



Janvier
2022

RAPPORT D'EXPERIMENTATION

MISE EN CULTURE D'ARNICA MONTANA EN REGION AUVERGNE- RHONE-ALPES 2018-2021

Coordination générale : **Agnès Le Men**

Réalisation : Margaux Perchet, Xuan Lai Dao, Lucie Gourlin, Maëlle Colin



Avec le soutien financier de :



Dans le cadre d'un financement
du Pôle d'Expérimentation et de Progrès (PEP) Arômes et Parfums

TABLE DES MATIERES

I. Introduction.....	5
I.1. Contexte	5
I.2. Etat de l'art	8
I.3. Problématique et objectifs	12
II. Matériels et méthodes	13
II.1. Déroulement du projet et présentation des partenaires.....	13
II.2. Dispositif expérimental	13
II.2.a. Choix du terroir d'implantation	13
II.2.b. Choix du matériel végétal implanté	16
II.2.c. Choix des variables étudiées.....	16
II.2.d. Choix de la partie de plante récoltée par année et mode de récolte	17
II.2.e. Synthèse des modalités de l'essai	19
II.2.f. Relevé des données.....	20
III. Résultats et discussions.....	22
III.1. Résultats agronomiques.....	22
III.1.a. Etude de la densité	22
III.1.b. Effet de la récolte de PEF en 2 ^e année.....	24
III.1.c. Comparaison d'une plantation d'automne ou de printemps	25
III.1.d. Etude des facteurs pouvant influencer la mortalité.....	27
III.1.e. Etude de l'effet site sur les rendements.....	33
III.1.f. Etude de l'année de récolte sur le rendement.....	36
III.2. Etude de la qualité chimique.....	44
III.2.a. Qualité des capitules secs selon la norme Pharmacopée européenne	44
III.2.b. Qualité de la plante entière fleurie fraîche selon la norme Pharmacopée française	44
IV. Préconisations, conclusion et perspectives	46
IV.1. Itinéraire de culture préconisé.....	46
IV.1.a. Choix du sol et de l'altitude	46
IV.1.b. Fertilisation.....	46
IV.1.c. Choix du matériel végétal et multiplication des plants	47
IV.1.d. Date de plantation.....	48
IV.1.e. Densité de plantation	48
IV.1.f. Plantation	48
IV.1.g. Irrigation	48

IV.1.h. Gestion des adventices.....	49
IV.1.i. Maladies et ravageurs	50
IV.1.j. Récolte et rendement.....	50
IV.2. Préconisations pour le développement d'une filière française	52
IV.3. Conclusion et perspectives	54
V. Bibliographie	55

REMERCIEMENTS

L'équipe projet remercie tous les producteurs ayant accueilli et entretenu les essais : Alexis Brunel, Jean-Marie Cellier, Céline Charbonnier, Yoann Courtial, René Lafont, Jean-Claude Rasclé, Jean-Roger Sartre. Nous remercions tout particulièrement Céline Charbonnier et René Lafont, qui ont poursuivi l'exercice 2 années de plus. Nous remercions Anne-Rose Blachier et Marc Mirabel, de Viva Plantes, Danièle Balay et Didier Blache de PPAM Ardèche, William Marotte et Marion Verger, de la Sicarappam pour leur patience et leur précieux rôle d'intermédiaires. Nous remercions également les entreprises utilisatrices partenaires et leurs représentants dans le projet : Benoît Articlaux, Jean-Frédéric Nau et Doris Dervaux, Françoise Merceron et Anne Durnez, Pierre-Yves Mathonnet, Guy Leclercq et David Vlot pour leurs suggestions pertinentes, leur implication et leur suivi du projet, ainsi que pour cofinancement apporté. Nous remercions Laurent Legendre pour avoir suivi le projet, pour s'être rendu disponible dès que nous avons des questions, et avoir partagé avec nous ses connaissances approfondies de la vie du sol et de sa composition. Nous remercions l'équipe de l'iteipmai ayant été impliquée dans le projet : Guillaume Fremondière, Philippe Bérenguer qui a réalisé les plans, Denis Bellenot et Ludivine Tripon Le Berre, qui ont réalisé les analyses phytochimiques. Nous remercions spécialement pour leur investissement à nos côtés Stéphanie Flahaut, du CPPARM, et Eric Bertoncello, de la Chambre d'Agriculture d'Ardèche, qui ont assuré le suivi des essais et le lien avec les producteurs. Enfin nous remercions tout particulièrement Jonathan Locqueville (CEFE-CNRS), qui a accepté de suivre les récoltes 2021 chez Céline Charbonnier et René Lafont dans le cadre de son travail de thèse. Cette prolongation a permis de donner une envergure très intéressante aux résultats du projet, vu la nette amélioration de rendement observée en 2021.

ACRONYMES

AURA : Auvergne-Rhône-Alpes

CASDAR : Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural

CEFE-CNRS : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive de Montpellier

CNPMAI : Conservatoire National des Plantes Médicinales et Aromatiques de Milly-la-Forêt

Iteipmai : Institut technique interprofessionnel des plantes à Parfum, Médicinales, Aromatiques et Industrielles

PAF : Partie Aérienne Fleurie

PEF : Plante Entière Fleurie

I. INTRODUCTION

I.1. CONTEXTE

Arnica montana L. est une Astéracée vivace à fleurs jaunes, que l'on retrouve en milieu sauvage dans les prairies d'altitude des massifs montagneux d'Europe du nord (600 à 2800 m), sur des sols oligotrophes à pH acide. En France, on la retrouve dans les Vosges, les Alpes, le Massif Central, les Cévennes, les Pyrénées, les Ardennes. Elle est beaucoup plus rare en plaine : Orléanais, Berry, Bourgogne et Landes (Pasquier B. 2003). Allogame et auto-incompatible, sa population doit contenir au moins 500 individus différents (genets) pour se reproduire efficacement de manière sexuée. Elle peut cependant également se reproduire de manière végétative, grâce à de courts rhizomes lui permettant de former des rosettes secondaires à proximité, et de gagner ainsi de 0.01 à 0.25 m par an (Emeriau 2016).

Plante majeure de la pharmacopée européenne, elle bénéficie d'une inscription à cette Pharmacopée, ainsi qu'à la Pharmacopée française. Elle est utilisée pour ses propriétés anti-inflammatoires, anti-ecchymotiques, analgésiques (Bruneton 2009). On utilise généralement le capitule sec, mais l'homéopathie emploie également les racines ou la plante entière fleurie fraîche. La Figure 1 présente les différentes parties de plantes récoltées et utilisées pour l'arnica, d'après plusieurs entretiens menés par l'équipe du CNPMAI auprès d'entreprises utilisatrices d'arnica en 2017 et 2018.

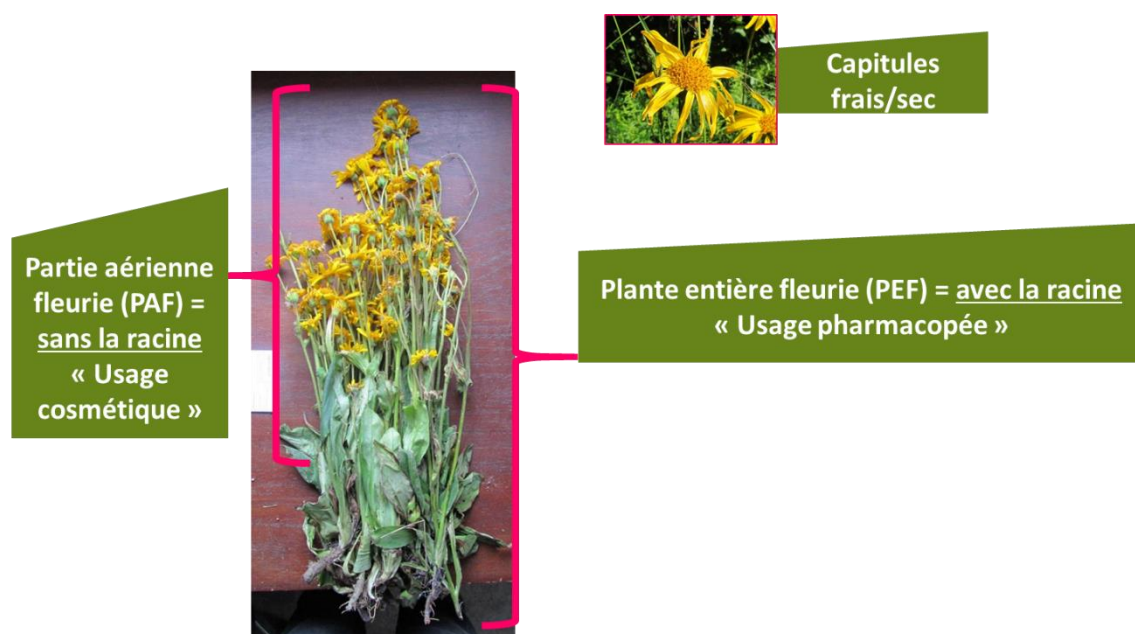


Figure 1 : présentation des différentes parties de plantes récoltées chez l'Arnica

Pour un « usage pharmacopée », il existe plusieurs normes pour l'Arnica, dont notamment la norme « Pharmacopée européenne », portant sur le capitule sec, et la norme « Pharmacopée française », portant sur la teinture-mère de plante entière fleurie fraîche d'arnica. Pour un « usage cosmétique », la qualité est estimée par une évaluation visuelle du lot et par des analyses de résidus et métaux lourds.

La production d'Arnica est actuellement majoritairement issue de cueillette sauvage. Les principaux pays producteurs sont l'Espagne, la Roumanie, l'Autriche (Galambosi 2004). Cependant, des cultures existent en Europe (en Allemagne notamment) et en Nouvelle-Zélande. En France, la production reste

principalement issue de cueillette, sans doute en raison de l'abondance de la ressource sauvage jusqu'il y a quelques années. Fabien Dupont, chargé de mission Natura 2000 au Parc Naturel Régional (PNR) Ballons des Vosges, qui abrite la zone dite du « Markstein », site de cueillette en Arnica réputé, estime en 2016 à 50 t de capitules secs les besoins des laboratoires français, et à 250 à 300t ceux du marché européen (Dupont 2016).

90% de la production française cueillie provient du Markstein (soit 8 à 10t/an de plante entière fleurie et 900 kg de capitules. Or en 2019, moins de 10% de la production habituelle a pu être récoltée. En 2020, aucune cueillette n'a eu lieu, en raison de la trop faible abondance des pieds fleuris (voir Figure 2).

Vosges : pas assez de fleurs d'arnica au Markstein, la traditionnelle cueillette est annulée

La campagne de cueillette se déroule en général début juillet. Faute de floraison suffisante, pour la deuxième année consécutive, la cousine de la marguerite, recherchée pour ses vertus anti-inflammatoires, reste préservée sur les sommets vosgiens.

Publié le 03/07/2020 à 23h23 • Mis à jour le 03/07/2020 à 23h31



Figure 2 : Extrait d'un article en ligne de Stéphanie Mallauran (France3 régions) datant du 03/07/2020¹

Les causes de cette diminution de la ressource sauvage sont certainement multiples (pression de cueillette, mais également changements climatiques et modifications du milieu pour une plante aux exigences édaphiques bien particulières). Cependant, quelles qu'elles soient, on peut sans trop s'avancer imaginer que la part de l'Arnica issu de culture va certainement devoir augmenter dans les approvisionnements des entreprises utilisatrices, qui sont eux-mêmes en plein développement².

Les stratégies pour préserver la ressource sauvage tout en approvisionnant les marchés peuvent être :

- Le développement d'une plante alternative ayant les mêmes indications thérapeutiques, dont la culture est plus simple à maîtriser (par exemple *Arnica chamissonis* (iteipmai 1995), ou *Inula montana* dans le Parc Naturel Régional du Lubéron). Si elle a pu être appliquée avec succès par plusieurs entreprises, il y a cependant des limites à cette stratégie : en effet, l'arnica est une plante emblématique, très bien connue du grand public, et qui a par ailleurs des propriétés bien particulières, que n'auront pas exactement ses cousines.
- Le développement d'une substance de synthèse alternative. La difficulté posée par cette solution est que la plupart des laboratoires utilisant l'Arnica sont spécialisés dans la phytothérapie, l'homéopathie ou la cosmétique naturelle, et donc cette substitution n'aurait pas de sens pour eux.

¹ <https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/vosges-pas-assez-fleurs-arnica-au-markstein-traditionnelle-cueillette-est-annulee-1849502.html>

² D'après dire d'experts, notamment échange avec les entreprises utilisatrices partenaires du projet.

- Le renforcement des populations sauvage (projet en cours dans les Vosges).
- La mise en culture de l'Arnica.

Cette dernière solution présente également l'intérêt de permettre la valorisation de zones de montagne ou de moyenne montagne grâce à une culture potentiellement rémunératrice pour les producteurs.

C'est dans ce contexte que le CNPMAI a initié un programme multipartenarial entre 2014 et 2016, autour de l'« Evaluation des ressources génétiques françaises d'Arnica montana en vue du développement de sa culture en plaine et en montagne », financé par des fonds CASDAR (CNPMAI 2014). Ce programme a consisté en l'évaluation de 24 populations prospectées sur l'aire de répartition française par le CNPMAI et de 2 cultivars ('Arbo' et 'Arnimed') sur 4 sites d'essai : en Anjou, dans le Morvan, dans le Massif Central (à Gelles) et dans les Alpes. La figure ci-dessous montre les rendements des meilleures populations et cultivars en fonction des sites d'essai.

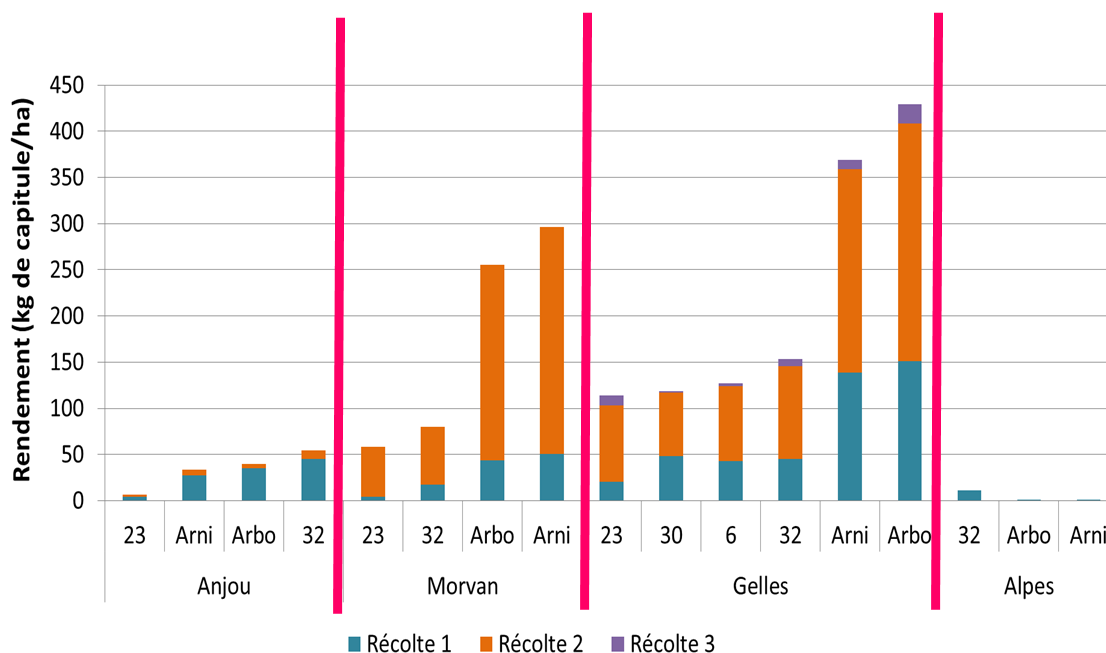


Figure 3 : Rendement obtenu pour les meilleures populations et en fonction du site d'essai lors du projet CASDAR 2014-2016

On voit que les cultivars 'Arbo' et 'Arnimed' ont en moyenne de bien meilleurs résultats que les populations sauvages, et que c'est sur le site du Massif Central qu'on obtient les meilleurs rendements. Il est également ressorti de ce programme qu'une importante mortalité affectait systématiquement les cultures (allant de 45% dans le Massif Central à l'issue des 3 années d'essai à plus de 80% dans les Alpes dès la 2^e année).

Des questions persistaient concernant l'itinéraire cultural à privilégier, et la demande en production issue de cultures françaises se faisant de plus en plus claire, un second projet a été imaginé par le Conservatoire National des Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales (CNPMAI). Ce projet, financé en partie par la Région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) et en partie par 5 entreprises utilisatrices d'arnica, a eu pour objectif de mener une étude technico-économique sur la production d'Arnica montana biologique en Région AURA, dans le but de favoriser à terme l'émergence d'une filière française. C'est sur les résultats de ce projet que se base le présent rapport, ainsi que le rapport relatif à l'étude technico-économique. Le projet a été multipartenarial et a réuni 5 entreprises utilisatrices d'Arnica, 3 organisations de producteurs, 7 producteurs et 4 structures techniques dont le CNPMAI qui

était chef de file. Il s'est déroulé entre 2018 et 2020, avec l'année 2017 comme année de montage du projet et d'élaboration du protocole, et l'année 2021 au cours de laquelle un suivi a été réalisé a minima, chez seulement deux producteurs, sans financements fléchés.

L'approche s'est voulue collaborative et privilégiant la co-construction et le partage de savoir, aussi les objectifs du projet étaient-ils doubles :

- Fournir aux producteurs de la région AURA des éléments technico-économiques (fiche de culture simplifiée) afin de leur permettre de se lancer de manière sécurisée dans la culture d'Arnica biologique. Ce faisant, identifier les verrous techniques au développement de surfaces cultivées en France et les points d'attention de cette culture.
- Favoriser la création de lien entre les acteurs de l'amont à l'aval de la filière, en créant une interface d'échanges et en donnant des éléments (techniques, économiques, organisationnels) de base pour faciliter l'émergence d'une filière française structurée et pérenne.

Ce rapport est donc destiné tout autant aux entreprises utilisatrices désireuses de sécuriser leurs approvisionnements qu'aux agriculteurs souhaitant se lancer dans la culture de l'Arnica et aux structures techniques ou de développement qui les accompagnent.

1.2. ETAT DE L'ART

L'Arnica est une plante dont le comportement en sauvage a été assez bien étudié. Nous nous intéresserons ici aux travaux de domestication dont elle a fait l'objet. La Figure 4 ci-dessous résume les principales études ayant été menées dans le monde dans le but d'introduire en culture l'Arnica.

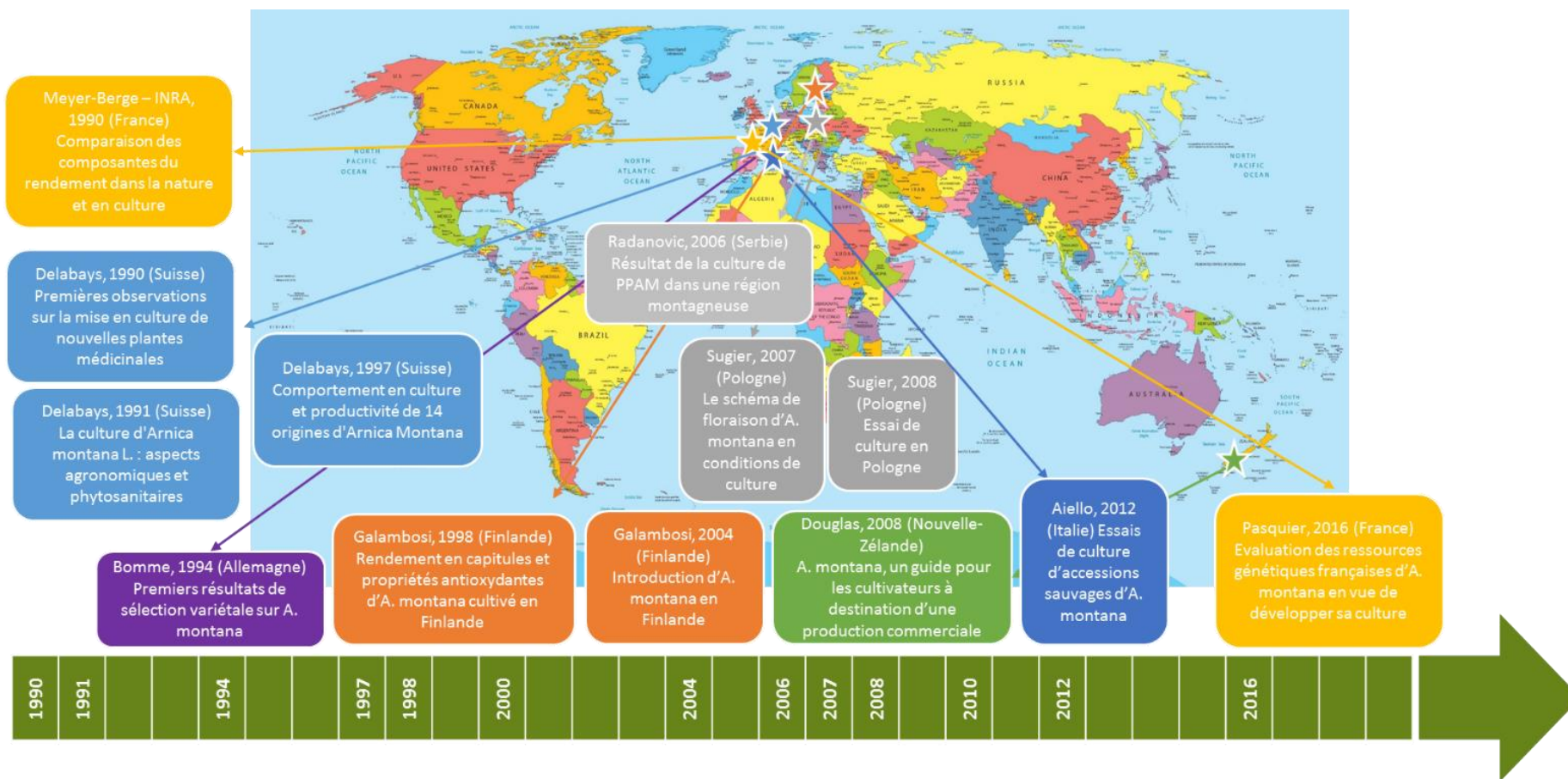


Figure 4 : Schéma-bilan des principales études relatives à la domestication d'*Arnica montana*

Les premiers essais ont été menés par l'INRA de Colmar en 1990 (Meyer-Berge 1990). Ils permettent notamment de comprendre de quelle manière la fertilisation peut influencer le rendement de la plante. Plusieurs travaux ont été menés ensuite à la station expérimentale suisse de Changins, permettant de comprendre mieux le comportement de la plante en culture, et de comparer différentes populations issues de prospections en sauvage ou de jardins botaniques (Delabays 1990; 1991). Parmi ces populations, celles issues du jardin botanique de Marburg, en Allemagne, se distinguent tant par leur rendement que par leur faible mortalité, et seront ensuite utilisées de manière privilégiée comme matériel de culture. En 1994, Bomme développe la variété 'Arbo' l'une des seules variétés disponibles sur le marché aujourd'hui (Bomme et Daniel 1994). Des tests d'introduction sont ensuite menés en Finlande (Galambosi 1998; 2003; 2004), en Serbie (Radanović et al. 2006), en Pologne (Sugier 2007; 2008; 2013), en Italie (Nicolas Aiello et al. 2012; 2014), utilisant du matériel non sélectionné (issu de jardins botaniques généralement), et sur des surfaces très réduites ou non précisées, allant de 21 à 200 m². C'est en Nouvelle-Zélande que sont menés les premiers travaux de mise en culture en conditions de production, qui vont aboutir à un guide pratique à destination des producteurs néo-zélandais (Smallfield et Douglas 2008). Le matériel végétal utilisé est la variété 'Arbo', et les tests de culture ont lieu chez des producteurs. Y sont testés différents paillages, densités, terroirs, mode de récolte. Enfin, le projet CASDAR mené par le CNPMAI et ses partenaires, permet d'obtenir des résultats sur l'intérêt comparatif d'une vingtaine de populations sauvages et de deux variétés : 'Arbo' la variété allemande, et 'Arnimed', la variété développée en Suisse (station expérimentale de Changins) par Médiplant.

