

LA
M  ix
de demain

A

COMITE DES FRUITS À COQUES DU LOT

FÉVRIER 2018/SEPTEMBRE 2023

Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciements | 4 |
| Introduction | 5 |
| 1. La filière nucicole en quelques chiffres | 6 |
| 1.1 Une production française historique mais marginale à l'échelle mondiale | 6 |
| 1.2 Une filière française tournée vers l'export et soumise à la concurrence | 7 |
| 1.3 Une filière en crise et des prix à la production en berne | 8 |
| 2. La nuciculture lotoise | 9 |
| 2.1 La production de noix dans le Lot | 9 |
| 2.2 La Noix de Demain, un verger de producteurs spécialisés | 10 |
| 3. Le Comité du Noyer du Lot, en quête de solutions alternatives biologiques | 11 |
| 3.1 Qui sommes-nous ? | 11 |
| 3.2 'La Noix de Demain', porté par des producteurs | 13 |
| 3.3 Un projet multipartenarial | 13 |
| 3.3.1 Les partenaires techniques et scientifiques du projet | 14 |
| 3.3.2 Les partenaires financiers du projet | 15 |
| 3.3.3 Durée du projet | 16 |
| 4. Améliorer les techniques de production | 18 |
| 4.1 Une Démarche holistique | 18 |
| 4.1.1 L'optimisation de la santé des arbres et l'équilibre sol-plante-microorganismes au cœur du projet | 21 |
| 4.1.2 L'étude du couple pH/redox sur noyer | 21 |
| 4.2 Mise en œuvre des essais système | 22 |
| 4.2.1 Les parcelles d'essai | 22 |
| 4.2.2 Protocole commun adapté au cas par cas | 24 |
| 4.3 Les outils de suivi des essais système | 24 |
| 4.3.1 Le suivi récolte : un outil d'appréciation quantitative et qualitative de la production | 24 |
| 4.3.2 Le suivi du potentiel de production des vergers par la méthode des comptages de fleurs et fruits | 25 |
| 4.3.3 Le suivi nutritionnel des arbres par analyses de feuilles et analyses de sève | 27 |
| 4.4 Les résultats des essais système | 28 |
| 4.4.1 Résultats techniques 2018-2021 | 31 |
| 4.4.2 intérêt économique des pratiques de l'essai système | 31 |
| 4.4.3 Essai système 2021-2022 sur Lifofer et biofertilisants | 33 |
| 4.5 Travaux complémentaires | 33 |
| 4.5.1 Essai retardateur de débourrement | 34 |
| 4.5.2 Essais nutrition | 34 |
| 4.5.3 Travail sur la mise en réserve des arbres et les hormones | 36 |

| | |
|--|----|
| 4.5.4 Travail sur l'efficacité des applications foliaires | 37 |
| 4.5.5 Technique de formation des jeunes vergers améliorée | |
| 4.6 Bilan des essais systèmes et perspectives | 39 |
| 5. Etat d'avancement et projet de développement de la lutte par bactériophage | 40 |
| 5.1 Principe de fonctionnement de la lutte alternative | 41 |
| 5.2 Etat d'avancement de la lutte alternative | 41 |
| 5.2.1 Travaux d'identification et de sélection des bactériophages | 42 |
| 5.2.2 Essai en verger, à la station expérimentale de Creysse | 47 |
| 5.3 PHAG2-S , la prolongation des recherches | 58 |
| 6. Etat d'avancement et projet de développement de la lutte biologique contre la mouche du brou (Dr Campan, laboratoire LEFE). | 49 |
| 6.1. Etude des facteurs abiotiques | 51 |
| 6.2. Etude sur l'entomofaune et recherche d'un auxiliaire indigène | 52 |
| 6.3. Elevage de la mouche | 54 |
| 6.4. Les phéromones de marquage - Etude bibliographique | 59 |
| 6.5. Les nématodes entomopathogènes | 58 |
| 6.6. Les champignons entomopathogènes | 59 |
| 6.7. Recherche d'une micro-guêpes parasitoïde - Etude bibliographique | 61 |
| 7. Bilan sur la communication et les échanges du groupe | 63 |
| Conclusion | 65 |

❖ Rédaction

Lydie Leymarie Lachaud, Roseline Teillard (comité des fruits à coques du Lot), Erick Campan (laboratoire LEFE)

Ce travail a été réalisé à partir d'une synthèse des travaux effectués lors du programme de la Noix de Demain, en particulier :

- les comptes rendus de points techniques et présentation de résultats d'essai et travaux de recherche,
- les formations organisées pour les producteurs,
- les mémoires de fin d'études d'ingénieur de Justine Chazalviel (Etude de la relation entre potentiel redox et état sanitaire sur noyers pour la mise en place d'un indicateur systémique de la santé de l'arbre, 2020) et Mathilde Arrouze (la Noix de Demain, synthèse pluriannuelle des essais systèmes innovants en nuciculture, 2021) .

❖ Remerciements

Nos vifs remerciements et notre profonde gratitude vont à toutes celles et ceux qui ont apporté leur contribution au bon déroulement du projet la Noix de Demain :

- l'ensemble des producteurs pour leur initiative et leur implication dans la mise en oeuvre des essais, mais également pour leur engagement financier dans le projet,
- l'équipe de la Noix de demain, salarié et stagiaires, qui a oeuvré à sa réalisation,
- les partenaires techniques du projet, chambre d'agriculture du lot et station expérimentale de Creysse,
- nos partenaires chiliens du laboratoire Agroadvance,
- les partenaires scientifiques qui ont interagi dans un but commun,
- les financeurs pour leur concours financier, sans qui ce projet n'aurait pas pu voir le jour.

❖ **Personnes ayant participé au projet**

• **Stagiaires du Comité des fruits à coques :**

- 2018 :
 - Alexandre PORTIER du 05/03/2018 au 31/08/2018, étudiant ingénieur agricole, à UniLaSalle de Beauvais.
 - Morgan ADA du 26/03/2018 au 25/05/2018, étudiante en EMBVBE-M1 BV-EVE université Toulouse III - Paul Sabatier
- 2019 :
 - Achraf ESSABIRI du 01/04/2019 au 30/09/2019, étudiant en Master 2 Gestion agricole et territoire au sein de CIHEAM-IAMM à Montpellier.
 - Louis-Marie D'ORGEVILLE du 13/05/2019 au 02/08/2019, étudiant en BTSA Agronomie productions végétales au sein de l'institut Charles Quentin à Pierrefonds
- 2020 :
 - Matthias BURELLI du 09/03/2020 au 31/08/2020, étudiant en Master 2 Qualité des productions alimentaires au sein de l'université de Corte UFR Sciences et Technique de Corse.
 - Mathilde ARROUZE du 02/06/2020 au 26/06/2020, étudiante ingénieur agricole au sein de l'école d'ingénieurs de Purpan.
- 2021 :
 - Mélanie BORDES du 29/03/2023 au 15/06/2021, étudiante en Master biologie végétale parcours adaptations, développement, amélioration des plantes, en association avec les microorganismes, Université Toulouse III, Paul Sabatier.
 - Alban MULLER du 05/07/2021 au 27/0/2021, étudiant en première année d'ingénieur agronome au sein de VetAgro Sup de Clermont Ferrand
 - Mathilde ARROUZE du 11/01/2021 au 27/06/2021, étudiante ingénieur agricole au sein de l'école d'ingénieurs de Purpan.
- 2022 :
 - Senami, Priscille DOSSA du 18/04/2022 au 19/08/2022, étudiante ingénieure à UniLaSalle, Beauvais

• **Equipe technique, direction**

- Lydie LEYMARIE LACHAUD, ingénieure agronome en Recherche et développement, directrice du programme Noix de demain.
- Aurélien FREGEAT, ingénieur agronome, en remplacement congés maternité de Lydie LEYMARIE LACHAUD du 01/04/2019 au 31/12/2019
- Justine CHAZALVIEL, élève ingénieure agronome à l'ENSAT de Toulouse, en apprentissage du 25/03/2019 au 30/09/2020
- Mathilde ARROUZE, Ingénieure agronome, du 04/10/2021 au 19/11/2021
- Roseline TEILLARD, Assistante administrative.

Introduction

La France est dixième producteur mondial et premier producteur européen. La noyeraie française est aujourd'hui le deuxième verger français en termes de superficie. Âgé et conduit traditionnellement, le verger national produit peu et rivalise difficilement avec les géants mondiaux de la noix que sont les Etats-Unis et le Chili. En tant que troisième exportateur mondial, la nuciculture française est en concurrence directe avec les nucicultures américaines et chiliennes ultra-productivistes qui dominent le marché hyperconcurrentiel de l'exportation. Malgré deux appellations d'origine, Noix de Grenoble et Noix du Périgord, représentant respectivement les deux bassins de production français, la filière est malmenée. La concurrence mondiale, la chute des prix à la production, la menace du changement climatique et les restrictions d'utilisation des produits phytosanitaires exercent une pression forte sur la filière. Il est urgent pour la nuciculture française de se mobiliser et d'innover pour s'adapter et pérenniser cette activité patrimoniale en modernisant et intensifiant ses vergers pour gagner en compétitivité.

Dans ce contexte, un noyau de producteurs volontaires et membres du Comité interprofessionnel des fruits à coques du Lot, s'est regroupé en 2018 autour d'un Groupe opérationnel du partenariat européen pour l'innovation (GOPEI). C'est un projet de recherche pluriannuel, transdisciplinaire et multi-partenarial visant à répondre aux enjeux nucicoles économiques, techniques, environnementaux et sociaux actuels.

Les travaux ont été regroupés autour de trois axes de travail principaux, dont nous présenterons successivement les résultats. Le premier thème de travail est celui des essais système, fondés sur l'intégration de biostimulants et le monitoring de la production par le suivi de l'état nutritionnel des arbres et sur la compréhension des systèmes sol/plantes/microorganismes. L'ambition est de tester de manière holistique, des itinéraires techniques innovants inspirés du modèle chilien, et d'évaluer leur efficacité et compatibilité technique et économique avec le système nucicole du bassin Sud-Ouest. De façon plus pragmatique, les essais ambitionnent d'accroître les volumes produits, d'améliorer la qualité et d'optimiser les coûts de production pour gagner en performance et en rentabilité économique grâce à ses nouvelles pratiques.

Le GOPEI s'est également attaché à rechercher une méthode de lutte contre la bactériose du noyer et les maladies fongiques associées par bactériophages. Cet axe de travail sera présenté dans un second temps.

Enfin, La Noix de Demain a également permis la recherche d'une méthode de lutte biologique contre la mouche du brou.

Au-delà de ces aspects technico-économiques, la Noix de Demain a contribué à former un groupe d'échanges entre les producteurs. Ce collectif de nuciculteurs a permis l'acquisition de compétences par le biais de formations de groupe, de visites et voyages techniques, mais également la communication sur les résultats scientifiques. Cet aspect transversal sera synthétisé.

❖ 1. La filière nucicole en quelques chiffres

1.1 Une production française historique mais marginale à l'échelle mondiale

La nuciculture mondiale est très dynamique. En 20 ans, la production de noix (*Juglans regia*) a plus que triplée passant de 1,2 millions de tonnes (t) en 2000 à plus de 4 millions en 2019. Plus de 80% de la production mondiale 2020-2021 a été produite par la Chine (46% des volumes), les Etats-Unis (31%) et le Chili (7%).

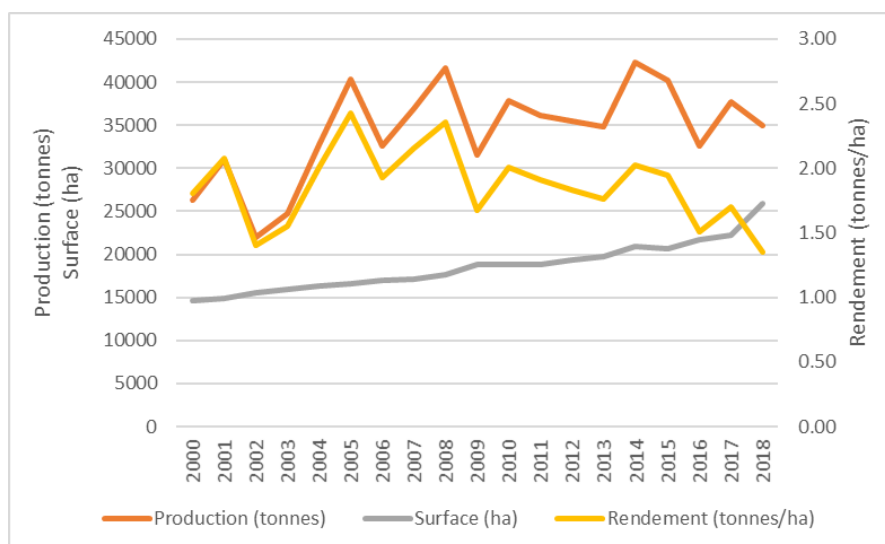
| Pays producteurs | Volumes 2019 (tonnes) | Surfaces 2019 (ha) | Rendements 2019 (t/ha) |
|------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Chine | 2 521 504 (1) | 631 330 (1) | 3,99 (6) |
| Etats-Unis | 592 390 (2) | 147 710 (2) | 4,01 (5) |
| Iran | 321 074 (3) | 44 780 (5) | 7,17 (4) |
| Turquie | 225 000 (4) | 124 553 (3) | 1,81 (8) |
| Mexique | 171 368 (5) | 102 068 (4) | 1,68 (9) |
| Ukraine | 125 850 (6) | 13 900 (8) | 9,05 (3) |
| Chili | 122 950 (7) | 40 801 (6) | 3,01 (7) |
| Ouzbékistan | 50 660 (8) | 4 857 (9) | 10,43 (2) |
| Roumanie | 49 580 (9) | 1 620 (10) | 30,60 (1) |
| France | 34 950 (10) | 25 880 (7) | 1,35 (10) |
| Monde | 4 498 442 | 1 305 349 | 3.45 |

Production mondiale de noix coques (D'après FAO, 2021)

Les exportations représentent 20% du marché mondial. Les Etats-Unis et le Chili, premiers exportateurs de noix (coques et cerneaux), se démarquent par des nucicultures dynamiques et hautement productives. L'émergence de variétés nouvelles au potentiel de production élevé et l'intensification des méthodes de production leur permettent d'atteindre des rendements moyens de 3 à 4 t/ha (FAO, 2021). Les deux pays suivent une logique de marché international avec comme objectif la maximisation du rendement.

Depuis les années 2000, la superficie de la noyeraie française augmente de façon constante. Elle atteint plus de **25 000 ha** en 2020 (Inventaire verger 2020). Il s'agit aujourd'hui du **deuxième verger français** après la pomme, en termes de surface. Comparée aux principaux producteurs mondiaux, la France fait pâle figure avec un rendement moyen de **1,4 t/ha en 2020** et une production oscillant entre 35 000 t et 41 000 t selon les années ; un niveau équivalent à celui de la seconde moitié du 20ème siècle et comptant pour **moins de 2% de la production mondiale**. La France se classe ainsi dixième producteur mondial, premier producteur européen et troisième exportateur mondial de noix coques.

La filière française, du fait de son faible poids sur le marché, subit une pression commerciale très forte engendrée par les lois du marché à l'exportation et la concurrence directe avec les noix chiliennes et américaines.



Évolution de la production de noix, du rendement et de la surface de la noyeraie française de 2000 à 2018. (D'après FAO, 2021).

1.2 Une filière française tournée vers l'export et soumise à la concurrence

La noyeraie française est répartie sur **deux bassins de production** historiques d'environ 10 000 ha et 20 000 t chacun : le Sud-Est (Isère et Drôme) et le Sud-Ouest (Dordogne, Lot, Corrèze, Lot-et-Garonne et Charente). La Dordogne et le Lot sont respectivement les deuxième et troisième départements producteurs de noix français derrière l'Isère.

La noix française : un produit d'exportation

Les Français consomment peu de noix : 110g de noix coques par personne et par an en moyenne ; c'est 38% de moins qu'il y a 10 ans et 10 fois moins que nos voisins espagnols. La consommation annuelle de cerneau est évaluée à 90g par personne et a progressé de 15% en 20 ans. Le marché du cerneau est porteur, tant à l'échelle nationale qu'internationale, mais la place de la France sur ce marché est marginale puisqu'à peine 10% de la production nationale y est consacrée. La France ne dispose pas d'une industrie de cassage compétitive et importe donc à bas coût des cerneaux chiliens, américains ou moldaves. La structuration de la filière en coopératives agricoles facilite son intervention sur le marché mondial : **60% de la production transite par des coopératives** comme Coop Cerno, Perlim Noix ou Promonoix dans le bassin Sud-Ouest.

La production nationale est exportée à 80% (majoritairement en Europe). Ainsi, la France est **exportateur net de noix coques et importateur net de cerneaux**. L'exportation de noix coques est le premier débouché du marché d'export français, le marché national est finalement secondaire. Selon le Centre technique interprofessionnel des fruits et des légumes (CTIFL), la filière communique trop peu auprès des consommateurs sur les atouts nutritionnels et qualitatifs de la noix française pour espérer dynamiser la consommation nationale (SCANDELLA et SERRURIER, 2014).

Le marché est très concurrentiel et oblige les producteurs à optimiser la production, tant

sur la qualité que sur la quantité.

La noix française : un produit de qualité

Bien que concurrencée, la noix française est reconnue pour sa qualité et sa typicité gustative. La France a la particularité de posséder deux appellations d'origine protégées (AOP) sur son territoire, une pour chaque bassin de production. Les AOP « **Noix de Grenoble** » et « **Noix du Périgord** », obtenues respectivement en 1938 et 2004 pour des variétés traditionnelles, valorisent chacune leur terroir et participent indéniablement au rayonnement international de la noix française.

1.3 Une filière en crise et des prix à la production en berne

Les noix américaines et chiliennes vendues à bas coût inondent le marché européen. Pour rester compétitifs, les pays européens alignent leurs prix. La France, dont les coûts de production sont parmi les plus élevés d'Europe, ne peut rivaliser (ADOUE, 2021 ; RAMBAUD, 2020). Alors qu'en 2017 la noix française se vendait à plus de 3 €/kg, les prix à la production n'ont depuis cessé de baisser. La situation début 2023 est catastrophique, plaçant la filière noix en crise conjoncturelle. En 2021, le Centre d'Economie Rurale France Lot a réalisé une étude du prix de revient économique de 25 exploitations nucicoles du département lotois possédant en moyenne 23 ha de noyer. Il s'agit du prix de vente minimum nécessaire pour couvrir l'ensemble des charges et assurer la pérennité de l'activité. En 2021, **les prix annoncés par les opérateurs coopératifs et privés étaient déjà inférieurs à la moitié du coût de revient.**

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Rendement obtenu (t/ha) | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.10 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 |
| Prix de revient économique | 3 549 | 3 042 | 2 661 | 2 535 | 2 366 | 2 129 | 1 936 | 1 774 |

Prix de revient économique en €/t en fonction du rendement (source CER 46,2021)

De plus, le système commercial est tel que les producteurs livrent leurs noix « en confiance », sans connaître le prix de vente final ; une pratique de distorsion de marché jugée anticoncurrentielle. Les producteurs regrettent également l'abandon du marché intérieur au profit de l'exportation où sont valorisés les lots de bonne qualité, nuisant à l'image et au développement de la filière sur le sol français. Cette instabilité économique a été vivement dénoncée ces dernières années par les producteurs lotois au moyen de communications syndicales du comité des fruits à coques du Lot et de le FDSEA. Les dissensions économiques opposant les producteurs et les opérateurs coopératifs et privés accentuent les tensions au sein de la filière qui doit déjà s'adapter à un contexte productif, sanitaire, réglementaire et climatique en évolution.

❖ 2. La nuciculture lotoise

➤ 2.1 La production de noix dans le Lot

3084 hectares de noyers sont actuellement présents dans le département du Lot, répartis sur **650 exploitations (inventaire verger 2020)**. Les nuciculteurs lotois représentent 15% des producteurs de noix français, 12 % de la superficie de la noyeraie française et 90 % de la surface noix de Midi-Pyrénées.

| Zone de production | Surface (en ha) | Nombre d'exploitations |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------|
| France | 24991 | 5 455 |
| Aquitaine | 6 240 | 1 701 |
| Limousin | 1 023 | 369 |
| Midi-Pyrénées | 2 846 | 967 |
| Lot | 3 084 | 650 |

Sources : inventaire verger 2020

La Franquette, variété traditionnelle, est majoritaire dans le département. Le verger se diversifie par l'apparition de variétés telles Fernor, Lara et Chandler à la conduite un peu plus rationnelle. Les exploitations se spécialisent dans cette production, réel atout économique pour notre territoire.

Les noix récoltées, lavées et séchées sont commercialisées à **60 % au sein de coopératives**, le reste étant vendu auprès de négociants privés.

