

# VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Étude ethnoécologique des indicateurs locaux du  
changement climatique de l'agroécosystème à  
châtaigneraie et modélisation phénoclimatique  
des variétés de châtaignes en Lozère

Maya LASSERRE  
AEST  
2021

Encadrante de stage : Yildiz AUMEERUDDY-THOMAS  
Tuteur de stage : Antoine TARDIF

« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

# Sommaire

Liste des figures.....	5
Liste des tableaux .....	5
Liste des annexes .....	6
Table des abréviations .....	7
Remerciements .....	8
Introduction .....	9
I) État de l'art .....	10
1- Du système polyculture élevage de moyenne montagne à l'agroécosystème à châtaigneraie cévenole.....	10
2- Le châtaignier : état des connaissances sur sa vulnérabilité au changement climatique 11	
3- Comment étudier l'impact du changement climatique sur les châtaigniers et sur l'environnement, à travers le prisme des savoirs locaux ? .....	13
4- Modélisation phénoclimatique .....	16
II) Problématique et objectifs .....	18
III) Matériels et méthodes.....	19
1- Présentation du projet ROC-CHA .....	19
2- Sites de référence.....	19
3- Choix de trois sites en Lozère et leurs caractéristiques .....	20
4- Présentation de l'agroécosystème de moyenne montagne et du recueil des données ethnoécologiques .....	20
4.1- L'agroécosystème à châtaigneraie des Cévennes .....	20
4.2- Deux protocoles d'enquêtes.....	21
4.3- Échantillon d'individus interrogés.....	22
4.4- Tri des données.....	23
5- Présentation du recueil des données phénologiques.....	23
5.1- Choix des périodes sur le terrain et phénologie du châtaignier .....	23
5.2- Choix des variétés suivies.....	25
5.3- Modalités de collaboration avec les référents de site .....	26

5.4- Tri des données et modélisation phénoclimatique.....	26
IV) Résultats.....	28
1- Profil des agriculteurs interrogés.....	28
2- Indicateurs locaux d'impacts du changement climatique (LICCI).....	28
2.1- Indicateurs locaux d'impacts du changement climatique issus du protocole 1 ....	28
2.2- LICCI agricoles .....	29
2.3- LICCI biologiques .....	33
2.4- LICCI climatiques .....	35
2.5- LICCI physiques.....	35
3- Présentation des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique issus du protocole 2 .....	36
4- Analyse des LICCI selon les profils socio-professionnels .....	40
5- Présentation des données de phénologie .....	42
6- Modélisation des données de phénologie .....	43
6.1- Prédiction de dates de stades phénologiques du châtaignier .....	43
6.2- Simulation pour un scénario de changement climatique de +2°C en 2100 .....	44
V) Discussion.....	45
1- Méthodologie d'enquêtes ethnoécologiques et mise au point du protocole d'observations phénologiques .....	45
2- Vision générale d'agriculteurs cévenols sur les indicateurs météorologiques d'impacts du changement climatique .....	45
3- Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique, limites de l'étude et apports des savoirs locaux pour la compréhension des interactions entre les agroécosystèmes à châtaigneraies et le changement climatique.....	47
4- Modélisation phénologique : limites et lien avec le changement climatique .....	48
5- Perspectives et améliorations prévues pour la suite du projet ROC-CHA .....	49
Conclusion .....	50
Bibliographie .....	51
Annexes .....	55

## Liste des figures

Figure 1 : Aire de répartition du châtaignier <i>Castanea Sativa</i> ; en vert présence native et en orange introduction depuis le Néolithique .....	11
Figure 2 : Localisation des quatre sites d'étude.....	19
Figure 3 : Déroulé des entretiens d'ethnoécologie .....	22
Figure 4 : Photographies des stades bourgeon éclaté (a), feuille dressée (b) et feuille étalée (c) du stade feuillaison .....	24
Figure 5 : Photographie de fleurs mâles longistaminées (a) et de fleurs femelles ouvertes (b) sur des rameaux bisexués <i>dont les fleurs mâles ne sont pas encore matures</i> .....	25
Figure 6 : Classement des variétés et Bouscasses selon un axe de précocité, selon les castanéculteurs.....	25
Figure 7 : Répartition des LICCI issus du protocole 1 .....	28
Figure 8 : Pourcentages de LICCI des différentes catégories de LICCI directs et indirects ....	30
Figure 9 : Pourcentages de LICCI intégrant les LICCI indirects par activités agricoles .....	30
Figure 10 : Présentation des indicateurs locaux des impacts du changement climatique et proportions associées .....	34
Figure 11 : Indicateurs d'impacts du changement climatique sur la châtaigneraie et pourcentages associés .....	37
Figure 12 : Résultats de l'ACP avec positionnement des individus.....	41
Figure 13 : Nombres de jours annuels pour le stade 50% de feuilles étalées pour les trois variétés étudiées et les Bouscasses .....	42

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Activités pratiquées dans l'agroécosystème à châtaigneraie cévenol.....	21
Tableau 2 : Nombre d'arbres étudiés pour l'analyse et dans le cadre de la modélisation phénoclimatique.....	26
Tableau 3 : Catégories d'indicateurs locaux des impacts du changement climatique sur les éléments de l'agroécosystème hormis la partie châtaigneraie .....	29
Tableau 4 : Description des indicateurs locaux d'impacts sur le système biologique.....	34

Tableau 5 : Description des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique .....	36
Tableau 6 : Présentation des catégories climatiques locales associées aux LICCI châtaigneraie .....	37
Tableau 7 : Nombres de jours annuels prédits par PMP pour le stade 50% de feuilles étalées	43
Tableau 8 : Modélisation des nombres de jours du stade 50% de feuilles étalées d'ici 2081-2100 pour une augmentation des températures de +2°C .....	44

## Liste des annexes

Annexe 1 : Présentation des sites de référence ROC-CHA .....	55
Annexe 2 : Présentation des trois sites de Lozériens .....	56
Annexe 3 : Protocole d'enquête sur l'historique de la ferme .....	57
Annexe 4 : Protocole d'enquête 1 sur les composantes autres que la châtaigneraie .....	58
Annexe 5 : Protocole d'enquête 2 sur la châtaigneraie fruitière.....	60
Annexe 6 : Tableau des nombres de jours annuels 2021 des stades de feuillaison .....	61
Annexe 7 : Fonctionnement des modèles de températures sur PMP .....	62
Annexe 8 : Échantillon d'individus pour les entretiens ethnoécologiques.....	63
Annexe 9 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts agricoles, et leurs pourcentages associés .....	64
Annexe 10 : Pourcentages des catégories météorologiques associées aux indicateurs locaux d'impacts agricoles .....	65
Annexe 11 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts biologiques, et leurs pourcentages associés.....	66
Annexe 12 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts climatiques, et leurs pourcentages associés .....	67
Annexe 13 : Extrait de la liste de toutes les catégories climatiques locales observées par les agriculteurs .....	69
Annexe 14 : Résultats pondérés du nombre de LICCI agricoles par catégories d'activités.....	70

## **Table des abréviations**

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

CBD : Convention on Biological Diversity

IPBES : Plateforme Intergouvernementale scientifique et politique sur la Biodiversité et les Services Écosystémiques

ROC-CHA : Réseau d'Observation et de Conservation in situ des variétés de CHÂtaignes et des savoirs traditionnels associés

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

LICCI : Local Indicators of Climate Change Impacts

PMP : Phenology Modelling Platform

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie

GDD : Growing Degree Days

ACP : Analyse en Composantes Principales

## Remerciements

Je tiens d'abord à remercier le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive de Montpellier pour m'avoir permis de réaliser ce stage et tout particulièrement mon maître de stage, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, pour m'avoir prise en stage ainsi que pour le soutien, l'accompagnement et la confiance qu'elle m'a accordée durant ces six mois.

Je remercie également Anaïs Ramet, collaboratrice du projet ROC-CHA (Réseau d'Observation et de Conservation in situ des variétés de CHÂtaignes et des savoirs traditionnels associés), pour sa gentillesse et son aide tout au long du stage.

Je tiens également à remercier les référents de site du projet ROC-CHA, Jean-Marc Bouchard, Richard Bouat, Claudette et Daniel Mathieu ainsi que Geneviève et Alain Mercier, pour leur gentillesse, le temps qu'ils m'ont accordé et la richesse des connaissances qu'ils m'ont transmises.

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidée à recueillir des données, en participant aux enquêtes d'ethnoécologie ou en m'accompagnant lors des observations de phénologie.

Je remercie également les habitants de Saint Martin de Lansuscle, tout particulièrement Chantal Guillaume et Monsieur le Maire Pierre Plagne, pour leur accueil chaleureux.

J'exprime ma gratitude à Antoine Tardif, mon tuteur de stage, qui m'a accompagnée tout au long de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier mes grands-parents pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon parcours scolaire et de ma vie, et tout particulièrement mon grand-père pour la relecture attentive de mon mémoire.

## Introduction

Le monde actuel fait face à un dérèglement climatique. Ce constat est alarmant, notamment par les bouleversements climatiques, en cours et à venir. Les températures moyennes à la surface de la terre augmentent d'environ 0.2°C par décennie et la fréquence ou l'intensité des précipitations est plus forte (Hoegh-Guldberg et al. 2019). Ce constat d'un climat qui change n'est pas sans conséquences pour l'environnement et les systèmes agricoles. Si les systèmes agricoles modernes participent à près de 20% de l'augmentation annuelle des gaz à effet de serre d'origine humaine, ils souffrent aussi des conséquences du dérèglement climatique. L'augmentation des températures et les modifications dans les précipitations font partie des facteurs qui impactent l'agriculture, notamment la productivité agricole, avec des répercussions plus ou moins forte selon les régions du globe (Aydinalp et Cresser 2008).

Pour faire face aux défis de la lutte contre le changement climatique, plusieurs organisations et institutions politiques ont été créées, notamment la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, dès 1992, soutenue par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat). Cette convention poursuit divers objectifs dont la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre. L'accord de Paris signé en 2016 par 185 pays a permis d'engager des actions visant à limiter l'augmentation des températures sous +2°C par rapport à l'ère préindustrielle (Hoegh-Guldberg et al. 2019). Dès 1992, la Convention pour la Diversité Biologique (CBD) soutenue par l'IPBES (Plateforme Intergouvernementale scientifique et politique pour la Biodiversité et les Services Écosystémiques), met en avant les liens étroits entre changement climatique et biodiversité, ainsi que les facteurs prépondérants entraînant le changement climatique tel que l'agriculture industrielle (United Nations 1992).

Dans ce contexte climatique complexe, les regards se tournent de plus en plus vers des systèmes agricoles plus diversifiés. En agriculture par exemple, l'agroécologie est de plus en plus suivie et vise à produire de façon durable l'alimentation humaine (Gliessman 2006). Le Projet ROC-CHA (Réseau d'Observation et de Conservation in situ des variétés de CHÂtaignes et des savoirs traditionnels associés) interroge la capacité de la diversité variétale des agroécosystèmes à châtaigneraies en Cévennes et en Ardèche à résister au changement climatique (Aumeeruddy-Thomas, Ramet, et Collaborateurs ROC-CHA 2021). Ce projet développe de nouvelles synergies entre savoirs locaux et scientifiques à travers des approches de co-construction entre les castanéiculteurs et les scientifiques. Diverses disciplines dont l'ethnoécologie et l'écologie fonctionnelle, y compris les modélisations phénoclimatiques, sont en cours de développement dans ROC-CHA, dans un réseau de sites de référence avec des castanéiculteurs, référents de ces sites. C'est dans ce cadre et compte tenu des objectifs de ROC-CHA que se situe ce stage.

Dans ce stage, nous nous intéressons à un système délaissé et peu soutenu par les politiques publiques : l'agroécosystème à châtaigneraie cévenol (Dupré 2002). Cet agroécosystème à châtaigneraie subit le changement climatique de plein fouet. Les savoirs locaux des castanéiculteurs cévenols ont été occultés lors de la modernisation agricole et le changement climatique vient affecter un système déjà malmené et partiellement laissé à l'abandon. Ces savoirs et savoir-faire et cette façon de penser sont une source d'inspiration pour une transition écologique réussie. En effet, les savoirs locaux apportent les observations et les connaissances pour la mise en place de nouvelles pratiques agricoles. Ce stage porte donc sur l'agroécosystème à châtaigneraie cévenol, notamment sur les savoirs locaux des castanéiculteurs, et les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique, qu'ils observent au quotidien.

## I) État de l'art

### 1- Du système polyculture élevage de moyenne montagne à l'agroécosystème à châtaigneraie cévenole

La France comporte six massifs montagneux de moyenne et haute montagne. Les zones de moyenne montagne sont situées à des altitudes ne dépassant pas les 2000 mètres (Chardon 1984). Ces territoires ont fait face depuis toujours à des difficultés liées notamment à l'altitude, ainsi qu'au dénivelé. Au début du siècle, la majorité de ces territoires était caractérisée par un système de polyculture élevage, plus précisément par de l'agropastoralisme (Tauveron 1994). Les terres étaient exploitées pour les cultures de légumes, de légumineuses et de céréales, ainsi que pour nourrir les animaux. Au cours du siècle dernier, ce paysage de polyculture élevage a évolué, avec la diminution des cultures céréalières remplacées par des prairies naturelles et fourragères. L'élevage a conservé une place centrale associée à diverses cultures adaptées aux pentes et à l'altitude (Tauveron 1994). Les systèmes de polyculture élevage sont donc caractéristiques des zones de moyenne montagne.

Les Cévennes forment une chaîne montagneuse située au sud du Massif Central, présente dans les départements du Gard, de la Lozère, de l'Hérault, de l'Aveyron et de l'Ardèche. Le climat caractéristique est méditerranéen à montagnard lorsqu'on monte en altitude, puisque le point culminant se situe à 1 700 mètres. La saison automnale est caractérisée par de fortes précipitations et les étés sont secs et chauds. Le climat cévenol est constitué de faibles nombres de jours de pluie ponctués d'épisodes cévenols définis par des pluies torrentielles sur un temps court, et qui sont de plus en plus fréquents et violents (Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) 2013). La forêt cévenole est constituée à 60% de feuillus, principalement des chênaies et des châtaigneraies, et à 40% de résineux. La châtaigneraie cévenole couvre 80 000 ha dont seulement 1 700 sont exploités aujourd'hui, sous la forme de vergers fruitiers, avec 600 producteurs qui ramassent les 1500 tonnes de châtaignes qui tombent chaque année (Association de producteurs de châtaignes des Cévennes 2020). De nombreuses châtaigneraies sont donc laissées à l'abandon, sans entretien.

L'agroécosystème à châtaigneraie est un système de polyculture élevage de moyenne montagne comportant diverses activités agricoles qui sont le maraîchage, les vergers fruitiers, l'élevage et l'apiculture, qui s'intègrent dans la châtaigneraie fruitière polyvariétale constituant l'élément structurant principal de cet agroécosystème. La quasi-totalité des exploitations agricoles cévenoles comprennent des vergers de châtaigniers, souvent anciens et plus ou moins entretenus en fonction des fermes. La châtaigneraie fruitière se distingue d'une forêt classique par son type de peuplement : la plupart des vergers de châtaigniers sont des taillis simples ou des taillis sous futaie (Bourgeois 2004). En France, la majorité des forêts hors châtaigneraies sont des futaies (Office National des Forêts et ORB NPdC 2011). Dans les Cévennes, la forme de culture majoritaire est le verger, orienté vers la production de fruits.

Les producteurs font l'entretien de leur châtaigneraie en réalisant divers travaux selon les saisons : greffage de jeunes arbres au printemps, élagage et formation d'andins à l'automne et débroussaillage. De septembre à novembre, l'activité castanéicole se concentre sur la récolte des fruits, les châtaignes, qui se trouvent le plus souvent par trois dans une enveloppe piquante appelée bogue, qui tombe de l'arbre et s'ouvre à l'automne.

Les vergers de châtaigniers cévenols comportent une grande diversité de variétés de châtaigniers greffées sur des arbres issus de semis spontanés, technique qui a été maintenue à travers les siècles grâce à la résilience des castanéiculteurs de moyenne montagne, malgré les transformations induites par la modernisation agricole (Aumeeruddy-Thomas et al. 2012).

Certaines variétés sont très spécifiques à des zones précises sur le territoire cévenol et ne se retrouvent qu'à ces endroits-là. Cette diversité variétale est un signe de l'ancienneté de cette culture, puisque les agriculteurs ont sélectionné et reproduit des arbres en fonction de leurs caractéristiques et de celles de leurs fruits (Chassany et Osnier 2005). Ces variétés sont des clones, greffés sur des porte-greffes, généralement des châtaigniers ayant poussé spontanément de graines et nommés « Bouscasses ». Ces arbres ne sont pas considérés par les castanéiculteurs comme une variété à part entière et se retrouvent très souvent dans les châtaigneraies abandonnées. Chaque variété est spécifique, plutôt précoce ou tardive, avec des fruits au calibre plus ou moins gros ou encore un taux de sucre plus ou moins élevé. Le fruit est d'ailleurs une des clefs d'identification des variétés, suivi par les bogues et l'arbre (Dupré 2002). On retrouve aussi des châtaigniers hybrides dans ces vergers polyvariétaux. Ces hybrides ont été introduits dès les années 1950 par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) afin de contourner les problématiques liées aux maladies de l'encre et du chancre qui touchaient les châtaigniers mais aussi afin de proposer des arbres très productifs. Ces hybrides font l'objet de divers points de vue car certains castanéiculteurs ont perçu cet objectif de production d'un mauvais œil, puisqu'ils semblaient signifier la fin des variétés dites traditionnelles d'autant que ces variétés sont plus adaptées à des zones de plaines avec des terres riches et nécessitent d'être irriguées (Dupré 2002).

Ainsi, la châtaigneraie fruitière polyvariétale cévenole est caractérisée par la diversité variétale de son peuplement et se différencie d'une forêt classique par le fait que les arbres sont des clones greffés et qu'un entretien régulier et important est nécessaire dans l'objectif de production fruitière et afin de maintenir la bonne santé des arbres.

## 2- Le châtaignier : état des connaissances sur sa vulnérabilité au changement climatique

Le châtaignier présent en France, *Castanea sativa*, appartient à la famille des Fagacées, comme les chênes et les hêtres. Le genre *Castanea* est présent en Amérique et en Asie mais avec des espèces différentes de l'espèce européenne. En Europe, *Castanea Sativa* se retrouve en France, en Italie, en Espagne, au Portugal et en Grèce (Bourgeois 2004). La figure 1 présente l'aire de répartition du châtaignier en Europe.

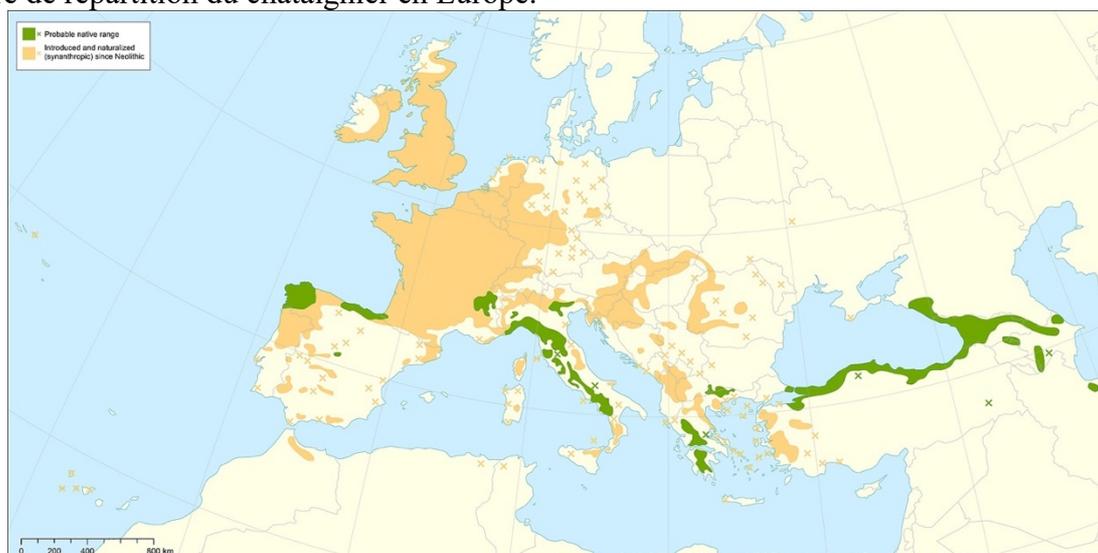


Figure 1 : Aire de répartition du châtaignier *Castanea Sativa* ; en vert présence native et en orange introduction depuis le Néolithique ; Source : Caudullo Giovanni, Welk Erik, et Jesus San-Miguel-Ayanz (2017)

Le châtaignier est un arbre à feuilles caduques, simples et dentées. Il est monoïque, c'est-à-dire qu'il possède à la fois des fleurs mâles et des fleurs femelles sur un même pied. Plus précisément, le châtaignier est andromonoïque puisqu'on retrouve des inflorescences, appelées chatons, unisexuelles mâles ou bisexuelles avec à la fois des fleurs mâles et des fleurs femelles (Larue, Barreneche, et Petit 2021). Les fleurs mâles peuvent être fertiles ou stériles, en fonction de la longueur des étamines. Lorsque les étamines sont absentes (astaminées) ou très petites, dépassant à peine du périanthe (brachystaminées), les fleurs sont stériles puisqu'elles n'ont pas de pollen. En revanche, lorsque les étamines dépassent légèrement le périanthe (mésostaminées) ou le dépassent largement (longistaminées) alors les fleurs sont fertiles. Dans tous les cas, les fleurs produisent du nectar et attirent donc les insectes. Les fleurs femelles sont généralement groupées par trois à la base des chatons bisexués. Le châtaignier est autoincompatible et nécessite une fécondation croisée, réalisée principalement par des petits coléoptères ou par des abeilles : il est entomophile (Larue et al. 2020).

La floraison du châtaignier est un phénomène complexe : les fleurs mâles des chatons unisexués fleurissent en premier, suivies des fleurs femelles et des fleurs mâles des chatons bisexués. Les fleurs femelles sont réceptives sur une période assez longue et les deux pics distincts d'émission du pollen par les fleurs mâles des chatons unisexués puis des chatons bisexués ne se superposent pas (Larue, Barreneche, et Petit 2021).

Le châtaignier a été domestiqué très probablement dans l'Est méditerranéen où se trouvent de vrais peuplements de châtaigniers sauvages. Il a voyagé vers l'Ouest et est cultivé en France dans les Cévennes au moins depuis la période Romaine, bien que le véritable essor de sa mise en culture date du Moyen Age. Il est donc présent dans cet environnement véritablement depuis une vingtaine de siècles où il pousse dans une niche très anthropisée à l'intersection de dynamiques écologiques naturelles et de construction de la niche par les hommes. Le gros des forêts de châtaigniers est en réalité des arbres échappés de cultures et ne représente pas dès lors une forêt strictement sauvage (Bruneton-Governatori 1999). Ces forêts et les vergers font face aujourd'hui à plusieurs facteurs, naturels ou causés par l'homme, qui l'impactent négativement. Ces différents facteurs sont le changement climatique, l'abandon des châtaigneraies, les feux de forêts mais aussi les maladies, telles que le chancre et l'encre (Pérez-Girón et al. 2020). La châtaigneraie fruitière cévenole est par ailleurs constituée d'arbres souvent très vieux, qui ont subi diverses pratiques de rajeunissement et dont le renouvellement est faible. Les systèmes d'irrigation passés ainsi que les terrasses cévenoles, dont le rôle est de maintenir le sol, sont aujourd'hui laissés à l'abandon (Aumeeruddy-Thomas et al. 2012). Il n'y a donc plus de système d'irrigation des châtaigneraies et les terrasses se dégradent, favorisant l'érosion lors des fortes pluies qui entraînent le sol.

Dans le cadre de mon stage, je me suis penchée sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur la châtaigneraie fruitière, mais il ne faut pas oublier que d'autres problématiques causent du tort actuellement aux châtaigniers.

