

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département d'agronomie



Mémoire de fin d'études
en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER PROFESSIONNEL « MEHmed »
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Changements environnementaux et développement durable

Thème

**L'agroforesterie moyen d'atténuation et
d'adaptation au changement global**

Réalisé par : SENOUSSAOUI Fatima

Soutenu publiquement le devant le jury

Qualité	Nom et Prénom	Grade	Structure
Président	MAHIOUT Djamel	Doc.	Univ. Mostaganem
Encadreur	LARID Mohamed	Prof.	Univ. Mostaganem
Examinatrice	HAMADI Amina	Mag.	ESAMostaganem
Co-Encadreur	JOAN Montserrat Reig	Ing.	Univ. Gérone (Espagne)

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout nous adressons un remerciement à DIEU le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant nos années d'études et pour la réalisation de ce travail qui nous espérons sera utile.

Nos remerciements s'adressent :

Au Pr JOSEP Vila Subiros Responsable du projet « MEHmed » à l'Université de Gérone d'avoir bien voulu m'accorder cette opportunité de participer à ce parcours de Master et d'avoir bénéficié d'une bourse de mobilité pour continuer mon stage de fin d'étude à l'université de Gerona en Espagne ;

Au Pr LARID Mohamed mon encadreur qui a été toujours avec moi dans ce travail, pour sa sincérité et ses conseils, sa présence et disponibilité et le partage de ses connaissances qui nous ont permis de réaliser ce mémoire.

A ANITA Geiszinger mon manager du projet de MEHMED et JOAN Montserrat Reig mon co-encadreur de l'université de Gerona Espagne.

Aux membres du jury qu'ils trouvent ici toute notre gratitude et reconnaissance pour avoir accepté d'examiner et pour avoir bien voulu évaluer ce travail.

Sans oublier nos chers amis et nos chers collègues.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos chers parents pour leur soutien inconditionnel dans toutes les étapes de notre vie.



SENOUSSAOUI Fatima

Dédicaces

A mon père SENOUSSAOUI Mohamed qui est mon idéal de la vie.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; BOUSSAADA Bentnabi que j'adore.

A mes chers frères : Hamid; Madjid; Abdelkarim; Abdelrahmane et Abdelaziz

Merci pour tout.

A mon encadreur Pr LARID Mohamed que j'aime pour sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

A mes très chères et proches amies : TEHAMI Amina, OMRI Khaoula, BECHIKH kaouther , HAMAD Hanane et AMIRI Ouafa que j'aimerais bien leur dire que je suis très heureuse d'avoir passé toutes ces années avec elles, ainsi que, pour tous les moments passés ensemble je vous dis merci pour tout.

A toute la promotion Changements Environnementaux et Développement Durable pour nos souvenirs inoubliables que notre amitié dure à jamais.

A mes Professeurs qui ont contribué à ma formation.

SENOUSSAOUI Fatima

Résumé : L'agriculture conventionnelle est devenu un frein à tout développement rural durable par l'émission de gaz à effet de serre, la réduction de la biodiversité et la pollution des sols et de l'eau. Elle doit être l'un des principaux leviers à actionner pour une meilleure atténuation et adaptation au changement global. Les agroécosystèmes et plus particulièrement l'agroforesterie est souvent considérée comme une activité à revenus multiples, créatrice d'emplois et plus respectueuse pour l'environnement. Elle permet une couverture végétale quasi permanente protégeant le sol contre toute forme de dégradation et en même temps capter le CO₂ et séquestrer le carbone pour la fabrication de la matière organique. L'étude a eu lieu dans la région volcanique et forestière de Gérone au Nord-Est de l'Espagne où une zone agroforestière en pleine expansion a été délimitée avec trois stations d'observations. Les pratiques agroforestières rencontrées sont nombreuses et diversifiées et ont fait l'objet d'une typologie et une classification afin de discerner leur efficacité selon les conditions pédoclimatiques, socioéconomiques et environnementales. Ainsi, l'agroforesterie demeure une pratique agricole innovante à développer. Elle permet une meilleure utilisation et préservation des ressources naturelles, une plus grande diversité biologique, des revenus supplémentaires, des produits agricoles sains et un microclimat favorable à l'augmentation des rendements répondant ainsi aux principes du développement rural durable dans le cadre d'un changement global.

Mots clés : Agroforesterie, agroécosystème, adaptation, atténuation, changement global,

المخلص : أصبحت الزراعة الكيميائية عقبة أمام التنمية الريفية المستدامة من خلال انبعاث غازات الدفيئة ، والحد من التنوع البيولوجي وتلوث التربة والمياه. يجب أن يكون أحد الرافعات الرئيسية التي يجب تفعيلها من أجل التخفيف والتكيف بشكل أفضل مع ظاهرة الاحتباس الحراري. وكثيرا ما ينظر إلى النظم الإيكولوجية الزراعية، وعلى وجه التحديد الحراجة الزراعية، على أنها نشاط متعدد الدخل ومولد لفرص العمل وأكثر ملاءمة للبيئة. يسمح بغطاء نباتي دائم تقريبا يحمي التربة من أي شكل من أشكال التدهور وفي نفس الوقت يلتقط CO₂ ويعزل الكربون لتصنيع المواد العضوية. أجريت الدراسة في منطقة جيرونا البركانية والحرجية في شمال شرق إسبانيا حيث تم ترسيم منطقة الحراجة الزراعية سريعة التوسع بثلاث محطات مراقبة. وممارسات الحراجة الزراعية المصادفة عديدة ومتنوعة وكانت موضوع تصنيف وتصنيف من أجل تمييز فعاليتها وفقا للظروف التربوية والاجتماعية - الاقتصادية والبيئية. وهكذا، تظل الحراجة الزراعية ممارسة زراعية مبتكرة يتعين تطويرها. فهو يسمح بتحسين استخدام الموارد الطبيعية والحفاظ عليها، وزيادة التنوع البيولوجي، والدخول الإضافية، والمنتجات الزراعية الصحية، والمناخ المحلي الذي يفضي إلى زيادة الغلة، وبالتالي الوفاء بمبادئ التنمية الريفية المستدامة في سياق التغير العالمي.

الكلمات المفتاحية: الحراجة الزراعية، النظام الإيكولوجي الزراعي، التكيف، التخفيف، التغير العالمي.

Abstract : Conventional agriculture has become an obstacle to sustainable rural development through the emission of greenhouse gases, the reduction of biodiversity and the pollution of soil and water. It must be one of the main levers to be activated for better mitigation and adaptation to global warming. Agroecosystems and more specifically agroforestry is often seen as a multi-income, job-creating and more environmentally friendly activity. It allows an almost permanent vegetation cover protecting the soil against any form of degradation and at the same time capturing CO₂ and sequestering carbon for the manufacture of organic matter. The study took place in the volcanic and forest region of Girona in northeastern Spain where a rapidly expanding agroforestry area was demarcated with three observation stations. The agroforestry practices encountered are numerous and diversified and have been the subject of a typology and classification in order to discern their effectiveness according to pedoclimatic, socio-economic and environmental conditions. Thus, agroforestry remains an innovative agricultural practice to be developed. It allows for better use and preservation of natural resources, greater biological diversity, additional incomes, healthy agricultural products and a microclimate conducive to increased yields, thus meeting the principles of sustainable rural development in the context of global change.

Keywords: Agroforestry, agroecosystem, adaptation, mitigation, global change.

Liste des figures

N°	Intitulé	Page
01	Les trois principaux types agroforestiers donnés par les combinaisons « Foresterie-Agriculture-Elevage »	06
02	Quelques paysages agroforestiers en zone méditerranéenne	18
03	Agriculture « multi-étagée » dans le delta du Nil en Égypte	19
04	Situation géographique de la zone d'étude	22
05	Diagramme ombrothermique de la zone d'étude	27
06	Evolution annuelle des paramètres climatiques de la zone d'étude	28
07	Développement des espaces agroforestiers dans la zone d'étude	33
08	Stations agroforestières prospectées dans la zone d'étude	34
09	Station 01 : SAF associant arbres, cultures en bocage, haies et élevages	34
10	Station 02 : SAF associant arbres et cultures avec lacs artificiels pour irrigation	35
11	Station 03 : SAF associant une agriculture en banquettes séparée par des arbres	35
12	Station 04 : SAF associant cultures et bosquets	36
13	Station 05 : Arboriculture (verger de pommier) associée à la foresterie	36
14	Superficies des terres agricoles exploitées et non exploitées	39
15	Superficies arborées et non arborées	39
16	Lac artificiel dans la <i>finca</i>	40
17	Emergence des eaux souterraines	40
18	Pommier (<i>Malus domestica borkh</i>) avec cultures intercalaires	40
19	Agroforesterie céréalière (<i>Tricum durum</i>)	41
20	Importance de l'arbre fruitier dans la production agroforestière	41
21	Association d'élevage aux SAF (bovins : Blonde d'Aquitaine)	42
22	Exploitation du bois (Combustible et/ou objet d'art)	42

Liste des tableaux

N°	Intitulé	Page
01	Principales caractéristiques de la zone d'étude	23
02	Occupation du sol de la zone d'étude	24
03	Données climatiques de la région de Gérone	25

Sommaire

Page

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
المخلص	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
PARTIE I : APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE	02
1.1. L'agroforesterie	03
1.1.1. Définitions	03
1.1.2. Les types des systèmes agroforestiers	04
1.1.2.1. Agrisylviculture (adj. : agrisylvicole)	04
1.1.2.2. Sylvopastoralisme (adj. : sylvopastorale)	05
1.1.2.3. Agrisylvopastoralisme (adj. : agrisylvopastoral)	05
1.1.2.4. Systèmes agroforestiers alternatifs	06
1.1.3. Distinction entre l'agroforesterie et la foresterie	06
1.1.4. Importance des systèmes agroforestiers	07
1.1.4.1. Importance économique et socioculturelle	07
1.1.4.2. Importance écologique	08
1.1.4.3. Effets des SAF sur les sols	08
1.2. Le changement global	11
1.2.1. Qu'est-ce que le changement global ?	11
1.2.2. Le changement climatique	11
1.2.3. Des effets sur tous les territoires	12
1.3. L'agroforesterie et le changement climatique	13
1.3.1. Agroforesterie : Facteur d'adaptation au changement climatique	14
1.3.1.1. Atténuation	14
A. Séquestration du carbone	15
B. Rendement prairial	15
C. Influences sur les performances agricole	15
1.3.1.2. Adaptation	17
1.3.2. Services écosystémiques de l'agroforesterie	17
1.4. Cas concrets de systèmes agroforestiers	19
1.5. Les inconvénients de l'agroforesterie	20
PARTIE II : APPROCHE EXPERIMENTALE	21
2.1. Matériels et méthodes	22
2.1.1. Objectifs	22
2.1.2. Présentation de la zone d'étude	22
2.1.2.1. Situation géographique	22
2.1.2.2. Principales caractéristiques	23
2.1.2.3. Situation juridique et administrative	23
2.1.2.4. L'orographie	24

2.1.2.5. L'hydrographie	24
2.1.2.6. La géologie	25
2.1.2.7. Le climat	25
A. Les précipitations	26
B. Les températures	26
C. L'ensoleillement	26
D. L'humidité relative	26
E. Les vents	26
F. La synthèse climatique	27
2.1.2.8. La végétation	28
A. Les caractéristiques générales	28
B. Les communautés végétales	29
C. La structure et la composition de la végétation	29
2.1.2.9. Les malures et les nuisibles	31
2.1.2.10. La Faune	31
2.1.3. Approche méthodologique	33
2.1.3.1. Choix et délimitation de la zone d'étude	33
2.1.3.2. Choix et détermination des stations	33
2.1.3.3. Caractérisation et identification des stations	34
2.2. Résultats et discussions	37
2.2.1. Principaux objectifs	37
2.2.1.1. La gestion forestière	37
A. Les pâturages	37
B. Protection stricte	37
2.2.1.2. La production forestière	38
A. Les pâturages	38
B. Les loisirs	38
C. La chasse	38
2.2.2. Superficie des terres agricoles	38
2.2.2.1. Superficie des terres agricoles exploitées et non exploitées	38
2.2.2.2. Exploitation des différentes superficies de la Finca	39
2.2.3. Les ressources hydriques utilisées dans la zone d'étude	39
2.2.4. La production végétale dans la zone d'étude	40
2.2.5. Cultures herbacées traditionnelles	41
2.2.6. La faune	41
2.2.7. L'exploitation des arbres	43
2.2.8. Les types de SAF rencontrés	43
2.2.9. Les types d'écosystèmes	43
Conclusion générale	44
Références bibliographiques	47
Annexes	52

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Aujourd'hui l'agriculture est confrontée à des défis humains, sociétaux et environnementaux majeurs selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Elle occupe une place cruciale dans la lutte pour la sécurité alimentaire, la génération des revenus et la diminution de la pauvreté. De ce fait, l'agriculture reste l'outil le plus puissant dans la politique internationale.

L'agroforesterie se présente comme un système de production dont l'activité agricole et particulièrement d'élevage est intimement liée à la forêt. Ce système n'est pas nouveau, ce sont les conditions historiques, économiques et sociales qui ont amené l'homme à tirer de la forêt ses besoins en dehors du bois qui est la production essentielle d'une forêt.

Dans ces dernières années, une conversion rapide des espaces forestiers européens en d'autres usages a été considérée à cause de la croissance démographique, l'urbanisation, ainsi que l'urbanisation que la demande en produits agricoles et forestiers. Cette conversion en zones agricoles entraîne des effets néfastes sur l'environnement, ce qui nous amène à mieux gérer et concilier la production agricole et forestière avec la conservation des ressources naturelles.

Ces problèmes mentionnés nous mènent vers un véritable dilemme : Comment peut-on assurer le développement des communautés rurales tout en préservant les sols et la biodiversité ? et la résolution du dilemme peut-elle être effectuée par l'intégration des systèmes agroforestiers par la création d'un système combiné entre l'agriculture et la forêt ?

Cette étude a été consacrée à l'étude des caractéristiques des systèmes agroforestiers au parc naturel de la « *zona volcanica à garorrotxa* » au Nord-Est de l'Espagne afin de les analyser dans toutes leurs dimensions et à réfléchir l'innovation en agroforesterie.

Ainsi le travail a été subdivisé en deux parties :

La première a été consacrée à un aperçu bibliographique sur la notion d'agroforesterie, le changement global, l'agroforesterie et le changement climatique, les services écosystémiques de l'agroforesterie et enfin les cas concrets d'agroforesterie.

La seconde partie a porté sur l'approche expérimentale où un détail a été donné sur les matériels et méthodes utilisés suivi d'une présentation des résultats obtenus le tout terminé par une conclusion générale.

PARTIE I
APERÇU
BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. L'agroforesterie

L'agroforesterie désigne la pratique qui consiste à utiliser les plantes ligneuses pérennes (arbres, arbustes, palmiers, bambous, etc.) sur les mêmes terres que les exploitations agricoles et/ou animales, que ce soit en termes de disposition spatiale ou en séquence temporelle pour répondre à des besoins économiques, sociaux et écologiques. Elle reprend les principes de la permaculture.

