



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Réalisé en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II

« Agroenvironnements et Bioindicateurs »

Filière « Ecologie et Environnement »

THÈME

LES ABEILLES (APIS MELLIFERA) : DIVERSITE, SERVICES ECOSYSTEMIQUES ET MENACES DANS LES AGROECOSYSTEMES

Présenté par : HAMOUDI Ines

Évalué le : 11 /06/2026

Comité d'évaluation :

Président : KACHOUR Leila

MAA

UCBET

Encadrant : BECIR Farida

MCA

UCBET

Examineur : SIOUANE Noureddine

MCB

UCBET

Invité d'honneur : Dr DEBOUZ Noureddine, Président du Conseil de la Filière Apiculture de la Wilaya d'El-Tarf

Année universitaire 2025 - 2026

REMERCIEMENT



Au terme de ce travail de recherche, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens avant tout à remercier Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la volonté, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, **Mme BECIR Farida**, pour la qualité de son encadrement, ses précieux conseils, son suivi attentif, sa disponibilité ainsi que son soutien constant tout au long de cette expérience scientifique.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance aux membres du jury, **Mme KACHOUR Leila** et **M. SIOUANE Nouredine**, qui ont accepté d'évaluer ce travail et de l'enrichir par leurs remarques scientifiques constructives.

J'adresse une gratitude particulière à l'Api thérapeute et apiculteur professionnel : **Dr DABOUZ Nouredine**, membre fédéral de l'association nationale des apiculteurs et président du conseil de la filière apiculture de la wilaya d'El-Tarf ; qui m'a accompagné durant la partie pratique de ce travail et qui n'a cessé de partager avec moi son expérience, ses connaissances et ses précieux conseils dans le domaine de l'apiculture.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants et du personnel du Département de Biologie, pour les connaissances, l'accompagnement et la formation qu'ils m'ont apportés tout au long de mon parcours universitaire.

J'exprime aussi ma profonde reconnaissance à ma famille, particulièrement à mes parents, pour leur soutien moral et matériel, leurs encouragements permanents, leur patience et leurs sacrifices tout au long de mes études.

Enfin, je remercie mes amis, mes camarades ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidé, soutenu et encouragé durant les différentes étapes de la réalisation de ce mémoire.

Que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

SOMMAIRE

Titre	Page
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	03
1.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE I	03
1.2. AGROSYSTEMES ET FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE	04
1.2.1. fonctionnement écologique des agrosystèmes	05
1.2.2. Services écosystémiques en milieu agricole	06
1.2.3. Agrosystèmes et durabilité	08
1.3. BIOLOGIE ET DIVERSITE DES ABEILLES	09
1.3.1. Généralité	10
1.3.2. Classification et diversité	10
1.3.2.1. Taxonomie (<i>Apis mellifera</i>)	11
1.3.3. Abeilles domestiques	12
1.3.4. Abeilles sauvages	14
1.3.5. Organisation sociale et comportement	16
1.3.6. Adaptation écologiques	19
1.4. POLLINISATION ET REPRODUCTION VEGETALE	20
1.4.1. Types de pollinisation	21
1.4.1.1. Pollinisation directe (autopollinisation)	21
1.4.1.2. Pollinisation croisée (allogamie)	21
1.4.1.3. Pollinisation entomophile	22
1.4.2. Rôle fonctionnel des abeilles	23
1.4.3. Réseaux plantes-pollinisateurs	24
1.5. SERVICE ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LES ABEILLES	26
1.6. MENACES ET PRESSIONS SUR LES ABEILLES	27
1.7. ABEILLES, AGROECOLOGIE ET DURABILITE DES ECOSYSTEMES	28
1.7.1. Agroécologie, agriculture écologique et gestion durable des agrosystèmes	30
1.7.2. Les abeilles comme bioinducteurs	31
1.8. CONCLUSION DU CHAPITRE I	31
CHAPITRE II. DISPOSITIF APICOLE, AGRICULTURE DURABLE ET APPLICATION AGROÉCOLOGIQUE	33
2.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE II	33
2.2. PROCEDURE DE MONTAGE D'UN DISPOSITIF D'APICULTURE	33
2.2.1. Matériels nécessaires	34
2.2.1.1. La ruche : l'habitat	34
2.2.1.2. Les cadres	35
2.2.1.3. La combinaison de l'apiculteur	36
2.2.1.4. L'enfumoir	36
2.2.1.5. La brosse apicole	37
2.2.1.6. Le lève-cadre	38
2.2.2. Etapes de montage	38
2.2.2.1. Choix de l'emplacement	38
2.2.2.2. Méthode de suivi	40
2.2.3. Risques et problèmes courants	41

2.2.3.1. Matériel défaillant	42
2.2.3.2. Maladie	42
2.3. ROLE DU DISPOSITIF DANS LA DURABILITE AGRICOLE	44
2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE II	45
DISCUSSION	46
CONCLUSION GENERALE	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

SOMMAIRE DES FIGURES

N	Figure	Page
01	Anatomie de l'abeille.	13
02	Schéma d'un nid d'abeille	16
03	Le cycle biologique de l'abeille	18
04	Morphologie externe d'un bourdon (<i>Bombus</i>) sur une fleur de chardon (Cliché personnel, 2026).	20
05	Différents types de pollinisation	23
06	Schéma d'un réseau mutualiste simplifié plante-pollinisateur	26
07	Carte conceptuelle de synthèse du rôle des abeilles dans l'agro écologie et la durabilité des agrosystèmes	29
08	Cadre d'une ruche (Cliché personnel, 2026).	35
09	La ruche (Cliché personnel, 2026).	35
10	La combinaison de l'apiculteur (Cliché personnel, 2026).	36
11	L'enfumeur (Cliché personnel, 2026).	37
12	Brosse (Cliché personnel, 2026).	37
13	Lève-cadre (Cliché personnel, 2026).	38
14	Le varroa	43
15	Larve atteinte du virus du couvain sacciforme	43
16	Abeilles présentant les symptômes caractéristiques de la maladie noire	43
17	Symptômes de la loque américaine sur le couvain d'abeilles	43
18	Larves momifiées atteintes d'ascosphérose (<i>Ascosphaera apis</i>)	43

SOMMAIRE DES TABLEAUX

N	Tableau	Page
01	Caractéristique de l'abeille <i>Apis mellifera</i> intermissa	14
02	Caractéristiques générales des abeilles sauvages	15
03	Principales fonctions des abeilles dans les écosystèmes naturels et agricoles.	24
04	Principales menaces pesant sur les abeilles et leurs conséquences	28
05	Principales maladies et affections apicole	43

RESUME

Les abeilles constituent des acteurs clés des écosystèmes naturels et agricoles en assurant des services écosystémiques essentiels, notamment la pollinisation, indispensable à la reproduction des plantes, au maintien de la biodiversité et à la productivité agricole. Toutefois, leurs populations connaissent un déclin alarmant sous l'effet de pressions anthropiques et environnementales, incluant l'intensification agricole, l'usage de pesticides, la fragmentation des habitats, les changements climatiques et les agents pathogènes.

Ce travail propose une analyse du rôle des abeilles dans les agrosystèmes, en évaluant leurs contributions aux services écosystémiques et à la durabilité des pratiques agricoles, tout en examinant leur pertinence en tant que bioindicateurs de la qualité environnementale. L'étude s'appuie sur une synthèse critique de la littérature scientifique récente.

L'étude met en évidence l'importance des abeilles dans la stabilité des écosystèmes, la sécurité alimentaire et l'amélioration des rendements agricoles, ainsi que leur forte sensibilité aux perturbations environnementales, justifiant leur utilisation en biomonitoring. Par ailleurs, les approches agroécologiques, fondées sur la diversification des cultures, la réduction des intrants chimiques et la préservation des habitats semi-naturels, apparaissent déterminantes pour la conservation des pollinisateurs.

En conclusion, la protection des abeilles représente un enjeu majeur pour la durabilité des systèmes agricoles et la préservation de la biodiversité.

Mots-clés : *Abeilles ; Pollinisation ; Services écosystémiques ; Agrosystèmes ; Agroécologie ; Agriculture durable ; Biodiversité ; Bioindicateurs ; Pollinisateurs ; Environnement.*

ABSTRACT

Bees are key components of both natural and agricultural ecosystems, delivering critical ecosystem services, most notably pollination, which underpins plant reproduction, biodiversity maintenance, and agricultural productivity. Despite their ecological and economic importance, bee populations are undergoing a marked global decline driven by a combination of anthropogenic and environmental stressors, including agricultural intensification, pesticide exposure, habitat fragmentation, climate change, and the proliferation of pathogens and invasive species.

This study provides a comprehensive assessment of the functional role of bees within agroecosystems, with particular emphasis on their contribution to ecosystem service delivery, their integration within sustainable and agroecological frameworks, and their relevance as bioindicators of environmental quality. The analysis is based on a critical synthesis of recent peer-reviewed scientific literature.

The findings highlight the central role of bees in supporting ecosystem resilience, enhancing food security, and optimizing crop yields. Their pronounced sensitivity to environmental perturbations further supports their application in biomonitoring and ecological assessment. Moreover, the study emphasizes the importance of agroecological practices—such as crop diversification, reduced reliance on chemical inputs, and the conservation of semi-natural habitats—as effective strategies for mitigating pollinator decline and sustaining ecosystem functionality.

In conclusion, the conservation of bee populations represents a critical priority for maintaining ecological integrity, ensuring the sustainability of agricultural systems, and safeguarding global biodiversity.

Keywords: *Bees; Pollination; Ecosystem services; Agroecosystems; Agroecology; Sustainable agriculture; Biodiversity; Bioindicators; Pollinators; Environment.*

الملخص

تُعدّ النحل من أساسيات الأنظمة البيئية الطبيعية والزراعية، حيث تؤدي دورًا محوريًا لا وهو التلقيح، الذي يُعدّ عنصرًا حاسمًا في تكاثر النباتات، والحفاظ على التنوع البيولوجي، وتعزيز الإنتاجية الزراعية. وعلى الرغم من هذه الأهمية البيئية والاقتصادية، تشهد أعداد النحل تراجعًا ملحوظًا على المستوى العالمي نتيجة تداخل عدة ضغوط بيئية وبشرية، من بينها تكثيف الأنشطة الزراعية، الاستخدام العشوائي للمبيدات، تجزئة البيئات، التغيرات المناخية، إضافة إلى انتشار مسببات الأمراض والأوبئة.

يهدف هذا العمل إلى تقديم تحليل شامل للدور الوظيفي للنحل داخل الأنظمة الزراعية، مع التركيز على مساهمته في خدمات النظام البيئي، واندماجه ضمن مقاربات الزراعة المستدامة والزراعة الإيكولوجية، فضلاً عن إبراز أهميته كمؤشر حيوي على جودة البيئة. ويعتمد هذا التحليل على مراجعة نقدية للأدبيات العلمية الحديثة.

تُظهر النتائج الأهمية البالغة للنحل في دعم استقرار النظم البيئية، تعزيز الأمن الغذائي، وتحسين مردودية المحاصيل الزراعية. كما تؤكد حساسيته العالية اتجاه التغيرات البيئية، مما يجعله أداة فعالة في عمليات الرصد البيئي والتقييم الإيكولوجي. بالإضافة إلى ذلك، تبرز الدراسة الدور الحاسم للممارسات الزراعية الإيكولوجية، مثل التنوع البيولوجي، تقليل الاعتماد على المدخلات الكيميائية، والحفاظ على الموائل شبه الطبيعية، في حماية الملقحات وضمان استدامة وظائف النظم البيئية.

في الختام، تمثل حماية النحل أولوية استراتيجية للحفاظ على التوازن البيئي، وضمان استدامة الأنظمة الزراعية، وصون التنوع البيولوجي على المستوى العالمي.

الكلمات المفتاحية: النحل؛ التلقيح؛ الخدمات البيئية؛ الأنظمة الزراعية؛ البيئية الزراعية؛ البيئية الزراعية المستدامة؛ التنوع البيولوجية؛ المؤشرات الحيوية؛ الملقحات البيئية.

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières décennies, les écosystèmes naturels et agricoles ont connu de profondes transformations sous l'effet de l'intensification des activités humaines. L'expansion agricole, l'urbanisation, la simplification des paysages, l'utilisation accrue des produits phytosanitaires et les changements climatiques ont progressivement modifié les équilibres écologiques. Ces perturbations se traduisent notamment par une érosion de la biodiversité, affectant de manière particulière les insectes pollinisateurs, parmi lesquels les abeilles occupent une place centrale. Le déclin de leurs populations constitue aujourd'hui une préoccupation majeure, à la fois écologique, agronomique et socio-économique [01].

Les abeilles jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes par leur contribution à la pollinisation des plantes à fleurs. Ce processus biologique assure le transfert du pollen vers les organes reproducteurs femelles des fleurs, permettant ainsi la fécondation, la formation des graines et des fruits, ainsi que le maintien de la diversité génétique des populations végétales. Dans les milieux naturels, cette fonction contribue à la régénération de la flore, à la stabilité des communautés végétales et au maintien des interactions écologiques. Dans les agrosystèmes, elle conditionne directement ou indirectement la productivité de nombreuses cultures, la qualité des productions agricoles et la sécurité alimentaire [02] ; [03].

Au-delà de leur fonction pollinisatrice, les abeilles représentent également des organismes sensibles aux variations de leur environnement. Leur comportement de butinage, leur large rayon d'activité et leur contact permanent avec l'air, l'eau, le sol, les fleurs et les ressources alimentaires en font des indicateurs biologiques pertinents de la qualité des milieux. Elles peuvent refléter la présence de contaminants tels que les pesticides, les métaux lourds ou certains polluants organiques, mais aussi traduire les effets de la fragmentation des habitats, de la réduction des ressources florales et de la dégradation des paysages agricoles. À ce titre, elles constituent des outils intéressants pour le biomonitoring et l'évaluation de l'état écologique des agrosystèmes [04].

Cependant, les abeilles sont exposées à de multiples pressions qui agissent souvent de manière combinée. L'intensification agricole réduit la diversité florale et les sites de nidification, tandis que les produits phytosanitaires peuvent affecter leur survie, leur orientation, leur

comportement de butinage et la dynamique des colonies. La fragmentation des habitats limite la disponibilité des ressources et la connectivité écologique. À cela s'ajoutent les effets des changements climatiques, des pathogènes, des parasites et des espèces invasives, qui accentuent la vulnérabilité des populations. La diminution des abeilles menace ainsi non seulement la biodiversité, mais aussi les services écosystémiques essentiels qu'elles assurent [05].

Dans ce contexte, l'étude du rôle des abeilles dans les agrosystèmes revêt une importance particulière. Elle permet de mieux comprendre leur contribution au fonctionnement écologique des milieux agricoles, leur implication dans la production et la stabilité des rendements, ainsi que leur valeur comme indicateurs de perturbations environnementales. Cette réflexion s'inscrit pleinement dans les approches de l'agroécologie et de l'agriculture durable, qui visent à réduire la dépendance aux intrants chimiques, à préserver les habitats semi-naturels, à renforcer les régulations biologiques et à favoriser la biodiversité fonctionnelle.

La problématique centrale de ce mémoire peut donc être formulée comme suit : dans quelle mesure les abeilles peuvent-elles être considérées à la fois comme des bioindicateurs fiables de la qualité environnementale et comme des acteurs essentiels de la durabilité des agrosystèmes?

Pour répondre à cette problématique, ce travail vise à analyser le rôle fonctionnel des abeilles dans les agrosystèmes, à mettre en évidence les services écosystémiques qu'elles assurent, à identifier les principales pressions responsables de leur déclin, et à examiner leur potentiel en tant qu'outils de bioindication environnementale. Il s'agit également de souligner l'intérêt des approches agroécologiques dans la conservation des pollinisateurs et dans la promotion de systèmes agricoles plus durables.

Le mémoire est structuré en deux chapitres. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique consacrée au fonctionnement écologique des agrosystèmes, à la biologie et à la diversité des abeilles, à la pollinisation, aux services écosystémiques et aux principales menaces pesant sur les pollinisateurs. Le second chapitre aborde le lien entre abeilles, agriculture durable et agroécologie, en mettant l'accent sur les dispositifs apicoles, la gestion durable des agrosystèmes, le rôle des abeilles comme bioindicateurs, ainsi que les limites, lacunes et perspectives de recherche dans ce domaine.

CHAPITRE I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE I

Dans le contexte actuel de transition vers des modèles agricoles plus durables, les agrosystèmes sont considérés comme des systèmes socio-écologiques complexes, dont le fonctionnement dépend étroitement des interactions entre les composantes biologiques, les facteurs abiotiques et les pratiques humaines. Leur stabilité ne repose pas uniquement sur la production agricole, mais également sur le maintien des processus écologiques qui assurent la fertilité des sols, la régulation biologique, le recyclage des nutriments et la pollinisation.

