

De la ruche aux écosystèmes : ingénierie, enjeux et actions pour les abeilles



(Morgan, 2023).

Auteurs :

Dos Santos Jennifer
El Bekkali Yasmine
Huybrechts Raphael
Gioia Ambre
Piret Samuel
Vicente Gouveia Beatriz

BING-F-406

Année 2025-2026

Résumé

Les abeilles sont des pollinisateurs essentiels, jouant un rôle crucial dans le maintien de la biodiversité et le fonctionnement des agroécosystèmes. Elles assurent la reproduction d'une grande majorité des plantes sauvages et cultivées, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la stabilité écologique. Ce portfolio se concentre sur l'organisation biologique et sociale des abeilles, en particulier *Apis mellifera*, considérées comme des superorganismes. L'étude explore l'architecture des ruches, optimisée pour l'efficacité structurelle et thermique, la division du travail dynamique au sein des colonies, et les systèmes de communication complexes, incluant les signaux chimiques, visuels et sonores.

L'intérêt de ces mécanismes naturels pour la bio-ingénierie est également analysé. Les ruches et les colonies d'abeilles inspirent des applications en architecture, en robotique d'essaim et conception de matériaux, grâce à leur capacité à construire des structures stables, à répartir efficacement les tâches et à maintenir des processus collectifs robustes. Le portfolio examine et analyse ensuite l'état actuel des populations d'abeilles domestiques et sauvages en Europe, mettant en lumière un déclin préoccupant. Les principales causes identifiées incluent l'intensification agricole, la simplification des paysages, l'urbanisation, l'usage de pesticides, le changement climatique et l'introduction d'espèces invasives comme le frelon asiatique.

Les impacts de ce déclin sont multiples : diminution de la diversité florale, pression sur les espèces sauvages, et perturbation des interactions écologiques locales. Enfin, ce travail souligne l'importance de stratégies de conservation basées sur la préservation des habitats et la diversité florale, plutôt que sur l'installation de ruches domestiques, afin d'assurer une protection durable des pollinisateurs. Ces stratégies incluent la création de corridors écologiques, la diversification des cultures, la limitation de l'usage des pesticides et la sensibilisation du public aux pratiques respectueuses des pollinisateurs.

En résumé, ce portfolio met en évidence le rôle fondamental des abeilles dans les écosystèmes, leur potentiel inspirant la bio-ingénierie, et les actions concrètes nécessaires pour inverser leur déclin, afin de garantir la pérennité de la biodiversité et des systèmes agricoles.

Abstract

Bees are essential pollinators, playing a crucial role in maintaining biodiversity and the functioning of agroecosystems. They ensure the reproduction of a large majority of wild and cultivated plants, thus contributing to food security and ecological stability. This portfolio focuses on the biological and social organization of bees, particularly *Apis mellifera*, considered as superorganisms. The study explores hive architecture, optimized for structural and thermal efficiency, dynamic division of labor within colonies, and complex communication systems, including chemical, visual, and acoustic signals.

The interest of these natural mechanisms for bio-engineering is also analyzed. Beehives and bee colonies inspire applications in architecture, swarm robotics, and material design, thanks to their ability to build stable structures, efficiently distribute tasks, and maintain robust collective processes. The portfolio then examines and analyzes the current state of domestic and wild bee populations in Europe, highlighting a worrying decline. The primary identified causes include agricultural intensification, landscape simplification, urbanization, pesticide use, climate change, and the introduction of invasive species such as the Asian hornet.

The impacts of this decline are multiple: a decrease in floral diversity, pressure on wild species, and disruption of local ecological interactions. Finally, this work emphasizes the importance of conservation strategies based on habitat preservation and floral diversity, rather than the installation of domestic hives, in order to ensure sustainable protection of pollinators. These strategies include the creation of ecological corridors, crop diversification, limiting pesticide use, and public awareness of pollinator-friendly practices.

In summary, this portfolio highlights the fundamental role of bees in ecosystems, their potential for inspiring bio-engineering, and the concrete actions needed to reverse their decline, in order to guarantee the longevity of biodiversity and agricultural systems.

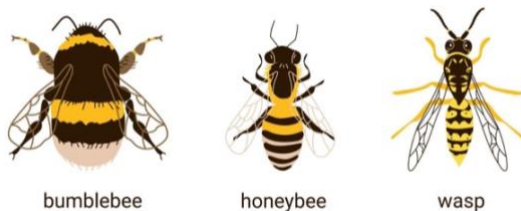
Table des matières

Résumé	1
Abstract.....	3
1. Introduction.....	5
1.1 Différences entre abeilles, bourdons et guêpes	5
1.1.1 Comparaison morphologique et comportementale des différentes abeilles.....	5
1.2 Abeilles domestiques et abeilles sauvages	6
1.2.1 Les abeilles à miel (<i>Apis mellifera</i>).....	6
1.2.2 Les abeilles sauvages.....	7
2. Structure et ingénierie de la ruche.....	8
2.1 Architecture : alvéoles, cire et structure interne	8
2.2 Organisation sociale : rôles de la reine, des ouvrières et des mâles	9
2.2.1 Division du travail chez les abeilles	9
2.2.2 Structure en castes : reine, ouvrière et mâle	9
2.2.3 Système de communication chez les abeilles	10
2.3 La ruche comme modèle pour la bio-ingénierie.....	11
2.4 Les produits et ressources de la ruche.....	12
2.4.1 Les trésors de la ruche	12
2.4.2 Applications et intérêt en bio-ingénierie	14
3. Le déclin des abeilles	15
3.1. Situation de l'abeille domestique	15
3.2. État des populations et évaluation des risques.....	15
3.2.1 Données de l'UICN.....	15
3.3. Espèces les plus menacées et vulnérables.....	16
3.4. Causes du déclin	17
3.4.1 Agriculture intensive et urbanisation.....	17
3.4.2 Pesticides et changements climatiques	18
3.4.3 Le frelon asiatique (<i>Vespa velutina</i>)	18
3.4.4 Compétition entre abeilles sauvages et domestiques.....	19
4. Protéger les abeilles : stratégies et actions	20
4.1. Installer des ruches n'est pas toujours une solution	20
4.2. Favoriser des écosystèmes propices.....	21
4.2.1 Diversifier les ressources florales	21
4.2.2 Créer et préserver des sites de nidification.....	21
4.3. Agir à l'échelle individuelle	21
4.3.1 Jardiner de manière écologique	21
4.3.2 Adopter une consommation responsable.....	22
5. Conclusion.....	22
6. Annexe	23
7. Quizz.....	25
8. Bibliographie	26