Tous ces travaux étudient la production d'Arnica sous forme de capitules (frais ou secs). La Figure 5 ci-dessous présente une comparaison des différents rendements obtenus dans ces publications. Dans la légende sont précisés, toujours dans cet ordre : le nom du 1^{er} auteur de la publication, l'année de publication, le cultivar utilisé (« cv ? » = cultivar inconnu), et la surface de l'essai (« surf.? » = surface inconnue). A noter que la densité d'implantation n'est pas précisée ici, elle va de 36 à 100 000 plants par ha, avec une moyenne à 82 000.

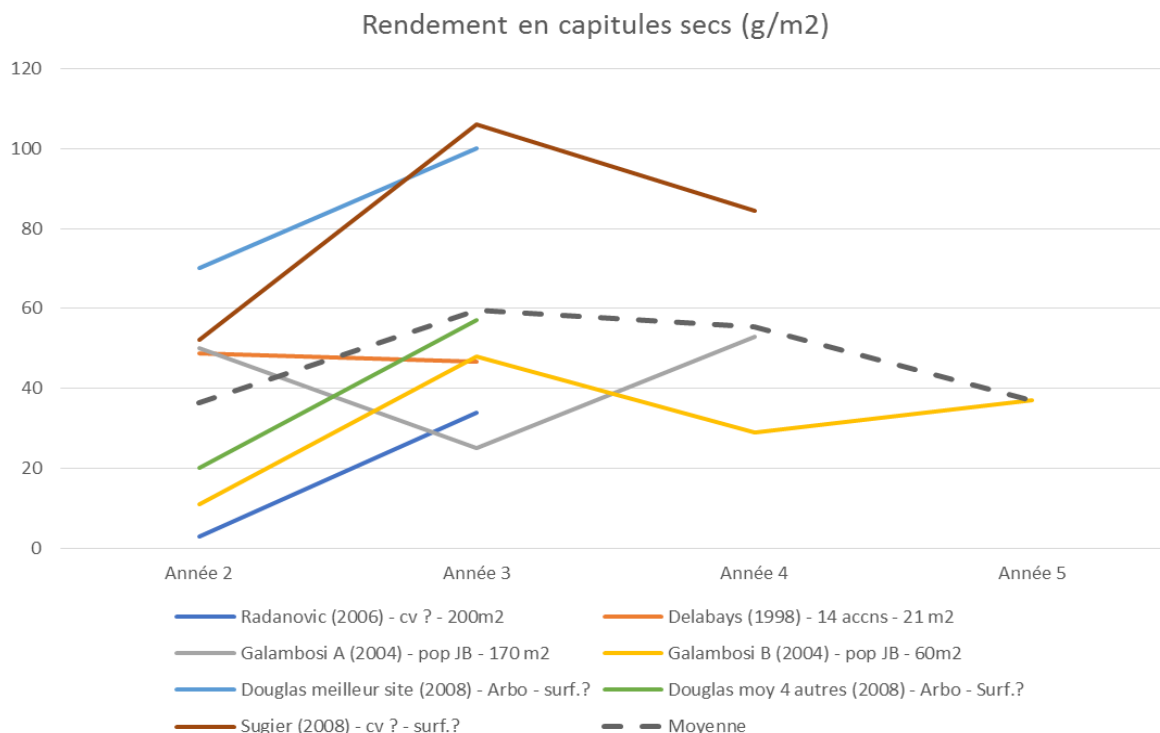


Figure 5 : Rendements en capitules d'Arnica obtenus dans différentes publications

On peut déjà tirer plusieurs conclusions de cette comparaison :

- La plupart de ces essais ne dépassent pas 3 années de culture (soient 2 récoltes). Les essais sont arrêtés sans qu'on observe forcément une diminution de rendement, ce qui laisse à penser que le choix de la durée de la culture a été imposé par des contraintes matérielles et financières de l'expérimentateur plus que par un manque d'intérêt pour continuer la culture. Pour les trois essais qui durent 4 à 5 ans, dans deux cas sur trois la courbe est ascendante la dernière année de l'essai. On peut alors se demander quelle est la durée de vie en culture de l'Arnica. Malheureusement, les contraintes techniques du financement par appel à projets (projets limités à 3 ans) dont font l'objet les travaux ici présentés ne nous permettront pas de répondre à cette question, qui reste prioritaire, au vu du coût d'implantation excessivement important de l'Arnica, comme on le verra dans les résultats.
- Les rendements sont extrêmement variables, allant de 3 à 70 g/m², soit plus d'un facteur 20 entre le pire et le meilleur rendement en récolte 1, alors qu'en l'occurrence, la densité n'avait été multipliée que d'un facteur 2,5.
- Les surfaces des sites d'essais, lorsqu'elles sont renseignées, sont très réduites (inférieures à 200m²). Avec des surfaces aussi limitées, le rendement est nécessairement optimisé par l'entretien qu'il est possible d'accorder aux plantations. On peut difficilement dire qu'ils sont représentatifs d'une réalité de production.

Franz a élaboré un récapitulatif des stratégies de domestication pour les plantes de la flore spontanée (Franz 1985) :

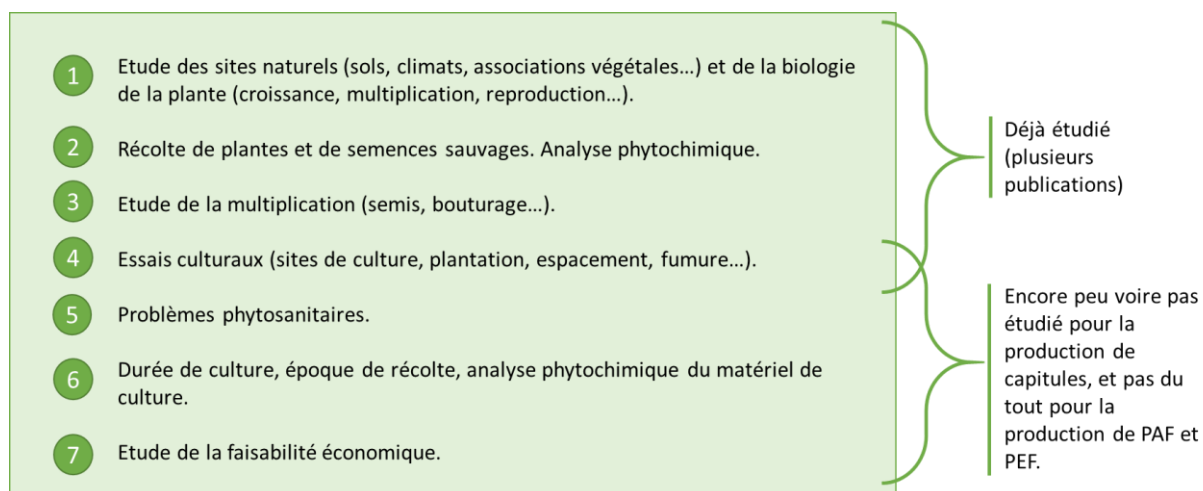


Tableau 1 : Stratégie de domestication pour les plantes de la flore spontanée (d'après Franz, 1985)

Parmi les publications recensées relatives à la domestication de l'Arnica, si les étapes 1 à 3 sont déjà bien étudiées, nous n'avons repéré :

- Aucun élément relatif aux étapes 4 à 6 pour la production de PEF ou de PAF,
- Que très peu d'éléments concernant les étapes 4, 5, 6 pour la production de capitules,
- Aucune étude de la faisabilité économique.

I.3. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

Suite à ces constats, le CNPMAI a organisé et animé une première réunion de concertation entre les différents acteurs de la filière Arnica française (producteurs, pépiniéristes, organisations de producteurs, structures techniques, entreprises utilisatrices), le 09/11/2017 à Privas. Cette réunion a permis la constitution d'un groupe de travail d'une quinzaine de personnes souhaitant participer au projet collaboratif proposé par le CNPMAI. Ces personnes se sont réunies le 7 décembre 2017 à Lyon pour identifier les problématiques auxquelles il serait prioritaire de s'intéresser, ce qui a permis de déterminer les grandes lignes du protocole ensuite formalisé par le CNPMAI. Voici les problématiques identifiées avec les acteurs et suite à l'analyse bibliographique menée par le CNPMAI :

- **Quel est le terroir optimal** pour la culture de l'Arnica parmi les 7 sites de production des producteurs partenaires ? Ces producteurs ont été sollicités pour participer à l'expérimentation en fonction de l'altitude de leurs parcelles, du caractère acide et pauvre de leur sol, de leur situation en région AURA, et de leur intérêt pour la dimension expérimentale du projet.
- **Quelle est la densité optimale** pour la culture de l'Arnica ? Un producteur d'Arnica situé en Auvergne pratiquerait une densité de 10 000 plants / ha avec succès, dans la littérature on trouve des densités allant jusqu'à 200 000 plants par ha, avec une moyenne de 85 000 plants/ha. Avec une densité importante on optimise la surface de la parcelle et on limite l'enherbement, mais on augmente aussi le coût d'implantation à l'ha, ainsi que le risque de transmission de maladies.
- **Est-ce que le paillage est une bonne solution** pour gérer l'enherbement, et si oui faut-il préférer le paillage en chanvre biodégradable ou un paillage en plastique tissé ? Cela devra tenir compte du coût du paillage et du temps de pose et d'entretien avec paillage vs sans paillage.
- **Est-ce qu'une plantation à l'automne est possible**, et présente-t-elle un avantage par rapport à une plantation au printemps ?
- **Est-ce que la récolte de PEF dès la 2^e année est envisageable**, et dans quelle mesure pénalise-t-elle la culture ?
- **Quels sont les points critiques de cette culture**, et les pistes d'expérimentations ultérieures à mener en priorité ?

Ces questionnements ont guidé la conception du protocole expérimental, qui a été ensuite co-construit avec les producteurs pour tenir compte de leur mécanisation, de leur intérêt pour tester telle ou telle modalité. Chaque modalité a fait l'objet d'un relevé précis du temps de travail par opération par les producteurs afin de nous permettre par l'analyse comparative des coûts de production et du besoin en trésorerie de dégager la meilleure stratégie culturale en fonction du profil de l'exploitation et de suggérer ainsi des itinéraires technico-économiques de culture en bio. L'analyse technico-économique, réalisée sur la base des faibles rendements obtenus en 2020, fait l'objet d'un rapport séparé, car les résultats ne sont pas représentatifs de la culture dans la mesure où les rendements 2021 ont été considérablement augmentés, et améliorent donc nettement la rentabilité de la culture sur plusieurs années. Nous terminerons l'étude en proposant des préconisations pour une structuration viable et durable d'une filière de production française.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. DEROULEMENT DU PROJET ET PRESENTATION DES PARTENAIRES

L'expérimentation s'est déroulée de juin 2018 à décembre 2020, avec une prolongation en 2021 pour le des récoltes chez 2 producteurs. La coordination des travaux, la synthèse et l'analyse des résultats ont été réalisés par le CNPMAI. Le suivi des essais situés en Ardèche a été réalisé par la Chambre d'Agriculture d'Ardèche, et par le CPPARM pour les essais situés en Auvergne. L'iteipmai a assuré la réalisation des plans de plantation, le suivi phytopathologique, les analyses phytochimiques. Cinq entreprises utilisatrices partenaires (Laboratoires Acanthis, Boiron, Herbarom, Fytosan, Lehning), ont participé aux différentes réunions de co-construction et de suivi du projet, ont participé au financement du projet et ont assuré l'achat de la production issues des essais. Un comité de pilotage a été organisé à chaque fin d'année du projet, et deux réunions de visite d'essai ont également pu avoir lieu.

La Figure 6 résume la répartition des tâches et le déroulement du projet :

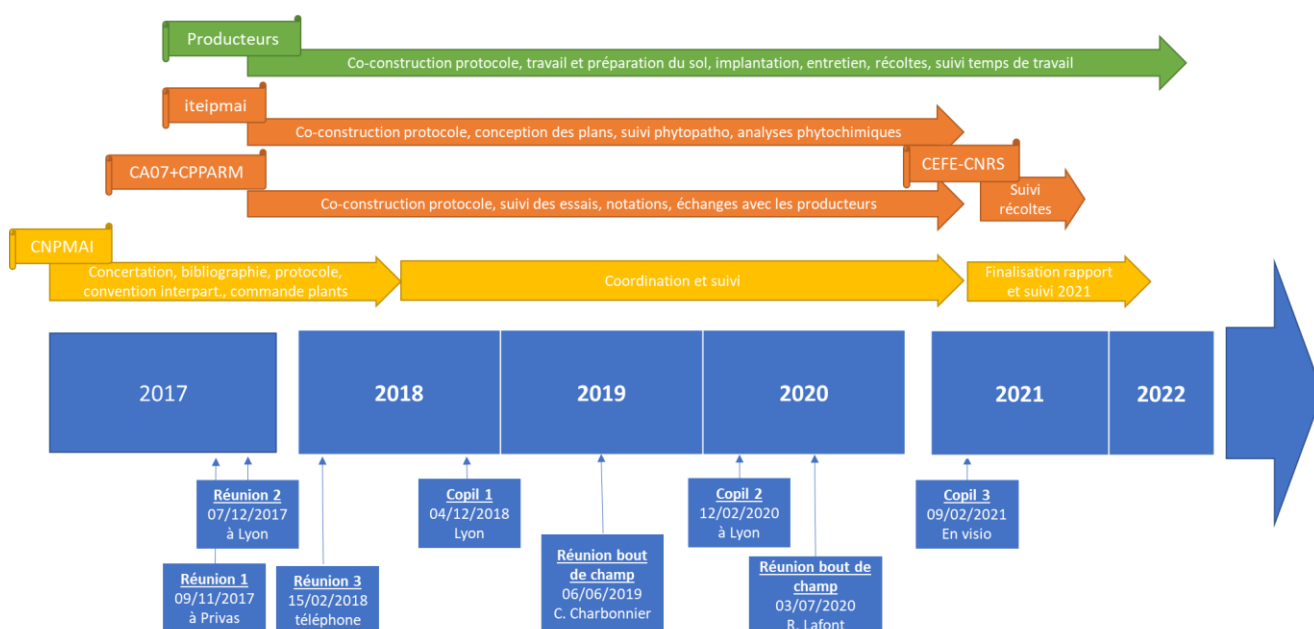


Figure 6 : déroulement du projet et répartition des tâches

II.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

II.2.a. Choix du terroir d'implantation

L'expérimentation a eu lieu sur des parcelles situées en zone de basse et moyenne montagne, aux altitudes et aux caractéristiques pédologiques présentées dans le Tableau 2, choisies pour leur caractère acide, pauvre en matière organique et éventuellement pour leur proximité avec des populations sauvages d'Arnica. Douze parcelles ont accueilli les essais, réparties en sept sites de production, appartenant aux sept producteurs ayant bien voulu participer à l'essai : Céline Charbonnier, Alexis Brunel, Jean-Roger Sartre, Jean-Marie Cellier, René Lafont, Yoann Courtial et Jean-Claude Rasclé.

Organisation de producteurs		SICARAPPAM		VIVAPLANTES			PPAM ARDECHE		
Nom du producteur		BRUNEL	LAFONT	CHARBONNIER	CELLIER	SARTRE	RASCLE	COURTIAL	
Expérience passée dans la culture d'arnica		non	oui : essais en 2017	non	non	non	non	non	
La parcelle	Commune	63 470 Verneugheol	12140 St Hippolyte	07380 La Souche	07530 Genestelle	07190 Issamoulenc	07 530 Lachamp-Raphaël	07 240 Chalençon	
	Département	Puy-de-Dôme	Aveyron	Ardèche	Ardèche	Ardèche	Ardèche	Ardèche	
	Surface initiale prévue pour l'essai (m ²)	1 000	2 000	125	150	750 (500 et 250)	500	2 x 500	
	Précédent cultural	Prairie naturelle	Céréales AB	Aucun	Aucun	Aucun	Prairie naturelle	Lande	Friche ?
	Historique de la parcelle	à l'abandon depuis plus de trois ans	prairie temporaire pendant 5 ans, suivie de céréales en 2017 (rotation)	terrasse en friche depuis longtemps	parcours pâturage ovins	rhubarbe, 2 à 3 ans, et prairie naturelle fauchée	40 ans prairie naturelle	NR	NR
	Arnica déjà cultivé sur cette parcelle	non	oui, les essais de 2001 se trouvent sur une autre partie de cette grande parcelle	non	non	non	non	non	non
	Disponibilité d'un système d'irrigation sur la parcelle ?	non	non	oui	oui	oui	petite source	oui	oui
Analyse de sol déjà réalisée par le passé ?	non	non	non	non	non	non	oui, pour les parcelles voisines		
L'habitat	Altitude (m)	750	700	630	550	650	1 200	800	
	Orientation du terrain	Nord, Nord/Ouest	sur le plateau, légèrement Nord/Ouest	Nord	NE	Sud	Sud	Ouest	
	Climat	Océanique/montagnard	continental	"cevenol ubac"	moyenne montagne	moyenne montagne	Méditerranéen	NR	NR
	Sol acide	oui	oui (sol mica shiste)	acide	acide	oui	oui	acide	
	Flore compagne	bétoine, millepertuis	aux alentours présence de : achillée, mauve musquée, bourse à pasteur, vesce, serpolet, etc.	genêt, ronce, myrtilles, châtaigniers	genêt, ronce, fougère, piloselle, châtaigniers, bruyère...	graminées et divers de prairie naturelle	hêtre et pâturage + prairie de fauche	fougère	
	Dire d'expert parcelles adaptée à la culture d'arnica	oui	oui : les essais 2017 se sont bien développés	NR	NR	NR	oui	NR	NR
	Arnica présent en sauvage autour de la parcelle	Non, présence historique à 5 km (à vol d'oiseau)	non	en haut de la montagne, à partir de 1 000 m	non	autre versant nord de la montagne (650 m)	Gentiane + Arnica	non	non
Disponibilité d'une planteuse	non	oui	non	non	non	non	oui		
Matériel disponible	Plantation sur bêche, inter-rang enherbé, fauché.	tracteur, bineuse, doigts kress, charrue, etc.	manuel, préférence sur bêche.	manuel	motobineuse : 1,10m entres les bâches (de préférence) de 1 m de large.	non	bineuse avec un inter-rang de 75cm		

Tableau 2 : présentation détaillée des caractéristiques de chaque parcelle d'essai

La répartition géographique des producteurs est présentée dans la Figure 7 ci-dessous.