Parmi ces processus, la pollinisation occupe une place centrale. Elle conditionne la reproduction sexuée d'un grand nombre de plantes à fleurs, contribue au maintien de la diversité végétale et influence directement la productivité de nombreuses cultures. Les abeilles, en raison de leur diversité, de leur comportement de butinage et de leur efficacité dans le transfert du pollen, constituent l'un des groupes de pollinisateurs les plus importants dans les écosystèmes naturels et agricoles [06].

La diversité biologique et fonctionnelle des abeilles leur confère un rôle essentiel dans les réseaux plantes-pollinisateurs et dans la fourniture de services écosystémiques. Elles participent non seulement à la reproduction des plantes sauvages et cultivées, mais également à la stabilité des communautés végétales, à la conservation de la biodiversité et à la résilience des agrosystèmes. Ainsi, leur présence et leur activité représentent des éléments clés du fonctionnement écologique des milieux agricoles.

Cependant, les populations d'abeilles connaissent un déclin préoccupant à l'échelle mondiale. Ce phénomène résulte de l'action combinée de plusieurs facteurs, notamment l'intensification agricole, l'usage des produits phytosanitaires, la fragmentation des habitats, l'appauvrissement des ressources florales, les changements climatiques, ainsi que la propagation de pathogènes et d'espèces invasives. Cette régression menace directement les services de pollinisation et soulève des inquiétudes majeures concernant la résilience des écosystèmes, la stabilité des productions agricoles et la sécurité alimentaire [07].

1.2. AGROSYSTEMES ET FONCTIONNEMENT ECOLOGIQUE

Un agrosystème peut être défini comme un écosystème anthropisé, organisé et géré par l'homme dans le but de produire des ressources biologiques, principalement alimentaires. Contrairement aux écosystèmes naturels, dont le fonctionnement repose sur des dynamiques spontanées et autorégulées, les agrosystèmes dépendent fortement des interventions humaines. Celles-ci comprennent notamment le travail du sol, l'irrigation, la fertilisation, le choix des variétés cultivées et la lutte contre les organismes nuisibles [08].

Cette artificialisation entraîne généralement une simplification structurelle et fonctionnelle des milieux agricoles. Elle se traduit par une diminution de la diversité spécifique, une réduction de la biodiversité fonctionnelle et une plus grande vulnérabilité face aux perturbations. Ainsi, les agrosystèmes fonctionnent souvent selon un équilibre instable, maintenu par des apports réguliers d'énergie et de matières d'origine externe [09].

Ces apports se manifestent principalement par l'utilisation d'énergies fossiles nécessaires à la mécanisation, à l'irrigation, au transport et aux différentes opérations agricoles. Ils comprennent également les intrants matériels tels que les engrais minéraux, les produits phytosanitaires, les semences sélectionnées ou améliorées et divers amendements agricoles. Si ces intrants permettent d'augmenter la productivité à court terme, leur utilisation intensive peut modifier profondément les processus écologiques qui soutiennent le fonctionnement des systèmes agricoles [09].

En effet, la dépendance accrue aux intrants exogènes peut entraîner plusieurs effets environnementaux négatifs. Elle contribue notamment à l'altération des cycles biogéochimiques, à la pollution des eaux par lessivage des nutriments, à la dégradation de la qualité des sols, à la simplification des interactions trophiques et à la réduction de la biodiversité utile. Elle peut également favoriser l'apparition de résistances chez certains bioagresseurs, ce qui renforce encore la dépendance aux traitements chimiques [10].

Dans cette perspective, la durabilité des agrosystèmes repose sur la capacité à réduire la dépendance aux ressources externes et à renforcer les processus écologiques internes. Les approches agroécologiques proposent justement de s'appuyer sur la diversification des cultures, la conservation des habitats semi-naturels, le recyclage de la matière organique, la régulation biologique des ravageurs et la valorisation des interactions entre organismes vivants. Ces pratiques visent à maintenir la productivité tout en limitant les impacts environnementaux [11].

Il est également important de distinguer le concept d'agrosystème de celui de système agraire. L'agrosystème correspond principalement à une unité écologique de production, composée d'éléments biotiques et abiotiques organisés autour de la production de biomasse. Son fonctionnement dépend de processus tels que les flux d'énergie, le cycle des nutriments, la dynamique de la matière organique, les interactions trophiques et la pollinisation [09].

En revanche, le système agraire désigne une réalité plus large, intégrant les dimensions sociales, économiques, techniques et culturelles de l'activité agricole. Il renvoie aux modes d'exploitation historiquement construits, aux choix techniques, aux savoirs locaux, aux contraintes économiques et aux relations entre les agriculteurs et leur territoire. Ainsi, alors que l'agrosystème décrit davantage le fonctionnement écologique d'une unité de production, le système agraire permet de comprendre l'organisation globale de l'agriculture dans un contexte territorial donné [12] ; [13].

1.2.1. Fonctionnement écologique des agrosystèmes

Le fonctionnement écologique des agrosystèmes repose sur l'interaction permanente entre les composantes biotiques, les facteurs abiotiques et les pratiques agricoles. Les organismes vivants, tels que les plantes cultivées et spontanées, les microorganismes du sol, les auxiliaires de culture, les ravageurs et les pollinisateurs, interagissent avec des éléments physiques comme le sol, l'eau, la lumière, la température et la disponibilité des nutriments. L'équilibre entre ces composantes conditionne la productivité, la stabilité et la résilience des systèmes agricoles [14].

Parmi les processus écologiques essentiels au fonctionnement des agrosystèmes, la pollinisation occupe une place déterminante. Les abeilles assurent le transfert du pollen entre les organes reproducteurs des plantes à fleurs, qu'elles soient cultivées ou spontanées. Ce processus permet la reproduction sexuée des végétaux, favorise le brassage génétique et contribue à l'adaptation des espèces aux variations environnementales. Dans les milieux agricoles, l'activité pollinisatrice des abeilles influence directement la quantité des rendements, mais aussi la qualité des productions, notamment la formation, la taille, l'homogénéité et la viabilité des fruits et des graines [15] ; [16].

Au-delà de leur contribution directe à la production végétale, les abeilles participent au maintien des communautés végétales et au fonctionnement global des écosystèmes agricoles. En

favorisant la reproduction des plantes sauvages présentes dans les haies, les bordures, les jachères et les habitats semi-naturels, elles soutiennent la diversité floristique et renforcent les réseaux trophiques. Leur activité contribue ainsi à la disponibilité de ressources alimentaires et d'habitats pour de nombreux organismes, ce qui améliore la résilience écologique des agrosystèmes face aux perturbations [15] ; [16].

Le déclin des populations d'abeilles est aujourd'hui considéré comme un signal de déséquilibre écologique dans les milieux agricoles. En raison de leur sensibilité aux modifications de l'environnement, ces insectes réagissent rapidement à la réduction des ressources florales, à la perte des habitats, à la fragmentation des paysages et à l'exposition aux produits phytosanitaires. Une diminution de leur abondance ou de leur diversité peut donc traduire une dégradation des conditions écologiques nécessaires au maintien des services de pollinisation [17].

Ce phénomène est particulièrement marqué dans les zones soumises à l'intensification agricole. La généralisation des monocultures, la disparition des haies, des bandes fleuries et des jachères, ainsi que la simplification des paysages réduisent les ressources alimentaires et les sites de nidification disponibles. L'usage intensif des produits phytosanitaires peut également altérer la survie, le comportement de butinage, l'orientation et les capacités de navigation des abeilles. À cela s'ajoute la fragmentation des habitats, qui limite la connectivité écologique et affaiblit le maintien des populations pollinisatrices [14] ; [15] ; [16] ; [17].

Ainsi, les abeilles ne doivent pas être considérées uniquement comme des agents de pollinisation, mais également comme des composantes fonctionnelles de l'équilibre des agrosystèmes. Leur présence, leur diversité et leur activité reflètent en partie la qualité écologique des milieux agricoles. Leur conservation constitue donc un levier essentiel pour maintenir la productivité, la biodiversité fonctionnelle et la durabilité des agrosystèmes.

1.2.2. Services écosystémiques en milieu agricole

Les services écosystémiques correspondent à l'ensemble des contributions fournies par les écosystèmes au bien-être humain. En milieu agricole, ils résultent des interactions entre les composantes biotiques, les facteurs abiotiques et les pratiques de gestion mises en œuvre par l'homme. Ces services ne se limitent pas à la production de ressources alimentaires ; ils

englobent également la régulation des processus écologiques, le maintien de la fertilité des sols, le recyclage des nutriments, la pollinisation, la protection de la biodiversité et les valeurs culturelles associées aux paysages agricoles [18] ; [19].

Dans les agrosystèmes, les services d'approvisionnement représentent les bénéfices matériels directement exploités par les sociétés humaines. Ils comprennent principalement la production alimentaire, telle que les céréales, les fruits, les légumes, les légumineuses et les produits apicoles. Ils incluent également les fibres naturelles, les ressources énergétiques issues de la biomasse, les plantes médicinales, les semences et d'autres ressources biologiques utiles. Ces services constituent la base de la sécurité alimentaire et participent au développement économique des territoires agricoles [20].

Les services de régulation jouent un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre écologique des agrosystèmes. Ils regroupent les processus naturels qui contribuent à stabiliser les milieux agricoles, tels que la régulation hydrique, le contrôle biologique des ravageurs, le maintien de la fertilité des sols, la régulation du climat local et le stockage du carbone. La pollinisation, assurée notamment par les abeilles et d'autres insectes pollinisateurs, constitue également un service de régulation majeur, car elle conditionne la reproduction de nombreuses plantes cultivées et spontanées [21].

Les services de support, ou services de soutien, correspondent aux fonctions écologiques de base qui permettent le maintien des autres services écosystémiques. Ils comprennent notamment la formation et la structuration des sols, la production primaire, le cycle des nutriments, ainsi que le maintien de la biodiversité fonctionnelle. Ces processus assurent la stabilité à long terme des agrosystèmes et déterminent leur capacité à produire durablement des ressources biologiques [22].

Les services culturels désignent les bénéfices immatériels que les sociétés humaines tirent des agrosystèmes. Ils concernent la valeur esthétique des paysages agricoles, les activités récréatives telles que le tourisme rural ou l'apiculture, les traditions agricoles, le patrimoine local et la transmission des savoirs liés à la gestion des milieux cultivés. Ces dimensions renforcent le lien entre les communautés humaines et leur environnement, tout en contribuant à la valorisation sociale et culturelle des territoires agricoles [23].

Dans ce cadre, les abeilles occupent une place particulière, car leur activité de pollinisation relie directement les services écologiques aux services agronomiques. En assurant le transfert du

pollen entre les fleurs, elles permettent la fécondation des plantes à fleurs, la formation des fruits et des graines, ainsi que le maintien de la diversité génétique végétale. Cette fonction biologique influence directement les rendements de nombreuses cultures, tout en contribuant à la stabilité des communautés végétales et à la résilience des écosystèmes [01] ; [24].

Ainsi, toute diminution des populations de pollinisateurs peut entraîner des effets négatifs sur la productivité agricole, la diversité végétale et l'équilibre écologique des agrosystèmes. La préservation des abeilles et de leurs habitats apparaît donc comme un levier essentiel pour maintenir les services écosystémiques en milieu agricole et renforcer la durabilité des systèmes de production.

1.2.3. Agrosystèmes et durabilité

La durabilité des agrosystèmes repose sur leur capacité à maintenir, sur le long terme, un équilibre entre la production agricole, la préservation des ressources naturelles et la prise en compte des dimensions sociales et économiques. Un agrosystème durable doit ainsi répondre aux besoins alimentaires actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. Cette approche implique de limiter les impacts environnementaux liés aux pratiques agricoles, notamment la dégradation des sols, la pollution des eaux, l'érosion de la biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles, tout en assurant une productivité suffisante et stable [25] ; [26].

La durabilité ne se réduit donc pas à la seule performance productive. Elle intègre également la viabilité économique des exploitations, l'équité entre les acteurs agricoles, la sécurité alimentaire et la préservation des fonctions écologiques qui soutiennent la production. Dans cette perspective, la gestion rationnelle des ressources naturelles constitue un principe fondamental. Elle vise à maintenir la fertilité des sols, la qualité de l'eau, la diversité biologique et les interactions écologiques nécessaires au bon fonctionnement des systèmes agricoles [27].

L'agroécologie apparaît aujourd'hui comme une approche scientifique et pratique particulièrement adaptée pour répondre aux limites des systèmes agricoles intensifs. Elle repose sur l'intégration des principes écologiques dans la conception et la gestion des agrosystèmes, en valorisant les processus biologiques naturels plutôt que le recours systématique aux intrants chimiques. Contrairement aux modèles intensifs fondés sur l'artificialisation des milieux et

l'usage élevé d'engrais ou de produits phytosanitaires, l'agroécologie cherche à renforcer la biodiversité, les régulations naturelles, la fertilité des sols et la résilience des systèmes agricoles [28].

Dans ce cadre, plusieurs pratiques peuvent contribuer à améliorer la durabilité des agrosystèmes. La diversification des cultures, la rotation culturale, la préservation des haies, des bandes fleuries et des habitats semi-naturels, ainsi que la réduction des intrants chimiques favorisent le maintien des organismes utiles, dont les pollinisateurs et les auxiliaires de culture. Ces pratiques permettent de restaurer certaines fonctions écologiques essentielles, telles que la pollinisation, le contrôle biologique des ravageurs, le recyclage de la matière organique et la régulation hydrique [27].

Les abeilles s'inscrivent pleinement dans cette logique de durabilité. En assurant la pollinisation des plantes cultivées et spontanées, elles contribuent à la stabilité des rendements, au maintien de la diversité végétale et à la résilience des agrosystèmes. Leur conservation dépend cependant de la disponibilité de ressources florales diversifiées, de la présence d'habitats favorables et de la réduction des pressions chimiques et paysagères. Ainsi, préserver les abeilles revient à renforcer simultanément la productivité agricole, la biodiversité fonctionnelle et la durabilité écologique des milieux agricoles.

1.3. BIOLOGIE ET DIVERSITÉ DES ABEILLES

Les abeilles constituent l'un des groupes d'insectes pollinisateurs les plus importants dans les écosystèmes terrestres. Elles occupent une place essentielle dans la reproduction des plantes à fleurs, le maintien de la diversité végétale et la stabilité des communautés écologiques. Leur importance dépasse le cadre strict de la production apicole, car elles interviennent directement dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et agricoles par leur rôle dans la pollinisation et dans les réseaux d'interactions plantes–pollinisateurs.

La diversité des abeilles se manifeste à plusieurs niveaux : taxonomique, morphologique, comportemental et écologique. Elle comprend à la fois des espèces domestiques, largement exploitées par l'homme, et une grande diversité d'espèces sauvages, dont la majorité adopte un mode de vie solitaire. Cette diversité fonctionnelle explique leur capacité à exploiter des ressources florales variées et à occuper différents types d'habitats.

1.3.1. Généralités

Les abeilles sont des insectes appartenant à l'ordre des Hyménoptères et constituent un groupe majeur de pollinisateurs. Leur rôle écologique repose principalement sur leur activité de butinage, au cours de laquelle elles récoltent le nectar et le pollen nécessaires à leur alimentation et au développement de leur descendance. Lors de ces visites florales, le pollen adhère à leur corps et peut être transporté vers d'autres fleurs, permettant ainsi la fécondation des plantes.

Dans les écosystèmes naturels, les abeilles assurent la pollinisation de nombreuses espèces végétales sauvages. Cette fonction favorise la reproduction sexuée des plantes, le renouvellement de la flore, le maintien de la diversité génétique et la stabilité des communautés végétales. En soutenant la régénération des habitats naturels, elles participent également au maintien de nombreuses espèces animales dépendantes des plantes pour leur alimentation, leur abri ou leur reproduction [29].

Dans les agrosystèmes, les abeilles jouent un rôle tout aussi déterminant. Leur activité pollinisatrice améliore la formation des fruits et des graines, influence la qualité des productions agricoles et contribue à la stabilité des rendements. Elles représentent ainsi des organismes clés à l'interface entre biodiversité, production agricole et sécurité alimentaire.

1.3.2. Classification et diversité

Les abeilles appartiennent à l'ordre des Hyménoptères, un groupe d'insectes caractérisé notamment par la présence de deux paires d'ailes membraneuses et par une organisation biologique très diversifiée. Sur le plan évolutif, les abeilles dérivent de lignées proches des guêpes, ayant progressivement adopté un régime alimentaire fondé sur les ressources florales, en particulier le nectar et le pollen. Cette spécialisation a favorisé une diversification remarquable des formes, des comportements et des stratégies écologiques.