Le changement climatique est un important facteur de modification des agroécosystèmes. Les rapports GIEC pointent du doigt d'augmentation des émissions de gaz à effets de serre et l'augmentation des températures dans les années à venir, qui menacent « les moyens de subsistance, la biodiversité, la santé des populations humaines et des écosystèmes, les infrastructures et les systèmes alimentaires » (Masson-Delmotte et al. 2020).

L'article de Pérez-Girón et al. (2020) nous permet de dire que les facteurs climatiques qui jouent un rôle majeur dans l'impact du changement climatique sur les châtaigniers sont les précipitations et les températures. De plus, la topographie et la latitude/longitude participent aussi aux conditions climatiques. D'après Pérez-Girón et al. (2020), la disponibilité en eau serait le facteur limitant, surtout en région méditerranéenne, notamment lors de la saison de

maturation des fruits, ou des sécheresses estivales. L'augmentation des températures sur le long terme aurait aussi un impact négatif sur la production de châtaignes. A terme, ces châtaigneraies seraient fortement affectées par le changement climatique (Pérez-Girón et al. 2020).

Le changement climatique a également des répercussions fortes sur la phénologie du châtaignier, c'est-à-dire sur le développement saisonnier des feuilles aux fruits, en passant par les fleurs. L'article de Guo et al. (2013) est une étude de l'impact du changement climatique, via l'augmentation des températures, sur la phénologie d'une autre espèce de châtaignier, *Castanea mollissima* blume, présente en Chine. Le travail de ces chercheurs a permis de montrer que la date de première floraison du châtaignier a avancé de 1.6 jours tous les dix ans depuis 1963. Cet avancement serait dû à l'augmentation des températures entre les mois de janvier et juin. La durée de la phase de croissance se rallonge de plus en plus, à cause de l'avancement de la floraison. Guo et al. (2013) évoquent aussi la possibilité d'un impact du réchauffement hivernal sur la dormance des châtaigniers, sur le long terme. La dormance est un mécanisme de protection de l'arbre contre la baisse des températures en hiver. Cette étape se décompose en deux phases : l'endodormance et l'écodormance. Durant la première phase d'endodormance, le débourrement de l'arbre est impossible, même si les conditions climatiques sont favorables. Les températures froides en hivers sont essentielles afin que les bourgeons puissent sortir de l'endodormance et entrer dans l'écodormance. La sortie de l'écodormance est permise par l'augmentation des températures aux printemps (Gauzere et al. 2017).

Le réchauffement hivernal pourrait donc ralentir l'accumulation de froid par le châtaignier et donc retarder la feuillaison. Cet impact potentiel du réchauffement hivernal sur la feuillaison et floraison a été étudié pour différentes espèces d'arbres comme par exemple le frêne, le bouleau et le noisetier. Il apparaît qu'après la dormance des bourgeons, pour des températures printanières similaires, des températures hivernales plus élevées retarderaient la feuillaison et la floraison de ces arbres. Dans le cas de températures hivernales similaires, le réchauffement des températures au printemps entrainerait un avancement de la feuillaison et floraison (Asse et al. 2018). A court terme, le réchauffement hivernal aurait un impact positif sur les arbres, en retardant l'avancement de la feuillaison et floraison observé ces dernières années, et donc en limitant les risques de gel des bourgeons et des fleurs. Les effets du réchauffement hivernal auraient également un impact différent selon l'altitude à laquelle les arbres se trouvent : le réchauffement hivernal entrainerait un avancement de la sortie de dormance pour les arbres situés en haute altitude, car « les hivers sont actuellement trop froids pour un refroidissement optimal » (Asse et al. 2018), et un retard de la sortie de dormance pour les arbres à basse altitude.

Ainsi, s'il n'est pas l'unique facteur de perturbations affectant la châtaigneraie fruitière, le changement climatique est néanmoins un de ceux qui impactent fortement l'agroécosystème à châtaigniers. L'impact se fait à la fois sur la santé de l'arbre, mais aussi sur sa phénologie et possiblement sur sa production de fruits.

### 3- Comment étudier l'impact du changement climatique sur les châtaigniers et sur l'environnement, à travers le prisme des savoirs locaux ?

Le changement climatique a des répercussions dramatiques sur la biodiversité. L'homme et les animaux d'élevage sont largement majoritaires, au-delà de 90%, par rapport aux espèces végétales et animales sauvages, en termes de biomasse (Bar-On, Phillips, et Milo 2018). Cette augmentation du nombre d'habitants et des dépenses en énergies, liées au mode de vie humain, est une des causes du changement climatique. Toutes les espèces sont touchées par le

changement climatique, des espèces végétales aux champignons, animaux et algues. D'après le rapport de planète vivante de 2020, 68% des vertébrés se sont éteints entre 1970 et 2016 (Almond et al. 2020). Lorsque le changement climatique impacte la biodiversité, il impacte aussi des populations humaines locales. En effet, par exemple avec la diminution de l'épaisseur de la banquise, la chasse devient à la fois plus compliquée mais également plus dangereuse pour les peuples autochtones des régions polaires. Les systèmes biologiques et physiques sont impactés par l'intermédiaire des espèces animales marines et de la cryosphère. « La fonte du permafrost modifie le ruissellement des eaux de pluie printanières, [...], le déplacement des poissons et des phoques, la montée des eaux et la fluctuation des marées » (Cochran et al. 2013). Tous ces événements sont liés les uns aux autres.

Ainsi, les changements dans les températures et les conditions météorologiques affectent la distribution et l'abondance des espèces animales avec notamment un impact fort sur leurs schémas de migration (Reyes-García et al. 2016).

Les données sur les conséquences du changement climatique sont peu documentées à l'échelle locale. Les études scientifiques dites « classiques » portant sur le changement climatique se font à des échelles géographiques très larges et sur des durées de temps qui n'excèdent pas quelques années. Ces échelles de temps et d'espaces ne sont pas adaptées pour mesurer avec précision l'impact des dérèglements du climat sur la biodiversité et sur les habitants d'un territoire donné. Les données issues des savoirs locaux ont une temporalité souvent très grande de plusieurs décennies, car les informations sont transmises de génération en génération. Néanmoins elles peuvent aussi être en cours de transmission, notamment sur les changements inédits auxquels ces populations font face.

Le premier article portant sur les indicateurs locaux du changement climatique est paru en 1996. Les articles sur cette thématique se sont ensuite fortement développés jusqu'à une augmentation exponentielle à partir de 2010 (Reyes-García et al. 2016). Leur reconnaissance par la Convention sur la Biodiversité (United Nations 1992) et par l'IPBES (Díaz et al. 2018, Hill et al. 2020) montre leur importance désormais pour la gouvernance globale de l'environnement.

Pour un chercheur, réaliser une étude scientifique donnée sur un terrain, c'est se confronter à un environnement souvent nouveau, que l'on doit apprendre à connaître afin d'émettre des hypothèses pour effectuer ensuite les expérimentations adéquates. L'avantage d'allier les savoirs locaux via l'ethnoécologie, est que cette discipline scientifique permet d'analyser les savoirs locaux et peut apporter une valeur ajoutée en aidant le chercheur à mieux comprendre le terrain qu'il étudie, à identifier des indicateurs de changement climatique non connus par la science à ce jour, et à comprendre comment un groupe social donné, dans le cas considéré, des agriculteurs représentatifs des agroécosystèmes à châtaigneraies en Cévennes, interagit avec les éléments biotiques et abiotiques de son environnement.

Les savoirs locaux sont des connaissances ou des pratiques transmises de génération en génération par des populations sur un territoire. Ce sont des savoirs holistes (Hill et al. 2020) car ils reposent à la fois sur la mémoire des individus mais aussi sur des multiples critères objectifs issus d'observations associant de multiples dimensions écologiques et agronomiques selon une rationalité différente de la démarche scientifique. Le mode de transmission est le plus souvent par voie orale, parfois à travers des histoires ou des chansons. Ces savoirs sont le résultat d'une longue période d'interactions entre les populations et le territoire sur lequel elles vivent. Ces interactions se font avec l'agroécosystème, c'est-à-dire via leurs activités agricoles, la pêche, la chasse ou encore la cueillette. Lors de la réalisation de ces activités, les populations locales sont amenées à observer leur environnement et la nature qui les entoure (Huntington et al. 2004). Ces informations sont précieuses car elles peuvent permettre aux scientifiques de

mieux comprendre comment un territoire peut être impacté par divers bouleversements, tels que le changement climatique. En effet, si les études scientifiques sur le changement climatique et ses impacts se multiplient, encore peu utilisent les savoirs locaux, via l'ethnoécologie, pour identifier et comprendre ces impacts (Reyes-García, Fernandez-Llamazares, García-del-Amo, et al. 2020).

L'ethnoécologie est une science qui permet d'étudier les dynamiques entre les plantes, les animaux, les hommes et l'environnement selon les savoirs locaux. En tant que discipline scientifique elle se trouve à l'interaction entre les sciences sociales et biologiques. Elle permet d'identifier et de mieux comprendre les stratégies employées par des sociétés traditionnelles pour gérer divers systèmes biologiques, écologiques et environnementaux (Reyes-García, Fernandez-Llamazares, García-del-Amo, et al. 2020). Ainsi, associer l'ethnoécologie à la science peut permettre aux chercheurs de comprendre comment fonctionne un territoire, comment les écosystèmes s'articulent et comment les populations vivent en interaction avec leur environnement, afin de formuler des hypothèses plus précises et plus en adéquation avec la réalité du terrain et aussi répondre à des attentes au plus près des acteurs locaux et qui s'appuient simultanément sur leurs savoirs et les savoirs scientifiques.

Les populations locales possèdent souvent des connaissances solides sur les phénomènes climatiques locaux. Très souvent, elles réalisent des observations pointues de météorologie et peuvent même prédire la météo en s'appuyant sur l'observation de phénomènes physiques tels que les nuages ou l'activité électrique du ciel mais aussi sur les astres et les animaux (Garteizgogeoasoa, García-del-Amo, et Reyes-García 2020). En travaillant avec les populations locales, on peut donc recueillir des informations sur l'impact de certains événements météorologiques sur les agroécosystèmes.

Le travail de Reyes-García et al. (2016) porte sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique. Ces indicateurs sont des LICCI pour Local Indicators of Climate Change Impacts. Ces indicateurs locaux d'impacts sont soit « des observations locales du changement climatique, rapportées par des individus ayant une longue histoire d'interactions avec leur environnement, soit des impacts observés sur le système biophysique et social, attribués au changement climatique » (Reyes-García, Fernandez-Llamazares, García-del-Amo, et al. 2020). Leur étude a permis de recueillir des informations sur comment des perturbations ou changements dans les événements climatiques impactent divers systèmes tels que :

- Le système biologique : abondance ou répartition de plantes sauvages morphologie ou schémas de migrations de populations animales sauvages.
- Le système physique : changements dans hydrologie ou la cryosphère via par exemple la couverture neigeuse ou l'épaisseur de la glace.
- Le système socio-économique : les impacts sur l'agriculture et la sylviculture.
- Le climat : LICCI un peu à part puisqu'ils sont des « observations locales des changements du climat » (Reyes-García et al. 2016) et concernent uniquement des informations sur des changements dans les événements climatiques tels que les précipitations ou les températures, mais pas les éventuels impacts de ceux-ci.

Ces informations sont donc des LICCI, c'est-à-dire des données sur l'indicateur local d'impact d'un événement climatique sur un élément de l'agroécosystème tel qu'observé par des

savoirs locaux. Le site internet sur ces indicateurs locaux d'impacts du changement climatique (« <https://Licci.Eu/> ») présente ce qu'ils sont, ainsi que les dernières publications sur le sujet. Le but est de réunir le plus de chercheurs possibles souhaitant travailler sur la contribution des populations locales à la recherche sur le changement climatique.

Nous avons choisi de recueillir des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur l'agroécosystème de moyenne montagne à châtaigneraie, présent dans les Cévennes.

#### 4- Modélisation phénoclimatique

La phénologie est l'étude du développement écologique des espèces végétales et joue un rôle majeur dans la distribution spatiale de ces espèces ainsi que dans leur productivité (Vitasse et al. 2011). Les observations phénologiques peuvent être utilisées pour réaliser des modélisations phénoclimatiques, prenant en compte différents paramètres comme par exemple les températures ou la pluviométrie. Dans le cadre du changement climatique, la modélisation des dates de phénologie est un outil pouvant permettre d'évaluer des possibles modifications dans la distribution spatiale de certaines espèces arborées.

Différents types de modèles existent et prennent en entrée des paramètres différents tenant compte des « unités de forçage » qui sont « des unités de développement des bourgeons fonction de la température » (Vitasse et al. 2011). Les modèles dits à 1-phase considèrent que le débourrement a lieu lorsqu'une certaine quantité d'unités de forçage a été atteinte alors que les modèles à 2-phase, plus récents et basés sur des approches expérimentales, prennent en compte à la fois les températures durant le refroidissement lors de l'endormance et les températures de forçage lors de l'écodormance.

Dans leur article de 2011, Vitasse et al. (2011) déclarent que les modèles à 1-phase sont aussi performants voire davantage que les modèles à 2-phases lorsqu'ils sont appliqués à des données de phénologie actuelles, dans une situation où les effets du changement climatique ne sont pas visibles, ce qui n'est pas le cas actuellement. Ainsi, à la période de cette étude, le refroidissement hivernal est considéré comme ayant un rôle négligeable dans la date de floraison des arbres, même si ces auteurs considéraient que les températures froides hivernales restent essentielles pour la sortie de l'endormance. Les modèles à 1-phase, qui ne considèrent que l'écodormance, étaient cohérents à cette période, notamment pour des arbres situés en altitude. Cependant, dans le contexte du changement climatique, cette condition de refroidissement pourra ne plus être atteinte, notamment pour les arbres situés à basse altitude. Dans ce cas, la floraison pourra être retardée. En effet, dans leurs étude, Vitasse et al. (2011) montrent que pour deux espèces arborées, la sortie de dormance pourrait ne pas être totale, sous l'effet du changement climatique. Ainsi, l'article conclut sur la recommandation d'utiliser à l'avenir les modèles à 2-phase, afin de tenir compte des températures hivernales.

Dans le cadre de mon stage, j'ai étudié de façon plus approfondie deux modèles : Phenofit et PMP (Phenology Modelling Platform). Ces modèles phénoclimatiques ont été créés par Chuine et al. (2013) pour PMP et par Chuine et Beaubien (2001) pour Phenofit.

Phenofit prédit la distribution des espèces arborées. « Ce modèle repose sur l'adaptation des arbres aux conditions environnementales qui dépend de la synchronisation de leurs stades de développement avec les variations climatiques. Le modèle produit une probabilité de présence d'un individu d'une espèce dans une zone, après un certain nombre d'années. Cette probabilité est estimée par le calcul de la fitness de l'individu qui est le produit de la survie d'un individu avec son succès reproducteur » (Morin et Chuine 2005). Cette fitness représente donc le succès reproducteur ou valeur sélective et peut être augmentée par la plasticité du phénotype. Cette

plasticité peut être mal adaptée, surtout lorsque les changements, notamment climatiques, se font de façon rapide. La phénologie a un impact fort sur la fitness : si le débourrement ou la floraison ont lieu trop tôt, il y a un risque accru de gel mais si ces stades ont lieu trop tard, il y a un risque d'avoir une moins bonne production de fruits et donc un succès reproducteur amoindri (Duputié et al. 2015). Dans leur article, Duputié et al. (2015) ont étudié la plasticité phénologique de certaines espèces arborées dans le cadre du changement climatique. Pour le chêne et le hêtre, la plasticité phénologique permet l'augmentation de la largeur de leur niche écologique et l'augmentation de la taille de leur aire de répartition mais pour le pin, il y aurait une diminution de sa niche écologique et de son aire de répartition. Les températures plus élevées affecteraient donc positivement le hêtre et le chêne mais négativement le pin. Ce modèle développé avec Phenofit permet de souligner que « la plasticité phénotypique n'est pas toujours adaptative et contribuera à diminuer ou augmenter la taille de l'aire de répartition des espèces dans des conditions climatiques futures » (Duputié et al. 2015).

Le modèle PMP permet soit de construire un modèle phénologique, de placer des données phénologiques dans un modèle déjà construit ou de faire des simulations à partir d'un modèle (Chuine 2013). Lorsque PMP est utilisé à partir de données phénologiques issues d'observations, pour rentrer dans un modèle, le logiciel prédit des nombres de jours de stades phénologiques en fonction des paramètres ajustés sur les données observées pour les sites et les années correspondant à ces données. Ces nombres de jours correspondent au numéro de chaque jour de l'année jour en comptant le 1<sup>er</sup> janvier comme numéro 1. On peut ensuite réutiliser ces nombres de jours prédits pour faire des simulations de nombres de jours de stades phénologiques dans des conditions climatiques différentes. Plusieurs modèles sont proposés sur PMP : des modèles à 1-phase (par exemple Growing Degree Days (GDD)) ou des modèles à 2-phases (par exemple : Uniforc). PMP est donc un outil de modélisation phénoclimatique qui permet de faire des prédictions de nombre de jours de stades phénologiques dans des conditions climatiques différentes.

Ainsi, le domaine de la modélisation phénologique est vaste avec de nombreux modèles différents et des applications concrètes comme la visualisation de l'évolution de la distribution spatiale de certaines espèces d'arbres ou la modification de dates de stades phénologiques. Le changement climatique aura un impact fort sur la phénologie des arbres et ces modèles seront un des outils utiles à la prédiction de ces impacts.

## II) Problématique et objectifs

La problématique qui a guidé mon travail en stage est la suivante :

Comment les observations phénologiques et les savoirs locaux issus d'observations ethnoécologiques peuvent permettre de comprendre l'impact du changement climatique sur la châtaigneraie fruitière polyvariétale de Lozère ?

Pour répondre à cette problématique, je me suis appuyée sur plusieurs objectifs :

- Comprendre les perceptions locales du changement climatique au sens large.
- Identifier les indicateurs locaux des impacts du changement climatique : (1) sur l'ensemble des activités agricoles et (2) plus précisément sur le châtaignier, avec un questionnement plus précis sur la phénologie.
- Mieux comprendre les liens entre dérèglement climatique et châtaignier à travers des observations directes de phénologie et une approche de la modélisation conjointe phénoclimatique.
- Discuter les apports des Indicateurs locaux des impacts du Changement Climatique (LICCI) par rapport aux résultats du modèle sur châtaigniers et donc des apports respectifs des deux types de savoirs, savoirs locaux et savoirs scientifiques.

### III) Matériels et méthodes

#### 1- Présentation du projet ROC-CHA

Le projet ROC-CHA a été lancé en avril 2020, en réponse à un appel à projet de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Il s'agit d'un projet en co-construction avec les acteurs de la filière castanécicole. Les buts spécifiques du projet sont à la fois d'identifier les variétés locales de châtaigniers en Ardèche et en Lozère grâce aux savoirs locaux, de favoriser la transmission de ces savoirs entre castanéculteurs, mais aussi d'observer et d'analyser la résistance de ces variétés au changement climatique selon une démarche conjointe scientifique et de co-construction des modalités d'observations avec les castanéculteurs. Le projet regroupe quatre sites : un en Ardèche et trois en Lozère et environ 80 arbres faisant l'objet d'observations phénologiques régulières selon des modalités en cours d'expérimentation.

Le projet ROC-CHA 1 a pris fin au printemps 2021, date à laquelle le stage a commencé dans la continuité du travail fait dans cette première partie du projet ROC-CHA et en attente de la seconde partie du projet qui commencera en octobre 2021 : ROC-CHA 2, qui accentuera des travaux sur l'analyse des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique et des modélisations phénoclimatiques sur quatre régions qui sont l'Ardèche, la Lozère, la Corse et l'Ariège. Le stage avait dès lors un caractère expérimental en vue d'affiner les approches prévues dans ROC-CHA 2.

Dès juin 2020, ROC-CHA avait initié des suivis phénologiques mensuels mis en place sur les arbres identifiés, et des premières observations du stade floraison ont été réalisées, suivies des stades de nouaison, de pleine fructification et de production. Des ateliers d'identification des variétés de châtaigniers ont également eu lieu, ainsi qu'une co-construction sur les perspectives du projet avec les différents acteurs de la filière. Le stage a commencé fin mars 2021, quelques semaines avant le début de la phase de feuillaison du châtaignier. J'ai donc poursuivi les observations phénologiques, en plus d'entretiens ethnoécologiques.

#### 2- Sites de référence

Dans le projet ROC-CHA, quatre sites sont suivis : un site en Ardèche et trois sites situés en Lozère, comme indiqué dans la figure 2. Le choix de ces sites s'est fait sur divers critères dont par exemple les variétés présentes dans la châtaigneraie, l'âge des arbres et leur regroupement sur la parcelle, pour éviter les contraintes logistiques de déplacements (Aumeeruddy-Thomas, Ramet, et Collaborateurs ROC-CHA 2021). L'annexe 1, présente les quatre sites de références du projet ROC-CHA.

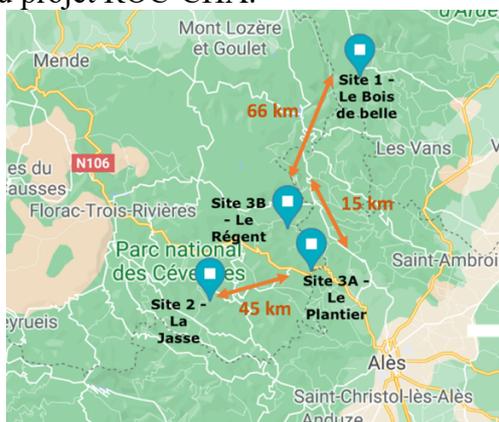


Figure 2 : Localisation des quatre sites d'étude ; Source : GoogleMaps

Les arbres sélectionnés sur ces sites ont fait l'objet d'un suivi phénologique de 2-3 jours par mois sur 6 mois en 2020 (Yildiz Aumeeruddy-Thomas et al. 2021).

### 3- Choix de trois sites en Lozère et leurs caractéristiques

Le travail que j'ai réalisé se compose de deux volets principaux : l'ethnoécologie et la phénologie. Le premier volet est caractérisé par des entretiens approfondis avec des castanéiculteurs, et le second consiste en des observations des stades phénologiques du châtaignier. Dans le cadre du stage, mon travail s'est orienté sur la Lozère avec les trois sites de référence suivants :

- Site 2, La Jasse : référents de site Richard Bouat et Jean Marc Bouchard
- Site 3A, Le Plantier : référents de site Geneviève et Alain Mercier
- Site 3B, Le Régent : référents de site Claudette et Daniel Mathieu

Le choix de ne pas inclure dans le stage le site 1 – Le Bois de belle, situé en Ardèche, est lié principalement à des contraintes logistiques. Les suivis phénologiques devaient être rapprochés dans le temps, afin de ne pas 'manquer' de stade phénologique. Les trois sites Lozériens sont géographiquement assez éloignés les uns des autres (avec des petites routes départementales étroites), comme le montre la figure 2, et sont éloignés du site ardéchois. La décision a été prise de seulement travailler sur les sites 2, 3A et 3B. L'intérêt de travailler sur trois sites différents était d'avoir des arbres situés à des altitudes différentes afin de pouvoir comparer les dates des stades phénologiques en fonction de l'altitude pour des variétés identiques, une situation que nous n'avions pas en Ardèche. Mes observations phénologiques et mes entretiens ethnoécologiques se sont donc fait dans ces trois zones distinctes, présentées en annexe 2 : la vallée de Saint Martin de Lansuscle, la commune du Collet de Dèze et la commune de Ventalon en Cévennes.

### 4- Présentation de l'agroécosystème de moyenne montagne et du recueil des données ethnoécologiques

L'ethnoécologie et la phénologie ont nécessité un investissement équivalent car ces deux approches scientifiques sont au centre du stage, avec un travail autour de l'identification des savoirs locaux et de l'observation écologique des châtaigniers. En ce qui concerne la partie ethnoécologique, la méthode a été de réaliser des entretiens semi-directifs auprès d'une population agricole ciblée sur l'agroécosystème à châtaigneraie dans les Cévennes dans les sites choisis.