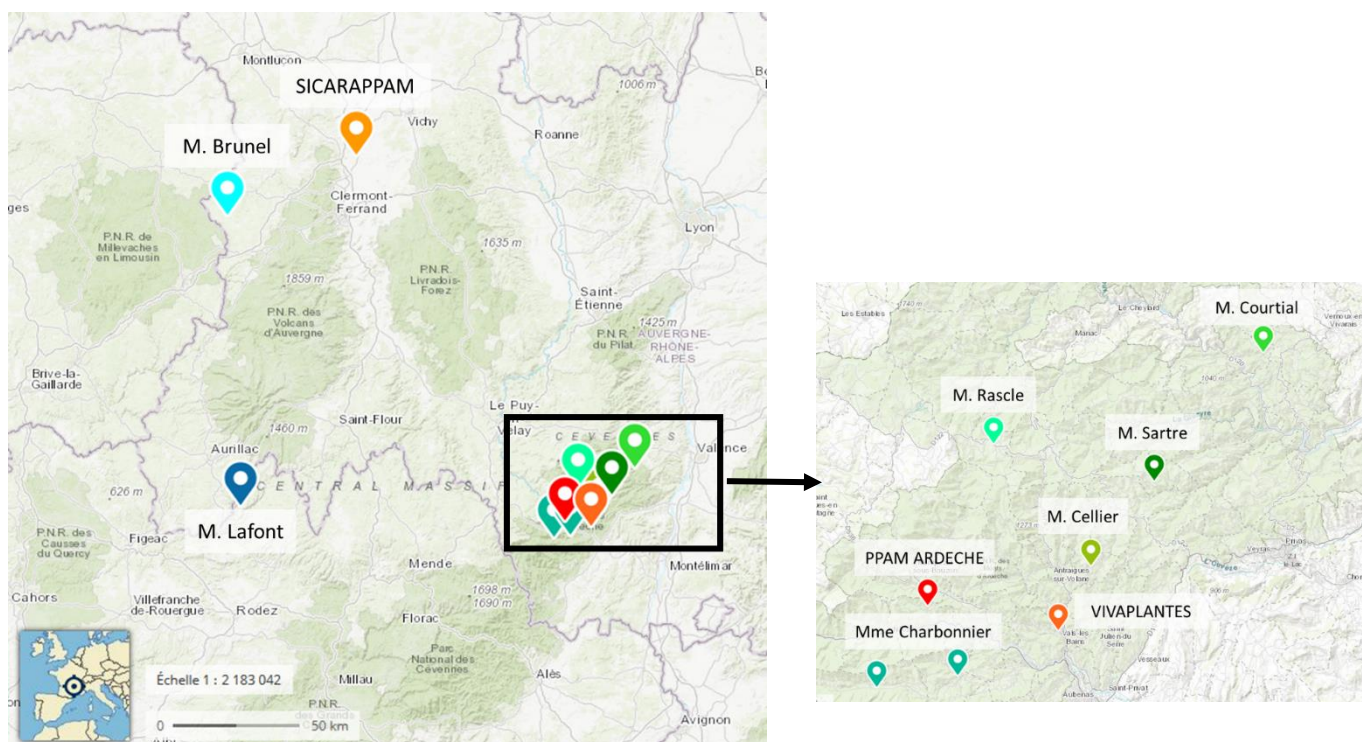


Figure 7 : Cartographie des sites cultivés lors de l'essai – Source : Géoportail. Création : CNPMAI – janvier 2021

Le Tableau 3 ci-après décrit le matériel utilisé par opération par les producteurs de l'essai :

	BRUNEL	LAFONT	CHARBONNIER	CELLIER	SARTRE	RASCLE	COURTIAL
Irrigation	Cuve	Tonne à eau et système de goutte à goutte	Système d'irrigation gravitaire et arroseurs	Système d'irrigation gravitaire à débit libre avec un tuyau	Asperseurs	Cuve, tuyaux, tourniquet et asperseurs	Tuyau et asperseur
Travail du sol	Rotavator	Déchaumage, labour, vibroculteur, rotavator	Labour, rotavator	NC	NC	NC	Déchaumage, labour, vibroculteur
Désherbage	NC	Bineuse (multifraise), houe maraîchère, tondeuse, débroussailleuse, chalumeau	NC	NC	NC	Labour, rotavator	Bineuse, charrue, vibroculteur
Plantation	manuelle	Planteuse	manuelle	manuelle	manuelle	manuelle	Planteuse
Récolte de la PAF	NC	Opinel	Sécateur ou serpette	NC	NC	NC	Opinel ou serpette

Tableau 3 : Matériel utilisé par les producteurs de l'essai pour les opérations d'irrigation, de travail du sol, de désherbage, de plantation et de récolte (NC = non-connue).

Le terroir le plus adapté à la culture de l'Arnica étant l'une des principales inconnues au départ, une démarche « en entonnoir » a été choisie, c'est-à-dire un nombre assez important de parcelles à l'implantation, et en fonction de la réussite de l'implantation, une sélection ultérieure des parcelles les plus propices à la culture d'arnica pour un suivi plus prolongé. C'est ainsi que seulement 3 des 7 sites

d'essais ont été suivi en 2020, et 2 des sites en 2021. Cela a permis de mettre en évidence des systèmes (producteur + terroir) plus ou moins favorables à cette culture. Les autres producteurs ont pu, grâce au fait qu'ils n'étaient plus dans l'essai, redensifier leurs parcelles ayant subi une mortalité importante, et ainsi réaliser tout de même pour certains des récoltes en 2020.

II.2.b. Choix du matériel végétal implanté

Comme évoqué en introduction, l'étude menée entre 2014 et 2016 par le CNPMAI a montré que le cultivar 'Arbo' donne des résultats plus satisfaisants que les populations sauvages étudiées, quel que soit le site de production, en termes de résistance aux maladies et rendement, tout en ayant une qualité phytochimique adéquate. Il a donc été choisi avec les partenaires du projet d'utiliser ce matériel végétal comme base pour les essais, afin de se concentrer plutôt sur l'étude des pratiques culturales.

Les premiers plants prévus pour une plantation au printemps 2018 ont été produits et livrés par l'exploitation du lycée horticole de Romans-sur-Isère (EPLEFPA de Romans). Malheureusement, la production de plants s'est révélée difficile, et les livraisons n'ont pu être assurées tel que prévu. Les plants d'automne 2018 et de 2019 ont par la suite été fournis par la SARL du Tilleul. Ils étaient présentés en plaques alvéolées de 2,4 cm de diamètre, comptant chacune 187 plants. Tous les plants utilisés étaient labellisés « AB », et n'ont pas été mycorrhizés.

II.2.c. Choix des variables étudiées

Il a été décidé de faire varier dans les essais la densité de plantation, le paillage, la date de plantation, ainsi que la partie de plante récoltée. Le Tableau 4 présente le détail des modalités étudiées pour chaque variable :

Densité (plants/ha)	Couverture du sol	Date de plantation	Partie de plante récoltée en année 2	Partie de plante récoltée en année 3
25 000	Sol nu	Juin 2018 (plants Romans)	PAF	PEF
50 000	Bâche plastique tissé	Octobre 2018 (plants Tilleul)	PEF	PEF
75 000	Bâche chanvre biodégradable	Mai-juin 2019 (plants Tilleul)		

Tableau 4 : Modalités testées et valeurs de chaque modalité étudiée pendant l'essai

Les rouleaux de chanvre utilisés sont des rouleaux de 400g/m², de 1,40m de large, fournis par la société SAS GEOCHANVRE F. Les rouleaux de toile plastique sont des rouleaux de 130 gr/m² noir, de 1,00m de large, fournis par la société Huck-Occitania.

II.2.d. Choix de la partie de plante récoltée par année et mode de récolte

➤ Nombre et date des passages

La floraison de l'arnica pouvant s'étaler sur 3 semaines à un mois, il a été décidé de déclencher la récolte à une date proche chez les 3 producteurs (vers le 19 mai en 2020, le 21 mai en 2021), et de réaliser un deuxième passage 10 jours plus tard. En se référant à l'étude du profil de floraison de l'arnica menée par Sugier (Sugier 2007), on pouvait ainsi raisonnablement espérer avoir récolté la grande majorité des plants ayant fleuri. Contrairement à la récolte du capitule, où la récolte du capitule principal stimule la croissance des capitules secondaires, il n'y a pas forcément d'intérêt à passer très régulièrement sur les parcelles lors d'une récolte de PAF et de PEF, car on récolte capitule principal et capitule secondaire en même temps.

Dans les graphiques, le 1^{er} passage est souvent appelé « Récolte 1 » et le 2^e passage « Récolte 2 », à ne pas confondre avec la 1^{ère} année de récolte (2019 ou 2020 en fonction de la date d'implantation de la parcelle) et la 2^e année de récolte (2020 ou 2021).

➤ Mode de récolte

La récolte a eu lieu à la main pour la PEF, et à l'aide de couteaux ou sécateurs pour la PAF.

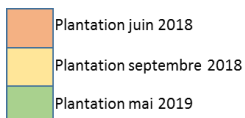
➤ Calcul du rendement en matière sèche

A chaque récolte, des échantillons ont été prélevés aléatoirement sur les parcelles, puis pesés, séchés et envoyés au CNPMAI, où ils ont été passés à l'étuve avant d'être pesés à nouveau. Cela a permis d'obtenir un coefficient de matière sèche pour convertir tous les rendements frais en rendements secs, plus fiables et comparables entre eux. Le rendement frais est tout de même cité au § III.1.f afin d'avoir en tête des ordres de grandeurs et de comparer aux rendements d'après dire d'experts.

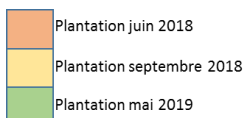
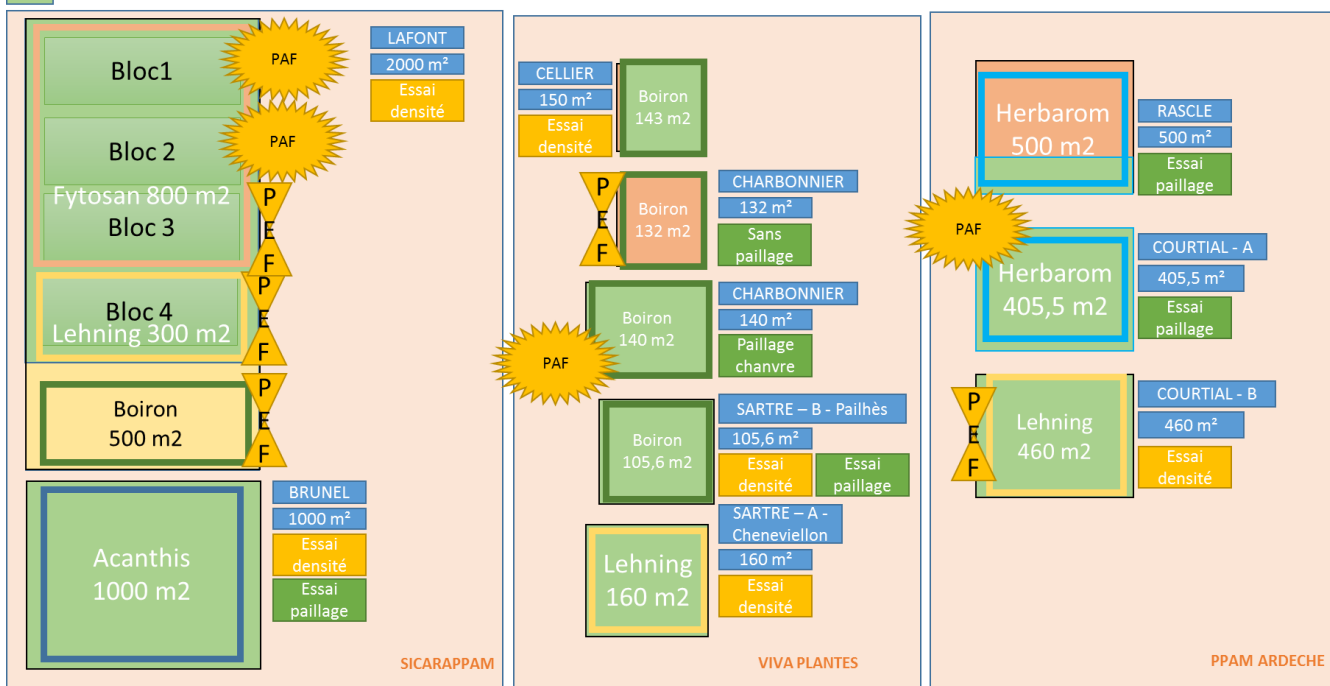
➤ Partie de plante récoltée en fonction de l'année de récolte

A l'origine, l'essai était prévu pour durer 5 ans, afin de pouvoir étudier l'évolution du rendement en fonction du temps pour la PEF, étant donné l'absence d'informations relatives à ce type de partie de plante récoltée pour l'Arnica dans la bibliographie. Au dire de certains acteurs, la récolte de PEF pourrait pénaliser la culture d'autant plus si elle intervient à la 1^{ère} année de récolte, mais selon d'autres, elle pourrait ne pas nuire car les bourgeons floraux présents à l'aisselle des feuilles basales repartiraient l'année suivante. Finalement, en raison des déboires liés à l'implantation 2018, seule la parcelle de Céline Charbonnier (Le Taillet) a pu être récoltée en 2019. Afin de ne pas prendre le risque de pénaliser la culture, la majorité de la parcelle a été récoltée en PAF, mais des placettes ont été récoltées en PEF. Ces placettes ont ensuite été récoltées et pesées séparément en 2020, afin de relever l'impact d'une récolte en PEF dès la première récolte sur le rendement et la mortalité. Pour les récoltes de 2020 sur les parcelles implantées en 2019, il était prévu d'en récolter la moitié en PAF et la moitié en PEF, et de récolter ensuite en 2^e année de récolte la totalité en PEF, afin d'identifier l'itinéraire technico-économique le plus intéressant pour le producteur.

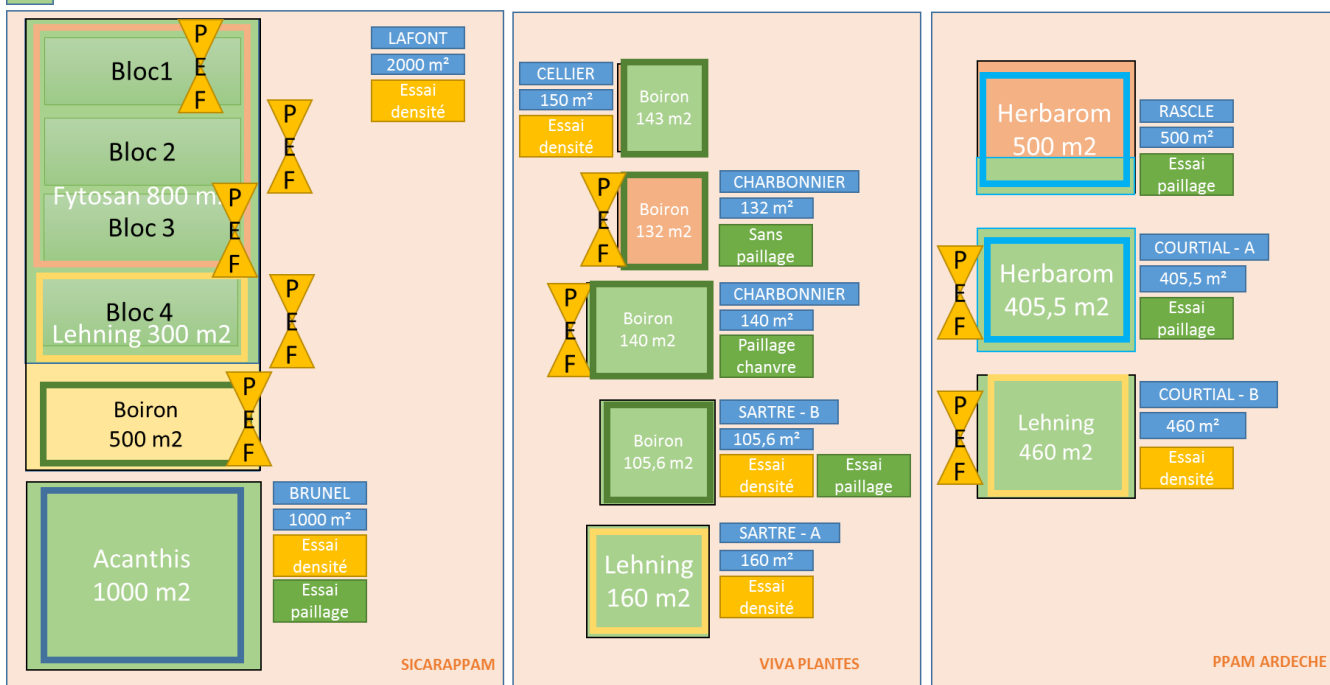
Le projet n'ayant pas pu être financé en 2021, le suivi a été arrêté en 2020, à l'exception de 2 parcelles (Charbonnier et Lafont), pour lesquelles les récoltes 2021 ont également été suivies par Jonathan Locqueville, doctorant au CEFÉ-CNRS. Nous présentons ci-dessous (Figure 8) une synthèse du protocole de récolte qui était prévu à l'origine (pour un suivi sur 5 ans). Le nom des entreprises dans les blocs d'essai signifie qu'elles ont contractualisé pour l'achat du produit issu de l'essai sur cette parcelle.



1) Récolte 2020



2) Récolte 2021



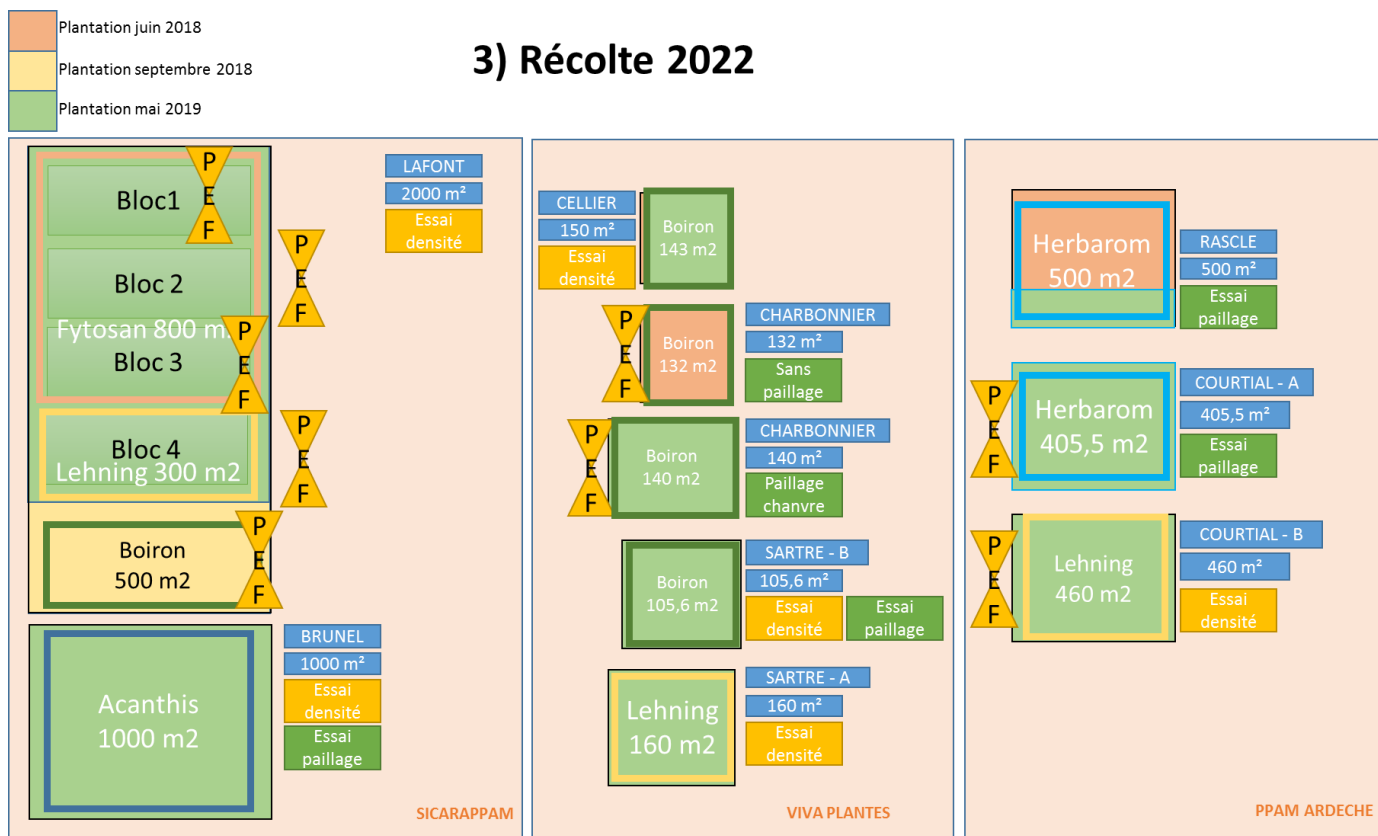


Figure 8 : schéma-bilan du protocole d'essai, incluant les modalités de récolte par année

II.2.e. Synthèse des modalités de l'essai

Le *Tableau 5* ci-dessous synthétise pour chaque producteur les modalités testées. Les producteurs indiqués en gras sont ceux qui ont participé au suivi scientifique jusqu'en 2020.

Organisation de producteurs	Nom du producteur	Surface utile (m ²)	Parcelle	Densité	Paillage	Date de plantation
SICARAPPAM	BRUNEL	354,6		50, 75	chanvre, tissée	21 mai 2019
	LAFONT	556,8	Lafont2018	50	sol nu	12 octobre 2018
		1158,2	Lafont2019	25, 50, 75	sol nu	31 mai 2019
VIVA PLANTES	CHARBONNIER	93,6	Le Taillet	50	sol nu	22 juin 2018
		140	La Sautellerie	50	chanvre	24, 25, 27 mai 2019
	CELLIER	112,9		25, 50, 75	sol nu	25, 26 mai 2019
	SARTRE	156	Cheneveillon	50	tissée, sol nu	24 au 28 mai 2019
		102,4	Pailhès	50	tissée, sol nu	24, 25 mai 2019
PPAM ARDECHE	RASCLE	288		50	chanvre, tissée	juin 2018
				50	tissée	mai 2019
	COURTIAL	228,4	Essai bâche	50	chanvre, tissée	5 juin 2019
		285	Essai densité	25, 50, 75	sol nu	5 juin 2019

Tableau 5 : Répartition des modalités pour chaque parcelle de l'essai

II.2.f. Relevé des données

Pour chaque parcelle, chaque modalité, des notations ont eu lieu tout au long du projet :

- Notation 1 (avant hiver) : novembre 2018,
- Notation 2 (sortie d'hiver et avant récolte) : avril-mai 2019
- Notation 3 (reprise après plantation / après récolte) : juillet 2019
- Notation 4 (avant hiver): septembre 2019
- Notation 5 (sortie d'hiver et avant récolte) : mai 2020
- Notation 6 (avant hiver) : septembre 2020.

Les notations ont recensé la mortalité, l'état sanitaire général, le recouvrement des adventices, et le développement des rosettes et le poids frais de plante récolté. Seule une partie de ces données a finalement pu être exploitée dans ce rapport d'un point de vue quantitatif, mais les notations qualitatives ont permis de faciliter l'analyse des résultats et leur interprétation.

La mortalité a été estimée via un échantillonnage pour les parcelles supérieures à 1 000 m² et elle a été comptée dans sa totalité pour les parcelles plus petites, à partir du nombre de pieds vivants.

Par ailleurs, un suivi a été effectué auprès de chaque producteur afin de connaître ses pratiques culturales et le temps passé à chacune des opérations. Ces éléments sont traités et présentés dans le rapport de l'analyse technico-économique, séparé du présent rapport.

Différentes analyses ont été réalisées :

- Analyses de sol avant la plantation
- Analyses phytopathologiques sur certains pieds malades repérés chez René Lafont en 2020
- Analyses phytochimiques

L'étude de la qualité phytochimique a été réalisée grâce au laboratoire de l'iteipmai. Les parcelles récoltées en 2020 ont fait l'objet de prélèvements aléatoires de :

- Capitules ensuite séchés, puis envoyés à l'iteipmai pour une analyse selon la norme « Pharmacopée européenne » (Ph Eur)
- PEF congelée immédiatement et envoyée en transport frigorifique à l'iteipmai pour une analyse selon la norme « Pharmacopée française » (Ph fr). La PEF a ensuite été récupérée pour faire l'objet d'une chromatographie sur couche mince (CCM) et d'une analyse des cendres totales.