À l'échelle mondiale, plus de 25 000 espèces d'abeilles ont été décrites, réparties en plusieurs familles. En Europe, on recense environ 860 à 1 200 espèces, avec une richesse particulièrement élevée dans les régions méditerranéennes. Cette diversité témoigne de la grande capacité d'adaptation des abeilles aux conditions climatiques, aux habitats et aux ressources florales disponibles [30].

Parmi les espèces les plus connues, *Apis mellifera* occupe une place particulière en raison de sa domestication ancienne et de son importance en apiculture. Elle est largement utilisée pour la production de miel et pour la pollinisation de nombreuses cultures. Toutefois, la majorité des abeilles ne sont pas domestiques : elles sont sauvages, souvent solitaires, et appartiennent à différents genres tels que *Andrena*, *Lasioglossum*, *Halictus*, *Osmia*, *Megachile* ou encore *Bombus*. Ces groupes présentent une grande diversité de tailles, de couleurs, de modes de nidification et de préférences florales [30].

La diversité des abeilles se traduit également par une variabilité importante des modes de vie. Certaines espèces sont sociales, comme *Apis mellifera* et plusieurs bourdons du genre *Bombus*, tandis que la majorité des espèces sont solitaires. Les abeilles sociales vivent en colonies organisées, avec une division des tâches entre individus, alors que les abeilles solitaires assurent individuellement la construction du nid, la collecte des ressources et l’approvisionnement de leur descendance. Ces différences biologiques et comportementales traduisent une forte capacité d’adaptation aux habitats et aux ressources disponibles [24].

1.3.2.1. Taxonomie (*Apis mellifera*)

L’intérêt accordé à l’étude d’*Apis mellifera* s’explique par son importance écologique, agronomique et économique. Cette espèce constitue l’un des principaux pollinisateurs des agrosystèmes et joue un rôle déterminant dans l’amélioration des rendements, la qualité des productions agricoles et le maintien des interactions plantes–pollinisateurs. Sa large répartition géographique, sa capacité d’adaptation à des conditions environnementales variées et son efficacité dans la pollinisation en font également un modèle biologique de référence dans les études portant sur les abeilles et les services écosystémiques [03].

Sur le plan taxonomique, *Apis mellifera* appartient à l’ordre des Hyménoptères et à la famille des Apidae. Cette espèce regroupe plusieurs sous-espèces géographiquement différenciées, adaptées à des conditions climatiques et écologiques particulières. En Afrique du Nord, *Apis mellifera intermissa* présente une importance particulière en raison de son adaptation aux conditions méditerranéennes et semi-arides, ce qui justifie son intérêt dans les recherches locales en apiculture, biodiversité et conservation des pollinisateurs.

La position taxonomique d’Apis mellifera peut être présentée comme suit :

Embranchement : Arthropoda
Sous-embranchement : Mandibulata
Classe : Insecta
Ordre : Hymenoptera
Sous-ordre : Apocrita
Famille : Apidae
Genre : *Apis*
Espèce : *Apis mellifera*
Sous-espèce : *Apis mellifera intermissa* [31].

1.3.3. Abeilles domestique

Les abeilles domestiques appartiennent principalement au complexe *Apis mellifera*, qui regroupe plusieurs sous-espèces différenciées selon leur répartition géographique, leurs caractères morphologiques, leur comportement et leur adaptation aux conditions environnementales locales. En Algérie, les principales sous-espèces signalées sont *Apis mellifera intermissa* et *Apis mellifera sahariensis*. Parmi elles, *Apis mellifera intermissa* est la plus largement répandue dans le nord de l'Afrique, avec une aire de distribution allant du Maroc à la Tunisie [32].

Apis mellifera intermissa, souvent appelée abeille tellienne, est particulièrement adaptée aux conditions méditerranéennes et semi-arides. Elle se caractérise généralement par une taille moyenne à petite, une coloration sombre brun-noir et des bandes abdominales jaunes peu marquées. Ces caractères morphologiques s'accompagnent d'une bonne tolérance aux conditions climatiques difficiles, notamment la chaleur et la sécheresse, ce qui lui permet de maintenir son activité dans des environnements marqués par des variations saisonnières importantes [32] ; [33] ; [34].

Sur le plan écologique, cette sous-espèce joue un rôle majeur dans la pollinisation des plantes cultivées et spontanées des régions méditerranéennes. Elle participe à la reproduction de nombreuses espèces végétales et contribue ainsi au maintien de la biodiversité et à la productivité des agrosystèmes. Sa sensibilité aux perturbations environnementales, notamment aux pesticides, à la dégradation des habitats et aux variations climatiques, renforce également son intérêt comme indicateur biologique de la qualité des milieux [32] ; [35].

Du point de vue apicole, *Apis mellifera intermissa* présente plusieurs caractéristiques importantes. Elle exploite efficacement certaines ressources mellifères locales, notamment le thym, le romarin et l'eucalyptus. Elle est également connue pour sa production notable de propolis et pour sa capacité d'adaptation aux ressources florales disponibles. Cependant, elle peut présenter un tempérament nerveux et réactif, une mobilité élevée lors du butinage, ainsi qu'une tendance marquée à l'essaimage, ce qui nécessite une conduite apicole adaptée [32] ; [35] ; [36].

Par ailleurs, certaines études signalent chez cette abeille un comportement hygiénique développé, pouvant contribuer à une résistance relative face à certains parasites, notamment *Varroa destructor*. Cette capacité, associée à son adaptation locale, souligne l'importance de préserver les populations autochtones d'abeilles domestiques, car elles constituent un patrimoine génétique précieux pour l'apiculture durable et la conservation de la biodiversité pollinisatrice en Afrique du Nord [34] ; [35].

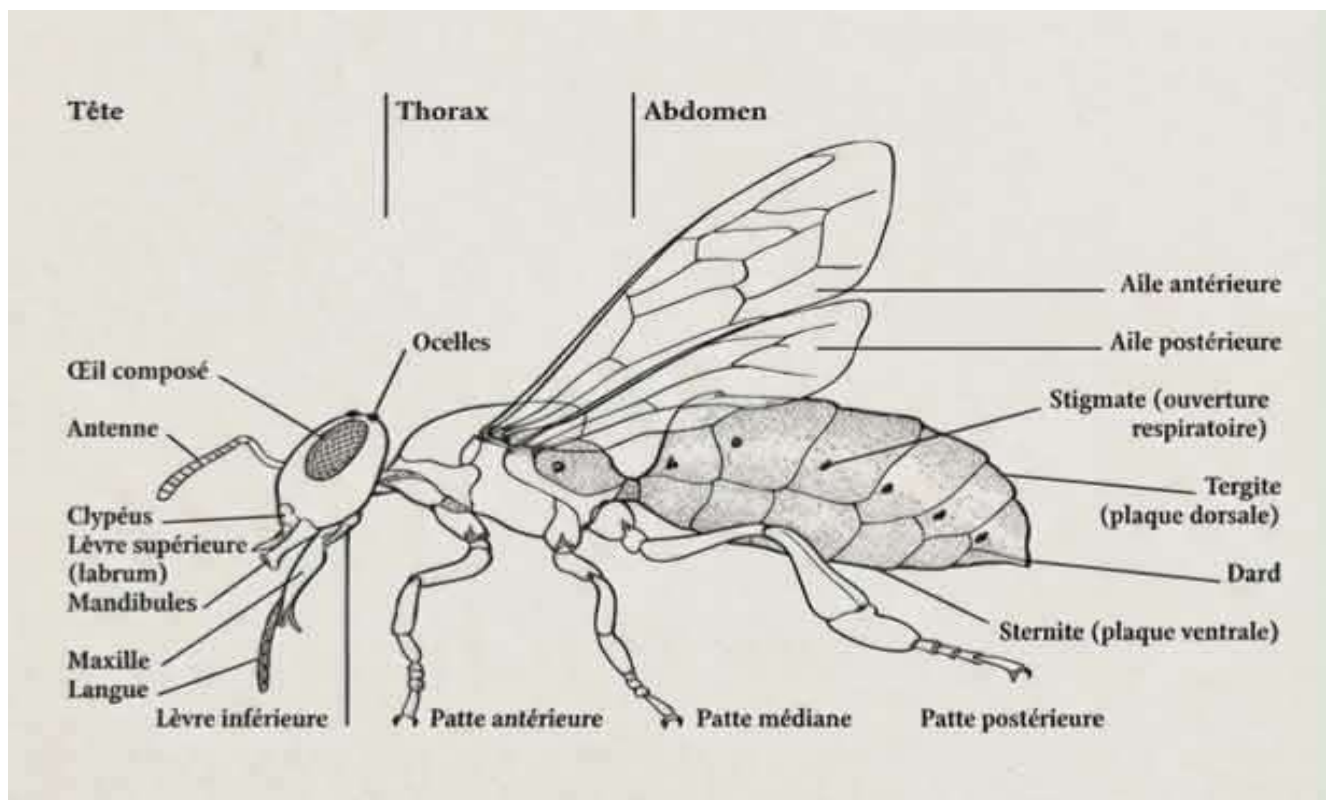


Figure 1. Anatomie de l'abeille [31].

Tableau 1. Caractéristique de l'abeille *Apis mellifera intermissa*

Thématique	Caractéristiques principales
Morphologie	➤ Taille moyenne à petite (réduction au sud). ➤ Coloration sombre (brun-noir). ➤ Bandes jaunes peu marquées ➤ Adaptation thermique optimale [33];[34] ; [32].
Ecologie	➤ Pollinisatrice majeure des zones méditerranéennes et arides. ➤ Bioindicateur de la qualité de l'environnement et de la pression humaine [32];[35].
Rendement	➤ Bonne exploitation du thym, romarin et eucalyptus. Forte production de propolis. Tendance marquée à l'essaimage [32];[35].
Adaptation	➤ Haute tolérance à chaleur et à la sécheresse. Comportement hygiénique développe (résistance relative à <i>Varroa destruction</i> [34]; [35].
Comportement	➤ Tempérament nerveux et réactif. Mobilité élevée pour le butinage disperse. Usage intensif de propolis pour l'étanchéité de la ruche [33];[36].

1.3.4. Abeilles sauvages

Les abeilles sauvages regroupent une grande diversité d'espèces, majoritairement solitaires, présentant des caractéristiques morphologiques, biologiques et écologiques variées. Elles jouent un rôle complémentaire à celui des abeilles domestiques dans la pollinisation des plantes sauvages et cultivées. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques générales des abeilles sauvages

Thématique	Caractéristiques principales
Morphologie	Les abeilles sauvages présentent une grande diversité morphologique. Leur taille varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres selon les espèces. Leur coloration peut être sombre, brunâtre ou métallique, avec des reflets verts ou bleutés. Leur corps est généralement couvert de poils, ce qui facilite l'adhérence, la collecte et le transport du pollen lors des visites florales [37] ; [38].
Organisation biologique	La majorité des abeilles sauvages ont un mode de vie solitaire. Chaque femelle construit son propre nid, collecte le pollen et le nectar nécessaires à l'alimentation de sa descendance, puis assure seule le développement des larves. Contrairement aux abeilles sociales, cette organisation ne repose pas sur une division du travail entre individus [37].
Importance écologique	Les abeilles sauvages jouent un rôle essentiel dans la pollinisation des plantes sauvages et cultivées. Leur activité contribue au maintien de la biodiversité végétale, à la reproduction des espèces florales et à la stabilité fonctionnelle des écosystèmes naturels et agricoles [39].
Efficacité pollinisatrice	Plusieurs espèces d'abeilles sauvages sont considérées comme des pollinisateurs très efficaces grâce à leur comportement de butinage, leur morphologie et parfois leur spécialisation florale. Elles peuvent améliorer la quantité des productions fruitières ainsi que la qualité des fruits et des graines, ce qui leur confère une valeur agronomique et économique importante [02] ; [39].
Résistance et adaptation	Les abeilles sauvages sont généralement bien adaptées aux conditions environnementales locales. Leur maintien dépend toutefois de la diversité floristique, de la disponibilité des ressources alimentaires et de la présence de sites de nidification adaptés. Elles restent sensibles aux pesticides, à la dégradation des habitats et à la fragmentation des paysages agricoles [01] ; [40].
Particularités écologiques et comportementales	Les abeilles sauvages nichent dans une grande diversité de milieux. Certaines espèces construisent leurs nids dans le sol, tandis que d'autres utilisent le bois mort, les tiges creuses ou des cavités préexistantes. Certaines présentent une spécialisation florale, appelée oligolectisme, correspondant à une dépendance à un nombre limité d'espèces végétales pour la collecte du pollen [37].
Types de nidification	Les abeilles charpentières creusent le bois mort ou utilisent des cavités existantes ; les abeilles fouisseuses creusent des galeries dans les sols sableux ou argileux ; les abeilles maçonnes construisent des nids à partir de matériaux minéraux ; les abeilles tapissières tapissent leurs nids avec des substances végétales, des résines ou des matériaux imperméables [32].
Intérêt pour la conservation	La conservation des abeilles sauvages nécessite la préservation d'habitats diversifiés, riches en ressources florales et en sites de nidification. Le maintien des haies, jachères, bandes fleuries, sols non perturbés et bois mort constitue un levier important. L'installation de nichoirs artificiels peut également favoriser certaines espèces, à condition d'être associée à une gestion écologique du milieu [32].

Ces caractéristiques montrent que les abeilles sauvages constituent un groupe fonctionnel essentiel pour la biodiversité et la durabilité des agrosystèmes. Leur conservation dépend à la fois de la disponibilité des ressources florales, de la qualité des habitats et de la réduction des pressions anthropiques.

Les abeilles sauvages présentent différentes stratégies de nidification. Cette diversité de nidification montre l'importance de préserver des habitats variés. L'installation de nichoirs artificiels peut contribuer à leur conservation, mais elle doit rester complémentaire à la protection des habitats naturels [32].



Figure 2. Schéma d'un nid d'abeille [32].

1.3.5. Organisation sociale et comportement

Le fonctionnement des colonies d'abeilles domestiques repose sur une organisation sociale hautement structurée. Au sein de la ruche, les individus assurent collectivement les différentes fonctions nécessaires à la survie et au développement de la colonie, notamment la reproduction, l'élevage du couvain, la construction des rayons, la défense du nid, la thermorégulation et la collecte des ressources alimentaires. Cette organisation dépend à la fois du cycle biologique des abeilles et des comportements collectifs permettant la coordination des tâches [31].

Le cycle biologique de l'abeille domestique comprend quatre stades successifs : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. Après la ponte réalisée par la reine dans les alvéoles, les œufs éclosent généralement après trois jours et donnent naissance aux larves. Celles-ci sont nourries par les ouvrières avec une alimentation riche en substances nutritives, notamment la gelée royale durant les premiers jours du développement. Les larves passent ensuite au stade nymphal dans des cellules operculées, avant d'émerger sous forme d'abeilles adultes [41].

La durée du développement varie selon les castes. La reine atteint le stade adulte plus rapidement que les ouvrières et les faux-bourçons, en raison d'une alimentation exclusivement composée de gelée royale. Cette différenciation nutritionnelle influence le développement physiologique des individus et détermine leurs fonctions biologiques au sein de la colonie [42].

Chez les ouvrières, les tâches évoluent progressivement avec l'âge selon un phénomène appelé division temporelle du travail. Les jeunes ouvrières assurent d'abord le nettoyage des cellules, l'entretien de la ruche et l'alimentation des larves. Elles participent ensuite à la production de cire, à la construction des rayons, à la réception du nectar, à la ventilation et à la défense de la colonie. Les ouvrières plus âgées deviennent enfin butineuses et assurent la récolte du nectar, du pollen, de l'eau et de la propolis nécessaires au fonctionnement de la ruche [43].

Les comportements collectifs constituent un élément central de l'organisation sociale des abeilles. Ils reposent sur des mécanismes de communication chimique et comportementale qui assurent la coordination entre les membres de la colonie. Les phéromones émises par la reine jouent un rôle essentiel dans le maintien de la cohésion sociale, la régulation des activités des ouvrières et le contrôle de la dynamique reproductive de la colonie [31].

Les abeilles disposent également de systèmes de communication comportementale élaborés. Les ouvrières butineuses réalisent notamment la « danse des abeilles », qui permet de transmettre aux autres individus des informations sur la direction, la distance et la qualité des ressources alimentaires disponibles. Ce comportement améliore l'efficacité du butinage et favorise l'exploitation optimale des ressources florales présentes dans l'environnement [43].