#### 4.1- L'agroécosystème à châtaigneraie des Cévennes

Les zones de moyenne montagne ont un climat et un relief auquel les agriculteurs ont dû s'adapter. Les grandes surfaces agricoles de monoculture très mécanisées sont pratiquement impossibles à mettre en place et le système de polyculture élevage est préféré. Les Cévennes sont caractérisées par un paysage de châtaigneraies entretenues ou abandonnées. En plus de l'activité castanéicole, diverses activités agricoles sont intégrées et menées en parallèle, caractéristiques du système polyculture élevage. Il s'agit par exemple du maraîchage, de l'apiculture, autrefois sédentaire, indissociable de la châtaigneraie et devenue aujourd'hui transhumante, ou encore de l'élevage, notamment d'ovins de caprins qui pâturent dans les vergers à châtaigneraie et les vergers fruitiers. Ces activités sont présentées dans le tableau 1.

La chasse, notamment aux sangliers et aux cervidés ainsi que la récolte de champignons sont des activités fortement liées à la châtaigneraie fruitière. Les champignons sont notamment tous des champignons ectomychorhiziens des châtaigniers.

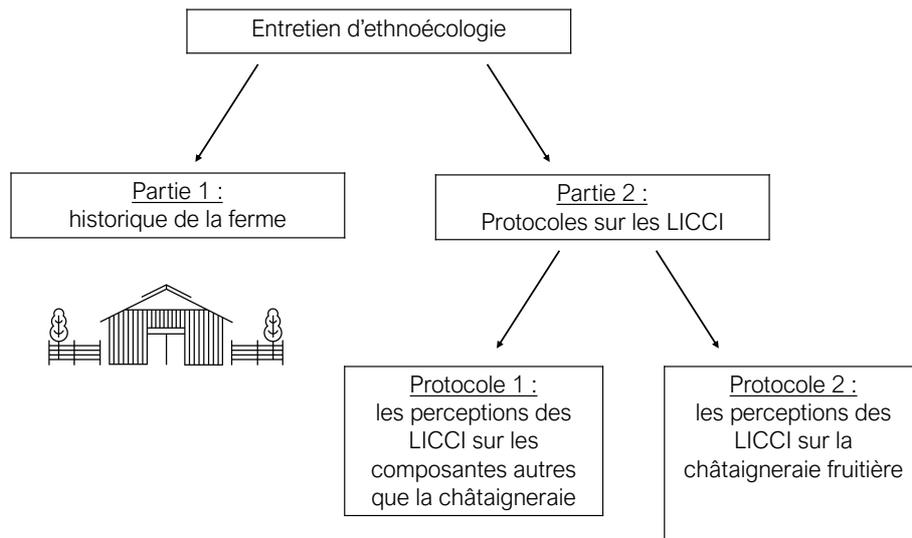
Tableau 1 : Activités pratiquées dans l'agroécosystème à châtaigneraie cévenol

Activités	Espèces	Types de pratiques
Maraîchage	Plantes à légumes diverses (pommes de terre, tomates, poivrons, aubergines, courgettes...), arbustes fruitiers (framboisiers) et semis divers (radis, carottes, haricots...).	Pratiques de maraîchage classiques (binage, arrosage, semis, apport de matière organique...).
Apiculture	Abeille <i>Apis mellifera</i> .	Nourrissage éventuel des abeilles en saison hivernale, récolte du miel, transhumance, lutte contre les parasites (varoa) et ravageurs (frelon asiatique).
Vergers fruitiers	Pommiers, poiriers, cerisiers, pêchers, noyers.	Taille des branches, traitements éventuels contre les maladies, récolte des fruits.
Châtaigneraie	<i>Castanea sativa</i>	Greffage, élagage, traitement contre le chancre, débroussaillage et ramassage des châtaignes.
Elevage ovin	<i>Ovis aries</i> de races diverses.	Soin, alimentation et vente de la viande.
Elevage caprin	<i>Capra aegagrus hircus</i> de races diverses.	Soin, alimentation et vente du lait (fromage).
Herbe	Espèces sauvages et/ou plantées (triticale, pois...)	Semis éventuels et fauche/pâturage animal.
Cueillette de champignons	Cèpes, pieds de moutons, girolles, chanterelles, Coulemelles...	Cueillette.
Chasse	Sangliers, chevreuils, renards.	Chasse.

Les pratiques et espèces caractéristiques de chaque activité montrent la diversité du paysage agricole Cévenol. Au cours des enquêtes, je me suis penchée sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur l'agroécosystème à châtaigneraie cévenol mais aussi sur les espèces présentes dans le paysage environnant : les espèces végétales et animales sauvages et les insectes.

#### 4.2- Deux protocoles d'enquêtes

Les entretiens d'ethnoécologie en entier ont duré environ 2 heures et demie et se sont déroulés en deux parties : une première partie sur l'historique de la ferme et une seconde sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique. Comme présenté dans la figure 3, la seconde partie sur les indicateurs locaux d'impacts se décompose en deux protocoles distincts : un protocole sur les perceptions des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les composantes autres que la châtaigneraie et un deuxième protocole sur les perceptions d'indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur la châtaigneraie fruitière.



**Figure 3 : Déroulé des entretiens d'ethnoécologie**

La première partie sur l'historique de la ferme (voir annexe 3) est très importante puisqu'elle permet à la fois de remettre dans son contexte l'exploitation agricole et les agriculteurs qui y vivent mais elle permet aussi d'identifier les activités agricoles présentes sur la ferme. En effet, au cours du protocole 1, une question ouverte générale a été posée :

**Quels évènements climatiques impactent vos activités sur la ferme ?**

Ensuite, des questions semi-structurées ont été posées sur les activités agricoles pratiquées par l'agriculteur sur la ferme. L'annexe 4 présente les questions posées au cours du protocole 1. Le choix a été fait de séparer la partie 2 sur les indicateurs locaux des impacts du changement climatique en deux protocoles distincts afin de traiter la châtaigneraie séparément des autres activités agricoles. En effet, le stage est centré sur le châtaignier et il était important de réaliser un protocole très précis sur cette activité très importante dans les Cévennes. Dans ce protocole sur la châtaigneraie fruitière, une question ouverte générale a été posée :

**Est-ce que vous pensez que la châtaigneraie souffre de phénomènes climatiques ?  
Quels sont-ils ?**

Ensuite, des questions semi-structurées ont été posées sur divers éléments constitutifs de cette châtaigneraie fruitière comme par exemple la mortalité des châtaigniers ou la phénologie (voir annexe 5).

#### 4.3- Échantillon d'individus interrogés

Pour le stage, j'ai disposé d'un carnet d'adresses de castanéculteurs engagés dans le projet ROC-CHA, tels que les référents des sites, ou ayant déjà été questionnés par mon maître de stage dans le cadre du projet. Ces contacts ont été le point de départ des enquêtes de terrain, puisque j'ai ensuite élargi ce carnet d'adresses avec les contacts récupérés auprès des personnes interrogées.

L'échantillon d'agriculteurs interrogés est constitué uniquement de personnes ayant un lien fort avec la châtaigneraie cévenole. Toutes les personnes avec lesquelles j'ai réalisé les entretiens avaient un lien avec le monde agricole ou agro-forestier.

J'ai interrogé quatorze personnes sur onze fermes différentes dont treize castanéiculteurs retraités ou actifs, d'âge et d'ancienneté dans la région différents. La quatorzième personne interrogée est un agriculteur strictement apiculteur, que j'ai interrogé malgré le fait qu'il ne soit pas castanéiculteur car l'apiculture dépend beaucoup du châtaignier dans les Cévennes, pour produire le miel de châtaignier. Les personnes avec lesquelles je me suis entretenue résident dans la vallée de Saint Martin de Lansuscle, sur la commune de Ventalon en Cévennes ou au Collet de Dèze.

#### 4.4- Tri des données

A partir de mes carnets de terrain, dont une copie est déposée, j'ai récupéré les verbatims ayant un lien avec le sujet. Pour réaliser un premier tri des données, j'ai rentré les indicateurs locaux d'impacts dans un fichier Excel en codant avec des '1' les éléments présents dans chaque citation : événements météorologiques (pluie, orage, vent, température...) et impacts associés (abeilles, sources, maraîchage...). Cette étape m'a permis de réaliser une première approche des données, afin de pouvoir les trier plus précisément par la suite. C'est ce que j'ai fait plus tard en créant un autre fichier Excel avec les citations recueillies en codant les catégories climatiques locales et les indicateurs locaux des impacts du changement climatique. Le codage que j'ai utilisé devait être suffisamment large pour pouvoir regrouper des événements climatiques similaires, sans pour autant perdre de l'information. Par exemple, dans les LICCI sur la châtaigneraie, les orages du 15 Août sont revenus plusieurs fois dans les entretiens et ont donc formé une catégorie climatique locale. Je ne les ai pas mis dans une catégorie « précipitations » qui aurait fait perdre la notion de saisonnalité et la précision du type de pluie concernée. J'ai ensuite classé mes LICCI selon les quatre catégories de Reyes-García et al. (2016), présentés dans la partie 3 de l'état de l'art : les LICCI socio-économiques (que j'ai renommés LICCI agricoles), les LICCI biologiques, les LICCI climatiques et enfin les LICCI physiques.

### 5- Présentation du recueil des données phénologiques

Au cours du stage, je me suis rendue à six reprises sur le terrain dans la vallée de Saint Martin de Lansuscle et dans la zone de la commune du Collet de Dèze, pour réaliser les entretiens ethnoécologiques en parallèle des observations phénologiques.

#### 5.1- Choix des périodes sur le terrain et phénologie du châtaignier

Le choix des dates de présence sur le terrain s'est fait au regard de la phénologie du châtaignier, et j'ai organisé mes entretiens d'ethnoécologie en conséquence. Le stage ayant débuté le 29 mars, j'ai eu la chance d'observer les stades de feuillaison et de floraison du châtaignier. Les passages sur le terrain se sont déroulés comme suit :

- Du 19 au 21 avril
  - Du 26 au 30 avril
  - Du 10 au 13 mai
  - Du 31 mai au 4 juin
  - Du 21 au 22 juin
- } observations du stade feuillaison
- chatons mâles en cours de croissance, floraison non démarrée
- Observations du stade floraison

Lors des trois premiers passages sur le terrain, j'ai pu observer les châtaigniers pendant leur phase de feuillaison. Le tout premier passage m'a permis d'être introduite par mon maître de stage aux castanéiculteurs et de me familiariser avec les observations phénologiques. Pour cette première session, nous prenions nos notes à la main, dans un tableau. Lors des sessions suivantes, un formulaire a été créé pour le stade de feuillaison et, plus tard, pour le stade de floraison afin d'utiliser une application de collecte de données disponible sur tablette : ODK Collect.

La période sur le terrain du 31 mai au 4 juin m'a permis de vérifier que le stade de la floraison n'avait pas encore démarré. J'ai fait le tour des arbres sur les trois sites et j'ai pu observer les chatons en croissance avec leurs fleurs non mûres. Les deux derniers passages sur le terrain m'ont permis de réaliser les observations pour le stade floraison.

Le stade feuillaison commence du bourgeon dormant jusqu'au stade feuille étalée, en passant par bourgeon éclaté et feuille dressée, comme présenté sur la figure 4. Pour chacune de ces étapes de la feuillaison, on note que le stade est soit non observé, soit à 10% soit à 50%. L'arbre est considéré à 10% d'une étape de la feuillaison dès que celle-ci est visible sur l'arbre. L'arbre sera considéré à 50% dès lors que les 10% sont passés, c'est-à-dire qu'on considère qu'il est en « vitesse de croisière » sur cette étape de la feuillaison. J'ai également noté l'exposition de chaque arbre (adret, exposition sud ou ubac, exposition nord) ainsi que le nombre d'arbres avec lesquels il était en contact. Ces données pourront servir pour la suite du projet ROC-CHA : l'exposition joue sur les conditions d'ensoleillement et le contact entre arbres est suspecté de favoriser l'apparition d'une maladie bien connue des castanéiculteurs : le chancre.



**Figure 4 :** Photographies des stades bourgeon éclaté (a), feuille dressée (b) et feuille étalée (c) du stade feuillaison ; © Maya Lasserre

Pour le stade floraison, de la même manière que pour la feuillaison, on note si le stade est “non observé”, “10%” ou “50%” cette fois pour les fleurs mâles des chatons unisexuels, les fleurs mâles des chatons bisexuels et les fleurs femelles des chatons bisexuels (voir figure 5). Nous avons aussi noté la longueur des étamines. Pour créer ce formulaire, nous nous sommes appuyées sur l'article de Larue et al. (2020) et sur l'expérience précédente du projet ROC-CHA.



(a)



(b)

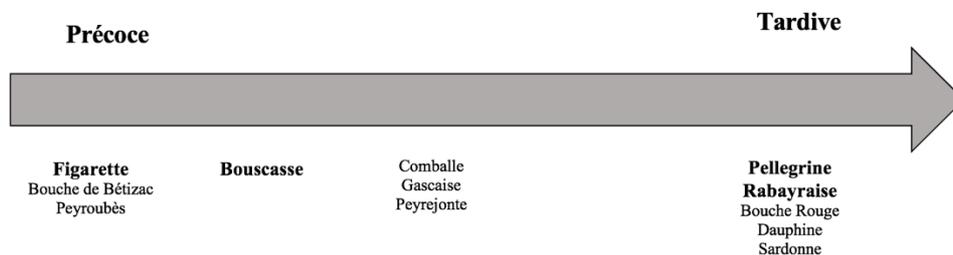
**Figure 5** : Photographie de fleurs mâles longistaminées (a) et de fleurs femelles ouvertes (b) sur des rameaux bisexués dont les fleurs mâles ne sont pas encore matures ; © Maya Lasserre

## 5.2- Choix des variétés suivies

Les châtaigniers choisis par le projet ROC-CHA étaient représentatifs de la diversité variétale de chacun des sites de référence. Parmi ces variétés déjà identifiées, nous avons rajouté des individus supplémentaires parmi trois variétés communes aux trois sites (Figarette, Rabayraise et Pellegrine) ainsi que des Bouscasse, de manière à disposer de deux arbres minimums et cinq maximums par site pour ces variétés lorsque c'était possible, c'est-à-dire quand les castanéiculteurs disposaient du nombre souhaité d'arbres. Ainsi, nous disposons d'un échantillon juste assez large pour que nos observations soient statistiquement pertinentes.

Le nombre de cinq arbres maximums par variété a été choisi pour ne pas avoir un nombre d'arbres étudiés trop grand pour des raisons de logistique à la fois dans le cadre de ce stage mais aussi dans ROC-CHA, car les suivis seront totalement confiés aux castanéiculteurs.

Parmi toutes les variétés étudiées, certaines variétés sont dites précoces, c'est-à-dire arrivant plutôt tôt dans la saison et d'autres tardives, moins en avance, comme présenté en figure 6. Les variétés faisant l'objet d'observations phénologiques, sont soit précoces, tardives ou intermédiaires. Les Bouscasses sont généralement perçus comme plutôt précoces par les castanéiculteurs.



**Figure 6** : Classement des variétés et Bouscasses selon un axe de précocité, selon les castanéiculteurs

Ainsi, dans le cadre du stage, j'ai réalisé les suivis phénologiques de tous les arbres identifiés dans ROC-CHA ainsi que ceux rajoutés pour les variétés Pellegrine, Rabayraise et Figarette ainsi que les Bouscasses. Pour la modélisation phénoclimatique, je ne me suis servie que des variétés Pellegrine, Rabayraise et Figarette et des Bouscasses car ils sont communs aux

trois sites et en nombre suffisamment important pour pouvoir les comparer par rapport aux différentes altitudes de ces sites. Le tableau 2 présente le nombre d'arbres étudiés pour ces variétés sur chacun des trois sites de référence.

Tableau 2 : Nombre d'arbres étudiés pour l'analyse et dans le cadre de la modélisation phénoclimatique

	Site 2- La Jasse	Site 3A- Le Plantier	Site 3B- Le Régent
<b>Pellegrine</b>	5	5	5
<b>Rabayraise</b>	3	5	5
<b>Figarette</b>	2	5	5
<b>Bouscasse</b>	3	5	3

### 5.3- Modalités de collaboration avec les référents de site

Le travail de co-construction et de collaboration avec les référents de site est au cœur du projet ROC-CHA et a aussi été un élément du stage. Les référents de site m'ont donné de leur temps pour les entretiens d'ethnoécologie mais aussi pour me faire visiter la châtaigneraie et parfois m'accompagner lors de mes observations de phénologie. Un guide de suivi de phénologie leur a été donné par les responsables de ROC-CHA, en plus des informations sur la réalisation des observations, et des échanges ayant eu lieu lors des passages sur le terrain.

Les référents de site ont réalisé de premières observations eux même pour le stade 50% de feuilles étalées au mois de juin et ont continué ce travail durant l'été pour la fin du stade floraison. Cette collaboration présente de nombreux avantages : impliquer les castanéiculteurs dans le projet ROC-CHA, consolider la méthode d'observations phénologiques pour qu'elle soit accessible à tous et puisse être réalisée sur une échelle géographique et temporelle plus grande, et enfin multiplier les observations phénologiques aux périodes clefs de l'écologie du châtaignier pour gagner en précision des données. Cependant, la floraison a été très complexe à observer cette année car le mauvais temps combiné avec les grandes amplitudes thermiques a entraîné la chute de nombreux chatons avant qu'ils ne soient matures. Les observations phénologiques des castanéiculteurs ont donc été plus complexes à recueillir que prévu.

### 5.4- Tri des données et modélisation phénoclimatique

Une fois que les observations phénologiques ont été rentrées sur l'application ODK Collet directement sur le terrain, les données peuvent être exportées. Elles se présentent alors sous la forme de tableaux avec pour chaque arbre le stade noté "non observé", "10%" ou "50%" pour une seule date.

Pour le travail de modélisation, il nous fallait les données sous forme d'un tableau avec les dates associées aux stades 10% et 50% pour chaque stade de la feuillaison et de la floraison. J'ai donc reconverti manuellement ces données en un tableau récapitulatif avec les dates d'observation de chaque stade. Pour le stade feuillaison, nous n'avons pas pu observer tous les stades pour tous les arbres car nous n'étions pas sur place et le travail collaboratif de suivis phénologiques n'était pas encore au point : nous avons donc des données manquantes. Pour la floraison, nous avons réalisé un seul passage sur le terrain, avant de passer la main aux référents

de site. En raison des difficultés rencontrées lors de la floraison, seule le stade feuillaison de 2021 a été utilisé pour l'analyse et la modélisation. Pour les analyses et la modélisation phénoclimatique, je me suis intéressée au stade 50% de feuilles étalées car il n'y avait pas de données manquantes sur ce stade et les données sont plus précises car il y a eu trois passages sur le terrain dont deux que j'ai réalisés moi-même et un réalisé par les référents de site.

Le travail autour de la modélisation de la phénologie du châtaignier s'est fait avec l'aide d'Isabelle Chuine, chercheur au CEFÉ, partenaire du projet ROC-CHA sur les aspects de modélisation phénoclimatique. Nous souhaitions au départ utiliser le modèle Phenofit pour le stage mais il s'est avéré qu'il fallait des données bien plus conséquentes avec des observations phénologiques plus précises qui nécessitent davantage de passages sur le terrain et sur plusieurs années, pour l'utiliser. Le choix s'est donc porté sur le logiciel PMP, afin de mettre en place un modèle plus simple, en utilisant nos données de la feuillaison de 2021 et les données météorologiques issues des stations météorologiques installées en 2020 sur les trois sites de référence, dans le cadre du projet ROC-CHA. Les données météorologiques nécessaires étaient les températures moyennes journalières, les températures minimales journalières et les températures maximales journalières.

Les dates de feuillaison devaient être en nombre de jour annuel et les températures en degrés Celsius. Les dates de feuillaison pour chaque variété ont été calculées en faisant la moyenne des dates observées pour chaque arbre d'une même variété sur un même site. J'ai donc obtenu une moyenne de nombres de jours annuels par variété et par site.

L'année 2021 étant en cours, nous avons utilisé les données de températures de 2021 jusqu'à juin et celles de 2020 pour la fin de l'année. Pour la modélisation, j'ai utilisé le modèle à 1-phase Growing Degree Days, disponible sur PMP, qui est un modèle adapté à notre nombre de données.

Les fichiers d'entrée étaient le tableau des nombres de jours annuels des stades de feuillaison de 2021 (présenté en annexe 6) et les données météorologiques de températures de l'année 2021. PMP prédit ensuite des nombres de jours de stades phénologiques. Pour réaliser ces prédictions, le modèle utilise la date  $t_0$  à partir de laquelle la croissance cellulaire a lieu (voir annexe 7). Cette date peut être laissée libre ou fixée dans le modèle. Ici,  $t_0$  a été fixée au 1<sup>er</sup> Janvier 2021 car la laisser libre diminuait fortement l'efficacité du modèle, qui est un indicateur de sa pertinence. La date du 1<sup>er</sup> Janvier est celle attribuée pour la plupart des espèces d'arbres dans ce type de modélisation et c'est celle qui nous a permis d'obtenir la meilleure efficacité possible, c'est-à-dire la plus proche possible de 1. Nous avons un modèle qui calcule la température  $T_b$  à partir de laquelle la croissance cellulaire commence, ainsi que le  $F^*$  (ou  $SS_{star}$ ) qui correspond aux unités de forçage nécessaire à la levée de l'écodormance. A partir de ces paramètres, PMP prédit un nombre de jour annuel de stade phénologique que l'on choisit.

## IV) Résultats

### 1- Profil des agriculteurs interrogés

Les entretiens ethnoécologiques ont porté sur un échantillon de quatorze personnes, constitué de quatre 'jeunes' de 30 à 40 ans et dix 'âgés' de 60 à 80 ans. Parmi eux, huit sont des agriculteurs actifs, trois sont retraités de la profession d'agriculteurs mais toujours actifs sur leur châtaigneraie et trois sont retraités d'un métier non agricole mais participent aussi activement à la gestion de leur châtaigneraie. Pour ce qui est de leurs activités, autres que la châtaigneraie, dix ont une activité de maraîchage, huit ont une activité d'élevage, sept ont des vergers fruitiers, sept pratiquent la cueillette de champignons et trois ont une activité apicole, dont un est strictement apiculteur.

J'ai attribué un code à chaque individu, ainsi qu'une note d'expertise par activité, établie en fonction d'une multitude de critères émergents au cours des entretiens tels que la durée de travail quotidienne utilisée par l'agriculteur pour cette activité, le temps accordé à cette activité lors de l'entretien ou encore la passion émanant de l'agriculteur dans ce domaine de travail. Pour l'expertise sur la châtaigneraie, les critères portaient sur l'identification des variétés, le greffage, la phénologie, les espèces associées et la taille et la gestion de l'arbre. Ces résultats sont présentés en annexe 8.

### 2- Indicateurs locaux d'impacts du changement climatique (LICCI)

#### 2.1- Indicateurs locaux d'impacts du changement climatique issus du protocole 1

Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique recueillis à partir du protocole 1 sur l'agroécosystème hors châtaigneraie, peuvent être classés en quatre catégories distinctes : les LICCI agricoles, les LICCI biologiques, les LICCI climatiques et les LICCI physiques. Au total, j'ai recueilli 140 LICCI différents, toutes catégories confondues. Les différentes catégories de LICCI recueillis se répartissent ainsi : 63 LICCI agricoles, 37 LICCI Climatiques, 33 LICCI biologiques et 7 LICCI Physiques.

Ainsi, comme représenté dans la figure 7, 45% des LICCI recueillis sont agricoles, 26% sont climatiques, 24% sont biologiques et 5% sont physiques.

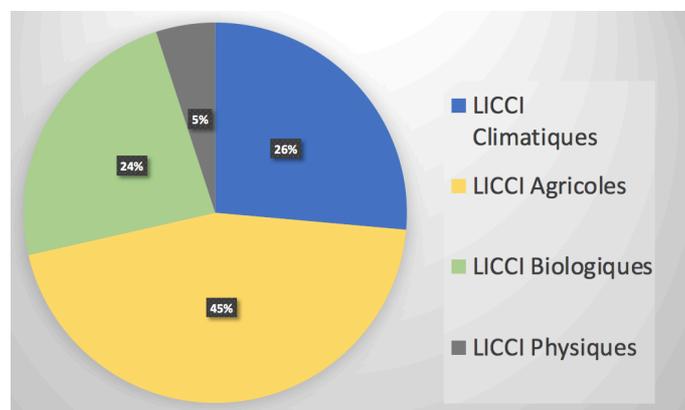


Figure 7 : Répartition des LICCI issus du protocole 1

## 2.2- LICCI agricoles

Les LICCI agricoles renvoient à la catégorie appelée « socio-économique » par Reyes-García et al. (2016). Ces indicateurs locaux d'impacts observés portent sur les activités agricoles de l'agroécosystème à châtaigneraie et sont attribués à des événements climatiques inhabituels. Ces événements climatiques touchent les activités agricoles suivantes : le maraîchage, l'apiculture, les vergers fruitiers et l'élevage, notamment à travers l'impact sur la production d'herbe.

