 0,30% pour la modalité W. Statistiquement, **la modalité W présente un taux de dégradation des slips à 50 cm supérieur à la modalité NT (p-value = 0,012, puissance à postériori = 0,81)**.

Au printemps 2022, le taux de dégradation journalier moyen des slips est de 1,03% pour la modalité NT et de 0,80% pour la modalité W. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence au printemps 2022 sur le critère du taux des slips à 50 cm (p-value = 0,142, puissance à postériori = 0,25).

L'annexe 30 présente l'ensemble des données des slips et la figure 6 est une photographie des slips du test du printemps 2022.



Figure 6. Photographie de l'état de dégradation des slips lors du test slips du printemps 2022, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), après 58 jours dans le sol

3.1.8. Infiltration de l'eau plus rapide et plus constante sur NT

Le test beerkan a été réalisé le 28/04/2022 sur les PE A et B et le 13/05/2022 sur les PE C et D. Sur la PE C, les données acquises ne concernent que le rang, l'inter-rang était trop difficile à pénétrer avec les tubes PVC qui cassaient à chaque tentative d'insertion.

Lors de la première itération de 30 cl (soit les 17 premiers mm), aucun effet de la modalité d'ITK n'a été mis en évidence mais un effet du groupe de PE a été mis en évidence : les PE A et B présentent une vitesse d'infiltration des 17 premiers mm d'eau plus rapide que le groupe de PE C et D. La figure 6 présente le box plot des durées d'infiltration par groupe de PE de la première itération du test beerkan.

Lors de la seconde itération de 30 cl (soit 34 mm en tout), aucune différence statistique n'a été mise en évidence ni sur le critère du groupe de PE ni entre les différentes modalités d'ITK.

Lors des troisième et quatrième itérations de 30 cl (soit 51 mm et 68 mm respectivement), aucune différence entre les groupes de PE n'a été mise en évidence et une différence entre les modalités d'ITK a été mise en évidence : la modalité W présente un temps d'infiltration statistiquement supérieur aux modalités NT rang et NT inter-rang qui appartiennent toute les 2 au même groupe de moyenne homogène.

L'annexe 31 présente la dynamique des temps d'infiltration par modalité d'ITK.

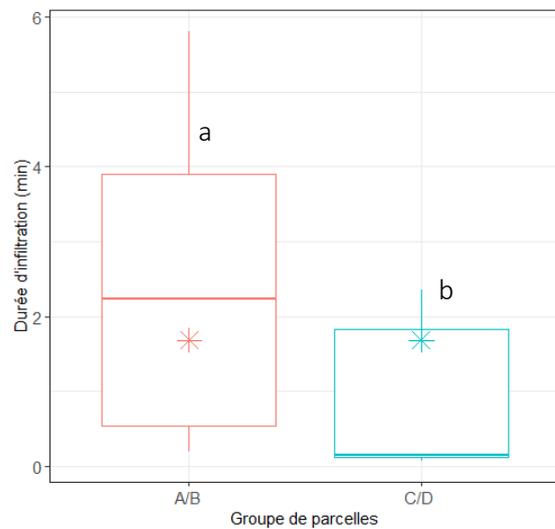


Figure 7. Résultat statistique par groupe de parcelle de l'infiltration de la première itération (17 mm)

3.1.9. Stabilité structurale des mottes sur NT supérieure à celle de W

Les prélèvements de mottes ont eu lieu le 19/04/2022, en sortie d'hiver avant l'implantation des cultures d'été de pastèques et butternuts. La figure 7 illustre par un exemple les résultats par modalité. Après 5 minutes d'immersion il reste en moyenne 77% des mottes NT et 40% des mottes W, les résultats après 5 minutes d'immersion puis 5 cycles d'extraction/immersion sont de 28% et 7% respectivement. Pour toutes les répétitions et pour les 2 mesures, le pourcentage de motte restant de la modalité NT est toujours supérieur ou égal à celui de la modalité W. Les résultats quantitatifs par culture (soit par PE), par modalité et par étape du test (i. Après 5 minutes d'immersion en statique - ii. Après 5 minutes d'immersion en statique et 5 cycles d'immersion/extraction) sont présentés en annexe 32. Sur le critère du pourcentage de motte restant après 5 min d'immersion, aucune différence statistique n'a été mise en évidence sur l'interaction entre les 2 facteurs ni sur le facteur culture (ou groupe de PE), mais une différence statistique est mise en évidence sur ce critère entre les 2 modalités (p -value = 0,4332). Les résultats sont identiques sur le critère du pourcentage de motte restant après 5 min d'immersion et 5 cycles de mise en mouvements (p -value = 1,982e-08). La figure qui présente ces différences statistiques est en annexe 33.



Figure 8. Slake test : photographie du test en cours, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), après 5 minutes d'immersion en statique

3.2. Données sur les plantes cultivées

3.2.1. Un meilleur taux de reprise sur NT pour la culture de butternuts et pas de différence de taux de reprise entre les modalités pour la culture de pastèques

Pour la production de pastèques 2022 (5^{ème} saison de production), la modalité W présente un taux de reprise de 97% et la modalité NT de 94%. Les hypothèses de l'ANOVA ne sont pas validées, la comparaison se fait par le test non paramétrique de moyenne Kruskal-Wallis. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du taux de reprise (p-value = 0,1465).

Pour la production de butternuts 2022 (5^{ème} saison de production), la modalité W présente un taux de reprise de 89% et la modalité NT de 99,8%. Statistiquement, le taux de reprise est plus élevé sur NT que sur W (p-value = 0,00258, puissance à postériori = 0,09).

3.2.2. Un taux de mortalité à la récolte plus élevé sur NT que sur W

L'ensemble des taux de mortalité est présenté en annexe 34.

Lors des 2 premières années de production en MSV – uniquement de l'artichaut – la modalité NT présente un taux de mortalité statistiquement supérieur à celui de la modalité W. En 2019/2020, celui de la modalité NT est de 4,4% et celui de W est de 2,3% (p-value = 0,0454, puissance à postériori = 0,11). En 2020/2021 la différence est beaucoup plus importante avec un taux de mortalité sur NT de 73,8% et de 5,4% sur W (p-value = 0,0065, puissance à postériori = 0,13). Pour ces deux productions d'artichauts, la principale cause de mortalité observée sur le terrain est la destruction par les campagnols terrestres. Lors de la 3^{ème} saison de production les résultats diffèrent selon la culture. Avec 4,6% de mortalité sur NT et 6,0% sur W, la modalité W présente un taux de mortalité statistiquement supérieur à la modalité NT pour la culture de potimarrons 2021 (p-value = 0,651, puissance à postériori = 0,07). Pour la production de butternuts de 2021, la modalité NT est **la seule à présenter des individus morts (11,0%)** avant la récolte mais aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du taux de mortalité (p-value = 0,651, puissance à postériori = 0,07).

Pour la 4^{ème} saison de production, plus aucune différence statistique n'est mise en évidence entre les modalités. Pour la culture de salades 2021, la modalité W présente un taux de mortalité moyen de 4,9% et la modalité NT de 7,9%, soit **3,0% d'écart** (p-value = 0,136, puissance à postériori = 0,26). Pour la production de choux 2021, la modalité W présente un taux de mortalité moyen de 15,1% et la modalité NT de 24,2%, soit **9,1% d'écart** (p-value = 0,150, puissance à postériori = 0,24).

3.2.3. Des différences de rendement brut entre modalités variables selon les espèces

L'ensemble des rendements bruts est présenté en annexe 35.

Pour la production d'artichauts de 2019/2020 (1^{ère} saison de production), le rendement W est de 1,85 kg/m² avec 3,79 kg/plant productif et celui de NT est de 1,56 kg/m² avec 3,42 kg/plant productif. Statistiquement, la modalité W a un rendement au m² supérieur à celui de la modalité NT (p-value = 0,04, puissance à postériori = 0,64). Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du rendement par plant (p-value = 0,06, puissance à postériori = 0,61).

Pour la production d'artichauts de 2020/2021 (2^{ème} saison de production), le rendement de W est de 0,47 kg/m² avec 1,53 kg/plant et celui de NT est de 0,08 kg/m² avec 0,61 kg/plant. Statistiquement, la modalité W a un rendement au m² supérieur à celui de la modalité NT (p-value < 0,01, puissance à postériori = 0,99) et un rendement par plant supérieur à celui de la modalité NT (p-value < 0,01, puissance à postériori = 0,99).

Pour la production de potimarrons de 2021 (3^{ème} saison de production), le rendement de W est de 2,60 kg/m² avec en moyenne 2,36 potimarrons/plant et celui de NT est de 1,42kg/m² avec en moyenne 1,15

potimarrons/plant. Statistiquement, la modalité W a un rendement/m² supérieur à celui de la modalité NT (p-value = 0,003, puissance à postériori = 0,92). Idem pour le rendement en nombre de fruits par plant (p-value = 0,008, puissance à postériori = 0,85).

Pour la production de butternuts de 2021 (3^{ème} saison de production), le rendement de W est de 3,06 kg/m² avec en moyenne 4,22 butternuts/plant productif et celui de NT est de 3,09 kg/m² avec en moyenne 2,38 butternuts/plant productif. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du rendement par m² (p-value = 0,062, puissance à postériori = 0,38). Sur le critère du rendement en nombre de butternuts par plant productif, la modalité W présente de meilleurs résultats que la modalité NT (p-value = 0,012, puissance à postériori = 0,81).

Pour la production de salades 2021 (4^{ème} saison de production), la modalité W a produit 9,74 kg/m² de salades et la modalité NT 7,85 kg/m². Statistiquement, la modalité W a un rendement supérieur à celui de la modalité NT (p-value = 0,040, puissance à postériori = 0,66).

Pour la production de choux de 2021/2022 (4^{ème} saison de production), le rendement de W est de 7,90 kg/m² et celui de NT est de 7,70 kg/m². Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du rendement (p-value = 0,553, puissance à postériori = 0,08).

3.2.4. Des calibres statistiquement identiques entre les modalités sauf en été 2021 pour les productions de potimarrons et de butternuts

Les calibres moyens des cultures d'artichauts et de salades (culture sans calibrage en classe) sont présentés en annexe 36.

Pour la production d'artichauts de 2019/2020 (1^{ère} saison de production), le poids moyen d'un capitule de W est de 517,08 g et celui d'un capitule de NT est de 500,38 g. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du poids d'un capitule (p-value = 0,18, puissance à postériori = 0,21).

Pour la production d'artichauts de 2020/2021 (2^{ème} saison de production), le poids moyen d'un capitule de W est de 555,46 g et celui d'un capitule de NT est de 481,30 g. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du poids d'un capitule.

Pour la production de potimarrons de 2021 (3^{ème} saison de production), le poids moyen d'un fruit de W est de 1,15 kg et celui d'un fruit de NT est de 1,02 kg. Statistiquement, la modalité W produit des fruits plus lourds que la modalité NT (p-value = 0,029, puissance à postériori = 0,71). Les potimarrons récoltés ont été classés en 6 classes de calibres. Le tableau 8 présente les résultats de ce classement.

Tableau 9. Répartition des calibres de potimarrons 2021 : proportion du nombre de fruits récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre (en gras la p-value correspondant à une différence significative sur la classe de calibre testée), par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé)

	NC	Petits calibre (circuit court)	Petits calibre (circuit long)	Calibre idéal	Gros calibre	NC
	<500g	[500g-800g[[800g-1kg[[1kg-1,2kg]]1,2kg-2kg]	>2kg
W	3,2%	6,3%	16,7%	27,3%	46,5%	0%
NT	6,2%	17%	20,1%	28,8%	27,9%	0,1%
p-value	0,324	0,018	0,298	0,765	0,001	0,393
puissance à postériori	0,13	0,77	0,14	0,06	0,97	0,11

Il y a statistiquement plus de « petits calibres » (au sens du circuit court) sur la modalité NT et plus de « gros calibres » sur la modalité W. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les modalités au sein des classes « NC », « petits calibres » (au sens du circuit long) et « calibre idéal ».

Pour la production de butternuts de 2021 (3^{ème} saison de production), le poids moyen d'un fruit de W est de 1,24 kg et celui d'un fruit de NT est de 1,04 kg. Statistiquement, la modalité W produit des fruits plus lourds que la modalité NT (p-value = 0,003, puissance à postériori = 0,92). Les butternuts récoltés ont été classés en 6 classes de calibres. Le tableau 9 présente les résultats de ce classement.

Tableau 10. Calibrage butternuts 2021 : proportion du nombre de fruits récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre (en gras la p-value correspondant à une différence significative sur la classe de calibre testée), par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé)

	NC	Petits calibre (circuit court)	Petits calibre (circuit long)	Calibre idéal	Gros calibre	NC
	<500g	[500g-800g[[800g-1kg[[1kg-1,2kg]]1,2kg-2kg]	>2kg
W	1,4%	8,6%	14,5%	22,1%	51,4%	2%
NT	4%	17,4%	23,4%	24,4%	30,1%	0,7%
p-value	0,126	0,006	0,030	0,286	0,005	0,073
1-β	0,27	0,88	0,70	0,15	0,89	0,35

Il y a statistiquement plus de « petits calibres sur la modalité NT et plus de « gros calibres » sur la modalité W. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les modalités au sein des classes « NC » et « calibre idéal ».

Pour la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), le poids moyen d'une salade de W est de 643 g et celui d'une salade de NT est de 535 g. Statistiquement, la modalité W produit des salades 1,2x plus lourdes que la modalité NT. Statistiquement, la modalité W produit des salades plus lourdes que la modalité NT (p-value = 0,015, puissance à postériori = 0,78).

Pour la production de choux de 2021/2022 (4^{ème} saison de production), le poids moyen d'un chou de W est de 1,18 kg et celui d'un chou de NT est de 1,16 kg. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du poids d'un chou (p-value = 0,553, puissance à postériori = 0,08). Les choux récoltés ont été classés par calibre selon 3 groupes. La proportion de choux dans chaque classe de calibre est présentée dans le tableau 10.

Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère la répartition des choux, et ce pour chacune des 3 classes de calibre.

Tableau 11. Calibrage choux 2021 : proportion du nombre de choux récoltés dans chaque classe de calibre et résultats statistiques des tests effectués au sein de chaque classe de calibre, par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé)

	<1 kg	≥1 kg et ≤1,5 kg	> 1,5 kg
T	16%	62%	22%
NT	17%	60%	23%
p-value	0,411	0,095	0,835
1-β	0,11	0,31	0,05

3.2.5. Aucune différence de qualité de la récolte entre les 2 modalités

Pour la production d'artichauts de 2019/2020 (1^{ère} année de production), aucune notation n'a été réalisée sur les dégâts sur capitules. Ainsi le taux de déchets n'est pas connu. Aucune différence n'a été remarquée entre les 2 modalités lors des récoltes et des pesées.

Pour la production d'artichauts de 2020/2021 (2^{ème} saison de production), les dégâts impactant la commercialisation des capitules sont le gel (environ 0,7% des capitules), le mildiou (environ 3% des capitules) et les apions (environ 6,25% des capitules). Aucun dégât d'oïdium n'a été observé sur aucune des modalités. Le taux de capitules non commercialisables à cause du gel sur W est statistiquement supérieur (1,25%) à la modalité NT (0,13%). Concernant les autres causes de dégâts, aucune différence statistique n'a été mise en évidence.

Pour la production de potimarrons de 2021 (3^{ème} saison de production), il n'y a eu aucun fruit non commercialisable à cause de défauts ou d'atteinte par des maladies. La seule cause de non commercialisation est le poids (inférieur à 500 g ou supérieur à 2 kg). Les résultats sur ce critère ont été présentés précédemment.

Pour la production de butternuts de 2021 (3^{ème} saison de production), il n'y a eu aucun fruit non commercialisable à cause de défauts ou d'atteinte par des maladies. La seule cause de non commercialisation est le poids (inférieur à 500 g ou supérieur à 2 kg).

Pour la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), le taux de salades commercialisable pour W est de 94,5% et celui pour NT est de 91,8%. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du taux de salades commercialisables (p-value = 0,398, puissance à postériori = 0,11).

Pour la production de choux de 2021/2022 (4^{ème} saison de production), le taux de choux non commercialisable (déchets) pour W est de 6,7% et celui pour NT est de 4,6%. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les 2 modalités sur le critère du taux de choux non commercialisables (p-value = 0,363, puissance à postériori = 0,12).

L'annexe 37 présente l'ensemble des résultats des artichauts 2020/2021, salades 2021 et choux 2021/2022.

3.2.6. Un écart de précocité est graphiquement observé sur la culture d'artichauts en 2020/2021 et sur celle de choux en 2021/2022

L'annexe 38 présente l'évolution du taux de récolte des 2 modalités pour la production d'artichauts 2019/2020 (1^{ère} saison de production). Aucune différence n'est graphiquement lisible : il n'y a pas eu de différence de précocité entre les modalités.

L'annexe 39 présente l'évolution du taux de récolte des 2 modalités pour la production d'artichauts 2020/2021 (2^{ème} saison de production). Dès la première date de récolte le taux de récolte de la modalité NT est supérieur à celui de la modalité W. La modalité NT a tendance à être plus précoce que la modalité W. La durée de la période est la même pour les 2 modalités. :

Pour les productions de potimarrons de 2021 et de butternuts de 2021 (3^{ème} saison de production), la récolte a eu lieu en même temps. Il n'y a pas eu de différence de précocité entre les modalités.

Pour la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), aucune différence de précocité n'a été observée au champ lors des passages d'observation des cultures et les poids moyens des 2 dates de récoltes sont proches pour les 2 modalités.

L'annexe 40 présente l'évolution du taux de récolte des 2 modalités pour la production de choux de 2021/2022 (4^{ème} saison de production). Graphiquement, la modalité NT a tendance à être un peu plus précoce que la modalité W.

3.3. Effet du MSV sur l'ITK

3.3.1. IFT herbicide supérieurs d'en moyenne 0,3 par saison de production sur NT

Les IFT des PE A/B et ceux des PE C/D sont présentés en annexe 41 et 42 respectivement. Il n'y a aucune différence d'IFT insecticide et d'IFT fongicide. Il y a une différence d'IFT herbicide sur les PE A et B comme sur les PE C et D à partir de la 4^{ème} saison de production. Ainsi de septembre 2019 à fin juillet 2022 : les IFT totaux par PE sont les suivants :

- PE-A (W) = 35,5
- PE-B (NT) = 36,2
- PE-D (W) = 36,1
- PE-C (NT) = 36,7

Ainsi, la parcelle B (NT) présente 0,7 d'IFT de plus que la parcelle A (W) et la parcelle C (NT) présente 0,6 d'IFT de plus que la parcelle D (W), pour seulement 2 saisons de production avec des traitements dissociés par modalité, soit en moyenne un IFT supérieur sur NT de 0,325 par saison de production.

3.3.2. Irrigations plus conséquentes et plus fréquence sur NT

Pour la culture de pastèques (5^{ème} saison de production), la modalité W a reçu un total de 2 940 m³/ha du 03/05/2022 au 01/08/2022 inclus, sur la même période la modalité NT a reçu un total de 3 493 m³/ha (3 547 m³/ha pour le rang avec le BVC plus décomposé). La différence se fait plutôt en début de culture, après le début des récoltes les quantités et fréquences d'eau sont identiques pour les 2 modalités. Les données d'irrigation des 2 modalités sont en annexe 43.

Pour la culture de butternuts (5^{ème} saison de production), la modalité W a reçu un total de 2 488 m³/ha du 30/05/2022 au 01/08/2022 inclus, sur la même période la modalité NT a reçu un total de 2 640 m³/ha (3 547 m³/ha pour le rang avec le BVC plus décomposé). Les apports en début de cultures ont été gérés plus finement que sur pastèques. Il y a peu de différence en quantité d'eau apportée, mais la fréquence d'apport journalier est plus importante sur NT. Par cette stratégie, l'écart d'apport d'eau entre les 2 modalités est plus faible. Les apports sur la modalité NT sont beaucoup plus fractionnés que sur la modalité W. Les données d'irrigation des 2 modalités sont en annexe 44.

3.4. Données économiques

3.4.1. Temps de travaux quasiment identiques en salade et supérieurs sur NT en pastèque

La production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production) a mobilisé de la main d'œuvre pendant 36,25 heures sur NT et 37,5 heures sur W avec 1 passage en plus sur W. Comme la surface des PE est de 500 m², la différence à l'hectare entre les 2 modalités est de 20 h de main d'œuvre, en faveur de NT. Les données sont détaillées en annexe 45.

La production de pastèques de 2022 (5^{ème} saison de production) a mobilisé (du début de la culture jusqu'au 01/08/2022, hors récolte) de la main d'œuvre pendant 50,25 heures sur NT et 17,5 heures sur W avec 12 passages en plus sur NT (dont 7 correspondants au désherbage manuel). Comme la surface des PE est de 500 m², la différence à l'hectare entre les 2 modalités est de 650 h de main d'œuvre, en faveur de NT. Les données sont détaillées en annexe 46.

Si le salaire moyen d'un salarié agricole est de 10,50€ brut/heure⁷, que les cotisations sociales représentent 23%⁸ du brut et les cotisations patronales 44%¹³ du brut, alors le coût horaire moyen d'un salarié agricole s'élève à 17,54€/heure. Ainsi pour la culture de salades de 2021, la main d'œuvre représente un coût supplémentaire de 350€/ha sur la modalité W par rapport à la modalité NT. Pour la culture de pastèques 2022, la main d'œuvre représente un coût supplémentaire de 11 490€/ha sur la modalité W par rapport à la modalité NT.

3.4.2. Le paillage induit un coût supplémentaire sur W

Aucun paillage n'a été appliqué sur la modalité NT. Ainsi ce poste de dépense existe uniquement sur W. Le paillage est systématiquement réalisé sur 1 m de large, sur toute la longueur de la PE. Comme l'inter-rang mesure également 1 m de large, le paillage couvre 50% de la PE. Le paillage en plastique noir biodégradable employé a coûté 358 euros⁹ le rouleau de 1500 mètres de longueur et de 1 mètre de

⁷ Jobted. Salaire - Ouvrier Agricole [en ligne]. <https://fr.jobted.com/salaire/ouvrier-agricole#:~:text=Le%20salaire%20moyen%20d'un%20Ouvrier%20Agricole%20en%20France%20est,%E2%82%AC%20brut%20de%20l'heure.>

⁸ WiziFarm - Coût d'un salarié agricole | Avez-vous vraiment pensé à tout ? [en ligne]. <https://wizi.farm/blog/cout-salarie-agricole#:~:text=En%20moyenne%2C%20il%20faut%20compter,de%20vos%20d%C3%A9penses%20de%20personnel.>

⁹ Prix HT mentionné sur la facture Arterris du 31/05/2021

largeur. Le coût du paillage sur salades comme sur pastèques est donc de 41,7 euros pour des PE de 500 m² soit un coût d'environ 1190 €/ha sur W.

3.4.3. Comme l'IFT est plus élevé sur NT, les coûts des PPP le sont aussi

Lors de la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), la seule différence de traitement entre la modalité est l'application localisée (40% de la PE) d'un herbicide. Le nom commercial du PPP utilisé est KerbFlo. Il a été appliqué à pleine dose sur la surface traitée soit 3,75 L/ha, soit l'utilisation effective de 1,5L/ha. Le prix au litre d'un bidon de 5L est de 34,60€¹⁰, ainsi le cout de ce traitement est d'environ 50€/ha pour NT.

Lors de la production de pastèque de 2022 (5^{ème} saison de production), la seule différence de traitement entre la modalité est l'application localisée (20% de la PE) d'un herbicide. Le nom commercial du PPP utilisé est Beloukha. Il a été appliqué à pleine dose sur la surface traitée soit 16 L/ha, soit l'utilisation effective de 3,2L/ha. Le prix au litre d'un bidon de 10L est de 15,70€¹¹, ainsi le cout de ce traitement est de 50€/ha pour NT.