Par ailleurs, la colonie assure collectivement plusieurs fonctions indispensables à son équilibre, telles que la défense contre les prédateurs, la régulation thermique interne par ventilation, l'entretien du nid et les soins apportés au couvain. Ces interactions contribuent à la stabilité biologique et sociale de la colonie, tout en renforçant sa capacité d'adaptation aux variations environnementales [41].

Enfin, le cycle écologique de l'abeille domestique dépend étroitement des conditions saisonnières, du climat et de la disponibilité des ressources florales. Au printemps et en été, l'abondance des fleurs favorise la ponte de la reine, le développement du couvain, l'intensification du butinage et la production de miel. En automne, la colonie constitue des réserves alimentaires en prévision de l'hiver. Durant la période froide, les abeilles réduisent leurs activités extérieures et se regroupent dans la ruche afin de maintenir une température favorable à leur survie. Toute perturbation environnementale, telle que l'exposition aux pesticides, la réduction des plantes mellifères ou la modification du climat, peut donc affecter l'équilibre biologique de la colonie [31] ; [41] ; [44].

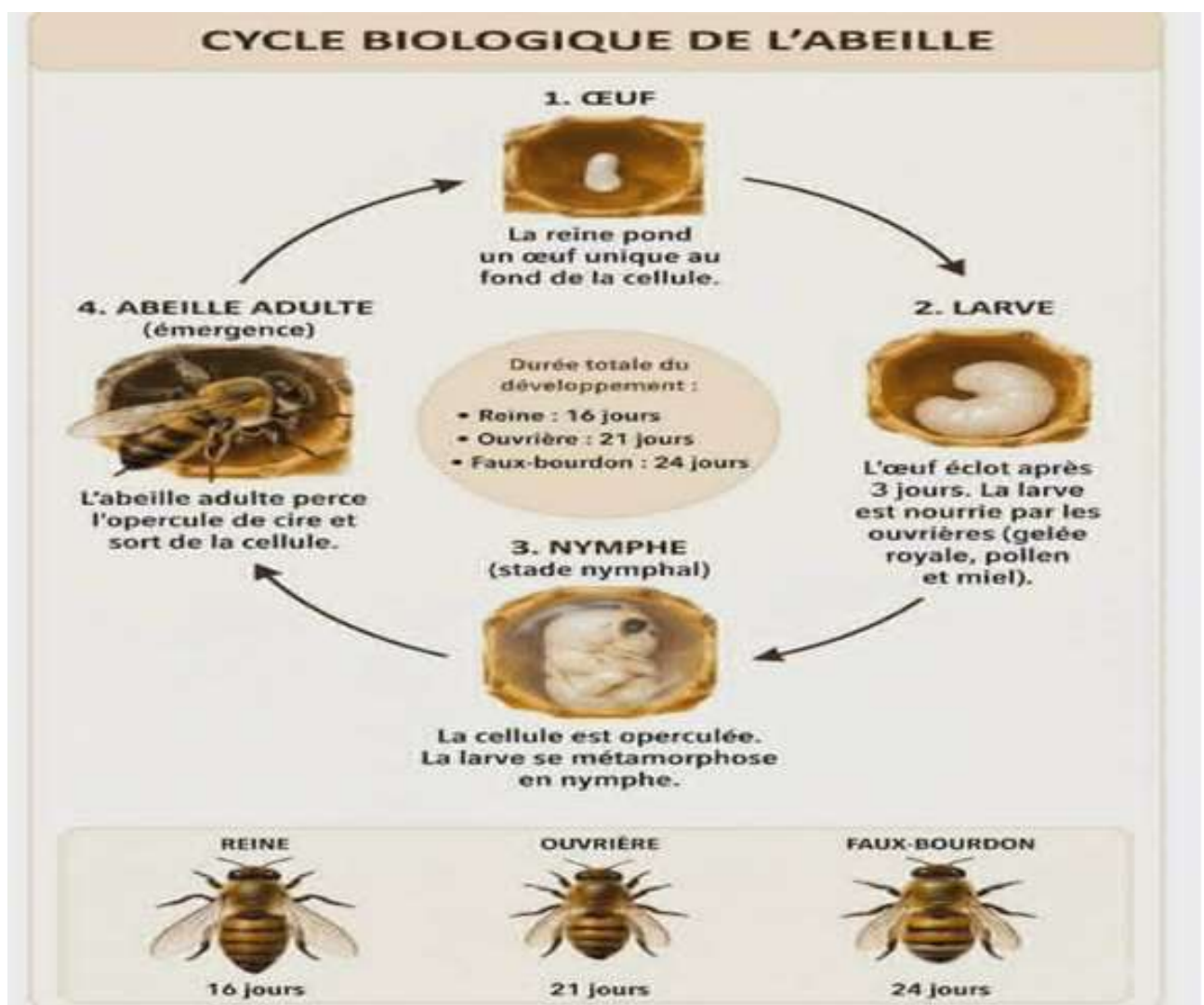


Figure 3. Le cycle biologique de l'abeille [37].

1.3.6. Adaptations écologiques

Les abeilles présentent une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales dans lesquelles elles évoluent. Ces adaptations concernent à la fois les aspects physiologiques, morphologiques et comportementaux, et leur permettent d'exploiter des ressources florales variées, de maintenir leur activité dans différents milieux et de résister à certaines contraintes climatiques.

Sur le plan physiologique, les adaptations des abeilles sont liées au fonctionnement interne de l'organisme, notamment au métabolisme énergétique et à la réponse au stress thermique. Les populations originaires de régions froides peuvent présenter une activité métabolique plus élevée, leur permettant de produire davantage d'énergie afin de maintenir leurs fonctions vitales malgré les basses températures. À l'inverse, les populations vivant dans des régions chaudes développent des mécanismes favorisant la stabilité des protéines et une meilleure résistance au stress thermique, ce qui leur permet de supporter des températures élevées [45].

Sur le plan morphologique, les abeilles manifestent également des variations importantes selon les conditions de leur milieu. Ces variations concernent notamment la taille du corps, la densité de la pilosité, ainsi que certaines caractéristiques des ailes et des pattes. Par exemple, les abeilles vivant dans des environnements froids possèdent généralement une pilosité plus développée, favorisant la conservation de la chaleur corporelle. D'autres populations peuvent présenter des différences de taille ou de structure corporelle en fonction des contraintes climatiques et écologiques locales [45].

Les adaptations comportementales jouent aussi un rôle important dans la survie des abeilles. Selon les conditions environnementales, les individus peuvent ajuster leur période d'activité, leur intensité de butinage et leur exploitation des ressources florales. Dans les milieux soumis à de fortes températures ou à une disponibilité irrégulière des fleurs, certaines abeilles concentrent leur activité aux heures les plus favorables de la journée, ce qui permet de limiter les effets du stress thermique et hydrique.

L'ensemble de ces adaptations témoigne de la plasticité biologique des abeilles et de leur capacité à coloniser des habitats variés. Cette plasticité explique en partie leur rôle écologique fondamental dans la pollinisation des plantes sauvages et cultivées. Toutefois, les changements environnementaux rapides, notamment la dégradation des habitats, la raréfaction des ressources

florales et le changement climatique, peuvent dépasser les capacités d'adaptation de certaines populations, accentuant ainsi leur vulnérabilité.



Figure 4. *Morphologie externe d'un bourdon (Bombus) sur une fleur de chardon (Cliché personnel, 2026).*

1.4. POLLINISATION ET REPRODUCTION VÉGÉTALE

La pollinisation constitue une étape essentielle de la reproduction sexuée des plantes à fleurs. Elle correspond au transfert des grains de pollen, produits par les anthères des étamines, vers le stigmate du pistil. Ce processus permet la rencontre entre les gamètes mâles et femelles et conditionne ainsi la formation des graines et des fruits.

Après leur libération par les anthères, les grains de pollen peuvent être transportés vers une fleur de la même plante ou vers une fleur appartenant à un autre individu de la même espèce. Ce transport peut être assuré par des agents abiotiques, tels que le vent ou l'eau, mais également par des agents biotiques, notamment les animaux pollinisateurs. Parmi ces derniers, les insectes, et plus particulièrement les abeilles, jouent un rôle majeur dans les écosystèmes naturels et agricoles.

Lorsque le pollen atteint un stigmate compatible, il s'y dépose, s'hydrate puis germe. Il émet alors un tube pollinique qui progresse à travers le style jusqu'à l'ovule situé dans l'ovaire. Ce tube permet le transport des gamètes mâles vers le gamète femelle, rendant possible la

fécondation. À la suite de cette fusion, le zygote se développe en graine, tandis que l'ovaire évolue en fruit. La pollinisation constitue donc un mécanisme fondamental pour la reproduction des plantes, le maintien de la diversité génétique et la continuité des communautés végétales [46] ; [47] ; [48] ; [49] ; [50] ; [51].

1.4.1. Types de pollinisation

La pollinisation peut prendre plusieurs formes selon l'origine du pollen et les agents impliqués dans son transfert. On distingue principalement l'autopollinisation, lorsque le pollen provient de la même plante, et la pollinisation croisée, lorsque le pollen est transféré entre deux individus différents de la même espèce. La pollinisation peut également être classée selon le vecteur responsable du transport du pollen, notamment la pollinisation par le vent, par l'eau ou par les animaux.

1.4.1.1. Pollinisation directe (autopollinisation)

L'autopollinisation correspond au transfert du pollen vers le stigmate de la même fleur ou d'une autre fleur appartenant au même individu végétal. Ce mode de reproduction ne nécessite généralement pas l'intervention de pollinisateurs externes et peut se produire lorsque les organes reproducteurs mâles et femelles sont proches ou arrivent à maturité au même moment.

Dans son sens strict, l'autopollinisation correspond à l'autogamie, c'est-à-dire au dépôt du pollen sur le stigmate de la même fleur. Dans un sens plus large, elle peut aussi inclure les transferts de pollen entre différentes fleurs d'un même individu ou d'une même inflorescence. Ce mécanisme permet d'assurer la reproduction lorsque les pollinisateurs sont rares ou absents, mais il limite généralement le brassage génétique par rapport à la pollinisation croisée [52].

1.4.1.2. Pollinisation croisée (allogamie)

La pollinisation croisée correspond au transfert du pollen entre fleurs appartenant à deux individus différents de la même espèce. Lorsque ce transfert implique des individus génétiquement distincts, on parle d'allogamie. Ce mode de reproduction favorise le brassage

génétique, augmente la diversité génétique des populations végétales et améliore leur capacité d'adaptation face aux variations environnementales.

Le transport du pollen lors de la pollinisation croisée peut être assuré par différents agents, notamment le vent, l'eau, les insectes pollinisateurs, les oiseaux ou encore les chauves-souris. Dans les agrosystèmes et les milieux naturels, les abeilles occupent une place importante parmi les vecteurs biologiques de cette pollinisation, en raison de leur comportement de butinage et de leur fidélité florale [52].

1.4.1.3. Pollinisation entomophile

La pollinisation entomophile désigne la pollinisation assurée par les insectes. Elle concerne une grande partie des Angiospermes et repose sur une interaction mutualiste entre les plantes à fleurs et leurs visiteurs floraux. Les insectes visitent les fleurs principalement pour récolter le nectar et le pollen, mais ils peuvent également y chercher un abri ou des partenaires. Au cours de ces visites, les grains de pollen adhèrent à leur corps et peuvent être transférés vers le stigmate d'autres fleurs compatibles.

Les abeilles figurent parmi les pollinisateurs entomophiles les plus efficaces. Leur corps souvent recouvert de poils, leur comportement de butinage régulier et leur fidélité à certaines espèces florales favorisent le transport du pollen entre fleurs de la même espèce. La pollinisation entomophile contribue ainsi à la fécondation croisée, à la production de graines et de fruits, ainsi qu'au maintien de la diversité végétale dans les écosystèmes naturels et agricoles [53].

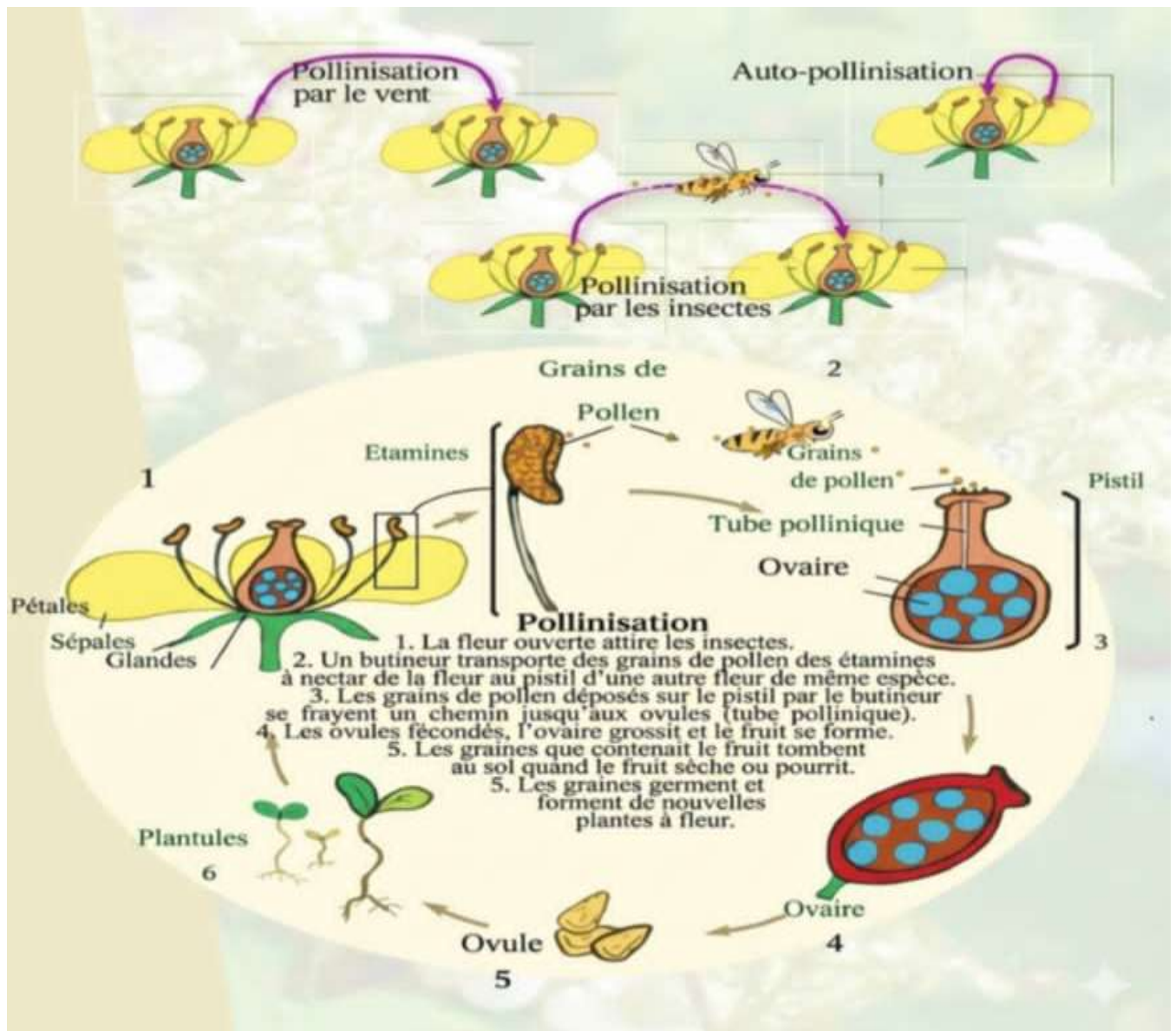


Figure 5. Différents types de pollinisation [52].

1.4.2. Rôle fonctionnel des abeilles

Les abeilles assurent plusieurs fonctions écologiques, agronomiques et économiques dans les écosystèmes naturels et agricoles. Ces fonctions sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 3. Principales fonctions des abeilles dans les écosystèmes naturels et agricoles.

Fonction	Description synthétique	Importance écologique ou agronomique
Pollinisation	Les abeilles transportent le pollen entre les fleurs lors de la récolte du nectar et du pollen.	Elles permettent la fécondation des plantes à fleurs et assurent un service écologique fondamental.
Reproduction des plantes	Leur activité favorise la formation des graines et des fruits chez de nombreuses espèces végétales.	Elles contribuent au maintien de la diversité génétique et au renouvellement des communautés végétales [46].
Stabilité des écosystèmes	Les interactions entre abeilles et plantes soutiennent les réseaux écologiques et trophiques.	Elles participent à la résilience des écosystèmes naturels et agricoles.
Production agricole	La pollinisation améliore la fécondation des cultures, la formation des fruits et la qualité des semences.	Elle augmente les rendements, améliore la qualité des productions et contribue à la sécurité alimentaire [54] ; [55] ; [01].
Produits de la ruche	Les abeilles produisent le miel, la cire, la propolis, la gelée royale, le pollen et le venin.	Ces produits présentent une valeur alimentaire, économique, thérapeutique, cosmétique et apicole [56] ; [57].