1. Introduction

1.1 Différences entre abeilles, bourdons et guêpes

Le déclin des abeilles suscite une prise de conscience croissante, mais de nombreuses idées reçues persistent. Comprendre leur biologie est essentiel, car leur rôle est bien plus important que le simple fait d'embellir nos jardins. L'abeille appartient à l'ordre des Hyménoptères et de la superfamille des Apoidea. Elle possède une anatomie caractéristique des insectes (**Fig.1**) : un corps divisé en trois



tagmes (tête, thorax, abdomen) et trois paires de pattes articulées. Un tableau comparatif des différences morphologiques entre abeilles, bourdons et guêpes est présenté en annexe 1.

Figure 1. Illustration des différentes morphologies.
Cette figure illustre les principales différences morphologiques entre les différents types d'abeilles ([Comparaison de trois insectes abeille, guêpe et bourdon, n.d.](#)).

1.1.1 Comparaison morphologique et comportementale des différentes abeilles

L'abeille domestique, *Apis mellifera*, ne représente qu'une espèce parmi la grande diversité des abeilles. Une comparaison avec une espèce sauvage sociale commune, le bourdon terrestre (*Bombus terrestris*), illustre deux stratégies écologiques distinctes mais efficaces. On distingue deux grandes stratégies alimentaires : les espèces spécialistes (oligolectiques) et les espèces généralistes (polylectiques).

Espèces spécialistes

Les abeilles oligolectiques collectent le pollen d'une seule famille, voire d'un seul genre de plantes. Cette spécialisation s'accompagne d'adaptations morphologiques telles que la pilosité ou la longueur de la langue. Un bon exemple est *Andrena florea*, qui possède une langue courte idéale lui permettant d'accéder uniquement au pollen de la bryone, tandis que *Macropis europaea* est morphologiquement adaptée pour récolter les huiles florales spécifiques de la grande lysimaque. Cette coévolution améliore l'efficacité de pollinisation et réduit la compétition interspécifique.

Espèces généralistes

Les espèces généralistes exploitent une grande diversité florale et jouent un rôle clé en pollinisation agricole, comme l'illustrent l'abeille domestique et les bourdons.

Cette large amplitude de ressources florales réduit leur vulnérabilité face aux variations saisonnières ou à la disparition de plantes locales. Tout cela leur permet de maintenir une efficacité de pollinisation.

Exemple : L'abeille domestique démontre une grande flexibilité. Des études ([Free et al, 1959](#) et [Winston et al, 1987](#)) analysant le pollen rapporté à une même colonie tout au long de la saison ont révélé une diversité florale impressionnante : 48 types de pollen en avril, 80 en mai, 77 en juin, et ainsi de suite. Ce qui montre qu'une colonie butine un grand nombre d'espèces florales différentes au cours d'une saison, avec des pics de diversité au printemps et en été. Au printemps : 50% du pollen provient de seulement trois sources (pommier/poirier, saule, et certaines astéracées), en juin : le châtaignier et le trèfle blanc dominant et en septembre : 79% du pollen provient du lierre.

Chez *Apis mellifera*, des analyses polliniques montrent une grande diversité saisonnière avec des pics au printemps et en été. Cette plasticité réduit leur vulnérabilité face aux variations environnementales.

1.1.2 Notion de ploïdie : Haploïdie ou diploïdie

Chez les hyménoptères, les femelles sont diploïdes (œufs fécondés) et les mâles (appelés faux-bourçons chez l'abeille mellifère) haploïdes (œufs non fécondés) ([Woyke, 1963](#)).

En raison du système haplodiploïde, les ouvrières sont, en moyenne, plus apparentées à leurs sœurs qu'à leur propre descendance potentielle, ce qui a favorisé l'évolution de comportements altruistes selon la théorie de la sélection de parentèle ([Hamilton, 1964](#)).

1.2 Abeilles domestiques et abeilles sauvages

1.2.1 Les abeilles à miel (*Apis mellifera*)

Les abeilles à miel sont des insectes domestiqués dont la reine est l'unique femelle reproductrice. Elle peut vivre d'un à cinq ans et assure la production des ouvrières, des mâles et des futures reines. Les ouvrières vivent 4 à 6 semaines en période active et jusqu'à 6 mois en hiver. Les mâles, dont la seule fonction est la fécondation, apparaissent au printemps et disparaissent à l'automne ([The Biology of the Honey Bee, n.d.](#)).

En raison de leur importance économique, les abeilles mellifères ont fait l'objet d'une forte sélection artificielle visant à améliorer la productivité et la résistance aux maladies.

La résistance à *Varroa destructor* en est un exemple. Les programmes de sélection, basés sur le comportement hygiénique, la production de miel et la reprise printanière, ont permis des gains annuels mesurables en performance sanitaire et productive.