3.4.4. Les stratégies de fertilisation et d'amendement sur pastèques sont plus coûteuses en NT par rapport à W

Pour la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), aucun amendement n'a été effectué sur les parcelles de salade et la fertilisation a été identique (750 kg/ha d'engrais bleu universel 12-12-17) pour les 2 modalités. Il n'y a eu aucune différence de coût sur ce poste de dépense, entre les modalités W et NT.

Pour la production de pastèques de 2022 (5^{ème} saison de production), un apport de BVC a été apporté sur les rangs de NT, sous forme de mulch de 10 cm d'épaisseur. Cet apport ne coûte rien puisque le BVC est offert. La modalité W a reçu d'une seule fertilisation de fond à savoir de l'Orga3 (3-2-3) à 818 kg/ha et du Salanquais (6-3-13) à 654 kg/ha. Chacun d'eux coûte respectivement 468€/t¹² et 683€/t¹³ soit un coût total de la fertilisation d'environ 830 €/ha pour W. La modalité a reçu en fertilisation de fond sur ses rangs uniquement de l'Orga3 (3-2-3) à 336 kg/ha à la parcelle (soit 673 kg/ha sur le rang) et du Salanquais (6-3-13) à 409 kg/ha à la parcelle (soit 819 kg/ha sur le rang). Soit la fertilisation de fond de NT coûte environ 440 €/ha. La modalité NT a aussi reçu une fertirrigation de MAP (12-61-0) à 68 kg/ha de parcelle (soit 136 kg/ha sur le rang) et deux fertirrigations de Soluplant (12-9-34) pour un total de 250 kg/ha sur la parcelle (soit 500 kg/ha sur les rangs). Chacun d'eux coûte respectivement 2395€/t¹⁴ et 1272€/t¹⁵ soit un coût total des fertirrigation d'environ 480€/ha pour NT. La fertilisation de NT coûte donc 90€/ha de plus que celle de W.

3.4.5. Le coût en carburants fossiles est favorable sur NT pour la culture de salades mais par pour celle de pastèques

La culture de salade W a mobilisé le tracteur environ 10,5 heures soit à l'hectare 210 heures. La culture de salade NT a mobilisé le tracteur environ 6 heures, uniquement pour les traitements, soit à l'hectare 120 heures. Elle a aussi mobilisé pendant 3 heures le motoculteur et la tondeuse, soit 60 heures à

¹⁰ Prix HT annoncé par Arterris le 02/08/2022

¹¹ Prix HT annoncé par Arterris le 02/08/2022

¹² Prix HT mentionné sur la facture Arterris du 30/04/2022

¹³ Prix HT mentionné sur la facture Arterris du 30/04/2022

¹⁴ Prix HT annoncé par Arterris le 02/08/2022

¹⁵ Prix HT annoncé par Arterris le 02/08/2022

l'hectare. Avec une consommation moyenne de 1L/cv/h¹⁶, l'utilisation d'un tracteur de 90 cv, et le prix du Gasoil Non Routier (GNS) de 0,995 €/L¹⁷ le 21/12/2021, l'emploi du tracteur revient à 18 810 €/ha pour W (18 900 L/ha) et à 10 800€/ha (10 800 L/ha) pour NT. La mobilité NT a aussi recours à la tondeuse et au motoculteur qui ont une consommation moyenne de 1 L/heure, ainsi l'emploi de ces engins revient à 60 €/ha (60 L/ha) pour NT. En tout, les carburants fossiles représentent un coût supplémentaire de 7 950€/ha pour W.

La culture de pastèque W a mobilisé le tracteur environ 7 heures soit à l'hectare 140 heures. La culture de salade NT a mobilisé le tracteur environ 8 heures, soit à l'hectare 160 heures. Elle a aussi mobilisé pendant 4,5 heures (de plus que W) le motoculteur, l'atomiseur et la tondeuse, soit 90 heures de plus à l'hectare. Avec une consommation moyenne de 1L/cv/h¹⁸, l'utilisation d'un tracteur de 90 cv, et le prix GNS de 1,488 €/L²² le 09/08/2022, l'emploi du tracteur revient à 18 750 €/ha pour W et à 21 430 €/ha pour NT. Aussi, le recours à la tondeuse, à l'atomiseur et au motoculteur, qui ont une consommation moyenne de 1 L/heure, revient à 130 euros /ha en plus pour NT que pour W. En tout, les carburants fossiles représentent un coût supplémentaire de 2 810€/ha pour NT.

3.4.6. Les rendements supérieurs sur W amène à des produits financiers supérieurs

Les salades sont commercialisées par les producteurs par lot de 12 unités, ainsi il est nécessaire de connaître le rendement en nombre de salade/m². Avec une densité de plantation de 80 000 plants/ha et les taux de mortalité et de production commercialisable vus précédemment, le rendement pour NT est de 67 638 salades/ha (soit 5 637 lots) et celui de W est de 71 896 salades/ha (soit 5 991 lots). Avec un prix de vente de 7,50€ le lot de 12 laitues¹⁹, le produit de la production pour NT est de 42 278 €/ha et celui de W est de 44 933 €/ha.

3.4.7. Comparaisons des différences coûts et produit: les produits supplémentaires générés par la supériorité des rendements de salades W ne couvrent pas les coûts supplémentaires nécessaires à la conduite de W

Tableau 12. Récapitulatif des différences des coûts & produits, par modalités (NT = système MSV, W = témoin travaillé), pour les productions de salade 2021 et de pastèques 2022

		Salades 2021		Pastèques 2022	
		NT	W	NT	W
Coûts	Main d'œuvre		+350€/ha	+11 490€/ha	
	Paillage		+1 190€/ha		+1 190€/ha
	Phyto	+50€/ha		+50€/ha	
	Fertilisation/Amendements	=	=	+ 90€ /ha	
	Carburants fossiles		+7 950€/ha	+2 810€/ha	
Produits			+2 660 €/ha	Récolte non finie	Récolte non finie

¹⁶ Franquesa M. Comment calculer le coût horaire d'un tracteur agricole? [en ligne] <https://www.agroptima.com/fr/blog/comment-calculer-le-cout-horaire-dun-tracteur/>

¹⁷ Prix Fioul. Prix de gazol non routier [en ligne] https://prixfioul.fr/prix_du_gnr.php

¹⁸ Franquesa M. Comment calculer le coût horaire d'un tracteur agricole? [en ligne] <https://www.agroptima.com/fr/blog/comment-calculer-le-cout-horaire-dun-tracteur/>

¹⁹ Prix en Janvier 2022 selon le Réseau des Nouvelles de Marchés, par France AgriMer au Marché de Perpignan carreau <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?LAITUE&12MOIS>

Pour la production de salades de 2021 (4^{ème} saison de production), l'ITK de la modalité W coûte environ 9 490 €/ha de plus de l'ITK de la modalité NT (notamment à cause de la consommation de carburants fossiles) et rapporte environ 2 660 €/ha. Ainsi la modalité NT est plus rentable de plus de 6,8 k€/ha que la modalité W.

Pour la production de pastèques de 2022 (5^{ème} saison de production), de la préparation à la plantation jusqu'au 01/08/2022, l'ITK de la modalité W coûte 13 250 €/ha de plus que l'ITK en non travail du sol notamment à cause de la pose de BVC (tracteur + main d'œuvre) et du désherbage.

3.5. Globalement, NT permet des conditions de production favorables mais les rendements restent en faveur de W

La figure 9 présente la représentation spatiale par l'ACP, des parcelles et des modalités et la figure 10 présente le cercle des corrélations des variables.

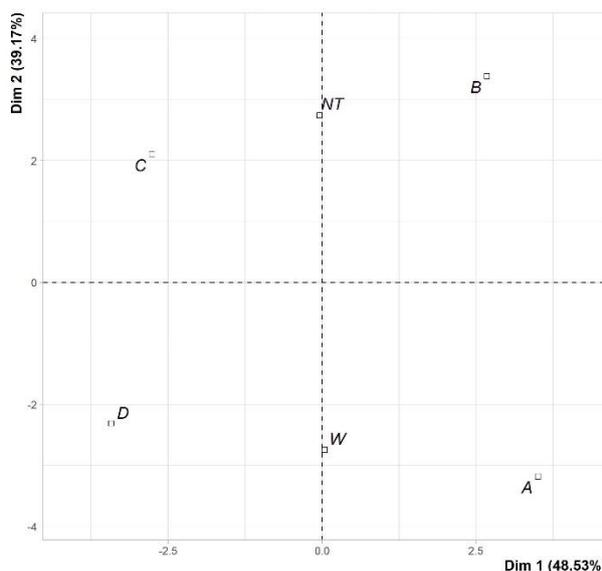


Figure 9. Représentation spatiale par l'ACP des PE (A, B, C et D) et des modalités (NT = système MSV, W = système travaillé) avec les PE A et D en modalité NT et les PE B et C en modalité W

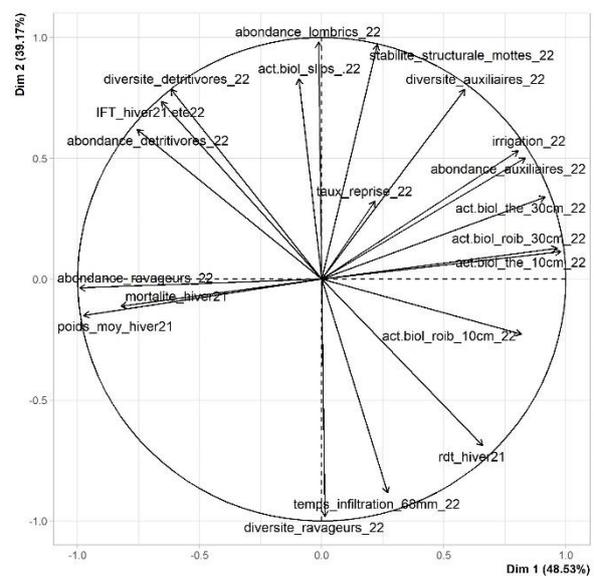


Figure 10. Cercle des corrélations des variables concernant le sol, les cultures et l'ITK

La variabilité observée est expliquée à plus de 48% par la dimension 1 qui discrimine surtout les groupes de PE (qui se différencient principalement par la culture en place) et à près de 40% par la dimension 2 qui discrimine assez nettement les 2 modalités l'une de l'autre.

Concernant les variables projetées sur les axes : les variables les plus positivement corrélées à l'axe 1 sont l'activité biologique mise en évidence par les tests thé à 10 cm et roibos à 30 cm, au contraire, celles qui sont négativement corrélés à cet axe sont l'abondance des ravageurs, le taux de mortalité et le poids moyen d'un individu récolté. Donc les parcelles A/B ont une très forte activité biologique, une faible abondance de ravageurs, un taux de mortalité faible mais aussi un poids moyen des individus bas. Et les parcelles C/D c'est l'inverse : elles présentent un fort rendement mais une faible activité biologique.

Pour l'axe 2 discriminant les modalités (NT et W), il est positivement corrélé à l'abondance des lombrics et à l'activité biologique mise en évidence par le test slip et il est négativement corrélé à diversité des ravageurs et au temps d'infiltration de l'eau dans le sol. Ce qui caractérise la modalité NT c'est d'abord une forte abondance en lombrics et une bonne activité biologique, de plus, NT démontre une faible diversité de ravageurs et un temps d'infiltration faible. Pour W c'est l'inverse, peu de lombrics, peu d'activité biologique, une grande diversité de ravageurs et un grand temps d'infiltration de l'eau.

Soit, il y a un impact direct de NT sur l'activité biologique, la présence de lombrics et la diversité de détritivores. Il y a aussi un impact du groupe de PE : A/B sont plus favorables aux auxiliaires et C/D plus aux détritivores. Certains indicateurs sont directement liés à la parcelle puisqu'ils sont corrélés aux 2 axes, c'est le cas du rendement qui est fort en PE A et qui est faible en PE C, de l'IFT pour qui c'est l'inverse.

4. Discussion

Ce mémoire a pour objectif de caractériser les performances agronomiques et économiques des systèmes maraîchers sur sol vivant (MSV) en conditions méditerranéennes par rapport à une conduite conventionnelle et discuter de leur évolution au cours des 3 premières années de mise en place. Pour y parvenir 2 systèmes sont mis en place : un système MSV (NT) basé sur le non travail du sol et l'enherbement permanent des inter-rangs et un système conventionnel qualité de témoin travaillé (W).

4.1. La conduite en MSV permet-elle une amélioration du sol ?

4.1.1. Hypothèse a1: les pratiques MSV ont un effet positif sur l'activité biologique

Les différents résultats présentés précédemment confirment l'hypothèse a1 sur l'effet positif du MSV sur la biodiversité.

Lors du test bêche pour évaluer la structure du sol, des traces de lombrics nombreuses (bioturbation et galeries) ont été observées sur les en MSV. Cependant, les résultats du test bêche spécifique à l'observation des lombrics n'ont pas permis de mettre en évidence une différence significative entre les modalités (ni sur le critère de la diversité, ni sur celui de l'abondance). Outre la non différence statistique entre les modalités, les quantités de lombrics au m² sont très faibles par rapport aux standards sur les sols cultivés qui se situent à environ 215 lombrics/m² (site EcoBioSoil, consulté en 2022). Paoletti (et al., 1999) a mis en évidence une corrélation négative entre la quantité de cuivre des sols et la biomasse des lombrics dans les sols agricoles. Comme ces tests mettent en évidence un effet négatif sur le nombre de lombrics à partir de 100 ppm, le taux présent dans les sols en début d'essai d'environ 50 ppm, même s'ils sont hauts, ne permettent pas d'expliquer à eux seuls le peu de lombrics observés sur les PE. Une autre piste d'explication sur le faible nombre de lombrics observé en général est la période des tests qui sont fait en début d'année (protocole EcoBioSoil, consulté en 2022) mais par rapport aux conditions météorologiques de la région, les dernières pluies sont généralement loin à cette période et le sol est déjà plutôt sec. Pour revenir aux résultats statistiques de la comparaison des modalités, la puissance statistique est très faible (comprise entre 0,1 et 0,47), le résultat de l'ANOVA est peu interprétable d'autant plus que ce résultat est étonnant car la proportion du nombre de lombrics en MSV par rapport au nombre de lombrics en agriculture non MSV est très élevée en 2020 (ratio 5), modérée en 2021 (ratio 3) et plus faible en 2022 (ratio 1,6). Même en 2022 ou le ratio entre les 2 modalités est plus faible, le résultat est appuyé par l'ACP qui met en évidence que la modalité MSV est très expliquée par une plus grande abondance de lombrics que la modalité en non MSV. Ce résultat est cohérent avec ceux cités par Labreuche et al. (2007) : multiplication du nombre de lombrics par un facteur allant jusqu'à 3,6 sous TCS.

Globalement les PE conduites en MSV présentent une plus grande diversité et une plus grande quantité d'arthropodes. Ce résultat est cohérent avec l'effet positif connu des bandes enherbées (ici assimilables aux inter-rangs enherbés) sur la biodiversité sauvage (Chambre d'agriculture du Tarn, 2017) et l'effet positif connu des TCS sur la diversité et l'activité de la faune du sol (Labreuche et al. 2007). Ici le MSV a un effet particulièrement positif sur la diversité et l'abondance des détritivores et la diversité des auxiliaires. Il n'y a cependant pas d'effet de l'interaction entre le groupe de PE et la conduite de l'ITK.

Enfin, l'activité biologique du sol n'est majoritairement pas statistiquement différente entre les modalités d'après les résultats des taux de dégradation du thé, du rooibos et des slips, mais ce résultat est peu interprétable car la majorité des puissances à postériori est très faible. Cependant, l'ACP a mis en évidence que l'activité biologique évaluée par ces 3 tests est corrélée positivement (faiblement) aux 2 dimensions.

4.1.2. Hypothèse a2: après plusieurs cycles culturaux, la structure du sol conduite en MSV présente une meilleure structure que celle d'un sol travaillé

La réalisation de mini-profils culturaux par PE a permis de mettre en évidence quelques différences structurelles entre les modalités, en faveur de celles conduites en MSV comme l'absence de croûte de battance, une meilleure rétention d'eau illustrée par un sol moins sec en MSV dès l'horizon H1. Concernant la porosité elle n'est plus seulement entre les mottes mais elle est aussi interne à celle-ci, cette observation est bénéfique pour les plantes car ces deux porosités permettent à la fois la circulation de l'air et de l'eau (tandis que le sol en non MSV permet moins la circulation de l'eau qui se fait dans les micropores) (Bourgeois et al., consulté en 2022). Ces observations valident l'hypothèse a3 selon laquelle le MSV n'a pas eu d'effet négatif sur la structure du sol, au contraire. Ce résultat était déjà observé et attendu dans le cadre d'une agriculture en TCS (ADEME, 2015), dont les principes sont appliqués en MSV.

4.1.3. Hypothèse a3: les pratiques MSV permettent au sol d'être plus résilient face aux événements climatiques (pluies principalement)

L'analyse statistique met en évidence que la conduite en MSV a permis une capacité d'infiltration de l'eau plus élevée et une plus grande préservation de la structure des mottes en cas de fortes pluies. Ces résultats s'accordent avec de nombreuses publications sur le sujet. En effet en 2007 déjà Labreuche J. et al. concluaient que les techniques culturales sans labour sont un moyen de lutte très efficace contre l'érosion. Comme le réchauffement climatique est source d'une intensification des pluies extrêmes (Barbero R. et al., 2018), une meilleure résistance face à ces événements correspond à une meilleure résilience à long terme. Même en cas de pluies non extrêmes (par exemple 16,4 mm le 06/06/2022) des différences qualitatives sont visibles sur les PE avec le sol travaillé qui présente une épaisse croûte de battance (observée aussi lors du test bêche) après plusieurs jours sans pouvoir pénétrer sur le sol non ressuyé, alors que les PE en MSV présentent une portance suffisante pour marcher sur les rangs et les inter-rangs dès le lendemain de la pluie. La croûte de battance est favorisée par le travail du sol qui déstructure les agrégats et favorise de plus faibles vitesses d'infiltration (Beauchamp, 2006). Un autre résultat, non statistiquement testé, allant dans ce sens d'une meilleure résilience se fait par lecture des courbes tensiométriques. La PE en MSV a tendance à montrer des changements de tensions dans le sol moins forts face aux variations d'irrigation. Par contre la température moyenne sur NT observé en été 2022 est moins favorable que la température moyenne sur W d'après Sattelmacher et al. cité par Barbot C. (site agriculture de conservation, 2015). Cette observation diffère du résultat partagé par Barbot C. selon lequel la température d'un sol couvert de mulch (ce qui est le cas avec le BVC posé sur les rangs de NT) est plus stable est plus tempérée que celle d'un sol nu. Cette différence peut s'expliquer par la différence de vigueur des plantes, qui, par le développement de leurs feuillages sur W font de l'ombre au sol. Outre ce point lié aux cultures plus qu'au sol en lui-même, c'est encourageant d'avoir confirmé, après 2 ans et demi de conversion en MSV, l'hypothèse a2, faite sur la meilleure résilience du système face aux événements abiotiques hydriques principalement.

4.2. La conduite en MSV nécessite-t-elle une modification de la stratégie de traitement et permet-elle un maintien de la production et sa qualité ?

4.2.1. Hypothèse b1: le système MSV, puisqu'il favorise la présence d'auxiliaires de culture (enherbement), permet une diminution des traitements contre les insectes ravageurs

Les précédents résultats confirment que le système MSV favorise la présence d'auxiliaires de culture. Cependant les IFT insecticides des 4^{ème} et 5^{ème} saisons de production (celles où les traitements sont dissociés entre les 2 modalités étudiées) sont les mêmes pour les PE conduites en MSV et pour les PE non MSV. La non différence d'IFT insecticide infirme l'hypothèse b1 et ne correspond à la baisse de pesticide habituellement mise en avant pour inciter au maintien d'un enherbement permanent. Par exemple, la chambre d'agriculture du pays de Loire (et d'autres acteurs) a créé, en 2021, une fiche concernant les dispositifs enherbés et il y est prôné leur rôle dans la lutte intégrée notamment par réduction du nombre de ravageurs grâce aux auxiliaires.

4.2.2. Hypothèse b2: le MSV favorise le maintien d'inoculum primaires et d'adventices sur la parcelle et ainsi augmente les traitements fongicides et herbicides

Comme pour les traitements insecticides, les IFT fongicides des 4^{ème} et 5^{ème} saisons de production (celles où les traitements sont dissociés entre les 2 modalités étudiées) sont les mêmes pour les PE conduites en MSV et pour les PE non MSV. Ce résultat infirme en partie l'hypothèse b2 basée sur le fait que le travail du sol permet de limiter le maintien des inoculum primaires à la surface du sol par l'enfouissement des résidus (ecophytopic, 2016). En MSV, le non travail du sol est couplé avec les inter-rangs enherbés et sur vigne cet enherbement permet indirectement de diminuer la pression des maladies cryptogamiques par la baisse de vigueur des cultures (rapport de vercarbone, consulté en 2022). Ainsi c'est peut-être l'effet négatif du non travail du sol et l'effet positif de l'enherbement des inter-rang qui amène à des atteintes fongiques similaires en MSV et en non MSV qui se soldent par un non changement du recours aux fongicides.

Pour la gestion de l'enherbement et des adventices, les IFT herbicides sont légèrement plus élevés en MSV d'en moyenne 0,3 par PE et par saison de production. Ce résultat confirme en partie l'hypothèse b3 basée sur le fait que le pour gérer l'enherbement dans un système en agriculture de conservation des sols le recours à des PPP est généralement nécessaire (Rodriguez et al., 2021). Pour les cultures d'été 2022, l'insecticide employé sur la PE de pastèques en MSV est un herbicide de biocontrôle, mais son action a été jugée insuffisante par l'équipe technique c'est pourquoi pour la PE de butternuts il y a eu un recours au glyphosate. Le recours au glyphosate est récurrent en MSV et autres systèmes en AVC, et c'est pour trouver les solutions les plus adaptées à ce système de production que des projets comme Engaged et SOLution ACS sont en cours aujourd'hui (Rodriguez et al., 2021).

4.2.3. Hypothèse b3: le MSV n'impacte pas le rendement et la qualité de la production – hypothèse b3

Les résultats concernant l'impact du MSV sur le rendement et la qualité des productions maraîchères évoluent au cours du temps et varient aussi selon l'espèce cultivée.

Le rendement est systématiquement inférieur en MSV les 2 premières saisons de production mais cette différence de rendement est moins systématique au cours de la transition puisqu'en 3^{ème} saison de production aucune différence de RDT n'est mise en avant pour la production de butternuts, idem pour la production de choux en 4^{ème} saison de production.

Concernant la qualité de la production, aucune différence de taux de fruits non commercialisables sur le critère du calibre (trop petit ou trop gros) n'a été mis en évidence sur les cultures concernées. La

qualité sanitaire n'est pas non plus statistiquement différente entre les 2 modalités étudiées. La seule différence de qualité observée est la qualité esthétique puisque les dégâts de gel ont été statistiquement inférieurs en MSV sur la culture d'artichauts 2020/2021.