1.4.3. Réseaux plantes–pollinisateurs

Les réseaux plantes–pollinisateurs correspondent à des ensembles d’interactions mutualistes entre les plantes à fleurs et les organismes qui assurent leur pollinisation. Dans ces réseaux, une même espèce végétale peut être visitée par plusieurs pollinisateurs, tandis qu’un même pollinisateur peut exploiter différentes espèces florales pour obtenir du nectar ou du pollen. Cette organisation forme une véritable toile d’interactions, dans laquelle chaque espèce contribue, à des degrés variables, au fonctionnement global de l’écosystème [58].

Ces réseaux ne sont pas constitués d’interactions isolées, mais d’un ensemble de relations plus ou moins spécialisées. Certaines espèces sont dites généralistes, car elles interagissent avec un grand nombre de partenaires. C’est le cas de plusieurs pollinisateurs comme *Apis mellifera*, certains bourdons du genre *Bombus*, les syrphes ou les papillons, capables de visiter différentes espèces florales. À l’inverse, les espèces spécialistes dépendent d’un nombre limité de partenaires floraux ou pollinisateurs, ce qui peut les rendre plus vulnérables aux perturbations environnementales [59].

L'organisation des réseaux plantes–pollinisateurs dépend de plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des ressources florales, la période de floraison, l'abondance des pollinisateurs et les caractéristiques morphologiques des fleurs. La forme, la profondeur de la corolle, la couleur, l'odeur, la symétrie, la taille de la fleur et la quantité de nectar influencent fortement le type de visiteurs attirés. Les fleurs ouvertes et facilement accessibles peuvent être visitées par de nombreux insectes généralistes, tandis que les fleurs à corolle profonde sont souvent exploitées par des pollinisateurs possédant des pièces buccales adaptées [60].

La diversité et la connectivité de ces interactions jouent un rôle important dans la stabilité des écosystèmes. Un réseau riche en espèces et en connexions est généralement plus résilient, car la perte d'un partenaire peut être partiellement compensée par d'autres interactions. À l'inverse, les réseaux fortement spécialisés peuvent être plus sensibles aux perturbations, notamment lorsque la disparition d'une espèce entraîne la rupture d'interactions écologiques essentielles.

Ainsi, les réseaux plantes–pollinisateurs constituent un élément fondamental du maintien de la biodiversité, du succès reproductif des plantes à fleurs et de la continuité des services écosystémiques. Leur préservation dépend de la conservation des habitats, de la diversité florale et de la réduction des pressions qui affectent les pollinisateurs dans les milieux naturels et agricoles [61].

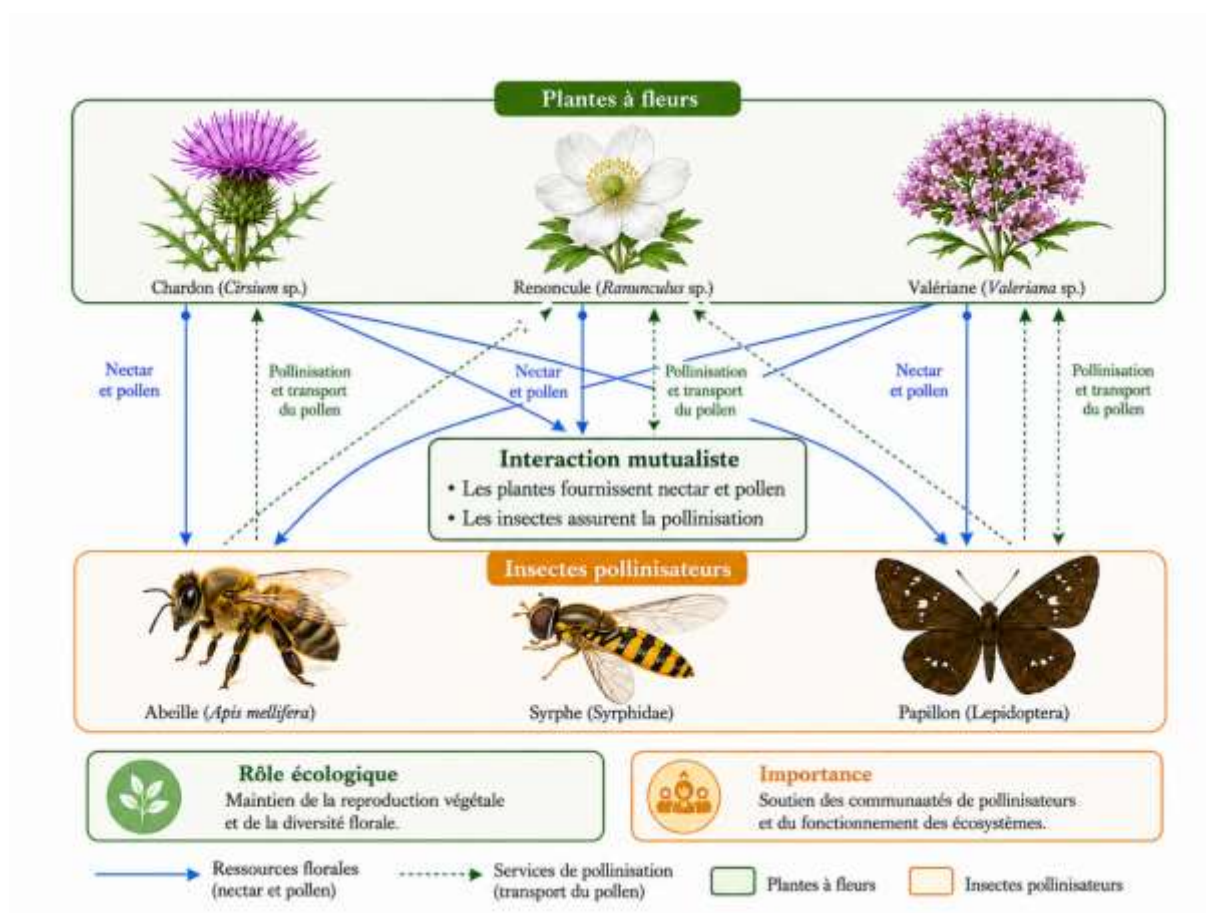


Figure 6 : Schéma d'un réseau mutualiste simplifié plante-pollinisateur [58 modifiée].

1.5. SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LES ABEILLES

Les abeilles occupent une place essentielle dans l'économie agricole grâce à leur rôle dans la pollinisation des cultures. En transportant le pollen d'une fleur à une autre, elles favorisent la fécondation des plantes et améliorent ainsi la production agricole aussi bien en quantité qu'en qualité. De nombreuses cultures destinées à l'alimentation humaine, telles que les arbres fruitiers, les cultures oléagineuses et certaines légumineuses, dépendent fortement de cette activité biologique. Les récoltes obtenues présentent généralement une meilleure qualité commerciale, avec des fruits plus développés, des graines mieux formées et une augmentation globale du rendement [02]; [62].

L'importance économique des abeilles se mesure également à l'échelle mondiale. Les chercheurs estiment que les services de pollinisation assurés par les insectes représentent plusieurs centaines de milliards de dollars par an. Cette valeur économique correspond aux

bénéfices générés par l'amélioration de la productivité agricole grâce à la pollinisation naturelle. En effet, sans l'intervention des abeilles, une partie importante des cultures alimentaires subirait une baisse de rendement et de qualité, entraînant des pertes économiques considérables pour les producteurs agricoles et les marchés alimentaires internationaux.

Les abeilles jouent aussi un rôle majeur dans la rentabilité de cultures commerciales à forte valeur économique comme le café, l'amande, le colza ou le tournesol. Certaines études montrent que leur présence peut accroître de manière importante les rendements agricoles, notamment dans les plantations de café où la production peut augmenter jusqu'à 50 %. De plus, elles participent à l'amélioration de la qualité des graines et des semences, particulièrement chez les cultures oléagineuses et protéagineuses. Ainsi, les abeilles constituent une ressource biologique indispensable au maintien de la sécurité alimentaire et au développement durable des systèmes agricoles modernes [03]; [06].

1.6. MENACES ET PRESSIONS SUR LES ABEILLES

Les abeilles sont exposées à plusieurs pressions d'origine anthropique et environnementale. Ces facteurs agissent rarement de manière isolée ; ils interagissent souvent entre eux et peuvent renforcer mutuellement leurs effets négatifs. Le tableau suivant résume les principales menaces pesant sur les abeilles domestiques et sauvages, ainsi que leurs conséquences écologiques et agronomiques [24].

Tableau 4. Principales menaces pesant sur les abeilles et leurs conséquences

Menace principale	Description	Effets sur les abeilles	Conséquences écologiques et agronomiques
Agriculture intensive	Extension des monocultures, simplification des paysages agricoles, suppression des haies, prairies naturelles, jachères et bandes fleuries.	Réduction des ressources florales, diminution des sites de nidification, appauvrissement de l'alimentation et baisse de la diversité des espèces.	Diminution de l'abondance des pollinisateurs, fragilisation des services de pollinisation et réduction de la résilience des agrosystèmes [24].
Produits phytosanitaires	Utilisation d'insecticides, herbicides et fongicides pouvant contaminer les fleurs, le nectar, le pollen, l'eau et les sols.	Mortalité directe ou effets sublétaux : désorientation, baisse du butinage, troubles de la reproduction, affaiblissement immunitaire et perturbation du développement.	Réduction de l'efficacité pollinisatrice, affaiblissement des colonies et déséquilibre des interactions plantes–pollinisateurs [63].
Fragmentation des habitats	Isolement ou disparition des habitats favorables tels que haies, bordures de champs, prairies fleuries, jachères et milieux semi-naturels.	Difficulté d'accès aux ressources alimentaires, réduction de la connectivité écologique et limitation des sites de nidification.	Baisse de la diversité et de l'abondance des abeilles, diminution du maintien des populations et perte de services écologiques [24].
Changement climatique	Hausse des températures, sécheresses, vagues de chaleur, modification des régimes pluviométriques et perturbation des saisons de floraison.	Stress thermique, baisse de disponibilité des ressources florales, désynchronisation entre floraison et activité de butinage.	Fragilisation des colonies, diminution de la reproduction des plantes et instabilité des services de pollinisation [64].
Pathogènes et parasites	Présence de virus, bactéries, champignons et parasites, notamment l'acarien <i>Varroa destructor</i> .	Affaiblissement des individus, baisse de l'immunité, transmission de maladies et augmentation de la mortalité.	Risque d'effondrement des colonies, baisse de la productivité apicole et réduction de la pollinisation [24].
Espèces invasives	Introduction ou expansion d'espèces concurrentes, prédatrices ou porteuses de maladies.	Compétition pour les ressources florales ou les sites de nidification, prédation et transmission possible d'agents pathogènes.	Déséquilibre des communautés pollinisatrices et pression supplémentaire sur les espèces locales [24].

1.7.ABEILLES, AGROECOLOGIE ET DURABILITE DES ECOSYSTEMES

Les abeilles occupent une place centrale dans les approches agroécologiques, car elles relient directement la biodiversité, la production agricole et la qualité environnementale. Leur rôle dépasse la pollinisation des cultures : elles participent également au maintien des équilibres écologiques, à la résilience des agrosystèmes et à l'évaluation de l'état des milieux agricoles.

Dans cette perspective, l'agroécologie, l'agriculture écologique, la gestion durable des agrosystèmes et l'utilisation des abeilles comme bioindicateurs constituent des dimensions complémentaires. Ensemble, elles permettent de mieux comprendre comment les pratiques agricoles peuvent préserver les ressources naturelles, réduire les pressions anthropiques et renforcer les services écosystémiques assurés par les pollinisateurs [65]

Afin de synthétiser les relations entre les abeilles, l'agroécologie, l'agriculture écologique, la gestion durable des agrosystèmes et leur rôle comme bioindicateurs, une carte conceptuelle a été élaborée (Fig. 7).



Figure 7. Carte conceptuelle de synthèse du rôle des abeilles dans l'agroécologie et la durabilité des agrosystèmes.

Cette représentation met en évidence le rôle intégrateur des abeilles dans les systèmes agricoles durables. Elles apparaissent à la fois comme des agents de pollinisation, des supports de

biodiversité, des indicateurs de la qualité environnementale et des éléments clés de la transition vers des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement.

1.7.1. Agroécologie, agriculture écologique et gestion durable des agrosystèmes

L'agroécologie constitue une approche intégrée visant à concevoir des systèmes agricoles productifs, résilients et respectueux des équilibres écologiques. Elle repose sur la valorisation des processus naturels, la diversification des cultures, la réduction de la dépendance aux intrants chimiques et le renforcement des interactions biologiques bénéfiques au sein des agrosystèmes. Elle associe également des dimensions économiques et sociales, en recherchant une production stable, une meilleure gestion des ressources locales, la valorisation des savoirs agricoles et l'amélioration du bien-être des communautés rurales [66] ; [67].

Dans cette perspective, l'agriculture écologique représente une application concrète des principes agroécologiques. Elle privilégie le respect des processus naturels, l'utilisation d'amendements organiques tels que le compost, le fumier ou les résidus végétaux, ainsi que la lutte biologique contre les ravageurs. Les rotations culturales, les associations de cultures et la diversification végétale contribuent à limiter naturellement les maladies et les infestations, tout en renforçant la biodiversité fonctionnelle des milieux agricoles [09] ; [11].

La gestion durable des agrosystèmes repose ainsi sur une approche globale conciliant production agricole, préservation des ressources naturelles et stabilité écologique. Elle implique la conservation des sols, la gestion raisonnée de l'eau, la diversification des cultures, la restauration des habitats semi-naturels et la réduction des produits chimiques de synthèse. Ces pratiques permettent de restaurer les fonctions écologiques, de renforcer la résilience des systèmes agricoles face aux changements climatiques et de limiter les impacts négatifs sur les organismes utiles, notamment les pollinisateurs [68] ; [69] ; [70].

Les abeilles s'inscrivent pleinement dans cette dynamique. Leur conservation dépend de la disponibilité de ressources florales diversifiées, de la présence de sites de nidification adaptés et de la réduction des pressions chimiques et paysagères. En retour, leur activité pollinisatrice soutient la productivité agricole, la biodiversité végétale et la stabilité des agrosystèmes. Ainsi, l'agroécologie et l'agriculture écologique constituent des cadres essentiels pour préserver les abeilles et maintenir les services écosystémiques indispensables à la durabilité agricole.

1.7.2. Les abeilles comme bioindicateurs

Les abeilles constituent des bioindicateurs pertinents pour l'évaluation de la qualité environnementale, en particulier dans les milieux soumis à des pressions agricoles, urbaines ou industrielles. Leur intérêt repose sur leur large rayon de butinage, leur contact régulier avec les fleurs, l'eau, l'air et les sols, ainsi que sur leur capacité à accumuler ou transporter différents contaminants présents dans l'environnement.

Plusieurs matrices issues de l'activité des abeilles peuvent être utilisées dans le cadre du biomonitoring, notamment le pollen, le miel, la cire et le corps des abeilles. L'analyse de ces matrices permet de détecter la présence de polluants tels que les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds. Ainsi, les abeilles peuvent fournir des informations utiles sur l'état de contamination des milieux et sur l'intensité des pressions anthropiques.

Leur sensibilité aux variations environnementales renforce leur valeur comme outils de surveillance écologique. Les modifications de leur comportement, de leur activité de butinage, de leur mortalité ou du niveau de contamination des produits de la ruche peuvent traduire des changements dans la qualité du milieu. Elles permettent également de comparer différents contextes environnementaux, notamment les zones agricoles, urbaines et industrielles.

Ainsi, l'utilisation des abeilles comme bioindicateurs constitue une approche complémentaire pour le suivi de la qualité environnementale, la détection précoce des pollutions et l'aide à la gestion durable des agrosystèmes. Leur rôle dépasse donc la pollinisation, car elles participent aussi à la surveillance des écosystèmes et à la protection de la santé environnementale [70].

1.8. CONCLUSION DU CHAPITRE I

Ce chapitre a mis en évidence l'importance des abeilles dans le fonctionnement des agrosystèmes, notamment à travers leur rôle dans la pollinisation, la reproduction des plantes, le maintien de la biodiversité et l'amélioration de la production agricole.

Il a également montré que les abeilles sont fortement exposées aux pressions environnementales et anthropiques, telles que l'intensification agricole, l'usage des produits phytosanitaires, la

fragmentation des habitats et les changements climatiques. Leur sensibilité à ces perturbations renforce leur intérêt comme bioindicateurs de la qualité des milieux.