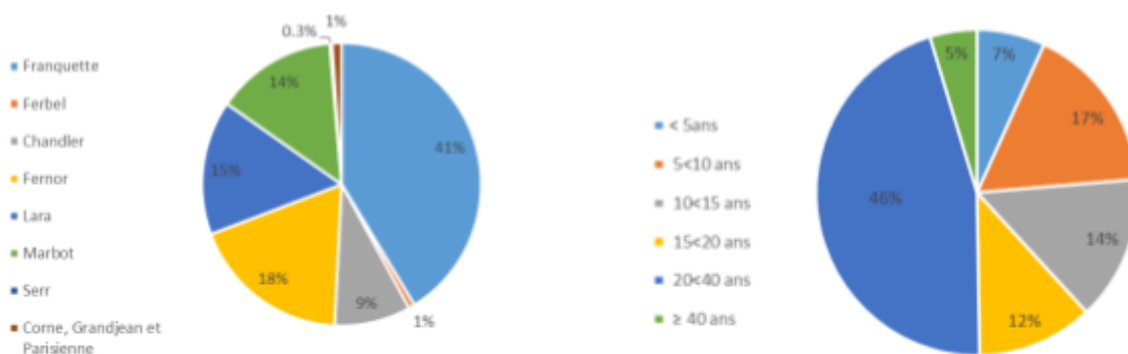
➤ 2.2 La Noix de Demain, un verger de producteurs spécialisés

En 2021, la **surface moyenne productive** de noyers des exploitations du groupe Noix de Demain est de **24 ha** ; c'est nettement supérieur aux surfaces moyennes nationales et régionales de respectivement 6 ha et 5 ha. A l'heure actuelle, 15% du verger du groupe 'Noix de Demain' n'est pas encore entré en production (jeunes vergers). Le niveau d'irrigation s'élève à 73% ce qui est relativement important. Enfin, près de la moitié du verger est conduite en intensif (44%), plantée en variétés Lara, Chandler, Fernor et Serr.

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Surface Noyeraie Groupe | 510 ha |
| Surface productive Groupe | 434 ha |
| Surface Noyeraie moyenne | 28 ha par exploitation |
| Surface productive moyenne | 24 ha par exploitation |

Caractéristiques techniques du verger La Noix de Demain, 2021

Les diagrammes ci-dessous illustrent la répartition de la surface de la noyeraie La Noix de Demain par classe d'âge et par variété. Comme le verger national et régional, la variété **principale est la Franquette**, à hauteur de 40%. Néanmoins, le verger La Noix de Demain est plus diversifié puisque les variétés intensives Lara, Fernor et Chandler occupent 42% de la surface, là où la Franquette couvre respectivement 76% et 61% des vergers nationaux et Midi-Pyrénéens.



Répartition de la surface du verger La Noix de Demain par classe d'âge (a) et variété (b) (M Arrouze, 2021)

En termes d'âge, la noyeraie du groupe est relativement âgée puisque près de 50% de sa surface est occupée par des vergers âgés de 20 à 40 ans. Cette répartition est similaire au verger régional. Contrairement aux références nationales et régionales, **le verger de La Noix de Demain est plus jeune** (proportion supérieure de verger de moins de 10 ans et proportion nettement inférieure de verger de plus de 40 ans).

Finalement, la noyeraie de La Noix de Demain est plutôt atypique comparée aux noyeraies moyennes nationales et régionales. Les exploitations du groupe sont **très spécialisées** bien qu'elles aient souvent d'autres productions à l'image du département lotois, très diversifié. Le verger se distingue par une **proportion élevée de jeunes vergers et de variétés intensives** à l'avenir productif prometteur.

3. Le Comité du Noyer du Lot, en quête de solutions alternatives biologiques

➤ 3.1 Qui sommes-nous ?

Initiateur et coordonnateur du projet, le Comité des fruits à coques du Lot est une association Loi 1901, créée en 1958, dans le but « *d'étudier la production et la commercialisation de la noix, cerneaux et noyers, les moyens de les développer et de les protéger* ».

Le comité compte une cinquantaine d'adhérents. Il a soutenu le développement de pépinières et participé à la création de l'**AOP noix du Périgord**. Il est également à l'origine de la création de **la Station expérimentale de la noix à Creysse (46)**. Son animation est assurée par une conseillère spécialisée en noix et châtaignes, directrice du projet Noix de Demain, Lydie Leymarie.

➤ 3.2 'La Noix de Demain', projet porté par des producteurs

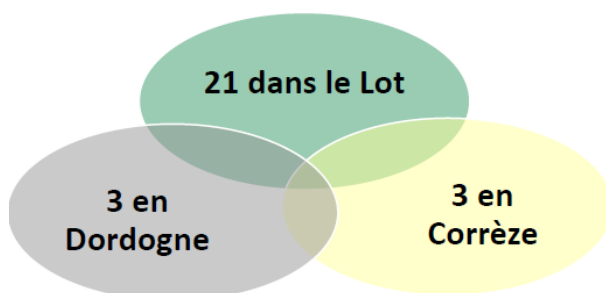
L'étude des noyeraies et des techniques de production nucicoles est très récente en France. Le Comité des fruits à coques du Lot s'est tourné vers le Chili, l'un des plus grands producteurs de noix au monde, afin d'étudier leurs méthodes de production, qui font partie aujourd'hui des plus avancées dans le domaine.

Une quinzaine d'exploitants s'est rendue au Chili en avril 2017 afin de les étudier. À cette occasion, ils ont eu l'opportunité de rencontrer 2 spécialistes de la production nucicole chilienne : Jean-Paul Joublan (Laboratoire Eco Technology) et Dr Pablo Nunez (Laboratoire AgroAdvance), qu'ils décident d'associer à leurs recherches dans le but de trouver des solutions aux problématiques françaises en ce domaine.

La Noix de Demain est un projet porté par

27 exploitations nucicoles, qui représentent

724 hectares de noyeraies du Sud-Ouest. Tous les producteurs font partie du comité des fruits à coques du Lot, et 6 d'entre eux sont situés dans les départements limitrophes de la Dordogne et de la Corrèze.



Les objectifs du projet sont d'améliorer les techniques et la productivité de l'activité nucicole en France tout en diminuant l'utilisation de produits phytosanitaires ". Les producteurs entendent travailler au développement d'une agriculture durable afin de :

- réduire significativement l'utilisation des produits phytosanitaires
- développer des techniques de production naturelle plus efficaces
 - trouver des luttes biologiques contre les maladies fongiques et les insectes ravageurs.

Le projet est également né de la volonté de travailler en groupe pour :

- créer des références de groupe en tant qu'outil de gestion destiné à la filière nucicole
- créer un outil de partage des connaissances entre producteurs
- apprendre à communiquer ensemble sur leurs pratiques.

■ Les axes de recherche et d'action

Le projet 'La Noix de Demain' a été construit autour de 3 axes principaux de travail :

- Améliorer les techniques de production
- Etudier une lutte biologique contre la maladie "bactériose" et les maladies fongiques associées
- Rechercher une lutte biologique contre la mouche du brou

❖ *Améliorer les techniques de production*

Les biostimulants constituent une méthode préventive pour améliorer la production.

Les biostimulants sont des produits très majoritairement biologiques (extraits d'algues, acides aminés, huiles essentielles, etc) utilisés pour stimuler les processus naturels du noyer, afin d'améliorer l'absorption et l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress (vent, froid, gel ...), la qualité des vergers.

L'introduction de ces nouvelles techniques de production a été mise en œuvre au sein d'essais systèmes. La prise en compte du fonctionnement du système sol/plante / microorganismes est le fondement du travail du groupe. Un effort particulier a été porté sur les études sur l'état nutritionnel des arbres et son suivi par analyse de feuilles et de sève.

❖ *Lutte biologique contre la maladie "bactériose" et les maladies fongiques associées*

La Bactériose, principale cause de perte de récolte, est une maladie bactérienne ancienne et endémique. Elle peut attaquer tous les organes du noyer en croissance et provoquer la chute des noix ou l'impossibilité de les commercialiser. Les seuls produits de lutte sont à base de cuivre et leurs actions sont limitées par l'apparition de résistance de la bactérie et de la dose d'utilisation homologuée.

Il est urgent de mettre en place des techniques alternatives en optimisant le système de défense des noyers et en diversifiant les techniques de lutte biologique. Des travaux d'identification de la bactérie présente en France ainsi que son bactériophage (virus naturellement présent dans les vergers) ont été menés. Par la suite, des essais de lutte par bactériophage ont été menés en verger.

❖ *Lutte biologique contre la mouche du brou*

La Mouche du brou (*Rhagoletis completa*), principal bio-agresseur, est originaire des États-Unis. Elle est identifiée en France en 2007.

Les dégâts peuvent atteindre jusqu'à 80 % de perte de récolte. Aujourd'hui, l'insecte

est contrôlé par des insecticides. Cette solution ne peut être envisagée sur le long terme.

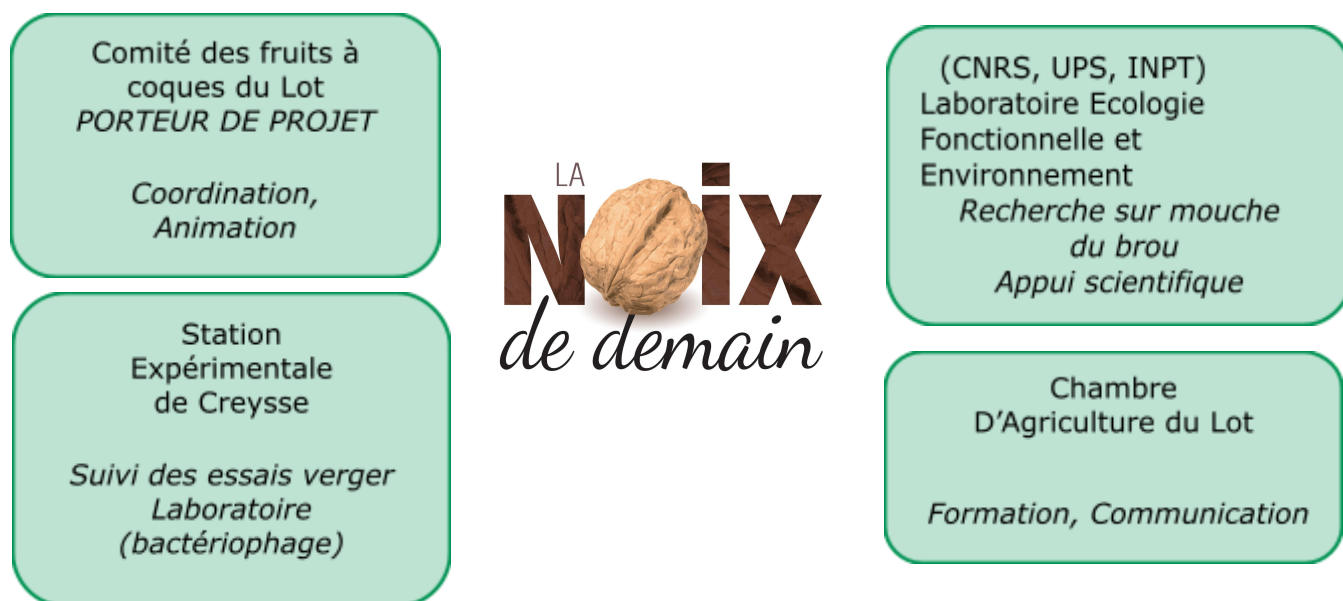
L'objectif est la recherche d'une solution de lutte biologique permettant de préserver la biodiversité de l'environnement sur le long terme tout en réduisant l'exposition des utilisateurs et de leur voisinage aux produits phytosanitaires.

La solution envisagée est de trouver un ennemi naturel, prédateur ou parasite de la mouche du brou, qui pourra l'éliminer en l'intégrant dans son régime alimentaire ou son développement. Les travaux ont également été menés sur l'utilisation d'autres luttés alternatives.

➤ 3.3 Un projet multipartenarial

■ 3.3.1 Les partenaires techniques et scientifiques du projet

Afin de mener son projet à bien, le Comité s'est entouré de 3 partenaires forts : La Chambre d'agriculture du Lot, Le laboratoire Ecologie Fonctionnelle et environnement (anciennement Ecolab) (CNRS, UPS, INP), la Station expérimentale de Creysse. Avec l'avancée des travaux, d'autres partenaires sont venus apporter leur soutien et leurs connaissances tels que le Laboratoire Evolution et Diversité (EDB), L'institut d'Ecologie de Veracruz (INECOL).



Le projet a nécessité l'implication de chercheurs et spécialistes nationaux et internationaux dont nous présenterons ci-dessous les principaux :

Dr Pablo Nunez et le laboratoire Agroadvance (Chili)



Ce laboratoire chilien est spécialisé dans la recherche sur les biostimulants et luttés alternatives notamment sur la noix. Le Dr Pablo NUÑEZ, chercheur microbiologiste fondateur de ce laboratoire, travaille avec son équipe sur l'identification des bactéries présentes dans les vergers français et notamment celles responsables de la bactériose, une maladie à l'origine de la majorité des pertes de récolte en France. AgroAdvance nous appuie dans la mise en place d'une lutte par des

bactériophages (virus endémiques dans nos vergers, « prédateurs » des bactéries) pour lutter biologiquement contre la bactériose.

Dr Erick Campan, laboratoire LEFFE



Le laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement est une unité mixte de recherche (CNRS, Université Paul Sabatier, INP) de Toulouse. L'étroite collaboration concerne les problématiques autour de la mouche du brou. C'est le Dr Erick CAMPAN, entomologiste, qui dirige les recherches sur cet insecte ravageur. Il travaille sur la mise en place d'une lutte biologique en cherchant un auxiliaire de culture, parasite ou prédateur naturel de la mouche du brou. Pour ce faire, des travaux d'échantillonnage sur différentes parcelles, d'élevage et d'études comportementales de la mouche sont réalisés par le Dr CAMPAN et ses collaborateurs

Dr Patricia Jargeat, laboratoire EDB



Le laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB) est une unité mixte de recherche (CNRS, Université Paul Sabatier, IRD) de Toulouse dont les objectifs sont d'évaluer et caractériser la biodiversité et d'étudier les mécanismes de changement de la biodiversité. La collaboration est donc centrée sur la description des communautés de microorganismes présents sur les noyers.

Les noyers sont sujets à des attaques par divers agents pathogènes, provoquant maladies et pertes de rendements. La participation de Patricia Jargeat, enseignant-chercheur spécialisée dans les interactions plantes-microorganismes, permet de mieux suivre et comprendre les interactions entre noyers et microorganismes ce qui, à terme, permettra de mieux lutter contre ces maladies.

Dr Olivier Husson CIRAD



Olivier Husson, agronome, chercheur au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) dans l'Unité de Recherche Aïda, spécialiste dans la conception de système de culture agroécologique et docteur en chimie redox. Les travaux sur le pH redox du noyer ont été menés en collaboration avec Olivier Husson.

Dr Larissa Guillén (Instituto de Ecologia, Veracruz, Mexique)



Le laboratoire INECOL étudie les moyens de lutte contre *Anastrepha ludens*, une mouche de la famille des Tephritidae qui s'attaque à de nombreuses espèces fruitières telles que les agrumes, les manguiers, papayer, pommier... Le Dr Larissa Guillén étudie le comportement de plusieurs micro-guêpes parasitoïdes de cet insecte afin de trouver celles qui seront utilisables en lutte biologique. Elle participe également à l'étude de la phylogénie des mouches du groupe *Rhagoletis suavis* et de leurs relations avec leurs plantes hôtes, à savoir, les différentes espèces de noyer (*Juglans regia*, *J. mollis*, *J. pyriformis*, *J. hirsuta*).

Bruno Bourrié, OLEA



Spécialiste en nutrition du végétal.

Expertises agronomiques axées sur la nutrition des cultures, Assistance technique spécialisée dans les cultures de vigne et de raisin de table, Formations sur la nutrition des cultures dans les pays tempérés et tropicaux.

Rémi Thinard, SYMBIOTIK

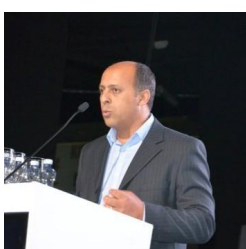


Spécialiste agriculture de régénération et biofertilisants

Symbiotik Agroécologie forme, conseille et accompagne le monde agricole vers des techniques agroécologiques productives qui améliorent la fertilité des sols et des plantes.

Autres partenaires techniques :

Dr Hicham Ferhout, Agronutrition,



Directeur Recherche et Développement Biofertilisants et Biostimulants Microbiens chez Agronutrition

Tim Weijs, Novacrop Control, (Pays Bas), Centre d'études et de tests spécialisé dans les analyses de sève.



L'analyse de sève permet de déterminer rapidement et avec précision l'absorption actuelle de nutriments par la plante. Elle fournit des informations importantes sur la santé de la

plante. En effet, une absorption optimale de nutriments a un impact positif sur la résistance de la plante aux maladies et sur la qualité, la robustesse et la durée de conservation des fruits par exemple.

Entreprises fabrication et fourniture d'engrais (liste non exhaustive):

CR distribution

spécialiste de la mise en marché d'agrofournitures, solutions de Biocontrôle et Biostimulants

Régis Muteau, Tessengerlo Kerley international



Responsable Agronomie chez Tessengerlo Kerley International, avec qui nous avons travaillé sur la nutrition du végétal en verger de noyers.

Jean Luc Gadbois, Tradecorp



Délégué régional.

Fabricant de biostimulant et engrais

Jean Luc Rives, Christophe Richou, Agronutrition



Spécialistes biostimulant et nutrition du sol, semences et plantes

■ 3.3.2 Les partenaires financiers du projet

Le projet a obtenu en décembre 2018 un financement pour son Groupe Opérationnel Pour l'Expérimentation et l'Innovation (GOPEI) : 521 352 € de dépenses (80 % du budget de 651 391 €) sur une période de 4 ans. Le financement de ce projet est assuré par l'**Europe (FEADER), la région Occitanie, le Département du Lot et la communauté de communes Cauvaldor**. Les 27 producteurs sont impliqués financièrement pour un budget de plus de 215000 €.

■ 3.3.3 Durée du projet

Le dossier GOPEI 'la Noix de Demain' a été déposé en février 2018. La réponse officielle au financement du dossier est survenue en décembre 2018. Étant donné l'importance financière du dossier pour les partenaires, l'activité 2018 a été restreinte à l'animation des suivis de parcelles d'essai chez les producteurs, la réalisation d'essais prioritaires, de façon à pouvoir financer les actions sur les fonds propres du Comité du Noyer essentiellement. Le covid a également limité les déplacements, notamment ceux prévus au Chili et au Mexique. C'est pourquoi une demande de report de date a été demandée et obtenue pour poursuivre les travaux jusqu'en 2023.

4. Améliorer les techniques de production

Les travaux menés sur les systèmes de production ont été conduits de manière holistique, dans les parcelles d'essai, chez les producteurs. Pour rappel, les deux principaux objectifs de cet axe de travail étaient les suivants :

- L'utilisation de biostimulants dans l'activité nucicole, pour améliorer le métabolisme des arbres,
- l'optimisation du système sol/plante/microorganismes, avec un focus sur la fertirrigation et le suivi de l'état nutritionnel par les analyses de feuilles.

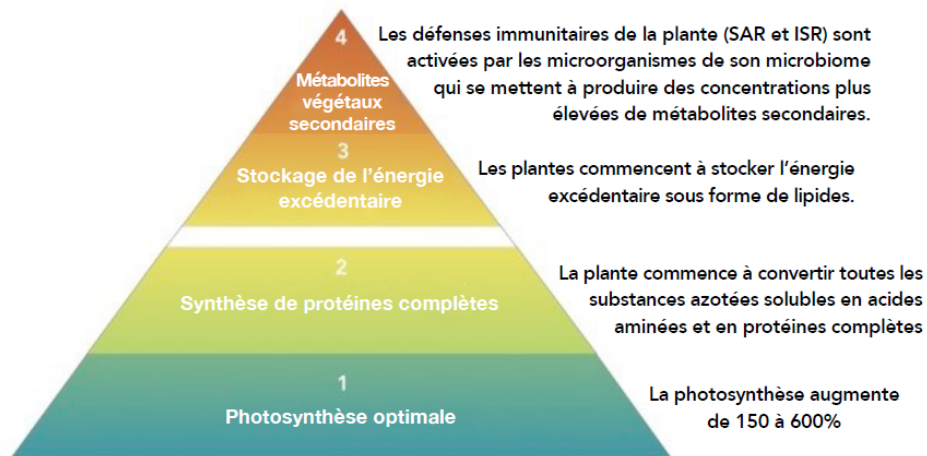
Pour mener à bien ces travaux, des essais dits 'système' ont été mis en place sur une parcelle de chaque producteur du groupe. L'analyse de ces systèmes et les travaux de recherche menés en parallèle ont également donné lieu à des expérimentations plus ciblées qui seront présentées en dernier lieu.

➤ 4.1 Une Démarche holistique

4.1.1 L'optimisation de la santé des arbres et l'équilibre sol-plante-microorganismes au cœur du projet

La démarche générale de recherche mise en œuvre par La 'Noix de Demain' s'inspire de deux concepts majeurs de la nutrition des plantes : la théorie de la trophobiose développée par Francis CHABOUSSOU et celle de l'agriculture régénérative de John KEMPF. Selon la théorie de la trophobiose, il existe une étroite relation nutritionnelle entre les plantes et les agents pathogènes. Les plantes présentant un déséquilibre nutritionnel sont plus attractives pour les pathogènes qui les ciblent prioritairement. L'excès de composés nutritifs simples et solubles dans les tissus et la sève attire les bioagresseurs incapables de digérer des molécules plus complexes. Francis CHABOUSSOU attribue cet excès aux produits phytosanitaires qui déséquilibrent la protéosynthèse et la protéolyse des plantes alors que les protéines sont au cœur de leur système défensif. Ils perturbent l'activité biologique et minéralogique des sols qui sont le «garde-manger» des plantes.