4.3. La conduite en MSV est-elle économiquement viable ?

4.3.1. Hypothèse c1: le temps de main d'œuvre et la pénibilité du travail sont augmentés par le MSV

Les résultats concernant le temps de main d'œuvre nécessaire diffèrent selon la culture étudiée. Pour les salades, la conduite en MSV a permis de réduire le temps de main d'œuvre d'environ 20h/ha. Pour les pastèques, la conduite en MSV a abouti à une augmentation de 650h/ha de main d'œuvre. Pour les salades cela s'explique par un nombre d'opérations culturales plus faibles en MSV, principalement lié au travail du sol avant la plantation et après la récolte. Pour les pastèques cette différence sur le travail observée en pastèque reste vraie mais il y a eu plusieurs postes de travail supplémentaires qui se sont trouvés être très chronophage : l'application du BVC en amont de la plantation, des fertirrigations en cours de culture, des tontes de l'inter-rang, des désherbages manuels sur le rang. Certains de ces postes de travail auraient pu représenter un temps de main d'œuvre inférieur si l'exploitation était équipée d'outils spécifiques au MSV, comme d'une rampe permettant l'application du BSV (qui a mobilisé 22h de main d'œuvre pour seulement 500 m²). Au-delà du temps final de travail qui est plus ou moins important selon la culture, ces résultats sont cohérents par rapport aux témoignages d'agriculteurs qui produisent en MSV. Ce qui ressort de journées de formation comme celles de juillet 2017 en Wallonie c'est que la charge de travail annuelle est répartie différemment qu'en conventionnel et que le recours à de nouveaux outils est nécessaire (Wiaux et al., 2017).

Les tâches étant différentes en MSV, la pénibilité du travail à la SICA Centrex s'est surtout manifestée par l'augmentation de tâches manuelles comme le désherbage ou l'apport du BVC. Cette pénibilité peut être diminuée par le recours aux nouveaux outils de travail adaptés à la conduite à MSV.

L'hypothèse c1 n'est ni validée ni infirmée puisque l'effet du MSV sur le besoin en main d'œuvre et sur la pénibilité du travail dépend ici de la culture étudiée. La conclusion est qu'un équipement adapté au MSV et une expertise dans ce mode de production sont nécessaires et permettraient probablement de valider l'hypothèse. D'où la nécessité de mettre en pratique le MSV sur ces exploitations pilotes dont les pratiques sont plus proches de celles d'un.e agriculteur.trice.

4.3.2. Hypothèse c2: l'emploi d'énergies fossiles est diminué par le MSV

Ici aussi, le résultat diffère selon la culture étudiée. Pour les salades la quantité de carburants fossiles est diminuée en MSV d'environ 8 000 L/ha tandis qu'elle est augmentée d'environ 1 900 L/ha. Pour rappel, le carburant est la seule énergie fossile directement employée pour la production dans le cas de cette expérimentation. Ainsi pour la culture de salades, l'hypothèse c2 est valide mais elle ne l'est pas pour la culture de pastèques. Mais ici encore, le recours à des outils de travail permettrait de réduire le temps où le tracteur a été mobilisé pour l'application manuelle du BVC. Ainsi, avec le bon équipement, l'hypothèse c2 est probablement validée. En tout cas, cela correspondrait aux pistes évoquées par le gouvernement selon la réduction du travail du sol et en particulier l'agriculture de conservation des sols permet de réduire la consommation d'énergie (Courteau et Fugit, 2020).

4.3.3. Hypothèse c3: la balance coûts/produits en MSV est proche de celle en non MSV

La seule culture avec une étude des différences de coûts et des différences de produits est celle de salades de 2021. Pour cette culture, les coûts de production sont environ 9 500€ inférieurs en MSV qu'en non MSV et les produits seulement 2 600€ inférieurs, ainsi même si le rendement est moins

important en MSV et donc que le chiffre d'affaires l'est aussi, les économies faites à la production (notamment sur les carburants fossiles) permettent une meilleure balance coûts/produits en MSV qu'en non MSV. Cependant l'étude d'une seule culture ne peut permettre de conclure sur l'hypothèse c3, d'autant plus que pour la culture de pastèques 2022, les coûts de productions sont supérieurs en MSV qu'en non MSV (surtout à cause de la main d'œuvre).

4.4. Le MSV vis-à-vis de la triple performance : une bonne piste pour le volet sociale et environnemental

Un objectif de triple performance environnementale, sociale et économique pour les maraîcher.ère.s des PO a été annoncé plus tôt. Les résultats de la SICA Centrex concernant le projet SoViMed ne peuvent, à eux seuls, permettre de savoir si le MSV est une voie d'atteinte de celle-ci, notamment sur le volet économique où les données sont peu nombreuses. Pour le volet social par contre, le MSV répond aux nouvelles attentes des consommateur.trice.s annoncées plus tôt, orientées santé/environnement, avec une favorisation des produits ayant des garanties écologiques (Conseil d'Orientation pour l'Emploi, 2018). Pour le volet environnemental le résultat est plus nuancé car le MSV semble nécessiter plus d'irrigation et plus de traitements herbicides que le non MSV mais il permet aussi des meilleures qualités de sol et plus de diversité et d'abondance de biodiversité.

4.5. Des limites à la méthode et des pistes d'améliorations

4.5.1. Les modalités

Les modalités testées sont au nombre de 2 : une modalité en MSV (NT) et un témoin (W). Au vu du nombre de PE mobilisées pour cet essai, le nombre de modalité aurait pu être de 4. Cette stratégie permet de tester différentes façons d'envisager le MSV avec par exemple une modalité sans apport de BVC, ou au contraire avec un apport de compost entre chaque saison culturale. Cette stratégie aurait aussi pu permettre de comparer différents couverts pour l'enherbement permanent des inter-rangs ou encore de tester différents gradients de TCS avec une modalité en travail superficiel et une modalité sans travail strict.

4.5.2. Les indicateurs

Une première limite à la méthode est le manque d'indicateurs et la manière dont certains sont acquis/étudiés. En effet, pour évaluer la performance économique du système MSV et son évolution lors des 3 premières années de transition, il aurait été judicieux d'acquérir des données dès la première année de mise en place de l'expérimentation. Pour ceux qui sont acquis tout au long de l'essai, une acquisition plus homogène, soit avec le même nombre de répétitions à chaque année ou encore à la même période chaque année permettra probablement de mieux interpréter les résultats. Concernant la période des tests, celle-ci influence de nombreux résultats. Par exemple, le test bêche lombrics est fait en sortie d'hiver mais généralement assez tard par rapport aux dernières pluies, le sol est donc sec et celui-ci peut influencer le faible nombre de lombrics observés. Parfois les tests sont faits en même temps sur les 4 PE, comme les pièges barber, sauf que le développement des 2 cultures en places n'est pas le même (1 mois d'écart de date de plantation pour l'été 2022 entre les pastèques et les butternuts), et celui peut attribuer un effet groupe de PE sur l'ACP qui est peut-être lié au développement de la parcelle plutôt qu'à l'historique des opérations culturales qui y ont été conduites. A l'inverse certains tests (thé, rooibos et slips) n'ont pas été conduits en même temps sur les 4 PE (début printemps pour C/D et fin printemps pour A/B), cela peut aussi créer des corrélations de l'indicateur au groupe de parcelles sur l'ACP qui n'existe peut-être pas en réalité. Enfin, concernant l'étude de certains indicateurs, elle pourrait être faite selon des protocoles existants et standardisés comme le TBI pour le test thé qui permet de décrire le taux de décomposition et le facteur de stabilisation du sol (Keuskamp

et al., 2013). Une autre limite concernant les indicateurs est le manque de certains indicateurs qui pourraient mener à une compréhension plus fine du système, notamment sur le volet agronomique (voir environnementale avec l'étude de la lixiviation des nitrates par exemple).

4.5.3. L'analyse statistique

Le recours à l'ANOVA plutôt qu'au test T est un parti pris discutable car cette expérimentation étudiée seulement 2 modalités. Mais au-delà de ce choix, au niveau des statistiques, ce qui est le plus discutable est les résultats des puissances à posteriori qui sont particulièrement faibles (parfois $< 0,10$). Cela est lié à un manque de répétitions dans les mesures effectuées. Un plus grand nombre de données permettra d'obtenir une meilleure puissance et dont d'interpréter les résultats des tests statistiques, ce qui n'est pas le cas ici. Pour maximiser cette puissance, il serait préférable de faire des tests de puissance à priori. Une autre piste de travail est le traitement des données avec des modèles mixtes en choisissant l'espèce végétale en facteur aléatoire et l'ITK en effet fixe. Ceci permettrait de généraliser les résultats à l'ensemble des espèces végétales étudiées. Il serait peut-être judicieux d'envisager cette analyse en fin d'expérimentation.

4.5.4. Les choix techniques

Le premier choix technique influençant l'ensemble de l'essai est la conduite en agriculture raisonnée. Cette pratique avait été mentionnée dès la demande de financement auprès du FEADER car elle correspond aux habitudes de production de la SICA Centrex. Le premier effet de ce choix stratégique est sur le déclenchement des traitements, mais puisqu'il est appliqué aux PE en MSV comme à celles en non MSV, l'effet sur les résultats de l'essai est considéré comme neutre.

D'autres choix techniques discutables et influençant les performances du système sont souvent liés à un manque d'expérience dans la gestion d'un système MSV. Par exemple, l'application de BVC, avec un rapport C/N élevé et non enfoui, sans compensation d'apport en azote, a induit un mauvais raisonnement de la fertilisation sur la culture de pastèques 2022 et de nombreux coûts supplémentaires. D'autant plus qu'en MSV, lors d'un apport de matière organique fraîche les premières années, il est conseillé de faire des apports massifs d'azote organique pour limiter la faim d'azote (BioNouvelle Aquitaine, consulté en 2022). Un autre exemple est le remplacement de certains outils manquant (en l'occurrence une bineuse adapté aux surface maraîchères) par du paillage pour les PE en non MSV, alors que c'est peu employé dans la région (à dire d'expert, discussion avec Agnès Salgado – cheffe de culture, en 2022).

4.6. Suite et perspectives du projet

Concernant la communication sur les résultats, des visites techniques d'essai sont régulièrement organisées par chacune des 3 stations et des rapports annuels et/ou par saison de production sont envoyés aux financeurs. Une perspective importante est la concaténation des résultats des 3 ans d'essai pour l'ensemble des 3 stations expérimentales.

Une autre perspective est la prolongation du projet SoViMed sous le nom du projet CONSOLE (CONception et conSolidation des pratiques de réduction de travail du sol en productions LEGumières). La demande de financement pour ce projet a été refusée par le FEADER mais le dossier sera déposé à nouveau l'an prochain avec l'appui de l'INRAe d'Alénya cette fois-ci.

Aussi, l'objectif de cet essai était de répondre au besoin des producteurs de données sur la mise en place du MSV dans leurs bassins de production. Ainsi, d'après les résultats de la SICA Centrex, le MSV peut être diffusé sur le bassin perpignanais sous certaines conditions. En effet certaines cultures semblent peu favorables au MSV comme l'artichaut qui ne se maintient pas d'une année sur l'autre, qui

est chétif et qui présente un rendement très faible. Outre le choix des cultures, la diffusion du MSV ne peut se faire qu'auprès de certain.e.s agriculteur.trice.s car cela ne nécessite d'accepter une baisse probable des rendements, d'envisager l'agriculture autrement, de se former à ces nouvelles pratiques et probablement d'investir/construire de nouveaux outils. Les résultats d'autres stations comme ceux du CIVAM bio 66 sont plus encourageants et permettent de diffuser plus amplement le MSV aux agriculteur.trice.s sous abris des PO.

Enfin, pour valoriser le MSV et favoriser la conversion des agriculteur.trice.s, l'identification, à l'aide label (à l'instar de l'AB ou du Haute Valeur Environnementale par exemple) peut être envisager pour les produits issus du MSV ou plus globalement pour ceux produits en ACS. Ce label peut permettre l'identification des produits par les consommateurs et leur valorisation financière.

5. Conclusion

Sur la question de l'évolution des performances les résultats dépendent de la thématique/partie étudiée. D'abord, pour la thématique économique, seulement 2 cultures ont été étudiées et la 2ème ne comprend pas l'étude des résultats. Sur le critère des coûts, ils sont plus faibles en MSV en 4ème saison de production et plus élevés en non MSV en 5ème saison de production. Aucune conclusion ne peut être tirée sur la dynamique de la partie économique avec si peu de données. La conclusion est que l'effet du MSV sur les coûts dépend de la culture. Pour la partie « cultures » de la thématique agronomique, aucune dynamique n'a été mise en évidence : les résultats agronomiques semblent surtout varier selon la culture. Pour la partie « sol » de la thématique agronomique, l'évolution de l'activité biologique (indicateurs test thé, rooibos et slip) est en faveur MSV puisque le taux de dégradation est supérieur en non MSV les 2 premières saisons cultures et est en faveur du MSV les saisons de production suivantes.

Concernant la caractérisation économique, comme énoncé plus haut, 1 seule culture est étudiée intégralement (salades 2021), la concernant le MSV a une balance coûts/produits plus intéressante que le non MSV, malgré des rendements inférieurs, principalement grâce à des coûts plus bas. Pour la 2ème culture étudiée (pastèques 2022) la tendance risque d'être différente car les coûts sont plus élevés en MSV. En étudiant les temps de travaux pour la partie économique, une autre conclusion est que pour la culture de salades par exemple le nombre d'interventions culturales en MSV est inférieur qu'en non MSV, mais la pénibilité du travail et le nombre d'interventions est supérieur en MSV pour la production de pastèques.

Concernant la caractérisation des cultures, certaines composantes du rendement sont majoritairement en faveur du non MSV comme le taux de mortalité et le poids moyen. C'est pourquoi la majeure partie des cultures étudiées présente un rendement statistiquement inférieur en MSV. La qualité des cultures par contre n'est pas impactée par le MSV.

Concernant la caractérisation du sol, il a été observé à l'aide de sondes tensiométriques que le sol se réchauffe plus vite en sortie d'hiver en MSV qu'en non MSV et aussi qu'il est plus résilient face aux variations d'hygrométrie. Ces observations s'expliquent par une meilleure structure en MSV (moins de macro porosité et plus de microporosité), une meilleure capacité d'infiltration de l'eau et une meilleure stabilité structurale des mottes. Concernant la faune vivant à la surface du sol, elle est plus diversifiée et plus abondante en MSV. D'autres variables sont, elles, statistiquement identiques en MSV et en non MSV : la diversité et la quantité de lombrics et le taux de dégradation des sachets de thé et slips, soit l'activité biologique (microbienne et fongique principalement). En conclusion, le MSV maintient parfois, améliore surtout, les différentes caractéristiques du sol.

Le système MSV est donc très intéressant pour le sol. Pour les cultures et en particulier les rendements, le MSV semble avoir un effet négatif mais le résultat économique peut quand même y être favorable si des coûts supplémentaires sont nécessaires en non MSV et qu'ils ne comblent pas le gain économique lié aux meilleurs rendements (salades en 2021). La production en MSV dans les PO semble donc être une alternative durable et fonctionnelle répondant particulièrement au volet social et environnement de la triple performance recherchée par les maraîcher.ère.s, mais sa complexité technique et le peu de résultats sur le volet économique sont des freins à son développement. Le projet SoViMed participe à l'élaboration d'une base de données et expose des éléments techniques de faisabilité qui doivent continuer à être explorés afin de pouvoir s'adapter au fonctionnement des exploitations agricoles.

Bibliographie

- Agri Lyonnaise. Et si on parlait du maraîchage sur sol vivant ? [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.agri-lyonnaise.top/et-si-on-parlait-du-maraichage-sur-sol-vivant> > (Consulté le 15 mai 2022).
- Agroécologie. Dans : *FUN MOOC* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.fun-mooc.fr/fr/cours/agroecologie/> > (Consulté le 17 avril 2022).
- Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., et Lana M.A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(3), p. 869-890.
- ANÉFA. Maraîchage. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.anefa.org/metiers/maraichage/> > (Consulté le 12 août 2022).
- Archambeaud M. 2022. Mais en TCS et SD, des contraintes mais beaucoup d'atouts. Dans : *A2C le site de l'agriculture de conservation* [En ligne]. Disponible sur : < <https://agriculture-de-conservation.com/Mais-en-TCS-et-SD-des-contraintes.html> > (Consulté le 1 août 2022).
- Arnaud P., Javelle P., Barbero R., et Martin É. Changement climatique et pluies extrêmes, ce que dit la science. Dans : *The Conversation* [En ligne]. Disponible sur : < <http://theconversation.com/changement-climatique-et-pluies-extremes-ce-que-dit-la-science-103660> > (Consulté le 3 août 2022).
- Association Drômoise d'Agroforesterie. Maraîchage sur Sol Vivant [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.adaf26.org/lagroecologie/maraichage-sur-sol-vivant/> > (Consulté le 15 mai 2022).
- Asso-Sol. Daniel et François Mulet : « Chacun s'enrichit des expériences des autres ». [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.sol-asso.fr/daniel-et-francois-mulet-chacun-senrichit-des-experiences-des-autres/> > (Consulté le 2 mai 2022)
- Barbot C. 2022. L'agrégation biologique du sol, gare à la surchauffe ! Dans : *A2C le site de l'agriculture de conservation* [En ligne]. Disponible sur : < <https://agriculture-de-conservation.com/L-agregation-biologique-du-sol.html> > (Consulté le 2 septembre 2022).
- Beauchamp J. 2006. L'eau et le sol. Dans : *Université de Picardie Jules Verne* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/eau-sol.htm> > (Consulté le 1 août 2022).
- Brauman A et Thoumazeau A.2020. Biofunctool (R) : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol. Dans : *Etude et Gestion des Sols, Association Française pour l'Etude des Sols*. p.289-303
- Chambres d'agriculture. 2021. La conservation des sols : comment ça marche ? Disponible sur : < <https://chambres-agriculture.fr/actualites/toutes-les-actualites/detail-de-lactualite/actualites/la-conservation-des-sols-comment-ca-marche/> > (Consulté le 27 août 2022)
- Chambre d'agriculture Occitanie. 2021. Installation Transmission en bref édition 2021. [En ligne]. Disponible sur : < <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/installation-transmission-en-bref-edition-2021/> > (Consulté le 11 août 2022).

- Chambre d'agriculture 66. 2022. Fruits et Légumes. [En ligne]. Disponible sur : < <https://po.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/fruits-et-legumes/> > (Consulté le 17 avril 2022).
- CIVAM. Maraichage. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.civam.org/agriculture-durable/maraichage/> > (Consulté le 10 mai 2022).
- Courteau R. 2020. L'agriculture face au défi de la production d'énergie. Dans : *Sénat* [En ligne]. Disponible sur : < https://www.senat.fr/rap/r19-646/r19-646_mono.html > (Consulté le 25 août 2022)
- Dekhili S., Tagbata D. et Akli Achabou M.. Le concept d'éco-produit : quelles perceptions pour le consommateur ? Dans : *Gestion 2000 (Volume 30)* [En ligne]. Disponible sur : < https://www.cairn.info/revue-gestion-2000-2013-5-page-15.htm?try_download=1 > (Consulté le 12 mai 2022h).
- DicoAgroecologie. Fertilité biologique des sols – Dictionnaire d'agroécologie. [En ligne]. Disponible sur : < <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/fertilite-biologique-des-sols/> > (Consulté le 17 avril 2022).
- Duru M., Therond O., Martin G., Martin-Clouaire R., Magne M.-A., Justes E., Journet E.-P., Aubertot J.-N., Bergez J.-E., et Sarthou J.-P. 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35.
- EcoBioSoil. Intégration de la biodiversité lombricienne dans 3 réseaux de fermes DEPHY en Bretagne. [En ligne]. Disponible sur : < <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/dephy> > (Consulté le 12 août 2022).
- EcoBioSol. Protocole - Test Bêche Vers de Terre. [En ligne]. Disponible sur : < <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/protocole-participatif-test-beche-vers-de-terre> > (Consulté le 2 septembre 2022)
- EcoPhytoPIC. 2019. Projet SEFerSol. [En ligne]. Disponible sur : < <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/projet-sefersol> > (Consulté le 2 septembre 2022)
- Ephytia. Biocontrol - Ravageurs [En ligne]. Disponible sur : < <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20534/Biocontrol-Ravageurs> > (Consulté le 23 août 2022)
- Futura Planète. Détritivore : qu'est-ce que c'est ? Dans : *Futura Science* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/zoologie-detritivore-11446/> > (Consulté le 23 août 2022)
- Galicher A., Trottin-Caudal Y., Villeneuve F., Djian-Caporalino C., Nicot P.C., et Jeannequin B. 2017. Mieux connaître les couples plante/bioagresseur pour une performance écologique et économique des systèmes légumiers. *Infos CTIFL*. 328, p. 30-37.
- Gayraud. M et al. 2017. Pratiquer le non-labour ou techniques culturales simplifiées (TCS) en interculture. Dans : *Ecophytopic* [En ligne]. Disponible sur : < <https://ecophytopic.fr/pic/prevenir/pratiquer-le-non-labour-ou-techniques-culturales-simplifiees-tcs-en-interculture> > (Consulté le 2 septembre 2022)
- Gliesmann S., 1998. Agroecology : ecological Processes in Sustainable Agriculture
- Gouvernement. 2021. La bio en pleine croissance : découvrez les chiffres ! Dans : *Ministère de la Transition écologique* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.ecologie.gouv.fr/bio-en-pleine-croissance-decouvrez-chiffres> > (Consulté le 12 mai 2022).

- Humbaire L. 2014-2015. Les enjeux de coopération des microfermes maraîchères biologiques. Quels impacts sur la viabilité d'un système émergent ? Etude de cas en Isère et en Lorraine. p. 98.
- INRAe. 2022. Vers des systèmes agricoles sobres en énergie fossile ? [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.inrae.fr/evenements/systemes-agricoles-sobres-energie-fossile> > (Consulté le 24 août 2022)
- Joseph C. et al. 2018. Auxiliaires des cultures : Définition. Dans : *Dictionnaire d'Agroécologie* [En ligne]. Disponible sur : < <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/auxiliaires-des-cultures/> > (Consulté le 19 mai 2022).
- Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J., Real B., Germon J., Tourdonnet S., Schubetzer C., Feix I., et Galienne J. 2007. *Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL) en France*.
- Le département Pyrénées Orientales. 2019. Caractéristiques du territoire des Pyrénées-Orientales. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.ledepartement66.fr/caracteristiques-du-territoire-des-pyrenees-orientales/> > (Consulté le 05 mai 2022).
- Le département Pyrénées Orientales. Les grands chiffres de l'agriculture départementale. [En ligne]. Disponible sur : < [Les grands chiffres de l'agriculture départementale - ledepartement66.fr](https://www.ledepartement66.fr/les-grands-chiffres-de-l-agriculture-departementale) > (Consulté le 05 mai 2022).
- Le Foll S. 2017. La Première graine. Dans : Calmann Lévy. [En ligne]. Disponible sur : < <https://calmann-levy.fr/livre/la-premiere-graine-9782702159538> > (Consulté le 17 avril 2022).
- Lusetti A. 2019. Demande de subvention - Annexe 1 : Trame de contenu de la présentation du projet partenarial.
- Maraîchage Sol Vivant Normandie – Ile de France. L'association Maraichage Sol Vivant. [En ligne]. Disponible sur < <https://normandie.maraichagesolvivant.fr/lassociation/> > (Consulté le 15 août 2022)
- Météo France. Les vents régionaux méditerranéens - Tempêtes en France métropolitaine. Dans : *Tempête Météo*. [En ligne]. Disponible sur : < <http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article220> > (Consulté le 3 août 2022).
- Messant A., Lehmann S., Moulin J., Lagacherie P., Jalabert S., Noraz A., Lemerrier B., Chafchafi A., Mure J.-P., Laroche B., et Sauter J. 2021. Diffusion des référentiels régionaux pédologiques sous la forme d'une carte des sols dominants (France métropolitaine - Hors Corse) accessible sur le Géoportail. *Etude et Gestion des Sols*. p. 15.
- Ministère de l'agriculture de la souveraineté alimentaire. 2013. Qu'est-ce que l'agroécologie ? [En ligne]. Disponible sur : < <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie> > (Consulté le 22 août 2022).
- OSez l'AgroÉcologie : L'agroécologie. Dans : *OSAE* [En ligne]. Disponible sur : < <https://osez-agroecologie.org/l-agroecologie> > (Consulté le 17 avril 2022).
- Paoletti M.G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 74(1), p. 137-155.