Ainsi, la conservation des abeilles apparaît comme un enjeu essentiel pour la durabilité des agrosystèmes. Elle repose sur la préservation des habitats, la diversification des ressources florales, la réduction des intrants chimiques et l'adoption de pratiques agroécologiques. Ce cadre théorique permet d'aborder, dans le chapitre suivant, l'intérêt d'un dispositif apicole comme outil de soutien à la pollinisation et à l'agriculture durable.

CHAPITRES II. DISPOSITIF APICOLE, AGRICULTURE DURABLE ET APPLICATION AGROÉCOLOGIQUE

2.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE II

Après avoir présenté le cadre théorique relatif aux abeilles, à la pollinisation, aux services écosystémiques et à l'agroécologie, ce chapitre aborde l'aspect appliqué du mémoire à travers la mise en place d'un dispositif apicole. Ce dispositif constitue un support pratique permettant d'illustrer le rôle des abeilles dans les agrosystèmes, notamment en matière de pollinisation, de conservation de la biodiversité et de durabilité agricole.

L'installation et le suivi d'un dispositif d'apiculture nécessitent une préparation rigoureuse, un matériel adapté et une surveillance régulière afin d'assurer le bon fonctionnement de la ruche et la santé de la colonie. Ce chapitre présente donc les principales étapes de montage, les méthodes de suivi, les risques rencontrés, ainsi que l'intérêt du dispositif dans une perspective d'agriculture durable et d'agroécologie.

Ensuite, il propose une analyse critique des travaux existants afin de mettre en évidence les convergences, les divergences, les limites et les perspectives de recherche liées au rôle des abeilles dans les systèmes agricoles durables.

2.2. PROCEDURE DE MONTAGE D'UN DISPOSITIF D'APICULTURE

La mise en place d'un dispositif d'apiculture constitue une étape essentielle pour assurer le bon développement d'une colonie d'abeilles et garantir le fonctionnement optimal de la ruche. Elle nécessite le choix d'un emplacement adapté, l'utilisation d'un matériel approprié, le respect des règles d'hygiène et l'application de méthodes de suivi régulières. Une installation bien conduite permet de limiter les facteurs de stress, de prévenir certains risques sanitaires et de favoriser l'activité de butinage.

Le montage d'un dispositif apicole doit tenir compte à la fois des besoins biologiques de la colonie et des conditions environnementales du site. La proximité des ressources mellifères, la disponibilité d'un point d'eau, la protection contre les vents dominants, l'ensoleillement et la

stabilité du support sont des critères importants pour assurer la santé et la productivité des abeilles.

Cette section présente les principaux éléments nécessaires à l'installation d'un dispositif d'apiculture, les étapes techniques de montage, les méthodes de suivi de la colonie, ainsi que les risques et problèmes courants pouvant affecter le bon fonctionnement du rucher [71].

2.2.1. Matériels nécessaires

La mise en place d'un dispositif d'apiculture nécessite un ensemble de matériel adapté permettant d'assurer l'installation de la colonie, la protection de l'apiculteur et la réalisation des manipulations dans de bonnes conditions. Le choix du matériel est important, car il influence directement le confort des abeilles, la sécurité de l'intervenant et la qualité du suivi de la ruche.

2.2.1.1. La ruche : l'habitat

La ruche constitue l'élément central du dispositif apicole. Elle représente l'abri artificiel dans lequel la colonie se développe, construit ses rayons, élève le couvain et stocke ses réserves de miel et de pollen. Elle est généralement composée d'un plancher, d'un corps de ruche, de cadres, d'un couvre-cadres et d'un toit. Sa structure doit assurer une bonne protection contre l'humidité, les variations climatiques et les prédateurs, tout en permettant les interventions de l'apiculteur [72].

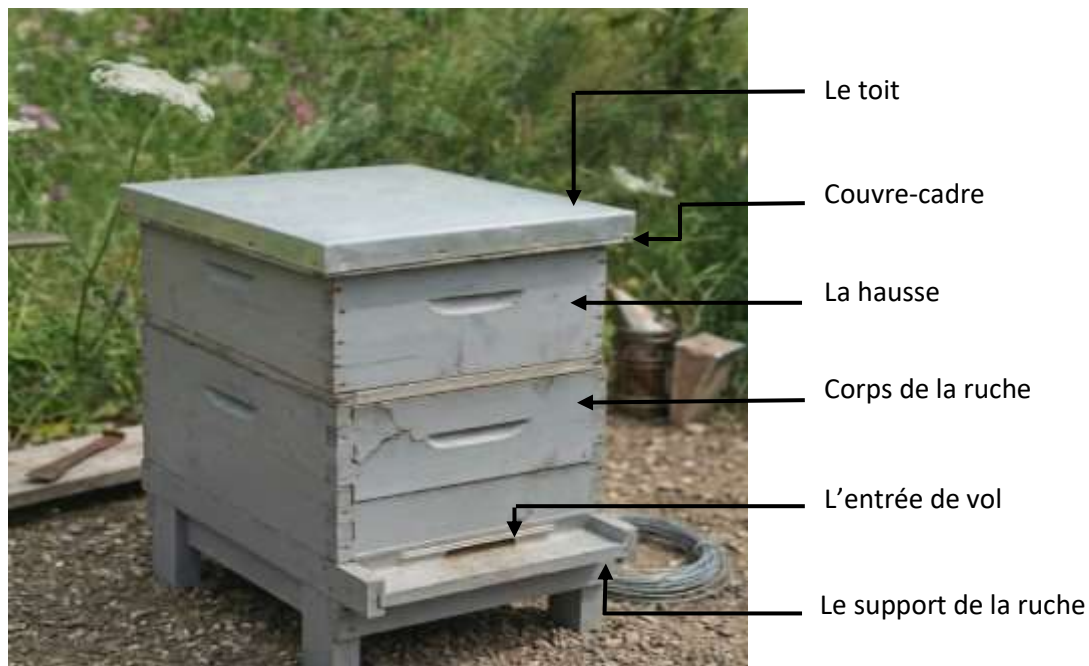


Figure 8. *La ruche (Cliché personnel, 2026).*



Figure 9. *Cadre d'une ruche (Cliché personnel, 2026).*

2.2.1.2. Les cadres

Les cadres sont des éléments mobiles placés à l'intérieur du corps de ruche. Ils servent de support à la construction des rayons de cire par les abeilles. Ces rayons permettent l'élevage du

couvain ainsi que le stockage du miel et du pollen. L'utilisation de cadres mobiles facilite les opérations de contrôle, de suivi sanitaire et de récolte, tout en limitant la perturbation de la colonie [72].

2.2.1.3. La combinaison de l'apiculteur

La combinaison de protection est indispensable pour assurer la sécurité de l'apiculteur lors des manipulations. Elle protège le corps, le visage et les mains contre les piqûres. Elle comprend généralement une combinaison claire, un voile de protection, des gants et parfois des bottes adaptées. Une protection correcte permet à l'apiculteur d'intervenir avec plus de calme et de précision, ce qui réduit également le stress de la colonie [72].



***Figure 10.** La combinaison de l'apiculteur (Cliché personnel, 2026).*

2.2.1.4. L'enfumoir

L'enfumoir est un outil essentiel utilisé pour produire une fumée douce destinée à calmer les abeilles pendant les manipulations. La fumée réduit leur agressivité et facilite l'ouverture de la ruche ainsi que l'inspection des cadres. Elle est généralement obtenue par la combustion de

matières naturelles peu nocives, telles que l'écorce d'eucalyptus, la lavande sèche ou certains résidus de bois [73].



Figure 11. L'enfumeur (Cliché personnel, 2026).

2.2.1.5. La brosse apicole

La brosse apicole est équipée de poils souples afin de ne pas blesser les abeilles ni détériorer les cadres. Elle est principalement utilisée pour éloigner délicatement les abeilles présentes sur les cadres, notamment lors de la récolte du miel. Bien qu'elle soit utile, elle reste un matériel facultatif selon les pratiques de l'apiculteur [72].



Figure 12. Brosse apicole (Cliché personnel, 2026).

2.2.1.6. Le lève-cadre

Le lève-cadre est un outil métallique robuste et fin, utilisé pour séparer les éléments de la ruche souvent soudés par la cire ou la propolis. Son extrémité plate et légèrement incurvée facilite l'ouverture de la ruche, le retrait des cadres et l'élimination des excès de cire. Il permet également de soulever certains éléments de la ruche, comme le toit, les hausses ou le couvre-cadres [74].



Figure 13. Lève-cadre (Cliché personnel, 2026).

2.2.2. Etapes de montage

La réussite d'un dispositif apicole dépend en grande partie de la qualité de son installation et du respect des conditions techniques adaptées aux besoins biologiques de la colonie. Le montage doit être réalisé de manière progressive, en tenant compte de l'emplacement, de l'hygiène du matériel, de la stabilité de la ruche et de la sécurité des abeilles.

2.2.2.1. Choix de l'emplacement

Le choix de l'emplacement constitue la première étape du montage. La ruche doit être installée dans un endroit calme, bien ensoleillé et protégé des vents dominants. Il est également

recommandé de la placer à proximité de ressources mellifères variées et d'un point d'eau, afin d'assurer une alimentation régulière à la colonie et de favoriser son activité de butinage [75].

- **Préparation du terrain :** Le terrain destiné à accueillir la ruche doit être propre, sec et légèrement surélevé afin de limiter l'accumulation d'humidité. Une humidité excessive peut favoriser le développement d'agents pathogènes et accélérer la détérioration du matériel apicole. La végétation dense autour de la ruche peut être réduite afin de faciliter les déplacements de l'apiculteur, d'améliorer l'aération et de limiter la présence de nuisibles [42].
- **Installation du support de ruche :** La ruche doit être placée sur un support solide, stable et résistant. Ce support permet d'isoler la ruche du sol, de réduire les remontées d'humidité et de limiter l'accès de certains prédateurs. Une légère inclinaison vers l'avant est généralement conseillée pour faciliter l'évacuation des eaux de pluie et améliorer l'aération interne de la ruche [76].
- **Désinfection du matériel apicole :** Avant l'installation, le matériel apicole doit être soigneusement nettoyé et désinfecté. Cette étape permet de réduire les risques de transmission des agents pathogènes, notamment les bactéries, les champignons et les parasites susceptibles d'affecter les colonies. L'hygiène du matériel constitue donc une mesure préventive essentielle dans la conduite sanitaire du rucher [75].
- **Montage du plancher et du corps de ruche :** Le montage commence par l'installation du plancher sur le support. Le corps de ruche est ensuite placé correctement sur le plancher afin de constituer l'espace principal de développement de la colonie. Les cadres sont disposés à l'intérieur du corps de ruche en respectant leur alignement et leur espacement, afin de permettre aux abeilles de construire les rayons, d'élever le couvain et de stocker les réserves.

Après la mise en place des cadres, le couvre-cadres est installé pour protéger l'intérieur de la ruche et limiter les pertes de chaleur. Le toit est ensuite placé en dernier afin d'assurer la protection contre la pluie, l'humidité excessive et les variations climatiques. L'ensemble doit être stable, bien ajusté et facilement accessible pour les opérations de contrôle [71].

- **Installation de la colonie :** Une fois la ruche montée, la colonie peut être introduite avec précaution. Cette opération doit être réalisée dans des conditions calmes, de préférence à un

moment où les abeilles sont moins actives, afin de limiter le stress et les risques de dispersion. Après l'installation, il est important de vérifier l'entrée de la ruche, l'activité des abeilles et leur adaptation progressive au nouvel emplacement.

2.2.2.2. Méthode de suivi

Le suivi régulier d'un dispositif apicole est indispensable pour évaluer l'état de la colonie, prévenir les problèmes sanitaires et assurer le bon fonctionnement de la ruche. Il permet d'observer la dynamique de développement des abeilles, la disponibilité des réserves alimentaires, l'activité de butinage, l'état du matériel et les signes éventuels de maladies ou de parasites.

- **Suivi de la ponte et du développement du couvain :** Le contrôle du couvain constitue un indicateur important de la vitalité de la colonie. L'observation de la qualité et de la répartition du couvain permet d'évaluer l'activité de ponte de la reine et la dynamique de développement de la ruche. Un couvain compact, régulier et homogène traduit généralement un bon état sanitaire, tandis qu'un couvain dispersé ou irrégulier peut indiquer une faiblesse de la reine, un manque de ressources ou la présence de troubles sanitaires [77].
- **Contrôle des réserves alimentaires :** Le suivi des réserves de miel et de pollen est essentiel pour assurer la survie de la colonie. Ces réserves couvrent les besoins énergétiques et protéiques des abeilles, en particulier durant les périodes de faible floraison ou pendant l'hiver. Une insuffisance alimentaire peut entraîner un affaiblissement progressif de la colonie, une baisse de la ponte et une diminution de l'activité de butinage [71].
- **Gestion de la ventilation et de l'humidité :** L'humidité excessive à l'intérieur de la ruche favorise le développement de maladies et dégrade les conditions de vie des abeilles. Il est donc nécessaire de vérifier régulièrement l'aération, l'absence de condensation interne et la bonne évacuation de l'humidité. Une ventilation adéquate contribue au maintien d'un environnement favorable au développement du couvain et à la conservation des réserves alimentaires [42].
- **Renouvellement des cadres anciens :** Les cadres anciens ou détériorés doivent être remplacés périodiquement afin de limiter l'accumulation de contaminants, de spores pathogènes et de résidus chimiques dans la cire. Ce renouvellement progressif améliore l'hygiène de la ruche, réduit les risques sanitaires et favorise le bon développement de la colonie [78].

- **Suivi de l'activité de butinage :** L'observation de l'entrée de la ruche permet d'évaluer rapidement la vitalité de la colonie. Une activité intense traduit généralement une bonne dynamique de collecte du nectar et du pollen. À l'inverse, une diminution inhabituelle du trafic peut signaler un problème sanitaire, climatique ou alimentaire [77].
- **Pesée régulière des ruches :** La pesée des ruches permet de suivre l'évolution des réserves alimentaires et de la production de miel. Une augmentation du poids indique généralement une bonne activité de butinage et un apport important de ressources mellifères. Une diminution rapide peut, au contraire, traduire une consommation excessive des réserves ou un manque de ressources disponibles dans l'environnement [76].
- **Surveillance des parasites et des maladies :** La surveillance sanitaire doit être réalisée de manière continue afin de détecter précocement les infestations parasitaires et les maladies infectieuses. Une attention particulière doit être accordée à la présence de *Varroa destructor*, considéré comme l'un des principaux facteurs d'affaiblissement des colonies. L'observation des abeilles, du couvain et des déchets présents au fond de la ruche permet de repérer rapidement les anomalies sanitaires [75].
- **Suivi de la production de miel :** Le rendement en miel constitue un indicateur de la vitalité et de la performance de la colonie. Il peut être suivi par l'observation du remplissage progressif des cadres et par la pesée régulière des ruches. Cette méthode permet également d'évaluer indirectement la disponibilité des ressources mellifères dans l'environnement du rucher [76].

2.2.3. Risques et problèmes courants

Malgré une installation correcte, un dispositif apicole peut être confronté à plusieurs risques susceptibles d'affecter la santé de la colonie, la sécurité de l'apiculteur et la productivité de la ruche. Ces problèmes peuvent être liés au matériel utilisé, aux conditions environnementales, aux erreurs de manipulation ou encore à la présence de parasites et d'agents pathogènes.

La surveillance régulière du dispositif permet de détecter rapidement les anomalies et de limiter leurs conséquences. Les principaux risques peuvent être regroupés en deux catégories : les problèmes liés au matériel apicole et les problèmes sanitaires affectant directement les abeilles.

2.2.3.1. Matériel défaillant

Le matériel apicole joue un rôle important dans la protection de la colonie et dans le bon fonctionnement de la ruche. Lorsqu'il est mal entretenu, usé ou inadapté, il peut devenir une source de stress pour les abeilles et favoriser l'apparition de problèmes sanitaires ou techniques [75].

Une ruche endommagée, mal isolée ou présentant des fissures peut laisser pénétrer l'humidité, le froid, les prédateurs ou certains nuisibles. Une humidité excessive favorise le développement de moisissures et peut altérer la qualité du couvain et des réserves alimentaires. De même, des cadres détériorés ou trop anciens peuvent accumuler des résidus, des spores pathogènes ou des contaminants, ce qui augmente les risques pour la colonie [79].

Le mauvais état des outils de manipulation peut également compliquer les visites de contrôle. Un enfumoir défectueux, une combinaison mal fermée ou un lève-cadre inadapté peuvent augmenter le stress des abeilles et exposer l'apiculteur aux piqûres. Il est donc nécessaire de vérifier régulièrement l'état du matériel, de nettoyer les outils après usage, de remplacer les cadres anciens et de maintenir la ruche dans de bonnes conditions d'hygiène et de stabilité [80].