Le concept d'agriculture régénératrice corrobore la théorie de la trophobiose et considère qu'une plante en bonne santé nécessite, et induit en retour, un sol en bonne santé. Les deux étant étroitement liés par des relations symbiotiques, ils résistent mieux aux agressions extérieures. D'après la pyramide de santé des plantes de KEMPF, une nutrition minérale optimale et une relation sol-plante équilibrée sont la clé pour atteindre un niveau élevé de résistance aux pathogènes. Il existe 4 niveaux de santé successifs chez la plante correspondant à un niveau d'énergie, de santé, de productivité et de défense plus ou moins élevé. Pour atteindre le haut de la pyramide, c'est-à-dire le système immunitaire le plus performant, les mécanismes biologiques et physiologiques du système sol-plante doivent être restaurés.



**SAR : résistance systémique acquise, c'est une réponse immunitaire, puissante et généralisée à la plante entière, induite par une infection ou agression localisée par un agent pathogène.*

**ISR : résistance systémique induite, La résistance systémique induite est une réponse mise en place par la plante après reconnaissance d'un éliciteur biotique non pathogène. Elle permet d'augmenter la capacité défensive de la plante par un effet priming, qui lui confère une sorte d'immunisation à une attaque ultérieure.*

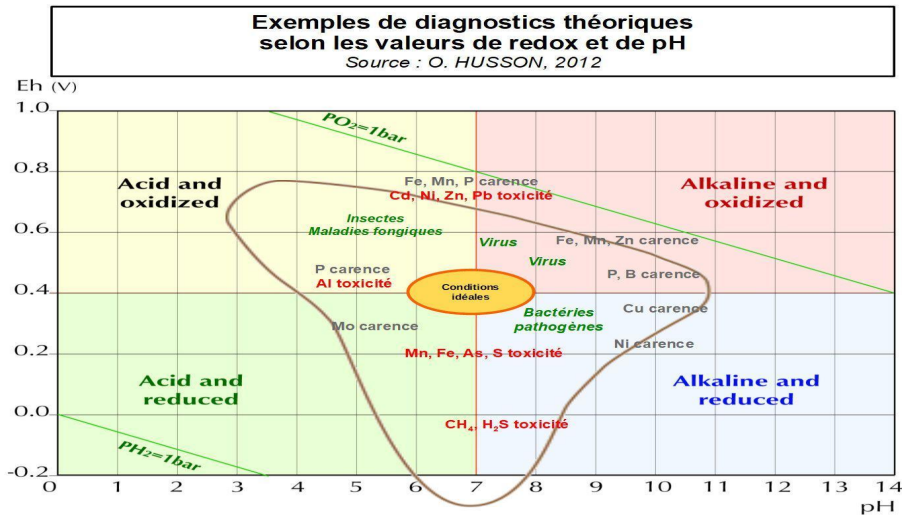
La pyramide de santé des plantes par John Kempf (SCHREIER, 2017)

Tous les travaux conduits par La noix de Demain, se sont appuyés sur cet objectif principal d'optimisation du système immunitaire.

4.1.2 L'étude du couple pH/redox sur noyer

La vulnérabilité des plantes aux pathogènes dépend également de paramètres biochimiques et bioélectroniques. Le pH et le potentiel redox (Eh) déterminent la forme chimique, la solubilité et l'activité bioélectronique des molécules circulant dans le sol et les plantes. L'équilibre du système sol/plante/eau/microorganismes dépend de ces deux paramètres. En cas de déséquilibre du système au niveau de la rhizosphère ou de la cellule végétale (sur-oxydation ou sur-réduction), la plante est stressée et vulnérable. La résistance des plantes aux bioagresseurs est maximale en situation d'**homéostasie**. Cet état correspond à un milieu neutre, humide, aéré, riche en matière organique et en activité biologique. En dehors de ces valeurs, des éléments chimiques sont indisponibles et des carences ou excès apparaissent, affaiblissant la plante. Chaque organisme vivant (plante, insecte, bactérie, champignon ou virus) répond à un couple Eh-pH spécifique, plus ou moins strict, correspondant à son milieu de vie optimal. Ainsi, il existe des conditions bioélectroniques propices au développement des pathogènes. La régulation du couple pH-Eh se fait à court terme par les exsudats racinaires et l'activité biologique de la rhizosphère, et à long terme par le pouvoir tampon de la matière organique.

Ainsi, par leur action sur les paramètres biochimiques et biologiques du milieu agricole, les pratiques culturales influencent l'état pathogénique des sols.



Exemples de diagnostics théoriques, sanitaires et nutritionnels, selon les valeurs de redox et de pH (COMITE DES FRUITS À COQUES DU LOT, 2021 d'après HUSSON, 2012)

En 2019/2020, la Noix de demain a réalisé une étude sur le couple pH /Eh sur le noyer, dans le but de comprendre si le redox pouvait être un indicateur de santé de la plante. Nos travaux ont été confortés par l'appui scientifique d'Olivier Husson, avec qui nous avons construit et révisé nos protocoles et résultats. Cette étude (Chazalviel, 2020) a été menée pour partie en France et pour partie au Chili. Elle a consisté à mesurer les données pH et Eh du sol et des arbres, en essayant de les corrélérer à l'état de santé des arbres (attribué par une note).

Dispositif dans le Lot en 2019

| Numéro de parcelle | Variété | Producteurs | Localisation |
|--------------------|---------|------------------|---------------------------|
| 1 | Femor | Bernard LACROIX | Baladou |
| 2 | Femor | Aurélien FREGEAT | Bretenoux |
| 3 | Femor | Philippe LEYMAT | Brancheilles |
| 4 | Femor | Georges DELVERT | Floirac |
| 5 | Lara | Laurent PERRIER | Saint-Michel-de-Bannières |
| 6 | Femor | Joel PARROU | Tauriac |

10 folioles sur 5 arbres sur 6 parcelles 4 fois = 1200 mesures

Aspect général du feuillage, bois mort, noix chutées
→ notation de chaque arbre :
1 = mauvais état phytosanitaire
5 = excellent état phytosanitaire

4 séries de mesure :

- Juin / début Juillet
- mi-Juillet / début Août,
- Août / début Septembre
- mi-Septembre

Dispositif au Chili en 2020

| Parcelle | Localisation | Topographie | Météo | Détails |
|----------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | Centre | Partie centrale en vallée | Soleil, chaleur, léger vent | Chandler 5-6 ans |
| 2 | Centre | Partie centrale d'une colline | Soleil, chaleur, léger vent | Chandler 10 ans |
| 3 | Centre | Plat dans vallée | Soleil, chaleur | Chandler 20 ans |
| 4 | Nord | Sur plateau | Soleil, chaleur, léger vent | Serr 10 ans |
| 5 | Sud | Plat | Soleil, chaleur, léger vent | Chandler 7 ans |
| 6 | Sud | Plat | Soleil, chaleur, léger vent | Chandler 15 ans |

10 folioles sur 6 arbres sur 6 parcelles

Aspect général du feuillage, bois mort, noix chutées
→ classement de chaque parcelle
1 = le pire état phytosanitaire
6 = le meilleur état phytosanitaire



1 série de mesure par parcelle

I - Présentation de la Noix de demain
338,7 x 190,5 mm

II - Principe du potentiel d'oxydo-réduction

III - Relation entre potentiel redox et état de santé des noyers

IV - Impact des biostimulants sur le potentiel redox de jeunes noyers

Dispositif expérimental, étude sur le pH-redox du noyer, J. Chazalviel, 2020

Les conclusions que nous avons pu établir pour les noyers sont les suivantes :

- Les noyers sont principalement en zone acide réduite,
- Il existe une tendance à l'homogénéisation des données et à la réduction au cours du temps,
- Nous avons pu observer des différences de niveau de pH entre les arbres chiliens et les arbres français, ces derniers ayant un pH plus acide, malgré un niveau d'Eh similaire compris entre 140 et 170 mV,
- Il existe une corrélation entre pH-Eh du sol et la note de santé de la plante,
- Il existe une corrélation entre pH-Eh du sol et pH-Eh foliaire,
- Il y a un impact des stades phénologiques sur le redox de l'arbre.

Source : J. CHAZALVIEL, *La Noix de Demain*,



Comme le montrent les photos ci-dessus, afin d'effectuer des mesures, les feuilles du noyer doivent être broyées dans un mortier pour en extraire le jus. Les mesures de redox et pH demandent un protocole et un matériel précis. Par conséquent, Les prises de mesure du redox et pH sont longues et astreignantes. De plus, les mesures doivent être réalisées entre 10h et 16h. Continuer nos études, nécessiterait une prise de mesure rapide, comme nous pouvons l'espérer dans l'avenir par les moyens de scanners (spectromètres Infra-Rouge, comme le présente le projet FOOD SCANNER).

Aussi, nous avons préféré concentrer nos efforts sur l'aspect nutritionnel des plantes, par un suivi par les analyses de sève, auxquelles nous avons accès en routine.

➤ **4.2 Mise en œuvre des essais système**

Les expérimentations mises en œuvre par 'La Noix de Demain' visent à élaborer et tester des itinéraires techniques innovants (ITK) correspondant aux protocoles d'essais en conditions réelles de production. On parle « d'expérimentation système ». L'intérêt est « d'évaluer la faisabilité technique et la cohérence agronomique d'un système, et sa capacité à atteindre les objectifs assignés initialement » dans des contextes de production variés (HAVARD et al., 2017).

La performance des protocoles testés est évaluée en comparaison à un témoin. Les protocoles d'essai et témoin étant spécifiques à chaque exploitation et chaque parcelle, il ne s'agit en aucun cas de comparer les performances entre les exploitations dont les contraintes et les caractéristiques sont bien trop différentes, mais bien d'étudier à l'échelle du groupe l'ensemble des protocoles testés. L'appréhension du comportement des protocoles d'essais sous différentes contraintes climatiques et sanitaires, et leur amélioration continue nécessite une approche pluriannuelle, réalisée par Mathilde Arrouze (2021).

■ **4.2.1 Les parcelles d'essai**

Chaque année, chacun des 27 producteurs du groupe la noix de demain a mis à disposition une parcelle d'essai pour suivre un protocole système de production.

Les parcelles d'essai sont divisées en deux modalités :

- une modalité essai où est appliqué le protocole testé
- et une modalité témoin où est appliqué un ITK de référence (protocole témoin).

Un ou deux rangs de garde sont toujours présents entre les modalités pour limiter la dérive des intrants appliqués.

■ **4.2.2 Protocole commun adapté au cas par cas**

A chaque début de campagne, un protocole d'essai prévisionnel commun à tous les producteurs (AB et conventionnel) est élaboré. Le premier protocole d'essais système en 2018 est le fruit du travail en partenariat avec Jean Paul Joublan (Ecotechnology- Chili) et le Dr Pablo Nunez (laboratoire Agroadvance, Chili). Il s'agit d'un itinéraire technique et cultural générique détaillant les applications d'intrants à effectuer, les doses et modes d'application, les stades phénologiques d'application et les dates approximatives par variété. Les produits à tester (biostimulants, oligo-éléments et fertilisants) sont intégrés au protocole qui sera appliqué sur les modalités essai. Sur les modalités témoins, les producteurs pratiquent un itinéraire standard conforme à leurs anciennes pratiques avant le projet.

Le protocole individuel de chaque producteur, pour son établissement, prend en compte les conditions de sol, les ressources humaines de l'exploitation, les conditions de travail, le type de système d'irrigation, le stock existant en engrais sur l'exploitation, la capacité du producteur à effectuer les applications et travaux prévus.... Aussi, chaque parcelle a reçu un protocole individualisé.

Les protocoles mis en place sur les vergers incluent tous l'utilisation de produits biostimulants. Le choix des premiers biostimulants ciblés s'est porté sur les acides aminés,

les algues et les acides humiques et fulviques car ceux-ci sont largement employés au Chili.

Pour faire le choix des spécialités commerciales à appliquer et à tester, une comparaison et sélection des produits commercialisés en France a été effectuée suite à la rencontre des fournisseurs français de ce type de produits.

Nous avons effectué tout au long du programme un travail de bibliographie sur l'utilisation des biostimulants. Cette étude a également montré l'intérêt de l'utilisation des extraits fermentés de plantes ainsi que du lactosérum en tant que biostimulants pour les plantes et activateurs de sol. Ces substances ont été testées dans certaines parcelles, dès 2019 notamment les parcelles menées en Agriculture Biologique (Achraf ESSABIRI, 2019). Une présentation du lactosérum en tant que biostimulant a été réalisée en mai 2019 aux producteurs avec élaboration d'une fiche technique.

Les travaux bibliographiques et les rencontres techniques, ont souligné également l'importance des microorganismes dans la vie du sol et des plantes. En 2021 et 2022, plusieurs solutions commerciales (solactiv) ou empiriques (LiFoFER et biofertilisant) sont donc venues enrichir les protocoles d'essai en produits inoculant microbiologiques du sol ou bien de la phyllosphère.

Les protocoles ont été adaptés chaque année en tenant compte des résultats obtenus sur les campagnes d'essai précédentes. Les informations collectées auprès des producteurs, des fournisseurs d'intrants, des techniciens, conseillers et partenaires ont enrichi la réflexion et permis d'améliorer les protocoles expérimentaux. Ces modifications peuvent consister en de nouveaux produits à tester, des modifications de dose ou de date d'application, des nouvelles méthodes d'application ou des combinaisons de produits et de pratiques. Le tableau ci-dessous liste de façon non exhaustive les différents produits biostimulants et fertilisants testés.

| Produits testés par année | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|--|---------------------|--|--|---|---|
| stimulateur racinaires / engrais et amendement organiques | | bactériosol | | | solactiv lifofer | lifofer bokashi |
| engrais et amendements minéraux | | foltec | KTS (thiosulfate de K) basalte foltec | basalte CATS KTS final K, final EKO foltec | basalte CATS solution azotée N39 final K, final EKO foltec | CATS thiosulfate d'ammonium solution azotée N39 foltec |
| biostimulants | algues | Kelpac | kelpac | kelpac/naneos/avivalg 500/ phylgreen | kelpac/ avivalg 500/ phylgreen | Kelpac/seaflow |
| | acides aminés | terramin | terramin | terramin | terramin/orstim | terramin/orstim/stimflo |
| | acides humiques et fulviques | Gepavit/ acretio | Gepavit | dopasol | dopasol | dopasol / acretio |
| | extraits végétaux | | Extraits fermentés de plantes : bardane, ortie, consoude, décoction de prêle pur jus de consoude macération huileuse d'ail Tisane OTS Origan/thym/sariette | Extraits fermentés de plantes pur jus de consoude macération huileuse d'ail Tisane OTS | Extraits fermentés de plantes pur jus de consoude macération huileuse d'ail Tisane OTS | Extraits fermentés de plantes pur jus de consoude macération huileuse d'ail Neolime/Neosan |
| | autres substances naturelles biostimulantes | | lactosérum | | megagreen | megagreen |
| | Polysaccharides | | | yoda PEL102 | Yoda PEL 102 | LiFoFer |
| oligo éléments et fertilisation foliaire | | boretzac zintrac | Boretzac/zintrac hydromag caltrac ferleaf/ferrichel | Boretzac/zintrac hydromag caltrac ferleaf/ferrichel | megagreen borozinc fixa MZn fixa Mo digophos Ca cuivrol actiflow multifruit | megagreen borozinc fixa MZn fixa Mo digophos Ca cuivrol fixa Multi CH |

Tableau : Produits testés dans les essais par année et par catégorie

Le protocole commun est ensuite adapté à chaque producteur pour tenir compte des contraintes relatives à chaque parcelle et chaque exploitation, comme les moyens

matériels et humains disponibles ou les envies et besoins des producteurs. Chaque protocole d'essai réalisé est unique en termes d'intrants et de dosage notamment. Il n'en reste pas moins que le protocole commun permet d'homogénéiser les essais et d'interpréter les résultats à l'échelle du groupe. Il permet la mise en place d'échanges de groupe autour de cette thématique technique.

Dans la mesure du possible, le protocole prévisionnel doit être suivi fidèlement, mais la réalité du terrain a souvent conduit à des écarts entre le protocole prévu et celui réalisé.

➤ 4.3 Les outils de suivi des essais système

■ 4.3.1 Le suivi récolte : un outil d'appréciation quantitative et qualitative de la production

Le suivi récolte sert à mesurer l'influence des protocoles d'essai sur la quantité et la qualité de la récolte par rapport au témoin. Il est réalisé par la Station expérimentale de Creysse sur quelques parcelles expérimentales proches de la Station, ayant respecté le protocole expérimental et ne présentant pas de biais entre les modalités. Différentes mesures sont effectuées à partir d'un échantillon de noix prélevé aléatoirement sur chaque modalité.

La mesure du poids brut (PB) et du poids sec (PS) permet d'estimer le rendement. La qualité de la récolte est jugée par le calibrage des noix, le taux de déchets et le pourcentage de noix extra. Le calibre est un critère important qui influence le prix de vente : les gros calibres sont mieux valorisés.

Sur chaque modalité d'une parcelle d'essai avec témoin, un échantillon de noix est prélevé à la récolte sur une zone définie correspondant à un nombre d'arbres connu. Ces échantillons sont ensuite traités par la Station expérimentale de Creysse (écalage, lavage et séchage). Dès leur réception, les échantillons sont pesés (PB) et le poids de 100 noix prélevées aléatoirement est mesuré (3 échantillons par lot). Après lavage, les noix sont triées pour éliminer les déchets qui sont pesés. Après séchage, le PS est mesuré. Puis, au moment du cassage, les noix sont réparties par calibre et la qualité des cerneaux est étudiée (noix extra et poids des cerneaux).

En 2019, une méthode différente a été testée par A. Fregeat. La pesée a été réalisée **directement sur la machine lors de la récolte**. A l'aide d'un lève palette peseur placé sous la trémie de la machine, une pesée a été réalisée d'abord à vide, puis après avoir ramassé une zone définie (correspondant à un nombre d'arbres).

Trois échantillons pris au hasard ont ensuite été prélevés soit directement dans la machine ou dans la benne. Ces échantillons sont triés pour évacuer les matériaux hors noix (cailloux, branches, brous non adhérents) La pesée de ces échantillons et des déchets correspondants permet de calculer un taux de déchet moyen.

Un **prélèvement de 100 noix** prises au hasard dans ces échantillons est ensuite effectué et pesé. Ces échantillons sont ensuite traités par la station de Creysse (écalage, lavage, séchage), comme présenté précédemment.

■ 4.3.2 Le suivi du potentiel de production des vergers par la méthode des comptages de fleurs et fruits

Chaque parcelle d'essai a fait l'objet de comptages de pertes de fleurs et de fruits au cours des différentes saisons pour suivre l'évolution du potentiel de production (nombre de fleurs) et appréhender le rendement final de la parcelle. Au cours de la saison, environ 6

comptages sont effectués par parcelle ou modalité, de l'apparition de l'inflorescence femelle (stade Ef) jusqu'à la récolte. Les fleurs de 3 arbres par modalité, et de 8 rameaux par arbre situés aux 4 points cardinaux sont comptés.

Lorsque des pertes de fleurs ou de fruits sont constatées, leur cause est déterminée : pathogène, climat, défaut de pollinisation, maladie...

Les comptages sont un moment privilégié pour l'observation des vergers, l'appréciation de la pression biotique et l'identification des symptômes de carences ou d'excès nutritionnels. Ils permettent d'être beaucoup plus réactif en cas d'attaque de ravageurs, d'analyser les causes des pertes de fruits et d'adapter les protocoles pour les années en cours et suivantes en fonction de la situation phytosanitaire du verger.

Cette mesure permet d'évaluer les performances de productivité des différents ITK testés en comparant les résultats des modalités essai et témoin, et de déterminer l'influence des protocoles d'essai sur ce paramètre.

De plus, ces données et observations de terrain, nous ont permis de progresser dans la compréhension du fonctionnement des arbres et l'analyse des problématiques. Des bilans saisonniers ont été analysés en réunion de groupe avec les producteurs. Nous avons pu mettre en évidence l'importance des chutes de fleurs avant nouaison et concentrer notre recherche sur cette période sensible.

Des essais plus spécifiques ont été mis en place principalement suite à l'observation des problèmes en verger (essais nutrition calcique par exemple).

| Année | Taux de pertes moyen d'avril à fin juin (Floraison-Grossissement) Pertes physiologiques | Taux de pertes moyen de juillet à octobre (Grossissement-Récolte) Pertes attribuées aux bioagresseurs | Taux de pertes totales moyen sur la saison |
|-------|--|--|---|
| 2018 | 20% | 10-15% | 30-35% |
| 2019 | 38% | 8% | 46% |
| 2020 | 27% | 17% | 44% |
| 2021 | 43% (+ pertes de bourgeons gelés) | 24% | 66% |
| 2022 | <15% | De 10 à 35 % | De 25 à 60 % |

■ 4.3.3 Le suivi nutritionnel des arbres par analyses de feuilles et analyses de sève

De l'analyse de feuille à l'analyse de sève

Dès le départ du projet, une grande importance a été donnée à la nutrition des arbres. Pour assurer ce suivi, un monitoring par plusieurs analyses de feuilles à plusieurs stades végétatifs a été initié en 2018. Ce travail vise à vérifier la bonne assimilation des éléments et de corriger éventuellement les carences. Ce travail permet notamment l'établissement d'une référence de groupe pour les normes de chaque élément minéral dans les feuilles.