Le Tableau 6 synthétise les analyses effectuées par parcelle.

Producteur	Bloc	Date de plantation	Paillage	Partie de plante récoltée principalement pour l'essai	Analyse PEF - Ph Fr : 4 hampes florales + racine prises au hasard sur la parcelle	Analyse capitules secs - Ph Eur	CCM	Cendres totales
LAFONT		sept-18	Sans paillage	PEF	1	1	Sur PEF après analyse Ph Fr	Sur PEF après CCM
LAFONT	1	mai-19	Sans paillage	Capitule		1		

LAFONT	2	mai-19	Sans paillage	Capitule				
LAFONT	3	mai-19	Sans paillage	PEF	1		Sur PEF après analyse Ph Fr	Sur PEF après CCM
LAFONT	4	mai-19	Sans paillage	PEF				
CHARBONNIER		juin-18	Sans paillage	PEF	1	1	Sur PEF après analyse Ph Fr	Sur PEF après CCM
CHARBONNIER		mai-19	Toile chanvre	Capitule	1	1	Sur PEF après analyse Ph Fr	Sur PEF après CCM
COURTIAL		mai-19	Bâche tissée / Sol nu	Capitule		1		
COURTIAL		mai-19	Sans paillage	PEF	1		Sur PEF après analyse Ph Fr	Sur PEF après CCM
Total analyses phytochimiques					5	5	5	5

Tableau 6: Protocole d'analyses phytochimiques

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS AGRONOMIQUES

Seuls les résultats les plus pertinents ou intéressants seront ici présentés. On s'intéressera généralement aux résultats obtenus chez les trois, puis deux producteurs pour lesquels le suivi scientifique a duré jusque 2021.

La Figure 9 ci-dessous présente une vision globale des quantités récoltées pour les différentes parcelles d'essais, ainsi que des dates de récolte.

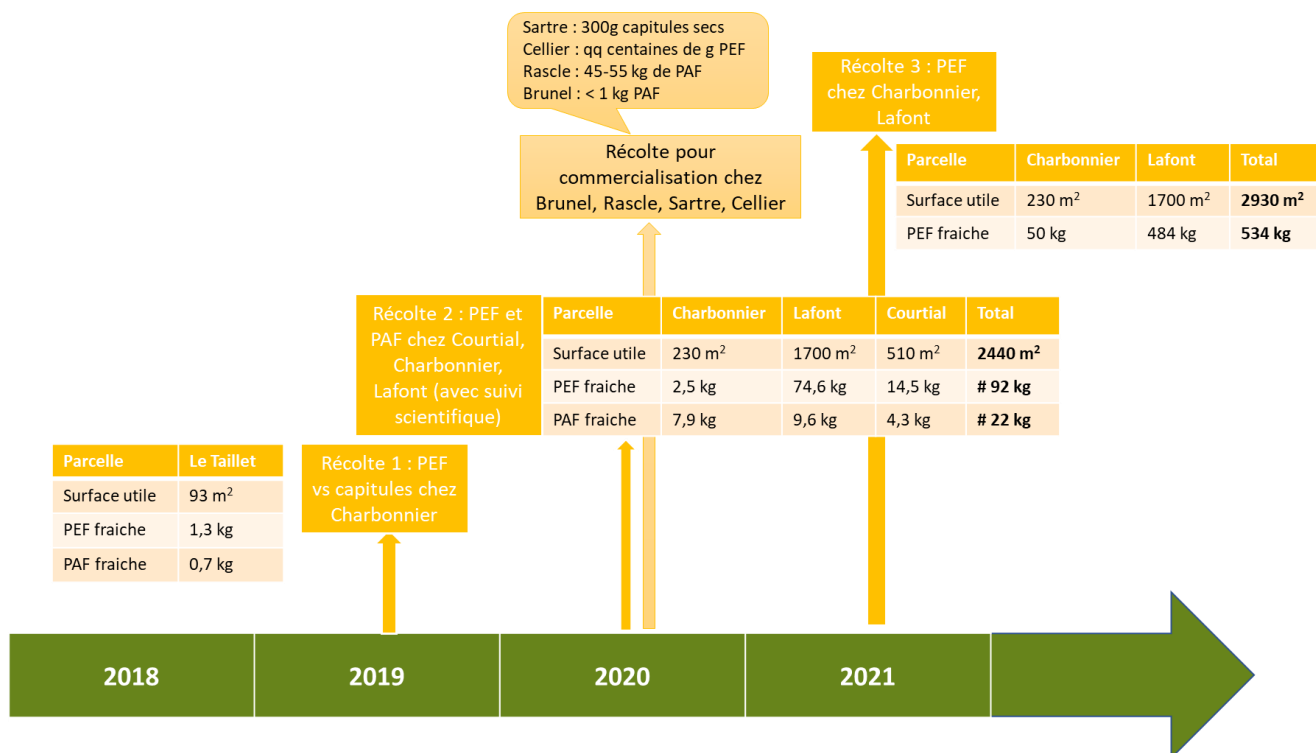


Figure 9 : Vision globale des récoltes

III.1.a. Etude de la densité

➤ A la récolte 2021 (1ère année de récolte)

La densité a été étudiée chez René Lafont et Yoann Courtial. Cependant, chez Yoann Courtial, un biais a été introduit, lié au fait que pour la densité 75 000 qui a été implantée en dernier, les plants les plus chétifs ont été utilisés. Ainsi la comparaison des densités chez Yoann Courtial n'est pas exploitable. Cependant, aucun biais de ce type n'a été constaté chez René Lafont, et la comparaison des densités y est très parlante, comme on peut le voir dans la Figure 10. Les récoltes ont eu lieu successivement le 19 (récolte 1, en bleu) et le 29/05/2020 (récolte 2, en orange).

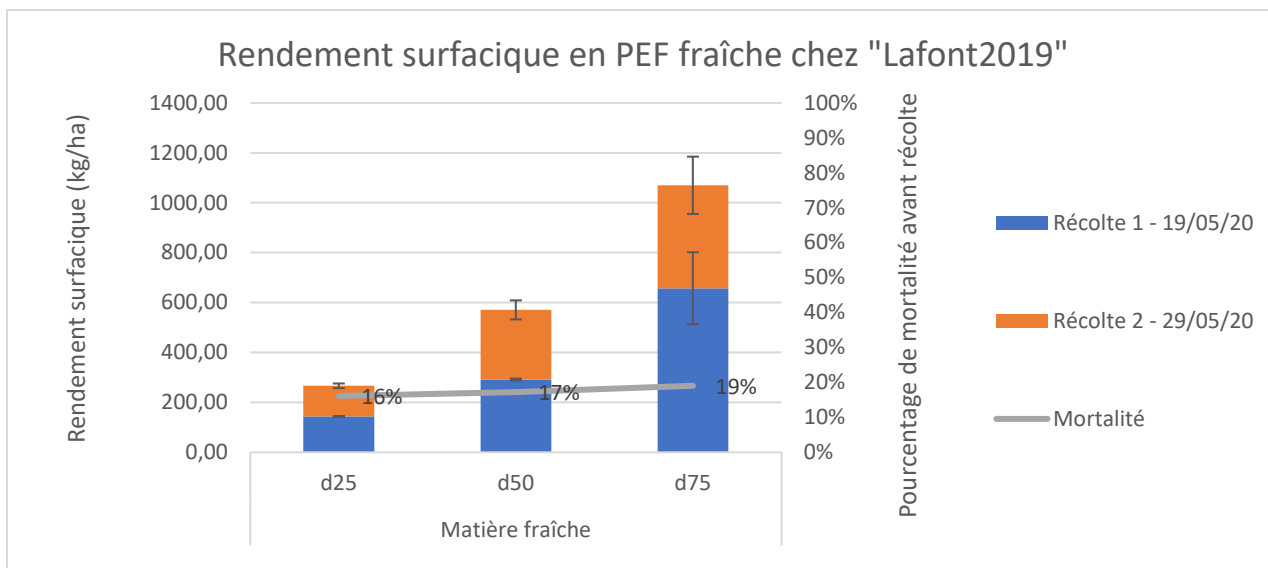


Figure 10 : Etude de l'impact de la densité sur le rendement surfacique et sur la mortalité pour la parcelle « Lafont2019, à la récolte 2020 (sol nu) d25 = 25 000 plants/ha, d50 = 50 000 plants/ha, d75 = 75 000 plants/ha.

On voit qu'une densité importante n'augmente pas significativement la mortalité comme on aurait pu le croire (en imaginant que la proximité des plants faciliterait la transmission des maladies), et que le rendement surfacique augmente en fonction de la densité. On n'atteint pas encore de « plateau », donc une densité supérieure pourrait même être envisagée. Ces résultats auraient tendance à laisser penser qu'une densité de 75 000 plants par ha, voire 90 000 plants par ha serait à recommander, afin d'optimiser l'utilisation de l'espace, et de limiter ainsi le risque d'enherbement et le temps à passer au désherbage pour les années suivantes.

➤ **A la récolte 2022 (2^e année de récolte)**

La Figure 11 permet de comparer, en fonction de l'année de récolte, le rendement sec par densité.

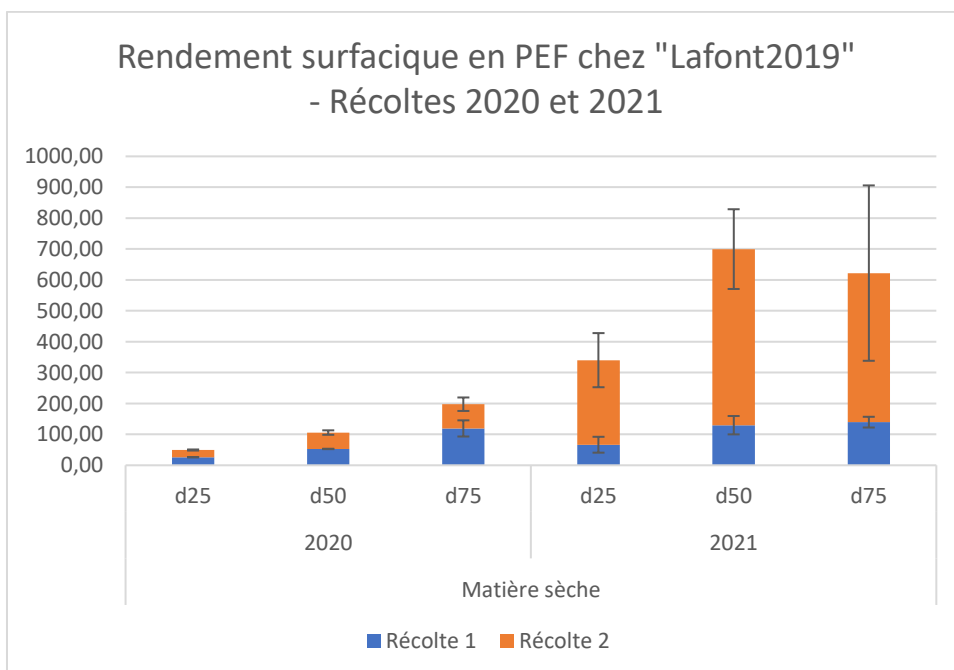


Figure 11 Etude de l'impact de la densité sur le rendement surfacique et sur la mortalité pour la parcelle « Lafont2019, en comparant les récoltes 2020 et 2021 (sol nu) d25 = 25 000 plants/ha, d50 = 50 000 plants/ha, d75 = 75 000 plants/ha.

Cette figure pondère la conclusion du paragraphe précédent. En effet, il ressort ici que la densité 50 000 permet d'atteindre un rendement similaire, voire légèrement supérieur en 2^e année de récolte au rendement obtenu avec une densité de 75 000, alors que le coût d'implantation y est 30% moins important.

On aurait donc tendance, en se fiant à ces résultats, à recommander une densité de 50 000 plants/ha et non 90 000. Pour voir si cette tendance se confirme cependant, il faudrait suivre les résultats en 3^e année de récolte, et vérifier également si on observe le même type de résultats sur d'autres terroirs.

III.1.b. Effet de la récolte de PEF en 2^e année

Chez Céline Charbonnier, sur la parcelle implantée en 2018, des placettes ont été récoltées en PEF en 2019, alors que la majorité de la parcelle était récoltée en capitules (ou PAF). En 2020, la totalité de la parcelle a été récoltée en PEF, mais nous avons distingué les placettes qui avaient été récoltées en PEF en 2019, afin d'évaluer l'impact de ce mode de récolte dès la 2^e année (voir graphique ci-dessous, Figure 12).

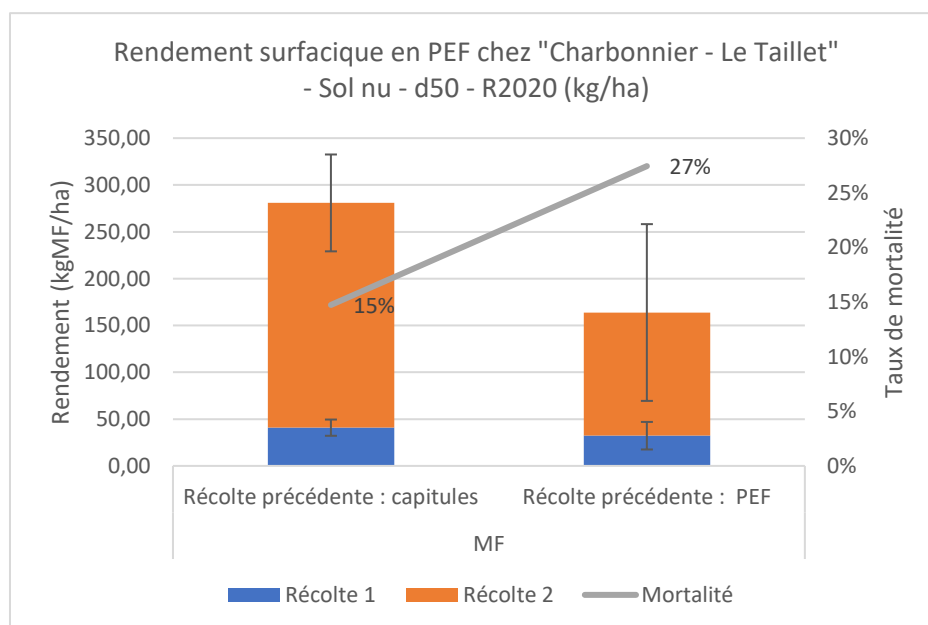


Figure 12 : impact de la partie de plante récoltée en 2^e année sur le rendement surfacique en PEF fraîche et la mortalité en 3^e année

On voit sur ce graphique que la récolte en PEF en 2^e année diminue le rendement de 42%, et double quasiment la mortalité. Si l'on s'intéresse au rendement par pied récolté, on voit sur la Figure 13 qu'il diminue de près de 40% pour les pieds récoltés en PEF en 2019 par rapport à ceux qui avaient simplement été récoltés en capitules.

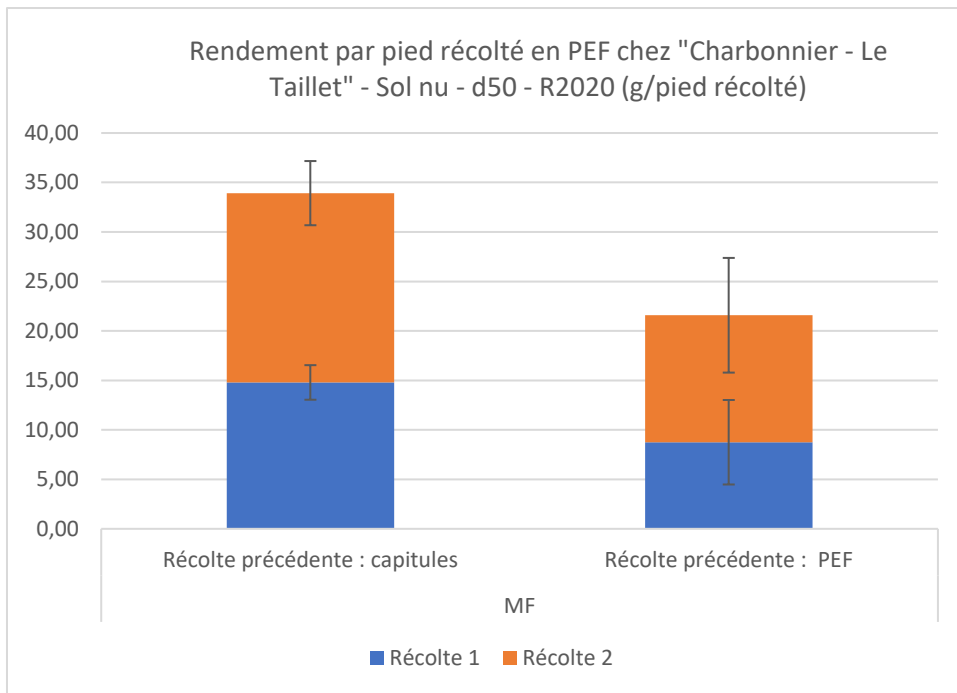


Figure 13 : impact de la partie de plante récoltée en 2e année sur le rendement par pied en PEF fraîche en 3e année

III.1.c. Comparaison d’une plantation d’automne ou de printemps

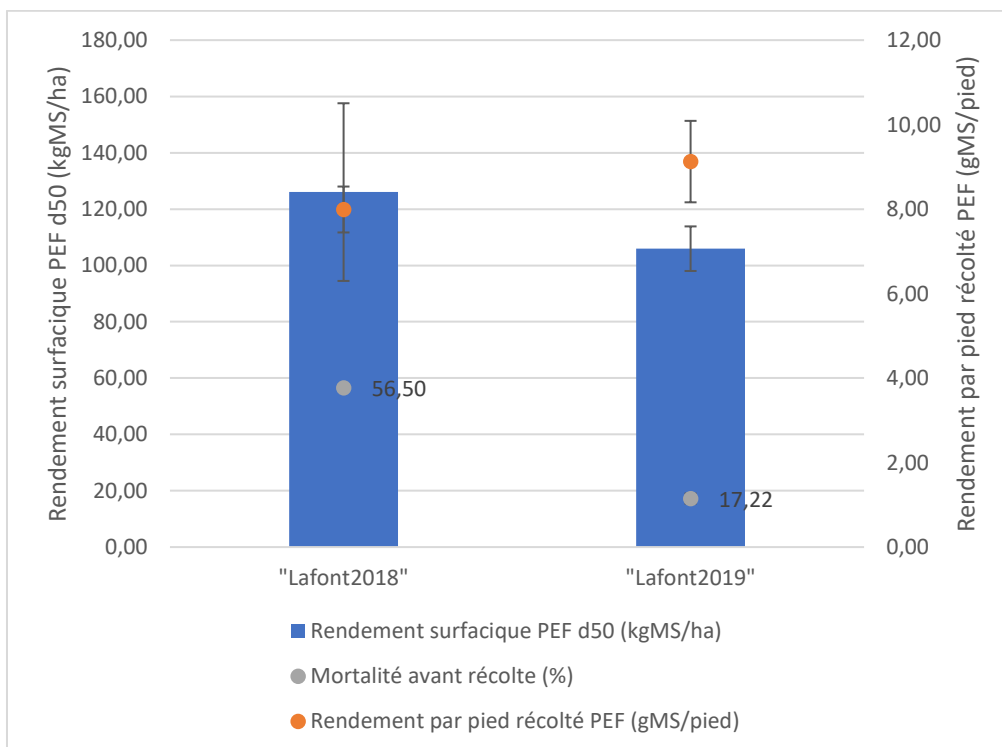


Figure 14 : impact de la date de plantation sur le rendement surfacique en PEF sèche

Sur la Figure 14 ci-dessus, « Lafont2018 » correspond à une parcelle implantée à l’automne 2018 et « Lafont2019 » à une parcelle implantée au printemps 2019. Les plants provenaient dans les deux cas de la SARL du Tilleul, et la 1ere récolte a été réalisée au même moment pour les deux parcelles, en mai 2020. Le rendement semble inférieur ou tout du moins équivalent (les écart-types se superposent)

pour une plantation au printemps n+1. Cela montre l'intérêt ou la validité d'une plantation à l'automne, qui peut présenter un avantage en termes de répartition des pics de travail. Le désavantage est de devoir entretenir la parcelle 6 mois de plus pour un rendement quasiment équivalent.

On remarque aussi sur ce graphique que la mortalité est bien supérieure (56 contre 17%) pour la parcelle implantée à l'automne, ce qui s'explique par le passage de l'hiver 2018-2019. Ce qui est plus surprenant c'est que le rendement par pied récolté est en revanche supérieur pour Lafont2019. Comment expliquer alors, avec une plus faible mortalité, un plus fort rendement au pied récolté, un rendement surfacique équivalent voire plus faible pour une plantation au printemps 2019 ? La Figure 15 pourrait fournir une piste d'explication : le taux de floraison avant récolte est inférieur de 32% chez Lafont2019 par rapport à Lafont2018. Ainsi le fait d'avoir passé un hiver aurait un impact positif sur le taux de floraison, qui compenserait la mortalité hivernale en termes de rendement surfacique.

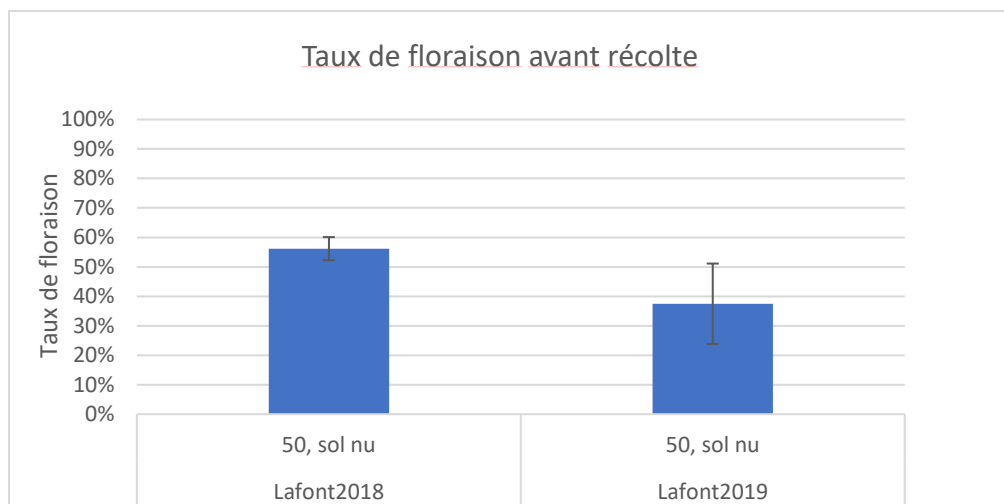


Figure 15 : impact de la date de plantation sur le taux de floraison avant récolte

L'impact du froid sur le taux de floraison et le rendement mériterait d'être étudié plus précisément. Douglas en Nouvelle-Zélande, suppose que le manque de froid l'hiver pénalise la floraison (Smallfield et Douglas 2008).