2.2.3.2. Maladie

Les maladies apicoles constituent l'un des principaux risques pour la santé des colonies. Elles peuvent être causées par des parasites, des virus, des bactéries ou des champignons, et leurs effets varient selon l'agent responsable, l'état général de la colonie et les conditions environnementales. Les principales maladies et affections apicoles sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 5. Principales maladies et affections apicole

Maladie / affection	Agent causal	Principaux symptômes	Effets sur la colonie	Figure
Varroose	<i>Varroa destructor</i> (acarien parasite)	Affaiblissement des abeilles, malformations, baisse de vitalité, transmission de virus [81].	Diminution de la population, affaiblissement général de la colonie, risque d'effondrement [81].	 Figure 14. Le varroa [78].
Virus du couvain sacciforme	Virus	Mort des larves, aspect allongé ou en forme de sac, développement anormal du couvain [82].	Réduction du renouvellement de la colonie et affaiblissement du couvain [82].	 Figure 15. Larve atteinte du virus du couvain sacciforme [87].
Maladie noire	Affection virale ou syndrome associé à des facteurs de stress [81].	Perte de pilosité, coloration noire, agitation, comportement anormal [81].	Affaiblissement des abeilles adultes et perturbation du fonctionnement de la colonie [81].	 Figure 16. Abeilles présentant les symptômes caractéristiques de la maladie noire [83].
Loque américaine	<i>Paenibacillus larvae</i> (bactérie) [81].	Dégradation du couvain, larves brunâtres et visqueuses, odeur désagréable [81].	Maladie grave du couvain, forte perte larvaire, risque important pour la colonie [81].	 Figure 17. Symptômes de la loque américaine sur le couvain d'abeilles [84].
Ascosphérose (couvain plâtré)	<i>Ascosphaera apis</i> (champignon) [81].	Larves momifiées, desséchées, blanches ou grisâtres [81].	Réduction du couvain et affaiblissement progressif de la colonie [81].	 Figure 18. Larves momifiées atteintes d'ascosphérose (<i>Ascosphaera apis</i>) [85].

Ces maladies et infestations peuvent compromettre le développement normal de la colonie, réduire sa productivité et, dans certains cas, entraîner son effondrement. Leur détection précoce repose sur une surveillance régulière du couvain, des abeilles adultes, des déchets présents au fond de la ruche et de l'état général du dispositif apicole.

La prévention repose également sur le maintien d'une bonne hygiène du matériel, le renouvellement progressif des cadres, l'observation régulière de la colonie et l'intervention rapide en cas de signes anormaux. Une colonie bien suivie, bien nourrie et installée dans un environnement favorable présente généralement une meilleure résistance face aux maladies et aux parasites.

2.3. ROLE DU DISPOSITIF DANS LA DURABILITE AGRICOLE

Le dispositif apicole constitue un outil pratique permettant de renforcer la durabilité agricole à travers la valorisation du rôle des abeilles dans les agrosystèmes. En favorisant la présence et l'activité des pollinisateurs, il contribue au maintien des interactions biologiques essentielles, notamment la pollinisation entomophile, indispensable à la reproduction de nombreuses plantes cultivées et spontanées.

L'activité pollinisatrice des abeilles participe directement à l'amélioration des rendements agricoles et à la qualité des productions végétales. Plusieurs cultures, notamment les arbres fruitiers, les cultures oléagineuses, les légumineuses et les cultures maraîchères, dépendent partiellement ou fortement de la pollinisation assurée par les insectes. En facilitant la fécondation des fleurs, les abeilles favorisent la formation des fruits, des graines et des semences, ce qui renforce la stabilité de la production agricole.

Au-delà de la productivité, le dispositif apicole présente également un intérêt écologique. Il contribue à maintenir la diversité végétale en favorisant la reproduction des espèces mellifères et spontanées présentes dans l'environnement agricole. Cette diversité floristique soutient à son tour d'autres organismes utiles, améliore les interactions biologiques et renforce la résilience des agroécosystèmes face aux perturbations environnementales.

L'intégration d'un dispositif apicole dans un système agricole s'inscrit donc dans une démarche agroécologique. Elle encourage la préservation des ressources florales, la réduction des pratiques défavorables aux pollinisateurs, la diversification des paysages agricoles et la prise

en compte de la biodiversité fonctionnelle. Ainsi, le dispositif ne représente pas seulement une installation apicole, mais aussi un levier de sensibilisation, de conservation et de gestion durable des agrosystèmes.

En ce sens, les abeilles constituent un pilier de la durabilité agricole, car elles relient la production végétale, la biodiversité, la sécurité alimentaire et l'équilibre écologique. Leur protection à travers des dispositifs apicoles bien suivis contribue à promouvoir une agriculture plus productive, plus résiliente et plus respectueuse de l'environnement [11] ; [65].

2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE II

Ce chapitre a présenté la mise en place d'un dispositif apicole ainsi que son intérêt dans une perspective de durabilité agricole. L'installation d'une ruche nécessite un matériel adapté, un emplacement favorable, une bonne hygiène et une attention particulière à l'état sanitaire de la colonie.

Le bon fonctionnement du dispositif dépend de la qualité du matériel, de la stabilité de la ruche et de la prévention des risques, notamment les maladies apicoles et les parasites. Une conduite raisonnée permet de préserver la vitalité des abeilles et de maintenir leur activité de butinage.

Au-delà de son intérêt apicole, le dispositif contribue au renforcement des services de pollinisation dans les agrosystèmes. Il favorise la reproduction des plantes, la formation des fruits et des graines, ainsi que l'amélioration de la qualité des productions agricoles.

Ainsi, intégré dans une approche agroécologique, le dispositif apicole peut constituer un outil utile pour soutenir la biodiversité fonctionnelle, sensibiliser à la conservation des pollinisateurs et accompagner la transition vers des systèmes agricoles plus durables.

DISCUSSION

L'analyse des travaux consacrés aux abeilles met en évidence leur rôle central dans le fonctionnement des agrosystèmes. La littérature s'accorde globalement sur le fait que les abeilles, qu'elles soient domestiques ou sauvages, constituent des agents majeurs de la pollinisation entomophile. Par leur activité de butinage, elles contribuent à la reproduction des plantes à fleurs, à la formation des fruits et des graines, ainsi qu'au maintien de la diversité végétale. Cette fonction écologique se traduit également par des bénéfices agronomiques importants, notamment l'amélioration des rendements, la qualité des productions agricoles et la stabilité des systèmes de culture [02] ; [03] ; [46] ; [54] ; [55].

Les études disponibles montrent toutefois que l'importance des abeilles ne se limite pas à leur rôle dans la pollinisation. Elles participent aussi au maintien des réseaux plantes–pollinisateurs, à la régénération des communautés végétales et à la résilience des écosystèmes agricoles face aux perturbations. Leur déclin est souvent interprété comme un signal de déséquilibre écologique, car ces insectes réagissent rapidement à la réduction des ressources florales, à la fragmentation des habitats et à l'exposition aux produits phytosanitaires [17] ; [24] ; [58] ; [61].

Un autre point important concerne leur utilisation comme bioindicateurs. Grâce à leur large rayon de butinage et aux matrices qu'elles produisent ou transportent, telles que le pollen, le miel, la cire ou le corps des abeilles, elles permettent de détecter certains contaminants, notamment les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux lourds. Cette fonction élargit leur intérêt au-delà de la pollinisation, en les intégrant dans les démarches de biomonitoring environnemental [04] ; [86].

Les travaux analysés convergent également sur les menaces pesant sur les populations d'abeilles. Les principaux facteurs identifiés sont l'intensification agricole, l'usage des produits phytosanitaires, la fragmentation des habitats, le changement climatique, les pathogènes, les parasites et les espèces invasives [05] ; [24] ; [66] ; [67]. Ces pressions agissent rarement de manière isolée ; elles interagissent souvent entre elles, ce qui accentue la vulnérabilité des colonies et des populations sauvages. Par exemple, une colonie déjà affaiblie par un manque de ressources florales ou par une exposition aux pesticides devient plus sensible aux maladies et aux parasites.

La littérature souligne également l'importance des pratiques agroécologiques pour maintenir les populations d'abeilles et les services de pollinisation. La diversification des cultures, la

préservation des habitats semi-naturels, l'utilisation raisonnée des intrants chimiques, la gestion durable des sols et de l'eau, ainsi que le recours aux amendements organiques apparaissent comme des leviers essentiels pour renforcer la biodiversité fonctionnelle des agrosystèmes [11] ; [27] ; [82] ; [83] ; [85]. Ces pratiques s'inscrivent dans une approche globale conciliant productivité agricole, préservation des ressources naturelles, viabilité économique et justice sociale [82] ; [83].

L'agriculture écologique constitue, dans ce cadre, une application concrète des principes agroécologiques. Elle favorise les amendements organiques, la lutte biologique, les rotations culturales, les associations de cultures et la diversification végétale, tout en réduisant l'emploi des produits chimiques de synthèse. Ces pratiques contribuent à maintenir la fertilité des sols, à renforcer la biodiversité fonctionnelle et à limiter les effets négatifs sur les pollinisateurs [09] ; [11] ; [84].

Cependant, certaines divergences apparaissent dans la littérature. La première concerne l'importance relative accordée à l'abeille domestique et aux abeilles sauvages. De nombreuses études privilégient *Apis mellifera* en raison de son intérêt apicole, économique et de sa facilité de gestion par l'homme [03] ; [31] ; [32]. D'autres recherches soulignent au contraire que les abeilles sauvages jouent un rôle complémentaire, parfois plus efficace pour certaines cultures ou dans certains milieux naturels [02] ; [37] ; [39]. Cette divergence montre qu'une approche centrée uniquement sur l'abeille domestique peut être insuffisante pour comprendre l'ensemble des services de pollinisation.

Des différences apparaissent également sur le plan méthodologique. Les travaux ne mobilisent pas toujours les mêmes indicateurs : certains évaluent l'abondance des abeilles, d'autres la richesse spécifique, la diversité fonctionnelle, la production agricole, la qualité des fruits, la présence de contaminants ou encore la santé des colonies. Cette diversité d'indicateurs enrichit la compréhension du sujet, mais elle rend parfois difficile la comparaison directe entre les études [54] ; [55] ; [62] ; [86].

Les divergences sont aussi liées aux contextes géographiques. Les résultats obtenus dans les régions tempérées ne sont pas toujours transposables aux régions méditerranéennes, semi-arides ou sahariennes. Dans ces milieux, les abeilles sont confrontées à des contraintes particulières, telles que les températures élevées, la sécheresse, la rareté saisonnière des ressources florales et les modifications des périodes de floraison. Ces conditions influencent l'activité de butinage,

la reproduction des colonies et leur capacité de résistance au stress hydrique et thermique [32] ; [34] ; [45].

Les limites des études existantes concernent principalement la fragmentation disciplinaire, l'insuffisance de données locales, le manque d'études longitudinales et l'hétérogénéité des protocoles. Les recherches sont souvent conduites séparément selon les domaines : l'écologie s'intéresse aux interactions entre abeilles et écosystèmes, l'agronomie à leur contribution à la production agricole, tandis que la toxicologie analyse surtout les effets des pesticides et des polluants. Cette séparation limite une compréhension globale des facteurs qui influencent la santé des abeilles, alors que les pressions sont généralement multiples et interdépendantes [24] ; [66] ; [67] ; [86].

Ces constats montrent l'existence de plusieurs lacunes scientifiques. Les données concernant les abeilles sauvages restent encore insuffisantes, notamment dans les régions méditerranéennes et nord-africaines. Les interactions entre stress multiples, tels que pesticides, changement climatique, parasites et fragmentation des habitats, nécessitent également des recherches plus intégrées. Il serait aussi important de développer des protocoles harmonisés permettant de comparer les résultats entre régions, cultures et types de paysages agricoles [37] ; [40] ; [67].

Les perspectives de recherche doivent donc s'orienter vers des approches interdisciplinaires et territorialisées. Il est nécessaire de mieux intégrer les dimensions écologiques, agronomiques, toxicologiques et socio-économiques afin de comprendre les facteurs qui conditionnent la santé des abeilles et la durabilité des services de pollinisation. Des suivis à long terme, adaptés aux contextes locaux, permettraient de mieux évaluer l'évolution des populations d'abeilles et l'efficacité des pratiques agroécologiques [82] ; [83] ; [85] ; [86].

Ainsi, la discussion met en évidence que les abeilles occupent une position stratégique à l'interface entre biodiversité, agriculture et qualité environnementale. Elles assurent des fonctions écologiques essentielles, soutiennent la productivité agricole et peuvent servir d'indicateurs de perturbations environnementales. Leur conservation ne doit donc pas être envisagée uniquement comme une mesure de protection d'un groupe d'insectes, mais comme une condition essentielle pour maintenir les services écosystémiques, renforcer la sécurité alimentaire et accompagner la transition vers des systèmes agricoles plus durables [01] ; [02] ; [03] ; [81].

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce mémoire, il apparaît que les abeilles occupent une place essentielle dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et agricoles. Leur rôle dépasse largement la production de miel ou les activités apicoles, car elles assurent un service écologique fondamental : la pollinisation. Par leur activité de butinage, elles participent à la reproduction des plantes à fleurs, à la formation des fruits et des graines, au maintien de la diversité génétique et à la stabilité des communautés végétales.

Dans les agrosystèmes, cette fonction prend une importance particulière. Les abeilles contribuent à l'amélioration des rendements, à la qualité des productions agricoles et à la sécurité alimentaire. Elles constituent ainsi un lien vivant entre biodiversité, productivité et durabilité. Leur présence dans les milieux agricoles traduit souvent la disponibilité des ressources florales, la qualité des habitats et l'équilibre général du paysage.

La présente étude mis en évidence la vulnérabilité des abeilles face aux pressions environnementales et anthropiques. L'intensification agricole, l'usage des produits phytosanitaires, la fragmentation des habitats, les changements climatiques, les parasites, les pathogènes et les espèces invasives agissent souvent de manière combinée. Ces facteurs fragilisent les colonies domestiques et les populations sauvages, tout en menaçant les services écosystémiques dont dépendent de nombreuses plantes et cultures.

Par ailleurs, les abeilles présentent un intérêt important comme bioindicateurs de la qualité environnementale. Grâce à leur comportement de butinage, à leur large rayon d'activité et aux matrices qu'elles produisent ou transportent, telles que le pollen, le miel, la cire ou leur propre corps, elles peuvent renseigner sur la présence de contaminants dans les milieux agricoles, urbains ou industriels. Elles apparaissent ainsi comme de véritables sentinelles de l'état des écosystèmes.

La conservation des abeilles s'inscrit donc pleinement dans les approches agroécologiques. La diversification des cultures, la préservation des habitats semi-naturels, la réduction des intrants chimiques, la gestion durable des sols et de l'eau, ainsi que l'installation raisonnée de dispositifs apicoles constituent des leviers essentiels pour maintenir les populations de pollinisateurs. Ces pratiques permettent de soutenir la biodiversité fonctionnelle, de renforcer la résilience des

agrosystèmes et d'accompagner la transition vers une agriculture plus respectueuse des équilibres naturels.

En définitive, préserver les abeilles revient à préserver bien plus qu'un groupe d'insectes. C'est protéger la pollinisation, la biodiversité, la productivité agricole, la qualité environnementale et une partie importante de la sécurité alimentaire. Les abeilles doivent ainsi être considérées comme des acteurs clés de la durabilité agricole et comme des indicateurs précieux des transformations que subissent les milieux. Leur protection nécessite une approche globale associant recherche scientifique, pratiques agricoles durables, gestion écologique des paysages et sensibilisation des acteurs locaux.