Les analyses de sève ont été réalisées en 2019. Plus exhaustives, plus précises et plus dynamiques, elles ont définitivement remplacé les analyses de feuilles à partir de 2020.

Les **analyses de sève** reflètent la composition de la sève circulant dans l'arbre en temps réel, alors que les analyses de feuilles décrivent la composition minéralogique de la cendre après combustion des feuilles. Ainsi, une analyse de sève reflète l'état de l'arbre 3 jours auparavant contre 3 semaines dans le cas d'une analyse de feuilles (durée minimale d'assimilation par les tissus foliaires des éléments circulant dans la sève). Les analyses de sève permettent donc de détecter une anomalie nutritionnelle en temps réel, avant l'apparition des symptômes, pour rapidement mettre en œuvre une fertilisation de correction. Contrairement aux analyses de sève, les analyses de feuilles ne fournissent aucune information sur le pH de la sève, le taux de sucres ou encore sur les teneurs en élément sodium (Na), silicium (Si), chlore (Cl), aluminium (Al) et les ions nitrates (NO₃⁻) et ammonium (NH₄⁺). L'analyse de sève présente l'avantage de distinguer l'état nutritionnel des jeunes et des vieilles feuilles qui n'expriment pas les mêmes symptômes de carence et d'excès en fonction de la mobilité des éléments dans la sève.

Depuis 2020, plus de 1000 analyses de sève ont été réalisées à tous les stades phénologiques sur les noyers de La Noix de Demain.

Dès le départ, ce suivi de l'état nutritionnel des arbres a permis :

- de préciser les références de chaque élément minéral,
- de comprendre le fonctionnement d'assimilation des éléments par les arbres lié aux conditions météorologiques de l'année,
- de rétablir des carences, notamment au niveau de certains oligo -éléments (zinc..)
- de réduire significativement les apports de fertilisants azotés dans les parcelles.
- d'améliorer l'état sanitaire des vergers (les plantes mieux nourries sont moins stressées et moins sujettes aux ravageurs).

| Éléments analysés dans la sève des plantes | | |
|---|-----------------|-----------------|
| Brix (%) | pH | Conductivité |
| Potassium (ppm) | Calcium (ppm) | K/Ca |
| Sodium (ppm) | Magnésium (ppm) | Chlore (ppm) |
| Ammonium (ppm) | Nitrates (ppm) | N total (ppm) |
| Soufre (ppm) | Phosphore (ppm) | Silice (ppm) |
| Fer (ppm) | Manganèse (ppm) | Zinc (ppm) |
| Bore (ppm) | Cuivre (ppm) | Molybdène (ppm) |
| Aluminium (ppm) | | |

Une référence d'interprétation des analyses de sève

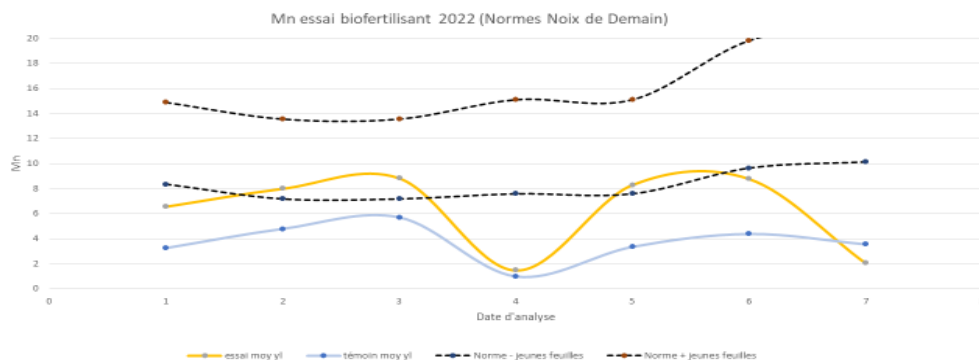
Les résultats des analyses de sève sont systématiquement interprétés par rapport à des valeurs de référence considérées comme représentatives de la population d'une espèce végétale, pour une zone géographique donnée. Pour chaque élément minéral, il existe une norme haute et une norme basse. La teneur d'un élément est considérée comme conforme lorsqu'elle se situe entre ces deux bornes ; autrement il s'agit d'un état de carence ou d'excès nutritionnel. Cependant, aucune référence récente spécifique au noyer français n'était disponible au départ de nos travaux.

En 2018, et 2019, 'La Noix de Demain' a construit son propre référentiel d'analyse de feuilles à partir de la moyenne des normes des différents laboratoires et référentiels : entreprise IRRIFER (Chili), laboratoire Aurea (France), entreprise Yara (Norvège), le référentiel noix du Sud-Est et le référentiel noix provisoire du Sud-Ouest. Ces premiers travaux ont rapidement permis aux producteurs un gain sur les intrants azotés et un ajustement des applications foliaires d'oligoéléments, qui affichaient des carences importantes.

A partir de 2019, les analyses de sève ont été mises en place avant de remplacer définitivement les analyses de feuilles en 2020. Les résultats d'analyse de sève étaient tout d'abord évalués à partir du référentiel de NovaCrop Control, laboratoire hollandais qui réalise les analyses de sève. Or, ce référentiel ne tenait pas compte de la cinétique des éléments dans la plante et n'était pas représentatif de notre région de production.

En 2020, un travail de recherche a été engagé avec Bruno BOURRIE (OLEA), conseiller en fertilisation végétale, pour construire **un référentiel d'analyse de sève spécifique à la noyeraie de 'La Noix de Demain'** (travaux en cours de publication). Par l'étude des taux moyens du groupe et des écarts-type par éléments sur plusieurs années, des normes sont construites par variété et par stade phénologique et ajustées chaque année. Ainsi, pour chaque élément mesuré par une analyse de sève, nous pouvons connaître une plage de valeur représentative des vergers du sud-ouest, en fonction de la période de l'année à laquelle est effectuée l'analyse.

A titre d'exemple, le graphique ci-dessous montre les résultats d'un essai 'biofertilisants' réalisé en 2022 sur 2 parcelles. Sont représentées les teneurs des jeunes feuilles en Manganèse (Mn) sur les témoins ou sur les blocs 'traités en biofertilisants', ainsi que les références en pointillés. On peut voir l'effet du traitement sur le taux de Mn (ppm) dans la sève des feuilles, le bloc traité ayant un taux plus élevé. On peut également suggérer de renforcer les apports en 2023 sur ces parcelles pour atteindre un taux de Mn plus élevé.



A ce jour, les normes établies en 2021 ont été vérifiées avec les données de 2022, et sont satisfaisantes ; elles nous permettent de **situer l'état nutritionnel de chaque verger à un stade phénologique, et de corriger éventuellement la situation**. C'est un outil technique de suivi très précieux car il permet de corriger un dysfonctionnement très rapidement avant même l'apparition des symptômes.

➤ 4.4 Les résultats des essais système

Les essais systèmes ont été mis en place de 2018 à 2021 chez les producteurs. Il est important de noter en préalable, que cette période a été sujette à 2 épisodes de gel printaniers importants, ayant des répercussions sur la production de noix. En 2019 (5-6 mai) et en 2021 (6-8 avril), la majorité des vergers ont été exposés à des températures négatives. Des dégâts plus ou moins importants suivant les zones ont été observés sur bourgeons et organes végétaux. Les mises en place d'essai ont tout de même été maintenues. Toutefois, il est important de noter que 2 années sur 4 d'expérimentations ont été réalisées dans des conditions limitantes, ce qui rend l'analyse du programme d'autant plus difficile.

■ 4.4.1 Résultats techniques 2018-2021

De façon générale, les protocoles d'essais communs ne semblent pas avoir d'effet sur le calibre des noix, mais des résultats encourageants de gain de production et de réduction du taux de déchets ont été obtenus. Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus en rendements sur les essais systèmes entre 2018 et 2022.

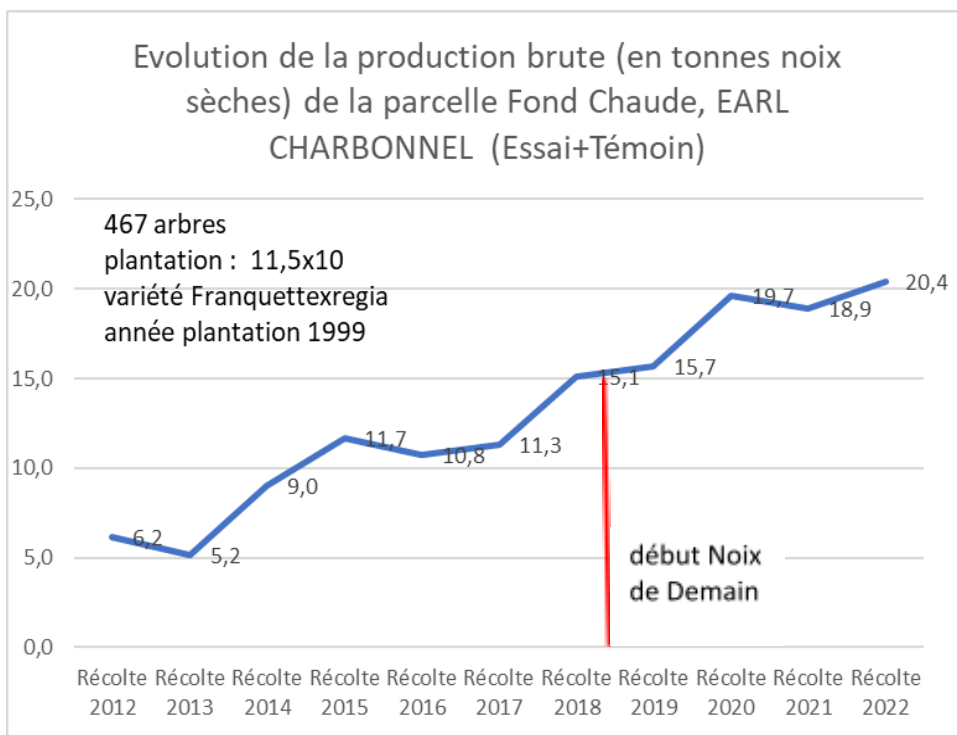
| Année | Protocole | Production : différence de production entre Essai et Témoin | méthode de suivi |
|-------|-----------------|---|--------------------|
| 2018 | Tous protocoles | + 4.51% (2 parcelles) | Poids brut récolte |

| | | | |
|------|----------------------------|---|-------------------------|
| 2019 | Tous protocoles | + 14% (6 parcelles) | Potentiel de production |
| | Conventionnel | + 11.5% (4 parcelles) | Potentiel de production |
| | AB | + 19.5% (2 parcelles) | Potentiel de production |
| | Extrait Fermenté Végétal | + 17% (1 parcelle) | Potentiel de production |
| | KTS | + 30% (2 parcelles) | Potentiel de production |
| | Tous protocoles | - 9% (10 parcelles) | Poids brut récolte |
| 2020 | Tous protocoles | + 40% (5 parcelles) | Poids brut récolte |
| | CATS | + 27% (1 parcelle) | Poids brut récolte |
| 2021 | Tous protocoles | +26 % (1 parcelle) Poids brut récolte | Poids brut récolte |
| | CATS | 1 dose : +10% | Poids brut récolte |
| | | 2 doses : -14% (biais) | |
| 2022 | lifofer biofertilisants et | +30 % (1 parcelle) | Poids brut récolte |
| | CATS | - 3 % (1 parcelle) | Poids brut récolte |

Résultats essais système 2018-2022

A titre d'exemple, il est intéressant de présenter plus précisément les résultats de la parcelle d'essai de l'EARL CHARBONNEL (Franquette). C'est une parcelle pour laquelle nous disposons de l'historique de récolte (modalités témoin et essai confondues) depuis 2012. Les résultats de rendement montrent l'évolution positive de cette parcelle qui a été l'objet d'un essai système sur 90 % de sa surface (467 arbres) contre 10% pour le témoin (48 arbres) de 2018 à 2021. En 2022, le producteur n'a pas voulu renouveler la mise en place du témoin, car il jugeait qu'il y avait trop d'écart de production entre l'essai et le témoin (cf tableau ci-après montrant les différences de rendements entre témoin et traité). Toute la parcelle a donc fait l'objet de l'itinéraire technique prévu pour le groupe et ajusté individuellement à la parcelle.

Dans beaucoup d'exploitations, les protocoles des essais système ont été généralisés à tout le verger, ou au moins aux parcelles de variétés productives.



La courbe ci-contre présente l'historique des rendements de la parcelle Fond chaude. Il est à noter que le programme d'essai a démarré en 2018 et que l'âge des vergers était alors de 19 ans.

| | rendement par arbre (kg) | | taux de variation production par arbre (différence entre essai et témoin) |
|------|--------------------------|--------------------|--|
| | ESSAI (419 arbres) | TÉMOIN (48 arbres) | |
| 2018 | 32,8 | 34,2 | -1% |
| 2019 | 34,1 | 29,3 | 14% |
| 2020 | 43,0 | 27,0 | 37% |
| 2021 | 41,4 | 32,7 | 21% |

Parcelle fond chaude- EARL Charbonnel, évolution des rendements par arbre et des taux de variation entre essai et témoin, 2018-2021

4.4.2 Intérêt économique des pratiques de l'essai système

Les essais système sont étudiés d'un point de vue technique mais également économique. Pour ce faire, une **analyse des coûts de revient** du kilogramme de noix a été réalisée en 2018, permettant de faire un état initial économique du groupe et permettant aux producteurs de travailler sur le coût de revient individuel du kilo de noix.

Il est important de préciser que les protocoles des essais systèmes ont toujours été élaborés en calculant les coûts d'intrants pour déterminer l'impact économique des intrants sur la marge brute.

Ces travaux ont été complétés lors d'une synthèse pluriannuelle (M.Arrouze, 2021), qui a calculé **les seuils de rentabilité de l'application des protocoles d'essai**. En effet, les protocoles des essais systèmes ont intégré l'utilisation de plusieurs produits biostimulants. Le nombre de passages dans les vergers a augmenté, entraînant une augmentation des charges (intrants et mécanisation). Ces charges ont été évaluées et comparées aux protocoles témoins, qui correspondaient aux pratiques des producteurs avant le début du programme d'essai.

Enfin, en fonction des variables de rendement du verger et du prix de vente des noix, l'intérêt de la mise en place de telle pratique a été mesuré. Des hypothèses de rendement à 1, 2 ou 3t/ha et des variables de prix entre 1.90 €/kg, 2.40 €/kg et 3€/kg ont été étudiées.

Le tableau ci-dessous présente les conditions de rentabilité de la mise en place des protocoles d'essai système, en comparaison aux protocoles témoins, en fonction des gains de rendement obtenus.

Synthèse des conditions de rentabilité des protocoles d'essais par rapport au Témoin

| | Gains de production minimaux E/T en % | Conditions de rentabilité |
|----------------|---------------------------------------|--|
| Conventionnels | 0 à 10% | 3 t/ha * 3 €/kg |
| | 10 à 20% | 3 t/ha * \forall prix 2 t/ha * 3 €/kg |
| | 20 à 40% | +2 t/ha * \forall prix 1 t/ha * ≥ 2.4 €/kg |
| | $\geq 40\%$ | \forall rendements * \forall prix |
| AB | 19.5% | 3 t/ha * ≥ 2.4 €/kg 2 t/ha * 3 €/kg |
| | 30% | 3 t/ha * \forall prix 2 t/ha * ≥ 2.4 €/kg |

Synthèse des conditions de rentabilité des protocoles d'essais par rapport au Témoin (M. ARROUZE, 2021)

Les résultats que nous venons de présenter auparavant oscillent entre +5 et +40 % de gain de rendement grâce à l'application des protocoles d'essai système. Aussi, **dans la majorité des cas, les pratiques travaillées par le projet 'La Noix de Demain' s'avèrent être une solution rentable.**

Ces travaux ont été complétés par une étude commanditée au CER 46 (D AMELINE, 2021), établissant les coûts de revient d'un kilo de noix. Cette étude a fait l'objet d'une formation avec les producteurs du groupe pour comparer leur coût de revient à celui de la moyenne départementale. L'objectif de ces travaux était également de cibler les leviers de progression économique des exploitations. A l'heure actuelle, les travaux servent de référence économique pour l'ensemble de la filière.

4.4.3 Essai système 2021-2022 sur Lifofer et biofertilisants

En 2021 et 2022, un travail en collaboration avec Rémi Thinard (Symbiotik) a permis la mise en place d'un système à partir de LiFoFer (Litière de Forêt Fermentée) et de biofertilisants fabriqués à partir de LiFoFer.

Les différents travaux menés sur la nutrition et les recherches bibliographiques nous mènent à la recherche d'une meilleure efficacité du système sol/plante /microorganismes, et une amélioration de la prise en compte de la biologie des sols. C'est pourquoi nous avons mis en place les essais biofertilisants. En même temps, ces essais visent une prévention des maladies et une maîtrise des charges en intrants.

A l'identique des essais système, l'essai biofertilisant a été mené sur des blocs systèmes comparés à des blocs témoins sans biofertilisant. Le témoin se situe toujours sur la même parcelle que le système (même âge, même variété et porte greffe, même sol). Il est constitué d'au moins 3 rangs dont 2 rangs de garde pour éviter les biais dus à des contaminations de traitement de la modalité traitée. Cet essai a été répété sur 2 parcelles chez le même producteur (parcelle 'chez Bouat' et 'Sogne', SCEA DELVERT).

Les indicateurs de suivi de l'essai sont :

- l'état nutritionnel des arbres grâce aux analyses de sève,
- le taux de perte de fleurs et de fruits par les comptages,
- le rendement (pesée brute à la station expérimentale de Creysse),
- le calibre et la qualité des cerneaux de noix.

D'un point de vue économique, l'intérêt est d'obtenir une réduction du coût des intrants. Aussi, nous avons comptabilisé des heures de travail pour obtenir un coût réel des bio intrants y compris la main d'œuvre (rémunérée à 15 € /heure). Pour être réaliste, la fabrication des bio intrants a été effectuée pour la surface totale du verger (40 ha).

Le protocole mis en place a été étudié par Rémi THINARD et Lydie LEYMARIE. Il résulte des besoins connus des arbres grâce aux travaux de 'la Noix de Demain' sur la nutrition, des analyses de sols des parcelles d'essai.

Pour la réalisation de cet essai, nous avons fabriqué :

- De la LiFoFer solide puis de la LiFoFer liquide,
- Des extraits fermentés de plantes (fermentation anaérobie, à base de LiFoFer), à base d'ortie, bardane, consoude, luzerne,
- Des biofertilisants spécifiques de chaque élément (N, P, K, Mg, Ca, B, Zn, Mn, Fe, Si, Mo, Cu, oligoéléments), à partir d'une fermentation anaérobie mettant en présence un élément minéral, un inoculant (lifofer, lactosérum) et des sucres (mélasse).

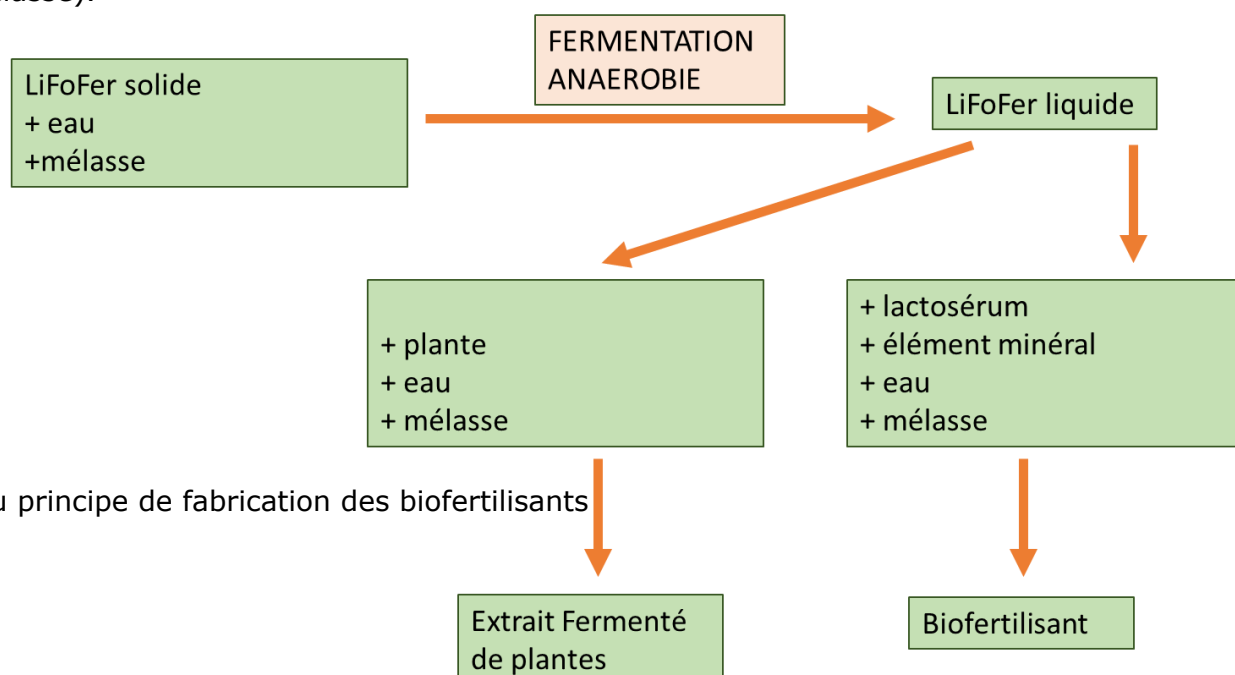


Schéma du principe de fabrication des biofertilisants

Ces intrants ont été appliqués **au sol** (2 applications en avril et juin) et **en foliaire** (4 applications sur la saison d'un mélange de tous les éléments minéraux en fonction du stade phénologique).