1.2.2 Les abeilles sauvages

Le cycle de vie le plus connu des abeilles sauvages est celui des bourdons du genre *Bombus*. Il est annuel : seule la reine fécondée survit à l'hiver. Au printemps, elle fonde une colonie (50 à 400 individus) et élève les premières ouvrières qui entretiennent le nid et collectent du pollen et du nectar. En fin d'été, mâles et futures reines apparaissent, puis la colonie disparaît. Les jeunes reines hibernent. Les bourdons tolèrent les basses températures grâce à leur pilosité dense et au réchauffement de leurs muscles thoraciques avant le vol.

La majorité des abeilles sont toutefois solitaires et présentent diverses stratégies de nidification et de pollinisation. Parmi elles, on trouve les osmies, les mégachiles et les andrènes, chacune jouant un rôle écologique spécifique. Les bourdons pratiquent la sonication (vibrations d'environ 300 Hz) pour libérer le pollen de certaines plantes comme les *Solanaceae* (famille des tomates) ou les *Ericaceae* (famille des myrtilles) (**Fig. 3**).

Les abeilles sauvages jouent un rôle majeur : elles assurent la reproduction de plus de 80% des plantes sauvages et environ 75% des cultures, notamment les arbres fruitiers, complétant l'action des abeilles domestiques et contribuant à la sécurité alimentaire.

La coexistence des abeilles domestiques et sauvages contribue à une pollinisation plus résiliente, chaque groupe présentant des stratégies écologiques et comportementales complémentaires.

Alors que les abeilles sauvages illustrent la diversité écologique, l'abeille domestique se caractérise par une organisation collective structurée. La ruche permet de comprendre comment cette organisation soutient le bon fonctionnement de la colonie.



Figure 3. Bourdon adulte (*Bombus* sp.) en train de butiner. L'image montre le bourdon pratiquant la sonication, une vibration utilisée pour libérer le pollen de certaines fleurs comme les Solanaceae et les Ericaceae ([JKehoe Photos, 2016](#)).

1. Structure et ingénierie de la ruche

2.1 Architecture : alvéoles, cire et structure interne

Les alvéoles hexagonales élevées optimisent l'espace et l'utilisation de la cire bien que sa production soit coûteuse au niveau métabolique. Leur formation résulte du chauffage de la cire viscoélastique, illustrant un équilibre entre contraintes physiques et ingénierie biologique. Cette structure assure une stabilité maximale et une efficacité matérielle élevée ([Zhang, Q et al, 2015](#) ; [Arrazki, H., 2019](#)).

Un nid se développe rapidement (environ 45 jours pour 85% de sa surface, ce qui est très rapide comparé aux nids d'autres insectes sociaux). Les abeilles fabriquent les rayons en sécrétant de la cire, ce qui est coûteux au niveau du métabolisme. C'est pourquoi la structure de ces rayons est faite pour optimiser la quantité de cire et le bon fonctionnement de la colonie. L'organisation compacte améliore la thermorégulation, la circulation d'information et l'efficacité énergétique essentielles au développement du couvain ([R. Martin et al, 2023](#)).

Les cellules sont organisées de manière fonctionnelle : couvain au centre, pollen autour, puis nectar en périphérie (**Fig. 3**). Chaque alvéole hexagonale est creuse, de taille variable, et entièrement constituées de cire (**Fig. 4**) ([R. Martin et al, 2023](#)).

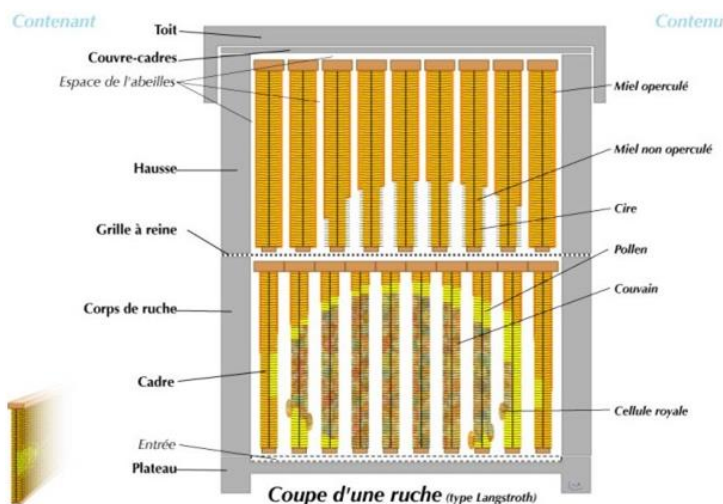


Figure 3. Coupe schématique d'une ruche. Représentation de l'organisation interne d'une ruche montrant les principaux éléments structurels ainsi que la répartition fonctionnelle des ressources (Abeilleduceoradmin, 2019).



Figure 4. Rayons de cire hexagonaux d'une ruche d'*Apis mellifera*. Structure alvéolaire en cire d'abeille montrant l'organisation hexagonale optimisant l'espace et l'utilisation du matériau (D'où vient la forme hexagonale des alvéoles des abeilles ? n.d.).

2.2 Organisation sociale : rôles de la reine, des ouvrières et des mâles

Les abeilles forment un superorganisme, c'est-à-dire des ensembles d'individus qui fonctionnent comme un tout intégré (Seeley, 1989). Seule une minorité assure la reproduction tandis que les ouvrières garantissent la survie collective. La colonie possède une résilience sociale, notamment via l'immunité sociale : comportements hygiéniques, retrait des cadavres, toilettage et capacité à limiter certaines infections virales dès le stade embryonnaire, renforçant la résistance collective aux pathogènes, parasites et pesticides (Beck et al, 2023).