Parmi ces indicateurs locaux d'impacts du changement climatique, certains sont énoncés comme un impact agricole, sans que les individus n'aient identifié le phénomène climatique en cause, même si implicitement, vue la question posée, la cause est le changement climatique. Dans ce cas, nous n'avons gardé que les citations pour lesquelles les personnes disaient que le changement climatique était la cause, sans identification d'un événement climatique et nous avons nommé la catégorie climatique à laquelle ils appartiennent 'changement climatique'.

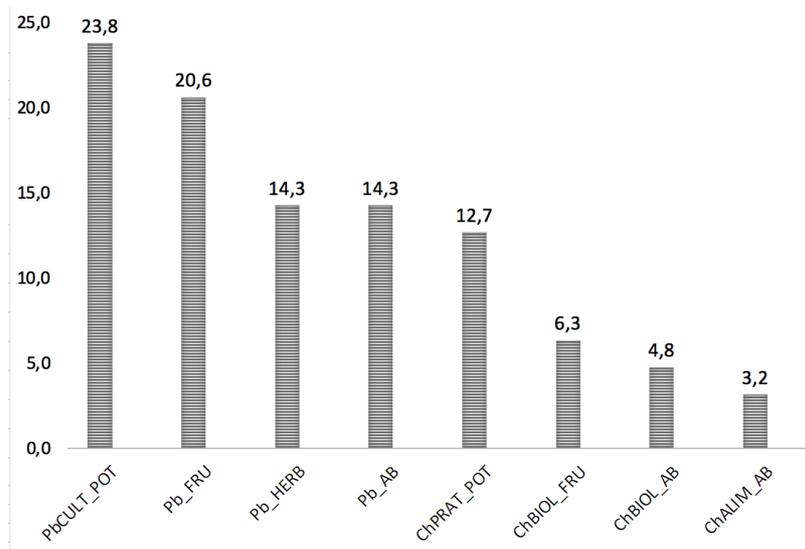
Ainsi, chaque LICCI est une phrase qui part d'un événement climatique précis inhabituel (ou le changement climatique en général, comme expliqué ci-dessus) et son impact sur une activité agricole précise ou inversement qui décrit un impact auquel la personne attribue des événements climatiques. Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique recueillis sont présentés dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** Catégories d'indicateurs locaux des impacts du changement climatique sur les éléments de l'agroécosystème hormis la partie châtaigneraie

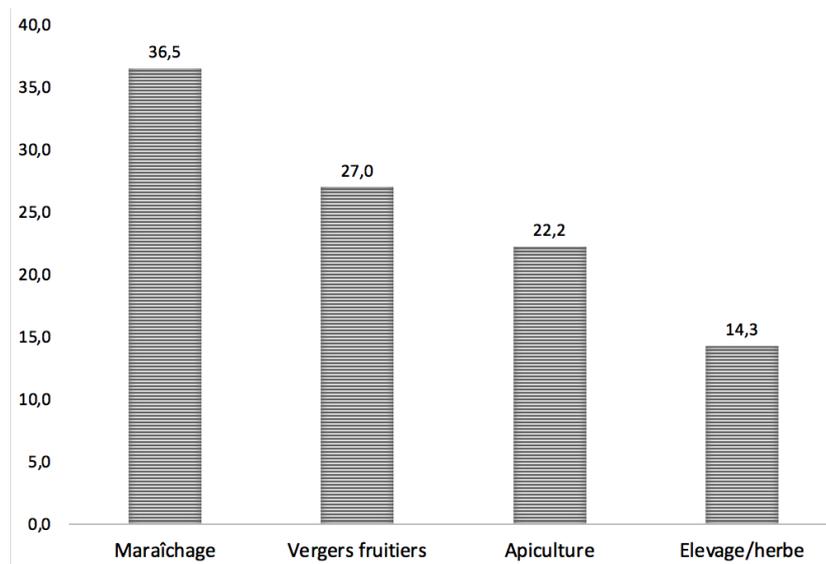
<b>Catégories d'indicateurs locaux des impacts du changement climatique</b>	<b>Description</b>
ChBIOL_FRU	changements dans la phénologie des fruitiers
Pb_FRU	mortalité des fruitiers, dégâts sur les feuilles/fleurs/fruits
ChALIM_AB	perte d'autonomie alimentaire des abeilles
ChBIOL_AB	avancement de la date d'essaimage ou de ponte des abeilles
Pb_AB	diminution de la production de miel et augmentation de la fragilité
Pb_HERBE	diminution de la repousse de l'herbe
PbCULT_POT	dégâts sur les légumes, légumes abîmés
ChPRAT_POT	changements dans les pratiques potagères : avancement/retard des semis, avancement de l'arrosage, paillage

Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les éléments de l'agroécosystème hormis la partie châtaigneraie sont majoritairement des impacts directs, dans plus de 70% des LICCI agricoles. Ces impacts directs sont des dégâts sur les légumes, une mortalité des fruitiers avec des dégâts sur les feuilles/fleurs/fruits, une diminution de la production d'herbe et une baisse de la production de miel des abeilles, associée à une augmentation de leur fragilité (figure 8). Les impacts indirects sont les changements de pratiques potagères ainsi que la perte d'autonomie alimentaire des abeilles. Les indicateurs

locaux d'impacts portent majoritairement sur l'activité maraîchage puis vergers fruitiers, comme indiqué en figure 9.



**Figure 8 :** Pourcentages de LICCI des différentes catégories de LICCI directs et indirects



**Figure 9 :** Pourcentages de LICCI intégrant les LICCI indirects par activités agricoles

Différentes catégories climatiques locales, qui sont aussi des indicateurs locaux de changement climatique, impactent les précédents indicateurs locaux et peuvent être regroupées dans des catégories météorologiques comme les précipitations, le gel, les températures, l'ensoleillement, la sécheresse ou le changement climatique en général. Les catégories climatiques locales sont très diversifiées et sont exprimées à travers des énoncés complexes tels que :

- "On a des hivers doux et des coups de froids tardifs depuis quelques années. Les gelées tardives impactent les fruitiers et les pluies printanières gênent la nouaison."

- "J'enlève les hausses le 15 juillet normalement et elles [les abeilles] ont le temps de stocker leur miel de réserve en bas de la ruche. Maintenant, depuis 2-3 ans je dois nourrir car il fait chaud et les plantes produisent moins de nectar. La bruyère par exemple fait partie du miel de stockage mais la floraison est devenue très courte : elles grillent car il fait trop chaud."
- "Ça fait quelques années que les cerisiers gèlent. Ils font moins de fruits et ils sont véreux. C'est dû au gel tardif et au fait qu'il pleuve pendant que les cerises mûrissent."
- "Les poivrons et les tomates prennent des coups de soleil ces derniers étés".

Les agriculteurs associent des catégories climatiques locales telles que les 'hivers doux' et les 'coups de froids tardifs' qui combinées ont un impact sur des indicateurs locaux tels que les dégâts sur les fruitiers par exemple. Les individus notent aussi des changements dans l'intensité de certains événements climatiques avec par exemple les termes « coups de soleil » ou « la chaleur a brûlé les tomates ». La saisonnalité des événements climatiques a aussi été évoquée par les agriculteurs avec par exemple « le gel tardif » ou le fait « qu'il pleuve pendant que les cerises mûrissent ». Ils notent alors une anomalie entre le phénomène climatique observé et la saison en cours.

Parfois, les facteurs sont multiples et les indicateurs locaux des impacts du changement climatique le sont aussi, avec un effet boule de neige. Par exemple dans la seconde citation, l'apiculteur mentionne l'impact de la chaleur sur les plantes et plus précisément sur leur production de nectar. Cette baisse de production de nectar se répercute ensuite sur la production de miel par les abeilles. Dans cette même citation, on a une différenciation entre un avant et un après. L'apiculteur considère l'avant comme la normalité, dans laquelle les abeilles ont le temps de stocker le miel d'ici de 15 juillet, date à laquelle il enlève les hausses. L'après est daté à il y a « 2-3 ans », où la normalité n'a plus sa place et l'apiculteur est contraint de « nourrir » car « les plantes produisent moins de nectar ».

En termes de temporalité des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique, il y a la mention de « quelques années » ou « ces derniers étés » mais aussi des indicateurs locaux d'impacts plus anciens : « depuis 10 ans ». Parfois, les agriculteurs se souviennent d'indicateurs locaux d'impacts qui sont apparus une année précise comme « En 2019 et 2020 » ou « En 2020 et 2021 » par exemple. Ils comparent aussi les indicateurs par rapport à un « avant » qui serait la normalité, selon eux.

Ces énoncés montrent que les agriculteurs observent la météo et le climat sur leur territoire, en notant des modifications de fréquence, de succession d'événements inhabituelles, d'intensité et de temporalité (longueur des événements) mais aussi de la saisonnalité de divers événements climatiques (avec des avancées et des retards). Les catégories climatiques locales et les pourcentages associés sont présentés en annexe 9.

Si on regroupe les catégories climatiques locales en catégories météorologiques (voir annexe 10), les températures et le changement climatique en général sont les plus représentées (respectivement 27% et 22%). Après avoir réalisé un test de Kruskal-Wallis, utilisé pour des statistiques non paramétriques (moins de 30 individus), on obtient une  $p\_value = 0.32$  ce qui est supérieur au seuil de signification de 0.05. Les différences ne sont donc pas significatives entre les catégories météorologiques, à cause du faible nombre de données. Cependant, dans le cadre de notre étude expérimentale, avec l'échantillon d'individus dont nous disposons, on constate que les températures font parties des catégories météorologiques pour lesquelles les individus interrogés observent le plus de modifications. Néanmoins, d'autres catégories sont aussi importantes comme les précipitations, le gel ou la sécheresse.

Les agriculteurs notent des changements très précis sur les températures : ils évoquent notamment les « pics de chaleur à 35-40°C » ou alors le réchauffement à une saison précise, par exemple en hiver. Ils ont donc insisté sur l'intensité et le changement dans la saisonnalité des températures au cours des entretiens.

Pour les précipitations, les agriculteurs notent un « manque de pluie » souvent en début de printemps ou au mois d'août. Il y a des pluies qu'ils considèrent aussi comme anormales, notamment dans leur saisonnalité : la pluie au printemps et le « glissement des périodes de pluies vers le printemps ».

La temporalité de ces changements dans les températures et dans les pluies est de « quelques années » à « depuis 10 ans », selon les agriculteurs.

Concernant l'activité maraîchage, les agriculteurs notent des dégâts sur leurs cultures potagères et ont tenté des pratiques d'adaptations de leurs pratiques agricoles. Les dégâts sur les cultures potagères sont parfois des légumes abîmés par un ou des événements climatiques associés ou un changement dans la biologie de la plante, ce qui peut nuire à sa culture comme par exemple :

- "En octobre, on plante les fèves. Normalement le froid de l'hiver (il faut des températures inférieures à 5°C) les stoppe [leur croissance] mais cette année ça n'a pas été le cas. Elles ont été très grandes mais le risque c'est qu'elles se cassent s'il neige."

Les fortes chaleurs sont analysées par les agriculteurs en lien avec leurs répercussions sur les végétaux : ils observent le blanchiment des feuilles qu'ils associent à du stress hydrique. L'ensoleillement très fort, le « soleil brûlant », entraîne selon eux l'apparition de taches noires sur certains fruits et légumes tels que les tomates ou les poivrons. Le glissement des périodes de pluies vers le début ou milieu du printemps entraîne selon eux du pourrissement des graines de certains semis comme les haricots. Le manque d'eau entraîne aussi une souffrance pour certains végétaux, tels que les pommes de terre.

Lorsque les agriculteurs opèrent des changements de pratiques il s'agit souvent d'un avancement de la date d'arrosage, pour palier à la diminution des précipitations et à l'augmentation des températures notamment en fin d'hiver. Le paillage du sol est aussi une des adaptations de leurs pratiques. Les dates de semis sont parfois modifiées : elles peuvent être avancées pour profiter des températures plus élevées ou retardées pour éviter les gelées tardives. Un des agriculteurs a aussi évoqué la mise en place d'un jardin d'hiver en plus du jardin d'été pour compléter son autonomie alimentaire. En effet, il est selon lui de plus en plus compliqué de vivre uniquement sur le jardin d'été à cause du manque d'eau.

Les LICCI relatifs à l'apiculture se répartissent en trois catégories : les impacts sur la productivité des abeilles avec une diminution de la production de miel et une augmentation de leur fragilité, un changement dans la biologie des abeilles (modification de la date d'essaimage ou de ponte) mais aussi une perte d'autonomie alimentaire des abeilles, liée à d'autres facteurs. En ce qui concerne les impacts indirects sur les abeilles, c'est principalement la sécheresse et les températures élevées qui brûlent les fleurs de bruyère et de châtaignier, raccourcissant ainsi la phase de floraison et entraînant donc une diminution de la quantité de miel produite. Dans ce cas l'observation porte sur des interactions biotiques complexes. La disparition des abeilles sauvages est aussi un des impacts indirects du changement climatique puisqu'elle semblerait liée à d'autres facteurs tels que le varroa, maladie très connue affectant les ruchers dans toute l'Europe, ou le frelon asiatique, eux-mêmes pouvant être favorisés par le changement climatique, selon les personnes interrogées. La perte d'autonomie alimentaire des abeilles aurait,

selon les apiculteurs, un lien avec le décalage des pluies de l'hiver vers le printemps, entraînant la chute des fleurs.

La biologie des abeilles est impactée directement par les températures, qui sont la cause d'un avancement de la date de ponte de la reine. Cela peut ensuite créer un effet boule de neige si l'augmentation des températures n'est que ponctuelle : les larves ne peuvent pas être nourries par les abeilles car les fleurs ne sont pas assez abondantes. Des modifications dans la date d'essaimage ont aussi été notées comme étant reliées au changement climatique mais sans identification précise de l'évènement climatique en cause.

Pour ce qui est des vergers fruitiers, les agriculteurs observent des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique de mortalité de leurs arbres et de dégâts sur les feuilles, les fleurs mais aussi les fruits. Le gel tardif qui semble plus fréquent désormais impacte souvent négativement la floraison, selon eux. Les températures anormalement élevées observées par les agriculteurs en été entraînent la chute de pommes non mûres et ils considèrent que l'ensoleillement anormalement fort est à l'origine de taches noires sur les fruits. Selon eux, les vergers fruitiers subissent également des modifications dans leur phénologie avec un avancement du bourgeonnement et de la floraison, dû aux températures anormalement élevées en début de printemps, ce qui revient aussi à un changement dans la biologie des fruitiers.

L'activité de l'élevage associée à la production d'herbe est elle aussi touchée par le changement climatique. Le manque d'herbe et l'assèchement des prés est causé selon les éleveurs par l'absence de pluies, en particulier au mois d'août, ainsi que par la sécheresse automnale et les petites gelées tardives. Les agriculteurs ont insisté sur l'absence de repousse de l'herbe en septembre, qui les pousse à acheter davantage de fourrages. Un autre facteur a aussi été évoqué : le gibier qui prolifère et fait des dégâts dans les prés.

Ainsi, l'étude des LICCI agricoles nous permet de mettre en lumière la diversité et la complexité des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique perçus par les agriculteurs, eux même associés à des catégories climatiques locales précises faisant appel à des séquences complexes d'observations d'évènements de surcroît peu connus par eux car inhabituels pour certains.

### 2.3- LICCI biologiques

Les LICCI biologiques selon Reyes-García et al. (2016) sont liés aux observations de changements dans la distribution, l'abondance, les schémas de migration ou la morphologie de plantes, animaux ou insectes sauvages. Ceux que j'ai recueillis font mention de divers éléments écologiques présents dans l'environnement des agriculteurs interrogés que l'on peut retrouver dans des propos tels que :

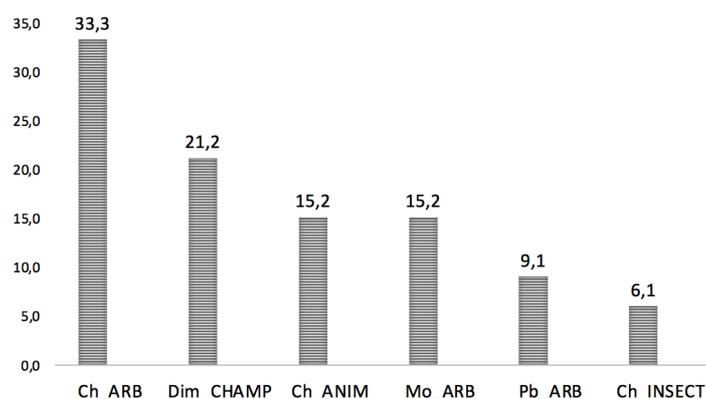
- "Des girolles, des pieds de moutons, il y en a de moins en moins. Il y a 7 ans, on a ramassé des clefs entières de chanterelles à tube à Font Mort et c'est pas arrivé depuis. C'est lié à la sécheresse, l'humus est sec, le mycélium se développe moins."
- "Même les chênes verts arrivent à mourir [de la sécheresse, manque d'eau]. Les chênes verts envahissent, ils montent [en altitude], on en voit jusqu'à la crête alors qu'avant non."

- "Avant il n'y avait pas de cigales ici, maintenant il y en a. Elles sont remontées depuis quelques années. C'est lié à la chaleur : les hivers sont moins rigoureux. Ça fait 10 ans qu'il y en a."

La figure 10 et le tableau 4 présentent les différentes catégories d'indicateurs locaux mentionnés par les individus : les animaux sauvages, les insectes, les arbres et arbustes sauvages et les champignons. On remarque que les catégories les plus impactées sont les arbres et arbustes sauvages ainsi que les champignons.

**Tableau 4** : Description des indicateurs locaux d'impacts sur le système biologique

Code Catégorie d'indicateurs locaux	Description
Ch_ANIMAUX	Changements dans la distribution ou la quantité d'animaux sauvages
Ch_INSECT	Changements dans la distribution des insectes ou diminution
Ch_ARB	Changements dans la répartition des arbres et arbustes sauvages
Mo_ARB	mort d'arbres et arbustes sauvages
Pb_ARB	dégâts sur les arbres ou autres espèces végétales sauvages
Dim_CHAMP	Diminution voir disparition des champignons



**Figure 10** : Présentation des indicateurs locaux des impacts du changement climatique et proportions associées

Les catégories climatiques locales associées à ces catégories biologiques dans les LICCI biologiques sont présentées dans l'annexe 11. La sécheresse anormale et exceptionnelle est l'évènement climatique qui impacte le plus les indicateurs locaux présentés ci-dessus. On note que le changement climatique en général est la seconde catégorie climatique principale. Ainsi, les agriculteurs enquêtés ne donnent pas une importance ou ne distinguent pas l'évènement climatique en cause.

La cueillette des champignons est impactée par le changement climatique. En effet, les cueilleurs de champignons de cette zone observent des épisodes de sécheresse, ainsi que la diminution de l'intensité des précipitations à l'automne, ce qui entraîne selon eux une diminution des champignons, ainsi que la disparition de certaines espèces, dans des zones précises.

Leur observation de la sécheresse associée à des températures élevées et la diminution des précipitations entraînent selon eux la diminution des oiseaux et des insectes, tels que les sauterelles. Ils observent que les cigales ont quant à elles changé leur aire de répartition, en profitant des températures qui augmentent en altitude pour s'installer dans des zones plus montagneuses. D'après eux ces températures sont aussi propices aux gibiers, notamment via un allongement observé de leur période de reproduction.

Concernant les espèces arborées ou arbustives sauvages, ils observent que le chêne vert semble à la fois profiter de l'augmentation des températures en étendant son aire de répartition (on le trouve plus en altitude et sur des versants en ubac) mais aussi en subir les conséquences puisque les épisodes de sécheresses intenses tuent certains individus. Le thym et la bruyère sont eux aussi « grillés » lors des fortes sécheresses.

Les indicateurs locaux d'impacts sur le système biologique remontent à quelques années jusqu'à plus de dix ans, selon les agriculteurs. Ils font également des comparaisons entre un "avant" et un "après".

## 2.4- LICCI climatiques

La diversité de catégories climatiques locales (voir annexe 12) des LICCI climatiques permet de comprendre comment les agriculteurs interrogés observent leur environnement et comment ils associent les événements météorologiques à des éléments spécifiques, des espèces en particulier et dès lors comment l'impact sur ces espèces leur sert d'indicateurs des changements climatiques en cours. Les informations qu'ils nous donnent sur la météo donnent des précisions typiques des savoirs locaux car les observations sont associées à des événements qu'ils connaissent depuis longtemps, et dont les changements observés sont totalement imprévus : ils observent par exemple des orages du mois d'août, qui se font de plus en plus rares, ou du gel qui atteint le sol de moins en moins profondément. Les personnes perçoivent et observent aussi un changement dans la saisonnalité des événements climatiques : le décalage des épisodes de pluies de l'hiver vers le printemps, les températures douces en fin d'hiver suivies de gel tardif ou les pluies du 15 août qui arrivent au 15 septembre par exemple. Les agriculteurs notent différents types de pluies et comment celles-ci sont impactées par le changement climatique avec des citations telles que :

- "Les pluies torrentielles il y en a plus et elles tombent n'importe quand."
- "Les anciennes pluies du 15 Août maintenant elles sont plus près du 15 Septembre que d'Août [depuis 3-4 ans]."

Les agriculteurs associent parfois plusieurs événements climatiques : "Il fait beau en mars/avril puis ça se gâte avec pluie et gel". Ils observent ainsi des bouleversements de certains événements climatiques à des saisons et pour des intensités précises.

## 2.5- LICCI physiques

Les LICCI sur les systèmes physiques font référence à l'hydrologie et à la cryosphère d'après Reyes-García et al. (2016) : ce sont des informations sur la couverture neigeuse, la glace sur les lacs, le permafrost... Dans mon étude, j'ai classé dans les LICCI physiques les événements climatiques qui impactent les sources et l'eau du sol. Les informations données par les agriculteurs sur la neige concernaient davantage les précipitations neigeuses que la couverture neigeuse, et je les ai donc classés dans les LICCI Climatiques.

Les LICCI physiques nous permettent d'identifier l'impact de la diminution de l'intensité et de la fréquence des pluies sur les sources, puisque celles-ci tarissent de plus en plus tôt dans la saison estivale. La diminution de la fréquence des précipitations neigeuses entraîne quant à elle une diminution de la profondeur d'infiltration de l'eau dans le sol.