Des résultats encourageants sur la nutrition des noyers

Les analyses de sève ont été réalisées sur jeunes feuilles et vieilles feuilles, à 6 dates différentes de mai à septembre 2022, sur les modalités essai et témoin des 2 parcelles. L'analyse des différences de teneurs en éléments minéraux permet de valider l'efficacité des applications.

Les taux des oligoéléments Zn, Mn, Fe, B, Mo sont supérieurs sur les modalités essai, comparé aux témoins. En ce qui concerne les macro éléments (N, P, K, Mg, Ca) l'influence des applications de bio intrants n'est pas assez importante pour marquer des différences significatives. Toutefois, l'analyse graphique montre des tendances et les travaux futurs devront porter sur les quantités d'application ou la concentration des bio intrants pour gagner en efficacité.

Les résultats de rendement montrent une différence de 30 % de poids de récolte entre le rang témoin et le rang traité (15 arbres chacun). Il n'y a pas de différence de calibre cette année entre les modalités. Le taux de chute de fleurs et de fruits global est inférieur sur la modalité traitée comparé au témoin. A lui seul, ce chiffre ne peut pas expliquer la différence de rendement. Ce résultat encourageant, devra donc être renouvelé pour être confirmé.

4.5 Travaux complémentaires

Outre les essais systèmes, les travaux nous ont conduits à travailler des objectifs plus ciblés par des essais spécifiques.

■ 4.5.1 Essai retardateur de débourrement

S'inspirant de méthodes appliquées au Chili et aux Etats unis, nous avons voulu essayer la mise en œuvre de retardateurs de débourrement par l'application de 'peintures blanches' sur les arbres. Le but était de réduire la température de l'arbre, et de retarder le débourrement des noyers pour limiter le risque de gel printanier.

Un mini essai a été mis en place en 2018 chez deux producteurs. Le résultat montrait un gain de 2 à 3 jours sur la date de débourrement et un gain en homogénéité du débourrement.

L'essai a été renouvelé en 2019. Il a été mis en place le 1^{er} mars 2019 et le suivi a été



Photo ci contre : application de 2 types de 'peintures blanches' en février 2019 – chez Earl Delvert, Floirac

assuré par la Station Expérimentale de Creysse (TRANCHAND E, compte rendu retardateur de débourrement, 2020).

Il y a une différence significative de la température des arbres peints avec du BNA par rapport aux arbres des modalités témoins et avec ceux peints avec de la peinture à base de Zinc et Titane. En effet, en moyenne, toutes parcelles confondues, les arbres BNA sont respectivement 2,7°C et 2,3°C moins chauds. Cependant, la température plus fraîche des arbres badigeonnés au BNA n'a pas permis de retarder significativement le débourrement et la floraison des arbres (retards de maximum 1 à 2 jours par rapport aux deux autres modalités), ce qui n'est pas suffisant pour limiter le risque de gel. Ces essais n'ont donc pas été reconduits.

■ 4.5.2 Essais nutrition

CATS (thiosulfate de Calcium) recherche sur l'alimentation calcique du noyer en début de cycle

L'analyse des données d'analyses de feuille puis de sève a vite mis en évidence un déficit en nutrition calcique en début de cycle cultural. Des essais d'application de CATS au sol et en foliaire ont été menés entre 2020 et 2022.

Le CATS a montré un effet positif significatif sur la nutrition calcique. Le CATS semble en outre améliorer le calibre des noix, mais cet effet est aléatoire et doit encore être conforté par d'autres essais.

KTS, thiosulfate de potassium

Le KTS a montré un effet positif significatif sur la nutrition potassique. Cet essai mené seulement un an mériterait d'être reconduit.

Autres connaissances sur produits de correction nutritionnelle par analyses de sève

L'outil de référence et des analyses de sève, nous a permis, en 2021 et 2022, de comparer dans le cadre des essais mis en place, de multiples produits de fertilisation foliaire, notamment en termes d'oligoélément, à un témoin non traité. L'efficacité ou le manque d'efficacité des produits est facilement vérifiable. Il est apparu que nombre de produits foliaires peuvent être inefficaces, notamment en ce qui concerne les applications de Bore.

■ 4.5.3 Travail sur la mise en réserve des arbres et les hormones

Les travaux nous ont mené à étudier la bibliographie sur les réserves en carbohydrates des arbres. Les réserves sont fondamentales pour la production nucicole puisque, comme toutes les espèces fruitières, la production de l'année en cours est dépendante de la réserve constituée l'année précédente. La mise en réserve des plantes repose sur le taux de sucres non-structuraux (ou NSC) dans leurs tissus. Les NSC comprennent les sucres

stockés, sous forme d'amidon, et les sucres solubles mobiles (SC). Ils sont indispensables pour la survie, la condition physique ainsi que pour amortir les périodes de stress pendant la croissance.

Il existe une variation du taux de réserve selon les organes. En effet, les branches constituent le plus grand réservoir de NSC, suivies par les racines puis le tronc. Les rameaux et petites tiges servent de stockage saisonnier tandis que le tronc sert de stockage pour différents horizons temporels. Les grosses racines, tiges, et grandes branches sont utilisées pour le stockage décennal.

La teneur en NSC des rameaux est très variable tout au long de l'année. Des niveaux plus élevés de NSC dans les rameaux sont permis par leurs accumulations lors des années de faible production de fruits afin de soutenir un plus grand nombre de bourgeons floraux l'année suivante. Au printemps, une disponibilité des NSC aux bons endroits et au bon moment permet une **levée de dormance** réussie et synchronisée des bourgeons. Le débourrement est une étape cruciale pour la condition physique des plantes qui peut affecter le succès reproducteur et la performance tout au long de la saison de croissance. La levée de la dormance est déclenchée par des **signaux relativement locaux**. Mais le transport des glucides éloignés est nécessaire pendant le débourrement. En effet, lorsque les puits de NSC sont épuisés, les **glucides éloignés sont mobilisés** pour les remplacer. Ainsi, une indisponibilité de NSC peut entraîner des problèmes de rupture de dormance (fréquent chez le noyer, en particulier sur la variété fernor) et de développement des bourgeons. Le noyer est une espèce qui a besoin d'une importante réserve glucidique par rapport à d'autres espèces. En effet, l'arbre produit de gros fruits, à biomasse importante avant même que les feuilles soient autonomes en termes de photosynthèse. Ceci implique une forte sollicitation des réserves glucidiques de l'arbre entier pour le développement de bourgeons.

Nous avons jugé primordial d'étudier les réserves NSC de nos arbres et de mettre en place, à notre échelle, un observatoire. Nous avons réalisé depuis 2019 une quarantaine d'analyse de rameaux sur des parcelles de référence. Ceci nous a permis de mettre en évidence l'effet année sur les réserves en carbohydrates. Nous avons également observé **la faible teneur en amidon des rameaux de noyer**, moins de 1.3% en moyenne sur l'ensemble des analyses, ce qui reflète la difficulté des arbres à stocker dans les rameaux à fruits.

Ces analyses nous ont également permis de comprendre **l'importance des pratiques de soutien à la photosynthèse** pour optimiser le stockage des sucres (niveau d'irrigation, pratique de protection du feuillage contre la chaleur, rectification des carences nutritionnelles par fertilisation...). Le travail a été mené en 2021 par Mélanie Bordes. Elle a montré que suite à l'épisode de gel subit sur 7 parcelles de Fernor, le taux d'amidon des réserves dans les rameaux est corrélé à la capacité de débourrement des arbres. Le manque d'amidon a entraîné un retard de débourrement avec une rapidité de débourrement variée selon les parcelles.

Il reste un travail fondamental à faire sur les réserves des noyers. Les NSC participent à la plus ou moins bonne homogénéité du débourrement. De même, ils sont le

socle de la **résistance de l'arbre face aux stress**, dont les stress abiotiques dus au **changement climatique**.

La **régulation de l'utilisation des sucres** et la bonne allocation des sucres aux fruits est très importante. L'observation de nos vergers fait ressortir un problème important, en particulier sur la variété Fernor, de régulation de croissance végétative au profit de la fructification. L'utilisation d'hormones végétales naturelles pourrait aider ces régulations. Nous avons commencé des tests de produit en 2022 mais nous manquons d'indicateurs de suivi et il serait intéressant de renouveler ces essais dans le cadre d'un programme complémentaire de recherche.

■ 4.5.4 Travail sur l'efficacité des applications foliaires

Les applications foliaires, pour être efficaces, nécessitent une application homogène sur la surface de l'arbre et une eau avec des paramètres adaptés (pH, conductivité...) notamment en ce qui concerne les applications de produits phytosanitaires.

Qualité de la pulvérisation et de l'eau

Lors des réunions de groupe et lors des suivis individuels, l'animatrice et les producteurs ont réalisé plusieurs **tests de qualité de pulvérisation grâce à des papiers aquasensibles** directement en verger. L'observation de la répartition et de la taille des gouttelettes dans le houppier a permis d'optimiser l'utilisation des pulvérisateurs.

Un test sur les **niveaux d'acidité** des eaux de traitement et d'irrigation a été réalisé. Plusieurs types de produits acidifiants pour les bouillies ont été testés en 2018 (fiche technique en cours d'élaboration) pour améliorer le niveau de pH des eaux de traitements.

Ce travail a été approfondi en 2021/2022, avec la visite dans le sud-est de la France d'exploitations possédant des **unités de traitement de l'eau (conductivité, pH)** et l'organisation d'une formation sur la correction des eaux de traitements. Cette formation s'est appuyée sur l'analyse des eaux utilisées par les producteurs.

Essai d'application de fertilisant foliaire par drone



Enfin, en septembre 2022, un test d'application foliaire d'oligoéléments par **drone** a été réalisé. Nous avons visualisé la répartition des gouttelettes générées par le drone grâce à l'utilisation de bandelettes de papier hydro sensibles, bien réparties sur plusieurs arbres à plusieurs niveaux. Les gouttelettes d'une taille très réduite sont dispersées de manière assez homogène sur les feuilles.

L'application du produit a fait l'objet d'analyses de sève avant et après application sur un témoin non traité et sur un bloc ayant reçu l'application foliaire par drone. Les résultats montrent une **nette différence** (résultats non publiés) de taux de manganèse (oligo élément contenu dans le produit utilisé) en faveur de la modalité traitée. Suite à ce test, certains producteurs ont montré un vif intérêt pour ce mode d'application.

■ 4.5.5 Technique de formation des jeunes vergers améliorée

Un nouveau système de taille de formation et de conduite du jeune verger est mis en place en 1ère feuille jusqu'à la 4ème feuille. De même, la réalisation de buttes ou d'ados pour planter dans certaines conditions limitantes a été développée chez les producteurs. Ce système simplifie la taille en axe libre.

photo à gauche : verger 1ère feuille, à droite, verger 3ème feuille



Photo à gauche : verger 1ère feuille, à droite, verger 3ème feuille

Pour les vergers en agriculture biologique, des essais d'utilisation de bokashi (matière organique fermentée) ont été menés en 2022 avec des résultats très positifs sur la croissance des plantes et leur reprise. Les photos suivantes montrent des plants de fin de première feuille en octobre, plantés au mois d'avril, avec un épais paillis de bokashi recouvert de copeaux de bois.



4.6 Bilan des essais systèmes et perspectives

Les travaux menés par La Noix de demain ont permis de très gros progrès sur la **gestion de la fertilisation et la nutrition de l'arbre**. Ils ont développé également un outil technique de suivi et monitoring de la fertilisation grâce aux suivis des analyses de sève.

Les producteurs ont également été formés et ont pratiqué l'**utilisation de biostimulants** dans leur verger depuis 2018. Ils connaissent les familles de produits, les fonctions des biostimulants et les **modes d'application** (qualité de pulvérisation, qualité des eaux).

Les formations et réunions de groupe organisées ont mis l'accent sur la biologie des sols. Les producteurs ont été fortement sensibilisés à cette thématique et sur la **prise en compte et la compréhension du système sol-plante-microorganisme** et de l'importance de la vie des sols, en particulier de la maîtrise du bilan humique, et de la nécessité d'apports annuels pour maintenir un niveau de fertilité des sols.

Le suivi des sols des vergers, en particulier de la progression du rapport MO/argile des sols (comparaison des analyses de sol 2018 et 2021-2022) montre une **amélioration générale** de ce paramètre dans les vergers des producteurs de la Noix de Demain.

De même, nous avons pu noter un bien meilleur état sanitaire du verger en général.

Concernant l'**irrigation**, les producteurs sont plus appliqués dans la gestion de l'utilisation de l'eau et de l'état hydrique des arbres. La mise en place d'un outil de suivi de l'état hydrique des arbres par dendromètre (parcelle de Fond chaude) s'est révélée intéressante pour le producteur et pourrait être poursuivie comme outil de gestion de l'irrigation.

Le point clef de la production des vergers, notamment des vieux vergers, se situe dans l'aptitude à utiliser la **lumière**. En effet, la fermeture des vergers, due à une augmentation des volumes des arbres et à une trop forte densité est un facteur limitant de la production. Un des travaux fondamentaux serait de connaître la surface foliaire nécessaire pour produire une noix. Ces travaux ont été initiés en 2021-2022, notamment par une mise en exergue lors des prestations de Bruno Bourrié. Ils devraient faire l'objet d'un programme de recherche et d'expérimentation afin d'améliorer le mode de conduite et la formation des jeunes arbres, ainsi que la gestion des vieux vergers.

Le travail avec Bruno Bourrié notamment a fait évoluer les protocoles culturaux des noyers vers une prise en compte de la **température des feuilles**. Au-delà de 35 °C, la photosynthèse se bloque. Nous avons introduit les applications de produits foliaires de blanchiment estival des feuilles pour palier à ce problème. Ce thème de travail mériterait d'être poursuivi.

❖ 5. Etat d'avancement et projet de développement de la lutte par bactériophage

Le phytopathogène *Xanthomonas arboricola* est une bactérie gram-négative causant une maladie dans une grande variété de plantes. *X. arboricola* pv. *juglandis* (Xaj) provoque la bactériose du noyer, attaquant les feuilles, les noix, les bourgeons, les chatons et les jeunes branches. Les lésions commencent par de petites taches brun foncé avec un halo jaunâtre, plus tard l'infection se propage et de grandes zones de tissu nécrotique apparaissent. Xaj est également un agent causal primaire d'une maladie complexe appelée nécrose apicale brune (BAN). Cette maladie provoque des taches et des dommages aux apex et à la peau des fruits, ce qui favorise la colonisation de champignons opportunistes. L'infection de ces champignons provoque des taches brunes et une chute prématurée des fruits, générant des pertes de près de 20% dans les plantations.

Le contrôle du Xaj est particulièrement lourd et repose sur des traitements au cuivre (lorsqu'ils sont autorisés) et des pulvérisations d'antibiotiques non autorisés en France. L'utilisation de composés à base de cuivre est souvent inutile, en raison de la présence de souches très résistantes, ce qui a inspiré la recherche d'autres solutions.

5.1 Principe de fonctionnement de la lutte alternative

Une solution potentielle pour contrôler cette maladie pourrait être l'application de bactériophages. Les bactériophages (ou phages) sont de petits virus qui infectent et tuent les bactéries. En raison de leur forme extracellulaire stable, ils ont été trouvés dans presque tous les environnements sur Terre (Rohwer 2003 ; Dabrowska et al. 2009). En raison d'une augmentation de la résistance bactérienne aux antibiotiques et aux métaux comme le cuivre, il existe un intérêt croissant pour l'utilisation des bactériophages comme agents de lutte biologique, car compte tenu de leur spécificité, ils n'ont pas d'effets négatifs directs sur les animaux ou les plantes.

Le principe de la lutte par bactériophage est d'identifier la bactérie présente en France ainsi que **son bactériophage** (virus naturellement présent dans les vergers) pour ensemercer le verger préventivement. Le bactériophage présent peut bloquer le développement des bactéries.

En général, les bactériophages, après avoir reconnu la cellule cible à travers des récepteurs spécifiques de l'hôte bactérien, introduisent leur matériel génétique et génèrent de nouvelles particules virales en utilisant les enzymes de la bactérie. Ces nouveaux virus sont libérés dans l'environnement, entraînant simultanément **la mort des bactéries par lyse cellulaire**, et les particules virales libérées ont le potentiel de répéter le processus avec les bactéries voisines, principe de la thérapie par phages.

La **spécificité (gamme d'hôtes)** de ces phages vis-à-vis de Xaj a été réalisée à l'aide de techniques de co-culture et de cros-streak³, comprenant des isolats de Xaj chiliens ainsi que d'autres bactéries pathogènes entourant la culture de la noix. Tous les virus sélectionnés présentent **une activité lytique sur les isolats Xaj, français et chiliens, et non contre les autres bactéries** que l'on trouve couramment dans les cultures

agricoles.

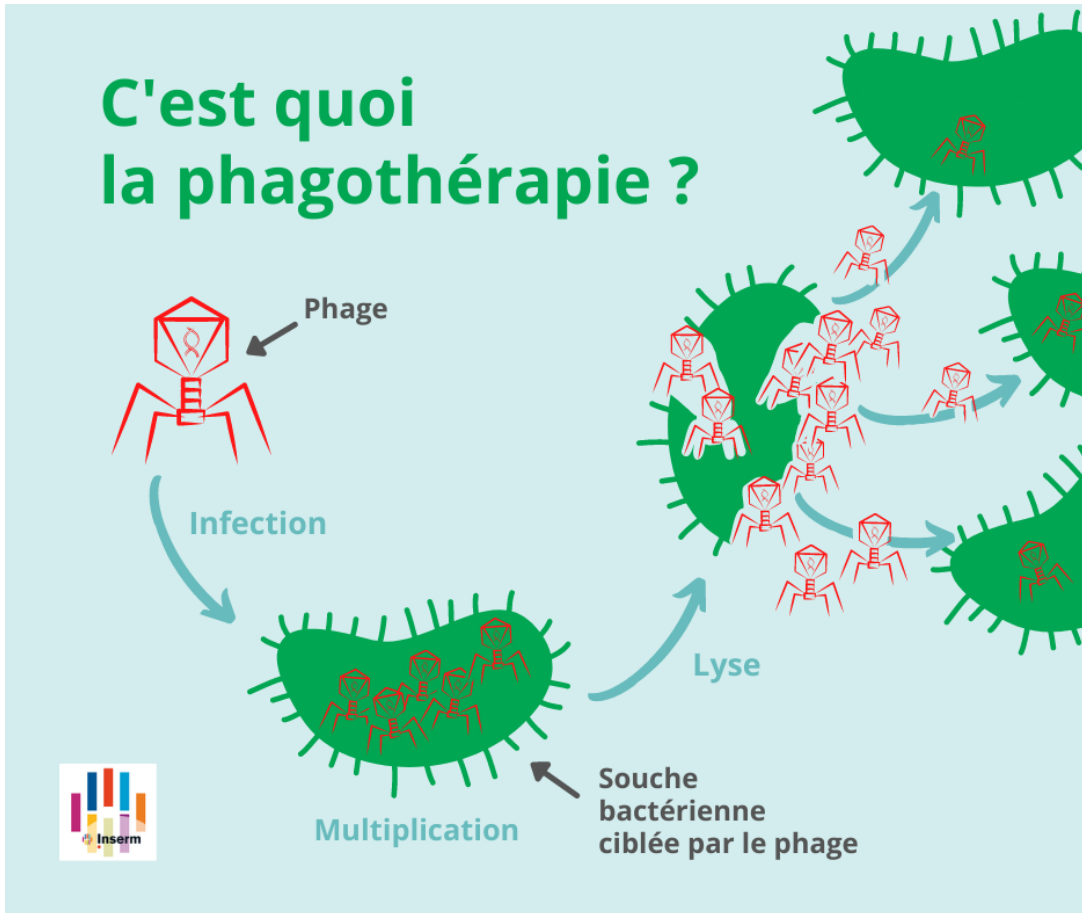
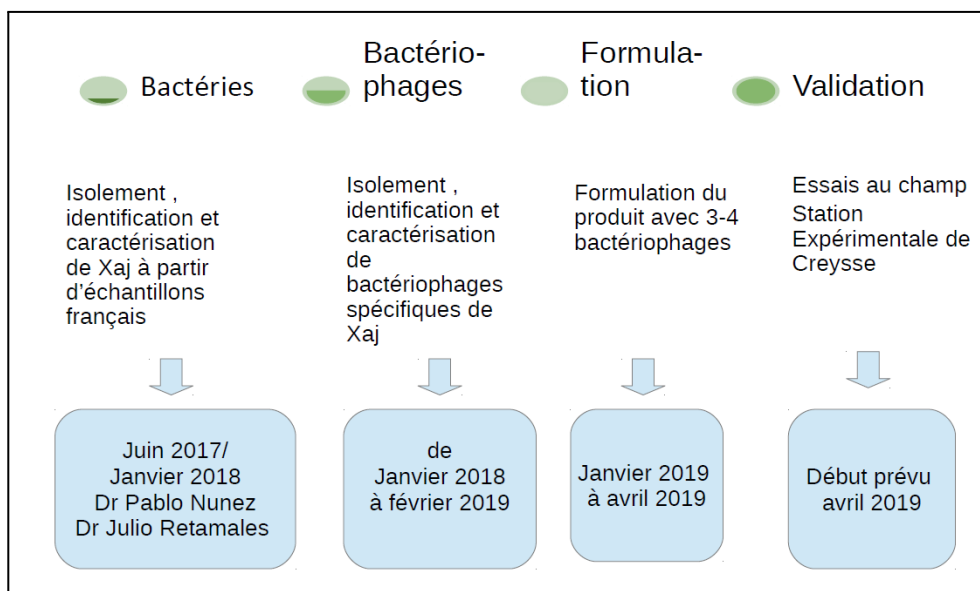


schéma de fonctionnement du cycle de répllication d'un bactériophage

5.2 Etat d'avancement de la lutte alternative

En 2017, suite à la rencontre des producteurs avec Pablo Nunez (laboratoire Agroadvance) lors de leur voyage au Chili, celui-ci est venu en France pour cibler la problématique de la bactériose sur le terrain. A l'issue de ce travail, les producteurs ont décidé de répondre à l'appel à projet GOPEI en incluant les travaux de recherche sur les bactériophages.