2.2.1 Division du travail chez les abeilles

La division du travail repose sur le polythéisme temporel qui traduit le fait de se répartir et changer de rôle au sein de la colonie avec l'âge (Robinson, 1992). Cette organisation est flexible (Huang et Robinson, 1996) et régulée par des signaux sociaux et environnementaux, notamment des phéromones comme l'oléate d'éthyle qui contrôle le recrutement des butineuses (Johnson, 2010 ; Leoncini et al., 2004).

2.2.2 Structure en castes : reine, ouvrière et mâle

Chez *Apis mellifera*, trois castes existent : la reine, les ouvrières et les mâles (faux-bourçons) (Fig. 5). La reine est la seule femelle fertile et peut pondre jusqu'à 2 000 œufs par jour au printemps.

Les ouvrières (représentant environ 90 % de la colonie), assurent toutes les tâches. Les mâles, issus d'œufs non fécondés (parthénogenèse), ont pour unique rôle la reproduction. Ils ne possèdent pas de dard, vivent environ deux mois et sont expulsés de la ruche s'ils ne se sont pas accouplés.



Figure 5. Les castes de l'abeilles domestiques. Reine, ouvrière et faux-bourdon, trois individus aux fonctions différentes dans l'organisation de la colonie ([Les Abeilles, n.d.](#)).

L'essaimage correspond à la division naturelle de la colonie. Une reine quitte la ruche avec environ la moitié des ouvrières pour fonder une nouvelle colonie. Des ouvrières éclaireuses prospectent différents sites potentiels, évalués selon leur qualité (abri, ressources, distance). Une fois le site choisi, la direction est communiquée par la danse frétillante et l'essaim se regroupe grâce à des phéromones de cohésion avant de construire de nouveaux rayons (**Fig. 6**).



Figure 6. Essaim d'abeilles lors d'essaimage. Grappe d'abeilles regroupées autour de la reine lors du processus naturel d'essaimage ([Zoom sur la fonction de l'essaime, n.d.](#))

2.2.3 Système de communication chez les abeilles

Les abeilles communiquent principalement par trois modes principaux.

La communication chimique, via les phéromones, assure la cohésion sociale, la régulation de la reproduction et la défense collective (phéromones de la reine, d'alarme, de Nasanov, du couvain).

La communication visuelle se fait par la danse, notamment la danse en rond pour les ressources proches et la danse frétillante (en huit) pour les ressources plus éloignées et précise distance et direction par rapport au soleil (**Fig. 7**).

La communication sonore intervient surtout chez les reines vierges, qui émettent signaux vibratoires influençant l'essaimage et la rivalité.

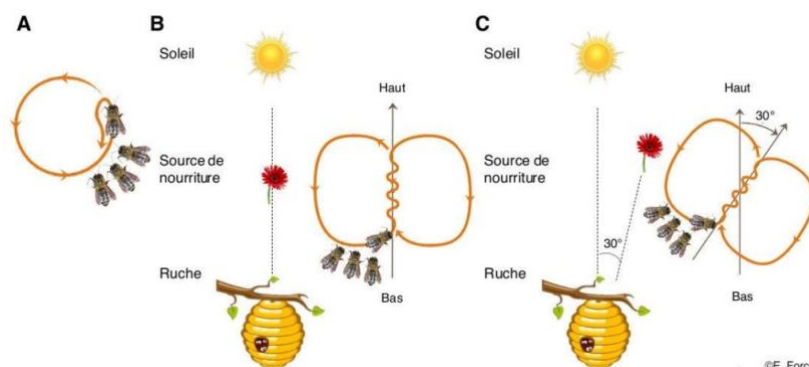


Figure 7. La communication par la danse chez les abeilles. Schéma illustrant différents types de danses utilisés par les abeilles : A : danse en rond indiquant une source proche ; B : danse en huit, C : indication de la direction et de la distance de la source de nourriture par rapport au soleil (VivelesSVT.com, 2022).

2.3 La ruche comme modèle pour la bio-ingénierie

2.3.1 Ingénierie architecturale et sciences des matériaux

La structure hexagonale des nids d'abeilles inspire l'ingénierie architecturale en raison de sa résistance (aux séismes notamment), de son optimisation de l'espace et de son efficacité matérielle et énergétique ([Arrazki et al, 2019](#) ; [Zhang et al, 2015](#)). D'ailleurs, il existe déjà plusieurs projets de bâtiments construits en forme de nids d'abeilles (**Fig. 8**). Elle est imitée dans des bâtiments, des briques alvéolaires et des isolants transparents utilisés notamment en énergie solaire.



Figure 8. Illustration des bâtiments construits en nid d'abeilles. A : Le metropol Parasol situé à Séville ([Les 10 meilleurs monuments de Séville, n.d.](#)), B : Le Phare de la Kaust en Arabie Saoudite ([Structural Model, n.d.](#)).

2.3.2 Robotique d'essaim et cyber-biologie

L'organisation collective des abeilles inspire la robotique d'essaim : des robots autonomes coopèrent sans contrôle centralisé ([Zhang et al., 2012](#)) et adaptent leurs tâches selon les besoins actuels de la construction, comme dans une colonie ([Lee et al., 2019](#)).

Au-delà de l'inspiration, il existe des dispositifs robotiques qui interagissent directement avec des colonies en reproduisant leurs signaux thermiques naturels pour influencer ventilation et organisation ([Barmak et al., 2024](#)). En résumé, l'organisation des ruches et des colonies est une source d'inspiration permettant de concevoir des systèmes entiers autonomes, stables et efficaces ([Longa et al., 2022](#)).