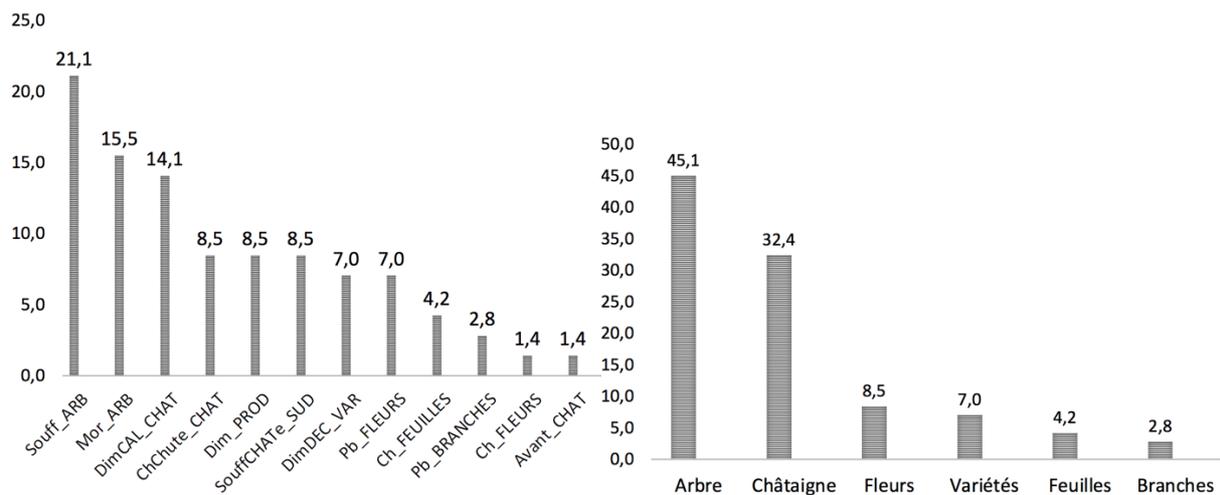
### 3- Présentation des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique issus du protocole 2

Les agriculteurs enquêtés identifient 71 indicateurs locaux d'impacts du changements climatiques dans le cadre du protocole 2 portant plus spécifiquement sur la partie châtaigneraie de l'agroécosystème étudié et qui était plus orienté sur des aspects phénologiques. Ces indicateurs locaux discernent des impacts soit sur les arbres dans leur ensemble ou sur des populations d'arbres, ou des impacts touchant plus particulièrement certaines variétés, ou sur les fruits (châtaignes), les branches ou les fleurs. Tous ces LICCI sont des catégories agricoles et associés à des indicateurs de climats, mais analysés à part car l'activité castanicole est différente des autres activités agricoles par son importance économique et culturelle dans les Cévennes. Le second protocole est entièrement dédié à cette part de l'agroécosystème qui est la châtaigneraie car tous les agroécosystèmes étudiés sont structurés par l'activité castanicole. Ces résultats et la façon dont les agriculteurs voient les indicateurs locaux climatiques sur un élément constitutif ne sont donc pas forcément indépendants de ce qui est observé sur les autres parties de l'agroécosystème puisqu'il qu'il s'agit d'un même espace agricole. Ce qui varie est en effet le type d'objet biologique et la nature de cet arbre particulier, le châtaignier.

La figure 11 et le tableau 5, nous permettent de noter les différents indicateurs locaux d'impacts sur les châtaigniers, selon les agriculteurs.

Tableau 5 : Description des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique

<b>Code indicateur local des impacts du changement climatique</b>	<b>Description</b>
Avant_CHAT	Impact positif sur la croissance des châtaignes
DimCAL_CHAT	Diminution du calibre des châtaignes
ChChute_CHAT	Retard ou avancement de la date de chute des bogues ; bogues qui restent sur l'arbre
Dim_PROD	Diminution de la production de châtaignes
DimDEC_VAR	Diminution du décalage entre la récolte des fruits des variétés précoces et tardives
Souff_ARB	Souffrance de l'arbre, affaiblissement
ChBIOL_ARB	Changements dans la phénologie : feuillaison, floraison et nouaison avec anomalies de chute des bogues
SouffCHATE_SUD	Souffrance accrue des arbres situés en Adret
Mor_ARB	Mortalité des arbres
Ch_FEUILLES	Jaunissement des feuilles ou feuillaison en avance
Pb_BRANCHES	Branches mortes ou cassées
Ch_FLEURS	Floraison en avance
Pb_FLEURS	Chute des fleurs



**Figure 11 :** Indicateurs d'impacts du changement climatique sur la châtaigneraie et pourcentages associés

Les catégories climatiques locales impactant les châtaigniers sont présentées dans le tableau 6. Les agriculteurs notent différentes modifications dans les pluies : ils observent la disparition des pluies et orages du 15 août, la disparition de la pluie notamment en automne et les épisodes de grêle exceptionnels. Ils notent également un décalage des périodes de pluies, et ils associent la diminution de la pluie à l'augmentation des températures. Les perturbations dans les précipitations concernent donc, selon les agriculteurs, leur saisonnalité et leur intensité. Les castanéculteurs ont aussi noté une augmentation des températures notamment en été avec des pointes à 40°C ainsi que le caractère anormal de la sécheresse et la violence du vent.

**Tableau 6 :** Présentation des catégories climatiques locales associées aux LICCI châtaigneraie

Code catégories climatiques locales	Description	Attributs
DispPLUIE_15/08	Disparition des pluies et orages du 15 Août	saisonnalité
Dim_PLUIE	Diminution de la pluie, notamment en automne	saisonnalité et intensité
Dim_PLUIE + Réchauf	Diminution de la pluie associée à une augmentation des températures	intensité
Ch_PLUIE	Décalage des périodes de pluies	saisonnalité
Ch_GRELE	épisode de grêle exceptionnel	saisonnalité et intensité
Réchauf	Augmentation des températures toutes saisons confondues	intensité
Réchauf_ETE	Augmentation des températures l'été, avec des pointes à 40°C	saisonnalité et intensité
Réchauf_PRINT + Ch_GEL	Augmentation des températures au printemps, suivi de la succession de petits gels	saisonnalité et intensité
Ch_SECH	Sécheresse anormale	intensité
Aug_VENT	Augmentation de la fréquence et de la violence des coups de vent	fréquence et intensité
CC	changement climatique en général sans identification spécifique d'un évènement	changement climatique

Les indicateurs locaux d'impacts climatique sur l'arbre dans sa globalité concernent sa mortalité accrue mais aussi des indicateurs de souffrance qui sont :

- "On a des pics de chaleur à 40°C depuis 4-5 ans. On ne l'avait pas avant. Le châtaignier n'aime pas trop. Il aime pas l'air sec à 40 °C. Les feuilles sont en drapeau, l'arbre essaye de se protéger."
- "Les coups de chaud et le manque d'eau fait souffrir le châtaignier. Les coups de chaud court ça va mais une longue sécheresse les impacte."

Parmi les agriculteurs interrogés, la sécheresse et la diminution des pluies sont les indicateurs les plus importants qui causent la mort de nombreux châtaigniers. D'après eux, les arbres souffrent surtout des gros pics de chaleur, qui sont parfois diurnes et nocturnes et plafonnent à 40°C. La sécheresse et le manque de pluie en particulier au 15 août font selon eux aussi souffrir les arbres. Les agriculteurs remarquent que ces indicateurs locaux d'impacts remontent à environ quatre ou cinq ans le plus souvent, mais parfois jusqu'à dix ans. Les castanéiculteurs ont insisté sur la souffrance toute particulière des arbres situés en adret. La châtaigneraie exposée au sud serait, selon eux, vouée à disparaître sauf s'il y a un bon sol, assez profond et retenant bien l'eau comme indiqué dans ces citations :

- "Les châtaigniers versant nord résistent mieux [que ceux versant sud]. Mais en adret, si les sols sont profonds, il y a une meilleure réserve d'eau et le châtaignier peut résister."

En ce qui concerne les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les châtaignes, les agriculteurs observent que la disparition des pluies du 15 août entraîne un manque d'eau pour l'arbre qui se répercute sur le calibre des châtaignes, qui est plus petit. Les agriculteurs observent cette baisse de calibre depuis quelques années, voire jusqu'à il y a dix ans pour certains. Selon leurs observations, le manque d'eau en automne ainsi que les sécheresses anormalement intenses associées à des températures anormalement élevées en été sont à l'origine de la diminution du calibre des châtaignes :

- "Il n'y a plus les orages du 15 août. Avant, il faisait chaud en juillet et on avait des orages au 15 août mais maintenant il n'y a plus d'orages et c'était eux qui faisaient grossir les châtaignes."
- "On a de plus en plus de sécheresse et les châtaignes ont un calibre plus petit. On le voyait pas avant. C'est à cause du manque d'eau."
- "Une année il a fait un temps très sec (40°C) et les châtaignes étaient sèches et très légères et petites."

La diminution de la production de châtaignes, en termes de tonnage est aussi un indicateur local d'impact noté par de nombreux castanéiculteurs, depuis cinq à sept ans. Cette fois-ci, ce sont les températures élevées au printemps ainsi que les fortes sécheresses et la diminution des pluies qui semblent en être à l'origine. Il y a aussi l'indicateur local d'impacts affectant les branches, qui se répercute sur la production de fruits. Cette diminution n'est pas décrite comme linéaire mais plutôt variable d'une année à l'autre mais ils constatent une baisse progressive de la production :

- "La production de châtaignes est de moins en moins élevée par arbre depuis 7-8 ans. C'est en dent de scie mais ça a tendance à baisser car il y a moins de branches à cause de la sécheresse [manque d'eau et pics chaleur]."

- "La production de châtaignes est en dent de scie mais à tendance à baisser."

La chute des bogues est un indicateur local d'impact relié à la sécheresse automnale et la disparition des pluies du 15 août. Certains indicateurs locaux d'impacts sont un avancement de la chute des bogues, qui est indissociable de la chute des châtaignes, notamment pour la variété Figurette, dont les bogues avec les châtaignes tombent de plus en plus tôt de quelques jours chaque année, depuis plusieurs années, selon les agriculteurs. La chute des bogues est donc selon leurs observations, perturbée par le manque d'eau et la sécheresse :

- "Il y a des changements dans la chute des fruits. Normalement la Figurette donne autour du 23 septembre (notamment en 2012 et 2019). Mais en 2017 la Figurette a donné le 17 septembre et en 2020 le 13 septembre donc ça a tendance à avancer depuis quelques années."

Au niveau des variétés, les agriculteurs interrogés ont insisté sur la diminution du décalage entre la chute des fruits des variétés précoces et des variétés tardives qui allait jusqu'à 1 mois auparavant et est désormais de 15 jours voire 1 semaine aujourd'hui. Ce changement remonterait, selon les agriculteurs, à trois à sept ans. Les agriculteurs en sont pleinement conscients, en lien avec l'impact sur leur travail :

- "Avant, il y avait 1 mois entre les premières châtaignes [précoces] et les dernières [tardives]. On avait le temps de ramasser. Maintenant c'est presque tout en même temps. Un décalage d'1 semaine c'est le bout du monde. On ne peut plus mettre les brebis là où c'est pas tombé car tout tombe en même temps."
- "Avant il y avait plus d'un mois entre les variétés précoces et tardives. Aujourd'hui c'est 15 jours max donc la saison est très courte."

Les indicateurs locaux d'impacts sur les fleurs, sont associés à des coups de chaleur au mois de juin qui les font griller et font tomber les chatons. Selon leurs observations, la phase de floraison qui s'étalait sur un mois auparavant, ne dure plus que 15 jours aujourd'hui, depuis environ deux ans. Cet indicateur de modification dans la phénologie du châtaignier est aussi lié à des indicateurs locaux d'impacts sur l'apiculture, ce qui montre des indicateurs locaux d'impacts ayant des effets liés, un des traits distinctifs des savoirs :

- "Ça fait 2 ans qu'il fait chaud pendant la floraison du châtaignier, les fleurs tombent et c'est un problème pour les abeilles. Il y a environ 10 ans, la floraison c'était du 15 juin au 15 juillet et on avait des bonnes récoltes [de miel]. Maintenant, la floraison dure moins de 15 jours car il y a un coup de chaud."

Certains individus ont aussi évoqué comme indicateur local l'avancement du début de la phase de floraison. En ce qui concerne les branches, les fortes sécheresses entraînent la mort de certaines d'entre elles l'année qui suit. L'augmentation de l'intensité du vent est aussi responsable de leur casse.

Les feuilles sont impactées par le changement climatique car les coups de chaleur les font jaunir avant l'automne (sans changement de la date de sénescence) et les températures anormalement élevées au printemps entraînent un avancement de la date de début de feuillaison.

Ainsi, les castanéiculteurs identifient de nombreux indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur la châtaigneraie. Ils observent leurs arbres et l'indicateur est le terme de 'souffrance' pour caractériser l'impact des dérèglements climatiques. Leurs arbres subissent la chaleur et le manque d'eau et les températures maximales que les arbres peuvent supporter sont de plus en plus souvent atteintes. Les agriculteurs observent aussi des indicateurs locaux d'impacts qui touchent les fruits, les feuilles et les branches.

#### 4- Analyse des LICCI selon les profils socio-professionnels

Je me suis ensuite questionnée sur un lien éventuel entre l'expertise des individus et les LICCI. J'ai émis l'hypothèse que l'expertise dans une activité impactait le nombre de LICCI sur cette activité pour un même individu. Étant donné que la notation sur l'expertise est une variable ordinale qualitative, j'ai réalisé des ANOVA. En considérant mon faible nombre de données, j'ai ensuite effectué des tests de Kruskal-Wallis, non paramétriques, recommandés lorsque le nombre d'individus est inférieur à 30 (ici  $n = 14$ ).

Pour l'activité maraîchage : les résultats de l'ANOVA réalisée sur R entre la variable de l'expertise en maraîchage et le nombre de LICCI sur le maraîchage indiquent une **p\_value = 0.079**. Bien que légèrement élevée par rapport au seuil de signification de 0.05, en considérant ces données expérimentales sur un échantillon inférieur à 30 individus, on peut conclure à des différences marginalement significatives et donc à un lien entre l'expertise en maraîchage et le nombre de LICCI sur cette même activité.

Le test de Kruskal-Wallis nous donne une **p-value = 0.183**, qui bien que supérieure à 0.05, sera considérée comme acceptable ici, pour les raisons évoquées précédemment.

Le même travail a été réalisé pour les autres activités et les différences se sont avérées significatives seulement pour l'activité apiculture, avec une **p\_value = 0.0065** pour le test ANOVA et **p\_value = 0.026** pour le test de Kruskal-Wallis. Ces deux valeurs sont inférieures au seuil de signification de 0.05 et on peut donc conclure à des différences significatives. Il y a donc un lien entre l'expertise en apiculture et le nombre de LICCI sur l'apiculture.

Je me suis ensuite questionnée sur une influence éventuelle de la durée qu'une personne a passée sur le territoire sur le nombre de LICCI mais les différences n'étaient pas significatives. Cependant, si on se questionne sur l'influence de la durée passée sur le territoire sur l'expertise par activité, on obtient des résultats plus intéressants.

Pour l'activité maraîchage : les résultats de l'ANOVA entre la variable du temps passé sur le territoire et l'expertise dans cette activité, on obtient une **p\_value = 0.037**, inférieure au seuil de signification de 0.05, ce qui indique que le temps passé dans une zone influe sur l'expertise des personnes en maraîchage.

Les différences n'étaient pas significatives pour les autres activités, ni pour la châtaigneraie.

Je me suis ensuite penchée sur l'impact éventuel de l'âge sur l'expertise ou le nombre de LICCI mais je n'ai trouvé ni corrélation ni significativité entre ces variables. Considérant mes données expérimentales, j'ai quand même effectué les tests de corrélation non

paramétriques de Kendall et de Spearman pour regarder s'il y avait une corrélation éventuelle entre l'âge et le nombre de LICCI, mais le coefficient de corrélation était proche de 0, ce qui indique une absence de corrélation visible.

Finalement, l'expertise dans une activité est reliée au nombre de LICCI ayant été mentionnés dans cette activité, mais les tests de corrélations ne peuvent pas être effectués, car la variable expertise est qualitative.

J'ai ensuite étudié les variables quantitatives du nombre de LICCI que chaque individu a mentionné : le total des LICCI, les LICCI sur la châtaigneraie, les LICCI sur le maraîchage, les LICCI sur l'apiculture et enfin les LICCI sur les arbres fruitiers. Pour cela, j'ai réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP), présentée en figure 12.

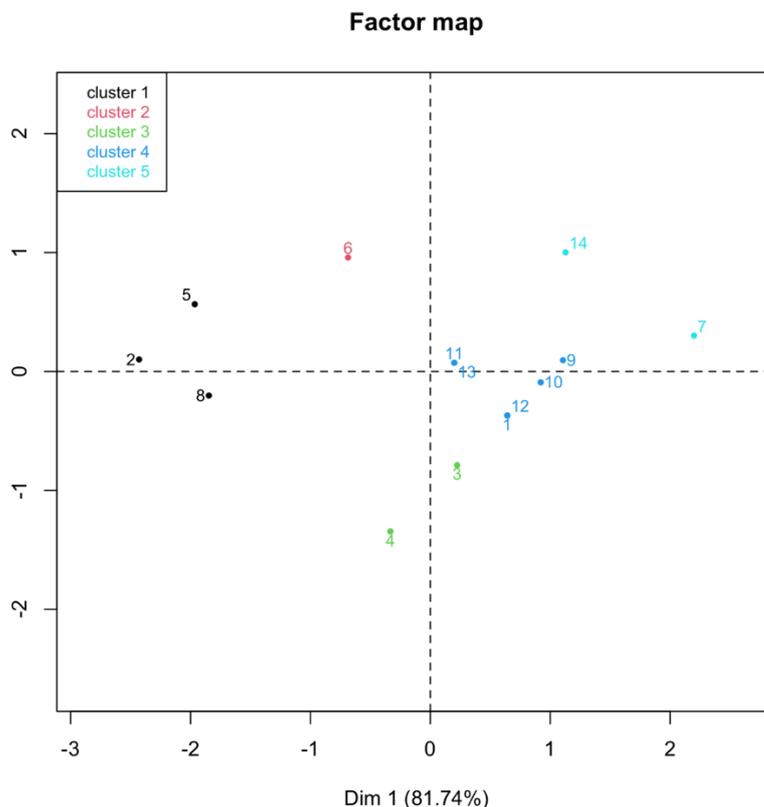


Figure 12 : Résultats de l'ACP avec positionnement des individus

La figure 12 nous permet d'identifier cinq groupes d'individus ayant donné un nombre de LICCI équivalent pour les catégories mentionnées plus haut :

- Groupe 1 : A10 et A8
- Groupe 2 : A3, A4, A5, et A6
- Groupe 3 : J1, J2, J3
- Groupe 4 : J4
- Groupe 5 : A7 et A9

On observe que les jeunes forment un groupe situé à gauche de la « Factor map », à l'exception de J4 qui forme un groupe à lui seul ce qui peut provenir du fait qu'il s'agisse d'un jeune issu d'une famille ancienne sur le territoire. Les jeunes auraient donc généralement

identifié un nombre de LICCI moindre par rapport aux anciens, au cours des entretiens, ce qu'on peut mettre en lien avec une connaissance moins importante du territoire et des observations plus récentes et peut être moins complètes et détaillées. Les anciens forment les groupes 1, 2 et 5. Le groupe 5 est constitué de l'apiculteur qui n'est pas castanéiculteur et est moins investi dans les autres activités agricoles et d'un castanéiculteur dont l'activité reste dans le cadre du loisir et qui ne réside sur place qu'une faible partie de l'année. Le groupe 1 est constitué de deux anciens nés sur le territoire et y ayant vécu toute leur vie. On remarque donc à nouveau une distinction sensible entre les jeunes et les anciens ainsi que le regroupement des individus ayant un investissement moindre dans la châtaigneraie et autres activités agricoles.

## 5- Présentation des données de phénologie

A partir du tableau de données de nombres de jours annuels des différents stades phénologiques présentés dans les matériels et méthodes, j'ai regardé si on pouvait noter des différences entre les variétés étudiées.

La figure 13 nous permet de constater qu'on observe des différences dans les dates à 50% de feuilles étalées pour les variétés étudiées. Après avoir effectué une ANOVA, j'ai obtenu un **p\_value = 0.156**, ce qui indique des différences non significatives au seuil de 0.05. Cela provient du fait que les données utilisées ne sont que sur 2021 : il faudrait des données sur plusieurs années ou sur davantage d'arbres. Nos données sont néanmoins comparables ici, dans le cadre d'un travail expérimental et d'un premier recueil de données.

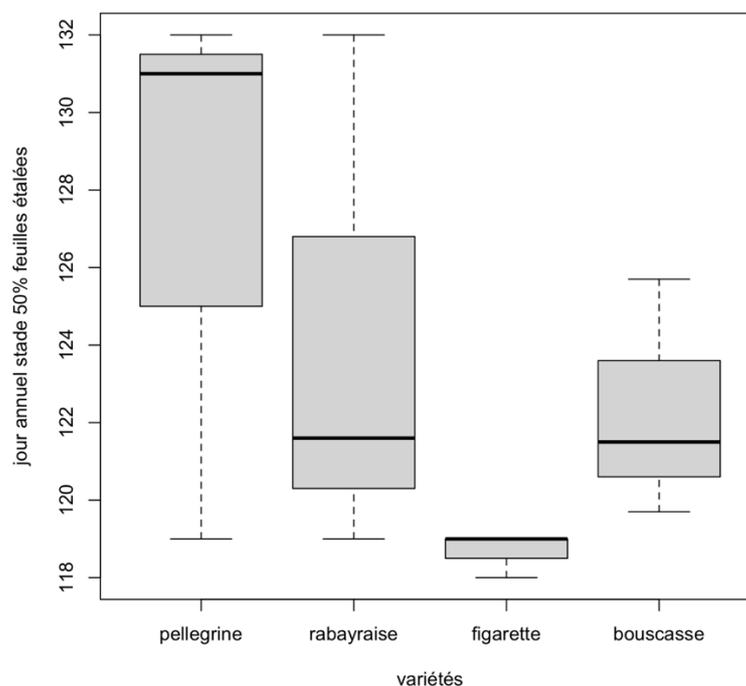


Figure 13 : Nombres de jours annuels pour le stade 50% de feuilles étalées pour les trois variétés étudiées et les Bouscasses

D'après la figure ci-dessus, on observe que la variété Pellegrine est la plus tardive, Rabayraise semble intermédiaire et la Figarette est précoce. Ces résultats sont cohérents avec les données ethnoécologiques récoltées sur le terrain : d'après les castanéiculteurs interrogés,

Pellegrine et Rabayraise sont des variétés tardives, avec Pellegrine plus tardive que Rabayraise, et la Figarette est précoce. Pour la Bouscasse, nos résultats nous amènent à dire que ces arbres seraient plutôt tardifs, mais il faudrait récolter davantage de données pour pouvoir l'affirmer car il ne s'agit pas de clones comme les variétés, mais d'une 'population d'arbres'.

## 6- Modélisation des données de phénologie

Le traitement des données phénologiques s'est ensuite fait avec une modélisation phénoclimatique sur le logiciel PMP.

### 6.1- Prédiction de dates de stades phénologiques du châtaignier

Dans un premier temps, nous avons utilisé la partie 'Fit Model' de PMP, qui permet d'appliquer un modèle phénologique existant à des données phénologiques. J'ai fait tourner le logiciel PMP avec le modèle GDD en utilisant les fichiers d'entrée présentés dans les Matériels et Méthodes et ainsi obtenu des nombres de jours prédits, présentés en tableau 7, en fonction des valeurs de paramètres ajustés (sur les données observées) pour les trois sites de référence sur l'année 2021.

Tableau 7 : Nombres de jours annuels prédits par PMP pour le stade 50% de feuilles étalées  
Source : Logiciel PMP

Variété	Site	Nombres de jours observés en 2021	Nombres de jours prédits par PMP	Efficienc e modèle	RMSE modèle (erreur en jour)
Pellegrine	2	119	118	0.87	2.23
	3b	131	128.1		
	3a	132	129.7		
Rabayraise	2	119	117.3	0.79	2.58
	3b	121.6	124.7		
	3a	132	129.2		
Figarette	2	119	118.8	0.76	0.23
	3b	118	118.4		
	3a	118	117.9		
Bouscasse	2	125.7	123	-0.08	2.64
	3b	119.7	123.3		
	3a	121.5	121.1		

On observe que l'efficacité de nos modèles pour les variétés est proche de 1, qui est le seuil de confiance maximale dans le modèle, ce qui nous assure de la stabilité de notre modélisation. De plus, l'erreur jour (le RMSE) doit être la plus faible possible pour qu'on puisse considérer le modèle comme fiable et ici elle ne dépasse pas les trois jours. Néanmoins, l'efficacité du modèle Bouscasse est très mauvaise, car les dates sont très disparates sur les trois sites de référence, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il s'agisse d'individus distincts et non de clones. Cependant, j'ai pris la décision de ne pas inclure la Bouscasse dans la suite de la modélisation : il faudra attendre d'avoir un plus grand nombre d'individus Bouscasse étudiés dans le cadre de ROC-CHA.