Dans les systèmes agroforestiers, il existe des interactions à la fois écologiques et économiques entre les différentes composantes. L'agroforesterie est définie comme un système de gestion des ressources naturelles dynamique et écologique qui, grâce à l'intégration d'arbres dans les exploitations agricoles, diversifie et maintient la production pour accroître les avantages économiques et environnementaux.

Les arbres peuvent donc être considérés ici comme des auxiliaires de culture qui aident notamment à lutter contre les ravageurs en offrant un habitat aux insectes et oiseaux prédateurs de nuisibles.

En particulier, l'agroforesterie est cruciale pour les petits exploitants agricoles et les autres populations rurales, car elle peut améliorer leur approvisionnement alimentaire, leurs revenus et leur santé.

1.1.1. Définitions

Partant du principe que l'agroforesterie doit assurer une plus large couverture végétale des sols, elle doit en même temps garantir un équilibre naturel et fonctionnel du système agricole à travers la diversification, l'étagement des cultures et un maximum de complémentarités entre les différents « compartiments » de l'écosystème (sol, plantes, animaux, atmosphère). Avec ses différentes formes complexes et difficilement définissables en quelques mots, plusieurs chercheurs en agroforesterie ont tenté de la définir ces dernières décennies.

Commençons par donner la définition d'Anthony Young de l'ICRAF, en 1983, laquelle a la qualité d'être très complète, mais le défaut d'être un peu longue. Il définit ainsi l'agroforesterie: «Un nom collectif pour des systèmes d'utilisation du territoire et des technologies par lesquels des plantes ligneuses pérennes (arbres, arbustes, bambous, etc.) sont aménagées délibérément sur les mêmes terrains que les cultures agricoles annuelles et/ou les animaux domestiques (ex. bétail) selon un arrangement spatial précis ou selon une séquence temporelle prédéterminée de façon à générer des interactions écologiques et économiques entre

les composantes du système. Cet arrangement peut se faire en succession ou simultanément de façon à accroître et soutenir le rendement.

Une autre définition, celle de MacDicken et Vergara (1990), suggère ceci : « [...] une utilisation du territoire qui implique délibérément la rétention, l'introduction et le mélange d'arbres ou d'autres espèces ligneuses pérennes dans les cultures agricoles annuelles ou les pâturages de façon à bénéficier des interactions écologiques et économiques ».

La dernière définition retenue est celle de Gordon et Newman (1997). Elle a le mérite d'être succincte, mais tout de même assez complète : « Une utilisation du territoire qui incorpore les arbres dans les cultures agricoles annuelles et les élevages d'animaux domestiques qui permet autant la production d'arbres, de cultures et d'animaux à partir du même terrain. »

Ce qui est important de retenir dans toutes ces définitions, c'est que les systèmes agroforestiers sont pensés de façon à promouvoir les interactions écologiques. Ces interactions augmentent les rendements, l'utilisation des ressources (ex. nutriments, eau, lumière) et les bénéfices environnementaux (ex. enrichissement et stabilisation des sols, protection de la faune).

Après trente ans de recherche, nous savons maintenant que les systèmes agroforestiers sont biologiquement plus productifs, plus profitables financièrement et plus viables que les monocultures agricoles ou forestières. De plus, lorsque les différentes composantes sont intégrées, c'est-à-dire les cultures, les arbres et les animaux domestiques, la performance de chaque composante ne peut pas être prédite selon son comportement normal en isolement (Gordon et Newman, 1997).

1.1.2. Les types des systèmes agroforestiers

Il en existe d'après la littérature trois principaux types agroforestiers. La première classification des types et des systèmes agroforestiers fut proposée par Nair (1985) d'après les activités les plus classiques en régions tropicales, Nair (1985) reconnaît deux principaux types agroforestiers, l'agrosylviculture et le sylvopastoralisme. Ces deux grands types agroforestiers sont décrits succinctement ci-dessous. Un grand type agroforestier inclut plusieurs systèmes agroforestiers qui fonctionnent tous selon des principes de base similaires et qui ont des objectifs communs.

1.1.2.1. Agrisylviculture (adj. : agrisylvicole)

Il s'agit de systèmes qui favorisent la juxtaposition des arbres, selon différentes répartitions spatiales et temporelles, dans des cultures agricoles qui sont supportées par des

terres arables. Ces systèmes visent surtout l'amélioration de la qualité des sols (matière organique et nutriments) et des conditions microclimatiques pour la maximisation des rendements agricoles.

1.1.2.2. Sylvopastoralisme (adj. : sylvopastorale)

Il s'agit de systèmes qui assurent la cohabitation des arbres et des animaux domestiques (élevage) dans des pâturages. Ces systèmes visent à maximiser autant la production du bois que du fourrage. Il assure aussi des conditions de croissance adéquates pour les animaux domestiques par les arbres. Dans certains cas, on utilise des espèces d'arbres qui peuvent produire directement du fourrage pour les animaux.

1.1.2.3. Agrisylvopastoralisme (adj. : agrisylvopastoral)

Nair (1985) reconnaît ce troisième grand type agroforestier en régions tropicales. Comme son nom tricomposite l'indique, il s'agit de systèmes similaires à ceux du sylvopastoralisme, mais qui assurent en même temps une certaine culture agricole. C'est donc un type agroforestier qui se caractérise par une structure systémique assez complexe, sollicitant plusieurs interactions entre les différentes composantes.

Ici, le terme « agrisylviculture » est utilisé dans le but de se limiter à la classification de type agroforestier qui combine l'agriculture et les arbres. Puisque « sylviculture » est synonyme de foresterie, le terme « agrisylviculture » est pratiquement l'équivalent du terme « agroforesterie ». Pour éviter toute confusion, il est donc coutume d'utiliser « agrisylviculture » plutôt que « agrisylviculture », lorsqu'on parle de ce type agroforestier en particulier [1].

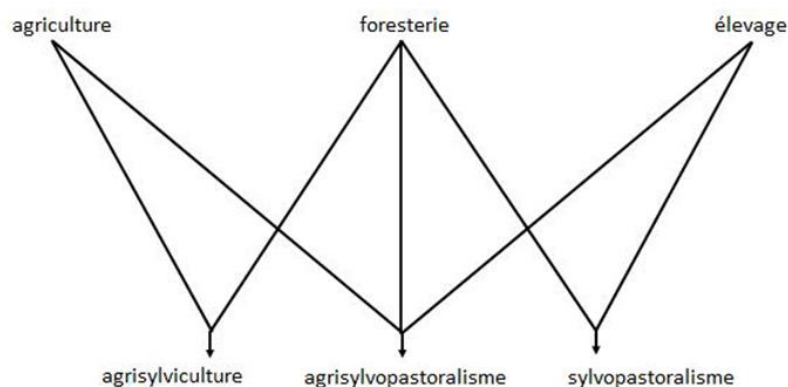


Figure 01. Les trois principaux types agroforestiers donnés par les combinaisons « Foresterie-Agriculture-Elevage » [1]

Il est important de noter que l'ordre des termes qui apparaissent dans le nom du type agroforestier « agrisylviculture » est interchangeable par « sylvoagriculture ». Les termes « agri » et « sylvo » donnent le niveau d'importance de la culture [1]. Dans l'agrisylviculture, l'agriculture est plus importante que dans la sylviculture. C'est le contraire pour la sylvoagriculture. Les combinaisons foresterie-agriculture-élevage qui donnent les trois principaux types agroforestiers de Nair (1985) sont bien illustrés par la figure 1. Toutefois, l'importance relative de chacun des domaines n'est pas représentée dans cette figure.

1.1.2.4. Systèmes agroforestiers alternatifs

L'arrivée de l'agriculture en Europe et en Amérique du Nord a permis le développement d'un quatrième type agroforestier bien distinct, les systèmes dits « **environnementaux** » ou tout simplement « **Agroforesterie environnementale** ». On peut le définir généralement comme systèmes intégrant les arbres dans les paysages agricoles afin de protéger les sols contre l'érosion par le vent et les cours d'eau contre l'érosion des berges, et/ou pour conserver la qualité de l'eau.

1.1.3. Distinction entre l'agroforesterie et la foresterie

La distinction entre l'agroforesterie et la foresterie est parfois nuancée. Les débats persistent entre scientifiques et aménagistes en ce qui a trait à la définition d'un système agroforestier. En quoi le système agroforestier se distingue-t-il de la foresterie ?

Plusieurs producteurs agricoles dans le monde incluent dans leurs pratiques des composantes de l'agroforesterie, mais ils ne les ont pas qualifiées comme étant de l'agroforesterie à son état pur. Par exemple, la production de sirop d'érable et ses dérivés (acériculture) est une pratique courante qui se fait à partir de petits lots forestiers au sein des paysages agricoles de l'Est du Canada. Dans ce cas, on exploite les arbres dans le but d'y extraire des produits de valeur ajoutée sans nécessairement viser la production de bois. On pourrait toutefois arguer qu'un tel système ne cherche pas nécessairement à favoriser les interactions entre les cultures, les animaux domestiques et les arbres sur une même portion de territoire. Dans un sens strict, on pourrait conclure qu'il ne s'agit pas d'un « vrai » système agroforestier, voire d'agrisylviculture, de sylvopastoralisme, d'agrisylvopastoralisme et d'agroforesterie environnementale. On ne pourrait pas non plus conclure que l'acériculture est synonyme d'une foresterie classique parce qu'il n'y a pas la production de bois comme objectif primaire. Toutefois, les petits îlots d'érablières sont souvent exploités pour du bois de chauffage, avec les résidus d'élagage ou encore les arbres en dégénérescence.

En somme, il faut reconnaître qu'il y a des zones grises dans les définitions offertes. Il est toutefois possible que la nature de certains systèmes soit multi objectifs (ex. sirop d'érable, bois de chauffage et agriculture limitrophe aux îlots forestiers). De ce fait, ce serait une erreur d'appliquer la classification dans un sens strict et d'exclure l'acériculture comme système agroforestier. Dans cette optique, un bon système de classification devrait être plutôt inclusif qu'exclusif. Il est donc proposé de placer dans un autre type agroforestier tous les systèmes qui sont multi-objectifs, mais qui ne tombent pas directement dans l'un des quatre grands types agroforestiers énumérés précédemment. Il s'agit de systèmes tels que l'apiculture en milieu arboré, les lots forestiers multi-usages comme l'acériculture, ainsi que les systèmes d'aquaforesterie qui utilisent la litière des arbres comme fourrage pour les poissons. Étant donné son sens assez large, nous les identifierons comme des systèmes dits « multi-objectifs ». On peut y inclure également la sylviculture intensive, voire très intensive, car elle fait souvent partie du plan d'aménagement de plusieurs producteurs agricoles. En effet, on retrouve fréquemment les plantations d'espèces d'arbres ou d'arbustes à croissance rapide sur les terrains des producteurs agricoles, rendant ainsi le système multi-objectifs. Notamment, les taillis de saules sur de très courtes rotations sont utilisés afin de produire du combustible (ex. copeaux) et des biocarburants (ex. éthanol). Il faudrait préciser ici que l'agroforesterie peut bénéficier énormément du partage de connaissances (théoriques et pratiques) entre le forestier et le producteur agricole, et que les systèmes multi-objectifs n'y font pas exception.

1.1.4. L'importance des systèmes agroforestiers (SAF)

De nombreuses études ont démontré l'intérêt des SAF dans la conservation de la biodiversité, la lutte contre les changements climatiques, l'amélioration de la résilience des populations et la préservation des sols.

1.1.4.1. L'importance économique et socio-culturelle

Les SAF présentent une source de produits commercialisables grâce à la présence des arbres et des arbustes qui assurent la production des fruits, du bois, des fourrages et des produits médicinaux. Ils assurent aux Hommes de diversifier leurs revenus et d'augmenter leur système de production face aux changements climatiques. Par exemple, dans les zones Savane Africaine, les gens maintiennent leurs revenus en ramassant le bois de chauffage, des fruits, des épices et des fourrages [1]. D'autre part, la production fourragère pour les arbres et les arbustes dans les SAF est souvent la seule aux éleveurs en période de soudure en Afrique Sahélienne [2].

1.1.4.2. L'importance écologique

L'accélération d'évacuation de l'excès d'eau dans les parcelles agroforestiers est obtenue grâce à l'augmentation de l'évaporation suite à la présence des arbres dans le SAF [3].

Les SAF contribuent à la régulation du cycle d'eau, à une bonne structuration des sols, à une bonne régulation de la température et ils sont un habitat pour les pollinisateurs sauvages et les prédateurs des ravageurs agricoles. Ils peuvent assurer l'ombrage, le refroidissement, l'interception, le stockage et l'infiltration des eaux pluviales [4].

Une étude au Niger a montré que la réduction des ruissellements des eaux pluviales et la formation des microclimats en milieu urbain peuvent être liées à l'augmentation des couvertures végétales [5].

Aussi Walter et ses collaborateurs [6] prouvent que les SAF présentent un effet sur les phénomènes d'érosion par la présence racinaire dans les horizons profonds qui augmente la capacité de stockage d'eau dans le sol et par suite une infiltration plus efficace, ainsi que la concentration du carbone sous un alignement d'arbres (atteindre une valeur de 40g par Kg de sol) ce qui limitent l'érosion du sol.

1.1.4.3. Les effets des systèmes agroforestiers sur les sols

Dans les systèmes agroforestiers les débris végétaux sont un moyen de lutte contre l'érosion, la désertification, favorisent la fertilité et la protection des sols et assurent la régénération des sols dégradés [7] et ils peuvent également promouvoir le stockage de carbone et de l'azote dans les sols [8].

Les apports organiques au sol sont d'origines végétales dans la plupart des SAF. En fait, le stockage de la matière organique est une conséquence de la présence du carbone et d'azote [9]. Les matières organiques du sol sont en fait les racines des plantes, les microorganismes, la microfaune du sol et les résidus de végétaux décomposés [10]. La principale source des matières organiques est la photosynthèse des plantes profitant de la lumière du soleil et dans la plupart des SAF, les apports organiques du sol proviennent des arbres, des arbustes et des plantations et se produisent à la surface du sol et à la couche de surface où la densité racinaire et l'activité biologique sont plus importantes.

Ces procédés permettent d'obtenir les éléments minéraux majeurs (C, N, H, O) et les éléments minéraux secondaires (P, Mg, Ca, K et oligo-éléments). Selon Bernoux (2016), le carbone du sol constitue 50% des éléments contenus dans la MO sous forme organique et aussi

sous forme inorganique ou bien minérale. Dans les sols mondiaux, on estime la présence de 2000 Gt du carbone organique, tandis que le stockage du carbone inorganique s'élève à 950 Gt. D'autre part, selon Andrianarisoa [11], dans les sols l'azote se présente sous forme organique (95% d'azote organique dans le sol) et sous forme inorganique.