2.3.3 Communication et robustesse des réseaux

La communication des abeilles, telles que leur danse intègre du « bruit » : de petites variations individuelles du signal qui renforce la robustesse du signal et la capacité d'adaptation du groupe. Inspirés par ce principe, les ingénieurs exploitent ces variations pour accroître la flexibilité et la stabilité des réseaux robotiques ([Okada et al., 2023](#) ; [McHenry et al., 2025](#)).

2.3.4 Systèmes de navigation et guidage optique

Enfin, les abeilles s'orientent grâce au flux optique, c'est-à-dire la variation du champ visuel lors du déplacement, leur permettant d'estimer vitesse, distance et direction sans GPS. Ce mécanisme inspire les micro-drones, qui maintiennent leur trajectoire en analysant le mouvement de l'environnement, remplaçant des systèmes de guidage lourds et chers par un système plus simple ([Srinivasan et al., 1999](#)). De plus, la perception des motifs UV des fleurs a inspiré des dispositifs de navigation pour drones évoluant en milieux où le GPS est indisponible ([Serres et al., 2018](#)).

2.4 Les produits et ressources de la ruche

2.4.1 Les trésors de la ruche

Les principaux produits de la ruche sont : le miel, la propolis, la gelée royale, le pollen, la cire et le venin.

Le miel

Produit à partir du nectar floral, le miel contient plus de 200 composés (fructose majoritaire, minéraux, acides organiques et vitamines). Sa production demande environ 20 000 trajets pour 500g.

Pour que le nectar récolté devienne du miel, les abeilles régurgitent celui-ci dans le jabot des nourrices, ce phénomène est la trophallaxie. Ensuite, le miel est asséché et prêt à la récolte. Il possède des propriétés antibactériennes et antioxydantes ([Maicelo-Quintana et al, 2024](#)) et sa composition varie selon les fleurs butinées ([Dumitru et al, 2022](#)).

La propolis

Résine végétale transformée par les abeilles, (**Fig. 9**) elle sert à boucher les fissures, renforcer sa structure, maintenir la température et l'humidité stables à l'intérieur de la ruche et désinfecter la ruche. Elle possède des propriétés microbiennes et contient de nombreux acides aminés essentiels et non essentiels ([Maicelo-Quintana et al., 2024](#)).

La gelée royale

C'est une substance blanche, visqueuse et ayant une consistance gélatineuse (**Fig. 10**). Elle provient des glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des abeilles ouvrières. Elle nourrit toutes les larves durant leurs premiers jours et exclusivement la reine, ce qui explique sa longévité accrue ([Maicelo-Quintana et al, 2024](#)). La gelée royale est un colloïde acide (pH 3,6-4,2), contenant eau, protéines, sucres, lipides, vitamines et minéraux ([Dumitru et al, 2022](#)).

Le pollen

Gamète mâle des plantes, il constitue la principale source protéique des larves. C'est un mélange de pollen floral, de nectar et de sécrétions buccales des abeilles qui donne de petits granules de couleurs, tailles et morphologies variées, riches en nutriments. Les abeilles jouent un rôle majeur dans la pollinisation, assurant le transfert de pollen entre les fleurs ([Dumitru et al, 2022](#)).

La cire

Lipide complexe produit par les glandes cirières des ouvrières (fusion à 62 - 64 °C), utilisé pour construire les rayons. La cire est largement utilisée dans le domaine alimentaire, pharmacie et cosmétique, notamment pour ses propriétés protectrices, antibactérienne et sa grande stabilité chimique ([J.L. Maicelo-Quintana et al., 2024](#)).

Le venin

Produit dans les glandes à venin des abeilles ouvrières, il contient des peptides, des enzymes et des amines bioactives intervenant dans la défense ([Dumitru et al, 2022](#)). Il fait l'objet de recherches pour certaines applications thérapeutiques.



Figure 9. Propolis sur les parois de la ruche. Résine végétale transformée par les abeilles, utilisées pour colmater les fissures et protéger la colonie grâce à ses propriétés antimicrobiennes. ([Pierre naturelle certifiée, savon alep, savon bio saf cambrai 59, n.d.](#))



Figure 10. Gelée royale dans des cellules royales. Substance sécrétée par les ouvrières, destinée à nourrir les larves et exclusivement la reine. ([A.T. 2024](#))

2.4.2 Applications et intérêt en bio-ingénierie

Les produits de la ruche présentent un intérêt croissant dans l'industrie. Le miel est un édulcorant naturel alternatif au sucre.

La propolis est étudiée comme conservateur naturel grâce à ses propriétés antioxydantes et antimicrobiennes.

Le pollen est lui aussi de plus en plus utilisé. On peut l'incorporer dans certains aliments, dans du yaourt, dans du fromage, dans du pain par exemple pour en améliorer la qualité ([Maicelo-Quintana et al., 2024](#)).

Enfin, la cire d'abeille est utilisée comme additif, agent d'enrobage pour les pâtisseries et les fruits ou comme support aromatique, chimiques, pharmaceutiques et cosmétiques ([Dumitru et al., 2022](#)). On peut aussi l'utiliser comme substitut aux graisses moins bonnes pour la santé ([Maicelo-Quintana et al., 2024](#)).

Ainsi, la ruche ne constitue pas seulement un système biologique performant, mais également une source d'innovation pour de nombreux domaines scientifiques et industriels.

3. Le déclin des abeilles

3.1. Situation de l'abeille domestique

L'abeille domestique joue un rôle central dans la pollinisation. Depuis plusieurs années, de nombreuses régions du monde enregistrent une augmentation des pertes de colonies. Ce phénomène résulte d'une combinaison de facteurs.