5.2.1 Travaux d'identification et de sélection des bactériophages



En 2018, les chercheurs chiliens sont venus deux fois dans les vergers des producteurs de 'la noix de demain' et au laboratoire de l'université Paul Sabatier. Ils ont **identifié**, à partir d'échantillons pris dans nos vergers, **les bactéries** (*Xanthomonas Arboricola juglandis*, Xaj) **présentes dans nos vergers ainsi que des bactériophages endémiques** (virus antagoniste spécifique à Xaj). Les travaux de mise en culture et identification ont été conduits à Toulouse, dans le laboratoire LEFE, grâce au partenariat établi dans le cadre du GOPEI 'La Noix de Demain'.

Nos collaborateurs chiliens ont par la suite exporté les bactéries françaises et bactériophages français endémiques pour faire du travail de laboratoire au Chili, en particulier, pour sélectionner les souches de bactériophages les plus intéressantes. Les bactéries françaises ont montré par les travaux de laboratoire une faible sensibilité au cuivre, qui montre l'urgence de trouver des luttés alternatives.

A ce jour, les résultats du séquençage des génomes **d'identification et de sélection des bactériophages sont réalisés**. De grandes similitudes entre les génomes de phages analysés, indépendamment de leur localisation d'origine (Chili ou France) ont été observées. La préparation cocktail de 4 phages a été effectuée en vue d'obtenir une meilleure capacité d'infection que chaque phage seul. Enfin, la stabilité vis-à-vis d'une augmentation de la température et du rayonnement UV-C a été évaluée montrant que leur concentration diminue légèrement après exposition à un choc thermique, alors que face au rayonnement UV-C leur concentration diminue, indiquant une résistance élevée aux environnements externes défavorables. Globalement, les phages présentés se positionnent comme de bons candidats pour le biocontrôle de Xaj.

Ces travaux ont donné lieu à des **publications scientifiques** :

- Characterization of *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* Bacteriophages against Bacterial Walnut Blight and Field Evaluation, Julio Retamales et al., *Viruses*, 2022
- Isolation, characterization, and comparative genomic analysis of five novel Autographiviridae lytic phages against *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* and pv. *Corilyna*, María Camila Morales et al., *Viruses*, 2023
- Un troisième article est en cours de publication dont les résultats ont été présentés au IX^{ième} symposium on Walnut and Pecan ISHS , Grenoble, juin 2023.

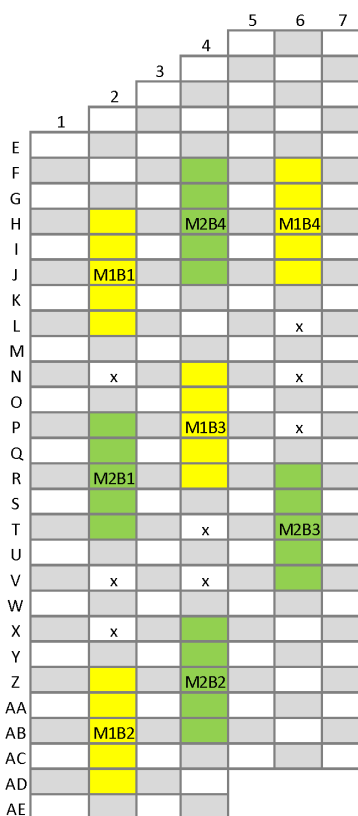
5.2.2 Essai en verger, à la station expérimentale de Creysse

Les ingénieures projet la Noix de Demain et de la Station Expérimentale de Creysse, se sont rendues au Chili (février 2019), pour **échanger** et mettre en pratique, avec nos collaborateurs chiliens, les techniques d'expérimentation des bactériophages et maîtriser les techniques de monitoring des bactéries pour le suivi de l'essai en verger.

L'essai bactériophage a été mis en place en Avril 2019 sur une parcelle de la Station Expérimentale de Creysse (avec dérogation au permis d'expérimenter auprès de l'ANSES). Le protocole d'application et le suivi de l'essai repose sur un protocole établi en collaboration avec le laboratoire AgroAdvance.

Mise en place du dispositif expérimental en 2019

Dans le cadre de cette étude cinq variables ont été mesurées : la quantité de colonies bactériennes de Xaj, le pourcentage de chutes de noix par catégorie, le rendement et la qualité des noix.



Avant la première application des bactériophages au verger, le niveau de pression et la répartition de la maladie ont été déterminés afin de valider la parcelle par la présence homogène de la bactériose à un taux d'inoculum important. Ainsi, début avril 2019 les premiers prélèvements de bourgeons dormants ont été effectués et mis en culture au laboratoire, pour dénombrer visuellement les colonies de Xaj présentes. Le taux déterminé, l'essai en blocs de Fisher de 4 répétitions a pu être mis en place avec ses 2 modalités : Témoin non traité (en vert), et traitement (en jaune) avec le produit à base de bactériophages (voir schéma ci-contre).

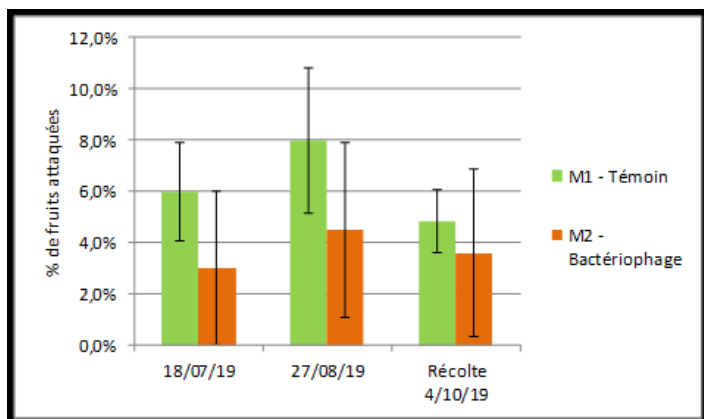
Après chaque traitement, des observations ont été faites pour évaluer l'effet du produit sur les organismes non cibles et déterminer l'absence de phytotoxicité.

Les 3 applications prévues au protocole 2019 ont débuté le 26 avril à 15% du stade Cf (débourrement) et ont été répétées en cadence de 10 jours. Le suivi de l'essai s'est déroulé majoritairement au laboratoire à partir de prélèvements de tissus végétaux, broyés et mis en culture sur milieu artificiel pour déterminer le nombre de bactéries qui s'y développent. Afin de suivre l'évolution des populations bactériennes au cours de l'essai, les manipulations et les observations au laboratoire ont été renouvelées tous les mois jusqu'à la récolte.

plan de l'essai bactériophage, station expérimentale de Creysse, 2019.



Lors de l'essai 2019 il est apparu que le suivi des colonies de Xaj sur milieu de culture était très complexe. En effet, il y avait beaucoup de bactéries aux morphologies distinctes. Une analyse par PCR a été réalisée afin d'assurer une identification des bactéries nommées par simple reconnaissance visuelle. Ces analyses ont révélé que **Xaj a potentiellement plusieurs morphologies**, et que celles-ci sont différentes de celles observées lors de la formation au Chili.



En parallèle, des observations de dégâts de bactériose sur fruits sur le terrain ont été faites jusqu'à la récolte montrant un léger effet positif.

Pourcentage de noix bactériosées sur les modalités de l'essai bactériophage à 3 instants dans la saison (2019)

Les conditions climatiques de l'année 2019 n'ont pas été optimales pour l'expression du potentiel de la maladie (printemps peu humide et températures moyennes fraîches <20°C). De faibles taux de dégâts ont été constatés sur les arbres témoins lors des observations aux vergers (<8%) insuffisants pour discriminer les modalités.

Amélioration du suivi des populations bactériennes par la QPCR

L'essai a été renouvelé en 2020 jusqu'en 2022 afin d'affiner les premières tendances suivant le même dispositif expérimental, sur la même parcelle.

En 2020, les bactéries présélectionnées de façon visuelle ont été envoyées auprès des laboratoires de l'université de Toulouse afin de réaliser une analyse **PCR** pour confirmer le diagnostic. Cette analyse qualitative a permis de détecter la présence ou l'absence de Xaj pour chaque microparcelle.

À partir de 2021 en complément de cette analyse, une **PCR quantitative (QPCR)** a été également réalisée par AgroAdvance (après extraction de l'ADN au laboratoire EDB). L'objectif de cette analyse est de quantifier les colonies présentes dans les échantillons. La QPCR complète la PCR classique, et va permettre de confirmer ou d'infirmer une partie de l'hypothèse selon laquelle le parasitisme exercé par les bactériophages permet de réduire significativement la quantité de bactéries Xaj.

| Modalité | Echantillon | 8 avril Bourgeons | 30 avril Bourgeons | 21 mai Fleurs | 28 mai Feuilles | 21 juillet Feuilles | 14 décembre Bourgeons |
|-----------|-------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
| M1 témoin | 101a1 | + | - | 0 | 0 | + | - |
| | 101a2 | + | 0 | + | 0 | - | + |
| | 201 | + | - | 0 | - | - | - |
| | 301 | - | - | 0 | 0 | 0 | + |
| | 401 | - | - | 0 | 0 | 0 | - |
| M2 traité | 102a1 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | + |
| | 102a2 | - | - | 0 | 0 | 0 | + |
| | 202 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | + |
| | 302 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | + |
| | 402 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | + |

| Modalité | Echantillon | 8/04/2021 | | | | 14/12/2021 |
|-----------|-------------|------------|--|--|--|------------|
| M1 témoin | 101a1 | 1.34E+06 * | | | | 3.98E+07 |
| | 101a2 | 1.80E+05 * | | | | 2.18E+08 |
| | 201a3 | 7.15E+05 * | | | | 1.51E+07 |
| | 301a4 | 8.21E+05 * | | | | 7.5E+06 |
| | 401a5 | 1.13E+05 | | | | 1.04E+04 |
| M2 traité | 102a1 | 4.84E+04 | | | | 2.88E+07 |
| | 102a2 | NEGATIVE | | | | 7.59E+04 |
| | 202a4 | 1.27E+05 | | | | 1.27E+07 |
| | 302a5 | NEGATIVE | | | | 1.73E+06 |
| | 402a3 | 7.94E+04 | | | | 1.09E+07 |

Résultats PCR et QPCR, par modalité, essai bactériophage 2021.

Les analyses QPCR révèlent en début de campagne 2021, une population Xaj moins importante sur M2 comparé au témoin (test kruskall wallis significatif). On peut supposer que les traitements de 2020 pourraient avoir un effet sur la diminution des populations de bactéries en début de cycle suivant. Cette technique de suivi quantitatif des populations, pourrait permettre, sur plusieurs années, de suivre le déplacement éventuel des bactériophages de la modalité M2 vers le témoin. Si tel est le cas, les applications de bactériophages pourraient participer à un assainissement progressif des parcelles.

Le suivi des populations marque également la faible pression bactérienne de la parcelle sur tout le cycle cultural, sur les deux modalités. C'est la principale difficulté qui ne nous permet pas d'exploiter statistiquement les résultats obtenus.

Résultats, des difficultés d'analyse liées à une faible pression maladie

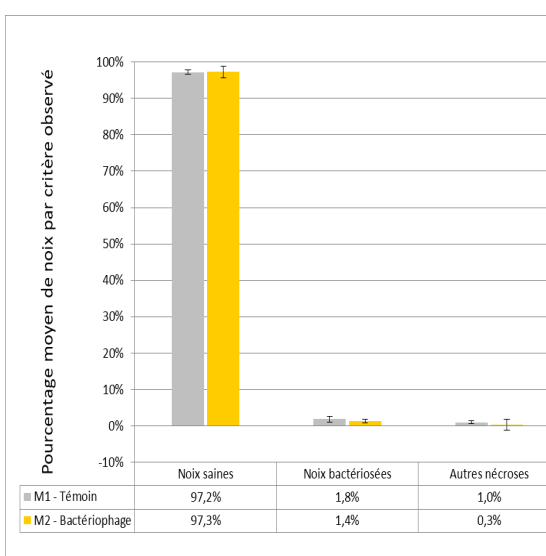
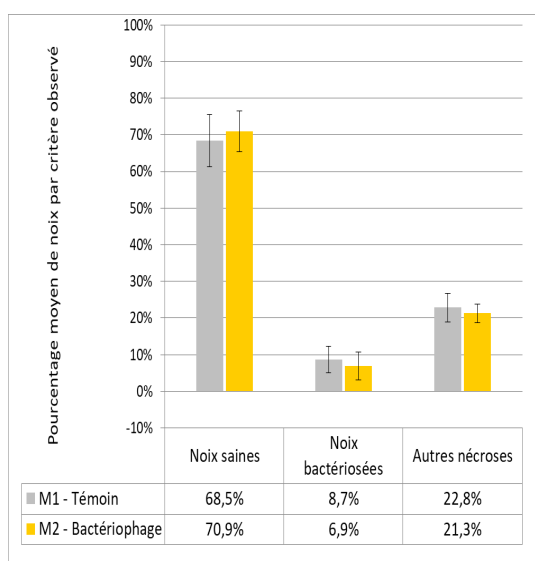
Pour les essais 2020, 2021 et 2022 un suivi de la chute des noix a été mis en place au

niveau des micro parcelles de l'essai. Pour cela une bâche est placée sous la canopée des arbres suivis. Elle est disposée sur le rang de plantation sur une largeur de deux mètres et une longueur qui permet de couvrir le diamètre du feuillage.

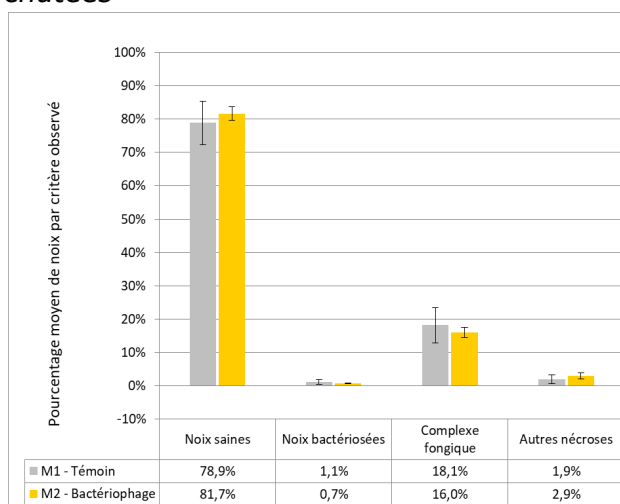
À chaque notation les quatre observations suivantes sont réalisées:

- Le nombre de chutes de noix physiologiques (noix inférieures à 1 cm)
- Le nombre de chutes de noix saines
- Le nombre de chutes de noix bactériosées
- Le nombre de chutes de noix nécrosées (autre origine que la bactériose)

Les résultats sont présentés dans les histogrammes ci-dessous.



Essai bactériophage 2020 (à gauche) et 2021 (à droite) , taux de chutes par type de noix chutées



Essai bactériophage 2022, taux de chutes par type de noix chutées

Encore une fois, le problème principal de cette étude est la faible pression en bactériose sur la parcelle de l'essai (moins de 2% de noix chutées par bactériose en 2021 et 2022

sur tout le cycle cultural).

Les observations et les mesures qui ont été effectuées lors de ces quatre années d'essai avaient pour but d'évaluer l'efficacité des bactériophages spécifiques de *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* dans la lutte contre la bactériose du noyer sur verger français. Ces résultats n'ont pas permis de mettre en évidence que le parasitisme exercé par les bactériophages permet de réduire significativement la quantité de bactéries Xaj, et par conséquent le pourcentage de dégâts de bactériose.

Toutefois, les résultats obtenus ont permis de confirmer que l'application de la solution de bactériophages n'a pas d'effet phytotoxique.

Ce programme a permis d'importantes avancées scientifiques sur des techniques de lutte biologiques inexplorées en France. La mise en place des essais sur le bactériophage a nécessité l'investissement dans du matériel de laboratoire (mise en culture des microorganismes etc...) sur la station expérimentale de Creysse ainsi que l'acquisition de savoir-faire (formation des ingénieurs). Cet investissement, permet d'ores et déjà de développer d'autres projets sur des thématiques de lutte par bio contrôle : le projet MAGIC, par exemple sur l'expérimentation et la recherche de lutte alternatives contre les champignons de conservation.

5.3 PHAG-2S et la prolongation des recherches

Au-delà des transferts de compétences, les partenariats scientifiques ont permis la création de collaborations durables entre les différents partenaires du projet, matérialisé entre autres par un accord conjoint de recherche entre le comité des fruits à coques du Lot et le laboratoire Agroadvance.

Cette collaboration s'est étendue aux autres partenaires de la Noix de Demain, Station expérimentale de Creysse et laboratoire EDB. Ainsi, les partenaires français ont intégré le projet PHAG-2S. Le projet PHAG-2S vise à explorer la phagothérapie comme nouvelle stratégie de lutte contre les bactérioses végétales dans une étude multifilière (noix / laitue). Il permettra d'analyser les interactions entre des bactériophages, des bactéries phytopathogènes du genre *Xanthomonas* et leurs plantes hôtes (laitue et noyer) afin d'évaluer l'utilisation de bactériophages naturels en lieu et place de produits chimiques.

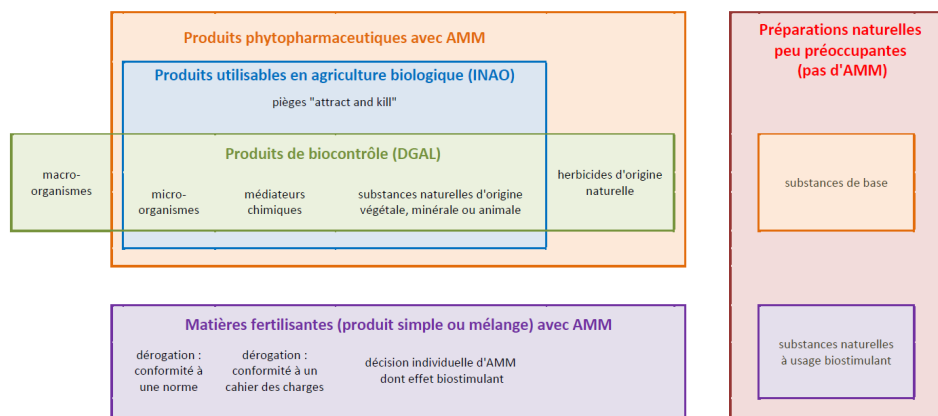
Dans le cadre de ce projet, les essais en verger seront reconduits de 2023 jusqu'à 2025. De plus, des études de coévolution des populations de Xaj et des bactériophages seront menées.

■ Développement commercial de la lutte alternative par les bactériophages

Le développement de la lutte par bactériophage passe par un développement commercial du produit. Les microorganismes font partie de la classification des produits de biocontrôle. La notion de biocontrôle est nationale. Elle a été introduite en octobre 2014 par la loi d'avenir pour l'agriculture qui modifie le code rural et de la pêche maritime

(article L. 253-6 modifié). A l'exception des macro-organismes, **les produits de biocontrôle sont tous des produits phytopharmaceutiques** qui relèvent de la réglementation communautaire générale (règlement (CE) N°1107/2009) et qui font l'objet d'une évaluation de leur efficacité, de leur sélectivité, et de leurs risques pour l'homme (opérateur, travailleur, résidus...), les milieux et les organismes non cibles qui s'y trouvent (eau, air, sol, faune, flore).

Schéma - produits de biocontrôle, utilisables en agriculture biologique, PNPP et MFSC



DAMM – Version n° 2 – Mise à jour au 13/03/18

La procédure de réalisation d'un dossier d'Autorisation de Mise en Marché est très complexe et peut être très coûteuse. Nous disposons de peu d'accompagnement pour éviter des écueils dans sa réalisation. Nous avons sollicité les services de l'État en avril 2018 (rencontre avec Mr le Préfet du Lot et Mr le directeur Départemental des Territoires et son chef de service agriculture) pour nous guider pour optimiser notre travail et notre investissement.