III.1.d. Etude des facteurs pouvant influencer la mortalité

i) Conditions climatiques et météorologiques

La Figure 16 ci-dessous présente le niveau de mortalité auquel étaient arrivées la totalité des parcelles implantées, entre la première notation (novembre 2018) et la dernière notation (septembre 2020). Dans l'encadré vert se trouvent les parcelles des trois producteurs pour lesquels le suivi scientifique a été maintenu en 2020. Les deux barres tout à gauche correspondent aux parcelles implantées respectivement en juin 2018 et en octobre 2018. Toutes les autres parcelles ont été implantées entre le 21 mai et le 5 juin 2019. En vert les notations de 2018, en orange les notations de 2019 et en bleu les notations de 2020. La notation de l'automne 2018 permet d'identifier la mortalité à la reprise après plantation. Celle du printemps 2019 recense la mortalité hivernale 2018-2019. Celle de l'été 2019 pour les parcelles implantées en 2019 recense la mortalité après reprise et au printemps 2020 on relève la mortalité liée à l'hiver 2019-2020 (pour les parcelles ayant été suivies en 2020, dans l'encadré vert).

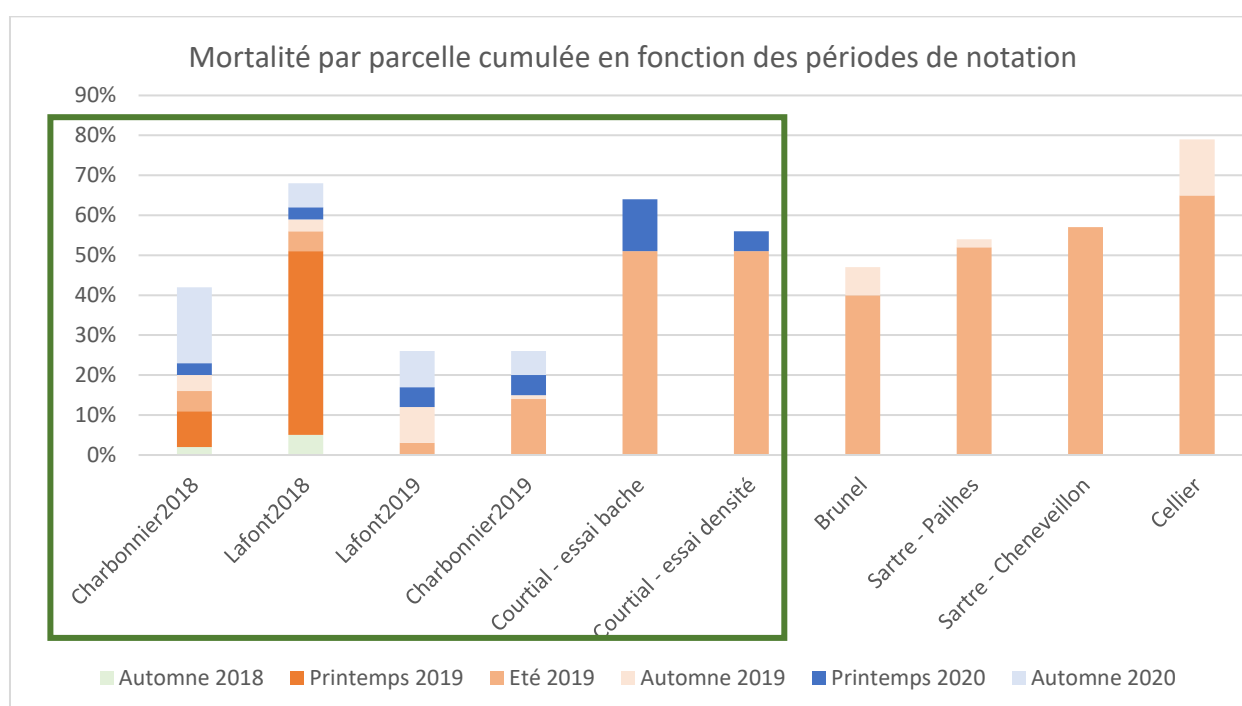


Figure 16 : Mortalité cumulée par période de notation sur les différentes parcelles

➤ Parcelles implantées en 2018 :

On remarque en s'intéressant à la mortalité à l'automne 2018 (notation du 6/11/2018) la faible mortalité à la reprise pour la parcelle implantée en juin 2018 chez Céline Charbonnier (2%). Elle est également faible chez René Lafont (<5%), mais la parcelle venait alors juste d'être implantée (plantation le 12/10/2018). On déplore ensuite une mortalité hivernale lors de l'hiver 2018-2019 pour ces deux parcelles : 9% supplémentaires chez Céline Charbonnier, 46% supplémentaires chez René Lafont. Cependant sur ces deux parcelles, la mortalité hivernale lors de l'hiver 2019-2020 est limitée : 3% supplémentaires chez Céline Charbonnier comme chez René Lafont, ce qui est de plutôt bon augure quant à la durée de vie de la culture. En effet, on peut imaginer qu'une fois l'hiver après plantation passé, la culture parvient à passer les prochains hivers sans trop de dégâts. La parcelle de Céline Charbonnier souffre d'une importante mortalité estivale en 2020 (près de 20%), qu'il est difficile d'expliquer par les conditions climatiques, étant donné que la parcelle implantée en 2019 située à quelques dizaines de mètres n'a subi dans le même temps qu'une mortalité de 6%.

➤ **Parcelles implantées en 2019 :**

On constate pour les parcelles implantées en 2019, mises à part celle de René Lafont et de Céline Charbonnier, une très importante mortalité à la reprise (notation de l'été 2019). Pour les parcelles de Yoann Courtial et Jean-Roger Sartre, cela peut s'expliquer par un orage de grêle ayant violemment traversé les parcelles d'essais le 15 juin 2019 soit quelques jours seulement après la plantation (voir Figure 17 et Figure 18).

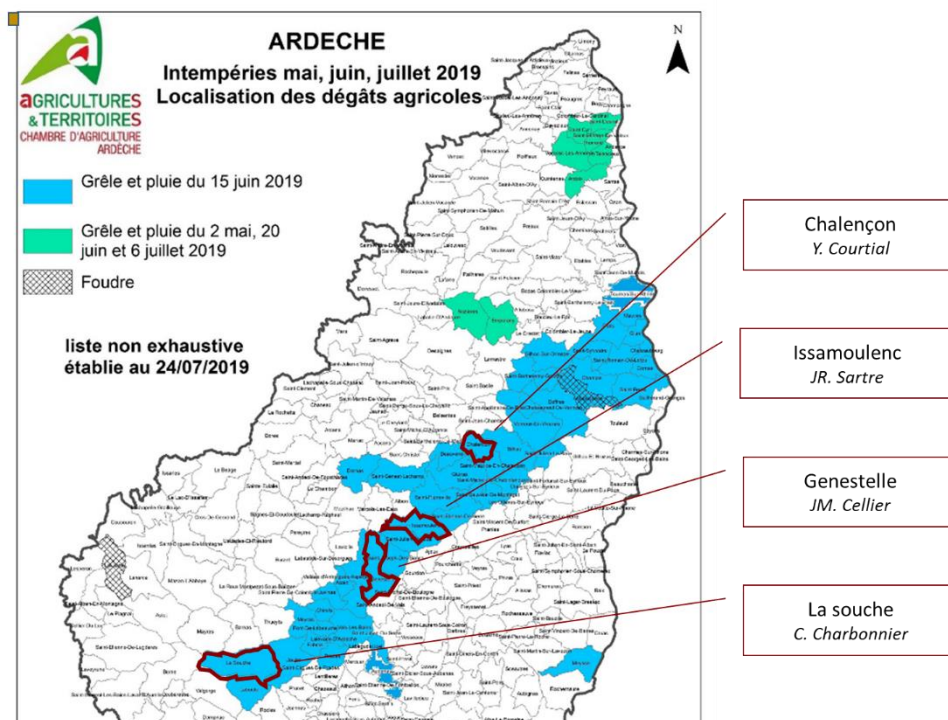


Figure 17 : carte des intempéries ayant touché l'Ardèche en 2019, en rouge les communes accueillant des essais Arnica



Figure 18 : Parcelle de Yoann Courtial (essai bâche) au 18/06/2019, ravinée après l'orage de grêle

Les parcelles de Céline Charbonnier, Jean-Marie Cellier, Jean-Claude Rasclé n’ont pas été touchées. Cet évènement a pu décourager les producteurs, qui n’ont ensuite pas entretenu les essais pendant l’été avec autant d’assiduité qu’il aurait fallu. En plus de cet évènement climatique défavorable, deux vagues de chaleur caniculaire ont traversé la France à l’été 2019 (voir Figure 19). En Ardèche, les températures ont atteint 40°C pour la première vague et 42,6°C pour la deuxième. D’après Eric Bertoncello, qui suivait les essais en Ardèche, les plants légèrement couverts par d’autres adventices s’en serait mieux tirés. L’absence de désherbage a cependant pu aussi pénaliser les parcelles à ce niveau-là car on sait que le travail du sol permet de limiter la perte en eau de la parcelle.

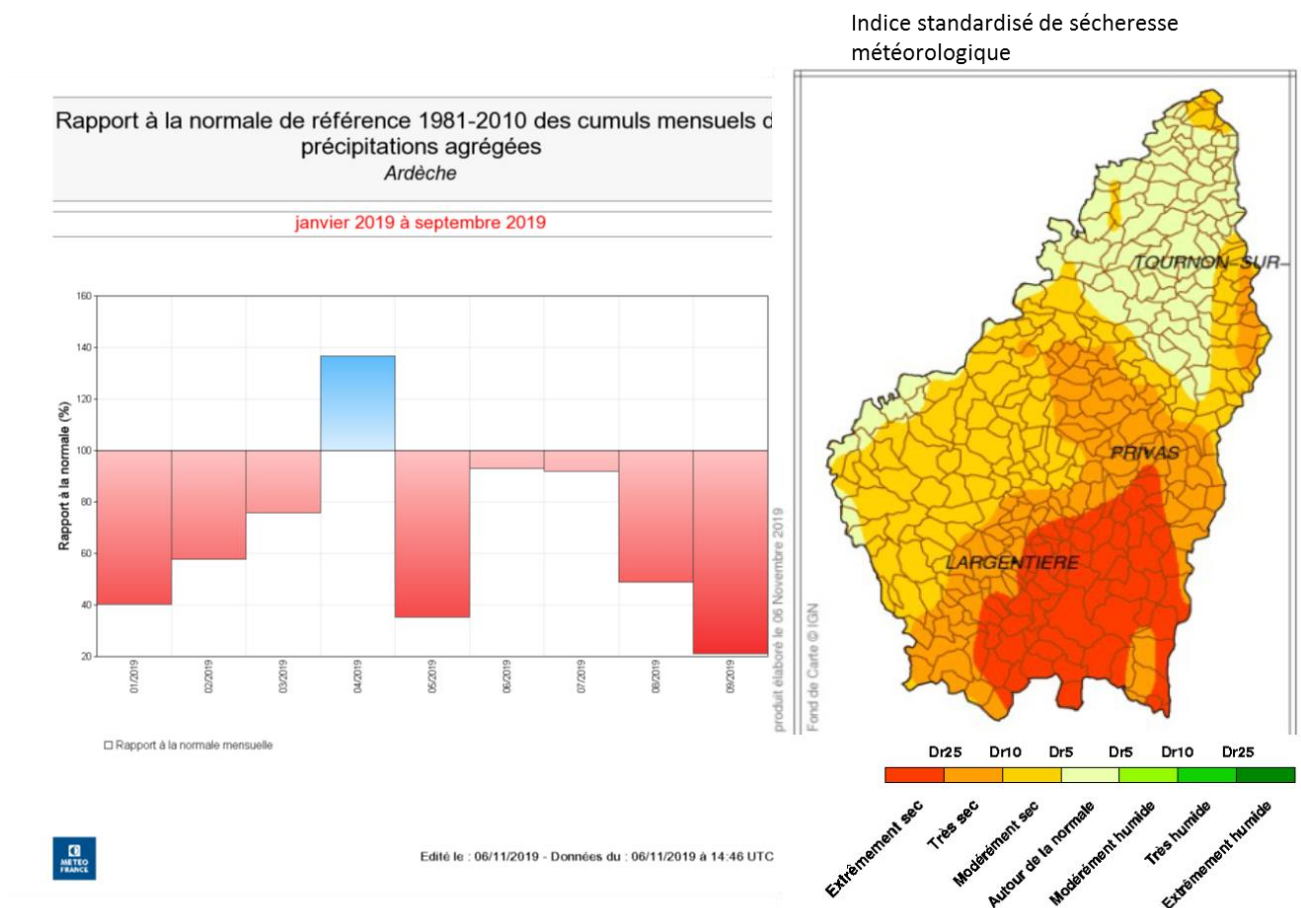


Figure 19 : sécheresse et canicules en Ardèche à l'été 2019

ii) Effet site et temps de travail

Afin de mieux comprendre ce qui pouvait jouer sur la mortalité, en dehors des conditions climatiques, des diagrammes présentant la mortalité en fonction de différentes variables potentiellement explicatives ont été réalisés. La Figure 20 présente un exemple de « diagramme à bulles » tentant d'expliquer la mortalité (diamètre des bulles bleues) avec deux paramètres clefs a priori, pour l'arnica, de la qualité du sol : la teneur en matières organiques totales et le pH.

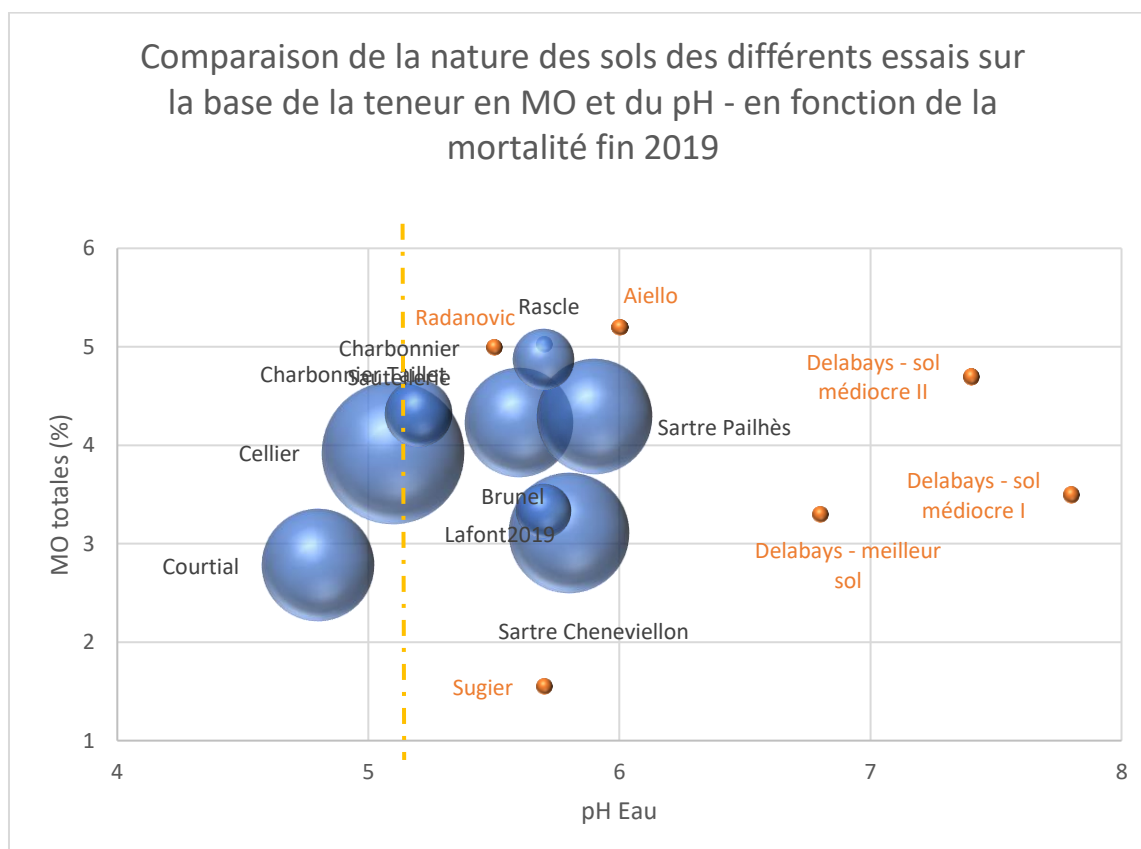


Figure 20 : Positionnement des différentes parcelles de l'essai en région AURA (en bleu), des parcelles ayant fait d'essais antérieurs retrouvés dans des publications (en orange) en fonction du taux en matière organique et du pH eau de leur sol. La taille des bulles correspond au taux de mortalité à l'automne 2019 (mis à part pour les données issues des publications, pour lesquelles la mortalité n'est pas connue)

Il est difficile de trouver une conclusion ferme à ce graphique, mise à part peut-être une limite d'acidité à ne pas dépasser, autour de 5.1 de pH (matérialisée par une barre jaune en pointillés, à gauche de laquelle on trouve les plus importantes mortalités). La mortalité ne semble pas particulièrement corrélée, ni au pH, ni à la teneur en matière organiques du sol.

Les figures présentées ci-dessous présentent différentes tentatives d'interprétation pour se représenter d'éventuels liens entre la mortalité et :

- La teneur en azote total (Figure 21)
- Le temps de travail total (Figure 22)
- Le temps de désherbage l'année d'implantation (Figure 23)

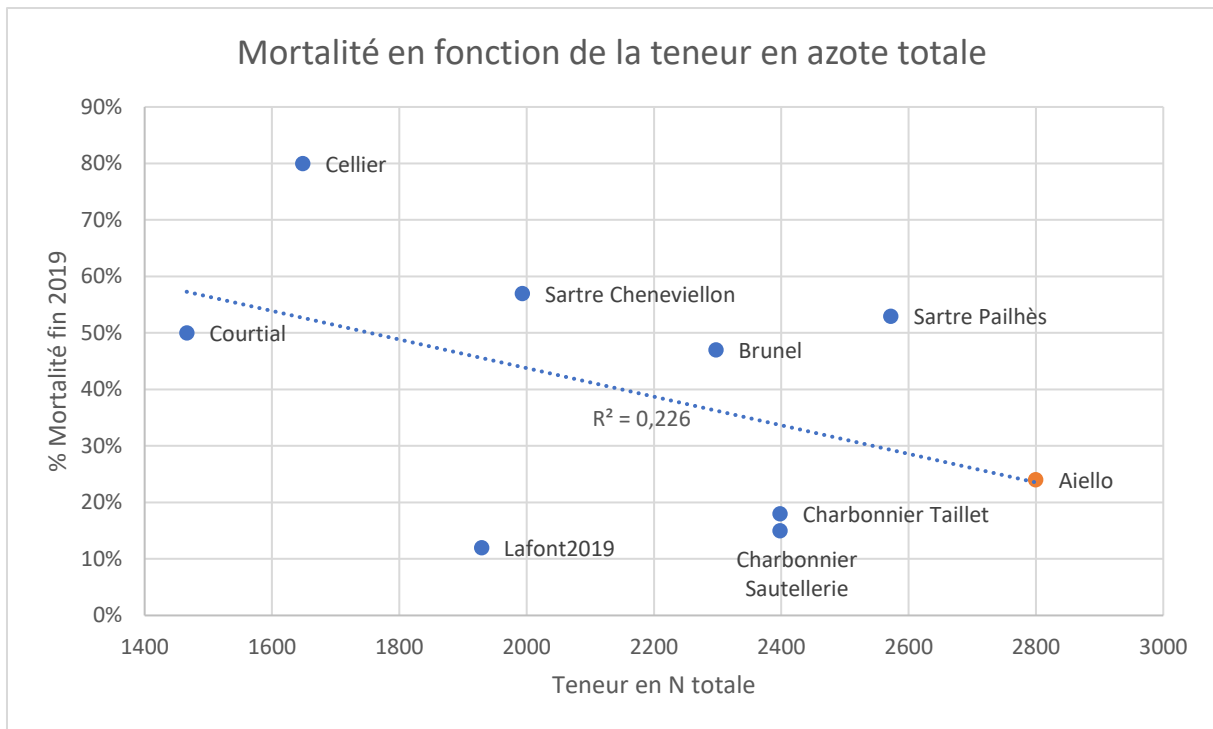


Figure 21 : Mortalité fin 2019 en fonction de la teneur en azote totale (le point en orange correspond à une donnée issue de la bibliographie)