- Produire Bio. La biodiversité comme alternative au travail du sol. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/la-biodiversite-comme-alternative-au-travail-du-sol/> > (Consulté le 12 août 2022).
- Robert M. et Stengel P. 1999. Sols et agriculture : ressource en sol, qualité et processus de dégradation. Une prospective mondiale, européenne et française. *Cahiers Agricultures*. 8, p. 301-308
- Rodriguez A. et al. 2021. Réduction de l'usage de glyphosate en Agriculture de conservation des sols. Dans : *Ecophytopic* [En ligne]. Disponible sur : < <https://ecophytopic.fr/alternatives-glyphosate/proteger/reduction-de-lusage-de-glyphosate-en-agriculture-de-conservation> > (Consulté le 25 août 2022).
- SICA CENTREX. Centre Expérimental des Fruits et Légumes du Roussillon. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.centrex66.com/centre-exp%C3%A9rimental-des-fruits-et-l%C3%A9gumes-du-roussillon> > (Consulté le 3 août 2022).
- SOL. 2017. Daniel et François Mulet : « Chacun s'enrichit des expériences des autres ». [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.sol-asso.fr/daniel-et-francois-mulet-chacun-senrichit-des-experiences-des-autres/> > (Consulté le 19 mai 2022).
- Tabarly S. et Bouron J.B. 2021. Climat méditerranéen. Dans : *Géococonfluences* [En ligne]. Disponible sur : < <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/climat-mediterraneen#:~:text=Le%20climat%20de%20type%20m%C3%A9diterran%C3%A9en,bien%20compte%20les%20diagrammes%20ombrothermiques.> > (Consulté le 12 mai 2022)
- Tourdonnet S. Processus écologiques. Dans : *UVED* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/ProcessEcologiques.html> > (Consulté le 15 mai 2022).
- Védie P.H., Clerc F., Lhôte J.-M., et Grébert D. 2012. Cultiver sans labourer en maraîchage biologique de plein champ : p. 4.
- Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., et David C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(4), p. 503-515.

Annexes

Annexe 1. Photographies des parcelles élémentaires d'artichauts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (2^{ème} saison de production – 05/03/21)



Annexe 2. Photographies des parcelles élémentaires de potimarrons, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (3^{ème} saison de production – 07/07/2021)



Annexe 3. Photographies des parcelles élémentaires de butternuts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (3^{ème} saison de production – 05/08/2021)



Annexe 4. Photographies des parcelles élémentaires de choux, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (4ème saison de production – 09/12/2021)



Annexe 5. Photographies des parcelles élémentaires de salades, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (4ème saison – NT : 20/10/21 – W = 22/11/21)



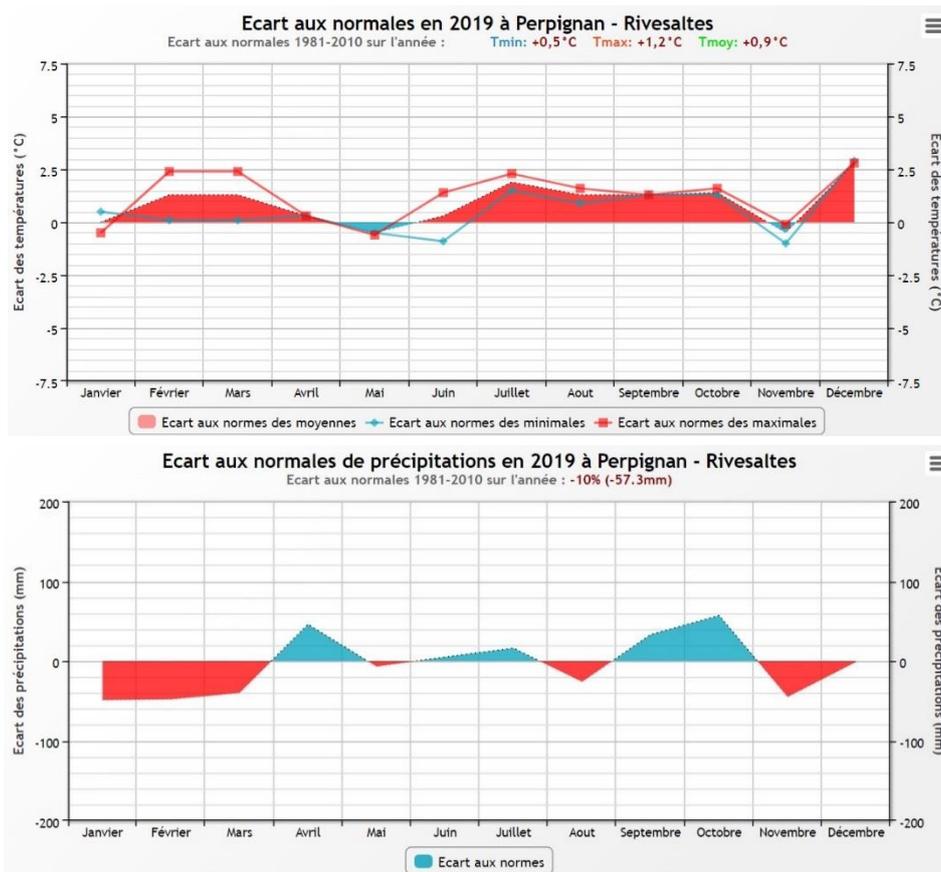
Annexe 6. Photographies des parcelles élémentaires de pastèque, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (5ème saison de production – 08/06/2022)



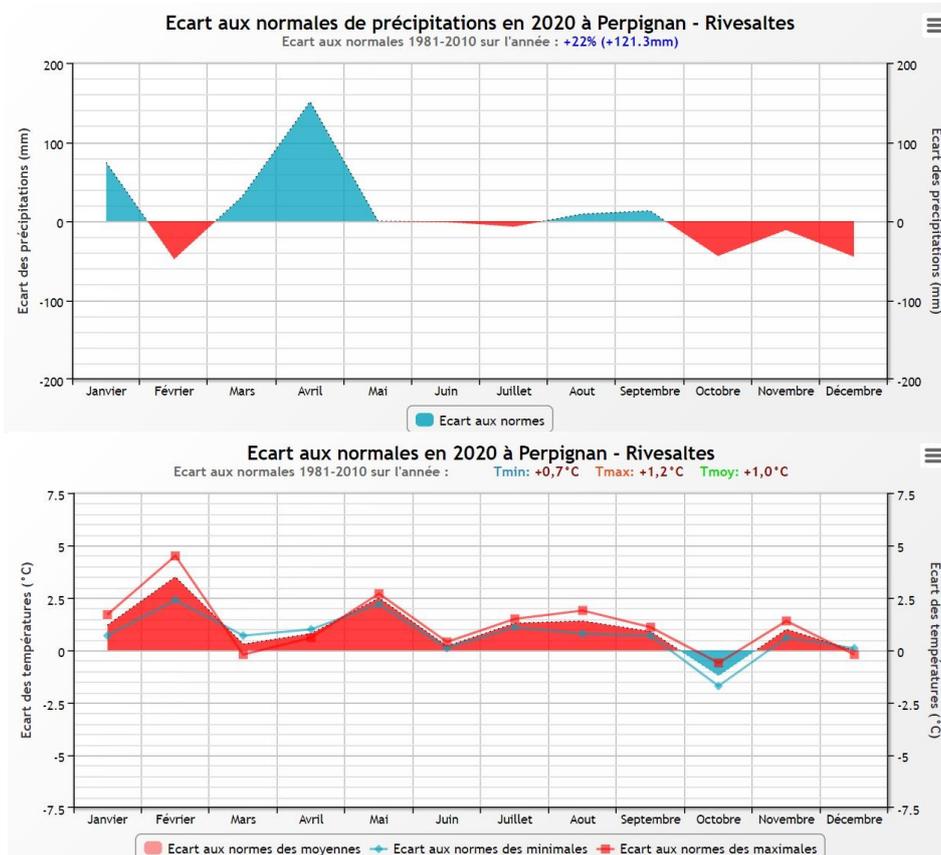
Annexe 7. Photographies des parcelles élémentaires de butternuts, par modalité : NT = système MSV, W = témoin travaillé (5ème saison de production – 01/07/2022)



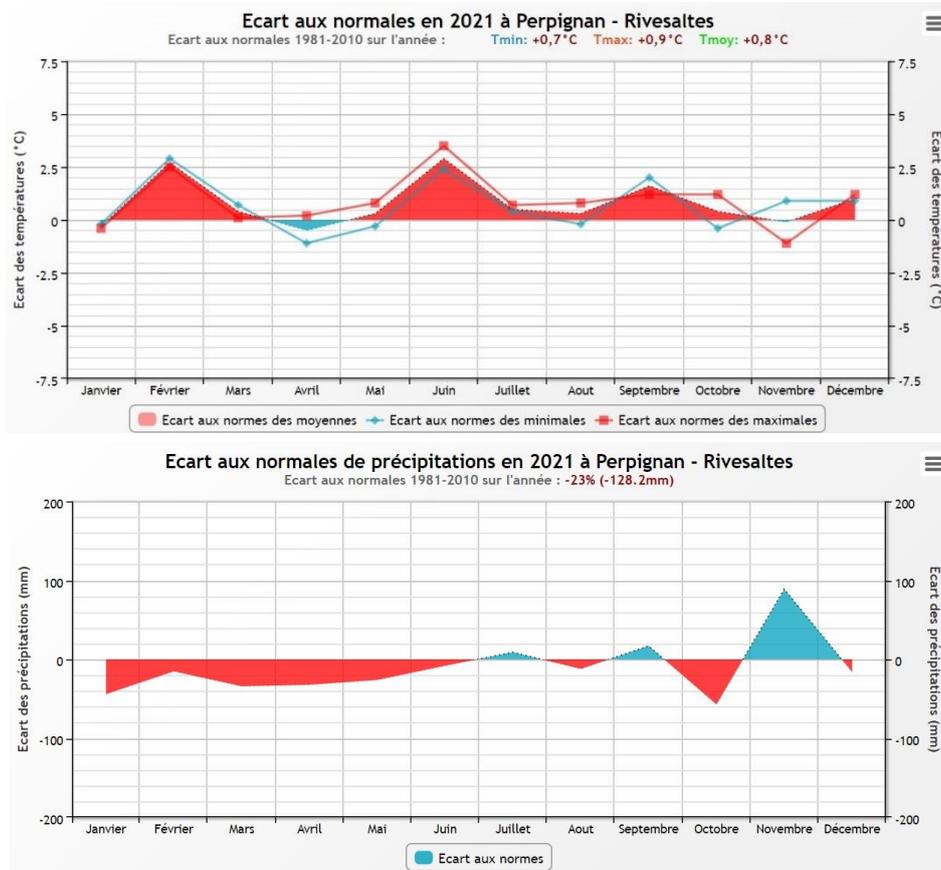
Annexe 8. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) température et pluviométrie en 2019 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes



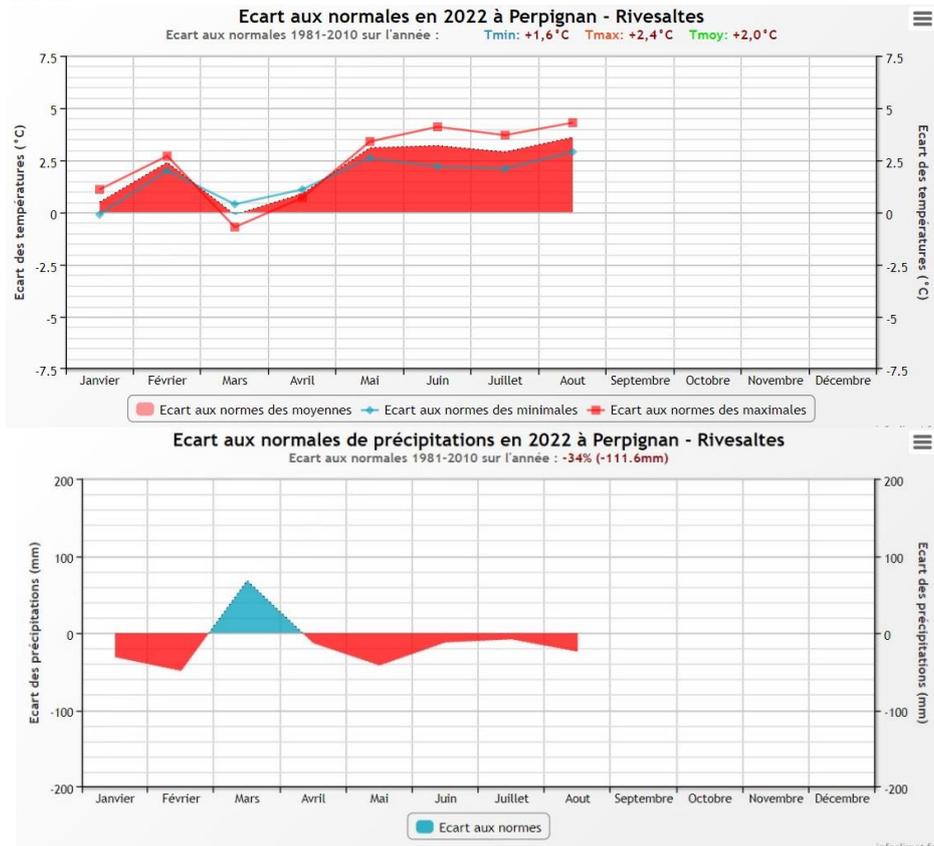
Annexe 9. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes



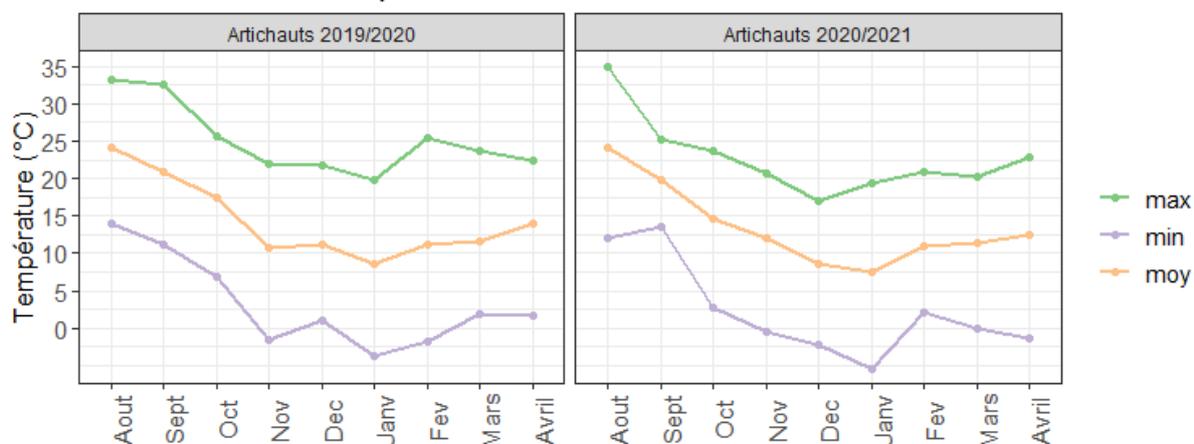
Annexe 10. Écart aux normales saisonnière (1981-2010) – température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes



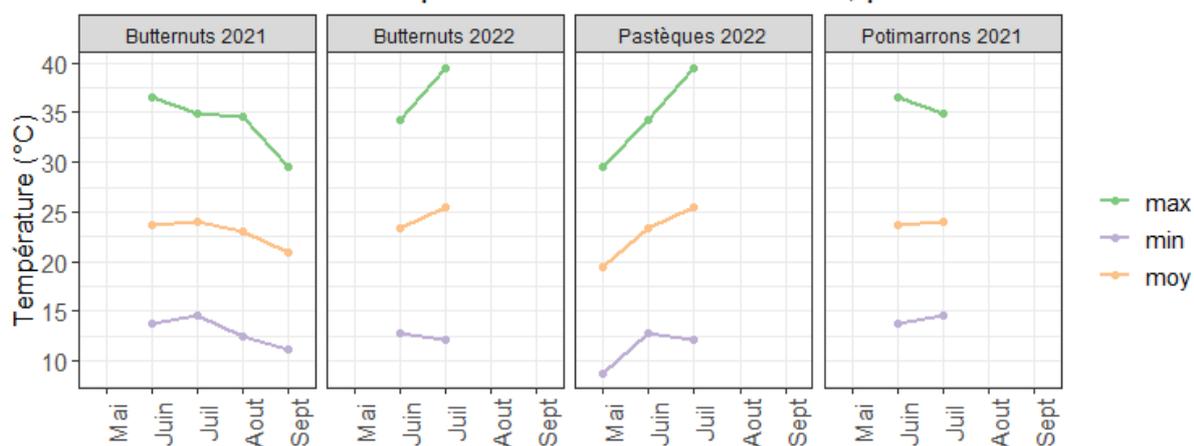
Annexe 11. écart aux normales saisonnière (1981-2010) – température et pluviométrie en 2020 – source InfoClimat – localisation Rivesaltes



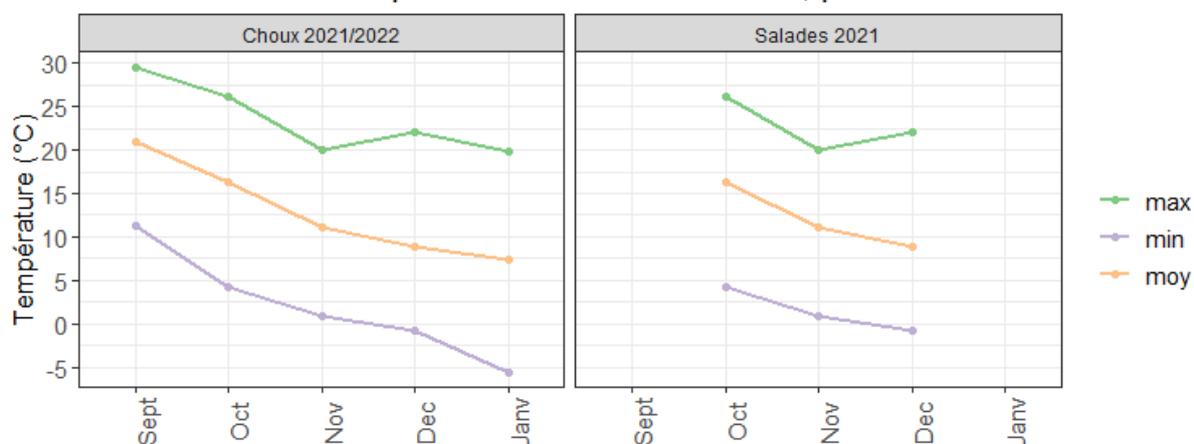
Dynamique des températures mensuelles minimale, moyennes et maximale, des deux saisons de production d'artichauts 2019/2020 et 2020/2021

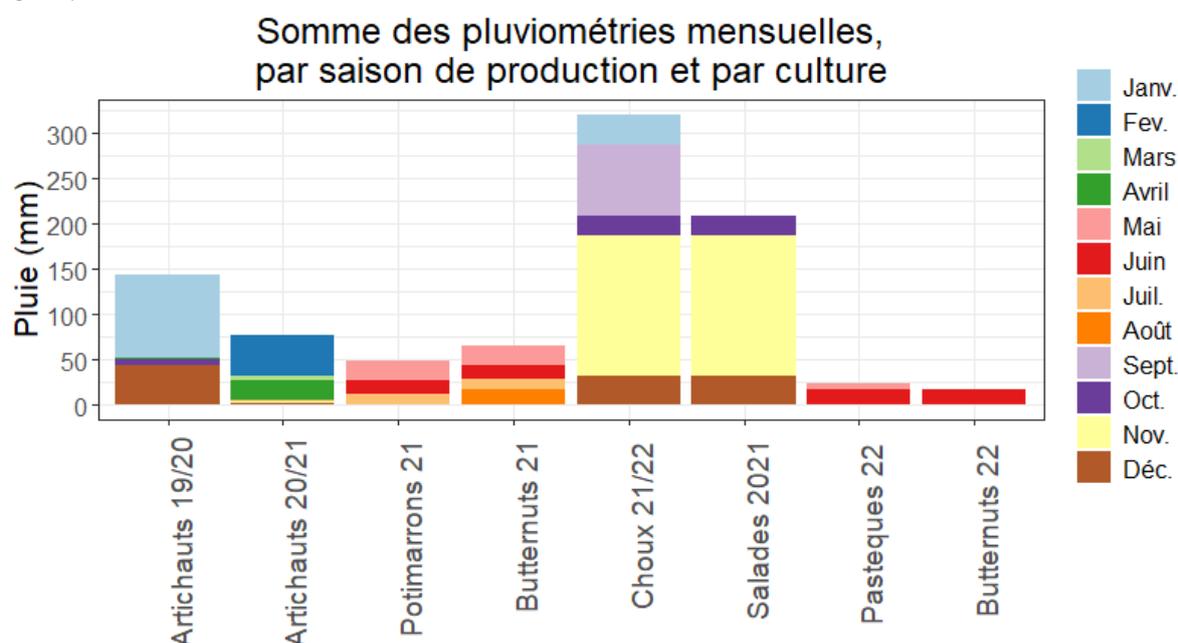


Dynamique des températures mensuelles minimale, moyennes et maximale, des deux saisons de production d'été 2021 et 2022, par culture



Dynamique des températures mensuelles minimale, moyennes et maximale, de la saison de production d'hiver 2021/2022, par culture





Annexe 14. Organisation des groupes fonctionnels dans le cadre du piège barber

Groupe fonctionnel	Explication	Ordre* (+ familles**)
Détritivores	Les détritivores se nourrissent de débris et participent à la décomposition des matières organiques. (site Futura sciences, consulté en 2022)	- cloportes - myriapodes
Auxiliaires	"Les auxiliaires désignent les ennemis naturels, organismes qui de par leur mode de vie, développement et/ou alimentation, régulent les populations de ravageurs de culture." (Joseph et al, 2018)	- arachnides (araignées + opilions) - coléoptères (carabes + staphylins)
Ravageurs	"Les ravageurs sont l'ensemble des organismes [arthropodes ici] qui entraînent des dégâts sur les plantes cultivées." (site Ephytia, 2015)	- coléoptères (chrysomèles + taupins) - dermoptères (forficules uniquement)
Non classés	Les "non classés" correspondent aux individus neutres pour les cultures et à ceux "pas assez identifiés" pour lesquels une identification plus fine est nécessaire pour qualifier leurs effets sur les cultures.	- coléoptères (tiques) - diptères - lépidoptères - orthoptères (criquets uniquement) - hyménoptères (fourmis uniquement)

*de nombreux ordres sont absents car les ordres mentionnés correspondent à ceux observés

**les familles apparaissent soit :

- lorsqu'un même ordre est présent dans 2 groupes fonctionnels
- lorsqu'une seule famille d'un même ordre a été observée