Lors de la décomposition des résidus végétaux, on aura un fort couplage des cycles du carbone et d'azote dans les sols. Ce couplage est dû en raison de l'assimilation simultanée du C et de N pour la communauté microbienne hétérotrophe de décomposeurs [12]. Ces deux cycles dépendent des conditions climatiques et des propriétés du sol. L'existence du l'azote minérale ne doit pas dépasser un seuil et au-dessous duquel l'azote contrôle la vitesse de la décomposition du carbone. En outre, le stockage du carbone peut être associé à des émissions plus importantes de N₂O [13] et des niveaux élevés d'azote entraînent à la fois des émissions d'azote et de carbone dans les sols. Selon Aita [14], les rapports C/N et le flux en carbone prouvent les besoins en azote de la microflore. Ce rapport nous renseigne sur l'activité biologique du sol, le degré moyen d'évolution de la MO et le potentiel de minéralisation de l'azote. Plus C/N est élevé et supérieur à 10, plus l'activité biologique et la minéralisation de l'azote sont faibles et l'humidification est élevée [15].

Bationo [16], prouve que le stockage du carbone, d'azote et de MO sont fortement dépendants de la texture du sol. Par ailleurs, des études faites à l'est du Canada, montrent également que les SAF et à travers les débris végétaux permettent l'augmentation des organismes dans le sol. Ils ont des effets potentiellement positifs sur la santé des sols et la production agricole [17].

L'agriculture durable nécessite des sols fertiles, grâce à l'intervention des SAF on peut améliorer et maintenir la fertilité des sols. Ceci a été prouvé par Tsufac et son équipe [18]. En effet, ils ont étudié l'effet des SAF (agrosylvopastoral, sylvopastoral et agrosylvopastoral) en intégrant plusieurs types d'arbres, d'arbustes, des plantations et des animaux. Durant son étude, les agriculteurs perçoivent l'amélioration rapide de la fertilité du sol surtout par le système agrosylvopastoral qui est classé comme étant le plus fertile. Aussi une relation statistiquement significative non causale et causale, a été trouvée entre la fertilité des sols et la pratique des systèmes agrosylvopastoraux et agrosylvicoles impliquant la pratique de ces deux systèmes conduit à une amélioration de la fertilité des sols et par suite la recommandation aux agriculteurs d'intégration des SAF à leurs travaux agricoles.

La qualité des sols peut être définie comme étant la capacité durable des sols à fonctionner

sous les contraintes écologiques et d'utilisations des parcelles à maintenir la productivité, à promouvoir la qualité de l'air et de l'eau et à maintenir la santé humaine animales et végétales [19]. Pour interpréter la qualité du sol, des indicateurs physiques, chimiques et biologiques doivent être combinées afin d'obtenir des informations clés sur la composition, la structure et la fonction du sol [20].

Dans ce contexte, Guillot [21] a étudié le sol agricole dans le site de Restinclière (15 Km de Montpellier au Sud), et il a fait une comparaison entre les sols des SAF et ceux de la monoculture en évaluant les indicateurs physiques, chimiques et microbiologiques.

Sur le site étudié, 25 échantillons ont été pris afin de mesurer les indicateurs physiques et chimiques et évaluer le taux d'humidité, la densité apparente (division de la masse sèche du sol par le volume des racines), la texture du sol (dissolution de CaCO_3), le pH dans un extrait aqueux, la capacité d'échange des cations, le carbone organique et l'azote totale (combustion sèche) et le phosphore (méthode d'Olsen).

D'autre part, les indicateurs microbiologiques ont été étudiés sur la côté Nord et Sud du site (40 échantillons) par une mesure des teneurs des biomasses microbiennes de carbone, d'azote et de phosphore (MBC, MBN et MBP) en utilisant la méthode fumigation-extraction au chloroforme [22]. Cette étude prouve qu'après 21 ans, la qualité du sol était significativement améliorée dans les rangées d'arbres par rapport aux positions inter-rangées et à la monoculture. Les rangées d'arbres et leurs couvertures herbacées permanentes ont enrichi le sol en matière organique. L'implantation des rangées d'arbres a induit une hétérogénéité spatiale dans les indicateurs chimiques, la biomasse microbienne, les activités et la structure de la communauté à l'échelle de la parcelle de culture en couloirs.

La culture en couloirs a non seulement amélioré les indicateurs microbiologiques de la qualité du sol dans les rangées d'arbres, mais également dans les interlignes par rapport à un système de monoculture.

Une étude faite dans une ferme d'olivieraie située à Cordou (Espagne) sur les quatre saisons pendant les années 2008-2011 qui vise à comprendre l'effet de l'implantation de quelques couvertures végétales dans l'inter-rangs d'une culture ligneuses sur la qualité des sols. Repullo-Ruiberriz Torres et son équipe [23] ont mesuré le taux de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium ainsi que les matières organiques du sol (MOS) après la plantation de *Brachypodium distachyon* (BRA), l'*Erucave sicaria* (ERU), la *Sinpis alba* (SIN) et la flore

naturelle de la zone (SPV) pendant les quatre saisons dans la zone d'oliveraie méditerranéenne. Ils ont constaté que les différentes précipitations ont eu une influence sur la dynamique des plantes (stade de développement et la décomposition) ainsi que sur la MOS et les éléments nutritifs du sol. En effet, la MOS et le potassium du sol étaient plus élevés (horizon 0 à 5cm) après chaque période de décomposition.

- L'azote du sol a augmenté de $2.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ avec le BRA.
- Le phosphore a été amélioré dans les 10 premiers cm par les plantes étudiées.
- Le carbone est l'élément le plus libéré par les plantes car la teneur en résidus était élevée par rapport aux nutriments.

Cette étude nous permet de déduire que même les espèces non légumineuses pourraient jouer un rôle intéressant dans le stockage et l'approvisionnement en carbone et nutriments et participer activement à la fertilité des sols agricoles des SAF.

1.2. Le changement global

Alors que le développement durable constituait un cadre conceptuel d'influence croissante durant la décennie 1990, plusieurs scientifiques évitent consciencieusement ce terme et se réfèrent davantage à la notion de changement global. La notion de changement global, directement traduite de « global change », n'est pas nouvelle : dès la décennie 1970, il s'agit de comprendre les interactions à court et long terme entre climat, biosphère, océan, Terre solide, et bien sûr les activités humaines.

1.2.1. Qu'est-ce que le changement global ?

A l'échelle mondiale, le changement global ne peut être qu'un ensemble de modifications de l'environnement qui a des conséquences à l'échelle mondiale sur la vie des hommes et des écosystèmes par la déforestation et l'intensification de certains secteurs économiques ayant un impact direct sur le changement climatique. Il est lié beaucoup plus aux activités humaines comme l'agriculture, l'industrie, le transport qui sont des secteurs énergivores et émetteurs de gaz à effets de serres (GES) et consommateurs de ressources naturelles.

1.2.2. Le changement climatique

La modification du climat de la Terre est considérée comme « anormal » par rapport aux millénaires passés avec beaucoup plus des causes naturelles que des causes humaines actuellement citées plus haut qui participent au changement climatique qui est un phénomène complexe caractérisé par de multiples perturbations spatio-temporelles comme

le refroidissement de certaines zones de la planète et le changement d'autres zones avec des effets multiples et variés comme la hausse du niveau de la mer, multiplication des catastrophes naturelles, disparition de certaines espèces animales et végétales et la prolifération d'autres, etc.

Il est apparu des inégalités face aux effets du changement global comme le changement accéléré par les pays développés et émergents. Les pays développés ont été les premiers, au XXe siècle, à émettre beaucoup de GES (États-Unis et les pays d'Europe) et les pays émergents émettent eux aussi maintenant de fortes quantités de GES (Chine et Inde).

1.2.3. Des effets sur tous les territoires

Le changement global a des effets à l'échelle mondiale comme la fonte des glaciers et de la banquise qui entraîne l'élévation du niveau de la mer à la surface du globe qui va submerger certaines régions côtières et beaucoup d'agglomérations.

Les pays en développement, plus vulnérables par leur manque de moyens, ne peuvent s'adapter au changement global de façon satisfaisante car leur résilience aux inondations, à la sécheresse et à la désertification, etc., est plus limitée pour s'adapter au changement global. D'où la nécessité de trouver des solutions car le changement global n'est pas une fatalité si l'homme en est responsable par ses activités. Il peut aussi agir pour le limiter ou s'y adapter car l'efficacité de ces actions est liée à l'engagement de tous les acteurs avec des actions à toutes les échelles :

- à l'**échelle mondiale**, les États peuvent agir et impulser des dynamiques comme cela a été le cas lors de la conférence sur le climat qui a réuni 195 pays à Paris, en 2015, pour prendre des mesures contre le changement climatique (**COP21**).
- à l'**échelle nationale** : différents acteurs s'engagent comme les régions, les communes, les entreprises mais aussi les habitants,
- à l'**échelle urbaine** : une échelle d'action privilégiée car les villes génèrent 80 % des émissions de CO₂. De plus en plus de villes dans le monde décident d'agir car ce sont les autorités de la ville mais aussi les entreprises et les habitants qui changent leurs modes de fonctionnement et leur mode de vie.
- à l'**échelle rurale** : L'agriculture doit évoluer vers des modes de production plus durables et moins consommateurs d'énergies et de ressources naturelles comme les agroécosystèmes et plus particulièrement l'agroforesterie. Les systèmes agroforestiers (SAF) demeurent jusqu'à présent les systèmes les plus viables économiquement avec la diversité des revenus et plus rassurant en terme de sécurité et souveraineté alimentaire.

Ils sont en même temps plus équitables socialement avec l'amélioration du niveau de vie des populations rurales par la création de plus d'emplois et aussi pour une meilleure fixation des populations rurales. Enfin, les SAF sont plus respectueux pour l'environnement avec moins d'utilisation d'intrants chimiques, une riche biodiversité et de plus beaux paysages.

1.3. L'agroforesterie et le changement climatique

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), fondatrice du concept d'agriculture climato-intelligente en 2010, donne une définition simple : il s'agit « d'une agriculture qui augmente la productivité et la résilience (adaptation) des cultures de manière durable, favorise la réduction/élimination des gaz à effet de serre (atténuation), améliore la sécurité alimentaire nationale et contribue à la réalisation des objectifs de développement du pays ».

Ainsi, les systèmes agroforestiers peuvent être avantageux par rapports aux méthodes conventionnelles de production agricole et forestière. Ils peuvent offrir une productivité accrue, des avantages économiques et une plus grande diversité dans les biens et services écologiques fournis. Par ailleurs, l'agroforesterie peut contribuer de manière significative à l'atténuation du changement climatique et participe à l'adaptation agricole.

Afin de lutter contre le changement climatique à l'échelle locale, les arbres plantés sur des terres agricoles créent un microclimat et contribuent à protéger les cultures du vent, du grand froid, de la sécheresse mais également des aléas naturels tels que les inondations et les tempêtes.

L'agroforesterie a aussi des impacts de grande envergure à l'échelle mondiale. L'augmentation de la couverture verte aide à réduire les gaz à effet de serre grâce à la capacité de séquestration du carbone des arbres, à inverser le changement climatique et à bloquer l'élévation du niveau de la mer. Correctement mise en œuvre, l'agroforesterie permet également de reconstituer les aquifères profonds au fil des siècles et même des millénaires.

L'augmentation de la productivité des cultures est un objectif clé par la production agricole. A mesure que l'environnement change, cela doit être réalisé par des méthodes durables qui minimisent l'impact des changements climatiques sur la croissance des cultures tout en limitant l'impact négatif supplémentaire de l'agriculture sur l'environnement [24]. Pour maintenir, la productivité, la durabilité et la résilience de la production agricole, des gestions écologiques qui combinent plusieurs composantes dans un seul système sont fondées et qui

permettent l'adaptation au CC pour stabiliser et améliorer les rendements des cultures. Ces systèmes sont apparus par la fondation des SAF [25, 26].

A l'échelle méditerranéenne, l'agriculture risque des CC extrêmes, notamment un changement supérieur à la moyenne et des événements climatiques extrêmes très fréquents. La vulnérabilité aux CC est renforcée par l'influence des perturbations climatiques, notamment par la perte de la biodiversité, la pénurie et la surexploitation d'eau douce, la perturbation des cycles des nutriments, la dégradation des sols. Ceci accélère la création d'une résilience à ces menaces par l'adaptation systémiques des mesures grâce à l'intégration des systèmes agro-écologiques ou agroforesterie qui offrent un cadre général permettent la récupération et l'évaluation des connaissances traditionnelles et la co-crédation des nouvelles connaissances pour renforcer la résilience et la reprise d'une alimentation méditerranéenne adaptée aux conditions locales et largement végétales [27].

Face à ces CC, les micro-organismes du sol méditerranéen doivent survivre à des longues périodes de sécheresse qui sont généralement accompagné par une augmentation de chaleur [28]. Ces évènements de séchages et de réhumidification affectent la structure microbienne du sol et modifient les flux de carbone et de nutriments de sorte que des études faites par Banning et ces collaborateurs [29] prouvent l'augmentation des minéralisations de la MO des sols la bourés. D'autre part, l'activité microbienne et leurs stœchiométries peuvent être affectées par la température. En effet, la stœchiométrie du sol permet de comprendre le fonctionnement des communautés microbiennes et leur demande en carbone, d'azote et en phosphore, donc la modification de ces paramètres engendre la modification des cycles de C, N et de P [30].

L'étude de Xu et Yuan [30] prouve que l'effet du changement sur la biomasse microbienne du carbone (MBC) et de l'azote (MBN) et sur le rapport MBC/MBN dépend de l'ampleur et la durée de la chaleur de sorte qu'une augmentation de 1 à 2°C de la température conduise à un rapport de MBC/MBN faible et par suite à une augmentation de MBC. Donc les SAF sont reconnus plus adaptables au CC qui suscitent un intérêt croissant en raison de leurs capacité potentiels de stocker le carbone dans le sol [31].

Sonja Kay [32] annonce que la mise en place stratégique des SAF pourrait fournir un moyen efficace d'atteindre les objectifs politiques de l'Union Européens sur les émissions des gaz à effet de serre. En effet d'après son étude, il a prouvé que les pratiques agroforesteries permettent la séquestration de 2.1 à 63.9 millions de t C a⁻¹ (7.78 à 234.85 millions de t de CO₂eqa⁻¹) ce qui correspond à 1.4 et 43.4 % des émissions des GES.

1.3.1. Agroforesterie : Atténuation et adaptation au changement climatique

La présence d'éléments arborés est aperçue comme un des facteurs d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ainsi que comme une mesure d'adaptation du système agricole aux changements climatiques.

1.3.1.1. Atténuation

Les principaux avantages environnementaux de l'agroforesterie sont : l'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone, un moindre effet du vent et de la chaleur, notamment grâce aux haies.

A. Séquestration du carbone

L'agroforesterie, association des arbres aux cultures ou aux pâturages, peut représenter une alternative durable au déboisement et à la culture itinérante, système de culture encore très répandu sous les tropiques. L'agroforesterie est reconnue comme une activité capable de séquestrer du carbone par l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) dans le cadre des mesures de reforestation et de plantation. Ce plus grand potentiel de fixation vient d'une meilleure efficacité de capture et d'utilisation des ressources, comparée à des systèmes en monoculture.