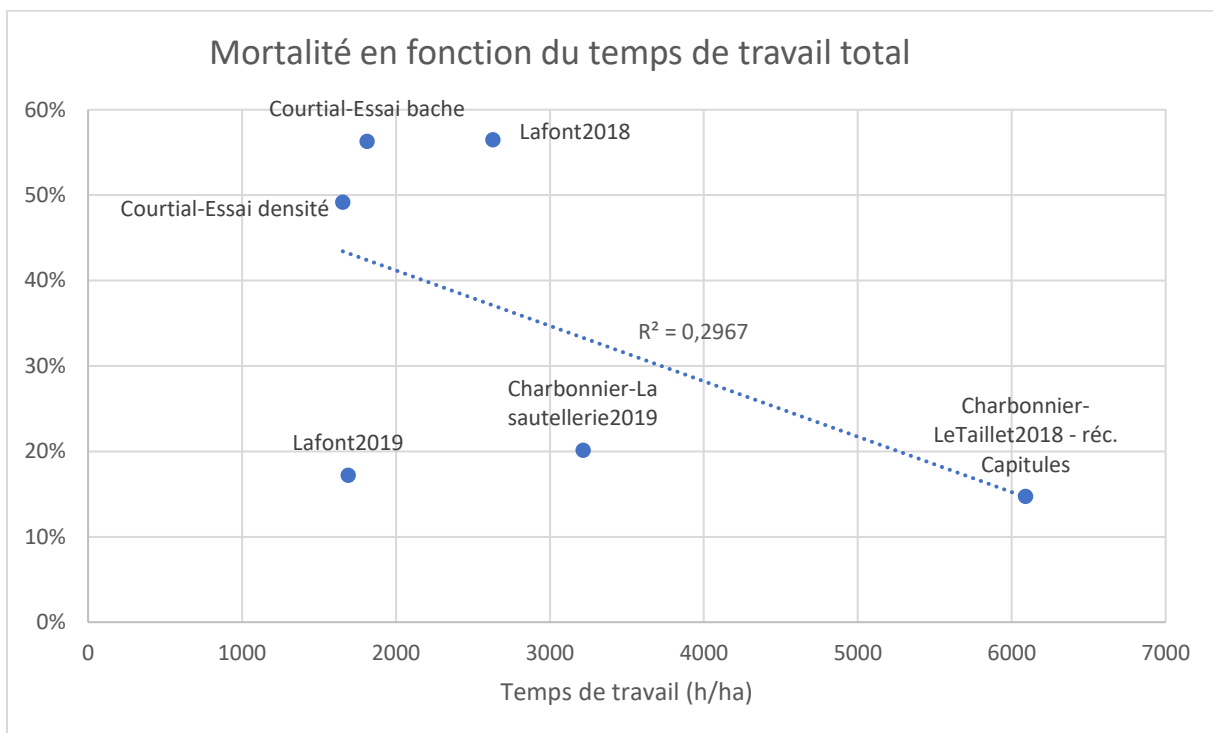


Figure 22 : Mortalité en mai 2020 en fonction du temps de travail total

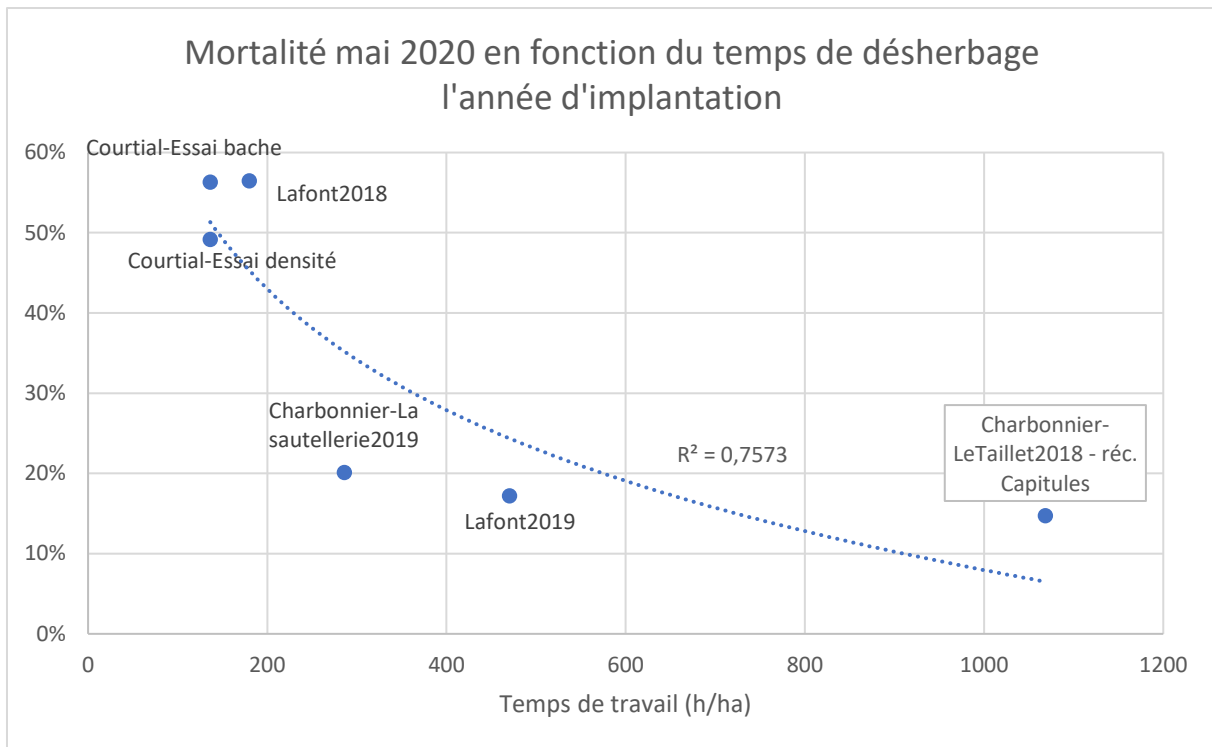


Figure 23 : Mortalité en mai 2020 en fonction du temps de désherbage l'année d'implantation

Les coefficients de détermination, indiqués sur les graphes, ainsi que la courbe de tendance (en bleu pointillé) sont à prendre pour ce qu'ils sont, et peuvent difficilement valider ou non un lien entre les variables. Les données sont peu nombreuses, limitant toute analyse statistique, et des paramètres très variés peuvent interférer avec ces résultats (événements climatiques, mécanisation différente des producteurs, dates de plantation différentes...) et expliquer la mortalité. Cependant, l'effet du temps de désherbage l'année d'implantation (Figure 23) mérite qu'on s'y intéresse, et pourrait fait l'objet d'expérimentations ultérieures. En effet, il semble que plus le temps passé au désherbage la première année est important, plus la mortalité est faible. Cela peut s'expliquer par la très faible compétitivité de l'arnica face aux adventices, et pointe l'intérêt d'une attention particulière au désherbage l'année d'implantation.

iii) Maladies

L'aspect phytopathologique a également été étudié. Trois pieds malades ont été prélevés chez René Lafont par Stéphanie Flahaut, et envoyés à analyser à la Fredon par l'iteipmai, entre le 29/09 et le 02/10/2020 (voir photos ci-dessous).



Le rapport de la Fredon est recopié en partie à la Figure 24 ci-dessous.

Observations

Le brunissement des tissus internes de la racine principale ainsi que sur des racines secondaires a été observé. Un isolement a été réalisé sur ces zones. Du Fusarium a été détecté mais ne semble pas être la cause primaire du dépérissement des plantes. Un stress environnemental ou racinaire peut être à l'origine des symptômes.



Figure 24 : Extraits du rapport de la fredon concernant les 3 pieds malades envoyés pour analyse à l'automne 2020

Ces analyses ne permettent donc pas réellement de comprendre l'origine des maladies ayant touché les pieds : carences, stress environnemental... ?

III.1.e. Etude de l'effet site sur les rendements

i) Rendements en PEF sèche

La Figure 25 présente le rendement surfacique, le rendement au pied ainsi que la mortalité en fonction des parcelles, pour une densité fixe de 50 000 plants/ha, pour la récolte 2020. En vert clair et vert vif les deux parcelles plantées en 2018, en bleu foncé les parcelles plantées en 2019.

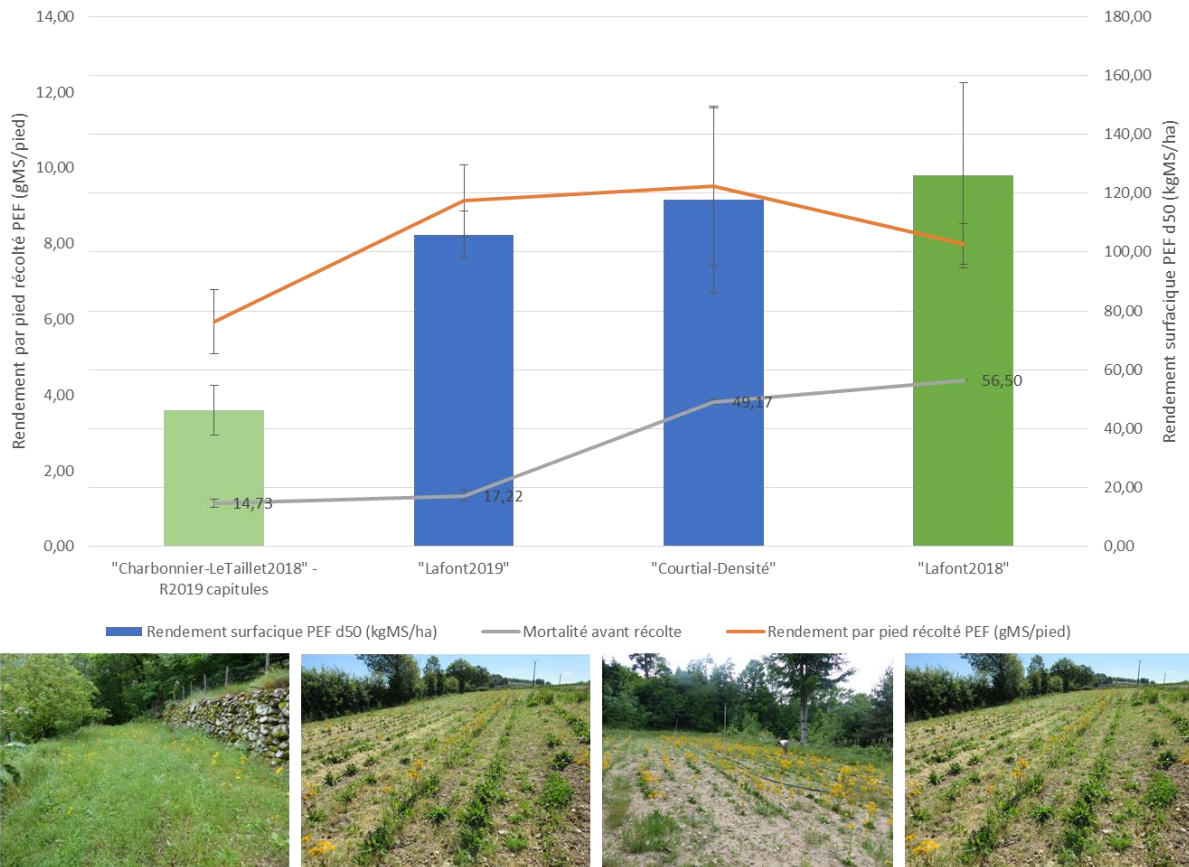


Figure 25 : Evolution du rendement en PEF sèche en fonction des parcelles à la récolte 2020, à densité fixe de 50 000 plants/ha

Le rendement surfacique semble ici corrélé positivement à la mortalité ce qui est a priori illogique. Une autre variable doit certainement jouer ici : le nombre de pieds vivants ayant ou n'ayant pas fleuri. Il semblerait que chez Lafont2018, la proportion de pieds ayant fleuri soit bien supérieure à chez Charbonnier2018. En effet, chez Charbonnier2018, la mortalité est très inférieure (environ 1/3 de la mortalité relevée chez Lafont2018), et le rendement par pied n'est pas si différent (environ 3/4 du rendement observé chez Lafont2018). Si tous les pieds vivants avaient fleuri chez Céline Charbonnier, on aurait donc dû avoir un rendement égal ou supérieur au rendement chez René Lafont. Comme c'est loin d'être le cas (rendement surfacique près de 3 fois supérieur chez Lafont2018 par rapport à Charbonnier2018), on peut imaginer que les pieds vivants ont plus fleuri chez Lafont2018 que chez Lafont2019. On peut appliquer exactement le même raisonnement en comparant les parcelles Lafont2018 et Lafont2019, où l'effet est encore plus flagrant comme analysé au § III.1.c.

On peut conclure sur le fait qu'il existe un effet site jouant sur les rendements, principalement à travers le taux de floraison, ce qui pourrait être dû à la somme de degrés froid pendant l'hiver ou à la couche neigeuse. L'étude des causes du taux de floraison vaudrait la peine d'être menée, vu l'impact important qu'a ce taux sur les variations de rendement.

ii) Rendement en PAF sèche

La Figure 26 présente les rendements en PAF sèche en fonction des parcelles testées, à densité égale.

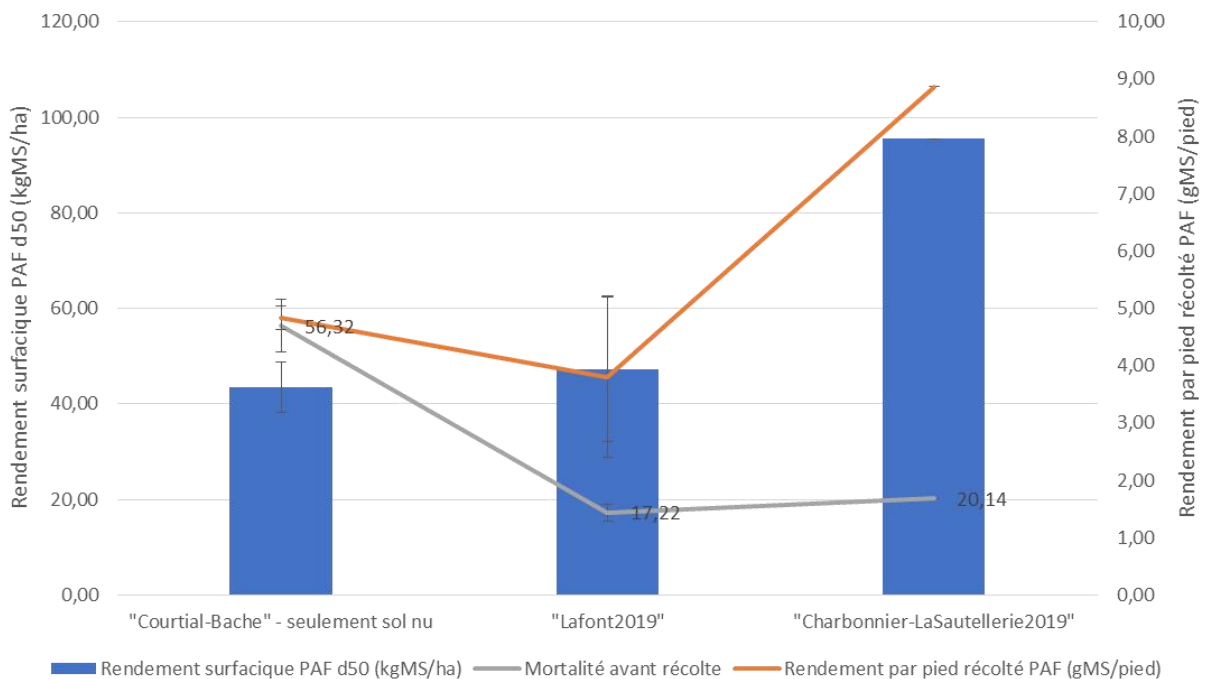


Figure 26 : Evolution du rendement en PAF sèche en fonction des parcelles à la récolte 2020, à densité fixe de 50 000 plants/ha

On voit que les rendements surfaciques suivent une évolution assez bien expliquée par le rendement par pied récolté et la mortalité : plus la mortalité est faible et le rendement par pied récolté est élevé, plus le rendement surfacique est élevé, avec une prédominance de l'impact du rendement par pied récolté sur le rendement surfacique par rapport à l'impact de la mortalité. On peut donc imaginer que le taux de floraison est un caractère moins discriminant pour la comparaison de ces parcelles, et qu'il est sans doute relativement homogène entre ces parcelles. Les écarts de rendement et de mortalité sont considérables entre parcelles : le rendement surfacique est près de 2.5 fois supérieur chez Charbonnier que chez Courtial ou Lafont. La mortalité suit la même tendance entre Courtial et Charbonnier : celle relevée chez Courtial représente près du triple de celle observée chez Charbonnier. La mortalité chez Lafont, elle, est la plus faible.

On pourra s'interroger sur les facteurs influençant le rendement par pied récolté : est-il lié à l'arrosage après plantation ? A la maîtrise des adventices ? Est-ce lié à la richesse en nutriments du sol, à sa structure, à son empreinte biotique, mycorrhizienne ? Nos travaux ne permettent pas d'obtenir la réponse à ces questions, qui pourraient faire l'objet d'études ultérieures.

III.1.f. Etude de l'année de récolte sur le rendement

A l'issue de la récolte 2021, on peut constater une évolution considérable dans les rendements par rapport à la récolte 2020. En ne considérant tout d'abord que le poids total de matière fraîche récoltée en 2021 chez Lafont (484 kg) et chez Charbonnier (50 kg), on voit que le rendement atteint 2,85 t/ha chez Lafont, et 2,17 t/ha chez Charbonnier, soit une multiplication du rendement par 5270 en moyenne sur les deux sites entre 2020 et 2021 !

Pour entrer dans le détail parcelle par parcelle :

➤ Charbonnier – Le Taillet

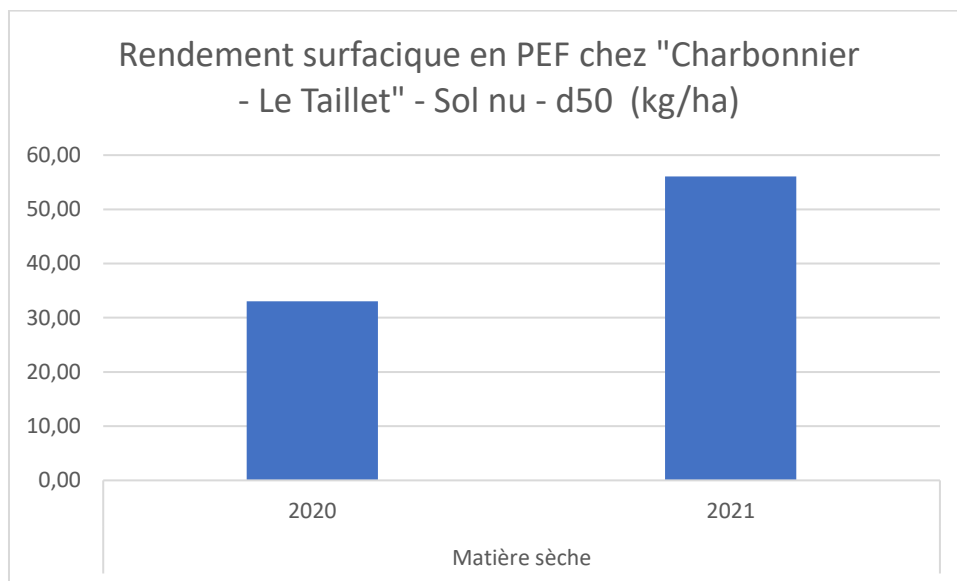


Figure 27 : Rendement surfacique en PEF sèche (kg/ha) - Parcelle "Charbonnier-Le Taillet" - implantée en 2018 - sol nu - densité 50 000 plants par ha.

On voit sur la Figure 27 que le rendement en matière sèche connaît une augmentation de +65% entre 2020 et 2021.

Concernant le rendement en matière fraîche, il est de 33.65 kg/ha en 2021, soit une augmentation de +157% par rapport au rendement de 2020 (13.09 kg/ha).

➤ **Charbonnier – La Sautellerie**

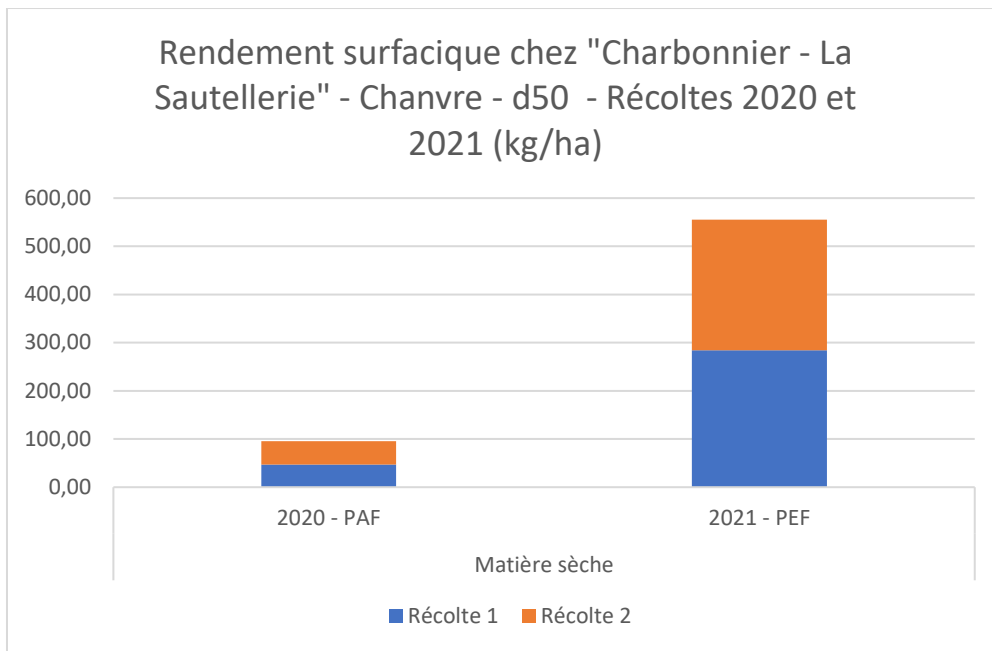


Figure 28 : Rendement surfacique en PEF sèche (kg/ha) - Parcelle "Charbonnier-La Sautellerie" - implantée en 2019 - bâche chanvre - densité 50 000 plants par ha.

La Figure 28 fait apparaître une augmentation de +482% entre la récolte de 2021 et la récolte de 2020.

En ce qui concerne le rendement frais, il est de 3.33 t/ha en 2021 (soit 10 fois plus important que le rendement observé sur la parcelle Le Taillet), et connaît une augmentation de +497% entre 2020 et 2021. On peut saluer ici un rendement supérieur aux rendements cités par les acteurs du projet (de l'ordre de 3t/ha).