J'ai calculé les intervalles de confiance sur ces dates en utilisant les statistiques de Fisher fournies par PMP. Les intervalles de confiance sont très importants, jusqu'à plus de 90 jours. Il faudrait un nombre bien plus important de dates pour stabiliser les modèles, soit en rajoutant des arbres sur d'autres sites soit en répétant ces observations de phénologie sur plusieurs années.

## 6.2- Simulation pour un scénario de changement climatique de +2°C en 2100

J'ai utilisé la partie 'Run Simulation' de PMP pour modéliser les dates du stade phénologique de 50% de feuilles étalées en 2100. Pour réaliser cette modélisation, je me suis basée sur le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC, publié en 2014. Sur les différents scénarios climatiques du plus optimiste au plus pessimiste, j'ai choisi le scénario intermédiaire RCP6,0 (Pachauri, Meyer, et Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, 2015) qui est considéré comme « probable » par le GIEC, avec un degré de confiance élevé. Ce scénario prévoit une augmentation moyenne des températures de 2.2°C d'ici 2081 à 2100 par rapport à la période 1986-2005, avec une plage probable de +1.4 à +3.1°C.

Étant donné que les températures dont je dispose datent de 2021, j'ai augmenté les températures de l'année 2021 de +2°C sur mes trois sites, afin de modéliser l'effet que pourrait avoir le changement climatique d'ici 2081-2100 sur les températures. Les résultats obtenus, présentés dans le tableau 8, nous renseignent sur l'importance de l'impact que le changement climatique pourrait avoir sur la phénologie du châtaignier.

**Tableau 8 :** Modélisation des nombres de jours du stade 50% de feuilles étalées d'ici 2081-2100 pour une augmentation des températures de +2°C

Source : Modélisation logiciel PMP

Variétés	Site	Nombres de jours 50% feuilles étalées prédits 2021	Nombres de jours 50% feuilles étalées en 2100 (+2°C)
Pellegrine	1	118	91.5
	2	128.1	91.1
	3	129.7	93.7
Rabayraise	1	117.3	91.5
	2	124.7	91
	3	129.2	92.7
Figurette	1	118.8	89.3
	2	118.4	88.6
	3	117.9	76.6

On observe que le changement climatique, par l'intermédiaire du réchauffement des températures de l'air, pourrait avancer de plus d'un mois le stade 50% de feuilles étalées.

## V) Discussion

### 1- Méthodologie d'enquêtes ethnoécologiques et mise au point du protocole d'observations phénologiques

L'ethnoécologie est une science que j'ai découverte au cours de ce stage. Elle possède ses codes et ses méthodes, notamment pour les enquêtes de terrain. En amont de ce travail de terrain, il m'a donc fallu être formée, afin de comprendre l'attitude attendue lors des enquêtes. La méthodologie en ethnoécologie consiste à combiner différents types de données : l'observation participante, dans laquelle il faut s'insérer dans une société pour en comprendre le mieux possible ses codes, les entretiens d'ouverture qui consistent en des entretiens semis-dirigés et les entretiens systématiques (de Sardan 1995). Cette méthode demande donc un investissement de temps, notamment car les entretiens sont longs, puisque la posture de l'enquêteur est d'être à l'écoute afin de recueillir les propos des personnes le plus fidèlement possible. Je n'ai pas pu dans ce stage atteindre le stade de recensement systématique fondé sur des questionnaires fermés.

J'ai passé 28 jours sur le terrain, pour réaliser les entretiens d'ethnoécologie, en plus des observations phénologiques. Ce temps m'a permis de faire des enquêtes ouvertes, à partir d'entretiens semis-dirigés, qui ont pour but de laisser filer la conversation à partir d'une question en se laissant guider par l'interlocuteur au lieu de passer systématiquement d'une question à une autre. Les enquêtes ouvertes que j'ai réalisées m'ont cependant permis d'approfondir les échanges avec les personnes, afin d'avoir une écoute active et de retranscrire le plus précisément possible leurs propos.

Pour ce qui concerne le volet de la phénologie, mon travail a aussi été de mettre au point les observations phénologiques, notamment pour le stade feuillaison, qui n'avait pas été observé en 2020 lors du lancement du projet ROC-CHA. De plus, les observations citoyennes sont déjà prévues pour ROC-CHA 2 et j'ai pu participer à leur initiation, en échangeant avec les castaniculteurs et en leur passant la main pour les observations de la fin du stade de floraison 2021.

J'ai testé la méthode d'observations phénologiques sur les stades de feuillaison et floraison ainsi que sur des stades foliaires mélangés, lorsqu'on observait plusieurs stades sur un même arbre. En effet, lorsque plusieurs stades phénologiques sont observés en même temps sur un même arbre, on considère que si l'arbre est à 50% d'un stade et à 10% d'un autre stade normalement antérieur, ces 10% ne sont que la fin de ce stade et ne doivent pas être pris en compte. Les observations que j'ai réalisées ont donc permis d'affiner la méthode d'observations phénologiques.

### 2- Vision générale d'agriculteurs cévenols sur les indicateurs météorologiques d'impacts du changement climatique

Dans le cadre de l'étude ethnoécologique, deux protocoles d'enquêtes distincts ont été utilisés. Les questions sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique ont été séparées selon qu'elles faisaient référence aux activités de l'agroécosystème hors châtaigneraie ou à la châtaigneraie fruitière. Cependant, tous les agriculteurs ayant participé aux enquêtes ont répondu aux questions des deux protocoles. Ces personnes ont une vision générale des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique et donc des événements climatiques

qui affectent, ou non, ces différents systèmes. Leur compréhension du changement climatique est un seul ensemble.

Ainsi, en regroupant dans un seul et unique tableau les catégories climatiques locales observées par les agriculteurs (voir annexe 13), les observations des indicateurs locaux prépondérants sont : une intensification très importante de la sécheresse, et un changement dans la saisonnalité avec des sécheresses automnales qu'ils considèrent comme anormales. Cette intensité des épisodes de sécheresse a été renseignée par les agriculteurs dans 23.4% de l'ensemble des catégories climatiques locales qu'ils observent. Un deuxième indicateur local de changement climatique porte sur le réchauffement des températures, particulièrement en été et en hiver, à hauteur de 21.1%. La diminution des pluies, notamment les pluies et orages du 15 août, est citée par les agriculteurs dans 14% des catégories climatiques locales. Les agriculteurs ont aussi mentionné des catégories climatiques locales complexes, puisque constituées de plusieurs événements climatiques associés, dans 8.2% des cas.

Ainsi, la vision générale qu'ont les agriculteurs sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les événements météorologiques est complexe et porte principalement sur l'intensification de la sécheresse, la diminution des pluies et le réchauffement des températures. Dans les résultats du protocole 2 sur la châtaigneraie fruitière, la sécheresse et la diminution des pluies sont les indicateurs locaux d'événements climatiques que les agriculteurs ont le plus identifié, et sont liés à des impacts sur les châtaigniers. Au niveau du protocole 1, les catégories climatiques associées aux indicateurs locaux d'impacts agricoles étaient le plus souvent le réchauffement des températures, selon les agriculteurs interrogés. Ces derniers observent aussi la sécheresse comme indicateur local d'impact sur le système biologique. Les personnes interrogées ont donc identifié des événements climatiques impactant ou non différents systèmes au cours des deux protocoles d'enquêtes ; ils ont une vision générale des indicateurs climatiques et leurs observations, complexes et détaillées, mettent en avant des catégories climatiques sur la sécheresse, les pluies et le réchauffement des températures. L'article de Byg et Salick (2009) nous informe sur les perceptions du changement climatique par les habitants d'un village Tibétain. Dans leur étude, le réchauffement des températures ainsi que la diminution des précipitations neigeuses et le recul des glaciers étaient les indicateurs mentionnés par la majorité des habitants de la région. Les bergers nomades de Mongolie observent quant à eux des changements dans la sécheresse, les tempêtes de sables ou les hivers dits "désastreux" (Marin 2010). Les éleveurs observent des changements bien plus détaillés que simplement l'intensité ou la récurrence des sécheresses, mais des éléments qualitatifs spécifiques. Ils notent également des pluies plus intenses et plus dispersées géographiquement. Dans ce même article, les éleveurs ont aussi une perception diachronique entre un "avant", meilleur que "l'après", que les agriculteurs cévenols ont aussi mentionnée.

Ainsi, chaque société observe des indicateurs locaux d'impacts climatiques différents, en fonction de la zone dans laquelle elle se trouve mais aussi des activités que ces événements météorologiques impactent. Cependant, les modifications dans l'intensité de la sécheresse, le réchauffement des températures et la distribution des pluies semblent être des observations partagées par plusieurs groupes d'individus, dont les agriculteurs cévenols que j'ai rencontrés. Les agriculteurs semblent aussi distinguer des périodes "d'avant" où le climat était propice à leurs activités et des périodes "d'après" au cours desquelles des événements climatiques complexes s'enchaînent (Marin 2010).

### 3- Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique, limites de l'étude et apports des savoirs locaux pour la compréhension des interactions entre les agroécosystèmes à châtaigneraies et le changement climatique

Les agriculteurs rencontrés dans le cadre du travail en ethnoécologie sont au nombre de quatorze. L'implication et l'approfondissement des questions posées ont permis de recueillir des informations précises, malgré un échantillon réduit et peu représentatif pour certaines catégories d'activités agricoles. En effet, le faible nombre d'apiculteurs constitue un biais de notre travail puisqu'ils sont sous-représentés dans notre échantillon par rapport aux autres activités. Dans les résultats, le maraîchage est l'activité pour laquelle les agriculteurs ont donné le plus grand nombre d'indicateurs locaux d'impacts. Cependant, si on pondère les résultats des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur le système agricole, en calculant un index du nombre de LICCI par activité agricole, pondérés selon le pourcentage d'agriculteurs dans cette activité, on remarque que le nombre de LICCI sur l'apiculture arrive en tête, devant les LICCI sur le maraîchage et les vergers fruitiers (voir annexe 14). Ceci montre que selon les activités concernées, les types de processus affectés peuvent changer le nombre de LICCI qui dès lors sont indépendants de l'importance accordée à l'activité. De plus, comme nous l'avons montré, cela dépend aussi du degré d'expertise en lien avec l'activité.

En ce qui concernent les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur le système agricole, il est important de noter que certains renvoient à des modifications dans la biologie des espèces végétales, d'autres à des dégâts directs qui ont des conséquences économiques et enfin des changements de pratiques. Les agriculteurs observent 73% d'indicateurs locaux d'impacts ayant des conséquences économiques, 14% d'indicateurs locaux d'impacts sur la biologie des espèces et 13% de modification des pratiques. Cette dernière catégorie, le changement des pratiques potagères, est un peu particulière puisqu'il s'agit en réalité d'adaptations locales d'impacts du changement climatique : « local responses to climate change impacts » (Schlingmann et al. 2021). J'ai choisi d'étudier ces changements de pratiques en tant qu'indicateurs locaux d'impacts en les considérant comme des impacts indirects du changement climatique sur les pratiques humaines et sur le travail des agriculteurs.

Dans l'article de Reyes-García et al. (2016), les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur l'agriculture, que nous avons nommés "LICCI agricoles" sont les indicateurs locaux d'impacts socio-économiques, qui ont des répercussions directes et indirectes. Dans cette catégorie, les indicateurs locaux d'impacts portent surtout sur l'agriculture et la foresterie. Les chercheurs soulignent aussi que cette catégorie n'est pas seulement impactée par le changement climatique mais aussi par d'autres facteurs, parfois politiques (Reyes-García et al. 2016). Dans notre étude, les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur le système agricole revêtent davantage de l'écologie que d'une catégorie socio-économique. En effet, les agriculteurs observent des indicateurs locaux d'impacts pas seulement sur des aspects économiques liés à leur travail mais aussi à l'écologie et à la biologie des espèces végétales et animales qui les entourent. Certains des LICCI agricoles ont donc une forte composante biologique, mais j'ai choisi de les différencier des LICCI biologiques sur le critère d'appartenance au système agricole qui est le socle du travail des agriculteurs. Comme dans l'article de Reyes-García et al. (2016), les indicateurs locaux d'impacts observés par les agriculteurs sont composites puisqu'ils partent de l'observation d'un événement climatique jusqu'à sa répercussion ou non sur un système.

Les indicateurs locaux d'impacts strictement climatiques touchent principalement les précipitations, les températures et le vent (Reyes-García et al. 2016). On retrouve ces indicateurs dans les observations des agriculteurs cévenols puisqu'ils notent des changements

dans les précipitations et les températures. En plus de ces évènements climatiques, les agriculteurs cévenols en observent un autre : la sécheresse, qui a été le plus fréquemment mentionné.

Dans un article récent publié en 2019, Reyes-García et al. (2019) ont traité des données d'indicateurs locaux d'impacts du changement climatique en les classant selon qu'ils appartenaient à une catégorie de LICCI climatiques, biologiques, physiques ou socio-économiques. La majorité des indicateurs d'impacts observés, 44.7%, concernaient le système climatique et seulement 15.4% se référaient à des impacts sur le système socio-économique (Reyes-García et al. 2019).

Dans notre étude, les indicateurs locaux d'impacts sur le système agricole, qui correspondent au système socio-économique selon Reyes-García et al. (2016), étaient les indicateurs locaux d'impacts les plus fréquemment mentionnés, dans 45% des LICCI, contre 25% pour les indicateurs locaux d'impacts sur le système climatique (LICCI climatiques). Cette différence peut se discuter au regard de notre échantillon, constitué exclusivement d'agriculteurs, ce qui peut expliquer que ces derniers aient observés beaucoup d'impacts sur le système agricole contrairement aux travaux de Reyes-García qui portent sur des échantillons d'enquêtes auprès de gens ayant des activités multiples.

En ce qui concerne les indicateurs d'impacts du changement climatique sur les châtaigniers, l'article de Guo et al. (2013) présente l'impact de l'augmentation des températures sur l'avancement de la date de première floraison du châtaignier. Dans notre étude, les agriculteurs n'observent pas uniquement l'augmentation des températures comme indicateur local impactant les châtaigniers, mais également la sécheresse. Un autre résultat intéressant est l'identification par les castanéiculteurs d'indicateurs liés à la floraison : la chute des chatons et le raccourcissement de la phase de floraison. Enfin, notre étude montre des indicateurs locaux de changement des dates de fructification, liés à des pratiques de ramassage en transformation. Les agriculteurs remarquent aussi que leurs arbres souffrent et la chaleur semble être une cause majeure. On peut alors faire le lien avec l'abandon des châtaigneraies et leur manque d'entretien, notamment des terrasses et des bancelles et l'abandon de l'irrigation (Aumeeruddy-Thomas et al. 2012). Le changement climatique est un des facteurs de la souffrance des châtaigniers mais il n'est pas le seul et le manque d'entretien des châtaigneraies est un autre facteur.

Les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les châtaigniers se distinguent selon s'ils ont un impact direct sur la viabilité ou la souffrance des arbres ou s'ils ont un impact moins visible sur le court terme. Les agriculteurs notent 45% d'indicateurs locaux d'impacts directs du changement climatique sur la souffrance et la mortalité des châtaigniers. Les indicateurs locaux d'impacts sur différentes parties de l'arbre telles que les branches, les feuilles ou les fruits, représentent 55% des réponses et sont visibles sur l'arbre mais n'affectent pas sa survie à court terme. Ces derniers indicateurs seront à surveiller dans les années à venir afin d'être attentif à leur évolution et à l'apparition éventuelle d'un impact sur la survie de l'arbre via les difficultés de reproduction par exemple, avec notamment la chute précoce des fleurs.

#### 4- Modélisation phénologique : limites et lien avec le changement climatique

Je me suis rendue à six reprises sur le terrain pour les observations phénologiques ce qui m'a permis d'observer les stades de feuillaison et de floraison mais cela n'a pas été suffisant pour que j'observe chaque date de stade 10% et 50%. En effet, la phénologie des arbres est dépendante des évènements météorologiques et d'autres paramètres complexes qui rendent les

dates d'occurrence des stades phénologiques variables d'une année à l'autre, d'une variété à l'autre et même d'un arbre à l'autre. Pour que les données obtenues soient suffisamment précises, c'est-à-dire pour que la date précise du passage d'un arbre d'un stade phénologique à un autre puisse être notée, il faudrait réaliser plusieurs passages par semaine sur chaque site de référence, ce qui n'est pas réalisable dans le cadre d'un stage, avec un terrain géographiquement éloigné.

Les observations de la feuillaison de 2021 ont néanmoins permis de tester un premier modèle phénoclimatique sur le logiciel PMP. Le modèle à 1-phase GDD que j'ai utilisé ne considère que les températures durant l'écodormance. Néanmoins, sous l'effet de l'augmentation des températures liée au changement climatique, les températures durant l'endodormance ont un rôle de plus en plus important pour la date de feuillaison et de floraison des arbres, en retardant ces deux stades phénologiques pour plusieurs espèces d'arbres dont le bouleau, le frêne ou le mélèze d'Europe (Asse et al. 2018). Ainsi, pour de futures modélisations, il serait recommandé d'utiliser des modèles à 2-phases qui tiennent compte des températures durant l'endodormance (Vitasse et al. 2011). Pour cette raison, les résultats de la modélisation de prédiction des nombres de jours de stades phénologiques en 2100 avec un scénario de +2°C sont à considérer avec prudence : le réchauffement hivernal pourrait retarder l'avancée du débourrement des châtaigniers au printemps.

Dans le projet ROC-CHA 2, une modélisation phénoclimatique à partir du logiciel Phenofit est prévue et utilisera des paramètres de pluviométrie ainsi que de gel et de sécheresse, en plus des observations de phénologie existantes ainsi que de nouvelles données sur la probabilité de maturité des fruits, l'impact du gel sur les fleurs et les répercussions du gel et de la sécheresse sur la survie des arbres (Morin et Chuine 2005). Ce modèle utiliserait donc des paramètres semblables à ceux identifiés par les savoirs locaux mentionnés par les agriculteurs lors des entretiens d'ethnoécologie : la sécheresse, le gel anormal, la diminution des pluies mais aussi la mortalité accrue des arbres et les modifications dans la maturité des châtaignes, avec notamment la diminution de leur calibre et la modification de la date de chute des bogues.

## 5- Perspectives et améliorations prévues pour la suite du projet ROC-CHA

Le projet ROC-CHA 2 qui débutera en octobre 2021 prévoit des modalités de collaboration nouvelles avec les référents de site, ainsi qu'une entrée "santé de l'arbre" notamment grâce à l'implication dans le projet d'une chercheuse sur les maladies du châtaignier. Davantage d'observations phénologiques seront donc réalisées, avec l'aide des castanéiculteurs, dans ce cas selon une approche d'observations citoyennes qui mixerait indicateurs de suivis requis pour la modélisation, non issus des savoirs locaux, additionnés d'indicateurs issus des savoirs locaux. La suite du projet prévoit également l'ajout de nouveaux arbres sur de nouveaux sites, ce qui permettrait d'acquérir de nouvelles données pour la suite du travail de modélisation entamé au cours du stage.

D'autres nouveaux travaux pourraient être envisagés dans ROC-CHA 2, en se basant sur les indicateurs locaux d'impacts observés par les agriculteurs. Ces derniers notent la chute des chatons des châtaigniers lors de la floraison. Il pourrait être intéressant de noter la proportion de chatons qui tombent par arbre chaque année et à quelle date ou sur quelle période de temps cet événement a lieu. En comparant avec les données météorologiques sur cette période, on pourrait essayer de comprendre les causes ou événements climatiques favorisant cette chute précoce des fleurs. Les agriculteurs ont également observé une diminution du calibre des fruits : il pourrait être intéressant de relever le calibre moyen des fruits de l'année par arbre et de voir l'évolution au fil des années, en comparant avec les données météorologiques.

## Conclusion

Le stage axé sur les objets de recherche que sont la phénologie, l'ethnoécologie et les savoirs locaux sur les impacts du dérèglement climatique, a permis d'affiner la méthode d'observations de la phénologie des châtaigniers pour envisager des modélisations phénoclimatiques ainsi que pour recueillir des savoirs locaux sur les indicateurs locaux du changement climatique pour mieux identifier les impacts réels souvent non visibles dans les modèles, et ainsi avoir des visions complémentaires.

Les savoirs locaux sont source d'informations à la fois sur des indicateurs locaux climatiques mais aussi de multiples indicateurs d'impacts du changement climatiques, sur des systèmes complexes agricoles, biologiques et écologiques. Nous avons contribué à tester une méthode de collaboration avec les castanéculteurs, les observations citoyennes, prévues pour la suite de ROC-CHA, qui ont été initiées lors du stage. La modélisation sur PMP a été l'occasion de tester un premier modèle d'influence des températures sur les dates d'occurrence des stades phénologiques du châtaignier, et d'entrevoir quelles répercussions le changement climatique pourrait avoir sur le fonctionnement écologique de cet arbre. Le projet ROC-CHA 2 qui se situe dans une problématique ROC-CHA semblable au premier projet, prévoit des perspectives d'élargissement de la zone d'étude et du nombre d'arbres étudiés, ainsi que la mise en place de nouvelles modélisations phénoclimatiques.

Finalement, ce stage de fin d'études m'a permis de découvrir le monde de la recherche, qui m'était inconnu jusqu'alors. J'ai eu l'opportunité de travailler durant plusieurs mois sur un sujet d'actualité, qui fait partie de mes centres d'intérêts autour de la protection de la biodiversité : le changement climatique.

La formation que j'ai reçue en ethnoécologie est une véritable ouverture d'esprit et un apprentissage des postures d'écoute, qui seront un atout pour la suite de mon parcours professionnel. Le travail réalisé au cours du stage sera utilisé pour partie dans la suite du projet, qui permettra de recueillir davantage de données sur les indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur les châtaigniers et les savoirs locaux des agriculteurs.

## Bibliographie

Almond, R.E.A., Grooten, et Petersen. 2020. *WWF Living Planet Report 2020 - Bending the Curve of Biodiversity Loss*. WWF, Gland, Suisse. <http://www.deslibris.ca/ID/10104983>.

Asse, Daphné, Isabelle Chuine, Yann Vitasse, Nigel Gilles Yoccoz, Nicolas Delpierre, Vincent Badeau, Anne Delestrade, et Christophe F. Randin. 2018. « Warmer Winters Reduce the Advance of Tree Spring Phenology Induced by Warmer Springs in the Alps ». *Agricultural and Forest Meteorology* 252 (avril): 220-30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.030>.

Aumeeruddy-Thomas, Yildiz, Anaïs Ramet, et Collaborateurs ROC-CHA. 2021. « Rapport scientifique, technique et de coordination du projet ROC-CHA ».

Aumeeruddy-Thomas, Yildiz, Clara Therville, Cedric Lemarchand, Alban Lauriac, et Franck Richard. 2012. « Resilience of Sweet Chestnut and Truffle Holm-Oak Rural Forests in Languedoc-Roussillon, France: Roles of Social-Ecological Legacies, Domestication, and Innovations ». *Ecology and Society* 17 (2): art12. <https://doi.org/10.5751/ES-04750-170212>.

Aydinalp, Cumhur, et Malcolm S Cresser. 2008. « The Effects of Global Climate Change on Agriculture ». *Environ. Sci.*, 5.

Bar-On, Yinon M., Rob Phillips, et Ron Milo. 2018. « The Biomass Distribution on Earth ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (25): 6506-11. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>.

Bourgeois, Catherine. 2004. « De l'arbre à la forêt... » In *Le châtaignier un arbre, un bois*, Institut pour le développement forestier, 69-143. Paris.

Bruneton-Governatori, Ariane. 1999. *Le pain de bois*. Lacour. 533p.

Byg, Anja, et Jan Salick. 2009. « Local Perspectives on a Global Phenomenon—Climate Change in Eastern Tibetan Villages ». *Global Environmental Change* 19 (2): 156-66. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.010>.

Caudullo Giovanni, Welk Erik, et Jesus San-Miguel-Ayanz. 2017. « Chorological maps for the main European woody species ». <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>.

Chardon, Michel. 1984. « Montagne et haute montagne alpine, critères et limites morphologiques remarquables en haute montagne ». *Revue de géographie alpine* 72 (2): 213-24. <https://doi.org/10.3406/rga.1984.2565>.

Chassany, Jean-Paul, et Capucine Osnier. 2005. *Le renouveau de la châtaigneraie cévenole*. Parc National des Cévennes. Florac. 304p.