B. Rendement prairial

Au pied des arbres (1m), le rendement prairial est fortement diminué en comparaison au rendement des zones plus éloignées ou sans arbre (PARASOL). Cette diminution est fonction de la densité des arbres sur la parcelle et s'explique par une diminution de la quantité de lumière disponible pour la prairie ainsi que par une compétition racinaire. Ainsi, à l'échelle de la parcelle, il existe un gradient de rendements. D'après les observations réalisées au sein d'un réseau de parcelles du projet PARASOL, en dehors des zones de compétition avec l'arbre, le rendement prairial peut être supérieur au rendement obtenu dans une parcelle témoin sans arbre. Ainsi, à l'échelle de la parcelle, un pré-verger pourrait produire autant sinon plus qu'une prairie sans arbre. Cependant, cette tendance se maintient uniquement si le pourcentage d'ouverture de la canopée est supérieur à 50%, c'est-à-dire si la compétition pour la lumière n'est pas trop importante.

C. Influences sur les performances agricoles

- **Phénologie**

Un décalage des stades de développement des plantes en fonction de leur distance à

l'arbre est noté, avec de manière générale un maintien de la surface verte au cours de la saison près des arbres. Cela permettrait un allongement de la période de production de l'herbe favorisant ainsi le pâturage de fin de saison. De plus, la production d'herbe serait répartie de manière plus homogène sur l'ensemble de la saison avec un démarrage de la croissance plus précoce, et une fin plus tardive liée à une réduction du pic de production au milieu du printemps.

- **Bien être des bovins et stress thermique**

Le bien être des bovins peut être évalué à l'aide d'un indicateur de stress thermique, le THI (qui dépend des données journalières de température et d'humidité relative de l'air. La formule utilisée pour calculer le THI ne prend pas en compte les facteurs de circulation de l'air ou d'exposition directe aux rayons du soleil, qui peuvent accentuer le stress thermique chez les animaux. Les seuils de stress thermiques dépendent du type de ruminants, de la race et de l'âge. Par exemple, le seuil de stress thermique calculé pour les vaches laitières est estimé à 68, alors que chez les bovins à viande, il est estimé à 72 (AForCLIM, 2019). Pour les bovins laitiers, les épisodes de fortes chaleurs, entraînent très rapidement une diminution de la quantité de lait produite ainsi qu'une altération de sa composition avec une diminution du ratio protéines/matières grasses. Chez les jeunes bovins à l'engraissement, le stress thermique engendre une diminution de l'ingestion et de prise de poids. Les mesures réalisées par le projet PARASOL (cité par AForCLIM, 2019) au sein d'un réseau de parcelles en France ont montré à l'échelle d'une année, le nombre de jours où le THI dépasse 72 (seuil de stress thermique chez les bovins à viande), est inférieur en agroforesterie à 1 mètre de l'arbre par rapport à des prairies sans arbres au sein desquels le THI est largement supérieur.

- **Performances zootechniques**

Une expérience menée par l'institut de l'élevage (2016), révèle que des génisses pouvant bénéficier d'ombrage présentent un temps de pâturage journalier supérieur de 30 min et une différence de croissance de 200 g/jour de GMQ (gain moyen quotidien) par rapport à des génisses n'ayant pas accès à l'ombre. Concernant les ovins, les premiers résultats obtenus par le projet PARASOL suggèrent qu'il existe un lien fort entre la biomasse herbacée présente sur la parcelle (quantité et qualité du fourrage) et les performances des animaux. Cette étude montre également qu'il n'y a pas de différence significative en termes de prise de poids des agneaux (environ + 200 g/jour) entre 3 dispositifs plus ou moins arborés (entre 1 et 120 arbres/ha).

- **Comportement des ovins**

D'après les observations réalisées par le projet PARASOL, en prairies arborées, les ovins

recherchent activement les zones ombragées y compris en dehors des périodes de fortes chaleurs. Cette étude a démontré que, même en présence d'un unique arbre au sein de la prairie, les brebis passent entre 30 et 40 % de leur temps à l'ombre (le houppier ne représentant que 1% de la superficie totale de la parcelle). Parmi les activités de ces ovins, 90% des activités de repos se déroulent à l'ombre. Cependant, il a noté qu'à proximité des arbres les ovins présentent des signes plus fréquents de gêne due à une présence plus importante d'insectes dans les zones d'ombre.

1.3.1.2. Adaptation

- Modification du microclimat permettant de tamponner les extrêmes climatiques pour les cultures et l'élevage (par exemple diminution du stress thermique) ;
- Diversification de la production sur l'exploitation (biodiversité agricole) ;
- Création d'habitats divers pour la faune et notamment les insectes (auxiliaires de cultures, pollinisateurs, etc.) ;
- Pluralité des structures paysagères et des fonctions (production, protection des ressources, augmentation de la biodiversité) assurées par le système agricole lui permettant d'être plus résilient, c'est-à-dire capable de surmonter une perturbation.

1.3.2. Services écosystémiques de l'agroforesterie

Les arbres apportent deux choses, un « produit » et un « service ». Les produits typiques sont par exemple le bois à brûler, le bois de construction, les fruits, les substances médicinales, les feuilles qui fertilisent les sols, etc. Parmi les multiples services agricoles de l'arbre, on retrouve dans les paysages ruraux d'aujourd'hui, surtout en zone tempérée, les marques de cette proximité entre forêt et agriculture ont presque toutes disparues, mais l'arbre a néanmoins gardé sa place ici et là. Le bocage, les haies, les vergers fruitiers à cultures associées de la vallée de l'Isère, en France, les brise-vent de cyprès de la vallée du Rhône ou les vignes qui grimpent sur des arbres au Portugal et en Sicile, l'association entre céréales, élevage et chênes dans la « *Dehesa* » espagnole, sont autant de témoins d'une agriculture forestière.

Les arbres vivent plus d'un an, ils ne sont pas annuels, et ne peuvent se déplacer, ils restent au même endroit pendant 20, 30, 50, 100 ans. Ce sont donc les végétaux qui parviennent le mieux à développer des composants complexes afin de se protéger des insectes, des maladies et des stress environnementaux. Les arbres stoppent l'érosion, font remonter de l'eau de très

profond, sont des cadres de biodiversité, aspirent le CO₂ de l'atmosphère, donc ils sont les meilleurs pour ça.

Dans les milieux méditerranéens, l'arbre et la haie associés à la vigne (vitiforesterie) ou autres cultures (fig. 02) ont des intérêts certains : création d'un microclimat protégeant la vigne des aléas climatiques, amélioration des taux de matières organiques dans les sols et des bilan hydriques, structuration d'habitats pour la biodiversité (avifaune sauvage et arthropodes qui vont réguler les ravageurs et offrir des services de pollinisation), fourniture de biens et services au viticulteur et à la société (fruits, produits bois, etc.).



Vignoble entre arbres forestiers



Céréales sous arbres forestiers



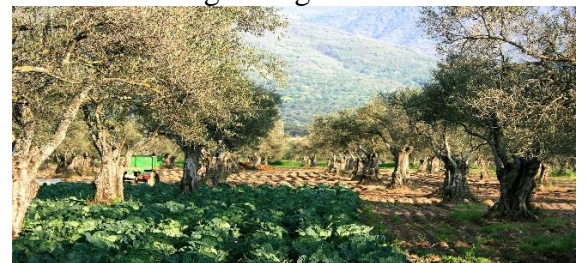
Polycultures en agroforesterie



Elevage en agroforesterie



Fourrages sous arbres fruitiers



Maraîchage sous oliviers

Figure 02. Quelques paysages agroforestiers en zone méditerranéenne
<https://agroforesteries.fr/photos.html>

Dans ces paysages, l'arbre crée de l'hétérogénéité. Il participe à la conservation de la biodiversité et contribue au fonctionnement équilibré des agroécosystèmes auxquels il appartient. Enfin, et surtout, l'arbre est impliqué dans l'adaptation aux modifications du climat, en contribuant à la résilience de ces espaces face à l'aléa climatique. Il atténue aussi le changement climatique en cours, en fixant du carbone grâce à son importante biomasse aérienne et souterraine.

Citons les plantations de caféiers ou de cacaoyers sous arbres d'ombrage qui sont l'un

des exemples contemporains d'agroforesterie les plus spectaculaires. On en trouve en Amérique latine, au Cameroun, au Ghana, en Indonésie. Sous ombrage, la production de fruits est de qualité et si les rendements sont légèrement inférieurs à ceux des plantations industrielles de plein soleil, le revenu final est meilleur pour l'agriculteur car les investissements de plantation, en produits phytosanitaires, eau d'irrigation, main d'œuvre, sont réduits. Les arbres d'ombrage produisent aussi du bois, tout en fixant et améliorant le sol. Le café et le cacao « agroforestiers » sont aujourd'hui recherchés dans le monde entier pour leur qualité et saveur.

1.4. Cas concrets de systèmes agroforestiers

Les jardins agroforestiers, tels ceux d'Indonésie, constituent peut-être le nec plus ultra de l'agroforesterie : une couche supérieure de végétation, composée de grands arbres, recouvre des arbres plus petits, des arbustes, des lianes, des palmiers et diverses plantes, lesquelles forment ainsi plusieurs strates superposées, plus ou moins tolérantes à l'ombre.

Des activités d'élevage, telles que basse-cour, petits ruminants, étangs de pisciculture, sont aménagées dans le sous-bois, à proximité des habitations. L'équilibre écologique de ces « agroforêts » est parfait, comparable à celui d'une forêt naturelle, notamment en raison de l'étonnante biodiversité qu'on y trouve. Comme le montre la figure suivante, ces mêmes principes « d'agriculture multi-étagée » sont aussi appliqués depuis la nuit des temps en Égypte, dans le delta du Nil et dans les oasis du Sahara (fig. 02) où des palmiers dattiers abritent trois couches superposées de cultures, en production intensive irriguée : des oliviers, des agrumes et des plantes potagères avec quelques têtes d'animaux.



Figure 03. Agriculture « multi-étagée » **1.** Delta du Nil (Égypte) & **2.** Adrar (Algérie)

Dans les zones sèches d'Afrique, la pratique agricole la plus courante consiste à conserver dans les champs des arbres dispersés sous lesquels on entretient différentes cultures annuelles, par exemple du sorgho, du mil ou des légumineuses. Pendant la saison sèche, ces champs sont

utilisés par le bétail.

Cette forme d'agriculture sempervirente, parfois appelée « parc agroforestier » est l'objet de toutes les attentions depuis quelques années car on lui reconnaît de multiples rôles bénéfiques, allant de la diversification des revenus à la protection du sol et de la préservation de la biodiversité jusqu'à une résilience améliorée face au changement climatique.

Dans les zones tempérées, l'agroforesterie d'aujourd'hui prend des formes différentes. La Nouvelle-Zélande et l'Australie, par exemple, pratiquent l'élevage dans des plantations d'arbres. En France, outre la renaissance des haies rurales, on assiste à un renouveau de l'agroforesterie, sous forme d'alignements d'arbres dans des parcelles céréalières. Les recherches ont montré que de telles associations sont bénéfiques à la fois pour l'arbre et pour la culture, donc pour l'agriculteur. Et elles sont également favorables à la biodiversité, au climat et à l'environnement en général. L'arbre de l'agroforesterie, parfois appelé « arbre hors-forêt » a sans aucun doute de beaux jours devant lui.

1.6. Les inconvénients de l'agroforesterie

A tous les niveaux, les avantages de l'agroforesterie retiennent l'attention de nombreux chercheurs scientifiques et agriculteurs qui ont démontré tout en apportant des preuves irréfutables que cette pratique est durable mais reste confrontée à quelques défis et obstacles.

L'arbre est rentable mais le seuil de rentabilité pour certains systèmes agroforestiers n'intervient qu'après plusieurs années causant un retard du retour de l'investissement.

Recevant peu de soutien, les marchés des produits issus des SAF sont sous-développés par rapport aux produits de base des cultures et de l'élevage de l'agriculture conventionnelle.

La dépendance excessive vis-à-vis des méthodes agricoles conventionnelles et une connaissance insuffisante des approches durables limitent l'intérêt des décideurs politiques pour le développement de l'agroforesterie ce qui limite la conscience des avantages de l'agroforesterie.

Avec des Réglementations défavorables, les politiques agricoles ont souvent pénalisé les pratiques nécessaires à la mise en œuvre de l'agroforesterie, tout en soutenant une approche à grande échelle des produits agricoles, alimentaires et énergétiques.

Mettant plus l'accent sur l'agriculture commerciale, les politiques agricoles ont toujours inciter à l'agriculture qui favorise certains modèles, tels que les systèmes de monocultures.

PARTIE II
APPROCHE EXPERIMENTALE

2.1. Matériels et méthodes

2.1.1. Objectif

L'objectif de l'étude est d'acquérir une capacité à analyser un système agro forestier dans toutes ses dimensions et à réfléchir l'innovation en agroforesterie afin de montrer que l'agroforesterie demeure une alternative incontournable compte tenu de ses nombreux avantages tels que la protection des cultures, des animaux d'élevage, des sols et des cours d'eau, la diversification des revenus agricoles, la simulation de la biodiversité, l'embellissement du paysage et la possibilité de séquestrer le carbone et lutter contre le changement climatique.

2.1.2. Présentation de la zone d'étude

Il s'agit d'une région volcanique avec des terres très fertiles colonisées par des forêts et sur lesquelles on assiste à un développement d'une multitude de pratiques agroforestières associant arbres, cultures et élevage pratiquement sur les mêmes parcelles que ça soit d'une manière intentionnelle ou intentionnelle.

2.1.2.1. Situation géographique

Notre stage s'est déroulé dans la « Can Jordà » qui est une ferme située dans le quartier de Santa Pau (La Garrotxa) inscrite dans l'inventaire du patrimoine architectural de Catalogne au Nord-Est de l'Espagne (fig. 04).

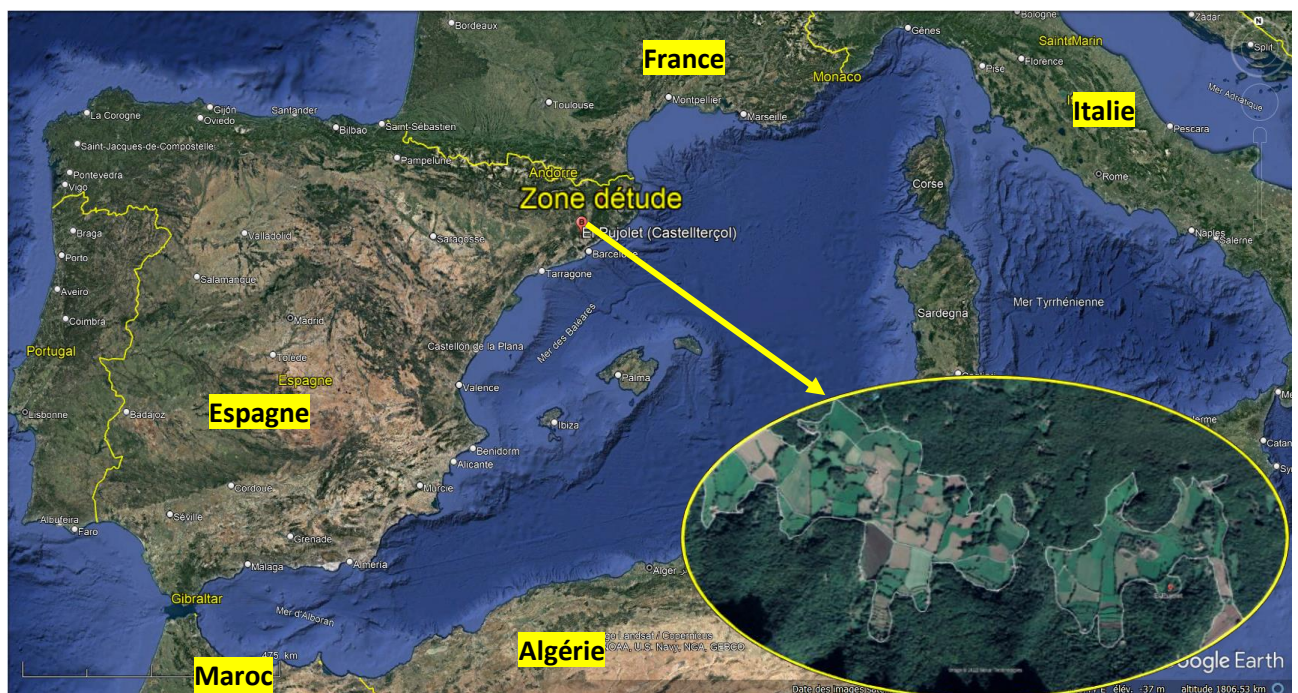


Figure 04. Situation géographique de la zone d'étude (extrait de l'image de Google Earth : 2022)

2.1.2.2. Principales caractéristiques

Le tableau suivant nous renseigne sur les principales caractéristiques de la zone d'étude.