Annexe 15. Présentation des variables mobilisées pour l'ACP

Explication de la variable	Période d'acquisition	Nom de la variable
Nombre de lombrics par m ² de sol	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	abondance_lombrics_22
Taux de dégradation (%) des sachets de thé à 10 cm	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	act.biol_the_10cm_22
Taux de dégradation (%) des sachets de thé à 30 cm	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	act.biol_the_30cm_22
Taux de dégradation (%) des sachets de rooibos à 10 cm	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	act.biol_roib_10cm_22
Taux de dégradation (%) des sachets de rooibos à 30 cm	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	act.biol_roib_30cm_22
Taux de dégradation (%) des slips	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	act.biol_slips_22
Nombre de familles de détritivores	Pendant la 5 ^{ème} saison	diversite_detritivores_22
Nombre de détritivores	Pendant la 5 ^{ème} saison	abondance_detritivores_22
Nombre de familles d'auxiliaires	Pendant la 5 ^{ème} saison	diversite_auxiliaires_22
Nombre d'auxiliaires	Pendant la 5 ^{ème} saison	abondance_auxiliaires_22
Nombre de familles de ravageurs	Pendant la 5 ^{ème} saison	diversite_ravageurs_22
Nombre de ravageurs	Pendant la 5 ^{ème} saison	abondance_ravageurs_22
Durée d'infiltration (minutes) de 68 mm d'eau	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	temps_infiltration_68mm_22
Pourcentage de motte (%) restant à la fin du slake test	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	stabilite_structurale_mottes_22
Taux de reprise des plants (%) à la plantation	Entre la 4 ^{ème} et la 5 ^{ème} saison	taux_reprise_22
Taux de mortalité des plants (%) avant la récolte	A la 5 ^{ème} saison	mortalite_hiver21
Somme des IFT des 2 saisons avec des dissociations des traitements entre les modalités	4 ^{ème} + 5 ^{ème} saisons	IFT_hiver21+ete22
Volume (m ³) d'eau apportée par l'irrigation	Pendant la 5 ^{ème} saison	irrigation_22
Rendement (kg/m ²)	De la 5 ^{ème} saison	rdt_hiver21
Calibre moyen (kg)	De la 5 ^{ème} saison	poids_moy_hiver21

VGTER
847, route de Frans
69400 Villefranche sur Saône
Tél.: + 33 (0)6 60 07 48 72
E-mail: sari.vgter@gmail.com

Exploitation : GICA CENTREX
Echantillon : M 429
Date prélèvement : 02/05/2019
Préleveur : AL
Date d'analyse : 20/05/2019

Informations sur la parcelle

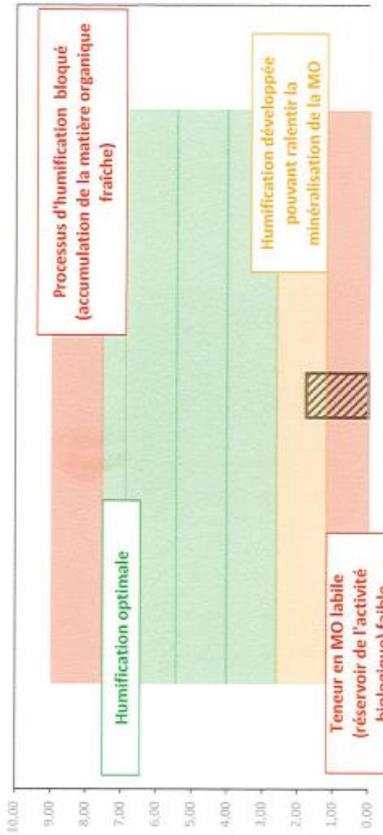
Parcelle : Sovimed (NT SOL)
Coordonnées GPS : Maraichage
Date du dernier apport fertilisant : Bio
Nature du dernier apport fertilisant :

Remarque : Manque de vigueur sur la parcelle

Caractérisation de la matière organique

Matière Organique Totale (MOT) %	2,02
Matière Organique Labile (MOL) %	0,04
% Matière organique labile (en % MOT)	1,75

Interprétation



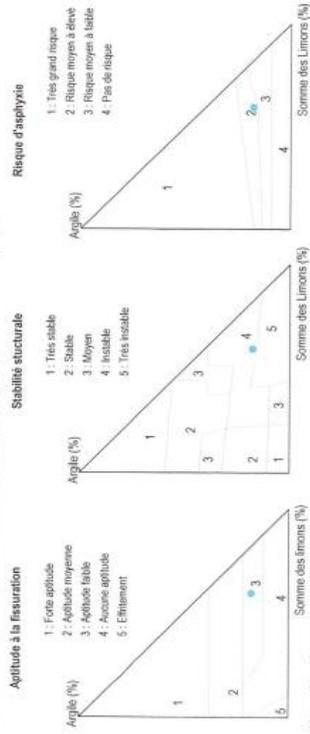
1 / 1 - M 429

Société VGTER – SARL au capital de 10 000 € – SIRET 802 994 194 00024
Tél. : 33 (0)6 60 07 48 72 - e-mail : sari.vgter@gmail.com

DONNEES AGRONOMIQUES

Parcelle **M429-Sovimed Sol non travaillé (Centre)** **N° Analyse** **1909082**

Les déterminations sont effectuées sur la fraction de terre de granulométrie <= 2 mm. Les résultats sont exprimés par rapport à cette même fraction. Les interprétations et les calculs sont valables pour la fraction de terre prélevée, soit 30 cm. Il est tenu compte du pourcentage de calcaux estimé sur champ quand il est indiqué, soit 0 %.



Réaction du sol Sol très alcalin

Niveau calcare Terre calcare

Quantité théoriquement nécessaire pour amener votre sol à un niveau : en Unité ou Kg d'élément / Ha

Les quantités ne sont pas les quantités à apporter à votre sol, elles donnent une idée du déficit, pour l'élément considéré et pour l'horizon prélevé.

Données Calculées

1 - Equilibre K2O/MgO :	1.2		
2 - Poids de terre fin /Ha pour l'horizon prélevé :	4466	tonnes	
3 - Coefficient de rétrogradation P205 :	1.5		
4 - Coefficient de Fixation K2O :	1.5		
5 - Pertes par lessivage K2O :	29	Kg /Ha / an	
6 - Indice de balance :	1.6	Sol peu battant	
7 - Caractéristiques hydriques :			
Capacité de rétention en eau CR :	19	%	
Réserve Utilisable RU :	424	m3 / Ha	
Réserve Facilement Utilisable RFU :	255	m3 / Ha	

Appréciation du taux de saturation du complexe

Taux de saturation : 100 % **Saturé**

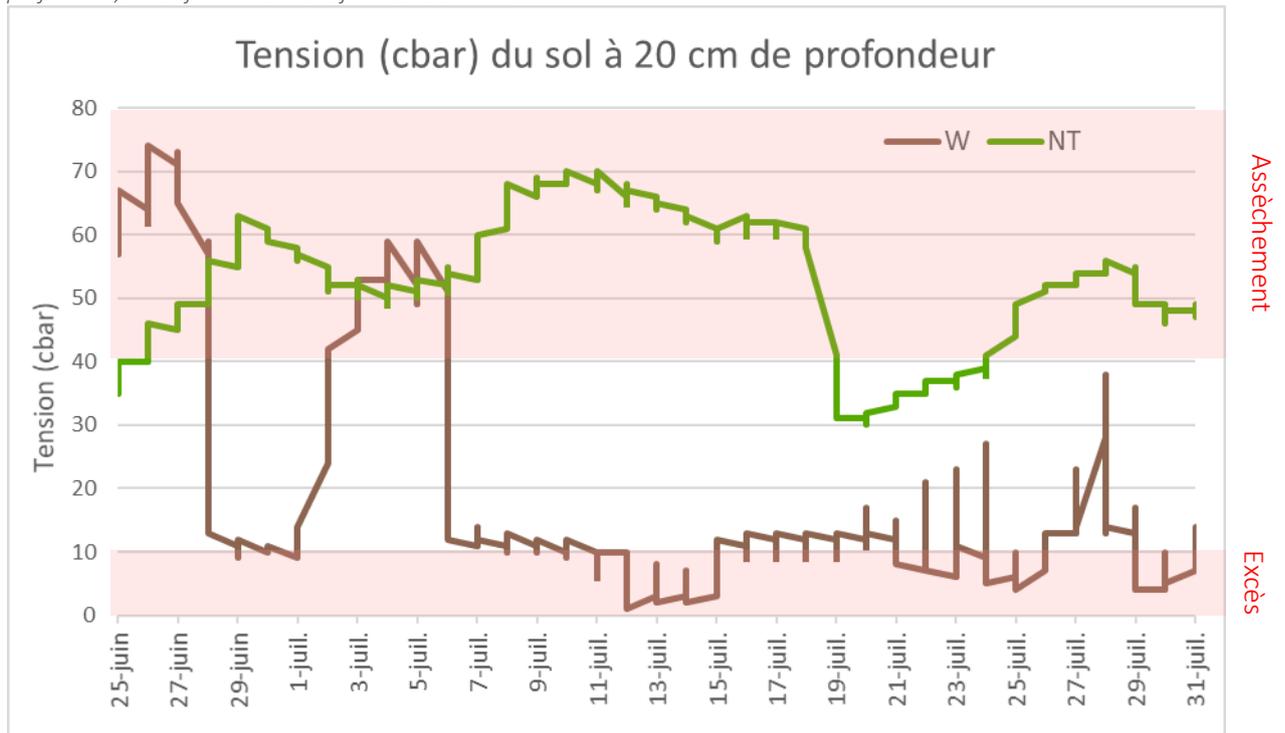
Répartition des cations échangeables en % de la CEC :

K/CEC :	5,6 %	Satisfaisant
Mg/CEC :	11 %	Elevé
Ca/CEC :	100 %	Elevé
Na/CEC :	1,8 %	Satisfaisant

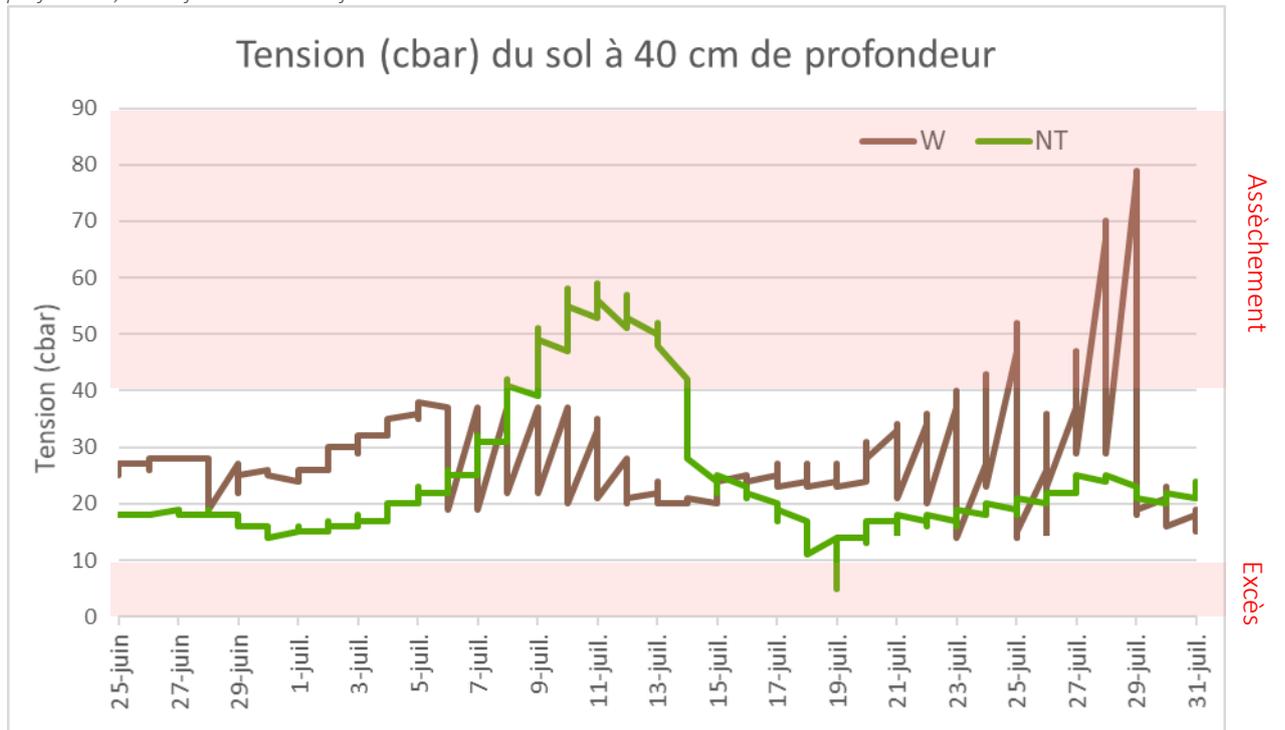
Rapports entre cations :

K/Mg :	0,5	faible
Ca/Mg :	26	Elevé

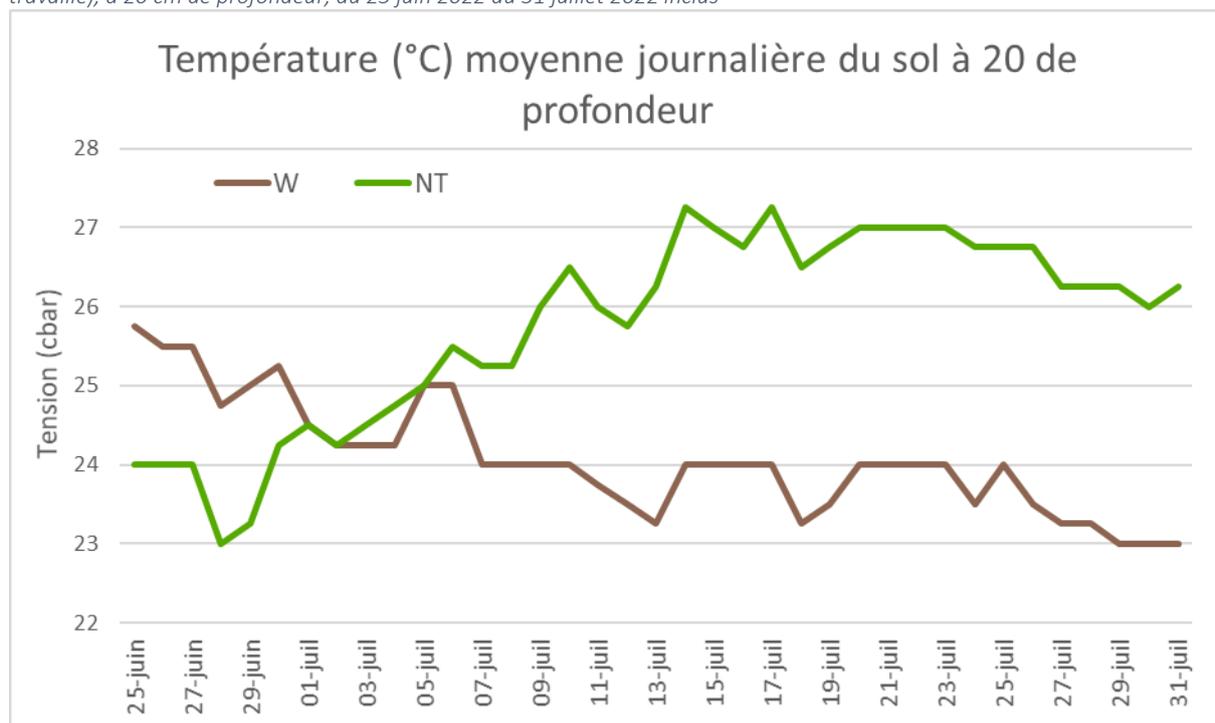
Annexe 18. Sondes butternuts 2022 : tension (cbar) par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 20 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus



Annexe 19. Sondes butternut 2022 : tension (cbar) par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 40 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus



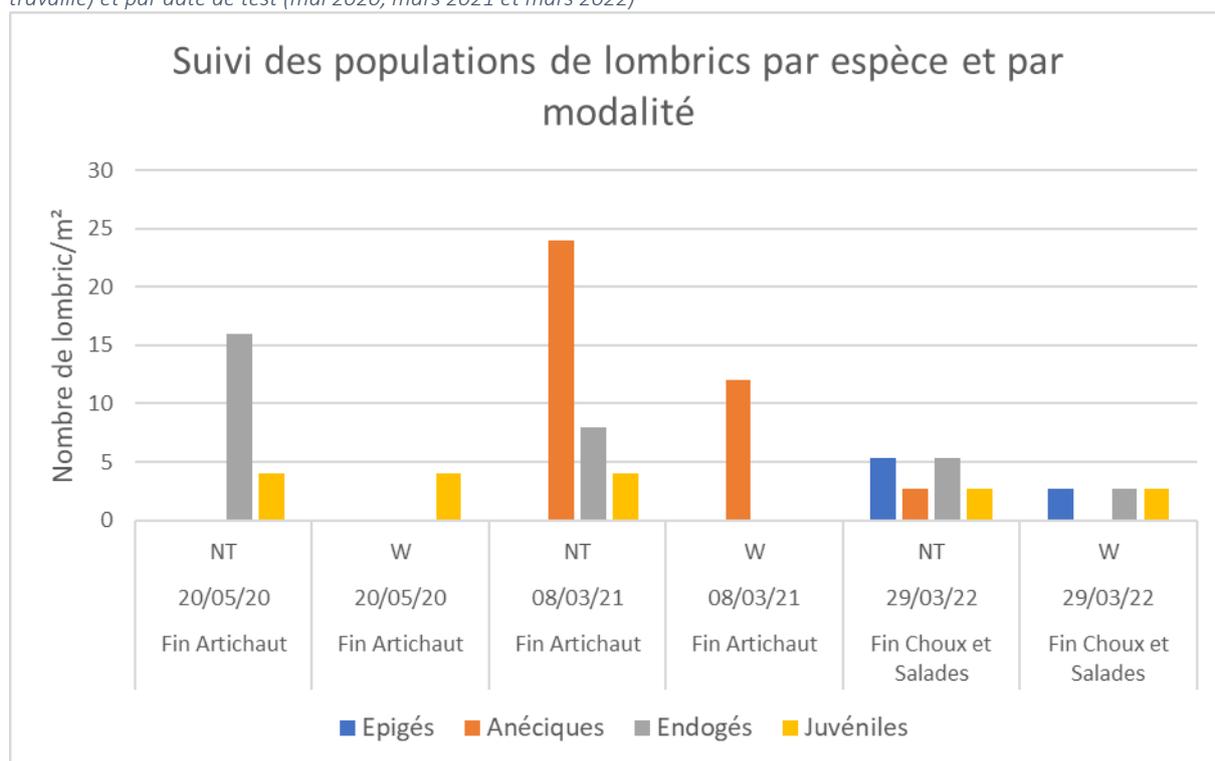
Annexe 20 : Sondes butternut 2022 : température (°C) journalière moyenne par modalité (NT = système MSV, W = témoin travaillé), à 20 cm de profondeur, du 25 juin 2022 au 31 juillet 2022 inclus



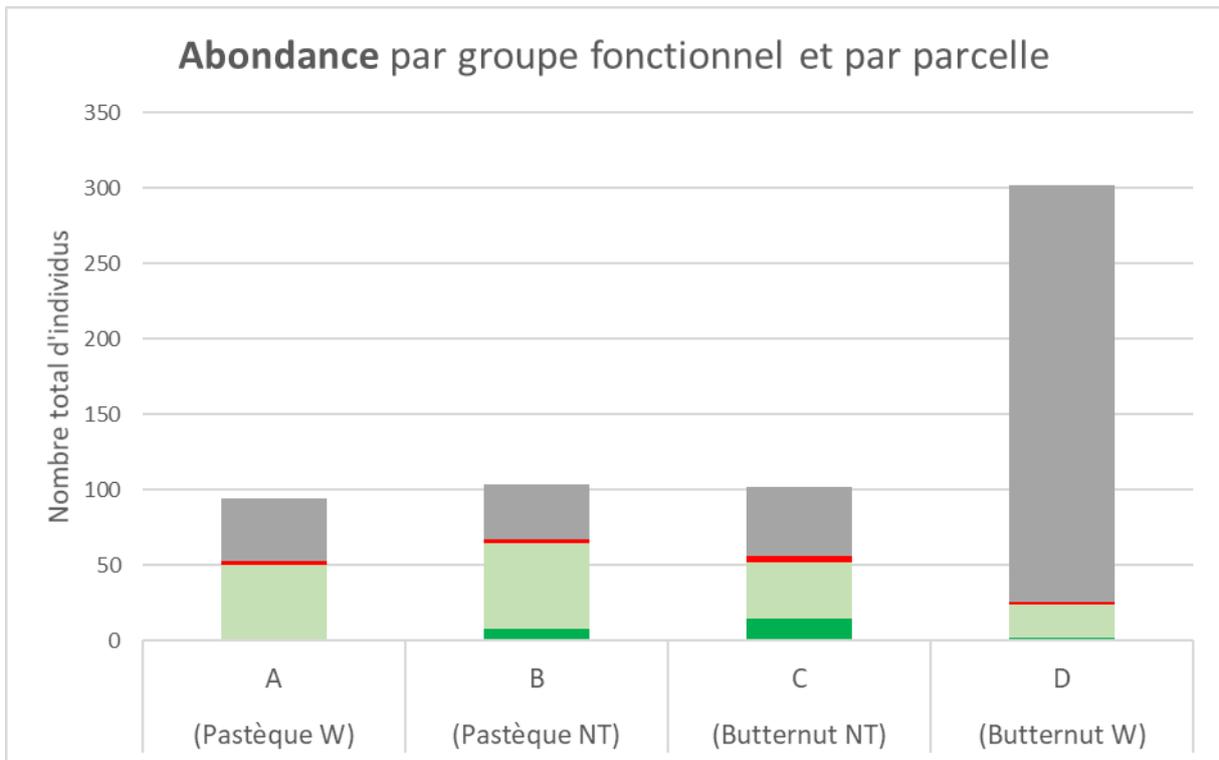
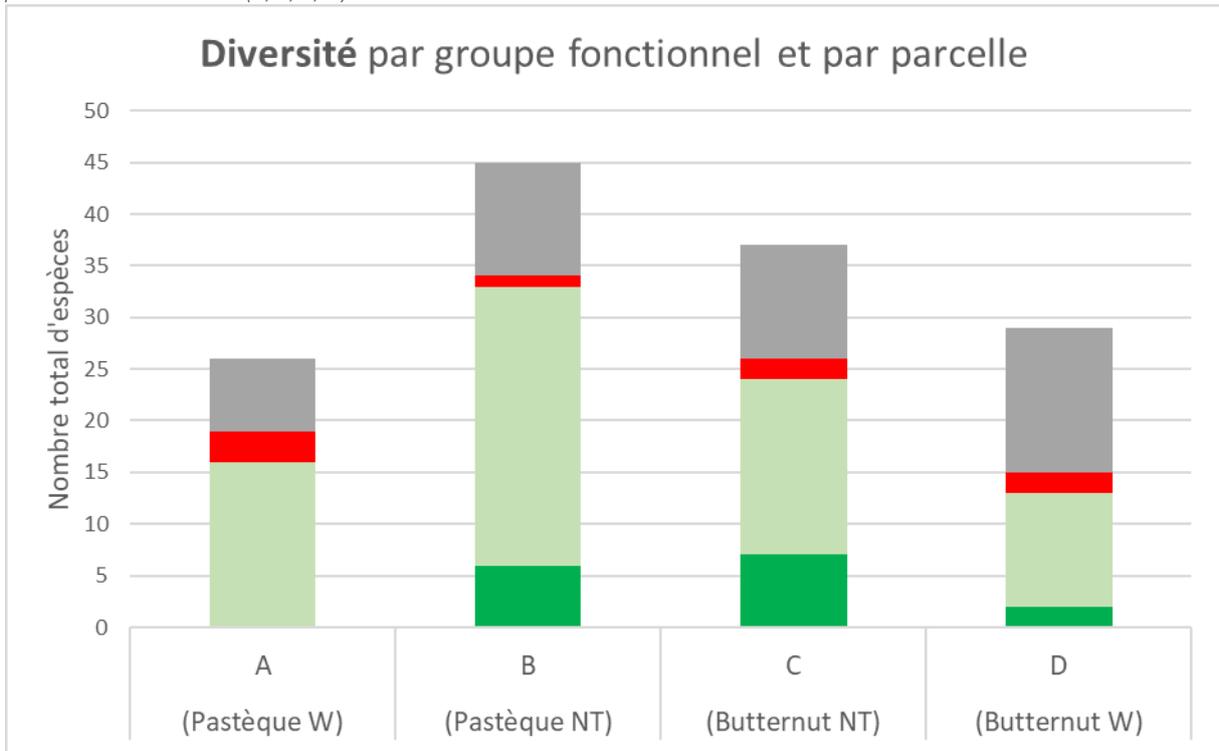
Annexe 21. Test bêche structure : résultats descriptifs par PE (NT = système MSV, W = témoin travaillé)