Parmi les menaces, on retrouve le parasite *Varroa destructor* (**Fig. 11**), considéré comme la plus importante. D'autres pathogènes comme *Nosema ceranae*, réduisent la longévité, la productivité et les capacités de butinage. Les colonies sont également affectées par des ravageurs introduits, tels que le petit coléoptère des ruches (*Aethina tumida*), dont les larves détruisent les rayons et provoquent la fermentation du miel ([Hristov et al., 2020](#)).

Ces menaces biologiques interagissent beaucoup avec des facteurs d'origine humaine : pesticides, changement climatique, pollution, perte de ressources florales et pratiques apicoles parfois inadéquates. Les pertes hivernales en Europe peuvent atteindre 30%, alors que le seuil considéré comme normal est de 10-15%. Ce phénomène est un signe typique du « syndrome d'effondrement des colonies » ([Hristov et al., 2020](#)).



Figure 11. Abeille parasitée par l'acarien *Varroa destructor*. Parasite externe visible sur le thorax de l'abeille domestique (*Apis mellifera*), contribuant fortement au déclin des colonies ([Varroa destructor, n.d.](#)).

3.2. État des populations et évaluation des risques

3.2.1 Données de l'UICN

La Liste rouge de l'UICN classe les espèces en fonction de leur état, par exemple, vulnérable, en danger, en danger critique, etc. Pour pouvoir évaluer ces risques d'extinction, les scientifiques se

basent sur le statut de conservation des animaux et des plantes et cela nous aide à prioriser les espèces critique.

La liste rouge européenne rassemble toutes les connaissances de différents scientifiques pour pouvoir établir un état des lieux concernant les abeilles en Europe. L'évaluation régionale européenne poursuit plusieurs objectifs clés :

- Soutenir la planification de la conservation en identifiant les habitats prioritaires à sauvegarder
- Définir les menaces majeures et suggérer des mesures d'atténuation concrètes
- Consolider le réseau d'experts en Europe pour actualiser les informations et cibler les enjeux les plus cruciaux.

Ils ont fini par recenser l'état de 1 965 espèces européennes. La menace globale est qualifiée de modérée, mais plus de 55% des espèces sont classées « données insuffisantes », ce qui limite l'évaluation réelle du risque.

Les bourdons européens (*Bombus spp.*) sont les mieux étudiées. Nous avons donc des données concrètes en ce qui concerne la menace qui pèse sur cette espèce. D'après la Liste rouge européenne, 23,6 % des 68 espèces de bourdons sont en situation de menace, tandis que 4,4 % sont considérées comme quasi menacées. 45,6 % affichent une diminution de la population. Étant donné l'abondance des données à notre disposition, seules 8,8 % des espèces sont considérées comme ayant un manque de données ([European Commission. Directorate General for the Environment. & IUCN \(International Union for Conservation of Nature\)., 2014](#)).

3.3. Espèces les plus menacées et vulnérables

Plusieurs espèces de bourdons figurent parmi les plus menacées :

Bombus hyperboreus (EN), vivant dans la toundra de Scandinavie et de Russie. Il est fortement impacté par le réchauffement climatique qui entraîne une forte diminution de sa population.

Bombus cullumanus (CR), l'un des bourdons les plus menacés d'Europe, il a subi un déclin d'environ 80%, principalement à cause de la disparition des prairies fleuries et à l'intensification agricole.

Bombus fragrans (EN), le plus grand bourdon européen, impacté par la conversion des steppes* en terres cultivées.

Ces exemples illustrent la grande vulnérabilité des espèces spécialisées face aux modifications rapides de leur environnement ([European Commission. Directorate General for the Environment. & IUCN \(International Union for Conservation of Nature\)., 2014](#)).

3.4. Causes du déclin

3.4.1 Agriculture intensive et urbanisation

3.4.1.1 Simplification du paysage

L'intensification agricole a profondément modifié les paysages, remplaçant des écosystèmes diversifiés par de vastes monocultures. Cette simplification du paysage réduit la diversité des fleurs disponibles et concentre la production de nectar et de pollen sur de très courtes périodes. Les abeilles domestiques comme sauvages disposent alors de ressources limitées et peu variées, ce qui affecte directement leur nutrition et leur résistance aux autres stress environnementaux ([Guzman et al., 2019](#)). Les espèces spécialistes sont particulièrement vulnérables, car elles dépendent d'un nombre restreint de plantes hôtes. Lorsque ces plantes ne sont plus disponibles, les abeilles ne peuvent pas se reporter sur d'autres ressources ([Ullmann et al., 2016](#)).

3.4.1.2 Dégradation et perte des sites de nidification

Le travail du sol, comme le labour, perturbe les abeilles terrioles. Il perturbe les premiers centimètres du sol où de nombreuses abeilles terrioles installent leurs nids, provoquant une mortalité importante de la descendance ([Ullmann et al., 2016](#)). La perte d'habitats semi-naturels, tels que haies, prairies fleuries, talus ou bordures de champs aggrave encore la situation. Leur disparition dans les paysages agricoles réduit les possibilités de reproduction et accroît la fragmentation écologique ([Guzman et al., 2019](#)).

3.4.1.3 Urbanisation

L'expansion des infrastructures et l'imperméabilisation des sols diminuent la disponibilité des fleurs et des sites de nidification. Les abeilles doivent parcourir des distances plus longues pour se nourrir, ce qui augmente leur stress énergétique et réduit leur succès reproducteur ([St. Clair et al., 2020](#)). Certaines villes abritent encore des abeilles grâce aux parcs, jardins ou toits végétalisés, mais ces milieux ne compensent pas la perte massive d'habitats naturels. La qualité et la continuité des ressources florales y sont très variables dans le temps et dans l'espace ([Baldock, 2020](#)).