Tableau 01. Caractéristiques de la zone d'étude					
Coordonnées géographiques		Latitude Nord	Longitude Est	Altitude (m)	
Points extrêmes	A	Nord	42° 08'54''	02° 30'23''	550
	B	Est	42° 08'18''	02° 30'54''	566
	C	Sud	42° 08' 16''	02 °30'52''	572
	D	Ouest	42° 08'40''	02°30'00''	534
Coordonnées UTM : Les limites latitudinales de la ferme en coordonnées UTM correspondent à 4666500 pour le Nord et 4665000 pour le Sud tandis que les limites longitudinales correspondent aux valeurs 461000 pour l'Est et 458500 pour l'Ouest.					
Limites de la zone d'étude	Nord	Sud	Ouest	Est	
	Forêts				
Etage bioclimatique	Subméditerranéen				
Morphologie	Montagneuse (zone volcanique accidentée)				
Vocation	Forestière et Agroforestière				
Superficies moyennes (ha)	167 ha répartis entre Zone 1: 113 ha & Zone 2 : 54 ha				

2.1.2.3. Situation juridique et administrative

- Nom de la ferme : Finca de Jorda.
- Commune : Santa Pau
- Comté : Garrotxa
- Particularités : Propriété entièrement située à l'intérieur du Parc Naturel de la zone volcanique de la « Garrotxa ». Il est également inclus dans le catalogue des zones d'intérêt préférentiel conformément à l'article 68 de l'actuel plan spécial pour la zone volcanique de la « Garrotxa » approuvé par le décret 82/1994 du 22 février.
- Le catalogue comprend les espaces naturels qui présentent un intérêt remarquable pour leurs valeurs géologiques ou biologiques qui recommandent un traitement particulièrement soigné, ainsi que toutes les réserves naturelles créées par la législation spécifique de la zone volcanique avec les limites respectives spécifiées par le décret 71 /1986, du 13 février.
- Surfaces réelles / cadastrales (tab. 02).

Tableau 02. Occupation du sol de la zone d'étude		
Surfaces	Réelles	Cadastrées
Surface peuplée d'espèces arborées	74,54	74,20
Surface peuplée d'espèces non arborées	14,71	03,53
Exploitation forestière totale de l'exploitation	89,28	77,74
Zone non forestière (cultures, bâtiments, etc.)	10,62	17,68
Superficie totale de la « Finca »	99,28	95,42
Surface commandée par ce PTGAF (<i>Plan Technique de Gestion et d'Amélioration Forestière</i>)	89,28	77,74

2.1.2.4. L'orographie

La ferme « Jordà » fait partie du relief de la zone volcanique de la Garrotxaen particulier, elle est située sur la coulée de lave du volcan Croscat. Le point culminant du domaine est situé sur la crête de la « Serra del Corba » à une altitude de 887 mètres (Penyadel Greny). Le point le plus bas est situé dans les champs de la plaine du « Jordà » à une altitude de 524 mètres. L'altitude moyenne de la ferme est de 575 mètres. Le relief le plus caractéristique est formé par la coulée de lave du volcan « Croscat » qui est assez plat, avec de petites collines pierreuses (tossols).

Le secteur sud du domaine est situé sur le versant opaque de la « Serra del Corb » et contraste avec le reste du domaine pour présenter sur une forte pente qui amène les eaux à la plaine du « Jordà ». Le secteur du site de la « Fageda d'en Jordà », en général, est situé sur le terrain à pentes douces et peut donc être considéré comme présentant une exposition personnelle. La partie du domaine située sur le versant de la « Serra del Corb » est clairement exposée à l'obscurité.

Concernant la pente, il y a une différence notable entre la plaine de la « Jordà » où les pentes sont pratiquement inexistantes et le secteur de la « Serra del Corb » où les pentes sont assez prononcées (surtout dans la partie supérieure) avec une pente moyenne de 30°.

2.1.2.5. L'hydrographie

D'un point de vue hydrographique, la propriété est située à la tête du bassin fluvial du « Fluvià ». En raison des conditions géologiques où se trouve la propriété, aucun cours d'eau ou cours d'eau significatif ne se forme. Seulement dans le secteur de « Serra del Corb » il y a de petits cours d'eau supérieurs de ruisseaux discontinus. Au pied de la montagne, où se trouve la maison de « Pujolet », il y a une petite source et un étang avec de l'eau permanente. Il faut dire que dans la plaine du « Jordà », il existe d'anciens canaux de drainage qui collectent les

eaux de la « Serra del Corbi » et les amènent dans la zone humide située dans sa partie inférieure.

2.1.2.6. La géologie

Les formations lithologiques ont été regroupées en trois groupes :

- Roches sédimentaires ou substrat tertiaire.
- Roches effusives ou formations volcaniques
- Sédiments quaternaires.
- Roches sédimentaires (Éocène) : Le paléorelief dans lequel se trouve cette ferme est constitué de roches sédimentaires et plus particulièrement de conglomérats et de microconglomérats. Le secteur de la ferme situé dans la « Serra del Corb » observe ce type de formation.
- Roches effusives : Le site de « La fageda d'en Jordà » est situé sur la coulée de lave du volcan « Crosat » et par conséquent, le substrat est constitué de ce type de roche volcanique.
- Sédiments quaternaires : Dans la plaine du « Jordà », il existe une gamme de sédiments quaternaires pré- et post-volcaniques qui ont généralement une origine alluviale et sont constitués de limons, marques et blocs.

2.1.2.7. Le climat

Les données météorologiques suivantes proviennent de l'observatoire d' « Olot » et qui corroborent avec celles du site <https://fr.climate-data.org/> (tabl. 03).

Données climat.	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T. Moy. (°C)	6.4	7.2	10.2	13.1	16.8	21.5	23.9	23.7	19.8	16.1	10.5	7
T. min. moy. (°C)	2.1	2.4	5	7.9	11.4	15.9	18.6	18.6	15.3	12	6.4	2.9
T. Max. moy. (°C)	11.7	12.4	15.6	18.1	21.8	26.7	29	28.9	24.5	20.7	15.2	12.2
P. Moy. (mm)	56	57	76	94	96	75	72	73	108	116	78	62
Humidité (%)	79	74	72	71	70	64	62	64	71	76	77	78
Jours de pluie (j)	6	6	7	9	8	8	7	8	9	8	7	5
Ensoleillement (h)	6.7	7.0	8.1	8.7	9.9	11.0	10.5	9.7	8.0	6.9	6.6	6.7

La série d'années pour laquelle les données moyennes mensuelles ont été prises en considération concerne la période de 30 années (1991 à 2021) pour les températures minimales et maximales (°C), les précipitations (mm), l'humidité, et les jours de pluie et, de 20 années

(1999 à 2019) pour l'ensoleillement (heures de soleil). La station météorologique est située à une altitude de 443 m.

A. Les précipitations

Des précipitations moyennes de 56 mm font du mois de Janvier le mois le plus sec. Avec une moyenne de 116 mm, c'est le mois d'Octobre qui enregistre le plus haut taux de précipitations. La différence des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 60 mm. Septembre avec 12.53 jours a en moyenne les jours les plus pluvieux par mois. Le moins de jours de pluie est mesuré en Décembre (7.07 jours).

B. Les températures

Le mois le plus chaud de l'année est celui de Juillet avec une température moyenne de 23.9 °C. Avec une température moyenne de 6.4 °C, le mois de Janvier est le plus froid de l'année. Sur l'année, la température varie de 17.5 °C.

C. L'ensoleillement

En Juin, le plus grand nombre d'heures d'ensoleillement quotidien est mesuré à Gérone en moyenne. En Juin, il y a en moyenne 11.04 heures d'ensoleillement par jour et un total de 331.08 heures d'ensoleillement en Juin. En Janvier, le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien le plus bas est mesuré à Gérone en moyenne. En Janvier, il y a en moyenne 6.64 heures d'ensoleillement par jour et un total de 199.12 heures d'ensoleillement. Environ 3037.57 heures d'ensoleillement sont comptées à Gérone tout au long de l'année. Il y a en moyenne 99.77 heures d'ensoleillement par mois.

D. L'humidité relative

L'humidité relative la plus élevée est mesurée en Janvier (78.65 %). Le plus bas niveau est en Juillet (61.97 %).

E. Les vents

Le relief influence également le régime des vents dans la région. Normalement, ce n'est pas une zone de vents forts et abondants, et lorsqu'ils soufflent, ils pénètrent sous une forme rainurée entre les montagnes de sorte qu'ils ne présentent jamais une véritable direction d'origine. Le relief joue un rôle de brise-vent atténuant sa force et sa direction tout en assurant une protection de la végétation contre tout impact de vents violents.

F. La synthèse climatique

Les conditions climatiques de la région constituent une extension de la « Serralada Transversal », avec un régime pluviométrique élevé, plus que ce qui correspondrait à ces latitudes méditerranéennes en raison de l'humidité abondante et de la fourniture d'un relief avec des fosses et des vallées plus ou moins fermées.

On remarque aussi que la période humide s'étale sur toute l'année d'une manière régulière (fig. 05) avec deux pics avril-mai et septembre-octobre deux périodes cruciales pour le développement de la végétation fin d'assurer une couverture végétale permanente pour la protection du sol et des pâturages pour le bétail.

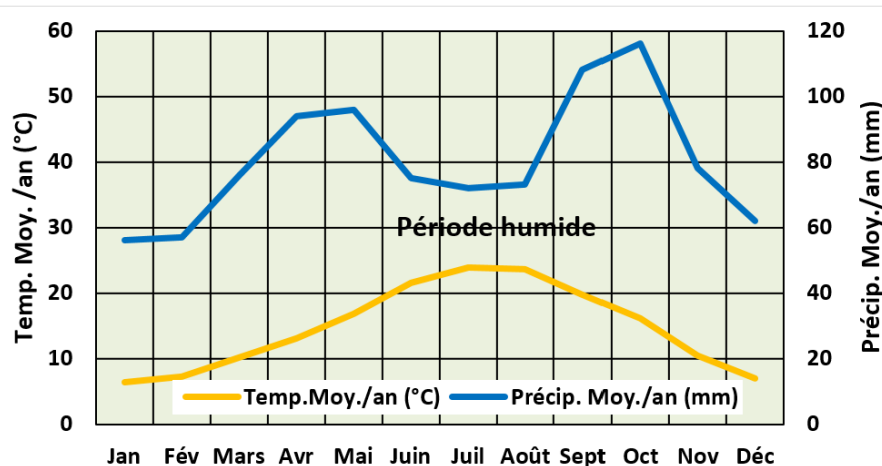


Figure 05. Diagramme ombrothermique de la zone d'étude

Côté température, la région n'est pas excessivement froide, mais les gelées se produisent sur une longue période (d'octobre à mai) surtout dans les vallées en raison de l'inversion thermique. Les chutes de neige ne sont pas fréquentes, avec une moyenne annuelle de 5,4 jours par an. Les inversions thermiques causées par la forme originale du relief assurent un maintien de l'humidité en fond de vallée (fig. 06).

La région de Gérone bénéficie d'un climat tempéré chaud. Des précipitations importantes sont enregistrées toute l'année y compris lors des mois les plus secs. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Cfa. Gérone affiche 14,7 °C de température en moyenne sur toute l'année. La moyenne des précipitations annuelles atteint 963 mm avec une distribution spatiotemporelle régulière. Il s'agit d'une sous-région climatique et, d'après les données climatologiques, et Allué (2015), le domaine relève de la région phytoclimatique VI (climat d'Europe centrale) qui est caractérisée par l'absence de périodes de sécheresse (climat axéromérique).

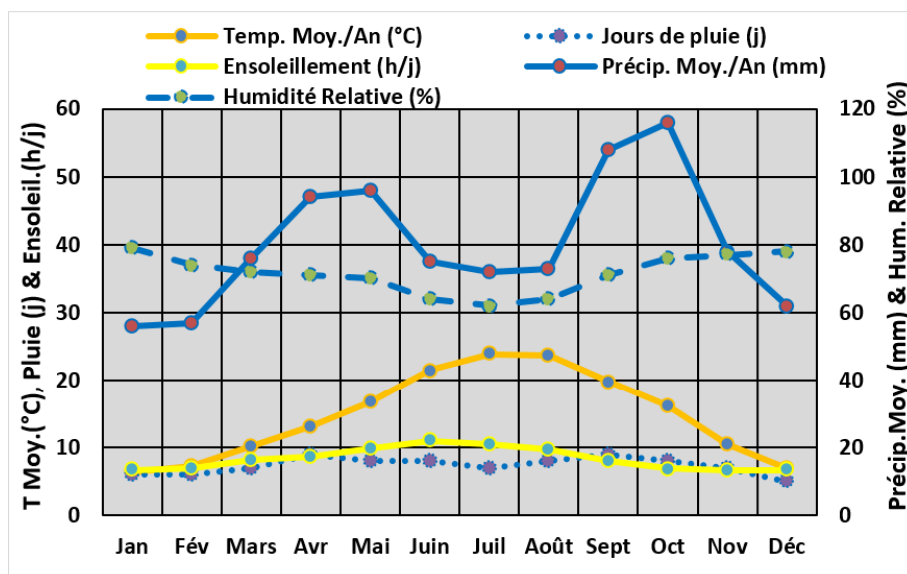


Figure 06. Evolution annuelle des paramètres climatiques de la zone d'étude

Il est situé dans des territoires qui ne sont pas élevés en montagnes avec une altitude souvent inférieure à 1500 m mais avec un hiver froid avec des températures généralement en dessous de 6°C) très favorables pour certaines espèces nécessitant une dormance végétative.

Par conséquent, le bioclimat de cette zone n'est pas de type méditerranéen, bien qu'il présente certaines de ses caractéristiques propres en raison de sa situation géographique, telles que les précipitations estivales minimales et le grand rayonnement solaire très favorables à l'application des pratiques agroforestières.