Chuine, Isabelle. 2013. « User Guide PMP ». <https://www.cefe.cnrs.fr/images/stories/DPTEFonctionnelle/BIOFLUX/logiciel/HELP%20PMP55.pdf>.

Chuine, Isabelle, et Elisabeth G. Beaubien. 2001. « Phenology Is a Major Determinant of Tree

Species Range ». *Ecology Letters* 4 (5): 500-510. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00261.x>.

Chuine, Isabelle, Garcia de Cortazar Aatur, Kramer, et Hänninen. 2013. « Plant Development Models ». In *Phenology: An Integrative Environmental Science*, Springer, 275-93. Pays-Bas.

Cochran, Patricia, Orville H. Huntington, Caleb Pungowiyi, Stanley Tom, F. Stuart Chapin, Henry P. Huntington, Nancy G. Maynard, et Sarah F. Trainor. 2013. « Indigenous Frameworks for Observing and Responding to Climate Change in Alaska ». *Climatic Change* 120 (3): 557-67. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0735-2>.

Díaz, Sandra, Unai Pascual, Marie Stenseke, Berta Martín-López, Robert T. Watson, Zsolt Molnár, Rosemary Hill, et al. 2018. « Assessing Nature's Contributions to People. Recognizing Culture, and Diverse Sources of Knowledge, Can Improve Assessments ». *Science* 359 (6373): 270-72. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>.

Dupré, Lucie. 2002. *Du marron à la châtaigne d'Ardèche la relance d'un produit régional*. Editions du Comité des Travaux historiques et Scientifiques. Paris. 334p.

Duputié, Anne, Alexis Rutschmann, Ophélie Ronce, et Isabelle Chuine. 2015. « Phenological Plasticity Will Not Help All Species Adapt to Climate Change ». *Global Change Biology* 21 (8): 3062-73. <https://doi.org/10.1111/gcb.12914>.

Garteizgogeoasca, María, David García-del-Amo, et Victoria Reyes-García. 2020. « Using Proverbs to Study Local Perceptions of Climate Change: A Case Study in Sierra Nevada (Spain) ». *Regional Environmental Change* 20 (2): 59. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01646-1>.

Gauzere, J., S. Delzon, H. Davi, M. Bonhomme, I. Garcia de Cortazar-Atauri, et I. Chuine. 2017. « Integrating Interactive Effects of Chilling and Photoperiod in Phenological Process-Based Models. A Case Study with Two European Tree Species: *Fagus sylvatica* and *Quercus Petraea* ». *Agricultural and Forest Meteorology* 244-245 (octobre): 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.05.011>.

Gliessman, Stephen. 2006. *Agroecology : The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press. 351p.

Guo, Liang, Junhu Dai, Sailesh Ranjitkar, Jianchu Xu, et Eike Luedeling. 2013. « Response of Chestnut Phenology in China to Climate Variation and Change ». *Agricultural and Forest Meteorology*, 9.

Hill, Rosemary, Çiğdem Adem, Wilfred V Alangui, Zsolt Molnár, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, Peter Bridgewater, Maria Tengö, et al. 2020. « Working with Indigenous, Local and Scientific Knowledge in Assessments of Nature and Nature's Linkages with People ». *Current Opinion in Environmental Sustainability* 43 (avril): 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.12.006>.

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, T. Guillén Bolaños, M. Bindi, S. Brown, I. A. Camilloni, et al. 2019. « The Human Imperative of Stabilizing Global Climate Change at 1.5°C ». *Science* 365 (6459): eaaw6974. <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>.

Huntington, Henry, Terry Callaghan, Shari Fox, et Igor Krupnik. 2004. « Matching Traditional and Scientific Observations to Detect Environmental Change: A Discussion on Arctic Terrestrial Ecosystems ». *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33 (sp13): 18. <https://doi.org/10.1007/0044-7447-33.sp13.18>.

Larue, Clément, Austruy Eva, Basset Gaëlle, et J.Petit Rémy. 2020. « Revisiting Pollination Mode in Chestnut (*Castanea Spp.*): An Integrated Approach ». *BOTANY LETTERS*, 25.  
Larue, Clément, Teresa Barreneche, et Rémy J. Petit. 2021. « Efficient Monitoring of Phenology in Chestnuts ». *Scientia Horticulturae* 281 (avril): 109958. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109958>.

Marin, Andrei. 2010. « Riders under Storms: Contributions of Nomadic Herders' Observations to Analysing Climate Change in Mongolia ». *Global Environmental Change*, 16.

Masson-Delmotte, Valérie, Panmao Zhai, Hans-Otto Pörtner, Debra Roberts, Jim Skea, Eduardo Calvo Buendía, Priyadarshi R Shukla, Raphael Slade, et Sarah Connors. 2020. « Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique (résumé) », 39.

Morin, Xavier, et Isabelle Chuine. 2005. « Sensitivity Analysis of the Tree Distribution Model Phenofit to Climatic Input Characteristics: Implications for Climate Impact Assessment ». *Global Change Biology* 11 (9): 1493-1503. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00996>.

Office National des Forêts, et ORB NPdC, éd. 2011. « Mode de gestion des forêts ».

Pachauri, R. K, Leo A Meyer, et Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. 2015. *Changements climatiques 2014: rapport de synthèse*. Genève, Suisse.

Pérez-Girón, José Carlos, Pedro Alvarez-Alvarez, Emilio Rafael Díaz-Varela, et Domingos Manuel mendes Lopes. 2020. « Influence of Climate Variations on Primary Production Indicators and on the Resilience of Forest Ecosystems in a Future Scenario of Climate Change\_ Application to Sweet Chestnut Agroforestry Systems in the Iberian Peninsula ». *Ecological Indicators*, 11.

Reyes-García, Victoria, Alvaro Fernandez-Llamazares, David García-del-Amo, et Mar Cabeza. 2020. « Operationalizing Local Ecological Knowledge in Climate Change Research : Challenges and Opportunities of Citizen Science ». In *Changing Climate, Changing Worlds: Local Knowledge and the Challenges of Social and Ecological Change*, 183-91. Ethnobiology. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37312-2>.

Reyes-García, Victoria, Álvaro Fernández-Llamazares, Maximilien Guèze, Ariadna Garcés, Miguel Mallo, Margarita Vila-Gómez, et Marina Vilaseca. 2016. « Local Indicators of Climate Change: The Potential Contribution of Local Knowledge to Climate Research: Local Indicators of Climate Change ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 7 (1): 109-24. <https://doi.org/10.1002/wcc.374>.

Reyes-García, Victoria, David García-del-Amo, Petra Benyei, Álvaro Fernández-Llamazares, Konstantina Gravani, André B Junqueira, Vanesse Labeyrie, et al. 2019. « A Collaborative

Approach to Bring Insights from Local Observations of Climate Change Impacts into Global Climate Change Research ». *Current Opinion in Environmental Sustainability* 39 (août): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.007>.

Sardan, Jean-Pierre Olivier de. 1995. « La politique du terrain », 25.

Schlingmann, Anna, Sonia Graham, Petra Benyei, Esteve Corbera, Irene Martinez Sanesteban, Andrea Marelle, Ramin Soleymani-Fard, et Victoria Reyes-García. 2021. « Global Patterns of Adaptation to Climate Change by Indigenous Peoples and Local Communities. A Systematic Review ». *Current Opinion in Environmental Sustainability* 51 (août): 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.03.002>.

Tauveron, Albert. 1994. « Micro-géographie sociale : un hameau de moyenne montagne française au XXe siècle ». *Revue de géographie alpine* 82 (1): 27-43. <https://doi.org/10.3406/rga.1994.3736>.

United Nations. 1992. « Convention on Biological Diversity ».

Vitasse, Yann, Christophe François, Nicolas Delpierre, Eric Dufrêne, Antoine Kremer, Isabelle Chuine, et Sylvain Delzon. 2011. « Assessing the Effects of Climate Change on the Phenology of European Temperate Trees ». *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (7): 969-80. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.003>.

WWF. s. d. « Rapport Planète vivante 2020 ». [https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2020-11/20200910\\_Rapport\\_Planete\\_Vivante\\_WWF.pdf](https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2020-11/20200910_Rapport_Planete_Vivante_WWF.pdf).

## Webographie

Association de producteurs de châtaignes des Cévennes.  
« <https://www.chataignedescevennes.com/la-chataigne-et-le-chataignier-en-cevennes/> ». *Châtaigne des Cévennes* (blog). 2020.

LICCI. s.d. Consulté le 28 juin 2021. <https://licci.eu/>.

Le Collet de Dèze. s. d. Consulté le 8 juillet 2021.  
<https://www.eterritoire.fr/territoires/occitanie/lozere/le-collet-de-deze/48051/18233>.

« Les milieux forestiers | Parc national des Cévennes ». s. d. Consulté le 25 juin 2021.  
<https://www.cevennes-parcnational.fr/fr/des-connaissances/le-patrimoine-naturel/les-milieux-naturels/les-milieux-forestiers>.

Mutualité Sociale Agricole. 2019. « Statistiques MSA - Chefs d'exploitation ou d'entreprise agricole par commune » <https://statistiques.msa.fr/publication/donnees-en-acces-ouvert-chefs->

Saint Martin de Lansuscle. s.d. Consulté le 2 août 2021.  
<https://www.eterritoire.fr/territoires/occitanie/lozere/saint-martin-de-lansuscle/48171/18342>

Ventallon en Cévennes. s. d. Consulté le 2 août 2021.  
<https://www.eterritoire.fr/territoires/occitanie/lozere/ventallon-en-cevennes/48152/18325.dexploitation-ou-dentreprise-agricole-par-commune/>.

## Annexes

### Annexe 1 : Présentation des sites de référence ROC-CHA

Source : Yildiz Aumeeruddy-Thomas et al. (2021)

Site	Site 1 – Le Bois de belle	Site 2 – La Jasse	Site 3A – Le Plantier	Site 3B – Le Régent
<b>Propriétaire du site</b>	Jean-François Lalfert	Richard Bouat	Geneviève et Alain Mercier	Claudette et Daniel Mathieu
<b>Reprenant de l'exploitation</b>	Pierre Estevan	Jean-Marc Bouchard		
<b>Superficie (Ha)</b>	18	15	8	6
<b>Altitude (m)</b>	460 – 647	587 - 653	315 - 349	632 - 650
<b>Nombre de variétés présentes</b>	28	15	8	6
<b>Nombre de variétés sélectionnées</b>	13	11	6	15
<b>Noms des variétés sélectionnées</b>	Afatchad, Aguyane, Belle épine, Bernade, Comballe, Bouche de Bétizac, Ménasse, Petite pourette, Précoce des Vans, Précoce ronde, Grosse pourette, Sardonne 1, Sardonne 2	Barbude, Bouche de Bétizac, Comballe, Coutinelle, Dauphine, Figarette, Gascaise, Pellegrine, Peyrejonte, Peyroubès, Rabayraise	Bouche rouge, Comballe, Dauphine, Figarette, Pellegrine, Rabayraise	Cabride, Figarette, Pellegrine, Rabayraise, Sardonne
<b>Nombre de châtaigniers sélectionnés</b>	26	29	12	8
<b>Nombre de Bouscasses sélectionnées</b>	6	1	1	1

## Annexe 2 : Présentation des trois sites de Lozériens

La commune de Saint Martin de Lansucle est localisée dans le département de la Lozère et compte 190 habitants sur 18,19 km<sup>2</sup> (« <https://www.territoire.fr/territoires/occitanie/lozere/saint-martin-de-lansuscle/48171/18342> » s. d.).

L'altitude moyenne est de 540 m. Cette commune comptait huit chefs d'exploitations agricoles en 2019 (Mutualité Sociale Agricole 2019). Les exploitations agricoles qui s'y trouvent sont des fermes castanéicoles de polyculture élevage, caractéristiques des zones de moyenne montagne.

Le Collet de Dèze compte plus de 750 personnes et est située à une altitude moyenne de 300 m sur 26,5 km<sup>2</sup> (« <https://www.territoire.fr/territoires/occitanie/lozere/le-collet-de-deze/48051/18233> »). En 2019, on recense onze chefs d'exploitations agricoles sur la commune ((Mutualité Sociale Agricole 2019).

Quant à la commune de Ventalon en Cévennes, celle-ci compte 239 personnes, à une altitude moyenne de 753 m sur une superficie de 23,75 km<sup>2</sup> (« <https://www.territoire.fr/territoires/occitanie/lozere/ventalon-en-cevennes/48152/18325> »). En 2019, treize chefs d'exploitations agricoles ont été recensés (Mutualité Sociale Agricole 2019).

### **Annexe 3 : Protocole d'enquête sur l'historique de la ferme**

#### Questionnaire histoire de l'exploitation

- **Depuis quand habitez-vous ici ?** Vous habitiez où avant ?
- **Héritage ou achetée ?** Maison familiale ? Si oui, êtes-vous né ici ? Avez-vous travaillé ici comme agriculteur ? Sinon, quel autre métier et qui s'occupait de la ferme ?
- Agriculteur ? Autre métier en parallèle ?
- **Travaux réalisés sur la ferme ?** Date rénovation châtaigneraie ?
- **Quelle surface ferme ?** Surface châtaigneraie entretenue ? Surface châtaigneraie abandonnée ?
- **Types de terres** (prés, landes) ?
- **Sources ?**
- **Châtaigneraie** en adret/ubac ? Profondeur des sols ?
- **Quantité de châtaignes produite ?**
- **Activités sur la ferme ?** Troupeaux ? Jardin potager ? Vergers ? Apiculture ? Transformation ?
- **Techniques de ramassage** châtaigne ?
- **Activité castanéicole ?** Transformation ? Vente à qui ?
- **Est-ce que vous entretenez la châtaigneraie ?** (brûler les résidus, débroussaillage...)
- **Vous greffez ? Vous élaguez ?**
- **Terrasses, bancelles ?** Entretien ?

## Annexe 4 : Protocole d'enquête 1 sur les composantes autres que la châtaigneraie

### Quels évènements climatiques impactent vos activités sur la ferme ?

#### Questionnaire semi dirigé :

##### Distribution des autres arbres

- Quels sont les autres arbres (hors châtaigniers) qui poussent ici ?
- Est-ce que vous voyez les mêmes arbres qu'avant dans les forêts ? Depuis combien de temps ?
- Est-ce que vous voyiez d'autres arbres que les châtaigniers qui ne fleurissent plus au même moment, qui ne poussent pas au même endroit qu'avant ou qui se dessèchent ?
- D'autres gens me parlent du chêne vert, est ce que vous avez observé quelque chose sur le chêne vert ? Est-ce que vous en voyez + qu'avant ? Où est ce qu'il pousse maintenant ? A quoi est-ce lié selon vous ?
- Et le frêne ou les merisiers ?

##### Élevage/herbe

- Dans vos prés/vos landes, est ce que l'herbe pousse bien ? Est-ce que vous avez autant d'herbe pour les animaux qu'avant ?
- Si l'herbe ne pousse pas bien est-ce que c'est lié à des phénomènes météo ? Lesquels ? Comment c'était avant et comment c'est maintenant ? C'est depuis combien de temps ?
- Est-ce que vous devez acheter plus de fourrages qu'avant ?

##### Vergers fruitiers

- Est-ce que les arbres des vergers sont affectés par des évènements climatiques ? Depuis combien de temps ?
- Est-ce que votre production de fruits est +/- importante qu'avant ? Si ça a changé, depuis quand ?
- On m'a parlé des petits gels tardifs de plus en plus fréquents qui impactent les fleurs et donc la production de fruits. Est-ce que c'est quelque chose que vous observez ? Si oui, depuis quand ? Quel type de gel c'est ?
- Est-ce que les bourgeons/la floraison a lieu à la même période qu'avant ? Est-ce que les fruits sont mûrs à la même période qu'avant ? Si ça a changé, depuis quand et pourquoi ? Lien avec le climat/météo ? Quels types d'évènements météo

##### Maraîchage

- Y-a-t-il des périodes de semis qui ont changé à cause du climat ? Depuis combien de temps ?
- Quels évènements climatiques affectent vos légumes ? Lesquels ? Depuis quand ?
- Est-ce que vous avez remarqué un changement dans le type de gel et la période du gel ?
- Comment vous savez quand planter vos différents légumes ? Est-ce que la date à laquelle vous plantez a changé ? Pourquoi ? Dans quel but ?
- Ya des gens qui disent qu'ils récoltent + tôt, est ce que c'est votre cas aussi ?
- Ya des gens qui sont obligés d'arroser +, est ce que c'est votre cas aussi ?

## **Apiculture**

- Comment vont vos abeilles ?
- Est-ce que le développement des abeilles est pareil qu'avant ? Si ça a changé, c'est depuis quand ?
- Est-ce que c'est plus difficile de faire de l'apiculture ?
- On m'a beaucoup parlé du frelon asiatique qui fait des ravages sur les abeilles, est ce que vous êtes touchés ? Êtes-vous plus touchés qu'avant ? Depuis quand ?
- Est-ce que les abeilles essaient à la même date qu'avant ? Si ça a changé, c'est lié à quel évènement climatique ? C'est depuis quand ?

## **Champignons**

- Est-ce que les champignons sont affectés par des évènements climatiques ? Lesquels ? Depuis combien de temps ?
- Est-ce que vous en ramassez autant qu'avant ? Si ça a changé, depuis quand ?
- On m'a dit que la sécheresse entraînait des années sans ramassage de champignons, est ce que vous avez remarqué ça aussi ?

## **Sol**

- Quelles sont les caractéristiques du sol ici ?
- On m'a dit que les sols profonds et humides conviennent bien aux châtaigniers ? Est-ce que les sols sont toujours pareil qu'avant ? Est-ce que la terre garde l'eau comme avant ? Est-ce que c'est lié aux terrasses qui ne sont plus entretenues ?
- Est-ce que le sol est plus sec qu'avant ? Depuis quand ? C'est lié à quels évènements climatiques (moins de pluies, températures + élevées) ?

## **Sources**

- Est-ce que vous utilisez l'eau de vos sources ? Est-ce qu'elles ont un débit important ?
- Est-ce que vos sources se tarissent + tôt qu'avant ? Depuis quand ?

## Annexe 5 : Protocole d'enquête 2 sur la châtaigneraie fruitière

<b>Est-ce que vous pensez que la châtaigneraie souffre de phénomènes climatiques (sécheresse, gel, manque d'eau) ?</b>
--

### Questionnaire semi dirigé :

#### Variétés :

- Quelles sont les variétés dans votre châtaigneraie ? Le mélange est-il homogène ? Quelle est la distribution des variétés en fonction de l'altitude, sol, climat ?
- Est-ce que certaines variétés poussent mieux dans certaines zones ? Est-ce que certaines variétés sont plus affectées que d'autres par le changement climatique dans votre châtaigneraie ? Quels événements climatiques plus précis les affectent et selon les variétés (sécheresse, gel, vents violents...) ?
- Qu'avez-vous remarqué sur le bourgeonnement par rapport aux variétés des châtaigniers ? Est-ce que certaines variétés bourgeonnent + tôt ou + tard qu'avant ? Est-ce que la phase de bourgeonnement dure + ou – longtemps ? Depuis combien de temps ? Est-ce que c'est lié à un événement climatique ? Lequel ? *Idem tous les stades phénologie (bourgeons, feuilles, fleurs, bogues)*
- On m'a dit que le décalage entre les variétés précoces et tardives avait diminué, est ce que c'est le cas pour vous aussi ? C'était comment avant et c'est comment maintenant ? Depuis quand ? C'est lié à quoi selon vous ? A quels événements météo (trop ou pas assez de pluie, chaleur, froid...) ?
- Est-ce que vous avez assez de temps entre les variétés précoces et les tardives pour ramasser la production ?

#### Topographie

- On m'a dit que les châtaigniers en adret souffrent + qu'en ubac, est ce que vous le remarquez aussi ?
- On m'a dit que les terrasses ne sont globalement plus entretenues et qu'avant il y avait de l'irrigation en adret et il n'y en a plus maintenant. Est-ce que vous pensez que ça a aussi un lien avec la souffrance des châtaigniers en adret ?
- Que pensez-vous de l'avenir de la châtaigneraie en adret ?

#### Châtaignes

- Est-ce que vos arbres produisent davantage ou moins de châtaignes qu'avant ? Depuis combien de temps ?
- Est-ce que la production de châtaignes souffre du climat ? Est-ce que c'est la quantité ou la qualité qui est affectée ? Quels événements climatiques précis l'affecte ?
- Est-ce que votre production est la même qu'avant ? Est-ce que vous ramassez la même quantité de châtaignes tous les ans ?
- On m'a dit que parfois les bogues tombent et sont fermées et ça complique beaucoup le ramassage. Est-ce que ça vous est déjà arrivé ? Vous pensez que c'est lié à un événement climatique ?

#### La mortalité/souffrance des arbres

- On m'a dit que lors de gros coups de vent, les arbres pouvaient avoir des branches qui cassent, est ce que ça vous arrive ? ça arrive +/- qu'avant ? Est-ce qu'il y a davantage de coups de vents violents qu'avant ? Si oui en quelle saison ? Comment c'était avant et comment c'est maintenant ? On m'a parlé d'arbres déracinés. Est-ce que ça vous est déjà arrivé ? Pourquoi selon vous ? Quel événement climatique cause ça ? Depuis quand ?