Les perspectives futures devraient accorder une attention particulière aux abeilles sauvages, aux contextes méditerranéens et nord-africains, ainsi qu'aux effets combinés des pesticides, du changement climatique et de la perte des habitats. Le développement de suivis écologiques réguliers et de protocoles de biomonitoring adaptés permettrait de mieux comprendre l'évolution des populations d'abeilles et de renforcer les stratégies de conservation. Ainsi, les abeilles apparaissent non seulement comme des auxiliaires de production, mais aussi comme des indicateurs de résilience et des partenaires indispensables de l'agriculture durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Potts S G, et Biesmeijer J C, et Kremen C, et Neumann P, et Schweiger O, et Kunin W E. Global pollinator declines : Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*. 2010. P 345–353.
- [2]. Klein A M, et Vaissière B E, et Cane J H, et Steffan-Dewenter I, et Cunningham S A, et Kremen C, et Tscharntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608). 2007. 303–313.
- [3]. Potts S G, et Imperatriz-Fonseca V L, et Ngo H T, et Aizen M A, et Biesmeijer J C, et Breeze T D, et Dicks L V, et Garibaldi L A, et Hill R, et Settele J, et Vanbergen A J. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. 2016. P 12, 540, 220–229.
- [4]. Giglio A, et Ammendola A, et Battisti A, et Elia A C, et Ennas V Z, et Labra M, et Zetto, O. *Apis mellifera* L. as an indicator of pollution by trace elements in a complex agro-ecosystem. *Ecological Indicators*. 2017. P 153-162.
- [5]. Nabti D. Étude de l'activité biologique de quelques pesticides et évaluation de leur impact sur l'environnement (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar–Annaba, Algérie). Université Badji Mokhtar Annaba. 2016. P 159.
- [6]. Khalifa S A M, et Elshafiey E H, et Shetaia A A, et El-Wahed A A A, et Algethalmi A F, et Musharraf S G, et Alajmi M F, et Zhao C, et Masry S H D, et Abdel-Daim M M, et Halabi M F, et Kai G, et Al Naggat Y, et Bishr M, et Diab M A M, et El-Seedi H R. Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. Michelle T, Fountain, Ignazio Floris and Mariano Higes Pascual. 2021. P 03, 09.
- [7]. Van der Sluijs J P, et Vaage N S. Pollinators and global food security: The need for holistic global stewardship. *Food Ethics*, 1(1), 75–91. 2016. P 76.
- [8]. Padonou M J D D, et Denis A, et Hountondji YC H, et Tychon B, et Gouwakinnou G. N. Indicateurs de durabilité écologique des agroécosystèmes dérivés de la télédétection satellitaire : revue systématique. *Cahiers Agricultures*. 2024. P 33. 27.
- [9]. Gliessman S R. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. RC Press. 2015.
- [10]. Tilman D et Cassman K G et Matson P A et Naylor R et Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671–677. 2002. P 672–675.
- [11]. Altieri M A. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. CRC Press. 2018. P 03.

- [12]. Houchiti R. Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de Ghardaïa). Mémoire universitaire soutenu à université Kasdi Merbah Ouargla. 2009. P 14.
- [13]. Mazoyer M et Roudart L. Histoire des agricultures du monde : Du néolithique à la crise contemporaine. Seuil. 2006.
- [14]. Benyahia M. Impact de la pollinisation entomophile sur le fonctionnement des écosystèmes. Mémoire de Master. Université d'Oran 1, Algérie. 2018. P 37.
- [15]. Bendifallah A, Rôle des abeilles dans la pollinisation des cultures en Algérie. Mémoire de Master, Université de Blida 1 Algérie. 2019. P 45.
- [16]. Ait Amar S, Contribution des pollinisateurs à la biodiversité et à la production agricole. Mémoire de Master. Université de Tizi Ouzou, Algérie. 2020. P 62.
- [17]. Péguin M et Moncorps S et Rolland G. Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France. Le comité français de L' UICN. 2012. P 09.
- [18]. Groot R, et Farber S, et Grasso M, et Hannon B, et Limburg K, et Naeem S, et O'Neill R V, et Paruelo J, et Raskin R G, et Sutton P, et van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. 1997. P 387, 253–260.
- [19]. Groot W M A et Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics, 41(3), 2002. P 393–408.
- [20]. Pretty J, et Benton T G, et Bharucha Z P, et Dicks L V, et Flora C B, et Godfray H C J, et Wratten S. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. Nature Sustainability, 2020. P 264–273.
- [21]. Power A G. Ecosystem services and agriculture: trade-offs and synergies in a changing world. Philosophical Transactions of the Royal Society. 2021.
- [22]. Le Provost G, et Carmona C P, et Petit S, et Lavorel S, et Wratten S D. The supply of multiple ecosystem services requires biodiversity across spatial scales. Nature Ecology and Evolution. 2023. P 236–249.
- [23]. Hernández-Morcillo M, et Plieninger T, et Bieling C. An empirical review of cultural ecosystem service indicators. Ecological Indicators. 2020. P 434–444.
- [24]. El Maataoui M et Henry M. Etude Multi Echelle Du Patron DE diversité des abeilles et utilisation des ressources fleuries dans un agrosystème intensif. Thèse de docteur de L'UNEIVERSITE D AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE. 2013. P 11, 17-18, 28,32-35,136.
- [25]. Foley J A, et Ramankutty N, et Brauman K A, et Cassidy E S, et Gerber J S, et Johnston M, et Zaks D P M. Solutions for a cultivated planet. 2011. P 337–342.

- [26]. Garnett T, et Appleby M C, et Balmford A, et Bateman I J, et Benton T G, et Bloomer P, et Godfray H C J. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, 341(6141). 2013. P 33–34.
- [27]. Chaouch S. Développement Agricole Durable dans les zones arides : vers quels espaces et quelles sociétés (cas de la wilaya de Ouargla –ALGERIE). Université Kasdi Merbah-Ouargla- Algérie.2019. P 90.
- [28]. Wezel A, Bellon S, et Doré T, et Francis C, et Vallod D, et David C. Agroecology as a science, a movement and a practice. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4). 2009. P 503–515.
- [29]. Belaid A. Contribution à l'étude du rôle des abeilles dans la pollinisation et le maintien de la biodiversité. Mémoire de Master, Université de Tlemcen. 2020. P 25.
- [30]. Nieto A, et Roberts S P M, et Kemp J, et Rasmont P, et Kuhlmann M, et García Criado M, et Biesmeijer J C, et Bogusch P, et Dathe H H, et De la Rúa P, et De Meulemeester T, et Dehon M, et Dewulf A, et Ortiz-Sánchez F J, et Pauly A, et Potts S G, et Roberts S P M, et Smit J, et Villalta I, et Vujic A, et Westphal C. European Red List of Bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union. 2014. P 14–20.
- [31]. Mersaoui R O. L'impact épigénétique sur la physiologie des abeilles (*Apis mellifica* intermissa).Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en Agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. 2020. P 05, 07.
- [32]. Khammar F, et Bouaziz S, et Benali R. Étude de la diversité et de l'adaptation de l'abeille domestique *Apis mellifera* en milieu nord-africain. Mémoire de Master, Université des Sciences Agronomiques, Algérie. 2021.
- [33]. Barour C, et Tahar A, et Baylac M. Forewing shape variation in Algerian honey bee populations of *Apis mellifera* intermissa. *African Entomology*. 2011.
- [34]. Bendjedid H et Achou M. Étude de la diversité morphométrique de deux populations d'abeilles domestiques du sud algérien. *ASJP Journal*. 2014.
- [35]. Haider Y, et Adjlane N, et Haddad N. Environmental impacts and behavioral adaptations of honeybees in Algeria: *Apis mellifera* intermissa and *Apis mellifera sahariensis*. *Insects*. 2025.
- [36]. Benghalem B, et Aissat S, et Meziane N, et Khelil M A. Typology and morphometric characterization of *Apis mellifera* intermissa in north-west Algeria. *Genetics and Biodiversity Journal*, University of Tlemcen. 2023.
- [37]. Michener C D. The Bees of the World (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. 2007.
- [38]. Wilson J S et Messinger Carril O. The Bees in Your Backyard. Princeton University Press. 2016.
- [39]. Garibaldi L A, et Steffan-Dewenter I, et Winfree R, et Aizen M A, et Bommarco R, et Cunningham S A, et Kremen C, et Carvalheiro L G, et Harder L D, et Afik O, et

- Bartomeus I, et Benjamin F, et Boreux V, et Cariveau D, et Chacoff N P, et Dudenhöffer J H, et Freitas B M, et Ghazoul J, et Greenleaf S, et Hipólito J, et Holzschuh A, et Howlett B, et Isaacs R, et Javorek S K, et Kennedy C M, et Krewenka K, et Krishnan S, et Mandelik Y, et Mayfield M M, et Motzke I, et Munyuli T, et Nault B A, et Otieno M, et Petersen J, et Pisanty G, et Potts S G, et Rader R, et Ricketts T H, et Rundlöf M, et Seymour C L, et Schüepp C, et Szentgyörgyi H, et Taki H, et Tschamntke T, et Vergara C H, et Viana B F, et Klein A M. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127). 2013. P 1608–1611.
- [40]. Goulson D. *Bumblebees: Behaviour, Ecology, and Conservation*. Oxford University Press. 2010.
- [41]. Benhamza A. Étude de l'organisation sociale et des comportements collectifs chez l'abeille domestique *Apis mellifera* (Mémoire de Master). Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie. 2019.
- [42]. Chauzat M et Faucon J. Biologie et organisation sociale des abeilles domestiques. *Revue Française d'Apiculture*, 725. 2018. P 15-22.
- [43]. Thomas Dyer S. *Honeybee Democracy*. Princeton University Press. 2010.
- [44]. Bouakaz KH et Tiab H. Organisation des sociétés d'abeilles. Mémoire présente en vue de l'obtention du diplôme de Master. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi. 2021. P 04-07.
- [45]. Parker R, et Melathopoulos A P, et White R, et Pernal S F, et Guarna MM, et Forster L J. Ecological Adaptation of Diverse Honey Bee (*Apis mellifera*) Populations. *Plos ONE*. University of Sydney, Australia. 2010. P 04-05.
- [46]. Ollerton J, et Winfree R, et Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3). 2011. P 321–326.
- [47]. Evert R F et Eichhorn S E. *Biology of Plants*. 8th edition. W.H. Freeman and Company. 2013.
- [48]. Bennadji A. *Biologie des plantes à fleurs en milieu méditerranéen*. Éditions universitaires scientifiques. 2020.
- [49]. Haouari S et Khesrani M. Étude de la reproduction des angiospermes et des mécanismes de pollinisation. Université (Algérie), mémoire académique. 2021.
- [50]. Ollerton J, et Trunschke J, et Havens K, et Landaverde-González P, et Keller A, et Gilpin A M, et Rech A R, et Baronio G J, et Phillips B J, et Mackin Ch. Pollinator-flower interactions in gardens during the COVID-19 pandemic lockdown of 2020. *Journal of Pollination Ecology*, 31(9). 2022. P 87–96.
- [51]. Corbineau F et Gendreau É. De la pollinisation à la formation des graines et des fruits. *INRAE / revues scientifiques françaises*. 2022.

- [52]. Brahimi A, et Hammou S, et Ferahtia S. La pollinisation et les huiles essentielles: Caractérisations biologiques et chimiques. Mémoire présente pour l'obtention du diplôme de Master Académique. Université Mohamed Boudiaf- M'SILA. 2023. P 24-25.
- [53]. Gacem R. Enquête sur L'impact de la pollinisation des cultures par l'abeille domestique (*Api mellifère*) (CAS de la région d'Ouargla). Mémoire de Master Académique. Université Kasdi Merbah Ouargla .2021. P 04.
- [54]. Woodcock B A, et Garratt M P D, et Powney G D, et Shaw R F, et Osborne J L, et Soroka J, et Lindström S A M, et Stanley D. Meta-analysis reveals that pollinator functional diversity and abundance enhance crop pollination and yield. *Nature Communications*. 2019.
- [55]. Garibaldi L A, et Steffan-Dewenter I, et Kremen C, et Morales J M, et Bommarco R, et Cunningham S A, et Carvalheiro L G, et Chacoff N P. Stability of pollination services reduces risk of crop yield failure. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1723). 2011. P 556–562.
- [56]. Bogdanov S. Bee products: Properties, applications, and apitherapy. *Bee Product Science*. 2017.
- [57]. Gilbert J. Etude de l'impact d'une Co-exposition de l'abeille *Apis mellifère* a des fongicides inhibiteurs de la chaine respiratoire (SDHI) net au parasite intestinal *Nosema ceranae*. Thèse présente pour l'obtention du grade de DOCTEUR D4UNIVERSITE. Université Clermont Auvergne. 2024. P 05.
- [58]. Bascompte J et Jordano P. Plant-animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2007. P 567–593.
- [59]. Memmott J. The structure of a plant-pollinator food web. *Ecology Letters*. 1999. P 276–280.
- [60]. Fenster C B, et Armbruster W S, et Wilson P, et Dudash M R, et Thomson J D. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2004. P 375–403.
- [61]. Fontaine C, et Dajoz I, et Meriguet J, et Loreau M. Functional diversity of plant–pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. *PLoS Biology*. 2006.
- [62]. Vaissière B. Abeilles et pollinisation. Unité mixte de recherche Ecologie des invertébrés INRA-Université d'Avignon. Académie d'Agriculture de France.2005. P 01-02.
- [63]. Pfiffner L, et Muller A. Abeilles sauvages et pollinisation. Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) Ackerstrasse 113, case postale 219, CH-5070Frick.2016. P 04.
- [64]. Le Conte Y, et Navajas M. Changements climatiques: impact sur les populations d'abeilles et leurs maladies. Institut national de la recherche agronomique (INRA). Laboratoire Biologie et protection de l'abeille. 2008. P 489.

- [65]. Requier F, et Le Féon V. Le tumultueux mariage entre abeilles et agriculture, Openfield numéro 7. 2016. P 05.
- [66]. Miguel A et Altieri M A. Agroecology: The science of sustainable agriculture (3rd ed.). CRC Press. 2018. P 1-20.
- [67]. Taverne J. Diagnostic agro écologique d'un réseau de fermes de démonstrations pour le projet PROTEGE. Mémoire de fin d'études. Ecole Supérieure d'Agro-Développement International. 2020. P 08.
- [68]. Patarlageanu S R, et Dinu M, et Diaconu A, Oacea Negescu M D. Ecological agriculture and role in sustainable development. Oancea Negescu, published by sciendo. Licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 License. 2022. P 390-391.
- [69]. Jendoubi M, et Maund S J, et Nina M. Agroecosystem sustainability index ASI for measuring environmental and socioeconomic sustainability. Springer Nature. 2025. P 1-2.
- [70]. Catalano P, et Della Sala F, et Cavaliere M, et Caputo C, et Pecoraro D, et Crispino G, et Lettera S, et Caioni G, et Esposito M, et Verre A, et Castellone L, et Bianco E, et Amorena M. Use of honey bees and Hive Products as Bioindicators to Assess Environmental Contamination in Targeted Areas of the Campania Region (Italy). Valentina Meucci, Animals 2024. P 12.
- [71]. Frères G, et Guillaume J. Le traité Rustica de l'apiculture. Paris: Rustica Éditions. 2020.
- [72]. BETAYENE D. Manuel de Formation Apicole, Débuter en apiculture. Edition Revue par Centre pour l'Environnement et le Développement. Camiroun. 2008. P 8-24.
- [73]. BENHAMOU A. Étude comparative de la phytodiversité de trois stations d'El-Gor (W. de Tlemcen) et estimation de la qualité du miel récolté [Mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen]. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers. 2022. P 28-30.
- [74]. PATERSON P. -l'apiculture. Edition Quae, Belgique. 2006. P 11-29.
- [75]. Food and Agriculture Organization Food and Agriculture Organization. Good beekeeping practices: Practical manual on how to identify and control the main diseases of the honeybee. Rome: FAO. 2021.
- [76]. Sammataro D, et Avitabile A. The Beekeeper's Handbook (4th ed.). Ithaca : Cornell University Press. 2011.
- [77]. Seeley T D. The Lives of Bees: The Untold Story of the Honey Bee in the Wild. Princeton University Press. 2019.
- [78]. ITSAP – Institut de l'Abeille. Guide des bonnes pratiques apicoles. Paris, France. 2022.
- [79]. Dadant et Sons. The hive and the honey bee. Dadant Publishing. 2012.

- [80]. World Organisation for Animal Health. Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals: Honey bee diseases. WOA. 2023.
- [81]. MEZIANE, R. Élevage apicole : Polycopié de cours destiné aux étudiants de Master 2 production animale. Batna : Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, Université Batna 1. 2024. P 49-52.
- [82]. Bailey L et Ball B V. Honey bee pathology (2nd ed.). London, UK: Academic Press. 1991. P 121–124.
- [83]. Ribière M, Olivier V, et Blanchard P. Chronic bee paralysis: A disease and a virus like no other? Journal of Invertebrate Pathology, 103(Suppl. 1), S120–S131. 2010. P S122.
- [84]. White G F. The cause of American foulbrood (Technical Series No. 14). U.S. Department of Agriculture, Bureau of Entomology. 1907. P 15.
- [85]. Aronstein K A et Murray K D. Chalkbrood disease in honey bees. Journal of Invertebrate Pathology, 103(Suppl. 1), S20–S29. 2010. P 21.

ANNEXES

Annexe 1. Photos de la formation pratique.



Espacement des ruches.



Cadre avec couvain ouvert.



Abeille.



Couvain de miel.



Cadre avec couvain ferme.



La combinaison de l'apiculteur.



Les ruches transmuteses.