Figure 29 : Récolte 1 (29/05/2021) Parcelle Charbonnier - La Sautellerie



Figure 30 : Taille d'un capitule - Récolte 1 (29/05/2021) - Charbonnier La Sautellerie



Figure 31 : Rosette en fleurs - Récolte 1 (29/05/2021) - Parcelle Charbonnier La Sautellerie

➤ **Lafont2018**

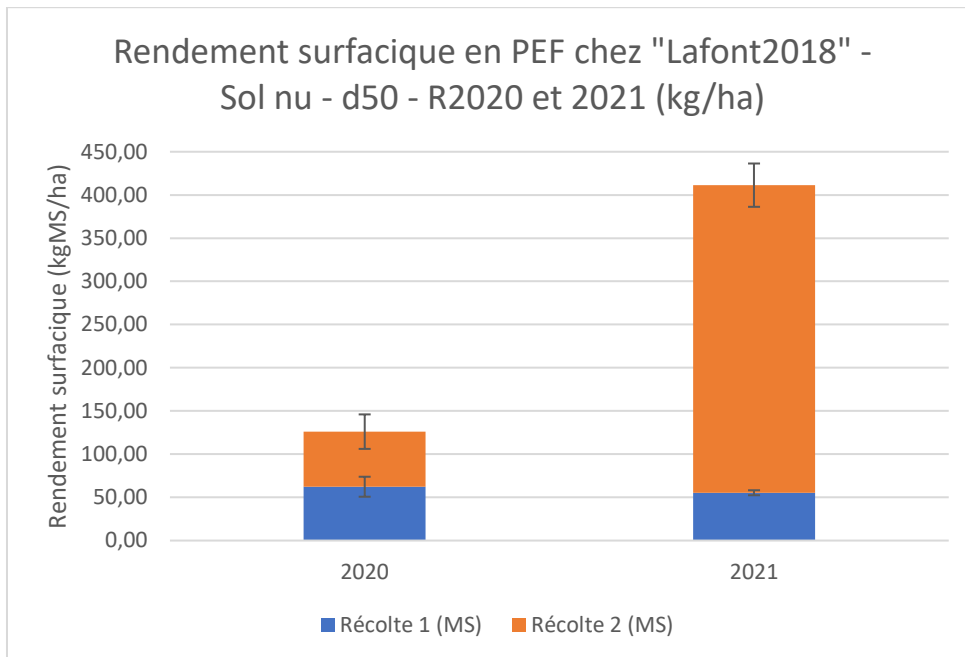


Figure 32 : Rendement surfacique en PEF sèche (kg/ha) - Parcelle "Lafont2018" - implantée en automne 2018 - sol nu - densité 50 000 plants par ha.

La Figure 32 fait apparaître une augmentation de +226% entre la récolte de 2021 et la récolte de 2020.

En ce qui concerne le rendement frais, il est de 2.43 t/ha en 2021, et connaît une augmentation de +258% entre 2020 et 2021.

➤ **Lafont2019**

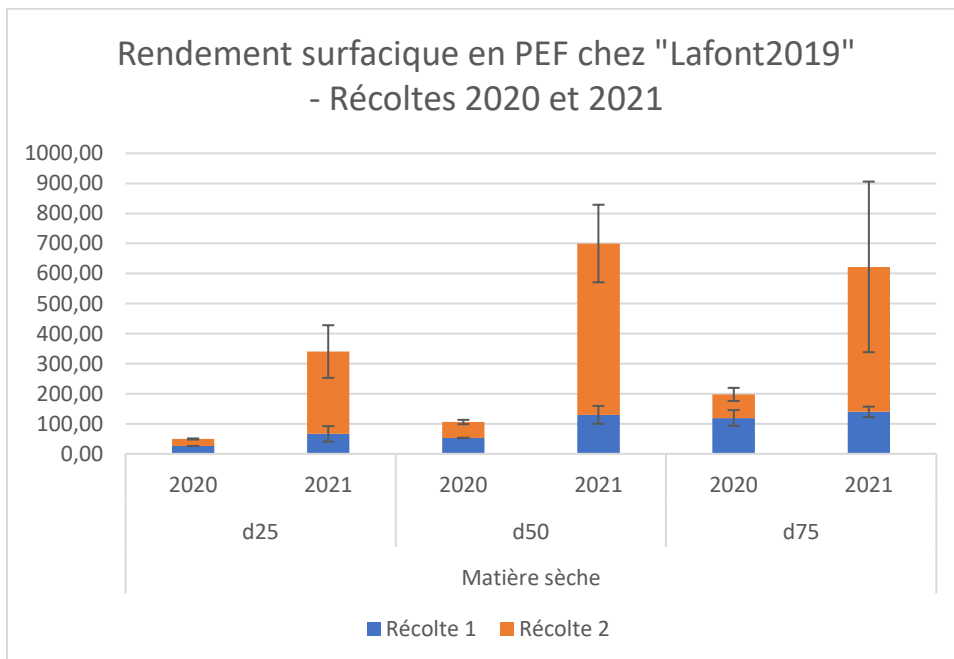


Figure 33 : Rendement surfacique en PEF sèche (kg/ha) - Parcelle "Lafont2019" - implantée en 2019 - sol nu - densité 25, 50 ou 75 000 plants par ha.

La Figure 33 fait apparaître entre la récolte 2021 et la récolte 2020 une augmentation du rendement en PEF sèche de :

- +589% pour la densité 25 000
- +560% pour la densité 50 000
- +215% pour la densité 75 000

Le fait que le rendement augmente moins entre 2021 et 2020 pour la densité 75 que pour la densité 50 et 25 nous ramène au constat du § III.1.a : la densité 50 est a priori plus intéressante à partir de la 2^e année de récolte.

En ce qui concerne le rendement frais, voici les résultats par densité :

- Pour la densité 25 000 : 2 t/ha en 2021, et +654% entre 2020 et 2021
- Pour la densité 50 000 : 4.13 t/ha en 2021, et +624% entre 2020 et 2021
- Pour la densité 75 000 : 3.67 t/ha en 2021, et +243% entre 2020 et 2021

Le rendement frais est excellent chez Lafont2019 pour la densité 50 000. Atteignant 4.13 t/ha, il dépasse de +38% les rendements moyens indiqués pour la culture d'Arnica par dire d'experts (3t/ha).



Figure 34 : Vue d'ensemble des parcelles Lafont 2018-2019 à la récolte 1 (21/05/2021)

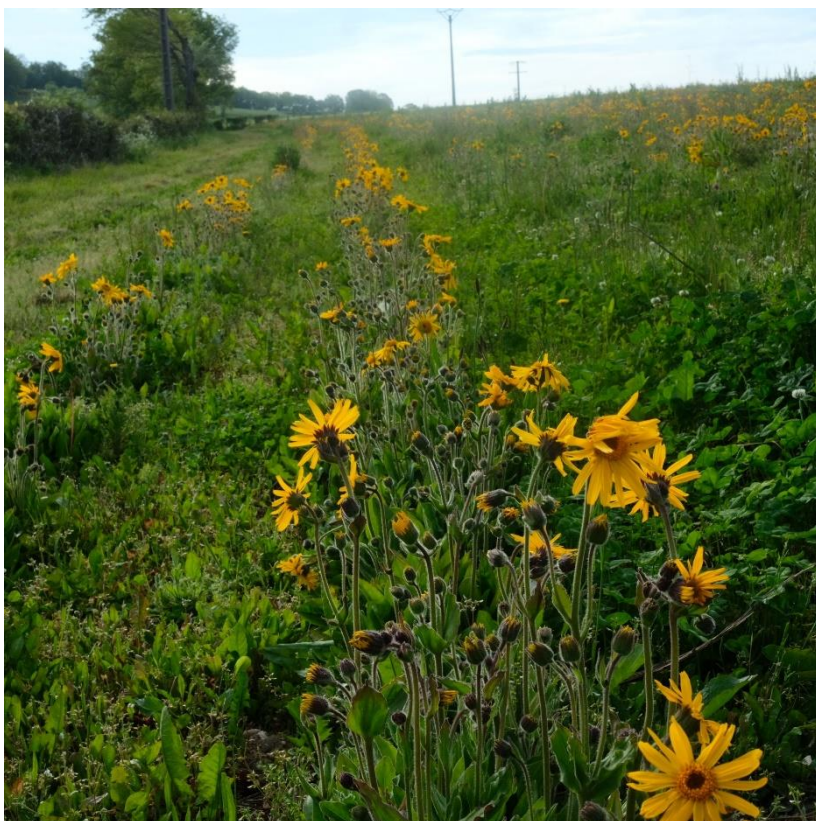


Figure 35 : Stade de floraison - parcelles Lafont 2018 & 2019 à la récolte 1 (21/05/2021)



Figure 36 : Diamètre d'une rosette - Récolte 1 (21/05/2021) parcelles Lafont 2018 & 2019



Figure 37: Vue d'ensemble à la récolte 2 (21/06/2021) - Parcelles Lafont 2018 et 2019



Figure 38 : Vue d'ensemble à la récolte 2 (21/06/2021) - Parcelles Lafont 2018 et 2019

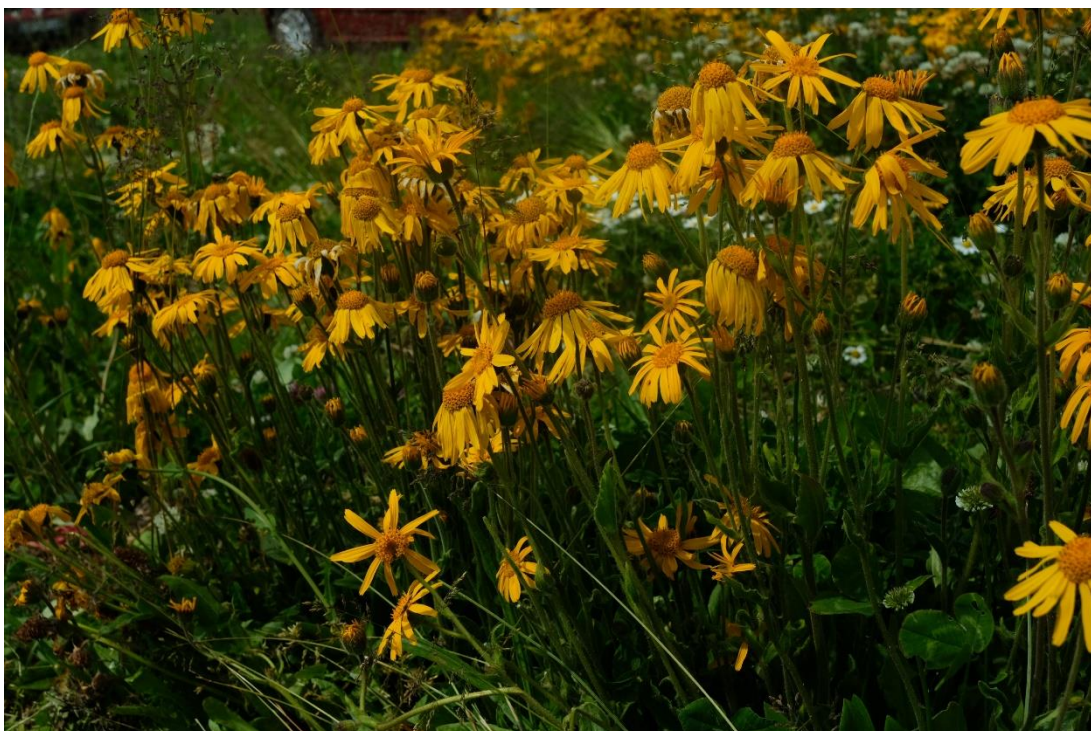


Figure 39 : Stade de floraison à la récolte 2 (21/06/2021) - Parcelles Lafont 2018 et 2019

➤ **Comparaison des 4 parcelles entre 2020 et 2021**

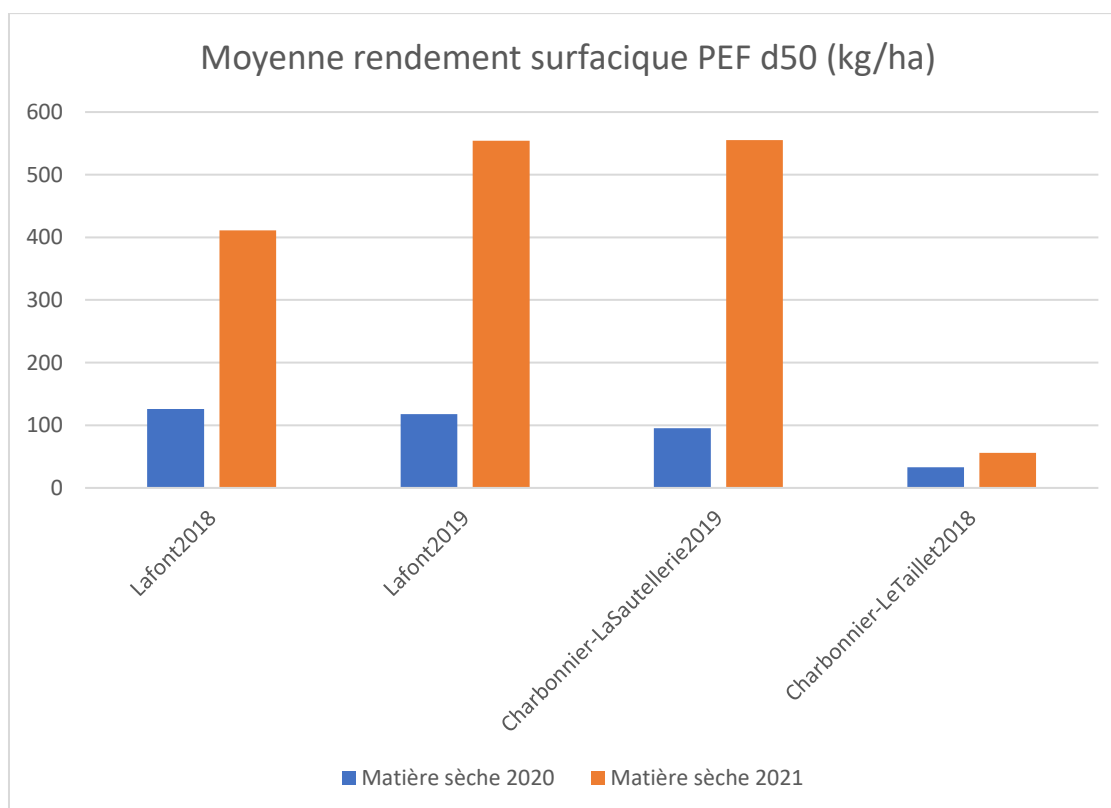


Figure 40 : Comparaison des rendements surfaciques (kg/ha) par parcelle entre 2020 et 2021 en PEF sèche (sauf pour Charbonnier-La Sautellerie, où la récolte 2020 est en PAF), pour une densité ramenée à 50 000 plants/ha

On voit sur la Figure 40 que l'augmentation des rendements secs est très significative entre 2020 et 2021. Elle va de +70% sur la parcelle Charbonnier-LeTaillet2018 à +482% sur la parcelle Charbonnier-LaSautellerie2019. Le moyenne d'augmentation sur les 4 sites est de +287%.

En ce qui concerne les rendements frais, l'augmentation moyenne est de +332%, avec un minimum encore sur la parcelle Le Taillet (+157%) et un maximum de +497% sur la parcelle La Sautellerie. Le rendement frais en 2021 va de 0.34t/ha sur Le Taillet à 3.33 t/ha sur La Sautellerie, avec une moyenne de 2.34 t/ha sur les 4 sites.

Ces résultats sont très encourageants pour la conduite de la culture en bio, car on voit que malgré une première année ayant connu des conditions climatiques particulièrement difficiles, la culture peut tout de même s'implanter et donner des rendements corrects voire très bons à partir de la 2^e année de récolte.

III.2. ETUDE DE LA QUALITE CHIMIQUE

III.2.a. Qualité des capitules secs selon la norme Pharmacopée européenne

Echantillon	Dosage des sesquiterpènes lactoniques (%)	Conforme norme ? (Norme PE > 0,4%)
PARCELLE LAFONT2019-RECOLTE 19/05/2020	1,75	Conforme
ARNICA Courtial-Essai bûche 19/05/2020	1,74	Conforme
ARNICA Charbonnier-Scutellerie 18/05/2020	1,43	Conforme

Tableau 7 : Résultat des analyses selon la norme Ph Eur sur capitules secs

III.2.b. Qualité de la plante entière fleurie fraîche selon la norme Pharmacopée française

Le Tableau 8 présente les résultats obtenus sur la PEF fraîche issue des essais.

Echantillon	Cendres totales (%)	Dosage des sesquiterpènes lactoniques (%)	Conforme norme ? (Norme PF > 0,01%)
Parcelle LAFONT – plante entière fraîche	9,0	0,013	Conforme
Parcelle CHARBONNIER - plante entière fraîche	7,1	0,005	Conforme
Parcelle COURTIAL - plante entière fraîche	14,5	0,010	Conforme

Tableau 8 : Résultat des analyses selon la norme Ph Fr sur plante entière fleurie fraîche

La Figure 41 présente les résultats de la chromatographie sur couche mince réalisée, par rapport à la norme Pharmacopée Française.

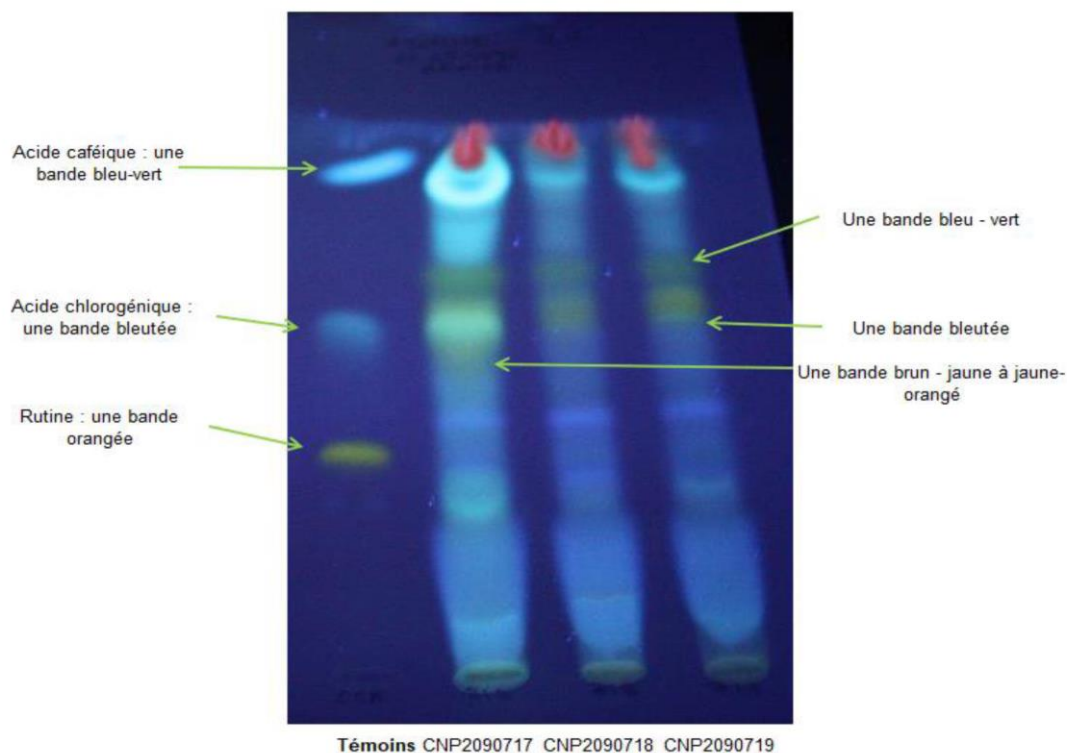


Figure 41 : résultats de la CCM réalisée sur plante entière fleurie fraîche issue des essais. CNP2090717 = Parcelle Lafont ; CNP2090718 = Parcelle Charbonnier ; CNP2090719 = Parcelle Courtial

L'iteipmai conclut à la conformité des échantillons à la norme en référence.

En conclusion, tous les échantillons sont conformes aux normes utilisées couramment par les entreprises utilisatrices d'arnica se positionnant dans le champ des produits pharmaceutiques (pharmacopée française et européenne). D'autres entreprises (du secteur de la cosmétique) réalisent uniquement une analyse visuelle de la qualité des lots, et parfois des analyses de métaux lourds. Parmi les 5 entreprises utilisatrices ayant acheté la production issue des essais, aucune n'a fait état d'un problème de qualité des lots. L'analyse de la qualité est donc positive pour toute la production qui en est issue.

IV. PRECONISATIONS, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

IV.1. ITINERAIRE DE CULTURE PRECONISE

A l'issue des travaux menés, grâce à l'étude de la bibliographie et aux échanges avec les producteurs, nous pouvons proposer de premières bases pour un itinéraire de culture d'*Arnica montana* en bio. Cet itinéraire devra être conforté par les retours sur la durée de vie de la culture et par des expérimentations ultérieures évoquées en partie IV.3.

IV.1.a. Choix du sol et de l'altitude

Il peut être éclairant pour choisir la parcelle, de s'intéresser aux caractéristiques du sol sur lesquels pousse l'arnica sauvage. En voici deux exemples :

- Dans les Vosges, elle pousse sur un site à 1200m d'altitude, de pH 4, avec 30% de matière organique, et de basses concentrations de P, K, Mg. La végétation observée autour des stations est constituée de bruyère, myrtille. Le taux de précipitations est de 2000 mm/an. La moyenne des températures en juillet est de 11°C (Meyer-Berge 1990).
- Elle a été relevée dans les Alpes suisses sur des pâturages à nard raide, entourés de forêts claires d'aroles et mélèzes, de genévrier nain. Le pH va de 4.2 à 6.3, et le sol prélevé est exempt de calcaire. La matière organique est présente à un taux entre 3.0 et 12.6%. L'altitude des sites va de 1500 à 2500m (Delabays 1990).

Cependant, la culture pourrait a priori permettre une acclimatation dans des terroirs éloignés de ce que l'on trouve en milieu sauvage. D'après Bomme, le sol doit avoir un pH bas et un taux de calcaire < 1,5% (Bomme et Daniel 1994). D'après Douglas, il faut privilégier des sols bien aérés et acides, sans calcaire et qui ne soient pas trop riches en phosphate et azote. Mais on peut citer Douglas ici : « Notre expérience est que l'arnica peut produire sur des sols très différents (des argiles aux limons argileux) dans un environnement frais et humide, mais avec des conditions de sol extrêmes (très humides ou très chaud et sec) la plante meurt rapidement de maladies fongiques. En Nouvelle-Zélande, elle survit et fleurit dans des conditions de plaine sous un climat tempéré. Nous avons remarqué sur 3 sites que les plantes, pendant 3 années consécutives, ne fleurissaient pas, et nous l'avons attribué à un manque de froid l'hiver. » (Smallfield et Douglas 2008).

IV.1.b. Fertilisation

La fertilisation n'a pas du tout été étudiée dans les essais ici présentés, qui n'ont pas été fertilisés avant plantation. Cependant, une étude de Meyer-Berger (Meyer-Berge 1990) laisse à penser que la fertilisation pourrait jouer sur le nombre de fleurs par plants (voir Figure 42) .