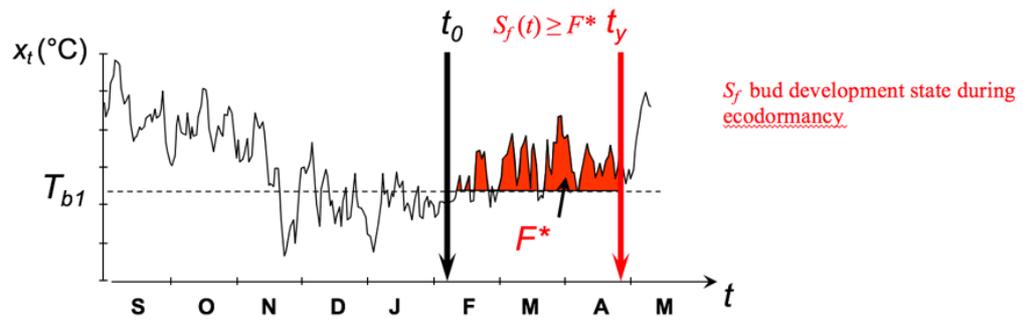
**Annexe 6 : Tableau des nombres de jours annuels 2021 des stades de feuillaison** (avec 0.1\_EB stade 10% d'éclatement des bourgeons, 0.5\_EB stade 50% d'éclatement des bourgeons, 0.1\_FD stade 10% de feuilles dressées, 0.5\_FD stade 50% de feuilles dressées, 0.1\_FE stade 10% de feuilles étalées, 0.5\_FE stade 50% de feuilles étalées)

Site	Variete	Annee	0.1_EB	0.5_EB	0.1_FD	0.5_FD	0.1_FE	0.5_FE
1	1	2021	90	99,5	109	119	109	119
1	2	2021	90	96,3	102,7	119	109	119
1	3	2021	90	99,5	109	119	109	119
1	4	2021	90	-9999	-9999	114	114	125,7
1	5	2021	90	98,4	106,9	117,8	110,3	120,7
2	1	2021	-9999	110	112	115,3	118	131
2	2	2021	-9999	110	110	114,8	112,7	121,6
2	3	2021	-9999	110	110	113,2	110	118
2	4	2021	-9999	-9999	-9999	112,7	114	119,7
2	5	2021	-9999	110	110,7	114,0	113,7	122,6
3	1	2021	-9999	111	119,7	118	115,7	132
3	2	2021	111	111	114,5	118	118	132
3	3	2021	-9999	111	111	111	111	118
3	4	2021	-9999	118	118	118	-9999	121,5
3	5	2021	111	112,75	115,8	116,25	114,9	125,875

## Annexe 7 : Fonctionnement des modèles de températures sur PMP

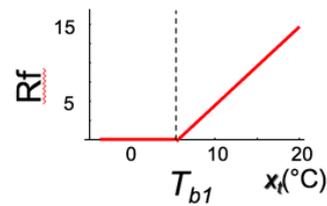
Source : Isabelle Chuine, 2021

### Thermal Time model



$$S_f = \sum_{t_0}^{t_y} R_f(x_t) = F^*$$

$$R_f(x_t) = \begin{cases} 0 & x_t \leq T_{b1} \\ x_t - T_{b1} & x_t > T_{b1} \end{cases}$$

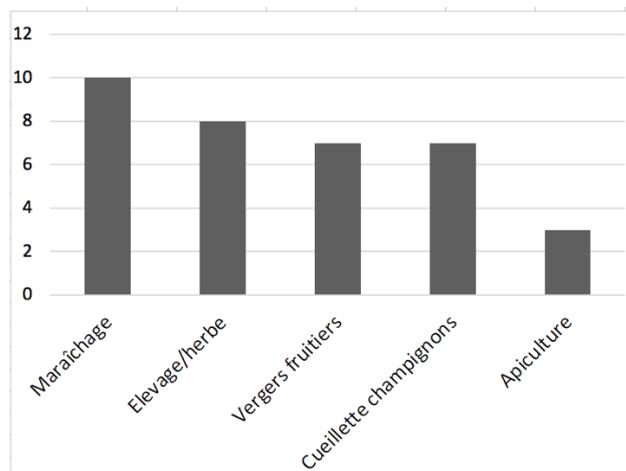


Response of cell growth to temperature  $R_f(t)$

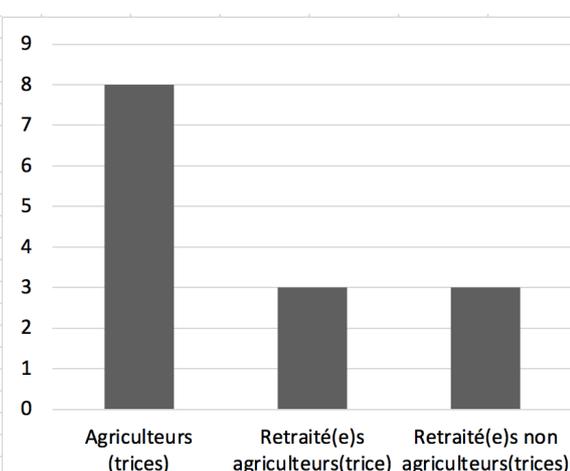
**Annexe 8 : Échantillon d'individus pour les entretiens ethnoécologiques** (*a : expertise par activité et par agriculteur, b : nombre d'individus par activités, c : statut socio-professionnel des agriculteurs enquêtés*)

Code indiv	Mâraichage	Verger fruitier	Apiculture	Elevage/herbe	Châtaigneraie en général
A4	3	2	1	1	2
J2	2	1	1	3	3
A7	2	1	1	1	2
A9	2	2	3	1	3
J3	3	3	1	3	1
J4	3	3	1	1	1
A8	3	3	1	3	3
J1	1	1	1	3	3
A1	3	3	3	3	2
A2	3	3	2	3	1
A3	3	3	2	1	2
A5	3	3	1	3	2
A6	1	3	1	3	1
A10	3	3	1	3	3

a)



b)

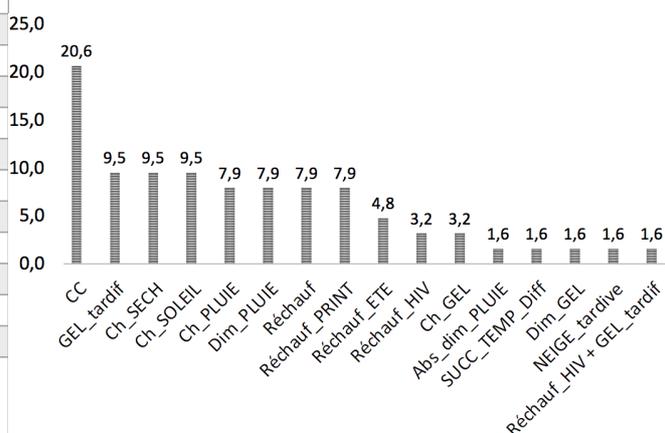


c)

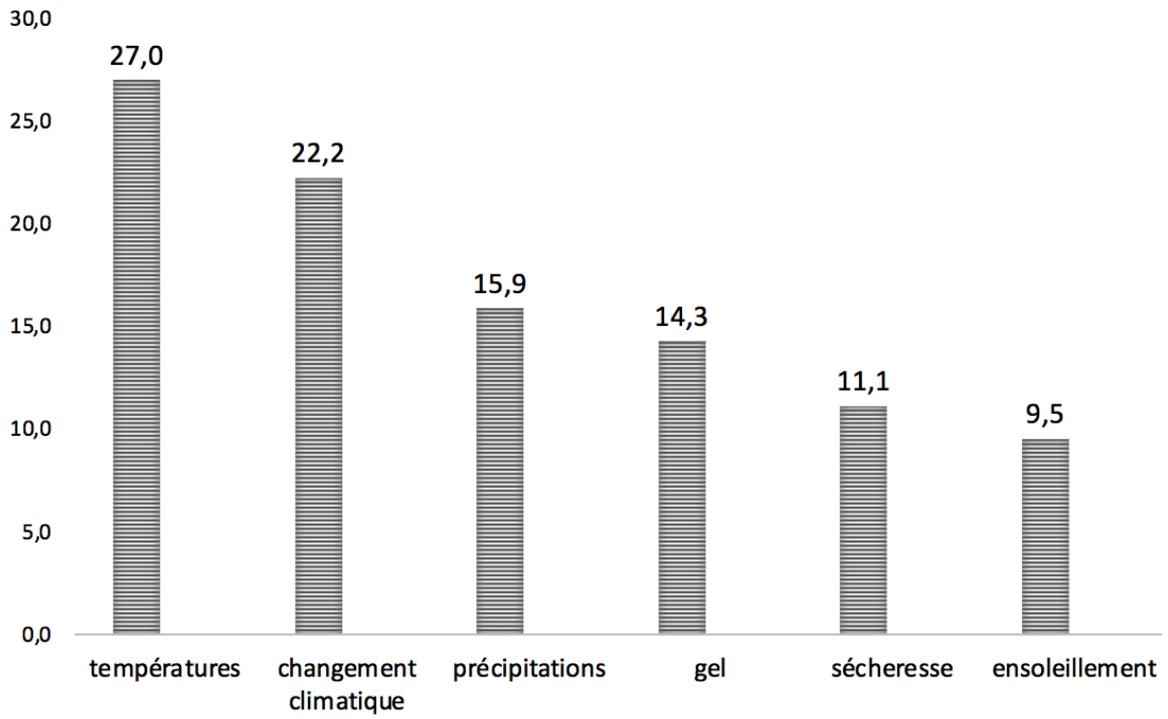
## Annexe 9 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts agricoles, et leurs pourcentages associés

Catégories climatiques locales	Description	Attributs
Abs_Dim_PLUIE	Pas de diminution des pluies	fréquence et intensité
Dim_PLUIE	Diminution de la pluie en général et tout particulièrement en automne	fréquence et intensité
Ch_PLUIE	Changements de saisonnalité des pluies, glissement des périodes de pluies du printemps vers l'hiver	saisonnalité
NEIGE_tardive	Neige tardive	calendrier
Ch_GEL	Anomalie du gel, gel exceptionnel	calendrier
GEL_tardif	Gel tardif	calendrier
Dim_GEL	Diminution du gel	fréquence
Réchauf_HIV + GEL_tardif	Augmentation des températures hivernales suivies d'un gel tardif	double évènements inédits
Réchauf_HIV	Augmentation des températures hivernales	intensité et saisonnalité
Réchauf_PRINT	Augmentation des températures printanières	intensité et saisonnalité
Réchauf_ETE	Augmentation des températures estivales	intensité et saisonnalité
Réchauf	Augmentation des températures	intensité
SUCC_TEMP_diff	Succession de périodes froides puis chaudes	variabilité
Ch_SOLEIL	Changements dans l'intensité du soleil, soleil brûlant, "coups de soleil"	intensité
Ch_SECH	Saisonnalité et caractère exceptionnel de la sécheresse	intensité et saisonnalité
CC	Changement climatique en général sans identification précise d'un évènement climatique	changement climatique

Catégories climatiques locales des LICCI agricoles	Nombre	%
CC	13	20,6
GEL_tardif	6	9,5
Ch_SECH	6	9,5
Ch_SOLEIL	6	9,5
Ch_PLUIE	5	7,9
Dim_PLUIE	5	7,9
Réchauf	5	7,9
Réchauf_PRINT	5	7,9
Réchauf_ETE	3	4,8
Réchauf_HIV	2	3,2
Ch_GEL	2	3,2
Abs_dim_PLUIE	1	1,6
SUCC_TEMP_Diff	1	1,6
Dim_GEL	1	1,6
NEIGE_tardive	1	1,6
Réchauf_HIV + GEL_tardif	1	1,6



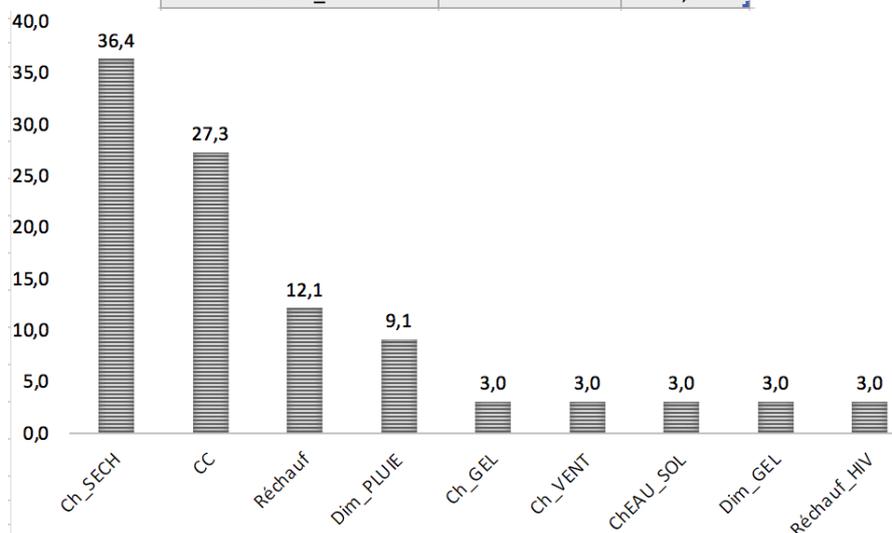
**Annexe 10 : Pourcentages des catégories météorologiques associées aux indicateurs locaux d'impacts agricoles**



## Annexe 11 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts biologiques, et leurs pourcentages associés

Code catégorie climatique locale	Description	Attributs
ChEAU_SOL	manque d'eau dans le sol	quantité
Dim_PLUIE	diminution de la fréquence des pluies, notamment au 15 Août et en automne	fréquence et saisonnalité
Réchauf	augmentation des températures	intensité
Réchauf_HIV	augmentation des températures hivernales	intensité et saisonnalité
Dim_GEL	diminution de la fréquence du gel en hiver	intensité et saisonnalité
Ch_GEL	gel anormal, exceptionnel	intensité
Ch_SECH	saisonnalité et caractère exceptionnel de la sécheresse	intensité et saisonnalité
Ch_VENT	coups de vent	intensité
CC	évènement climatique non identifié	changement climatique

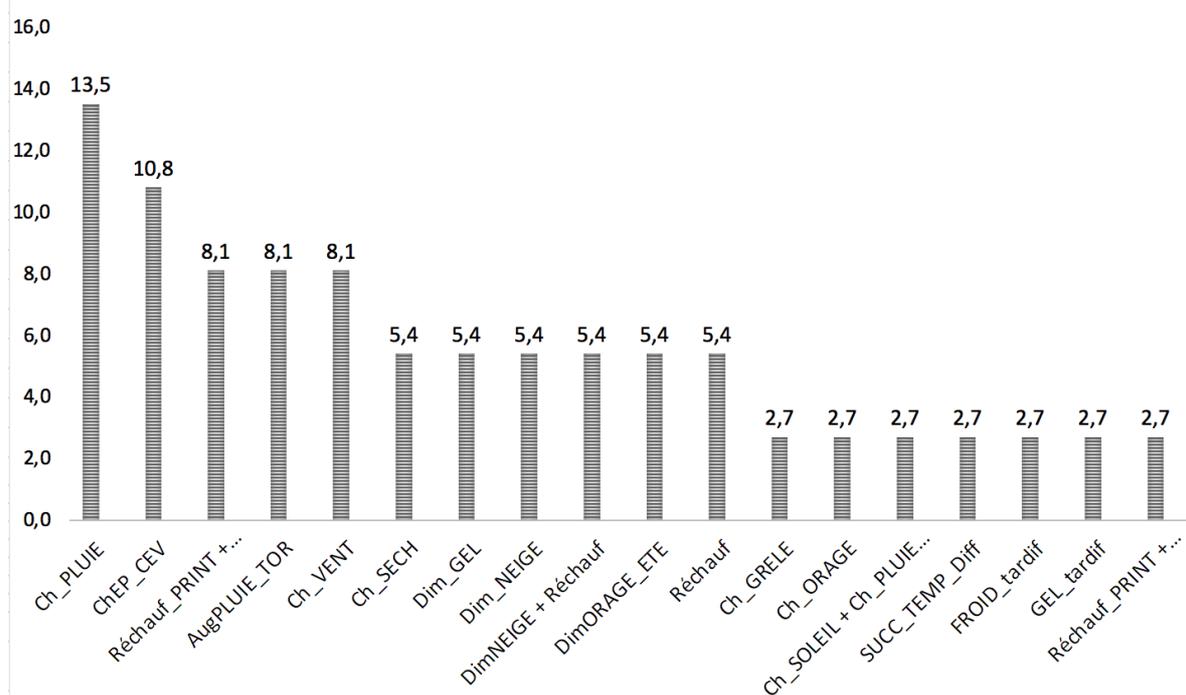
Catégories climatiques locales	Nombre	%
Ch_SECH	12	36,4
CC	9	27,3
Réchauf	4	12,1
Dim_PLUIE	3	9,1
Ch_GEL	1	3,0
Ch_VENT	1	3,0
ChEAU_SOL	1	3,0
Dim_GEL	1	3,0
Réchauf_HIV	1	3,0



## Annexe 12 : Catégories climatiques locales associées aux indicateurs locaux d'impacts climatiques, et leurs pourcentages associés

Code catégories climatiques locales	Description	Attributs
Ch_GRELE	grêle toute l'année alors qu'avant c'était l'été	saisonnalité
Ch_ORAGE	violence des orages	intensité
Dim_NEIGE	diminution de la fréquence et de	fréquence et intensité
DimORAGE_ETE	raréfaction des orages d'été, notamment d'août	raréfaction
AugPLUIE_TOR	augmentation de la fréquence et de l'intensité des pluies	fréquence et intensité
ChEP_CEV	épisodes cévenols plus violents et à des périodes différentes	saisonnalité et intensité
Ch_PLUIE	changement dans les périodes de pluies	saisonnalité
Dim_NEIGE + Réchauf	raréfaction de la neige et augmentation des températures	raréfaction et intensité
SUCC_TEMP_Diff	succession de périodes froides puis chaudes	variabilité
FROID_tardif	période de froid tardive	saisonnalité
Réchauf	augmentation des températures	intensité
Réchauf_PRINT + GEL_tardif	augmentation des températures printanières associées à un gel tardif	saisonnalité et intensité
Réchauf_PRINT + FROID_tardif	augmentation des températures printanières associées à un froid tardif	saisonnalité et intensité
Ch_SOLEIL + Ch_PLUIE + Ch_GEL	augmentation de l'ensoleillement suivi de pluie et de gel anormal	saisonnalité et intensité
GEL_tarif	gel tardif	saisonnalité
Dim_GEL	diminution du gel	fréquence
Ch_SECH	saisonnalité et caractère exceptionnel de la sécheresse	saisonnalité et intensité
Ch_VENT	augmentation de la fréquence et de la violence du vent	fréquence et intensité

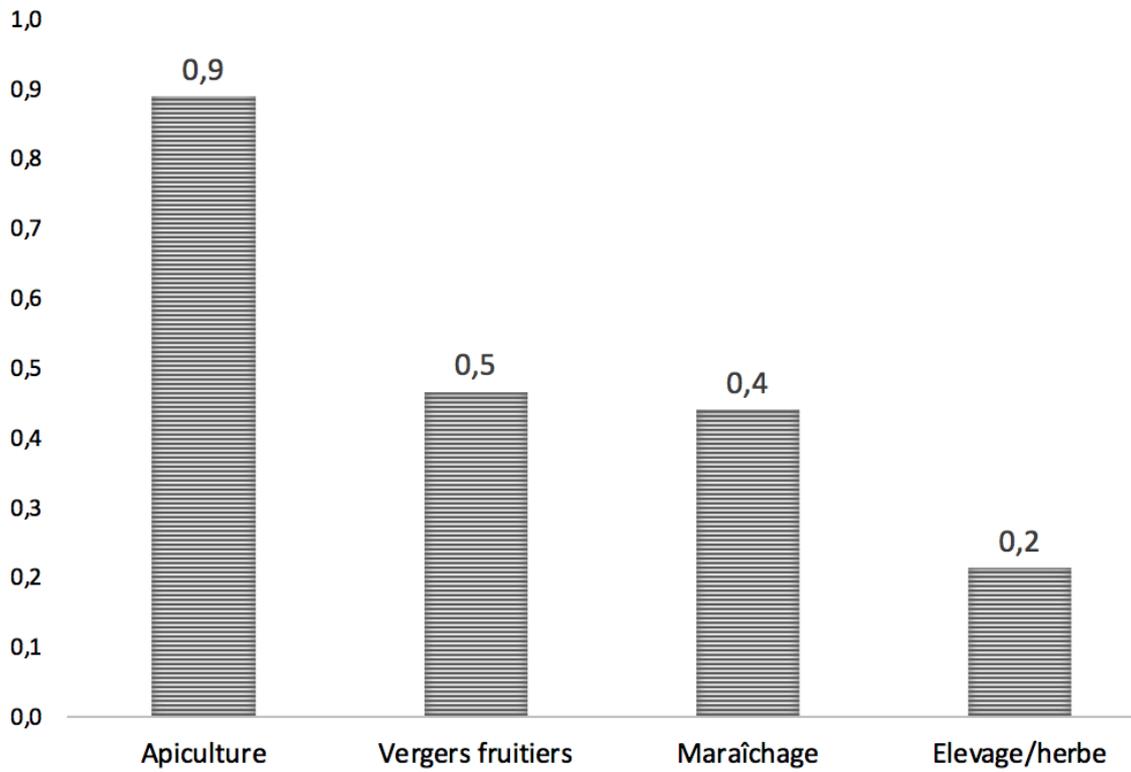
Catégories climatiques locales	Nombre	%
Ch_PLUIE	5	13,5
ChEP_CEV	4	10,8
Réchauf_PRINT + GEL_tardif	3	8,1
AugPLUIE_TOR	3	8,1
Ch_VENT	3	8,1
Ch_SECH	2	5,4
Dim_GEL	2	5,4
Dim_NEIGE	2	5,4
DimNEIGE + Réchauf	2	5,4
DimORAGE_ETE	2	5,4
Réchauf	2	5,4
Ch_GRELE	1	2,7
Ch_ORAGE	1	2,7
Ch_SOLEIL + Ch_PLUIE + Ch_GEL	1	2,7
SUCC_TEMP_Diff	1	2,7
FROID_tardif	1	2,7
GEL_tardif	1	2,7
Réchauf_PRINT + FROID_tardif	1	2,7



**Annexe 13 : Extrait de la liste de toutes les catégories climatiques locales observées par les agriculteurs**

<b>Codage</b>
Dim_GEL
CC
Réchauf_HIV
ChEAU_SOL
Ch_SOLEIL
Ch_SOLEIL
Ch_SOLEIL
Réchauf_PRINT
Ch_VENT
Ch_SECH
Dim_PLUIE
Dim_PLUIE
Ch_PLUIE
CC
GEL_tardif
Dim_PLUIE
Dim_PLUIE
Dim_PLUIE
Ch_SECH
Ch_SECH
Dim_PLUIE
Dim_PLUIE
Ch_PLUIE
Dim_PLUIE
Réchauf
Dim_NEIGE

**Annexe 14 : Résultats pondérés du nombre de LICCI agricoles par catégories d'activités**





LASSERRE, Maya, 2021, Étude ethnoécologique des indicateurs locaux du changement climatique de l'agroécosystème à châtaigneraie et modélisation phénoclimatique des variétés de châtaignes en Lozère, 70 pages avec annexes, mémoire de fin d'études, soutenance à VetAgro Sup campus agronomique, 2021.

**STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES :**

- ◆ Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE), UMR 5175

**ENCADRANTS :**

- ◆ Maître de stage : AUMEERUDDY-THOMAS, Yildiz (CEFE), UMR 5175
- ◆ Tuteur pédagogique : TARDIF, Antoine, VetAgro Sup

**OPTION :** Agriculture Environnement Santé Territoire

**RESUMÉ**

Les systèmes terrestres et aquatiques à l'échelle globale font face au changement climatique. Il affecte également les systèmes agricoles qui doivent envisager des solutions plus durables. Les agroécosystèmes à châtaigneraies observés en Cévennes, en Lozère, souffrent depuis le début de la modernisation agricole d'abandon et du manque de compréhension de leur complexité par les organismes de soutien et désormais aujourd'hui aussi de l'impact des dérèglements climatiques. Le projet d'observatoire sur les fermes, ROC-CHA, dans lequel se situe ce stage, vise à mieux comprendre ces impacts.

L'étude porte sur les apports des observations phénologiques et des indicateurs locaux d'impacts du changement climatique (LICCI) issus des savoirs locaux. Des analyses phénologiques et ethnoécologiques des données recueillies permettent de définir l'apport des deux types de savoirs, locaux et scientifiques. Une modélisation phénoclimatique utilisant le jeu de données phénologiques recueilli, a également été réalisée.

Cette étude a recensé une large gamme d'indicateurs locaux d'impacts du changement climatique sur l'agroécosystème cévenol, issus des savoirs locaux. Ces indicateurs locaux d'impacts permettent de comprendre la vision globale que les castanéculteurs ont du changement climatique, et aussi les différents indicateurs locaux d'impacts sur les activités agricoles (potagers, vergers, apiculture) et sur les châtaigneraies, notamment par exemple sur la floraison du châtaignier ou sur les décalages de fructification. La modélisation phénoclimatique a permis une première approche de modélisation de l'impact du réchauffement des températures sur l'avancement de la date des stades phénologiques du châtaignier. D'autres paramètres dont certains discutés dans cette étude pourraient être inclus dans des modélisations futures.

---

**Mots clés : Châtaignier – Savoirs locaux – Indicateurs Locaux d'Impacts du Changement Climatique (LICCI) – Phénologie – Ethnoécologie - Modélisation phénoclimatique – Cévennes – Changement climatique**

**ABSTRACT**

Terrestrial and aquatic systems at the global level, now face climate change. It also affects agricultural systems and this requires identifying sustainable solutions. Chestnut agroecosystem, those observed in the Cévennes in Lozère have suffered from abandonment and lack of understanding of their complexity by support organizations, and face today the impact of climate change. The on-farm observatory project, ROC-CHA, in which this internship took place, aims at a better understanding of these impacts.

This study relies on phenological observations and local indicators of climate change impacts (LICCI) based on local knowledge. Phenological as well as ethnoecological analysis were conducted on data collected in order to identify inputs from both knowledge systems, local and scientific. A model using phenoclimatic data that were collected was also used.

This study allowed to gather a large panel of local indicators of climate change impacts on the agroecosystem in Cévennes, based on local farmers' knowledge. These local indicators are the key to an understanding of the vision of climate change by the local farmers and also the diversity of local indicators on agricultural activities (gardens, groves, beekeeping) and on complex biological systems such as on chestnut flowers or fruit ripening date. The phenoclimatic modelling gave a first vision of the impact of the increase in temperatures on the advancing of phenological stages of chestnut. Other parameters, some discussed in this study, could be used for future models.

---

**Keywords: Chestnut tree – Local knowledge – Local Indicators of Climate Change Impacts (LICCI) – Phenology – Ethnoecology – Phenological model – Cévennes – Climate change**