PE MODA	Global		Horizons: nombre et dimensions	Par horizon									
	Description de la surface	Classe de tassement		Compacité	Cailloux	Humidité	Engorgement	Degradation MO	Bioturbation	Trous et galeries de lombrics	Etat interne des mottes	Assemblage des mottes	Regroupement des assemblages
PE-A W	60% sol nu (croute de battance et large fentes de dessiccation) + 40% adventices	Classe 2 : le bloc ne tient pas sur la bêche, plusieurs sous blocs discernables, avec des mottes soudées mais présentant de la porosité surtout lié à des fissurations	H0 = 0 - 1 cm	très compact	0%	sec	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	0/5	0/5	Pas de mottes, croute de battance uniquement		
			H1 = 1 - 15 cm	peu compact	0%	sec	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	1/5	1/5	Φ = moyennement poreux, fissurations internes	F = Fragmenté	o voir b = terre fine abondante, pas de cavité importante, ensemble fortement émiétté mais qql mottes décimétriques denses et peu poreuses
			H3 = 15 - 25 cm	meuble	0%	frais	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	0/5	0/5	Γ = forte porosité	F = Fragmenté	o = fortement émiétté
PE-B NT	80% mulch compost sur environ 8 cm (le prélèvement n'inclus pas ce mulch) + 20% adventices	Classe 1 : le bloc se tient sur la bêche et présente plusieurs fissures, avec des mottes ouvertes	H0 = 0 - 1 cm	meuble	0%	frais	RAS	résidus organiques relativement frais, majoritaire par rapport à la TF	0/5	0/5	Pas de mottes, majorité de résidus organique (60%) et présence de TF (40%)		
			H1 = 1 - 8 cm	peu compact	0%	frais	RAS	MO largement décomposée mais pas à 100%	3/5	4/5	Γ = forte porosité	SF = Soudé Facilement discernable	b voir o = qql mottes décimétriques, présences de fissurations/cavités structurales, facilement emiettable
			H3 = 8 - 25 cm	meuble	0%	humide mais friable	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	2/5	1/5	Γ voir Φ = de moyennement à fortement poreux	F = Fragmenté	o = fortement émiétté
PE-C NT	100% mulch compost sur environ 15 cm (le prélèvement n'inclus pas ce mulch)	Classe 1 : le bloc se tient sur la bêche et présente plusieurs fissures, avec des mottes ouvertes	H0 = 0 - 2 cm	meuble	0%	frais	RAS	résidus organiques relativement frais, majoritaire par rapport à la TF	0/5	0/5	Pas de mottes, majorité de résidus organique (75%) et présence de TF (25%)		
			H1 = 2 - 20 cm	peu compact	0%	frais	RAS	MO largement décomposée mais pas à 100%	3/5	4/5	Γ = forte porosité	SF = Soudé Facilement discernable	b voir o = qql mottes décimétriques, présences de fissurations/cavités structurales, facilement emiettable
			H3 = 20 - 25 cm	meuble	0%	humide mais friable	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	2/5	1/5	Γ voir Φ = de moyennement à fortement poreux	F = Fragmenté	o = fortement émiétté
PE-D W	70% sol nu (croute de battance et large fentes de dessiccation) + 30% adventices 70	Classe 2 : le bloc ne tient pas sur la bêche, plusieurs sous blocs discernables, avec des mottes soudées mais présentant de la porosité surtout lié à des fissurations	H0 = 0 - 1 cm	très compact	0%	sec	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	0/5	0/5	Pas de mottes, croute de battance uniquement		
			H1 = 1 - 10 cm	peu compact	0%	sec	RAS	MO largement décomposée mais pas à 100%	1/5	1/5	Φ = moyennement poreux, fissurations internes	SF à F = plutôt fragmenté, tendance à être soudé	o voir b = terre fine abondante, pas de cavité importante, ensemble fortement émiétté mais qql mottes décimétriques denses et peu poreuses
			H3 = 10 - 25 cm	meuble	0%	frais	RAS	pas de traces visibles de MO non décomposée	0/5	0/5	Φ voir Δ = peu poreux, début de fissurations internes	F = Fragmenté	o = fortement émiétté

Annexe 22. Test bêche lombrics : résultats (nb/m³) par espèces de lombrics, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par date de test (mai 2020, mars 2021 et mars 2022)

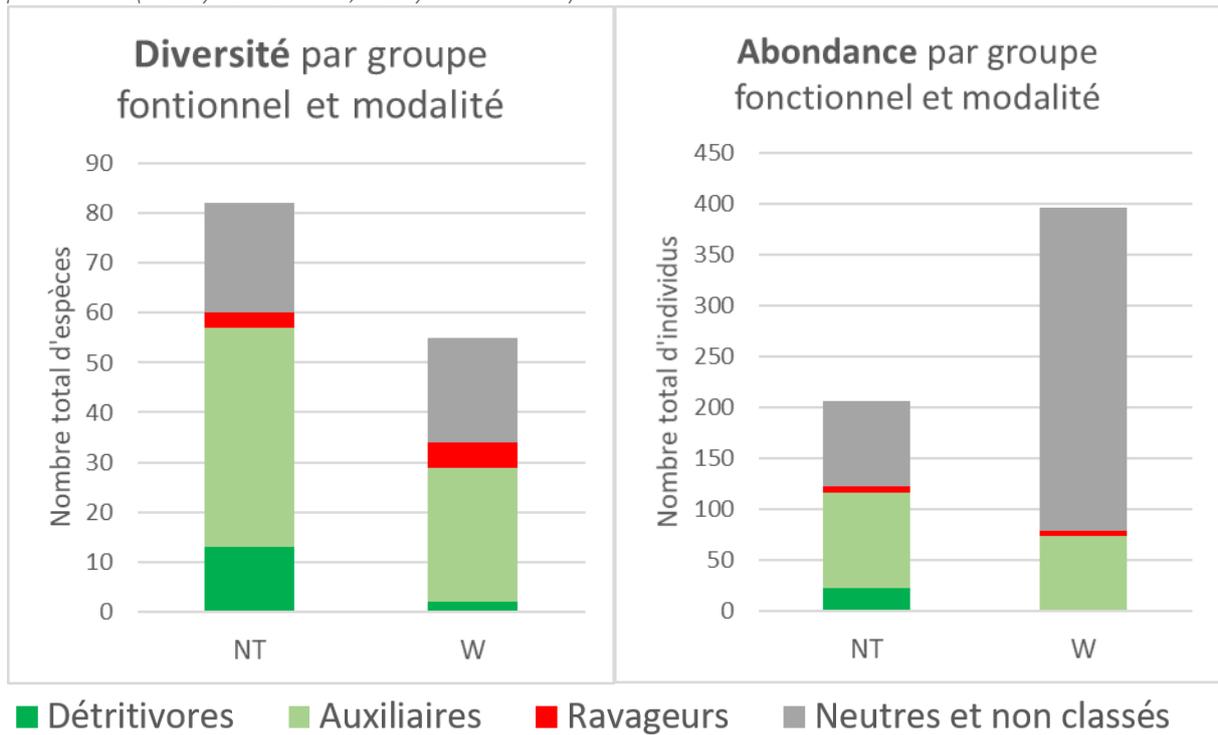


Annexe 23. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par Parcelle Élémentaire (A, B, C, D)

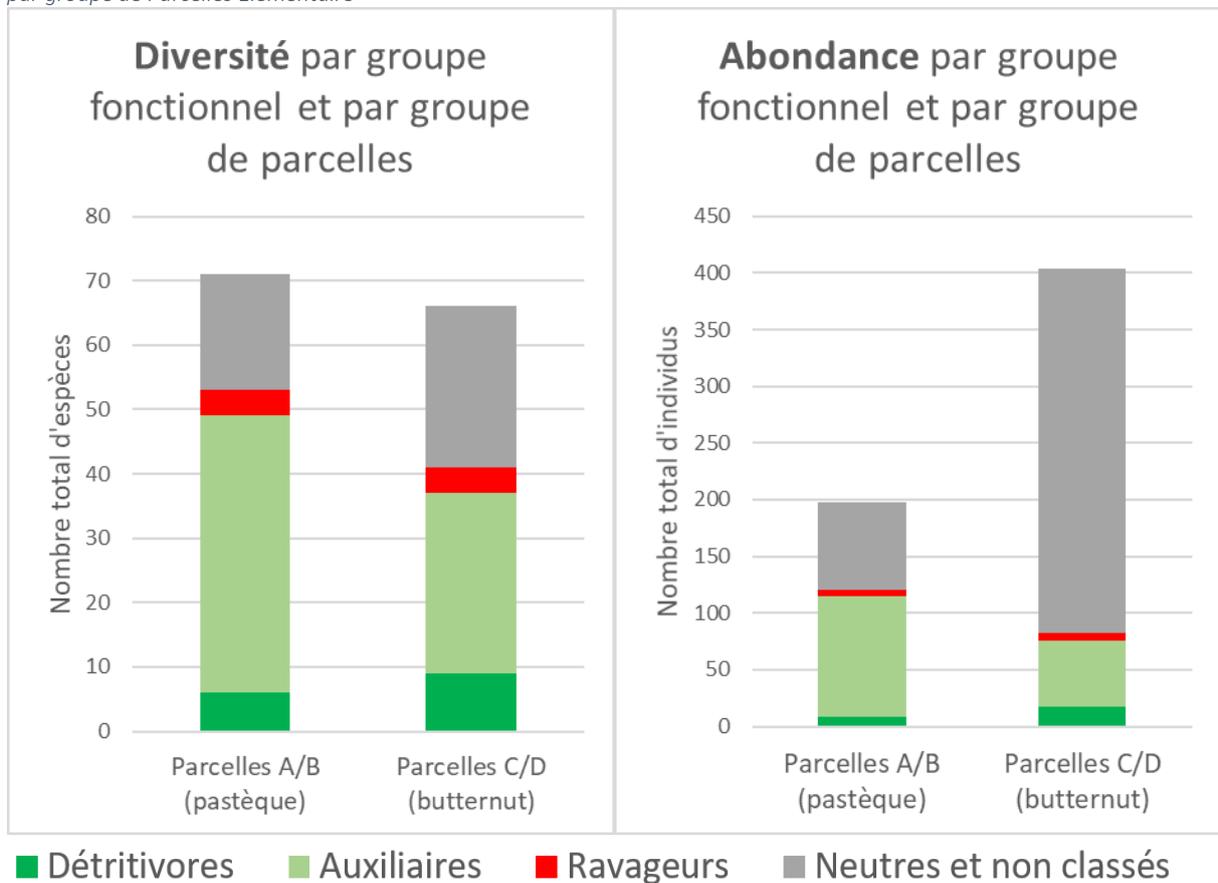


■ Détritivores
 ■ Auxiliaires
 ■ Ravageurs
 ■ Neutres et non classés

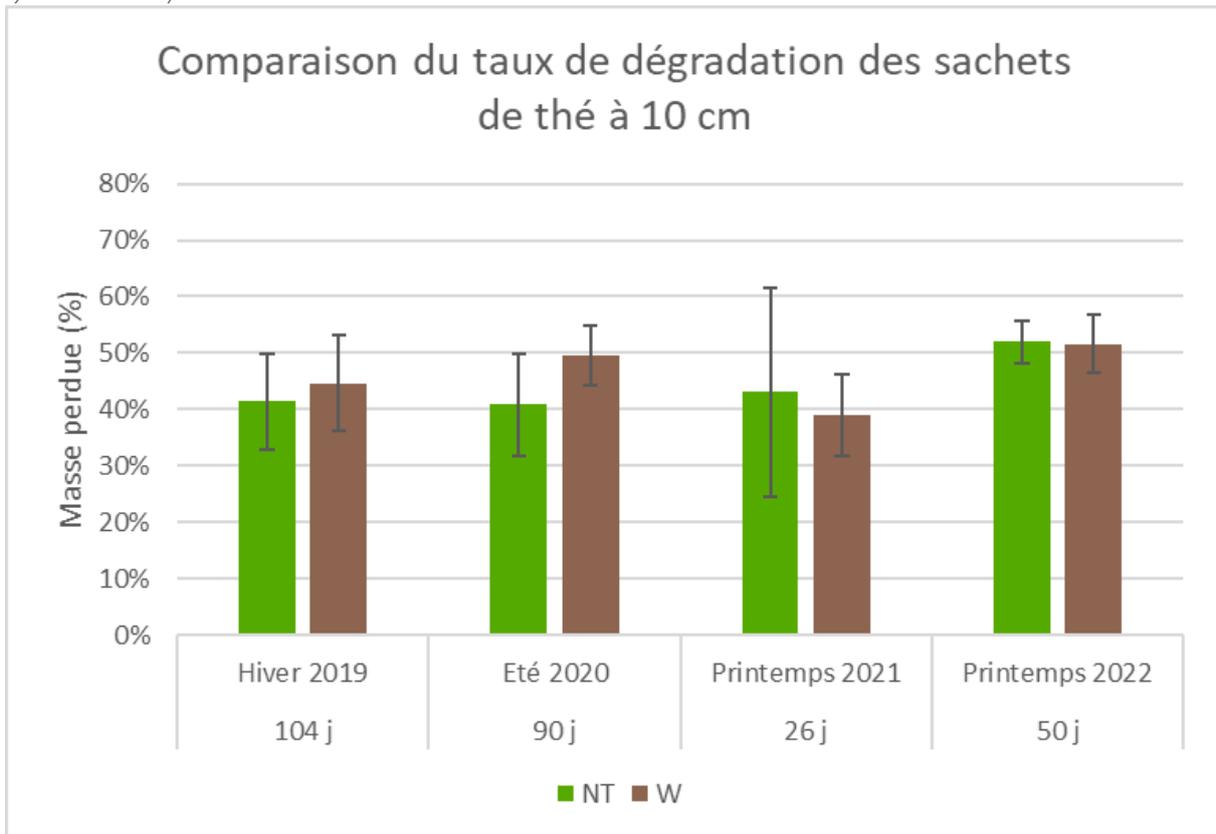
Annexe 24. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par modalité (NT = système en MSV, W = système travaillé)



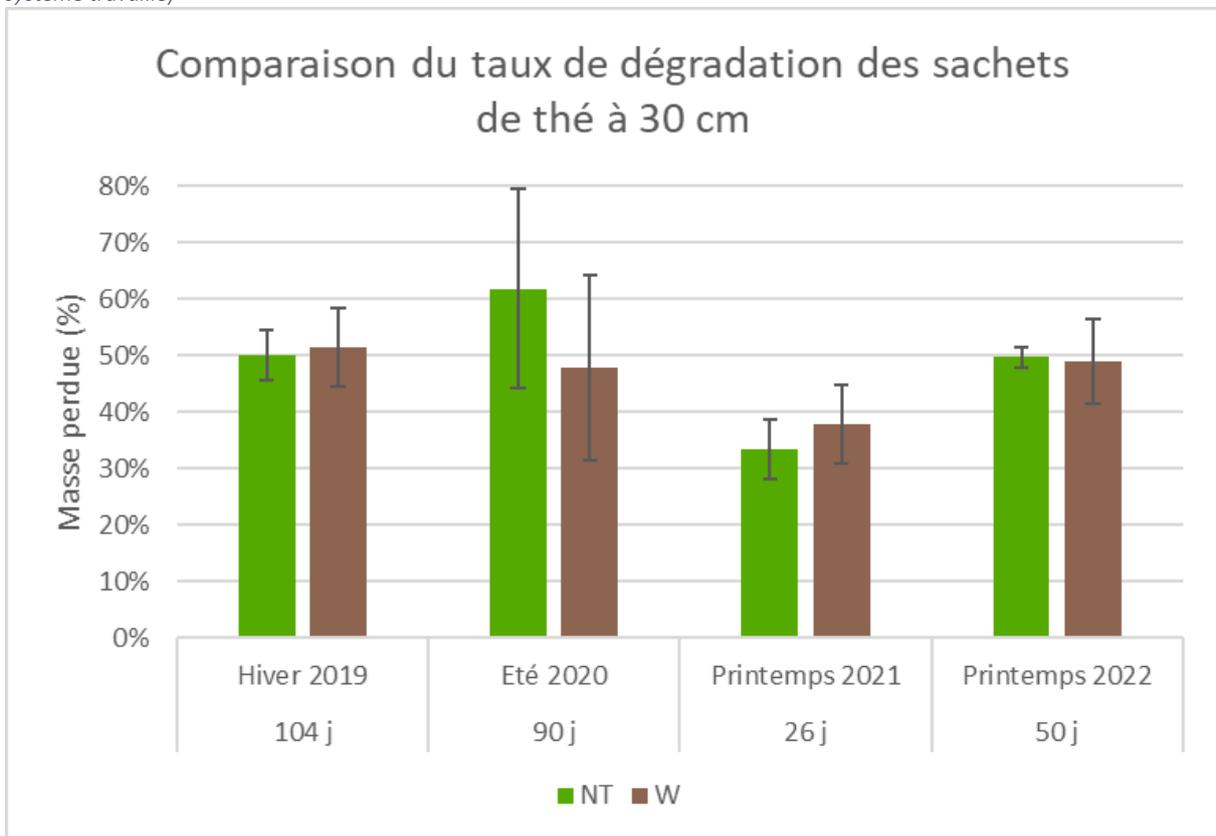
Annexe 25. Pièges barber : diversité (nombre d'espèces/PE) et abondance (nombre d'individus/PE), par groupe fonctionnel et par groupe de Parcelles Elementaire



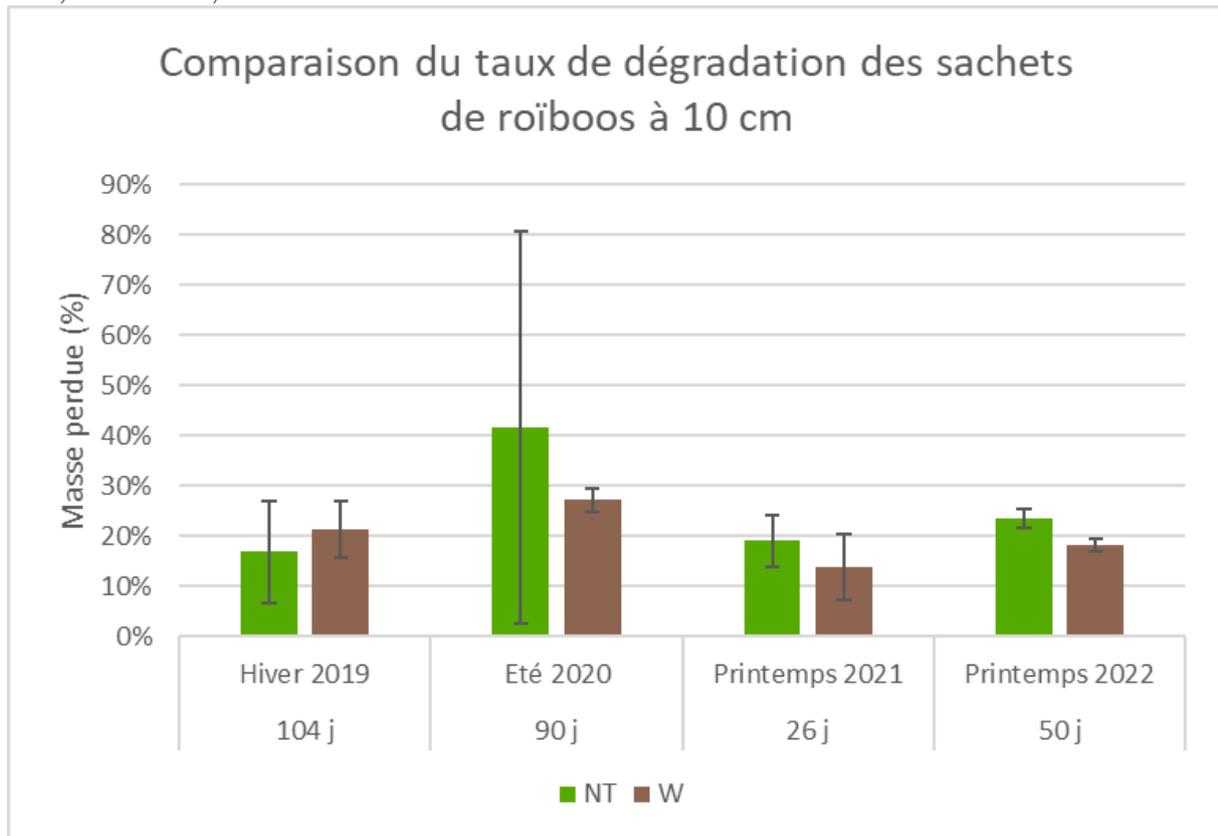
Annexe 26. Tests thé (10 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



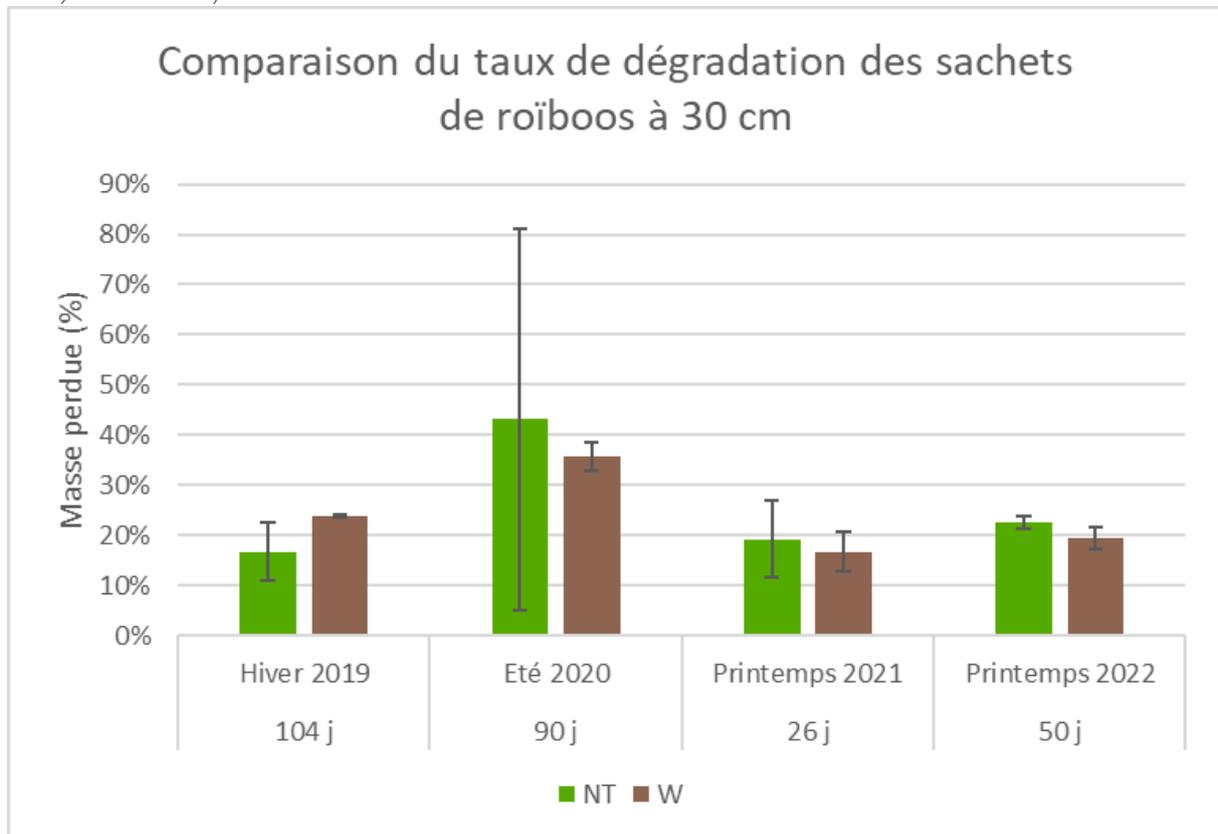
Annexe 27. Tests thé (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