3.4.2 Pesticides et changements climatiques

3.4.2.1 Pesticides

Les pesticides sont parmi les facteurs majeurs du déclin des abeilles, surtout dans les zones agricoles intensives. Bien qu'ils ciblent les ravageurs et les mauvaises herbes, les abeilles y sont sensibles, affectant la santé des colonies ([Sgolastra et al., 2020](#) ; [Roy Chowdhury & Gupta, 2025](#)). Malgré des protocoles d'évaluation, leur impact persiste sur le comportement, la physiologie et la survie des abeilles.

Les insecticides systémiques, notamment les néonicotinoïdes, sont absorbés par la plante et se retrouvent dans les tissus végétaux, y compris le nectar, le pollen, et les gouttes de guttation, exposant ainsi les abeilles au moment du butinage. L'exposition entraîne également des effets dits « sublétaux », c'est-à-dire des perturbations qui n'entraînent pas la mort immédiate mais affectent profondément les abeilles. On observe notamment une baisse de la production de reines, une diminution du succès reproducteur, des troubles moteurs, une désorientation, ou encore un affaiblissement immunitaire, ce qui augmente la sensibilité aux virus comme le DWV transmis par *Varroa destructor* ([Chowdhury & Gupta, 2025](#)).

3.4.2.2 Influence du changement climatique

En plus des pesticides, le changement climatique menace également les pollinisateurs. Dans les milieux urbanisés, il figure parmi les pressions majeures identifiées, car il agit en combinaison avec l'urbanisation, la pollution et la perte d'habitats. Il réduit les ressources florales, fragilise les espèces sensibles à la chaleur et entraîne une contraction des aires de répartition, notamment chez les bourdons adaptés aux climats froids.

3.4.3 Le frelon asiatique (*Vespa velutina*)

Espèce exotique envahissante originaire du nord de l'Inde, de la Chine et de certaines régions montagneuses d'Indonésie, le frelon asiatique a été introduit en Europe via le commerce international et s'y est rapidement installé ([Courtioux, 2021](#)). Il mesure entre 1,4 et 3,2 cm, plus petit que le frelon européen, et se distingue par un thorax brun noir, un abdomen orangé et des pattes jaunes (**Fig. 12**) ([Courtioux, 2021](#) ; [Renature Brussels, s.d.](#)).

Son cycle annuel commence au printemps avec une reine fondatrice qui crée un nid primaire. La colonie se développe, construisant ensuite un nid secondaire plus grand en hauteur. En fin d'été, la reine pond les futures femelles reproductrices qui hibernent, tandis que la colonie d'origine meurt à l'automne. Les nids, utilisés une seule fois, sont ensuite détruits par les intempéries, l'action humaine ou d'autres animaux ([Renature Brussels, s.d.](#)).



Figure 12. *Vespa velutina*, vue détaillée d'un individu adulte. On le thorax brun-noir, l'abdomen orangé et les pattes jaunes caractéristiques de l'espèce, plus petite que le frelon européen ([Frelon asiatique | tap trap, 2021](#)).

Le frelon asiatique impacte fortement les abeilles. Il se place près des ruches pour capturer les ouvrières, ce qui perturbe fortement le butinage. Cette prédation répétée induit un stress durable : les abeilles sortent moins, les apports en pollen diminuent et la colonie s'affaiblit progressivement. Les abeilles européennes n'ayant pas coévolué avec ce prédateur, leurs défenses sont limitées ([Courtioux, 2021](#)). Son venin, encore peu étudié, contient des toxines actives comme la phospholipase A1 ([Schwartz et al., 2012](#)) et d'autres composés bioactifs présentant un potentiel biomédical ([Luo et al., 2022](#)).

Ces différents éléments expliquent la douleur aiguë, la rougeur et l'inflammation locale caractéristique d'une piqûre de frelon asiatique. Certaines de ces substances présentent même un potentiel d'intérêt pour la recherche biomédicale, en particulier grâce à leurs propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires ou antitumorales. Néanmoins, une partie importante de la composition du venin reste encore à étudier et à mieux comprendre ([Luo et al., 2022](#)).

3.4.4 Compétition entre abeilles sauvages et domestiques

Les abeilles domestiques, nombreuses et efficaces exploitent rapidement et massivement les ressources florales, limitant l'accès au nectar et au pollen pour les abeilles sauvages ([Rasmussen et al., 2021](#)).

Lorsque la densité de ruches augmente, la compétition alimentaire devient importante, surtout pour les espèces spécialisées ([Rasmussen et al., 2021](#) ; [Henry & Rodet, 2018](#)). Au Danemark, plus de 200 espèces d'abeilles sauvages partagent plus de 70% des mêmes plantes que les abeilles domestiques ([Rasmussen et al., 2021](#)). Près des ruchers, la présence d'abeilles sauvages chute d'environ 55%, et leur

succès de butinage diminue de moitié car les fleurs sont souvent déjà vidées de nectar par les colonies domestiques.