Le travail du projet PHAG-2S permettra, nous l'espérons de concrétiser des partenariats techniques et commerciaux afin de permettre la mise en place concrète de cette lutte alternative par les producteurs.

6. Etat d'avancement et projet de développement de la lutte biologique contre la

mouche du brou (Dr Campan, laboratoire LEFE).

Une étude débutée en 2015/2016 sur la différence de vitesse d'implantation de la mouche du brou entre deux vallées lotoises est à l'origine du projet. Dans la vallée du Lot, la mouche est apparue et s'est implantée rapidement alors que dans la vallée de la Dordogne (nord du Lot et Sud Corrèze), la mouche est apparue plus tardivement et semble se « propager » moins vite. Le comité du Noyer du Lot s'était rapproché du Docteur Erick Campan, du laboratoire LEFE (anciennement Ecolab) (CNRS, Université Paul Sabatier), pour expliquer cette différence et voir si l'agent responsable de cette différence pouvait être utilisé/favorisé pour limiter l'expansion et l'impact de la mouche sur les noyaies.

Nous nous sommes donc intéressés :

- aux facteurs abiotiques rencontrés dans ces vallées (6.1) ;
- à l'entomofaune indigène des vergers de noyers (6.2) ;
- à l'élevage de la mouche (pour faciliter les tests en laboratoire) (6.3) ;
- aux phéromones de marquage utilisées par les femelles Tephritidae (6.4) ;
- aux nématodes entomopathogènes (6.5) ;
- aux champignons entomopathogènes (6.6) ;
- aux guêpes parasitoïdes (6.7) ;

➤ 6.1. Etude des facteurs abiotiques :

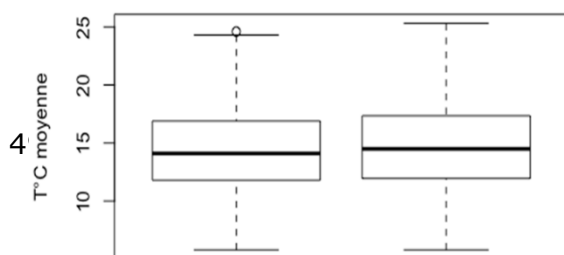
Pour étudier la différence de densité entre les vallées, l'étude a tout d'abord porté sur les conditions environnementales pouvant induire une différence dans le développement des mouches.

Nous avons étudié les variations de températures et la qualité du sol entre les deux vallées, en prenant plusieurs vergers comme référence.

1/ La température :

Selon la bibliographie, la mouche du brou se limiterait aux zones dont les températures moyennes printanières sont supérieures à 07°C. Nous avons donc récupéré les températures du printemps, sur 3 ans (de mars à juin, de 2014 à 2016) : elles n'ont montré aucune différence entre les différents sites.

Température moyenne printanière sur les 2 sites



2/ Le sol :

Pour sa nymphose, la larve tombe au sol et s'enfonce pour y faire sa puppe. Cette étape est cruciale car durant ce laps de temps, la larve est exposée à la prédation et au parasitisme. Il faut donc qu'elle puisse s'enterrer rapidement.

Les premières analyses en pénétrographie réalisées sur les rangs (R) et les inter-rang (IR), ne montrent pas de différence exploitable entre les sites.

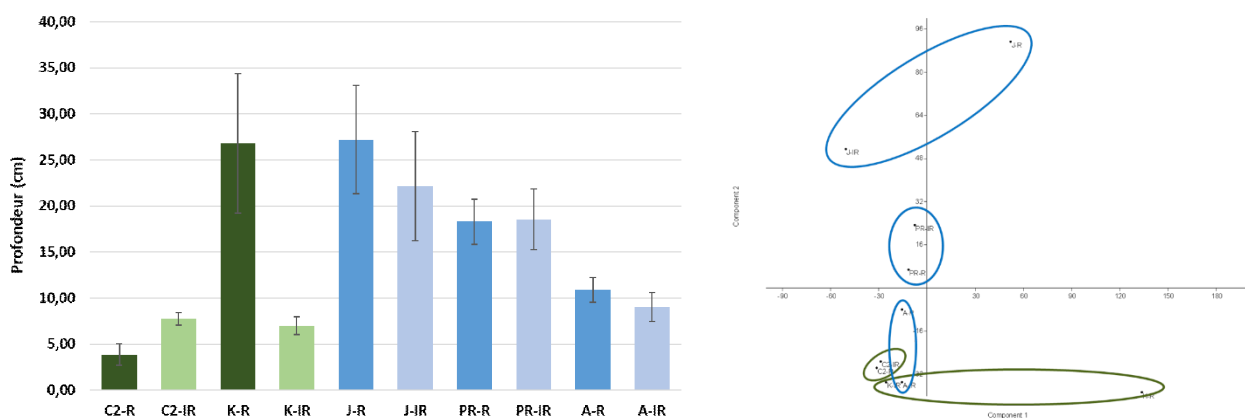


Fig. 4 : Analyses en pénétrographie sur les rangs (R) et les inter-rang (IR) des diffè

Pour compléter ces résultats nous avons fait une analyse granulométrique par laser. Ce type d'analyse nous renseigne sur la texture minérale des sols et son influence sur l'aptitude des mouches à s'enfoncer dans le substrat.

Entre 3 et 7 mesures ont été effectuées sur les 30 échantillons de sols, séparant les particules selon leur taille, de 0.011 μm à 3000 μm . Nous avons ainsi la quantité exacte d'argile (de 0.011 à 2 μm), de limon fin (de 2 à 20 μm), de limon grossier (de 20 à 60 μm), de sable fin (de 60 à 200 μm), de sable grossier (de 200 à 2000 μm) et de gravier (au-delà de 2000 μm) pour chaque parcelle.

Nous avons utilisé différents outils statistiques : au final, si les sites sont bien identifiés et se comportent de la même manière au niveau texture, il nous est impossible de mettre en évidence des différences qui pourraient jouer sur la rapidité des larves à s'enfoncer dans le sol.

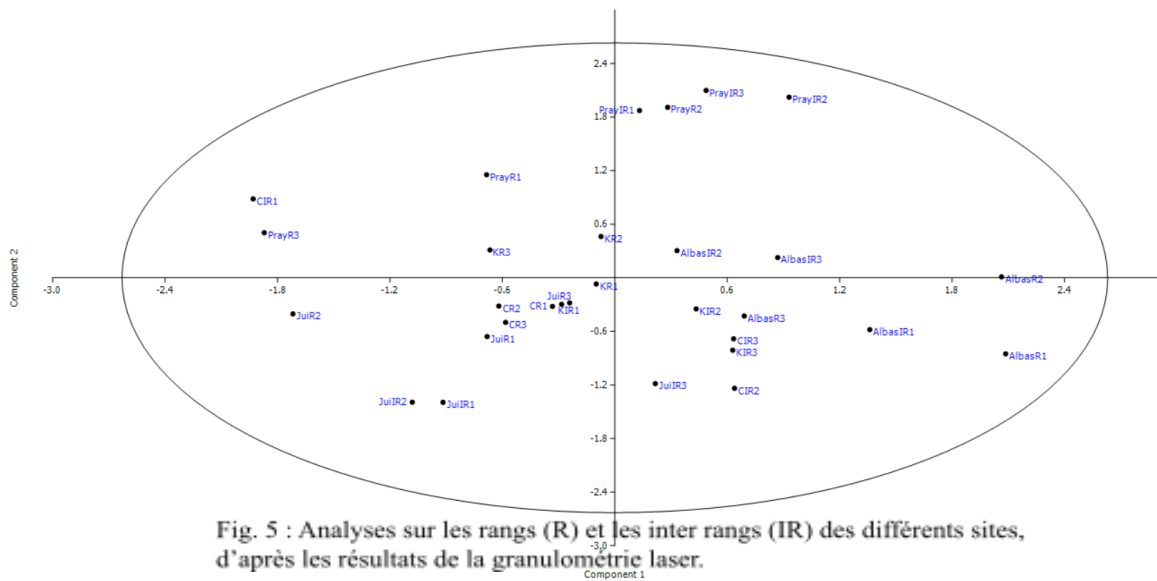


Fig. 5 : Analyses sur les rangs (R) et les inter rangs (IR) des différents sites, d'après les résultats de la granulométrie laser.

➤ 6.2. Etude sur l'entomofaune et recherche d'un auxiliaire indigène

Les pratiques culturales, en particulier l'utilisation de pesticides, pouvant varier entre les différents sites, celles-ci peuvent impacter la biodiversité des vergers, et limiter ou favoriser des insectes auxiliaires de culture. En 2016, des relevés complets de l'entomofaune de plusieurs vergers des deux vallées ont été réalisés entre les mois de juillet et août (période d'émergence des mouches adultes).

Différents types de pièges (Pitfall, à émergence, aspirateur) ont permis de récupérer durant 7 semaines les insectes sur et autour des arbres. Fin 2017, seulement 1806 arthropodes de la 1ère année avaient pu être identifiés

Dans le cadre du GOPEI, nous avons continué l'identification de l'entomofaune de ces vergers pour voir si de potentiels insectes auxiliaires (prédateurs ou parasitoïdes) étaient présents.

La 1ère et la dernière semaine de capture ont été analysées. Chaque insecte capturé a été photographié, mesuré, identifié et a fait l'objet d'une fiche.

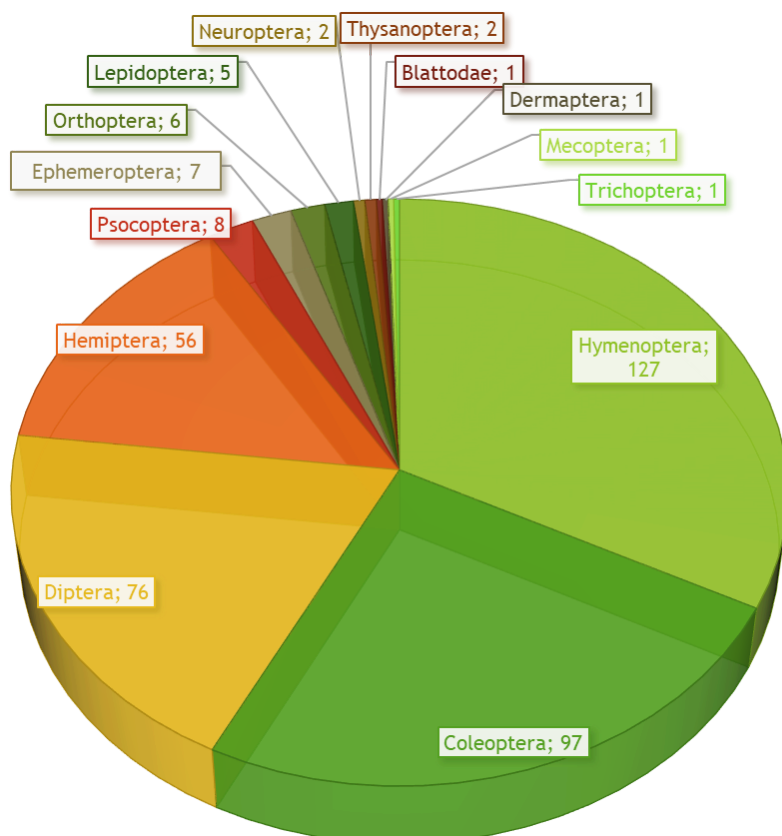
| ORDRE | FAMILLE | SOUS-FAMILLE | NOM/CODE | Taille (mm) | Piège | Identifiant |
|------------|-----------|--------------|-------------------------------|-------------|-------|-------------|
| Coleoptera | Carabidae | Harpalinae | <i>Demetrias atricapillus</i> | 5,5 | Arb K | AM |

Corps orange sauf la tête et dessous des méso et métathorax noirs. Elytres laissant dépasser le bas de l'abdo. Echancre aux tibias des P1. Avant-dernier article des tarsi bilobé. Quelques poils oranges à l'arrière des yeux. Tache sombre sur le haut de l'abdomen

Fig.6 : Exemple de fiche établie

En 2018, plus de 11000 arthropodes ont été identifiés sur les deux vallées, dont 9641 insectes, appartenant à 392 espèces différentes.

Parmi celles-ci, l'écologie des espèces pouvant potentiellement être intéressantes dans la lutte biologique contre la mouche du brou reste à être identifiée (régime alimentaire ou développement parasitaire). Certaines familles présentes dans nos vergers (Hyménoptère : Braconidae et Diapriidae) sont plus particulièrement ciblées puisque c'est dans ces groupes que l'on rencontre les parasitoïdes naturels de la mouche du brou aux USA et au Mexique (voir le point 4.3.7).



➤ 6.3. Elevage de la mouche

Dans l'optique de pratiquer plus facilement les tests avec les différents ennemis naturels de la mouche (voir les points suivants), il est indispensable de maîtriser l'élevage de cette mouche in vitro, c'est-à-dire, sans la noix, ni le brou, uniquement sur milieu artificiel.

1/ Collecte des individus

Pour mener à bien les différentes expérimentations nous avons besoin de collecter des noix infestées, afin de récupérer les larves puis les pupes.

Chaque année, ce sont plus de 2000 larves puis pupes qui sont ainsi récoltées et triées une par une, pour finir leur diapause au réfrigérateur.



refrigerateur.

2/ Maintenance des adultes

Depuis 2017, l'émergence des mouches adultes et leur maintenance sont étudiées au laboratoire.

A ce jour, les conditions sont maîtrisées : nous avons + de 70% d'émergences réussies et les adultes s'accouplent et vivent plus d'un mois dans leurs cages (+ de 3 mois pour certains individus).

Les adultes sont maintenus dans des cages type Bugdorm © (30 x 30 x 30 cm). Ils sont nourris avec de l'eau, ainsi qu'un mélange d'eau + sucre + levure de bière.



Fig. 9 : Pupes sorties de diapause (réfrigérateur), émergence d'une mouche adulte, cages contenant les adultes.

3/ Tests nourritures artificielles des larves

Entre 2018 et 2021, différents substrats nutritifs artificiels ont été testés (à base de carottes lyophilisées, farine de maïs, brou de noix, mélange de substrats...). Si les résultats sont peu concluants, ils ont permis d'ores et déjà d'éliminer certains substrats non adaptés à l'élevage des larves. Cette mouche est particulièrement difficile à élever, surtout si l'on veut avoir assez d'individus pour faire des expérimentations. Ceci est confirmé par la bibliographie : toutes les expérimentations ont été faites sur des larves ou des pupes récupérées en milieu naturel.



Fig. 10: Différents milieux nutritifs artificiels testés pour le développement des larves. A gauche, 2 larves

4/ Test de ponte de la mouche in vitro

En plus des milieux nutritifs pour l'élevage des mouches, il est nécessaire de maîtriser la reproduction de la mouche et donc de pouvoir la faire pondre en captivité. Si les adultes s'accouplent facilement dans la cage, les femelles ne pondent pas.

Jusqu'à présent, les tests réalisés se sont avérés décevants. Ils reposent sur l'utilisation d'un milieu artificiel ou de substrats naturels de substitution tels que des fruits.

- substrats artificiels : nous avons réalisé différents substrats variables dans leur forme, leur composition et leur couleur (diverses teintes de vert). Même les « sucettes » (voir photo) sensées mimer la forme de la noix, se sont révélées inefficaces pour l'obtention des larves malgré l'observation d'accouplements et de parades de « guarding » de la part des mâles.

- substrats naturels : selon la bibliographie, la poire et la nectarine pourraient être des substrats de substitution pour la ponte de cette mouche mais pratiquement toutes nos tentatives se sont soldées par des échecs. Nous n'avons obtenu que 2 œufs sur une poire. Ces œufs ont été transférés sur milieu nutritif artificiel, et un seul adulte a été obtenu. Par contre, les mâles se comportent comme sur les noix, avec des combats de territoire et accouplements avec les femelles sur ces fruits.

Seules les noix vertes (sur leur rameau, dans un verre d'eau) ont été acceptées et ont

permis l'obtention de larves puis de pupes. Malheureusement cette solution n'est pas adaptée pour faire un élevage de masse.



Fig. 11 : Quelques substrats de ponte testés au laboratoire : coupelles, sucettes, nectarine, poire.

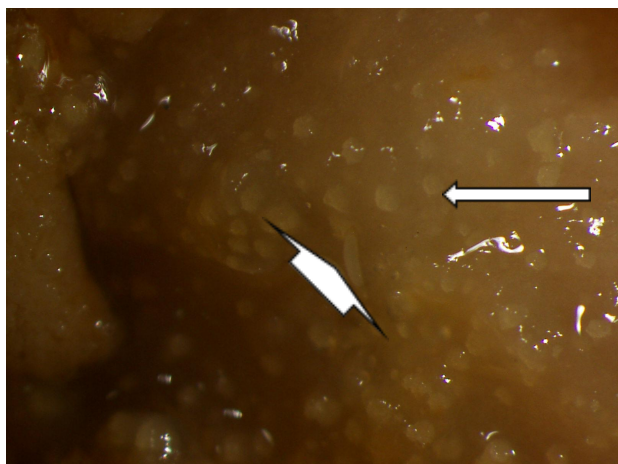


Fig. 12 : les deux œufs de mouche dans une poire

➤ 6.4. Les phéromones de marquage - Etude bibliographique

Les mouches femelles de la famille des Tephritidae sont connues pour marquer le fruit sur lequel elles viennent de pondre. Ceci permet d'éviter que d'autres femelles ne viennent pondre sur ce même fruit. Elles évitent ainsi la compétition entre les larves.

Notre idée était d'isoler, d'identifier et d'utiliser les composés de marquage pour en saturer les fruits et empêcher les femelles de trouver un fruit « disponible » pour leurs pontes.

L'étude bibliographique (documents publiés entre 1972 et 2016) a démontré que contrairement aux autres Tephritidae, et contrairement à ce que laissait supposer une publication sur la mouche du brou de 1972, *R. completa* ne ferait pas ce marquage, bien au contraire. ∴ L'explication de l'absence de marquage serait que en début de fructification, le brou est dur à percer par la femelle via son ovipositeur. Une fois qu'une femelle a percé le brou pour déposer ses œufs, si elle marquait le fruit, les autres femelles pourraient venir déposer leurs œufs en utilisant le même orifice, et il y aurait compétition nutritive entre les larves dans un brou non détérioré. Par contre, en fin de fructification, lorsque le brou est mou et détérioré, plusieurs femelles peuvent pondre sur une même noix : les femelles pratiquent la sur-infestation d'un même fruit ; ceci n'est pas un

problème car chez cette espèce, et contrairement à d'autres mouches de la même famille, les larves se montrent gregaires et non cannibales.

➤ 6.5. Les nématodes entomopathogènes

Les nématodes sont utilisés comme méthode de lutte alternative contre de nombreux insectes ravageurs (y compris des mouches) dans plusieurs productions végétales. Grâce à leurs bactéries symbiontes, ils tuent les insectes en moins de 48h. Suite à la rencontre entre la société Koppert et les partenaires du GOPEI en 2018, nous avons établi un protocole d'expérimentation avec des nématodes.

Du printemps 2019 jusqu'à l'été 2022, nous avons testé 2 espèces de nématodes (*S. feltiae* & *H. bacteriophora*) sur les différents stades de la mouche du brou. Dans le cas des larves, nous avons également testé l'influence du substrat (sol du verger ou terreau du commerce) sur l'efficacité des nématodes.

Les résultats provisoires (non diffusables pour l'instant sans l'accord de la société Koppert) montrent une différence d'efficacité entre les deux espèces de nématodes, un effet du substrat sur cette efficacité, mais également que tous les stades de la mouche ne sont pas sensibles aux nématodes.

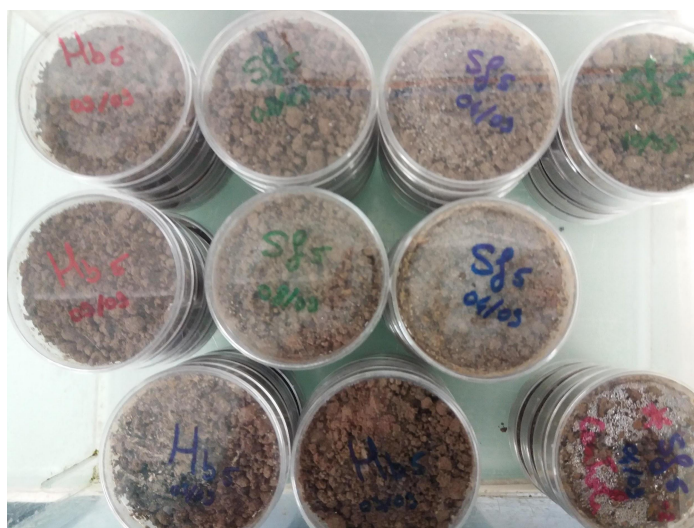


Fig. 13 : Boîtes de collectes des larves de mouches (noix infestées), et boîtes de tests contenant les larves et la solution des nématodes (sol du verger).

- Tests sur les larves :

Ces tests ont été les plus difficiles à réaliser car ils nécessitaient la collecte, chaque jour, de nombreuses larves de dernier stade, au moment où elles quittaient les noix pour faire leur puppe dans le sol.