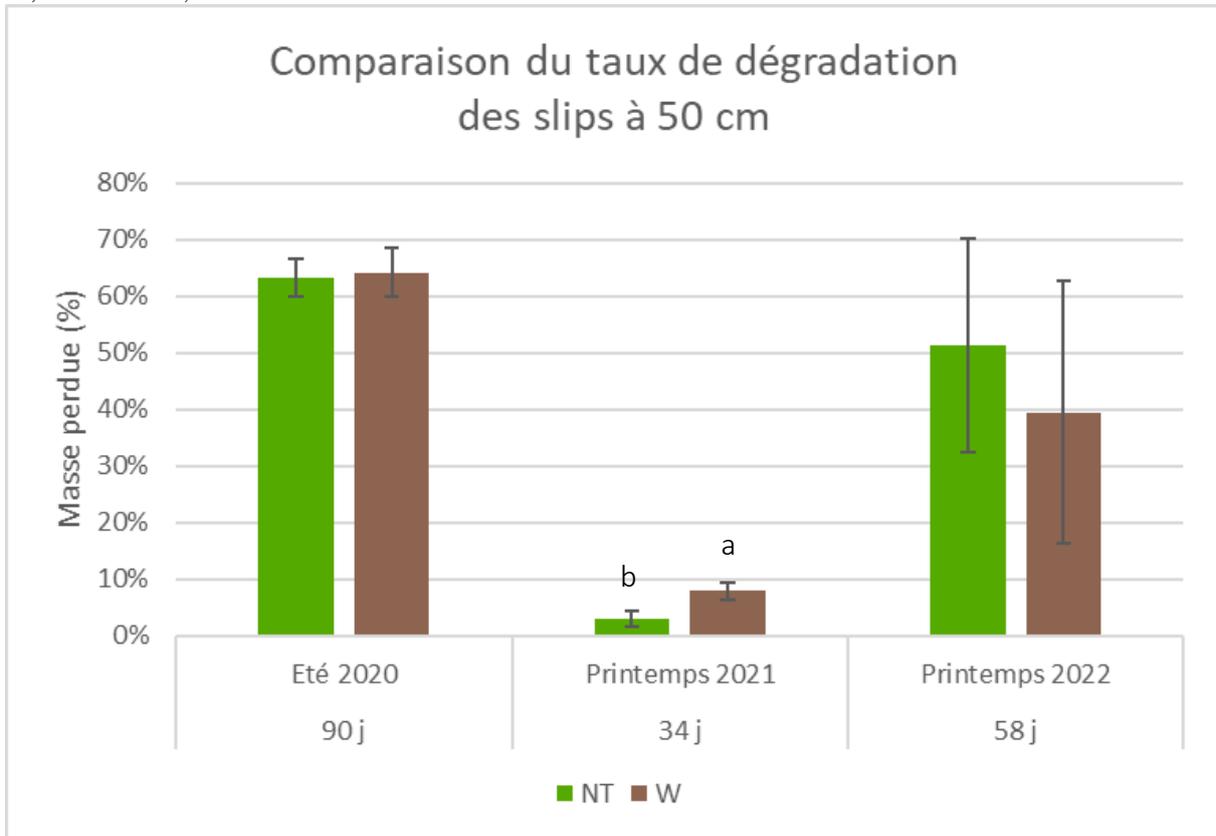
Annexe 28. Tests roiboos (10 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



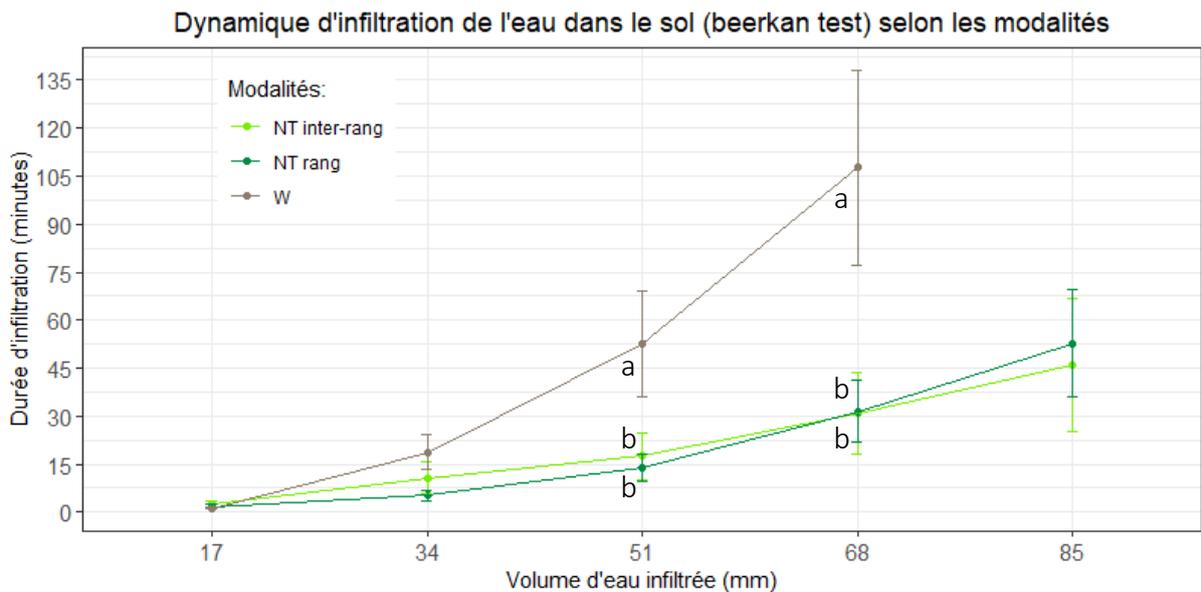
Annexe 29. Tests roiboos (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2019 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



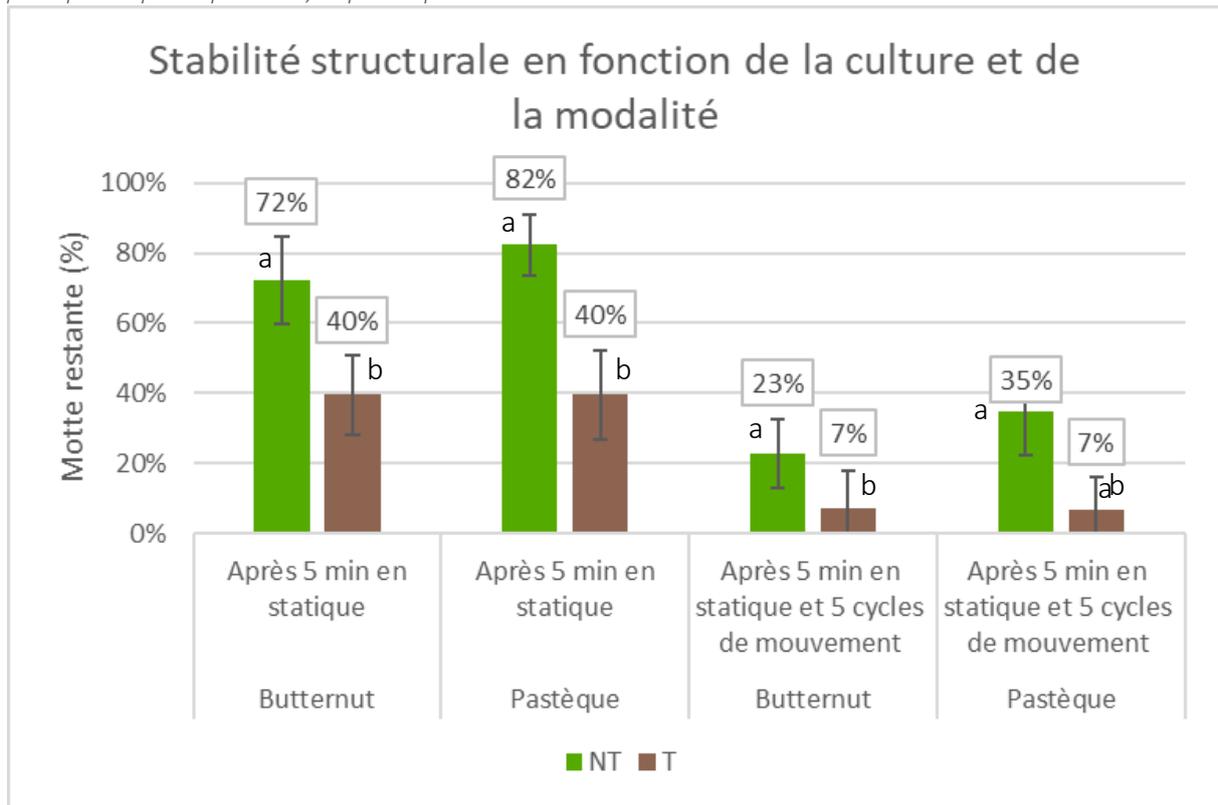
Annexe 30. Tests slips (30 cm) : résultats (pourcentage de masse perdue) de 2020 à 2022 par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



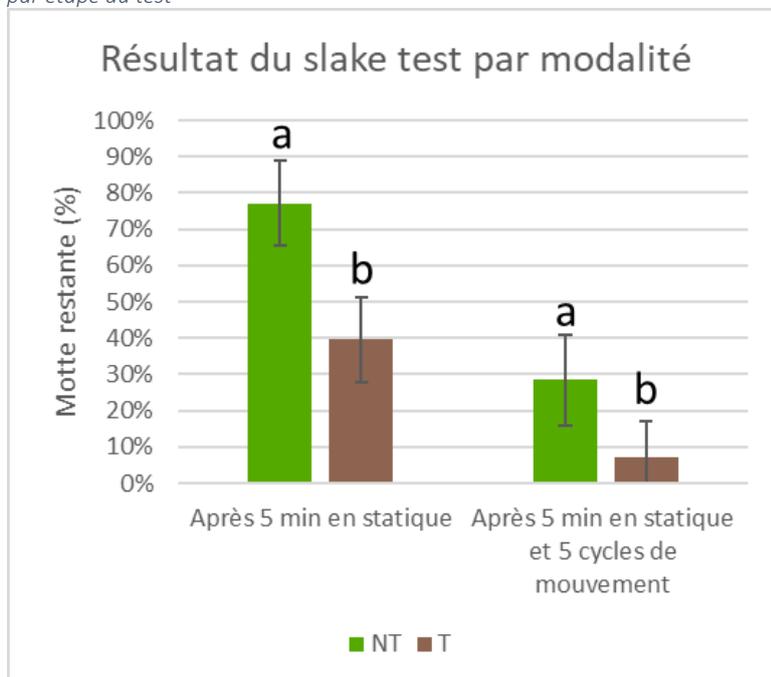
Annexe 31. Test Beerkan : dynamique d'infiltration de l'eau dans le sol (minutes/mm) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) au printemps 2022



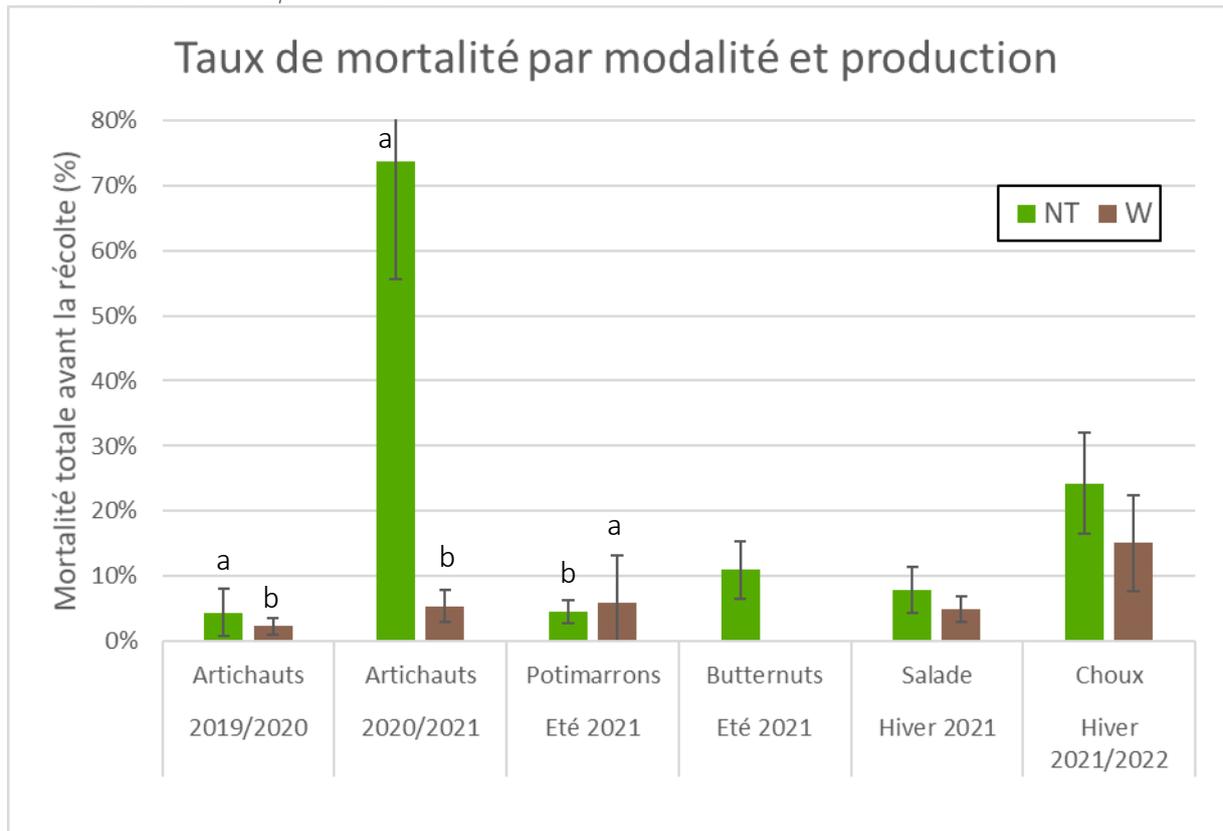
Annexe 32. Slake test : résultats (en pourcentage de motte restant) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), pas espèce et par étape du test, au printemps 2022



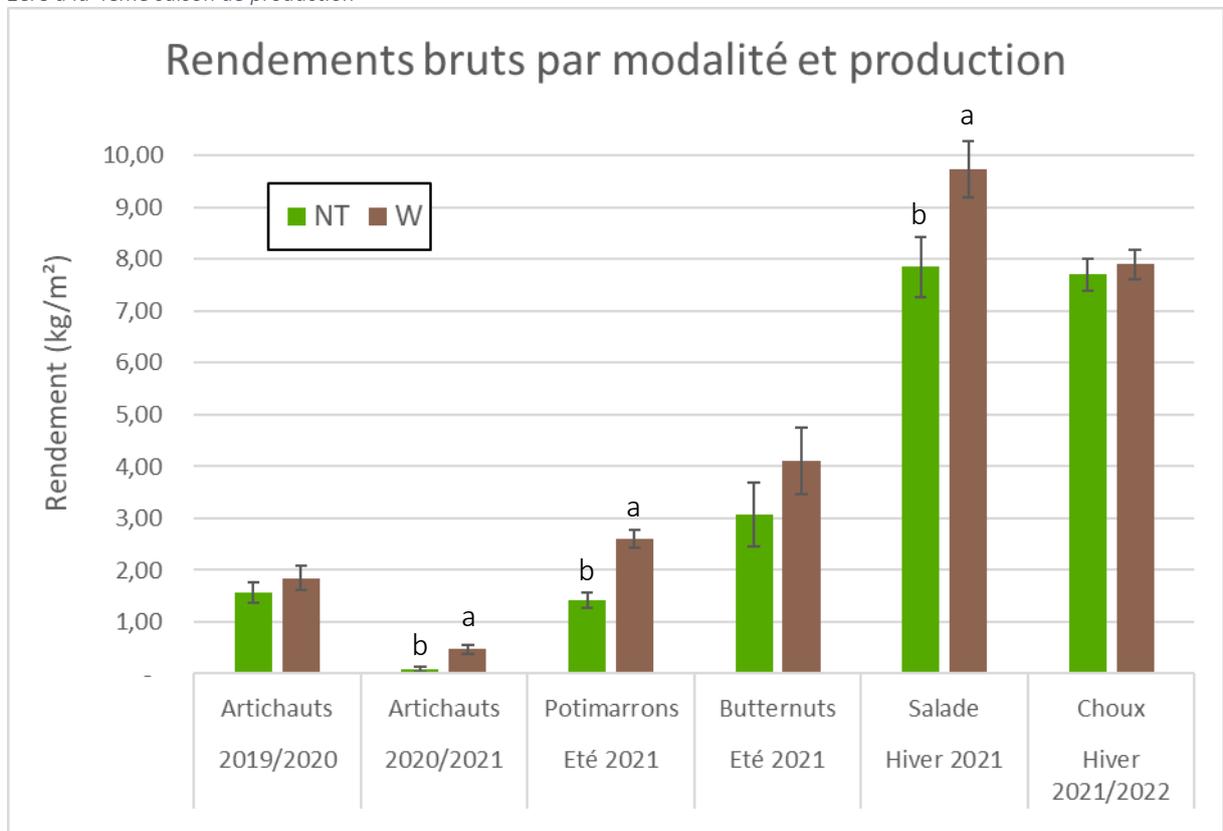
Annexe 33. Slake test : résultats (en pourcentage de motte restant) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par étape du test



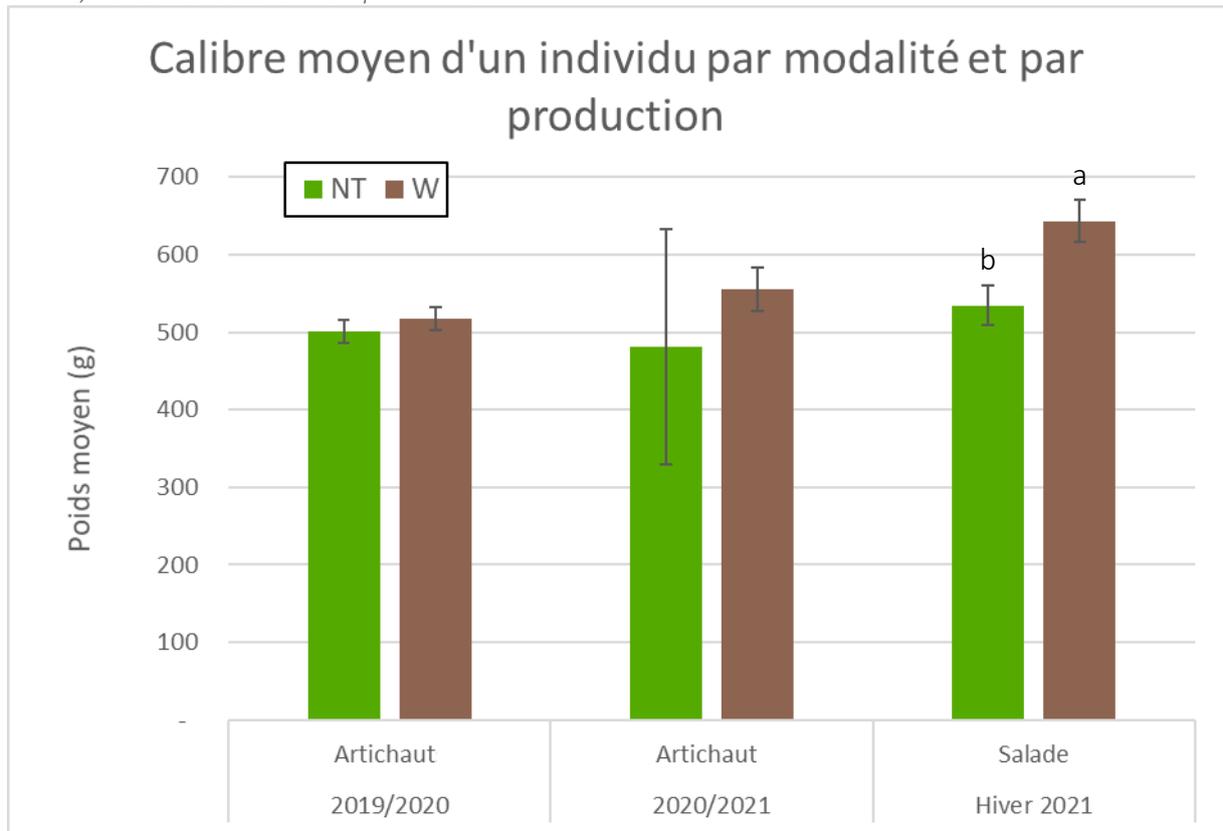
Annexe 34. Taux de mortalité avant la récolte, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1^{ère} à la 4^{ème} saison de production



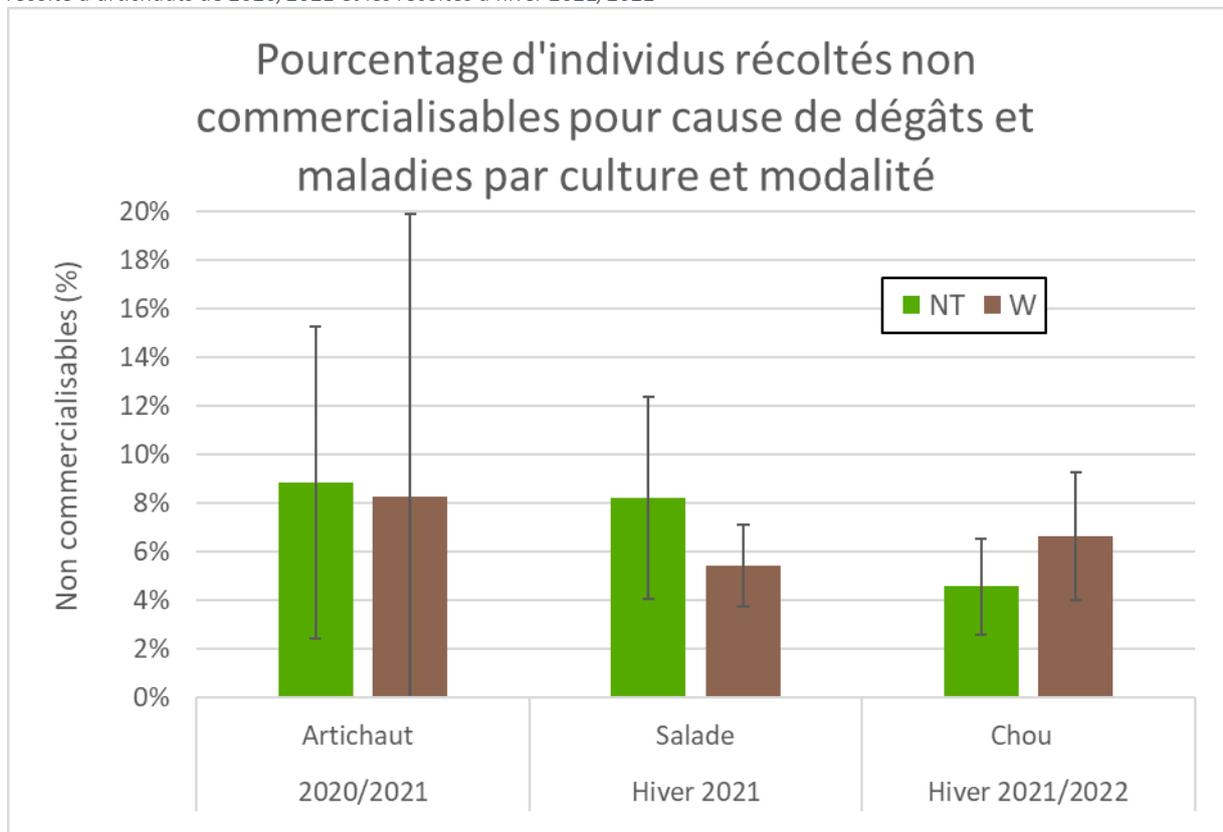
Annexe 35. Rendements bruts (en kg/m²) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1^{ère} à la 4^{ème} saison de production