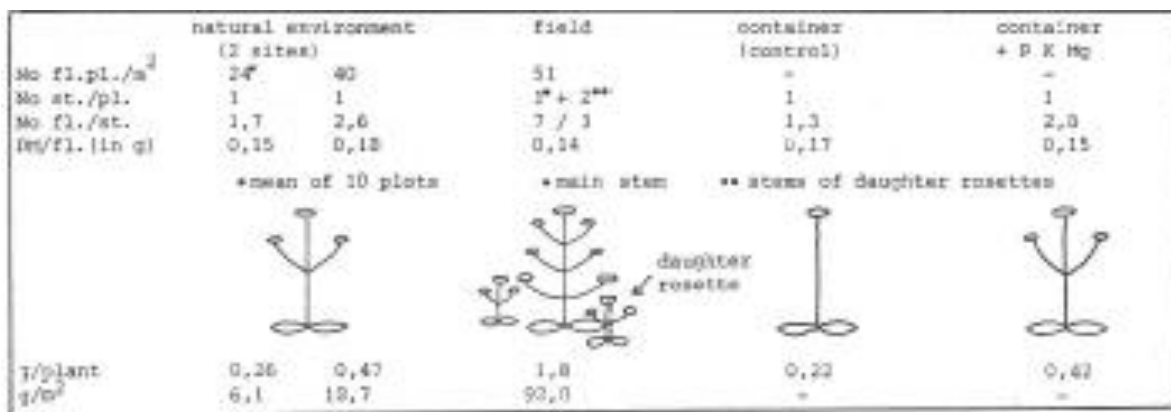


Figure 42 : résultats de l'étude comparative du nombre de rosettes et de fleurs par plante pour de l'arnica sauvage / en culture / en conteneur sans fertilisation / en conteneur avec fertilisation (Meyer-Berger et al., 1990)

La Figure 43 présente une synthèse des protocoles de fertilisation relevés dans de précédents tests de mise en culture, présentés en parallèle des rendements obtenus. La fertilisation pourrait valablement être étudiée pour améliorer le rendement par pied. C'est d'ailleurs l'objet d'une expérimentation prévue en 2021 par l'iteipmai.

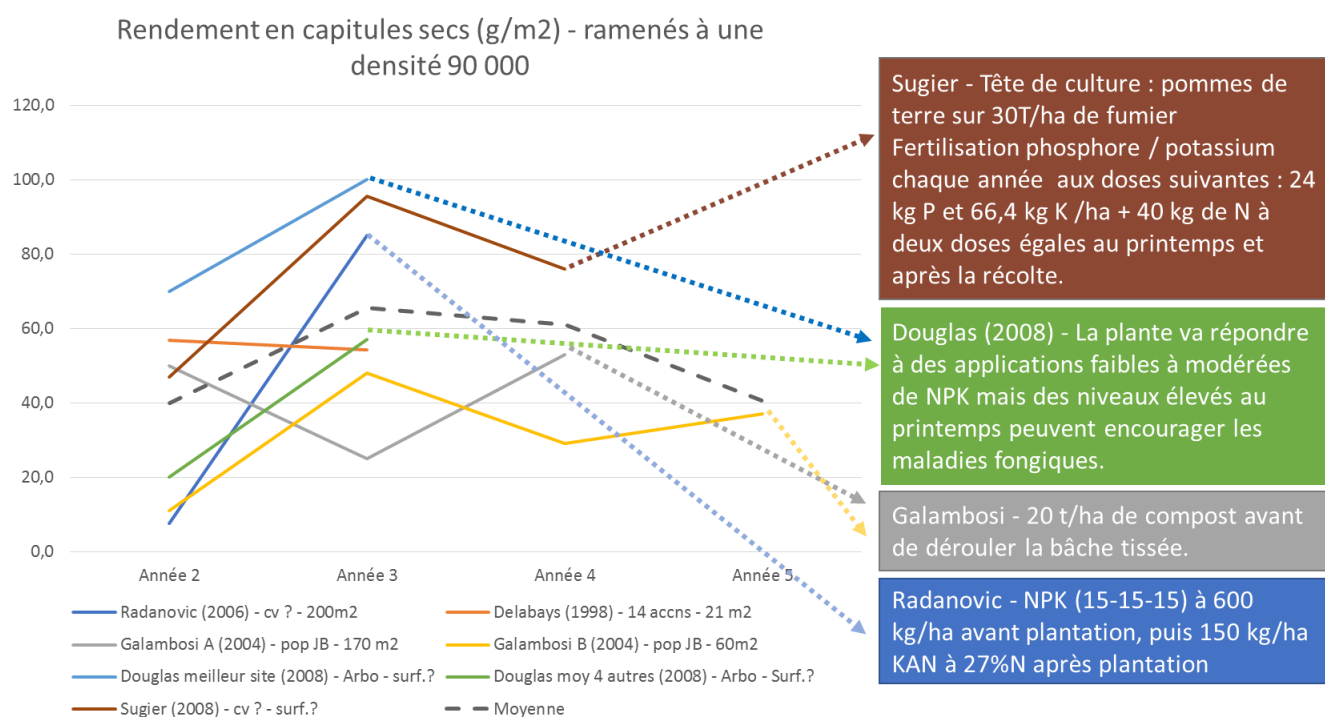


Figure 43 : protocoles de fertilisation des essais issus de la bibliographie, présentés en parallèle des rendements obtenus

IV.1.c. Choix du matériel végétal et multiplication des plants

La variété 'Arbo' est une des seules disponibles sur le marché, et répond parfaitement aux attentes en termes de qualité phytochimique. Il existe aussi des semences issues de populations sauvages, disponibles au CNPMAI ou chez d'autres producteurs de semences. Il est possible de produire ses propres semences, soit en récoltant des semences sauvages, soit en laissant des pieds grainer, mais avoir bien en tête que l'arnica est allogame et auto-incompatible, elle a donc besoin d'un nombre important d'individus pour se reproduire correctement de manière générative.

La mycorrhization, non réalisée dans les essais ici présentés, a déjà été un peu étudiée sur l'arnica, et pourrait être un facteur de succès de l'implantation. Cependant il faudrait auparavant déterminer les souches de mycorrhizes adaptées à l'Arnica. C'est l'objet d'expérimentations prévues en 2021 par l'iteipmai.

La production de plants d'arnica est technique et difficile, aussi des travaux expérimentaux plus ciblés sur cette étape de la production pourraient avantageusement être envisagés pour accompagner les pépiniéristes souhaitant se lancer dans la production de plants d'arnica.

IV.1.d. Date de plantation

La plantation pourra avoir lieu, en fonction de la situation de la parcelle, et des évolutions climatiques à prévoir, entre le 15 avril et le 15 mai. Il faudra éviter une implantation après le 15 mai, car l'arnica a besoin de fraîcheur pour s'implanter et faire face à la chaleur de l'été. D'après Yoann Courtial, situé à 800 m d'altitude, il ne faut pas chez lui dépasser le 5 mai pour planter.

La plantation peut également avoir lieu en automne pour éviter le risque d'une canicule sur de jeunes plants, mais il faudra alors se préparer à un surcoût de désherbage et d'entretien, car une plantation en automne de l'année n permet d'obtenir à peu près le même rendement à la récolte de l'année n+2 qu'une plantation au printemps de l'année n.

IV.1.e. Densité de plantation

Suite à nos essais et après consultation de la bibliographie, la densité préconisée se situe entre 50 000 et 90 000 plants/ha. Des essais ultérieurs seraient nécessaires pour confirmer quelle est la densité la plus intéressante (cf analyse au § III.1.a). Il faut savoir que l'arnica se multiplie sous forme de rosettes, et finira par recouvrir entièrement le rang au bout de quelques années, si elle n'est pas étouffée par les adventices. On peut à nouveau citer Douglas ici, qui préconise des densités de 90 000 plants/ha : « l'augmentation de rendement en fleurs pour des densités de plantation supérieures à 200 000 plants/ha ne compensera a priori pas le coût supplémentaire en plants et plantation. Le risque de propagation de maladies est aussi plus important pour des densités élevées. » (Smallfield et Douglas 2008).

La plantation peut se faire, en fonction du parc mécanique, en rangs classiques, ou bien en planches ou en lits surélevés. En Nouvelle-Zélande, une implantation en planches est privilégiée, de 1.5 m de large, avec 4 rangs par planche espacés de 25cm sur le rang et de 25-30 cm entre les rangs. Un espace de 50 cm est prévu entre les planches pour permettre le passage.

IV.1.f. Plantation

L'Arnica doit être planté au stade 3-4 feuilles. Pour une plantation mécanique, choisir des mottes de 3 cm de diamètre, et prévoir de repasser à la main pour enterrer la motte 1 à 2 cm sous le niveau du sol. L'Arnica a besoin d'humidité au démarrage.

IV.1.g. Irrigation

Le paillage peut aider à la gestion de l'eau, mais si la parcelle est séchante, il est nécessaire de prévoir un système d'irrigation pour les 6 premiers mois suivant l'implantation.

IV.1.h. Gestion des adventices

Pour de petites parcelles situées dans des zones inaccessibles aux tracteurs, choisir une implantation sur bâche (chanvre biodégradable ou bâche tissée), sinon le désherbage devient ingérable. Si le terrain est exposé au vent, prévoir 1 agrafe tous les mètres linéaires de bâche. Sur la parcelle de Jean-Claude Rascle, assez exposée au vent, des pierres ont été posées sur la bâche car les agrafes n'étaient pas arrivées, et le paillage s'est déchiré sous les pierres en s'envolant sur les jeunes plants qu'il étouffait (voir Figure 44).



Figure 44 : bâche chanvre arrachée par le vent en novembre 2018 chez Jean-Claude Rascle

Le paillage en plastique tissé est une alternative, mais il présente le désavantage de limiter le développement des rosettes à la taille du trou fait pour la plantation. Il faut alors prévoir de repasser à la main pour agrandir les trous au fur et à mesure de la croissance de la plante, et on ne pourra pas observer le phénomène de colonisation des rangs par les rosettes sur sol nu, qui peut rendre la densité de 50 000 intéressante par rapport à celle de 90 000.



Figure 45 : bâche en plastique tissé après plantation chez Jean-Claude Rascle - nov. 2018

A noter que pour le paillage en chanvre comme pour le paillage en plastique tissé, il faut prévoir une étape de préparation des trous qui n'est pas évidente. Un chalumeau fonctionne assez bien sur le paillage plastique, mais il faut prendre garde à ne pas enflammer la bâche ! Pour le paillage chanvre, le paillage est possible avec une cisaille ou une perceuse, il est plus facile lorsque la bâche est humide. Il faut prévoir plus de temps pour percer une bâche en chanvre qu'une bâche en plastique tissé.

Pour les parcelles mécanisables, il est conseillé de garder le sol nu et de mener un entretien mécanique à la bineuse assorti d'un entretien régulier sur le rang. Si la plantation est en planches, il est possible (et favorable si le sol manque de structure) de maintenir l'inter-planche enherbée, et de l'entretenir à la tondeuse.

IV.1.i. Maladies et ravageurs

Nous avons repéré sur nos essais de larves de hanneton, des limaces noires et des maladies cryptogamiques. Le *fusarium* identifié sur la parcelle de René Lafont serait lié à un stress environnemental. La bibliographie étudie assez précisément les maladies et ravageurs de l'arnica, et notamment la mouche de l'arnica (*Tephritis arnicae*), qui pond dans les capitules et peut déprécier les lots de manière assez importante. L'utilisation de filets de protections serait alors efficace.

IV.1.j. Récolte et rendement

Le stade de récolte est la pleine floraison, quand le capitule principal est légèrement flétri, et que les capitules secondaires sont parfaitement épanouis (voir Figure 46). Il faut être attentif à ne pas laisser les fleurs se transformer en graines, ce qui peut avoir lieu en quelques jours. En culture, la floraison s'étale de début mai à mi-juin, dépendamment des années.



Figure 46 : stade de récolte optimal de l'arnica (récole 29/05/2020 chez René Lafont)

Il est recommandé d'utiliser des gants pour la récolte car à la longue, l'arnica peut être légèrement corrosif.

- Récolte des capitules : se fait à la main, sur les capitules épanouis. Privilégier des passages réguliers (tous les 3-4 jours), car la récolte du capitule principal stimule la croissance des capitules secondaires.
- Récolte de la PAF : peut se faire avec un sécateur ou une serpette, couper environ 25 cm de tige avec les fleurs (voir photo ci-dessous).



Figure 47 : geste de récolte de la PAF - 29/05/2020 chez René Lafont

- Récolte de la PEF : nécessite un geste un peu technique de torsion pour arracher un bout de racine en même temps que la tige (voir photos ci-dessous). Il n'est pas nécessaire de déraciner toute la plante, qui pourra repartir des bourgeons basaux l'année d'après.



Figure 48 : geste de récolte de la PEF - 19/05/2020 chez René Lafont

Les rendements annuels peuvent aller :

- En PAF, pour la 1^{ère} année de récolte (pas de chiffres pour la 2^e année) : de 0.6 à 2.3 t/ha.
- En PEF, pour la 2^e année de récolte (chiffres en 1^{ère} année non représentatifs) : de 0.34 à 4.13 t/ha.

La récolte ne paraît pas mécanisable pour la PEF et le capitule, cependant cela pourrait être à tester pour la PAF.

IV.2. PRECONISATIONS POUR LE DEVELOPPEMENT D'UNE FILIERE FRANÇAISE

Nous avons mené l'enquête auprès des 5 entreprises utilisatrices partenaires du projet, et pouvons donc, à l'aide des rendements obtenus lors de nos essais, et des rendements obtenus dans la bibliographie, évaluer les besoins potentiels en Arnica pour ces entreprises en 2021, ainsi que ceux estimés pour le marché européen en 2016 par Fabien Dupont (Dupont 2016). Cette évaluation est présentée dans le Tableau 9.

Partie de plante	Origine de la donnée de rendement	Rendements (t/ha)	Besoins potentiels entreprises utilisatrices du projet		Marché européen (d'après F. Dupont, 2016)	
			En volume	Convertis en ha	En volume	Converti en ha
PAF fraîche	Issue des essais (moyenne 1 ^{ere} année de récolte)	0,66 t/ha	1,85 t	2,82 ha	Inconnu	
	Projetée r/biblio (x3,45)	2,26 t/ha		0,82 ha		
PEF fraîche	Issue des essais (moyenne 2 ^e année de récolte)	2,34 t/ha	8,3 t	3,55 ha	300 t	128 ha
	D'après une entreprise utilisatrice	3t/ha		2,77 ha		100 ha

Tableau 9 : estimation des besoins potentiels en Arnica montana en 2022, convertis en surface

Les éléments présentés permettent de relativiser les besoins des entreprises françaises en arnica : avec des rendements optimisés, on pourrait approvisionner les entreprises partenaires du projet avec 3ha récoltés en PEF et 1ha récolté en PAF. Pour le marché européen, le besoin serait de 100ha avec de bons rendements.

Ce constat, ajouté aux informations apportées par les travaux ici présentés, nous amène à formuler les préconisations suivantes pour développer et structurer la filière Arnica française :

- 1) Favoriser des parcelles de taille limitée (1000 à 5000 m²) pour limiter les risques pour le producteur (besoin en trésorerie important les premières années³, incertitude sur l'adaptation du terroir) et lui permettre de se familiariser avec la culture et d'évaluer le temps qu'il peut y passer en entretien et gestion des adventices.
- 2) Mettre en place une contractualisation sur la durée de vie de la culture, entre l'entreprise utilisatrice et le producteur. Eventuellement y inclure un préfinancement pour limiter le besoin en trésorerie du producteur.

³ Voir l'analyse technico-économique 2018-2020

- 3) Déterminer les prix en fonction des coûts de production du producteur et non en s'alignant sur les prix du marché de la cueillette. Voir l'analyse technico-économique réalisée dans le cadre du projet.

IV.3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Finalement, malgré un certain nombre de difficultés rencontrées lors de la mise en place de ce projet d' (échec de la production de plants en 2018, complexité pour coordonner et répondre aux attentes de partenaires nombreux et d'horizons variés, conditions météorologiques défavorables en 2019...), l'étude aura permis d'acquérir un certain nombre d'éléments pratiques relatifs à la mise en culture de l'*Arnica montana* en bio. Nous pouvons ainsi proposer d'ores et déjà un itinéraire de culture simplifié aux producteurs souhaitant se lancer. Les travaux ont permis de mettre en relation des acteurs de l'amont et de l'aval de la filière, qui plus est parfois concurrents entre eux, dans un contexte neutre, autour d'un objectif partagé. Cela a permis des échanges riches et une sensibilisation réciproque des acteurs aux contraintes et besoins de leurs partenaires. Plusieurs des producteurs ayant participé à l'essai souhaitent garder les parcelles et développer les cultures, et ont pu bénéficier de l'essai pour se former à la culture de la plante.

Certains points d'ombre ou points bloquants ont pu être identifiés lors des essais :

- L'étape de l'implantation est une étape clef pour cette culture : comment la réussir ? Est-ce que l'utilisation de plants mycorrhizés pourrait être une solution ? Et si oui, quelle solution mycorrhizienne choisir ?
- Quelle est la durée de vie de la culture ? Quand la plante est récoltée en PAF / en PEF ?
- Est-il possible de récolter mécaniquement la PAF ?
- A quoi est dûe la mortalité régulièrement observée chez l'*Arnica* ? Comment la limiter ?
- Qu'est-ce qui influence le taux de floraison ? Comment l'améliorer ?
- Comment améliorer le rendement ? La fertilisation pourrait-elle être une solution ? Et si oui, quel type de fertilisation privilégier ?
- Y a-t-il un risque de pollution génétique des populations sauvages d'*arnica* lorsqu'elles poussent à proximité d'une culture implantée avec une variété sélectionnée ? Cela pourrait-il menacer l'espèce à terme ?

A l'automne 2020, Jonathan Locqueville, doctorant au CEFÉ-CNRS, a choisi comme sujet de thèse la domestication de l'*Arnica*. Ses travaux permettront sans doute d'enrichir les connaissances sur cette plante, et il a de plus suivi les récoltes 2021 sur les essais implantés chez Céline Charbonnier et René Lafont, ce qui a permis de donner une année de recul de plus sur les résultats, et de constater ainsi un remarquable redressement des rendements en 2^e année de récolte.

L'iteipmai prévoit également des travaux autour de l'*arnica* :

- Analyse multisite des conditions de renouvellement de l'*arnica*, avec phénotypage et génotypage des plants prélevés sur différents sites, dont le sol aura été analysé.
- Test et sélection de solutions mycorrhiziennes pouvant favoriser l'implantation de l'*arnica*.
- Etude des besoins minéraux de l'*arnica* et test de différentes fertilisations.

Ainsi plusieurs questionnements posés lors de notre étude pourront être élucidés. L'aspect collaboratif du projet et la mise en réseau des acteurs intéressés par la culture de l'*arnica* pourra certainement favoriser le partage d'expérience et les initiatives visant à lever les derniers points d'ombre. Nous espérons que cela permettra de structurer et développer cette filière, de manière à protéger la ressource tout en répondant aux besoins du marché de manière rémunératrice pour les producteurs.

V. BIBLIOGRAPHIE

- Aiello, Nicola, Alessandro Carlini, Pietro Fusani, et Fabrizio Scartezzini. 2014. « Seed Yield and Germination Characteristics of Wild Accessions of Arnica Montana L. from Trentino (Italy) ». *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1 (1): e30-33. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2014.03.001>.
- Aiello, Nicolas, Renato Bontempo, Carla Vender, Valentina Ferretti, Gabriella Innocenti, et Stefano Dall'Acqua. 2012. « Morpho-quantitative and qualitative traits of Arnica montana L. wild accessions of Trentino, Italy ». *Industrial Crops and Products*, n° 40: 199-203.
- Bomme, U., et G. Daniel. 1994. « First results on selection breeding of Arnica montana ».
- Bruneton, Jean. 2009. *Pharmacognosie. Phytochimie, Plantes médicinales*. 4e éd. Tec&Doc.
- CNPMAl. 2014. « « ARNICA MONTANA : évaluation des ressources génétiques françaises en vue du développement de la culture en plaine et en montagne. ». Compte-rendu final du projet, 2014 - AAP IP n°5304 / n°2101178629 ».
- Delabays, N. 1990. « Premières observations sur la mise en culture de nouvelles plantes médicinales ».
- . 1991. « La culture d'Arnica montana L. : aspects agronomiques et phytosanitaires ».
- Dupont, Fabien. 2016. « La préservation de la ressource en Arnica et l'organisation de la cueillette sur les Hautes Vosges ».
- Emeriau, Théo. 2016. « Etude des populations d'Arnica montana en région Centre-Val de Loire », 61.
- Franz, Ch. 1985. « Actual problems on the quality of medicinal and aromatic plants ». *Acta Horticulturae*, n° 188: 21-34.
- Galambosi, Bertalan. 1998. « Flower Yield and Antioxidant Properties of Arnica Montana Grown in Finland », 9.
- . 2003. « Transfer of knowledge in the cultivation of threatened medicinal plants as alternative crops ».
- . 2004. « Introduction of Arnica montana L. in Finland ». *Z. Arzn. Gew. Pfl.*, n° 9: 174-79.
- iteipmai. 1995. « Arnica montana L. et Arnica chamissonis Less. - techniques de production ».
- Meyer-Berge, A. 1990. « Comparaison of yield components of Arnica montana in natural and field condition ».
- Pasquier B. 2003. « Arnica des montagnes - Fiche technique ». CNPMAl.
- Radanović, Dragoja, Tatjana Nastovski, Dejan Pljevljakušić, et Radosav Jevđović. 2006. « Growing Results of Some MAP Species at Mountaneous Region of Serbia », 10.
- Smallfield, B M, et M H Douglas. 2008. « Arnica Montana a Grower's Guide for Commercial Production in New Zealand. », 19.
- Sugier, Danuta. 2007. « The Flowering Pattern of Arnica Montana L. and A. Chamissonis Less. under Field Cultivation Conditions with Successive Flower Head Collection », 8.
- . 2008. « Trials with Arnica Montana and Arnica Chamissonis Var. Foliosa Cultivation in Poland », 6.
- . 2013. « Yield and chemical composition of mountains arnica (Arnica montana L.) raw material in relation to the method of plantation establishment and the harvesting time of flower heads. » *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E, Agricultura* 68 (3): 51-62.



CNPMAI
Route de Nemours
91490 Milly-la-Forêt
01.64.98.83.77
www.cnpmai.net

Contactez les auteurs :
agnes.lemen@cnpmai.net