Les larves ont été mises dans de petites boîtes de Pétri contenant du substrat (terre du verger ou terreau du commerce). Une fois qu'elle se sont toutes enfoncées dans le substrat (preuve qu'elles étaient bien vivantes), nous avons fait 3 lots : un lot contrôle où il n'y a eu que de l'eau ajoutée dans les boîtes, un lot avec l'ajout de la solution contenant des nématodes de l'espèce *S. feltiae*, et un lot avec l'ajout de la solution contenant les nématodes de *H. bacteriophora*.

L'expérience a été réalisée 4 fois, avec 10 boîtes par lot et 5 larves par boîte.

Les résultats montrent que les nématodes s'attaquent bien aux larves. Au bout de 15 jours, la mortalité approche les 50% dans certains lots traités, largement au-dessus de la mortalité naturelle des larves trouvée dans les lots contrôles (autour de 1%).

Si on répète ces expérimentations, et qu'on laisse les boîtes hiverner, on augmente la mortalité de 10%.

S. feltiae semble plus efficace que *H. bacteriophora* dans le sol issu d'un verger, alors que les espèces ont une efficacité similaire dans du terreau du commerce.

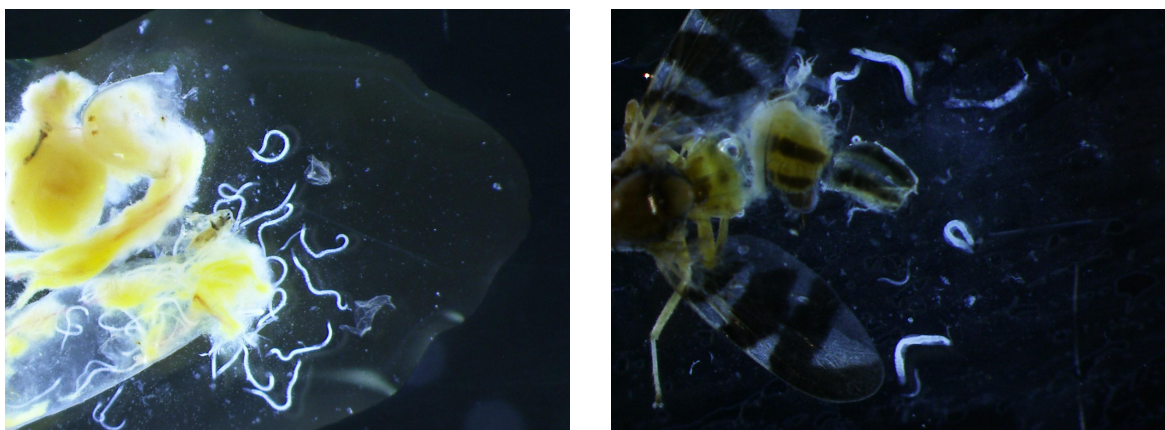


Fig. 14 : Nématodes sortant d'une larve (à gauche) et d'une mouche adulte (à droite).

-Test sur les pupes :

En suivant un protocole similaire, on se rend compte que les nématodes ne traversent pas la cuticule. Les pupes sont totalement protégées des nématodes. Même *H. bacteriophora*, qui possède une dent dorsale lui permettant (théoriquement) de percer la cuticule des insectes, n'a pas réussi à rentrer dans les pupes.

- Test à l'émergence :

Si les nématodes sont utilisés lorsque les mouches (adultes) sortent de la pupa (toujours dans le sol), alors il peut y avoir infestation par les nématodes. *S. feltiae* se montre beaucoup plus actif que *H. bacteriophora*. Nous avons des taux d'infestation de 15 à 49% pour *S. feltiae* alors que *H. bacteriophora* ne s'est montré capable d'attaquer les mouches que dans un seul essai sur les 3 (avec 13% d'infestation seulement).

- Test sur les mouches adultes :

Les nématodes ont été mis en solution sur du papier filtre sur lesquels nous avons laissé les mouches marcher pendant 24h. Le test a été réalisé 3 fois (sur 3 ans). Très peu de mouches ont été contaminées et à chaque fois c'est *S. feltiae* qui a infesté la mouche (6/60). *H. bacteriophora* n'a infesté qu'une seule mouche sur les 60 proposées.

Si les nématodes sont mélangés à la nourriture des mouches, aucune infestation n'a été mise en évidence (dissection des mouches le jour de leur mort).

- Test en milieu naturel :

En septembre 2021, nous avons réalisé un premier essai de traitement en milieu naturel. N'ayant pas pu faire l'essai en verger (sauf à Creysse, voir plus loin), nous nous sommes orientés vers des noyers chez des particuliers. Vingt arbres infestés ont été répertoriés sur 6 localités en Occitanie (Villefranche de Lauragais, Deyme, Castanet-Tolosan, Labège, Grenade, Creysse). Nous avons traité des spots d'1m20 sur 1m20 sous ces noyers, avec une solution contenant soit *S. feltiae*, soit *H. bacteriophora*.

Fin Juillet 2022, nous avons posé des pièges à émergence sur ces spots, ainsi qu'à côté comme zones contrôles, soit 33 pièges. Le contenu a été récupéré régulièrement jusqu'en septembre 2022, puis analysé en janvier 2023.

Très peu de mouche ont été trouvées, aussi bien dans les zones traitées que dans les zones contrôles. Nous soupçonnons la forte sécheresse de cet été d'avoir i) provoqué une émergence des mouches beaucoup plus tôt que prévu et/ou ii) de n'avoir pas pu permettre aux mouches de sortir de leur pupes dans le sol trop sec et compact.

De nouveaux essais en plein champ sont prévus en septembre 2023.



Fig. 15 : Exemple de pièges à émergence posés sous un noyer.

Ces travaux ont été présentés lors du IX^{ème} International Symposium on Walnut & Pecan qui a eu lieu du 12 au 16 juin 2023 à Grenoble.

➤ 6.6. Les champignons entomopathogènes

L'utilisation de champignons entomopathogènes est une autre possibilité de lutte biologique contre la mouche du brou. Nous nous sommes intéressés à deux d'entre eux : *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae*.

La pulvérisation de spores de *B. bassiana* sur les mouches adultes ou sur le sol peu avant l'émergence montre un très bon taux d'infection (jusqu'à 93%). Pour *M. anisopliae*, seul du mycélium a pu être testé. Sur les mouches adultes, le taux d'infection est excellent (80%) mais si le mycélium est répandu sur le sol avant l'émergence des adultes, les résultats sont peu concluants.

Malheureusement la mortalité des mouches infectées en laboratoire n'est pas assez rapide, ce qui leur laisserait le temps de pondre si le traitement se produisait en milieu naturel.

A ce stade, nous n'avons pas pu mettre en évidence l'entrée des champignons dans les pupes.

Il nous faut maintenant faire les tests sur les larves (qui seront probablement beaucoup plus sensibles que les adultes). L'utilisation de spores en octobre permettrait de tuer les larves avant la formation de la pupa, et donc limiterait l'émergence des adultes l'été suivant.



Fig. 16 : Exemple d'une pupa et d'une mouche adulte en présence de *B. bassiana*

6.7. Recherche d'une micro-guêpe parasitoïde

Comme aucun parasitoïde n'a émergé des pupes collectées dans le Lot durant toutes ces années, nous pouvons dire qu'aucun parasitoïde indigène n'a trouvé en *R. completa* un hôte convenable (hôte de substitution). Il faut donc chercher un ennemi naturel de la mouche du brou dans son pays d'origine.

Nous avons réalisé un travail bibliographique très important sur les parasitoïdes de *Rhagoletis completa* aux USA et au Mexique, ainsi que sur les Tephritidae du groupe *suavis* auquel appartient notre mouche du brou. Le groupe *suavis* regroupe tous les *Rhagoletis* qui se développent sur les noyers (*Juglans* sp.).

Nous avons pu établir une liste de 12 espèces d'Hyménoptères parasitoïdes potentiellement utilisables contre la mouche du brou. Ces espèces appartiennent aux familles des Braconidae, Figitidae, Diapriidae et Pteromalidae. Parmi elles, 4 espèces n'ont été trouvées que sur la mouche du brou et non sur les autres Tephritidae du groupe *suavis*. Elles semblent donc se développer uniquement sur *R. completa*, donc très

spécifiques.

Les contacts établis lors du séminaire international de l'UC DAVIS (Walnut short course) en novembre 2018 par l'animatrice du GOPEI et les ingénieures de la station de Creysse ont permis d'avancer dans ce sens (contact entre autres avec les professeurs Nick Mills et Chuck Leslie, University of California).

Nous avons également pris contact avec des chercheurs mexicains (M. Aluja et L. Guillen, Instituto de Ecologia INECOL, Veracruz) et argentin (J. Rull, PROIMI, Tucuman) afin de collaborer pour la recherche sur place des différentes espèces et leur importation.

D'après N. Mills, il sera très difficile de trouver un parasitoïde aux USA car les traitements chimiques sont trop importants. Par contre, il existe de nombreuses espèces de noyers au Mexique, toutes attaquées par des *Rhagoletis* du même groupe que *R. completa* (le groupe *suavis*).

En parallèle, nous avons lancé les procédures administratives auprès des autorités compétentes pour l'exportation (Senacica) et l'importation (préfecture) des parasitoïdes dans le respect du protocole de Nagoya (Punto focal).

❖ Du 30 juin au 25 juillet 2023, deux membres du laboratoire ont été accueillis au laboratoire INECOL à Xalapa (état de Veracruz, Mexique). L'équipe de Larissa Guillen travaille sur les Tephritidae et leurs parasitoïdes. Parmi les 15 espèces qu'ils élèvent, quatre sont potentiellement utilisables contre la mouche du brou. Lors de ce séjour, nous avons appris les techniques d'élevage et de parasitisme pour ces espèces. Le protocole consiste à présenter aux femelles des larves de dernier stade d'*Anastrepha ludens*, maintenues sur un couvercle de boîte de Pétri via du parafilm. En fonction de l'espèce de parasitoïde, le temps d'exposition varie de 15 mn à 24h pour les parasitoïdes de larves, et 4 jours pour les parasitoïdes de pupes.

❖ A cause de la situation géopolitique du Mexique, nous n'avons pas pu aller sur les sites où se trouve *R. completa*. L'hôte utilisé fut donc *Rhagoletis zoqui*, du groupe *suavis*, qui peut s'hybrider avec *R. completa*. Nous avons réalisé une expérimentation sur un arbre avec des noix infestées, plus quelques infestations contrôlées en laboratoire.

Les quatre espèces suivantes ont été ramenées en France : *Diachasmimorpha longicaudata* et *D. tryoni* (Braconidae), *Aganaspis pelleranoi* (Figitidae) et *Coptera haywardi* (Diapriidae). En l'absence de larves de *R. completa*, les 4 espèces ont été mises en présence de larves de *Ceratitis capitata* pour essayer de maintenir les souches en France. A ce jour, seules les deux espèces de *Diachasmimorpha sp.* ont donné une nouvelle génération sur *C. capitata*. Un mois après le retour en France, les premières larves de *R. completa* ont été disponibles dans le milieu. Ceci nous a permis de faire, en laboratoire, les infestations sur ce nouvel hôte, soit avec les individus mexicains survivants (*A. pelleranoi*, *C. haywardi*), soit avec la nouvelle génération de *Diachasmimorpha sp.* Afin de maximiser nos chances, nous avons fait des tests de parasitisme selon trois protocoles : sur fruits, sur plateaux (méthode mexicaine) et dans des filets.

A partir de maintenant il y a 3 possibilités :

- le parasitisme sur *R. completa* a échoué (problème de compatibilité, manque de virulence des parasitoïdes ou excellent système immunitaire de l'hôte). Dans ce cas, il faudra trouver d'autres espèces de parasitoïdes.

- le parasitisme a fonctionné, et la nouvelle génération de parasitoïde émerge dans les jours qui suivent ; ce qui implique qu'en cas de lutte biologique il faudra produire en

masse ces parasitoïdes pour les lâcher chaque année dans les vergers car les parasitoïdes ne pourront pas y passer l'hiver.

- le parasitisme a fonctionné, et la nouvelle génération de parasitoïdes émerge dans 9 mois : dans ce cas, les parasitoïdes ont subi la diapause via l'hôte et sont donc capables de passer l'hiver. Une fois les parasitoïdes relâchés sur une parcelle, ils pourront s'installer et seront capables d'attaquer chaque année les mouches.

Avant l'utilisation dans les vergers français de ces parasitoïdes, il faudra bien évidemment tester leur spécificité et demander les autorisations adéquates.



Fig. 18 : Essai de parasitisme par *A. pelleranoi* sur les noix infestées par *R. completa*. (France)

❖ 7. Bilan sur la communication et les échanges du groupe

Le projet Noix de Demain est né également de la volonté de travailler en groupe pour :

- créer des références de groupe en tant qu'outil de gestion destiné à la filière nucicole
- créer un outil de partage des connaissances entre producteurs
- apprendre à communiquer ensemble sur leurs pratiques

La Noix de Demain a permis la mise en place d'une communication de groupe. Un **site internet** (www.noixdedemain.fr) a été créé dès 2018 pour mettre en avant les travaux de recherche et d'expérimentation. En interne des fiches techniques ont été constituées pour synthétiser les thématiques étudiées (biostimulants, qualité de l'eau...). La noix de demain et son logo ont fait l'objet d'un dépôt de marque auprès de l'INPI.

Le groupe a réellement constitué un support de communication entre producteurs qui jusqu'alors avaient très peu d'échanges, malgré leur proximité géographique. **Plus de 3 jours de formation par an** ont été organisés sur les thèmes techniques et économiques, mais également sur la communication, présentés dans le tableau suivant.

| thème de formation | Année | Intervenants |
|--|------------------------------------|---|
| Mise en place de la fertirrigation | 2018 1 jour | Lydie Leymarie |
| communication sur son savoir faire | 2018/2019 2 jours | Patrick Chaub |
| chaulage | 2018 1 jour | Lydie Leymarie / Bruno Crespy |
| pH et redox | 2019 1 jour | Lydie Leymarie / François Hirissou |
| extraits fermentés de plantes | 2019 1 jour | Jean François Lyphout |
| biostimulants | 2020 1 jour | Lydie Leymarie/Alexis Goutelle/Jean Luc Gadbois |
| gestion et taille du jeune verger | 2018/2019 4 jours | Jean Paul Joublan |
| nutrition du verger de noyer, mise en réserve des noyers | 2020/2021/ 2022/2023 4 jours | Bruno Bourrié |
| autonomie sur les intrants, LiFoFer | 2021/2022 3 jours | Rémi Thinard |
| coût de revient en nuciculture | 2021 1 jour | Damien Ameline |

15 journées de réunions du groupe de producteurs ont été organisées depuis 2017. Elles furent l'occasion de bilans techniques (présentation des données techniques de la saison, explication des protocoles, présentation des nouveaux essais, bilan des résultats d'essai visite d'exploitations). Elles ont permis également la visite des vergers du

groupe, support d'échanges entre producteurs.

Le groupe a également réalisé **deux voyages d'étude**. Un voyage en Espagne en 2018 fut l'occasion de visiter une pépinière et de rencontrer des producteurs de noix en Espagne et au Portugal. Un autre voyage, organisé dans le sud-est de la France en 2022, avait pour but de visiter des installations de traitement des eaux en verger fruitier et de rencontrer des producteurs d'autres productions arboricoles (cerise/pomme).

Outre les réunions physiques, un outil de communication entre producteurs a été mis en place grâce à un **groupe whatsapp**. Largement utilisé, cet outil a permis de favoriser les échanges entre producteurs mais également avec les techniciens, et les apprentis et stagiaires.

Le projet a fait l'objet de présentation auprès de différentes instances scientifiques et techniques :

- la Journée DIPEE au muséum de Toulouse (mai 2022)
- symposium international de la noix à Grenoble (juin 2023)
- forum Tech and bio sud ouest en juin 2022
- intervention à Paysage in marciac en 2021 et 2022
- présentation des essais LiFoFer et biofertilisants lors d'un congrès terre et humanisme

Conclusion

❖ En tant que troisième exportateur mondial, la nuciculture française est en concurrence directe avec les nucicultures américaines et chiliennes ultra-productivistes qui dominent le marché. Dans ce contexte, la noix française est en difficulté. Le verger national, avec une production orientée vers l'export nécessite une mobilisation collective, une restructuration et de l'innovation pour maintenir l'activité nucicole sur le territoire, jusqu'alors menée de manière traditionnelle. Un noyau de producteurs du Comité interprofessionnel des fruits à coques du Lot, s'est regroupé en 2018 autour d'un Groupe opérationnel du partenariat européen pour l'innovation (GOPEI). C'est ainsi qu'est née 'La Noix de Demain', projet de recherche pluriannuel, transdisciplinaire et multi-partenarial visant à répondre aux enjeux nucicoles économiques, techniques, environnementaux et sociaux actuels. Les travaux ont été regroupés autour de trois axes de travail principaux, dont nous avons présenté successivement les résultats.

❖ Le premier thème de travail était celui des essais système, dont l'ambition était de tester de manière holistique, des itinéraires techniques innovants inspirés du modèle chilien, et d'évaluer leur efficacité et compatibilité technique et économique avec le système nucicole du bassin Sud-Ouest. Les travaux menés par La Noix de demain ont permis de très gros progrès sur la gestion de la fertilisation et la nutrition de l'arbre. Ils ont développé également un outil technique de suivi et monitoring de la fertilisation grâce aux suivis des analyses de sève. Les producteurs ont également été formés et ont pratiqué l'utilisation de biostimulants dans leur verger depuis 2018. Ils connaissent les familles de produits, les fonctions des biostimulants et les modes d'application. Les essais menés sur les biofertilisants ont ouvert une porte sur la fabrication maison de ces produits. Les résultats oscillent entre +5 et +40 % de gain de rendement grâce à l'application des protocoles d'essai système. Aussi, dans la majorité des cas, les pratiques travaillées par le projet 'La Noix de Demain' s'avèrent être une solution rentable. Les essais système ont également permis de mettre l'accent sur l'irrigation, la gestion de l'utilisation de l'eau et de l'état hydrique des arbres, la qualité des applications foliaires, et de l'eau utilisée pour ces applications. Des travaux complémentaires ont été menés sur la mise en réserve, l'utilisation d'hormones, le blanchiment des arbres, des modes d'application innovants par drone et enfin, sur le point clef de la production des vergers, la lumière. Une réflexion sur la fermeture des vergers, et sur la taille a été initiée mais mériterait d'être poursuivie. Les formations et réunions de groupe organisées ont mis l'accent sur la vie des sols. Les producteurs ont été fortement sensibilisés à cette thématique et sur la prise en compte et la compréhension du système sol-plante-microorganisme.

❖ En parallèle aux essais système, le GOPEI s'est également attaché à rechercher une méthode de lutte contre la bactériose du noyer et les maladies fongiques associées par des virus spécifiques, les bactériophages. Les travaux de recherche ont permis d'isoler les bactériophages et bactéries endémiques dans les vergers du sud-ouest. Par la suite, des travaux menés conjointement avec Agroadvance, laboratoire partenaire chilien, ont mis en place un cocktail de phages efficaces et formulé le produit pour les tests en verger. Les essais en verger ont été menés depuis 2018 à la station expérimentale de Creysse. Les travaux seront poursuivis dans le cadre du projet PHAG-2S, à partir de 2023.

❖ Enfin, La Noix de Demain a également permis la recherche de méthodes de lutte biologique contre la mouche du brou. Diverses luttes alternatives ont été testées : l'utilisation de nématodes entomopathogènes se révèle efficace en laboratoire et des

essais en vergers doivent confirmer ces résultats. La recherche de champignons entomopathogènes est un moyen de lutte en pleine étude. Enfin, la recherche de guêpes parasitoïdes, ennemis naturels de la mouche sur le continent nord américain, viennent de commencer. En 2023, un voyage d'études au Mexique a permis l'importation de 4 espèces de micro-guêpes parasitoïdes connues pour s'attaquer aux mouches de la famille des Tephritidae, pour continuer les travaux en France. Le Dr Campan a également mené des recherches sur l'élevage de *Rhagoletis completa* (milieux de culture, reproduction), et mis en place un élevage de *Ceratitis capitata* pour maintenir les élevages des micro-guêpes mexicaines en l'absence de la mouche du brou le reste de l'année.

Pour conclure, à l'origine du projet, les producteurs envisageaient un transfert de connaissances à la manière d'un simple 'copier-coller' de protocoles chiliens. Les recherches menées sont allées bien au-delà et ont permis une amélioration du système de culture traditionnel français. Les axes de recherche sur les luttes alternatives nécessitent d'être poursuivies et d'être appuyées politiquement si l'on souhaite qu'un jour des solutions puissent être autorisées à la mise sur le marché. Au-delà de ces aspects techniques, la Noix de Demain a contribué à former un groupe d'échanges entre les producteurs. Ce collectif de nuciculteurs a permis l'acquisition de compétences par le biais de formations de groupe, de visites et de voyages techniques, mais également sur la communication de résultats scientifiques. A l'heure où la situation du marché de la noix est au plus bas, il est urgent de donner une suite à ce type d'initiatives collectives, tant sur le plan technique, pour permettre les innovations dont la production a besoin pour être compétitive, que sur le plan humain.

Avec le soutien financier de :

Communauté de commune CAUVALDOR
La région Occitanie
L'union Européenne (Fond FEADER)



NOVEMBRE 2023