2.1.2.8. La végétation

A. Les caractéristiques générales

La ferme est située dans un territoire au climat tempéré et aux pluies dans lequel les forêts prédominantes sont à feuilles caduques de la région phytogéographique euro-sibérienne. La végétation atlantique européenne prédomine sur le sous-méditerranéen si bien que le hêtre (Helleboro - Fagetum . Luzulo - Fagetum et BuxoFagetum) forme une forêt plus étendue que la chênaie martiniquaise (Buxo - *Quercetum pubescentes*) des formations méditerranéennes comme la chênaie montanyenc (*Quercetum mediterraneo - montanum*) peut également être trouvé dans des orientations ensoleillées comme celle du volcan PuigJordà, dans des formations isolées au milieu des formations atlantiques, favorisées par les précipitations estivales minimales et le degré élevé d'insolation est destiné à l'agriculture, c'est le secteur situé dans la plaine de Jorda.

B. Les communautés végétales

Par ordre d'importance, les communautés végétales suivantes se trouvent sur la ferme du « Jordà » :

- **Luzulo - Fagetum** : Il s'agit d'une hêtraie acidophile située sur la coulée de lave du volcan « Croschat », qui est très dense et présente une strate arbustive et herbacée pauvre voire inexistante.
- **Helleboro-Fagetum** : Communauté qui se trouve à la fois dans l'environnement précédent et aussi dans l'obac du « Puig Jordà ». Il a plus de 90% d'espace couvert et un sous-bois très pauvre.
- **Buis - Fagetum** : Il s'agit d'un hêtre calcicola que l'on trouve dans la vallée de la « Sierra del Corb » et qui se caractérise par un sous-bois à buis abondant
- **Buis – *Quercetum pubescentis*** : Occupe un substrat calcaire dans la partie inférieure de la « Sierra del Corb ». C'est une forêt assez clairsemée avec un sous-bois riche en espèces arbustives et herbacées.
- ***Quercetum mediterraneum - montanum*** : Forêt présente uniquement dans le « Puig Jordà solana ». Elle est assez claire et possède un sous-bois très dense.

C. La structure et la composition de la végétation

Dans l'exploitation il y a généralement une forêt moyenne, c'est-à-dire qu'il y a une grande partie de pieds issus d'une régénération de semis et une autre partie de pieds issus de repousses. Habituellement la capacité couverte du secteur forestier est supérieure à 80%, et dans la zone peuplée de hêtre pur, il est généralement supérieur à 90%. L'essence principale de la majeure partie du domaine est le hêtre (*Fagus sylvatica*) mais dans certains secteurs les essences principales sont le chêne (*Quercus humilis*) et le chêne (*Quercus ilex*) Ces essences peuvent former une forêt pure ou elles peuvent former une forêt mixte, mélangées entre elles ou avec d'autres essences comme le chêne penol (*Quercus robur*), le tremble (*Populus tremula*) ou le châtaignier (*Castanea sativa*). Les autres espèces accompagnant la strate arborée sont : l'érable (Acer opalus), l'érable (Acer campestre), le frêne à grandes feuilles (*Fraxinus excelsior*), le cerisier (*Prunus avium*) et le tilleul (*Tiliapl typhyllos*). En ce qui concerne la strate arbustive, il faut différencier le substrat selon qu'il est d'origine volcanique ou éocène et l'essence d'arbre dominante. Dans le cas du substrat volcanique et du hêtre comme espèce dominante, la strate arbustive est assez pauvre, avec des espèces telles que : l'aubépine blanche (*Crataegus*

monogyna), l'arbre araignée (*Prunus spinosa*), le noisetier (*Corylus hazel*) et le tortellage (*Viorne lantana*). En substrat calcaire et en hêtre, l'espèce prédominante est le buis (*Buxus sempervirens*). D'autres espèces de chênes et d'arbustes de chênes sont : le genévrier (*Juniperus communis*), le godua (*Cytisus scoparius*), le cornouiller (*Cornus sanguinea*) et le rosier sauvage (*Rosa canina*). L'hellébore (*Helleborus viridis*), le souci (*Helleborus foetidus*), le laurier (*Daphne laureola*), la ronce (*Rubus* sp.), la fougère aquiline (*Pteridium aquilinum*) et le lierre (*Hedera helix*)) comme les plus remarquables.

➤ **L'écologie générale de *Fagus sylvatica*** : Le hêtre est une espèce qui vit sur des terres fertiles et fraîches avec une nature variée du substrat. Il peut apparaître sur des limons, des galets, des gneiss, des marnes, des schistes, ... mais il est plus abondant sur des calcaires. Son optimum se trouve sur les sols bruns et a dans la réaction comme limite inférieure un pH = 4,5. Il peut vivre sur des sols caillouteux, secs et perméables mais le milieu doit être humide. L'excès d'humidité dans le substrat ne passe pas bien. Le caractère écologique le plus remarquable c'est le besoin d'un environnement humide pendant les mois d'activité car il a un métabolisme intense pendant un cycle végétatif court. Les précipitations minimales requises varient selon l'orientation, l'exposition et la présence de différents écotypes. En général, il lui faut plus de 600 mm/an et 200 mm/été. Il existe une grande diversité dans le régime de température. Il peut supporter les grands froids hivernaux mais pas tant les gelées tardives car il ne produit pas de deuxième génération de pousses et ne se remet donc pas facilement des dégâts. Les minimas hivernaux absolus ne peuvent descendre en dessous de -25°. Dans la Garrotxa, les forêts de hêtres se trouvent dans des climats axériques et subméditerranéens avec des altitudes normales allant de 1000 à 1500 mètres. C'est une espèce qui a une nette tendance aux exhibitions obscures. C'est un type d'ombre qui nécessite une bonne couverture pour la germination et pour la protection des semis dans les premières années de vie. Il pousse lentement au cours des 10 à 12 premières années et un peu plus rapidement par la suite jusqu'à ce qu'il atteigne environ 35 mètres de hauteur vers 125 ans. Il peut avoir une longévité de 3 siècles.

➤ **L'écologie générale de *Quercus humilis*** : C'est une des espèces les plus thermophiles, xérophiles et héliophiles du genre des chênes. Il a peu besoin d'humidité, de profondeur et de fertilité du soleil et préfère les sols calcaires aux sols plus acides. Les localités les plus courantes reçoivent une précipitation moyenne de plus de 600 mm/an et d'au moins 150 mm en été. Le climat doit être axérique ou sub-méditerranéen et il se situe à des altitudes comprises entre 400 et 1500 mètres d'altitude. Il forme des massifs purs, mais on trouve souvent des forêts mixtes de feuillus avec des espèces telles que : *Quercus robur*, *Quercus*

petrea, *Quercus faginea*. *Populus tremula*, *Prunus avium*... C'est une sorte de lumière, qui forme des masses peu denses et peu ombragées et les semis demandent beaucoup d'éclairage. Il a une croissance moyenne et une longévité de plusieurs siècles.

- **L'écologie générale de *Quercus ilex*** : Les espèces typiques de la région méditerranéenne occupent tous les types de sol que ce soit sur substrat silicique ou calcaire. Il préfère les sols moins compacts et profonds, mais il peut aussi vivre sur des substrats plus pauvres. Il se caractérise par son énorme résistance à la sécheresse et peut supporter une chaleur et un froid extrêmes, étant les minimums thermiques qui limitent son expansion altitudinale et septentrionale. L'altitude optimale se situe entre 200 et 1200 mètres et dans notre pays elle occupe généralement les solans des montagnes. C'est une espèce qui forme des masses pures sur de grandes surfaces et peut être accompagnée de nombreuses espèces telles que : *Arbutus unedo*, *Quercus humilis*, *Quercus faginea*, *Pinus halepensis*, etc. C'est une espèce noble et peut être considérée comme une espèce moyennement claire car les semis tolèrent bien le couvert pendant les 2-3 premières années de vie mais poussent ensuite mieux en situation claire. Il se reproduit facilement à partir de l'agla et aussi des pousses jusqu'à 200 ans de vie atteignant 700 ou 800 ans. C'est l'un des arbres les plus vivaces de la région avec des pieds pouvant atteindre siècles.

2.1.2.9. Les malures et les nuisibles

D'après les données de l'inventaire, où la présence d'un ravageur ou d'une brûlure a été notée, aucune brûlure significative n'a été observée, encore moins une brûlure chez les principales espèces. Il y a eu de petites détections de chêne liège (*Coraebus bifasciatus*) qui provoquent la mort de certaines branches par cendrage de la zone de croissance et oïdium sur certains semis de chêne martin, mais dans les limites normales de présence. Chez l'espèce secondaire, seul le chancre (*Endothia parasitica*) a été détecté sur le châtaignier. Cette mauvaise herbe affecte la plupart des pieds de la ferme et sera donc prise en compte dans les traitements forestiers. Il convient de garder à l'esprit que dans les zones et les endroits moins ensoleillés, la soi-disant "sécheresse" de certains arbres se produit, en particulier du chêne et du hêtre. Ce problème peut affecter, à long terme, le statut phytosanitaire de ces arbres.

2.1.2.10. La faune

La faune de cette zone est caractérisée par l'existence d'espèces typiques de la forêt, des cultures et des pâturages. Le degré de diversité de la végétation paysagère, avec des forêts de feuillus et quelques forêts sempervirentes, ainsi que l'existence de formations arbustives et herbacées, etc. (cf. annexe), de terres agricoles, en plus de la physiographie particulière du

terrain avec des secteurs plats et rocheux dans les parties hautes des montagnes détermine une grande diversité d'habitats. Parmi les groupes fauniques étudiés et pour lesquels nous disposons de données, ce sont :

- ❖ **Les mammifères.** L'existence de zones peu fréquentées par l'homme permet la présence d'un bon nombre d'espèces de mammifères dans la zone. L'abondance du sanglier (*Sus scrofa*) comme en témoigne le grand nombre de traces que l'on peut y trouver. Il y a aussi quelques prédateurs comme : le vautour (*Vulpes vulpes*), la genette (*Genetta genetta*) et la martre à gorge blanche (*Martes foina*). D'autres espèces fréquentes sont : le blaireau (*Males meles*), l'écureuil (*Sciurus vulgaris*) et le lapin (*Oryctolagus cuniculus*). De plus, il existe de nombreuses espèces de micromammifères, aussi bien insectivores que rongeurs. Le chevreuil (*Capreolus capreolus*), une espèce réintroduite dans le Parc Naturel de la Zone Volcanique de la Garrotxa est également présent dans la zone.
- ❖ **Les herptiles :** Dans la plaine du Jordà, il y a un étang où vivent des amphibiens tels que : la grenouille verte (*Rana pereza*), le têtard (*Alytes obstetricans*), le crapaud commun (*Bufo bufo*), le crapaud courant (*Bufo calamita*) et le troglodyte (*Hyla meridionalis*). Quant aux reptiles, le domaine ne présente pas de conditions très propices à leur présence, malgré cela on peut trouver : la vipère (*Viperaaspis*), la couleuvre d'Esculape (*Elaphe longissima*), la couleuvre verte (*Malpolonmon pessulanum*), la luciole (*Lacerta viridis*) et le lézard des murailles (*Podareis muralis*).
- ❖ **Les oiseaux :** Les oiseaux qui sont présents dans la zone sont typiques des zones boisées ainsi que certaines espèces des zones cultivées et des pâturages et des zones humides. Leur présence dépend de la période de l'année et des périodes de passage des espèces migratrices. A noter la présence de quelques espèces plus vulnérables qui s'y reproduisent telles que : le faucon moustachu (*Falco subbuteo*), le grand pic (*Picooides major*), l'autour des palombes (*Accipiter gentilis*), le faucon crécerelle (*Jynx torquilla*) et le cabuset (*Tachybaptus ruficollis*). D'autres espèces forestières à souligner sont : le pic vert (*Picus viridis*), le moineau d'eau (*Parus palustris*), le moineau domestique (*Accipiternisus*), le geai (*Garrulus glandarius*), le pic bleu (*Sitta europaea*) et la ronce (*Certhia branchydactyla*), le merle noir (*Regulus ignicapillus*) et l'oriole (*Oriolus oriolus*). Les rapaces nocturnes présents sont : le hibou commun (*Athenemus solbanyut (Asiootus)*), noctua, le pic (*Otus scops*), le gamarus (*Strix aluco*), l'olivier (*Tyto alba*). Quant aux oiseaux aquatiques, certaines espèces que l'on peut y trouver sont : le colvert (*Anas platyrhynchos*), le colvert

(*Anas crecca*), le martin-pêcheur (*Ardea cinerea*), le colvert (*Gallinula chloropus*) et le labre (*Rallus aquaticus*).

2.1.3. Approche méthodologique

Une fois la zone d'étude délimitée (fig. 05), trois stations agroforestières ont été choisies et où plusieurs visites se sont succédées pour l'observation des différents pratiques agroforestières. Ainsi, à partir de ces dernières, une caractérisation et identification des systèmes agroforestiers a eu lieu à l'aide de critères relatifs à l'introduction de l'arbre, l'occupation du sol, la présence de l'élevage et le mode d'exploitation forestière.

2.1.3.1. Choix et délimitation de la zone d'étude

Compte tenu de l'immensité de la région, la délimitation de la zone d'étude n'a pu être réalisée que grâce à l'image satellitaire de Google Earth (2022) où les espaces autrefois forestiers et aujourd'hui sont consacrés à l'agriculture et en particulier à l'agroforesterie sont clairs et nettement observables (fig. 07) et qui ne cessent de proliférer.



Figure 07. Zone d'étude. Développement des espaces agroforestiers

2.1.3.2. Choix et détermination des stations

Durant notre courte durée de stage (Avril-Juillet 2022), on a pu après une prospection générale choisir et déterminer de près à l'intérieur de cette zone cinq stations (fig. 08) très accessibles, présentant des aspects de pratiques agroforestières et qui ont fait l'objet chacune de plusieurs prospections (observations et constations). Elles se trouvent respectivement dans les localités de Can Roue, Can Jorda et El Pujollet (fig.08). Elles se différencient par le relief, le

mode d'exploitations des terres agricoles et les types de combinaisons « Arbres – Cultures – Elevages ». Elles répondent toutes en général aux principes de base de l'agroforesterie.