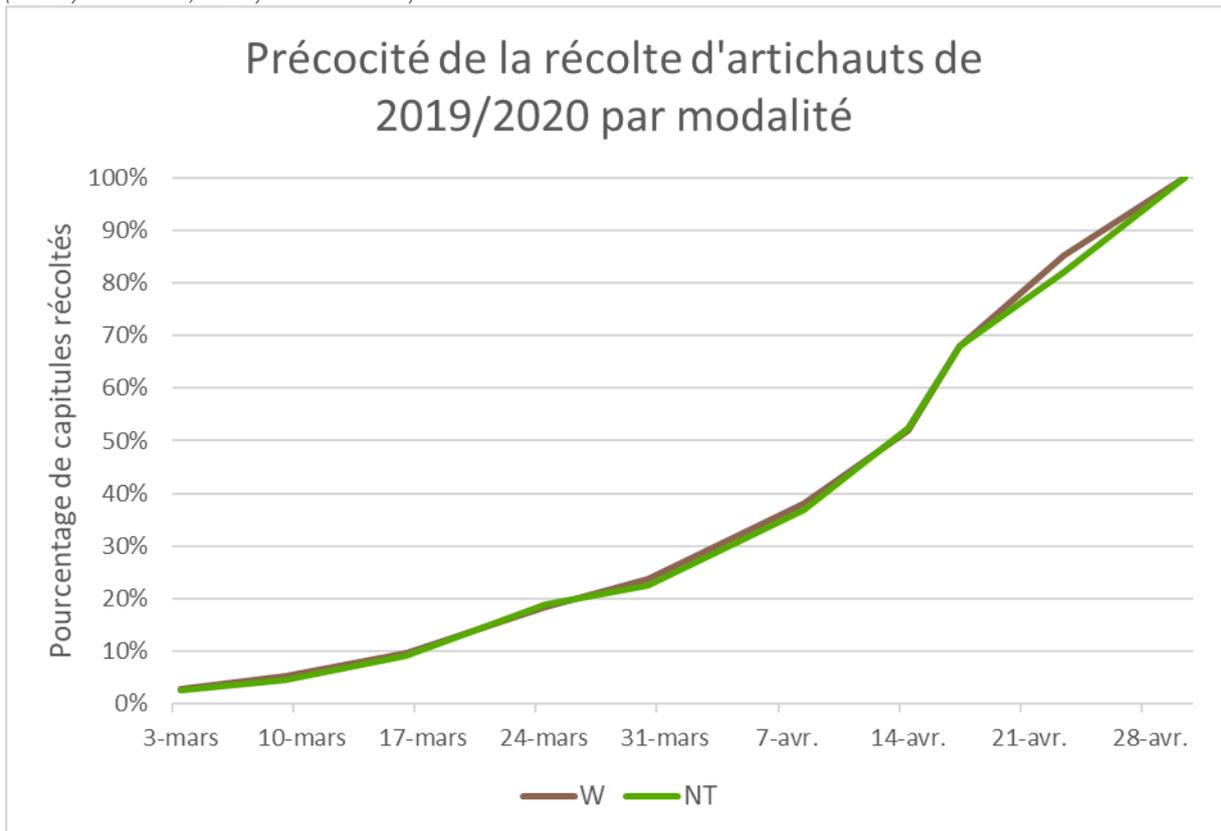
Annexe 36. Calibre moyen d'un individu (en g ou en kg) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par espèce cultivée, de la 1^{ère} à la 4^{ème} saison de production



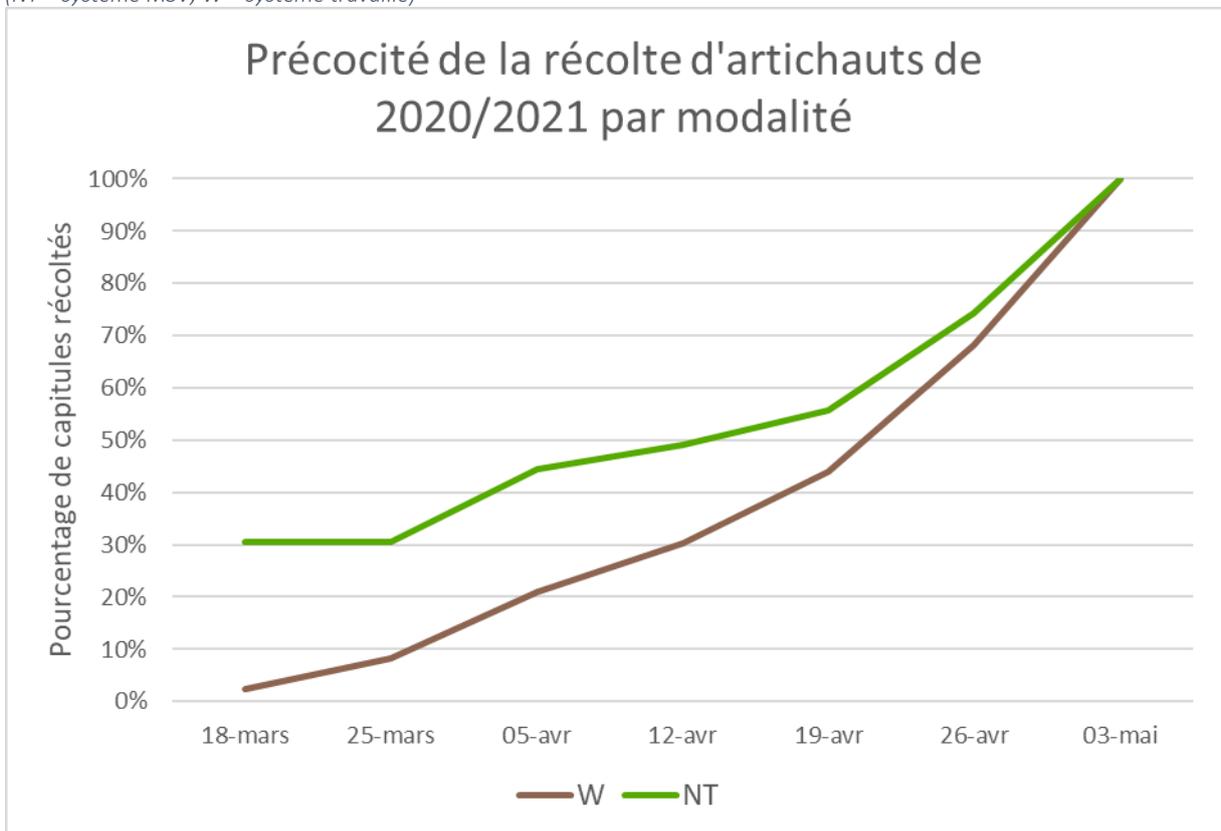
Annexe 37. Taux d'individus non commercialisables, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), concernant la récolte d'artichauts de 2020/2021 et les récoltes d'hiver 2021/2022



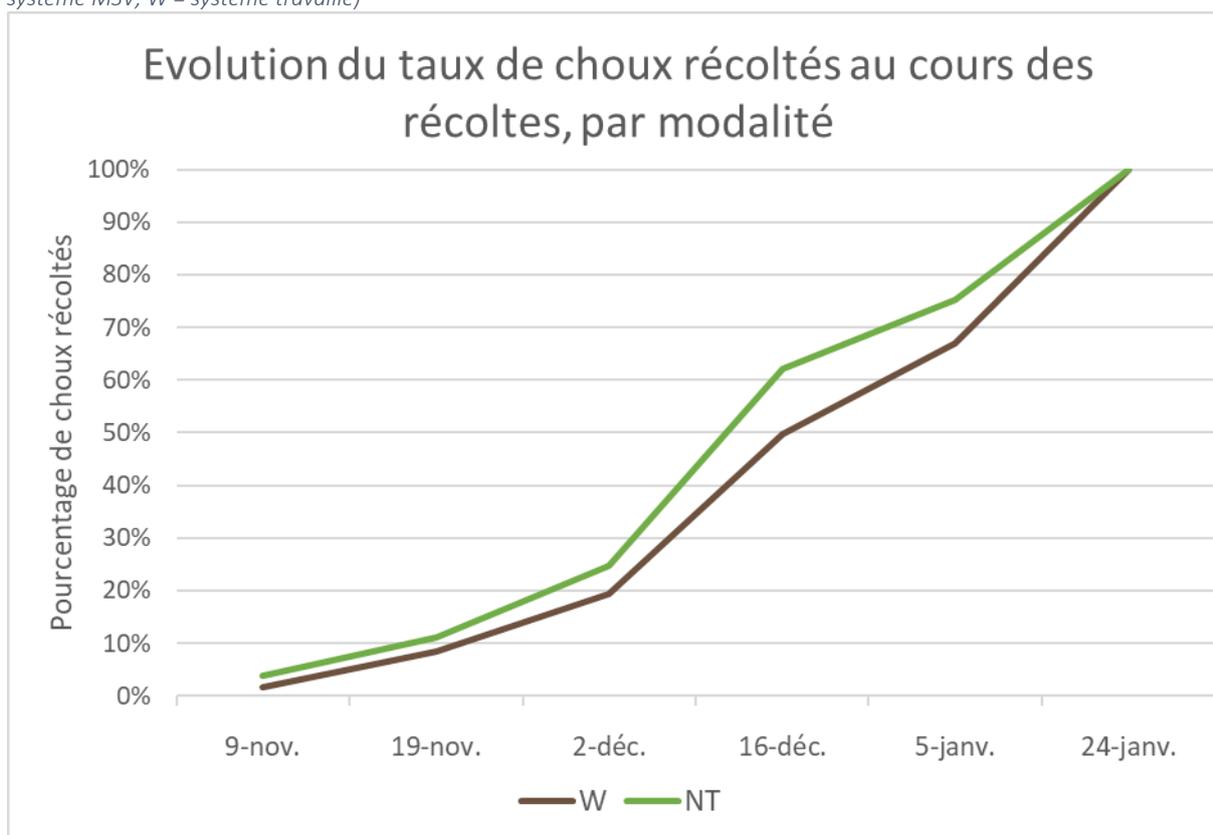
Annexe 38. Artichauts 2019/2020 : précocité de la récolte (pourcentage de capitules récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



Annexe 39. Artichauts 2020/2021 : précocité de la récolte (pourcentage de capitules récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



Annexe 40. Choux 2021/2022 : précocité de la récolte (pourcentage de choux récoltés par date de récolte) par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé)



Annexe 41. PE A et B : récapitulatif des IFT de septembre 2019 à juillet 2022 inclus, par Parcelle Élémentaire, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), et par saison de production

Production	PE (moda)	IFT insecticide		IFT fongicide		IFT herbicide		IFT totaux
		Chimique	Biocontrôle	Chimique	Biocontrôle	Chimique	Biocontrôle	
Artichauts 19/20	A (W)	3	0	5	6	0	0	14
	B (NT)	3	0	5	6	0	0	14
Artichauts 20/21	A (W)	3	2	3	1	0	0	9
	B (NT)	3	2	3	1	0	0	9
Butternuts 2021	A (W)	1	0	0	1	0	0	2
	B (NT)	1	0	0	1	0	0	2
Salades 2021	A (W)	1	2	4	1	0	0	8
	B (NT)	1	2	4	1	0,4	0	8,4
Pastèques 2022	A (W)	2	0	0,5	0	0	0	2,5
	B (NT)	2	0	0,5	0	0	0,3	2,8
Total	A (W)	10	4	12,5	9	0	0	35,5
	B (NT)	10	4	12,5	9	0,4	0,3	36,2

W = parcelle témoin, avec travail du sol

NT = parcelle en MSV sans travail du sol

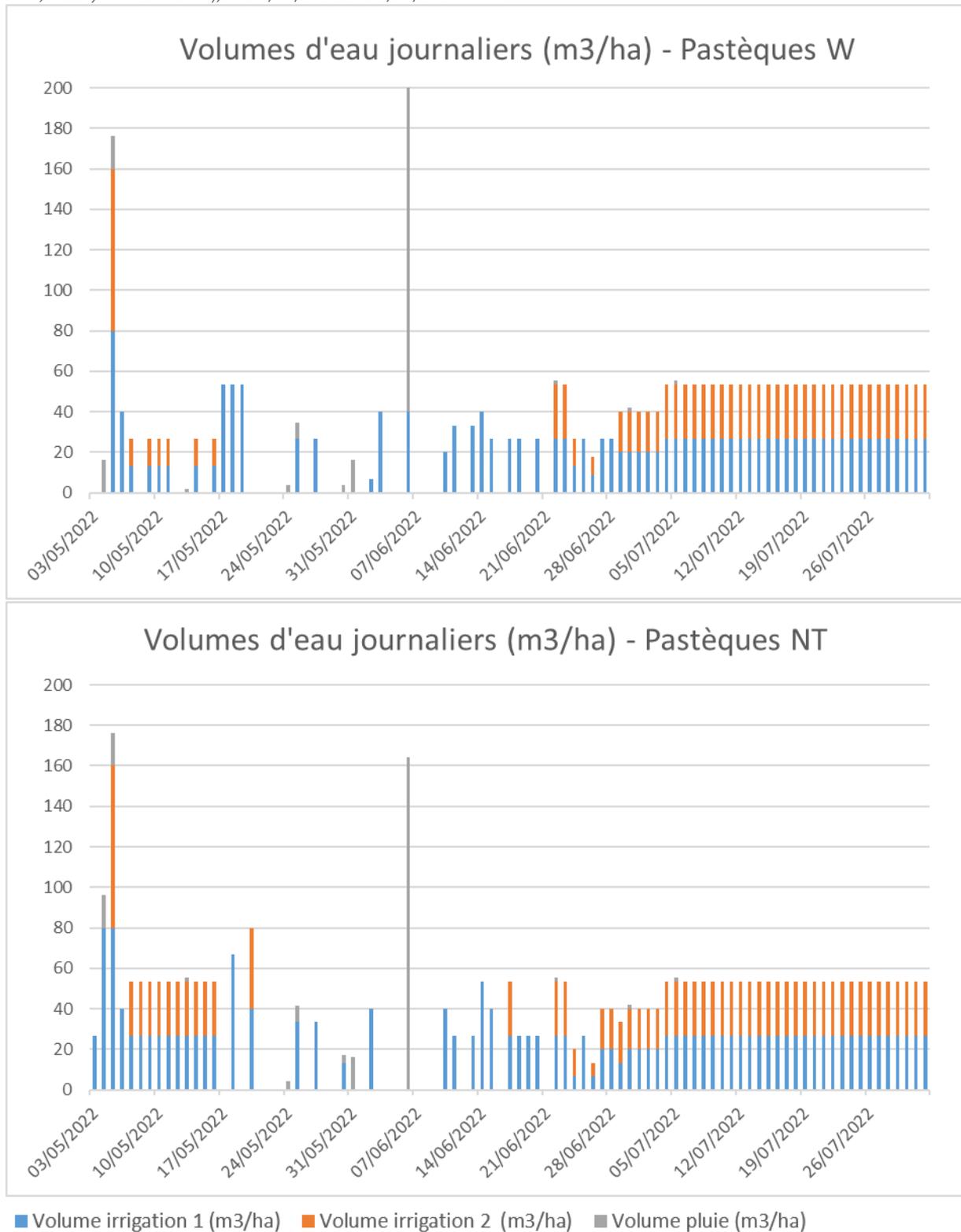
Annexe 42. PE C et D : récapitulatif des IFT de septembre 2019 à juillet 2022 inclus, par Parcelle Élémentaire, par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et par saison de production

Production	PE (moda)	IFT insecticide		IFT fongicide		IFT herbicide		IFT totaux
		Chimique	Biocontrôle	Chimique	Biocontrôle	Chimique	Biocontrôle	
Artichauts 19/20	D (W)	3	0	5	6	0	0	14
	C (NT)	3	0	5	6	0	0	14
Artichauts 20/21	D (W)	3	2	3	1	0	0	9
	C (NT)	3	2	3	1	0	0	9
Potimarrons 2021	D (W)	1	0	0	1	0	0	2
	C (NT)	1	0	0	1	0	0	2
Choux 2021	D (W)	2	4	1	0,6	0	0	7,6
	C (NT)	2	4	1	0,6	0,4	0	8
Butternuts 2022	D (W)	1	1	1,5	0	0	0	3,5
	C (NT)	1	1	1,5	0	0,2	0	3,7
Total	D (W)	10	7	10,5	8,6	0	0	36,1
	C (NT)	10	7	10,5	8,6	0,6	0	36,7

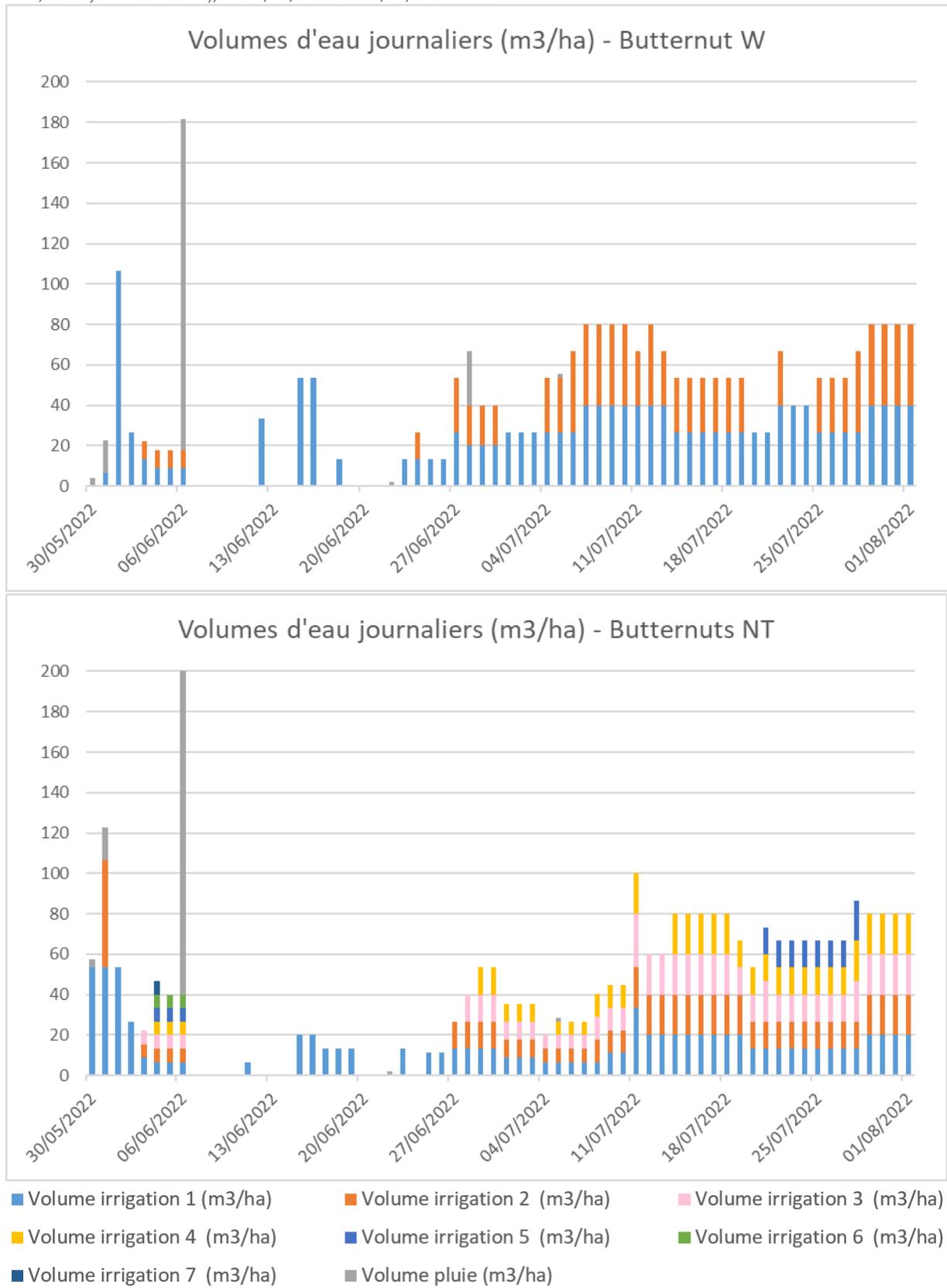
W = parcelle témoin, avec travail du sol

NT = parcelle en MSV sans travail du sol

Annexe 43. Apport d'eau (pluie et irrigations) quotidien sur les cultures de pastèques (en m³/h), par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), du 03/05/2022 au 01/08/2022 inclus



Annexe 44. Apport d'eau (pluie et irrigations) quotidien sur les cultures de butternuts (en m3/h), par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé), du 03/05/2022 au 01/08/2022 inclus



Annexe 46. Salades 2022 : temps de travaux (heures décimales) et nombre de passages, par poste de travail et par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et cumul par type d'outils nécessitant du carburant fossile, du début de culture jusqu'au 01/08/2022 et hors récolte

	Non travaillé (NT)		Travaillé (W)	
	heures	nb passages	heures	nb passages
Préparation	47,75	19	50,5	22
Fertilisation	0,25	1	0,25	1
Rotovator	0	0	1,25	1
Paillage/Irrigation	6	1	7	1
Plantation	11	1	11	1
Entretien	30,5	16	30	17
Rotovator	0	0	1	1
Tondeuse	1,5	1	0	0
Traitement de couverture	5	4	5	4
Desherbage manuel	1	1	0	0
Fin de culture	11,5	5	12	6
Récolte	9,5	2	9,5	2
Retrait irrigation	0,25	1	0,25	1
Broyage	0,25	1	0,25	1
Décompactage	0	0	2	2
Motoculteur	1,5	1	0	0
Total	89,75	40	92,5	45
Tracteur	6	5	10,5	10
Motoculteur	3	2	0	0
Tondeuse				

Annexe 45. Pastèques 2021 : temps de travaux (heures décimales) et nombre de passages, par poste de travail et par modalité (NT = système MSV, W = système travaillé) et cumul par type d'outils nécessitant du carburant fossile, sur l'intégralité de la culture

	Non travaillé (NT)		Travaillé (W)	
	heures	nb passages	heures	nb passages
Préparation	31,75	7	12,75	5
Ammendement	22	1	0	0
Fertilisation	0,5	1	0,5	1
Tonte	2	1	0	0
Desherbage chimique	1,5	1	0	0
Travail du sol	0	0	1	1
Paillage/Irrigation	1,5	2	7,25	2
Plantation	4,25	1	4	1
Entretien	18,5	21	4,75	11
Reprise	1,5	6	1,5	6
Fertilisation	1,5	3	0	0
Tondeuse	1	2	0	0
Traitement de couverture	1,75	3	1,75	3
Desherbage manuel	12,75	7	1,5	2
Total	50,25	28	17,5	16
Tracteur	8	1	7	5
Atomiseur				
Motoculteur	5	6	0,5	1
Tondeuse				