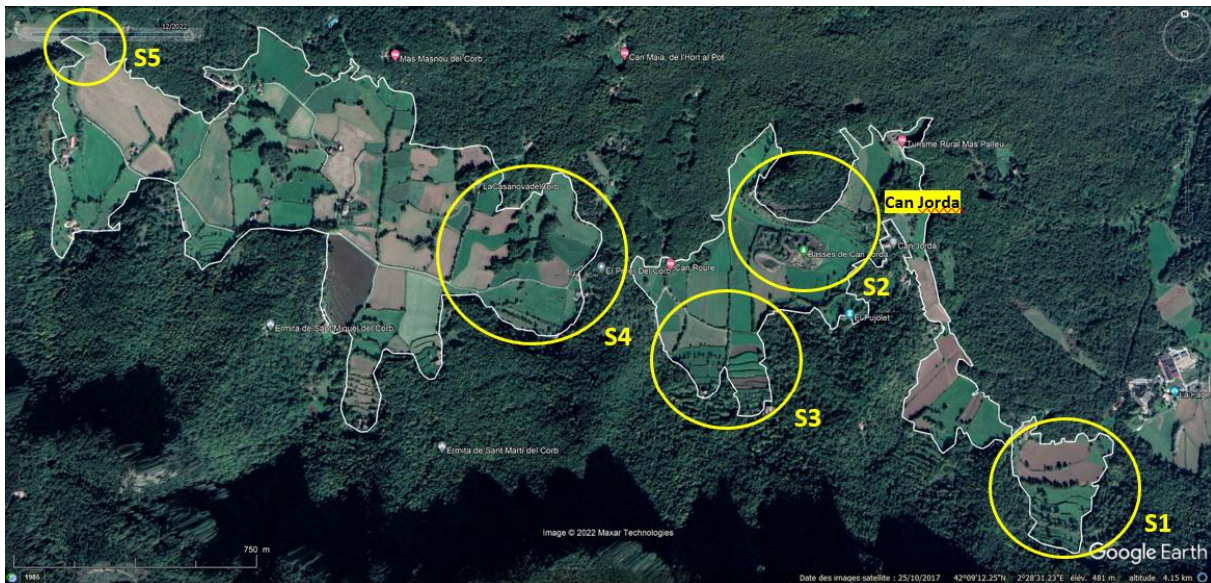


Figure 08. Stations agroforestières prospectées dans la zone d'étude

2.1.3.3. Caractérisation et identification des stations agroforestières

Les cinq stations remplissent la condition « *sine qua non* » d'un système agroforestier (SAF) à savoir : la présence de l'arbre fruitier et/ou forestier associé à des cultures avec ou sans élevage sur une même parcelle (fig. 9, 10, 11, 12 & 13).

Ainsi, comme on peut le remarquer sur la figure 09 un découpage de parcelles agricoles étagées avec une diversité de cultures entourées de forêts et où l'on peut apercevoir des combinaisons entre arbres et cultures en boccage séparées par des rangées d'arbres et des haies donnant aussi de très beaux paysages agréables à visiter.



Figure 09. Station 01 : SAF associant arbres, cultures en boccage, haies et élevages

Ces derniers participent à la protection du sol contre l'érosion et des cultures créant des habitats pouvant abriter des prédateurs ennemis naturels des ravageurs des cultures.

La création de lacs artificiels comme le montre la figure 10, permet l'intensification de certaines cultures par l'irrigation lors des périodes cruciales de leur développement. Ces lacs abritent aussi une faune et flore aquatique permettant de réguler l'écosystème.



Figure 10. Station 02 : SAF associant arbres et cultures avec lacs artificiels pour irrigation

Sur la figure 11, on remarque les étendues des cultures céréalières et fourragères séparées par des rangées d'arbres forestiers et fruitiers donnant une production agricole (fruit et bois) et forestière (bois) avec une importante restitution de débris végétaux au sol d'abord une alimentation pour le bétail et une matière organique qui sera décomposée par la pédofaune assurant une biofertilisation du sol et réduction de l'utilisation d'engrais chimiques.



Figure 11. Station 03 : SAF associant une agriculture en banquettes séparée par des arbres forestiers et des haies

L'introduction de bouquets d'arbres forestiers et ou fruitiers au milieu des parcelles agricoles (fig. 12) constituent de véritables habitats pour les prédateurs et un ombrage pour les animaux d'élevage assurant leur bien-être surtout durant les journées chaudes de l'été. Tout en contribuant au maintien de la biodiversité, les arbres et arbustes assurent un réseau de corridors écologiques permettant le déplacement de la faune en milieu rural.



Figure 12. Station 04 : SAF associant cultures et bosquets

L'extension des surfaces agroforestières ne cesse de s'étendre à l'intérieur des forêts avec l'introduction de vergers arboricoles complets (fig. 13) profitant des bienfaits de l'impact du micro climat créé par la forêt.



Figure 13. Station 05 : Arboriculture (verger de pommier) associée à la foresterie

2.2. Résultats et discussions

2.2.1. Principaux objectifs

Il s'agit d'appliquer une gestion forestière plus appropriée afin d'obtenir une production forestière et d'assurer des pâturages et une protection stricte des écosystèmes.

2.2.1.1. La gestion forestière

D'après les informations recueillies lors de nos sorties sur le terrain auprès des agriculteurs de la zone d'étude, la propriété du « Jordà » est gérée par un Plan Technique de Gestion et d'Amélioration Forestière depuis 1988 selon la méthode de gestion des coupes sélectives dans laquelle une courbe de diamètre idéal est établie pour chaque peuplement qui devra être suivi pendant la période de validité du régime (12 ans).

Dans ce Plan Technique, un découpage par peuplements a été établi très complexe et peu utile en pratique, où en plus, sur la base des données d'inventaire forestier réalisé en 1995, il a été observé que dans le peuplement n°1 qui a une extension territoriale qui occupe 50% de la ferme, il y a des sous-routes avec une structure diamétrale différente qui, par conséquent, devraient recevoir un traitement différencié qui n'a pas été envisagé. Pour cette raison, une nouvelle répartition des unités d'action conditionnée à bien des limites caractérisées, faciles à interpréter sur le terrain et avec une structure forestière plus uniforme dans chaque unité a été réalisée. L'exploitation a été divisée en sept unités de gestion classées en trois groupes bien différenciés compte tenu du traitement qu'elles recevront :

A. Pâturages

Unité d'action n° 6. Dans cet espace, l'objectif principal est de maintenir la diversité paysagère de l'exploitation (paysage ouvert) et donc l'utilisation des pâturages se poursuivra. Il comprend 5 unités d'action (1, 2, 3, 4 et 5). L'objectif principal de cet espace est la protection de l'écosystème, qui peut être parfaitement compatible avec la réalisation de l'exploitation forestière selon une gestion forestière adéquate et avec une gestion prudente de l'usage public dans certains secteurs.

B. Protection stricte

Elle comprend plusieurs stands situés dans les unités d'action no. 1, 2 et 4 et en particulier il s'agit des petites collines qui forment le relief de la forêt de hêtre du Jordà et qui sont localement appelés "tossols". Ici, l'objectif principal est la protection intégrale de l'écosystème afin qu'aucun type d'action ne soit compatible avec celui-ci et même les pieds des arbres soient laissés morts pour ne pas altérer la densité des espèces xylophages.

De cette manière, nous pouvons résumer en disant que les principaux objectifs de ce PTGMF s'articulent autour :

- **D'une persistance de la masse forestière** par la conservation de l'écosystème et l'amélioration de la capacité productive de la forêt dans laquelle il est proposé une gestion forestière plus appropriée.
- **D'une performance maximale des services publics** afin d'améliorer les aspects paysagers et récréatifs pour d'obtenir de plus grands rendements environnementaux, écologiques et culturels, ainsi qu'une augmentation des avantages économiques indirects (secteur des services).

2.2.1.2. La production forestière

Les objectifs de production ne visent pas à obtenir un bénéfice économique mais simplement que des travaux soient réalisés pour la protection et l'amélioration de l'écosystème.

A. Les pâturages

Les objectifs dans les pâturages correspondent à ceux actuels, c'est-à-dire assurer une partie de l'alimentation du bétail et de continuer à maintenir la diversité paysagère de l'exploitation.

B. Les loisirs

Il est destiné à obtenir des avantages indirects de la ferme, ainsi qu'à promouvoir l'éducation environnementale et culturelle qui peuvent devenir lucratifs. Cela permet aussi d'écouler sur site certains produits « bio » du terroir.

C. La chasse

Aucun type d'activité de chasse n'est autorisé sur la propriété soumise à aménagement. Par contre, des battues sont organisées dans les forêts par les autorités compétentes afin de réduire la prolifération de certaines espèces envahissantes et de rétablir l'équilibre écologique.

2.2.2. Superficie des terres agricoles exploitées

2.2.2.1. Superficie des terres agricoles exploitées et non exploitées

La région est à vocation forestière et la partie consacrée à l'agriculture est exploitée à 91% (fig. 14) compte tenu des conditions pédoclimatiques très favorables pour la production agricole avec des sols très fertiles et une pluviométrie bien répartie durant toute l'année. Le mode de gestion est à caractère agroforestier avec toutes les combinaisons entre arbres fruitiers et forestiers, cultures diverses et élevages très appropriées.



Figure 14. Superficies des terres agricoles exploitées et non exploitées

2.2.2.2. Exploitation des différentes superficies de la « Finca »

La figure 15 montre bien l'importance qu'attachent les agriculteurs à la place de l'arbre dans les systèmes de culture et de production afin de préserver l'environnement forestier naturel de la région (« finca de can jordà »).

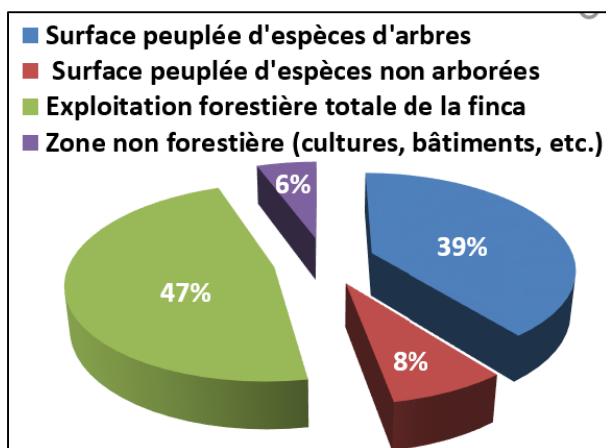


Figure 15. Superficies arborées et non arborées

Les exploitations agricoles sont essentiellement afforestation (production des cultures végétales). Ce mode de faire indirect a créé des terres agricoles, permettant à l'état de mieux valoriser leurs terres et de les protéger contre les éventuelles formes de dégradation. Les conditions climatiques favorables de la région occasionnent une facilité hydrique importante, ce qui favorise le couvert végétal.

2.2.3. Les ressources hydriques utilisées dans la zone d'étude

L'agriculture de la zone d'étude est à caractère pluvial du moment qu'il pleut durant toute l'année. Lors de nos sorties scientifiques dans la « finca », on a pu observer que trois sources hydriques utilisées pour l'irrigation dont une est un lac artificiel (fig.16) créé par les

agriculteurs. Les deux autres sources sont naturelles avec des débits permanents importants. Les eaux souterraines sont aussi importantes sous forme de poches localisées dans des dépressions émergeant par endroit (fig.17). On peut aussi constater que la zone d'étude ne manque pas d'eau.



Figure 16. Lac artificiel dans la *finca*

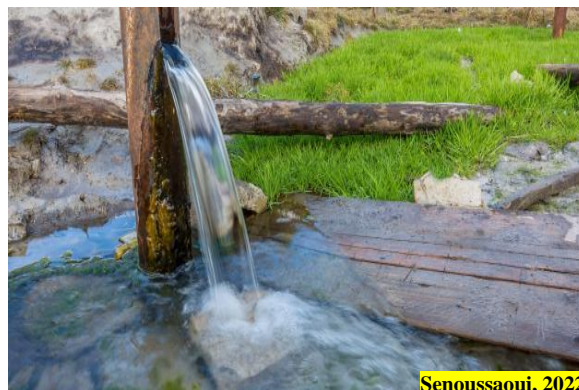


Figure 17. Emergence des eaux souterraines

2.2.4. La production végétale dans la zone d'étude

La production végétale est limitée aux deux formes essentielles des systèmes agroforestiers : la première est celle de la production fruitière des arbres (fig. 18) et la deuxième celle des cultures agricoles tels que les céréales et autres (fig. 19) avec selon les agriculteurs de la zone d'étude un pourcentage respectif de **70 %** et **30%** montrant ainsi l'importance économique des arbres (fig. 20).

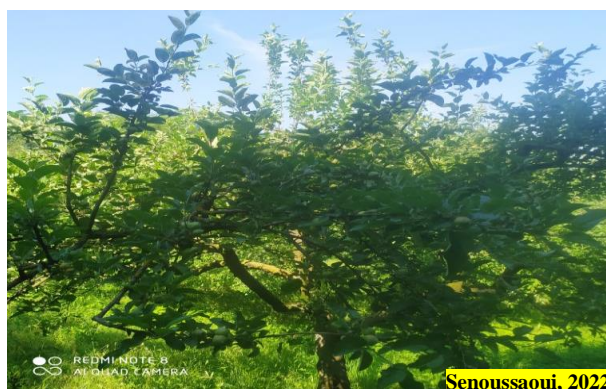


Figure 18. Pommier (*Malus domestica borkh*) avec cultures intercalaires



Figures 19. Agroforesterie céréalière (*Tricum durum*)

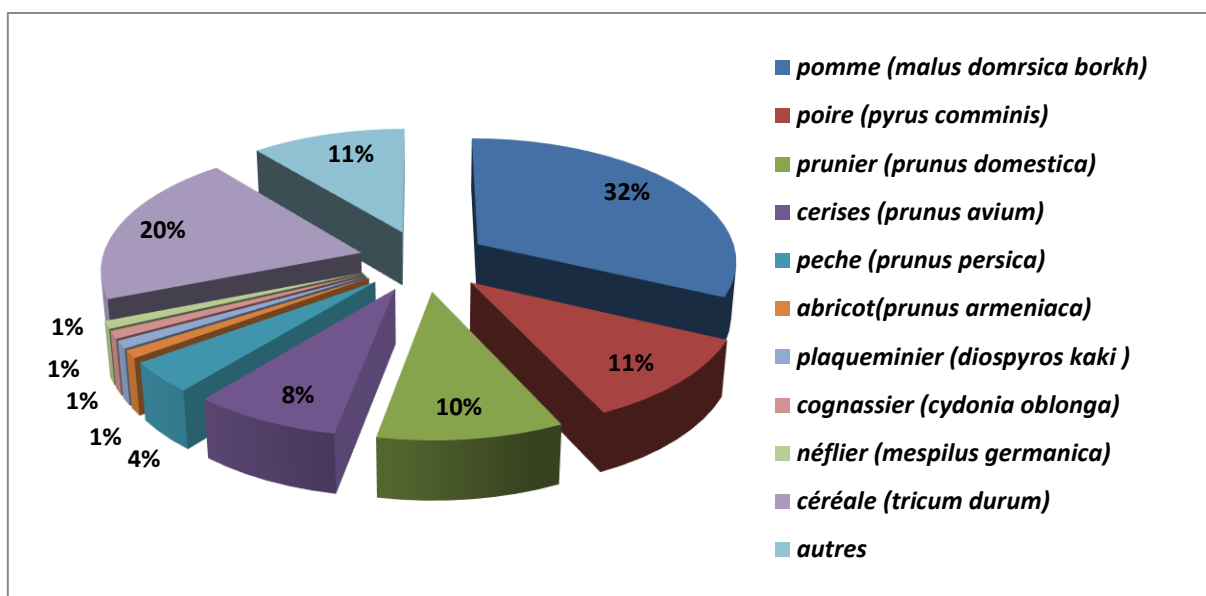


Figure 20. Importance de l'arbre fruitier dans la production agroforestière

2.2.5. Cultures herbacées traditionnelles

Selon nos constatations sur terrain et les agriculteurs de la zone d'étude, des variétés traditionnelles (locales) de plantes en déclin sont cultivées afin d'éviter leur extinction, telles que :

- Haricot (*Fagopyrum esculentum*), variétés de dactyle et de boucle d'oreille.
- Maïs (*Zea mays*), variétés de la croix, de la dent et blanche.
- Haricots (*Phaseolus vulgaris*), variétés tabelle brisa à buisson bas et à buisson long.
- Pomme de terre (*Solanum tuberosum*), variété mûre.

2.2.6. La faune domestique

La faune de la zone d'étude est caractérisée par l'existence d'espèces typiques de la forêt, des cultures et des pâturages. Une grande diversité d'habitats est déterminée grâce au degré de

diversité de la végétation paysagère constituée de forêts de feuillus et quelques forêts sempervirentes, ainsi que l'existence de formations arbustives et herbacées, de terres agricoles, en plus de la physiographie particulière du terrain avec des secteurs plats et rocheux dans les parties hautes des montagnes.

Parmi les groupes fauniques existants dans la zone d'étude et pour lesquels on a pu acquérir des données on peut citer pour les bovins (Blonde d'Aquitaine); les ovins et les caprins pour les mammifères, les poulets locaux pour les oiseaux domestiques (fig. 20) et enfin les herptiles (amphibiens) tels que la grenouille verte (*Rana pereza*), le têtard (*Alytes obstetricans*), le crapaud commun (*Bufo bufo*), le crapaud courant (*Bufo calamita*) et le troglodyte (*Hyla meridionalis*) qui vivent dans un étang de la plaine du Jordà.

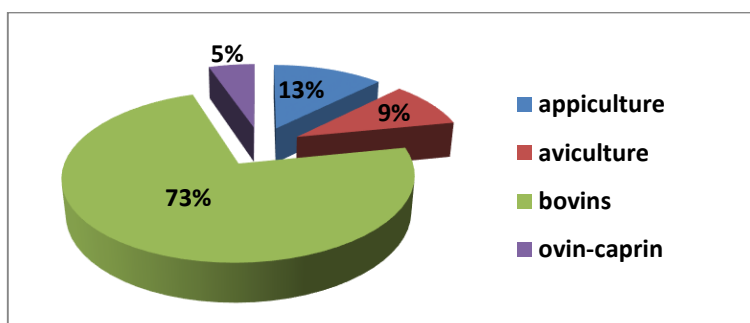


Figure 21. Animaux d'élevage présents dans la *finca*



Figure 22. Association d'élevage aux SAF (bovins : Blonde d'Aquitaine)

2.2.7. L'exploitation des arbres

En examinant la zone d'étude, nous nous sommes aperçu clairement que les arbres affectés par le changement climatique sont utilisés dans la production de bois de ce qui est recyclé en mobilier et objets d'art pour les touristes ou comme source d'énergie (fig. 22).



Senoussaoui, 2022



Senoussaoui, 2022

Figures 22. Exploitation du bois (combustible et/ou ou objet d'art)

2.2.8. Les types de SAF rencontrés

A partir de nos investigations dans la zone d'étude, il s'avère que le type de système agroforestier pratiqué est le plus complet et le plus performant car il associe sur le même territoire arbres (forestier et fruitier), cultures (céréales, légumineuses et fourragères) et élevage d'animaux domestiques divers (bovins, ovins, volaille, etc.), il s'agit de l'agrosylvopastoralisme.

La présence de l'eau, de sols fertiles, d'un climat particulièrement tempéré a été très favorable pour le développement d'une diversité biologique importante et d'arbres fournissant de nombreux services tout en alliant production agricole et protection des milieux.

2.2.9. Les types d'écosystèmes

Puisque la zone d'étude est une zone forestière, dominée par une présence importante d'arbres (hêtres) abritant des communautés biologiquement intégrées avec d'autres végétaux et une riche biodiversité, ainsi que des sols locaux formés de substrats issus de dépôts de poussières volcaniques très riches en minéraux et des atmosphères avec lesquelles elles interagissent.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire nous a permis d'acquérir une certaine capacité d'analyser un système agroforestier dans toutes ces dimensions et à réfléchir l'innovation en agroforesterie. Il s'est avéré que l'agroforesterie demeure une alternative incontournable compte tenu de ses nombreux avantages tels que la protection des cultures et des animaux d'élevage, des sols et des cours d'eau, la diversification des revenus agricoles, la simulation de la biodiversité, l'embellissement du paysage et la possibilité de séquestrer le carbone et lutter contre le changement climatique.

Les résultats obtenus ont montré que les cultures agricoles sont abondantes tout au long de l'année car elles sont liées au système agroforestier. Aussi, les cultures liées aux arbres sont soigneusement sélectionnées à travers une typologie et une classification grâce à leur efficacité selon les conditions pédoclimatiques, socioéconomiques et environnementales de la zone d'étude pour mieux répondre aux aspirations des paysans et des agriculteurs.

La morphologie des terres de la zone est caractérisée par des terrains abrupts avec un couvert végétal ligneux quasi permanent et des pratiques agricoles appropriées protégeant le sol contre toute forme de dégradation et en même temps une grande capacité de séquestration de carbone pour la fabrication de la matière organique.

Enfin, il est à conseiller d'encourager les agriculteurs et les paysans d'opter pour les pratiques agroforestières afin de rentrer dans le cadre du développement rural et durable qui va permettre une viabilité économique par la diversité des revenus et la valorisation de toutes les composantes du système agroforestier, une équité sociale par la fixation des populations rurales et probablement une incitation d'attirer certains urbains, et surtout un total respect de l'environnement par la protection des ressources naturelles vitales tels que le sol (patrimoine à préserver), l'eau et la biodiversité.

L'agroforesterie demeure un système alternatif agricole plus respectueux de l'environnement, qui se base sur un retour calculé des arbres au sein des parcelles. Elle offre un certain nombre d'avantages environnementaux et socio-économiques quasiment absents dans les systèmes de monoculture, comme le confirme la littérature scientifique et les milliers d'expériences de terrain à travers le monde. On peut citer en premier lieu sa « contribution à des systèmes agricoles durables » par :

- L'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone,
- Un moindre effet du vent et de la chaleur, notamment grâce aux haies,
- L'enrichissement du sol, avec une biomasse augmentée de 50 %,
- La conservation de la biodiversité,
- La lutte contre les ravageurs grâce aux insectes et oiseaux qu'ils hébergent,
- L'accueil de pollinisateurs,
- De meilleures racines pour les cultures puisant plus profondément leurs apports,
- L'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau,
- La réduction du stress hydrique,
- Un meilleur taux d'azote récupéré avec le pourrissement des feuilles tombées,
- L'usage moindre des intrants chimiques toxiques (insecticides, herbicides, etc.),
- La création d'un microclimat à l'échelle de la parcelle,
- Diversité des productions agricoles animales et végétales (revenus complémentaires),
- Création d'emplois et fixation des populations rurales contre l'exode,
- Réduction de la pauvreté et de la faim par l'augmentation du nombre d'arbres et de plantes résistants à la sécheresse et la production subséquente de fruits, de noix et d'huiles comestibles,
- Sécurité et souveraineté alimentaire (quantité et qualité) accrue grâce à la restauration de la fertilité des sols pour les cultures vivrières,
- Utilisation multifonctionnelle du site
- De plus beaux paysages diversifiés,
- Le bien-être des hommes et des animaux,
- L'agro-écotourisme (revenus supplémentaires),
- Etc.

L'intérêt économique à moyen et très long terme est indéniable. En somme, on peut donc parier sur un développement conséquent de cette pratique dans les années futures. Certainement parce que même des géants de l'industrie agro-alimentaire, comme Nespresso, ainsi que les pouvoirs publics encouragent et financent les projets agroforestiers. Par conséquent, toutes les conditions sont réunies pour que l'agroforesterie devienne une pratique bien plus répandue dans les années qui viennent (<https://www.brad.ag>).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Napoleon T. Vergara, 1985. L'abc de l'agroforesterie (fao.org). Unasylva - No. 147 - IX World Forestry Congress Mexico 1985. <https://www.fao.org/3/r1340f/r1340f05.htm>
- [2] Djoudi, H., Brockhaus, M., Locatelli, B., 2013. Once there was a lake: vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Reg. Environ. Change* 13, 493–508.
- [3] Besse, F., Harmand, J.-M., Mallet, B. et *al.*, 1998. L'arbre et les formations arborées éléments moteurs du développement rural.
- [4] Verchot, L.V., Van Noordwijk, M., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K.V., Palm, C., 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 12, 901–918.
- [5] Akpo, L.E., Grouzis, M., 2000. Valeur pastorale des herbages en région soudanienne, le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicultura* 18,1–8.
- [6] Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S., 2007. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Clim. Change Cities* 33, 19.
- [7] Walter C., Merot P., Layer B., Dutin G. (2003). The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hill slopes. *Soil Use and Management*, 19, pp 201-207
- [8] Blanfort, V., Ponchant, L., Dezechache, C., Freycon, V., Picon-Cochard, C., Blanc, L., Fontaine, S., Stahl, C., 2013. Dynamique du carbone dans les sols de prairies issues de la déforestation de la forêt guyanaise 42–45.
- [9] Feller, C., Blanchart, E., Bernoux, M., Lal, R., Manlay, R., 2012. Soil fertility concepts over the past two centuries: the importance attributed to soil organic matter in developed and developing countries. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58, S3–S21.
- [10] Bernoux, M., Chevallier, T., Cornet, A., collab., 2013. Le carbone dans les sols des zones sèches : des fonctions multiples indispensables 44.
- [11] Andrianarisoa, K.S., 2009. Minéralisation de l'azote et nitrification dans les écosystèmes forestiers : effet du type de sol et de l'essence forestière 279.
- [12] Aita, C., 1996. Couplage des cycles du carbone et de l'azote dans les sols cultivés : étude, au champ des processus de décomposition après apport de matière organique fraîche. Paris 6.
- [13] Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T., 2011. Soil carbon sequestration to

- mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *Eur. J. SoilSci.* 62, 42–55.
- [14] Soltner, D., 2000. *Les Bases de la Production Végétale, T1: le Sol et son Amélioration. Sciences et Techniques Agricoles -Le clos Lorelle, 49130 Saint-Gemmes-Sur-Loire.*
- [15] Bationo, B.A., Ouedraogo, S.J., Somé, A.N., Pallo, F., Boussim, I.J., 2005. Régénération naturelle d'*Isobertia doka* Craib. et Stapf. dans la forêt classée du Nazinon (Burkina Faso). *Cah. Agric.* 14, 297-304 (1).
- [16] Doblans-Miranda, E., Paquette, A. et Work, T. T., 2014. Intercropping trees' effect on soil oribatid diversity in agro-ecosystems. *Agroforestry Systems*, 88(4), 671-678. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-014-9680-y>
- [17] Tsufac, A. R., Awazi, N. P., & Yerima, B. P. K., 2021. Characterization of agroforestry systems and their effectiveness in soil fertility enhancement in the south-west region of Cameroon. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100024.
- [18] Doran, J.W. Safley, M., 1997. *Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. Biological Indicators of Soil Health*, CAB International, New York,
- [19] Paz-Ferreiro, J. Fu, S.. 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations, *Land Degrad. Dev*
- [20] Guillot, E., Bertrand, I., Rumpel, C., Gomez, C., Arnal, D., Abadie, J., & Hinsinger, P., 2021. Spatial heterogeneity of soil quality within a Mediterranean alley cropping agroforestry system: Comparison with a monocropping system. *European Journal of Soil Biology*, 105, 103330.
- [21] Vance, E.D. Brookes, P.C. Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C, *Soil Biol. Biochem.* 19 703–707.
- [22] Repullo-Ruibérriz de Torres, M. A., Carbonell-Bojollo, R. M., Moreno-García, M., Ordóñez-Fernández, R., & Rodríguez-Lizana, A. 2021. Soil organic matter and nutrient improvement through cover crops in a Mediterranean olive orchard. *Soil and Tillage Research*, 210, 104977.
- [23] [33] Rosenzweig, C., Hillel, D., 2008. *Climate Change and the Global Harvest: Impacts of El Nino and Other Oscillations on Agroecosystems.* Oxford University Press, New York, USA.

- [24] Altieri, M., 2002. Agroecology : The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agric. Ecosyst. Environ.*
- [25] Lin, B., 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *Bioscience* 61, 183–193.
- [26] Aguilera, E., 2020. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agricultural Systems* 181
- [27] Gibelin, A.-L., Déqué, M., 2003. Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dynamics* 20, 327–339.
- [28] Banning, N.C., Murphy, D.V., 2008. Effect of heat-induced disturbance on microbial biomass and activity in forest soil and the relationship between disturbance effects and microbial community structure. *Applied Soil Ecology* 40, 109-119.
- [29] Xu, W., Yuan, W., 2017. Responses of microbial biomass carbon and nitrogen to experimental warming: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 115, 265–274.
- [30] Abbas, F., Hammad, H.M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, S., Bakhat, H.F., 2017. Agroforestry : a sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios—a review. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 11177–11191.
- [31] Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H. N., Borek, R., Herzog, F., 2019. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy*, 83, 581–593.
- [32] Agyeman, V.K., Marfo, K.A., Kasanga, K.R., Danso, E., Asare, A.B., Yeboah, O.M., Agyeman, F. 2003. Revising the taungya plantation system: New revenue-sharing proposals from Ghana. *Unasylva*, 54 : 40-47.
En ligne version française abrégée : <http://www.fao.org/docrep/005/y4744f/y4744f11.htm>
- [33] Cline, W.R. 2007. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics. Washington, D.C.
- [34] Garrity, D.P. 2004. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems*, 61 : 5-17.
- [35] Gaston, K.J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405 : 220-227.
- Gordon, A.M., Newman, S.M. 1997. Temperate agroforestry systems. CAB International.

- [36] Kull, C.A. 2000. Deforestation, erosion, and fire: Degradation myths in the environmental history of Madagascar. *Environment and History*, 6 : 423-450.
- [37] King, K.F.S. 1987. The history of agroforestry. Dans H.A. Steppeler et P.K.R. Nair (éditeurs), *Agroforestry – A decade of development*. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, p. 3-11.
- [38] MacDicken, K.G., Vergara, N.T. 1990. *Agroforestry: Classification and management*. John Wiley and Sons.
- [39] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2015. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Objectifs internationaux 2015 de la réduction de la faim : des progrès inégaux. Rome, Italie.
- [40] Parigiani, J., Spooner, S. 2015. 2015 is the « Year of Soils ». Here are the 6 chilling facts every African should be aware of. *Mail and Guardian Africa*.
- [41] Young, A. 1983. An environmental database for agroforestry. Working paper n° 5, International Council for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya.
- [42] Young, A. 1997. *Agroforestry for soil management*. CAB International.
- [43] Nair, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3 : 97-128.

Annexes

Annexe : Quelques espèces de la flore de la zone d'étude



Photo 01. *Fagus sylvatica*



Photo 02. *Quercus humilis*



Photo 03. *Quercus ilex*



Photo 04. *Quercus robur*



Photo 05. *Populus tremula*



Photo 06. *Castanea sativa*



Photo 07. *Acer opalus*



Photo 08. *Fraxinus excelsior*



Photo 09. *Tilia platyphyllos*



Photo 10. *Crataegus monogyna*