Les ruches elles-mêmes finissent par être impactées : dans les zones à forte densité de ruches, la quantité de nectar collectée par les abeilles domestiques diminue d'environ 44%, montrant qu'augmenter le nombre de ruches ne garantit pas un rendement plus élevé pour l'apiculture. Ces effets sont encore plus visibles dans les milieux pauvres en fleurs comme certains massifs monospécifiques (par exemple des massifs de romarin) où la survie des espèces sauvages peut être sérieusement menacée. La compétition observée est principalement une compétition exploitative, c'est-à-dire que les abeilles domestiques n'attaquent pas physiquement les abeilles sauvages, mais elles récoltent les ressources avant elles, les privant de nourriture ([Henry & Rodet, 2018](#)). Pour donner un ordre de grandeur : une colonie de 50 000 abeilles domestiques peut collecter l'équivalent de nourriture nécessaire à 110 000 abeilles solitaires ([Rasmussen et al., 2021](#)). Cette pression énorme explique pourquoi les ruches peuvent être comparées à de véritables « aspirateurs à nectar » ou à un « hypermarché » qui met en difficulté les « petites épiceries locales » que représentent les abeilles sauvages, souvent plus spécialisées et vulnérables.

En résumé, une densité élevée de ruches épuise les ressources florales et menace les abeilles sauvages. Une gestion raisonnée, avec une limitation et implantation stratégique des ruches est essentielle pour préserver l'équilibre entre les abeilles domestiques et sauvages ([Rasmussen et al., 2021](#) ; [Henry & Rodet, 2018](#)). Face au déclin observé, il devient nécessaire de mettre en œuvre des actions concrètes et adaptées. La protection des abeilles implique une approche globale tenant compte à la fois des espèces domestiques et sauvages.

4. Protéger les abeilles : stratégies et actions

4.1. Installer des ruches n'est pas toujours une solution

Installer une ruche dans son jardin n'est pas toujours bénéfique, car cela favorise les abeilles domestiques au détriment des abeilles sauvages ([Bruxelles environnement, 2018](#)).

Cela peut entraîner une compétition alimentaire, la transmission de virus et parasites (ailes déformées et parasite Nosema) et perturber la pollinisation locale, modifiant la composition végétale ([Henry et al, 2018](#) ; [Bruxelles environnement, 2018](#)).

C'est pour toutes ces raisons que l'installation de ruches est souvent interdite dans les réserves naturelles et zones protégées ([Bruxelles environnement, 2018](#)).

4.2. Favoriser des écosystèmes propices

4.2.1 Diversifier les ressources florales

Certaines abeilles sont spécifiques à certaines plantes ([Fijen et al, 2025](#)). Il est utile de planter et diversifier des fleurs selon les saisons, plutôt que d'augmenter leur quantité ([Timberlake et al, 2024](#)). Pour aider les abeilles, certaines plantes sont particulièrement intéressantes. Le pissenlit est une excellente ressource au printemps et pousse naturellement dans les jardins ; il suffit de tondre après sa floraison. Il est possible de prévoir des floraisons tout au long de l'année : noisetier en hiver, coquelicot au printemps, châtaignier en été et lierre en automne ([Bruxelles environnement, 2018](#)).

Ce qui est à éviter sont les espèces invasives telles que la renouée du Japon, le buddleia ou encore les géraniums qui ne fournissent pas de nectar ni de pollen.

4.2.2 Créer et préserver des sites de nidification

Les abeilles sauvages, majoritairement solitaires, vivent dans le sol ou dans des petits trous formés dans le bois et les tiges. Or, ces habitats tendent à disparaître dans les zones urbanisées en raison de la gestion intensive des espaces verts.

Le maintien d'une partie du jardin à l'état semi-naturel (tas de bois, feuilles, zones sablonneuses) favorise leur installation. La mise en place de nichoirs simples, tels que des bûches percées ou des fagots de tiges creuses, constitue également une alternative efficace. Ces aménagements doivent être placés à l'abri de l'humidité, en hauteur et dans une zone ensoleillée ([Wiseman et al, 2025](#)).

4.3. Agir à l'échelle individuelle

4.3.1 Jardiner de manière écologique

Afin d'avoir un jardin bien pensé pour accueillir les pollinisateurs sauvages, il est préférable de limiter la tonte sur une partie du terrain, afin d'y laisser pousser les plantes qui leur servent de nourriture. Il est préférable de ne pas utiliser de pesticides, pouvant nuire à la santé des abeilles sauvages et de bien autres insectes mais de plutôt planter des plantes adéquates à la saison et aux besoins de l'abeille en nectar. Le maintien de zones non irriguées et non piétinées permet également d'offrir des habitats aux abeilles solitaires ([Milford et al, 2022](#)).

4.3.2 Adopter une consommation responsable

La protection des abeilles passe aussi par des choix de consommation privilégiant des produits issus d'une agriculture biologique ou agroécologique, limitant l'usage de pesticides et favorisant la diversité végétale. L'achat du miel auprès d'apiculteurs respectant des critères environnementaux contribue également à cette démarche.

5. Conclusion

L'étude des abeilles, de la structure de leurs colonies et de leurs interactions avec l'environnement met en évidence le rôle central de ces pollinisateurs dans le fonctionnement des écosystèmes et dans la sécurité alimentaire. La ruche apparaît comme un superorganisme hautement optimisé, dont l'architecture, la division du travail et les modes de communication illustrent des principes de résilience et d'efficacité qui inspirent aujourd'hui de nombreuses applications en bio-ingénierie.

Cependant, l'analyse des dynamiques actuelles montre que les populations d'abeilles, tant domestiques que sauvages, sont confrontées à des pressions multiples et cumulatives, principalement liées aux activités humaines. L'intensification agricole, l'usage des pesticides, la fragmentation des habitats, le changement climatique et l'introduction d'espèces invasives contribuent conjointement au déclin des pollinisateurs, tandis que l'augmentation non contrôlée des ruches peut accentuer la compétition avec les abeilles sauvages.

La protection des abeilles ne peut donc se limiter à des actions symboliques, mais doit s'inscrire dans une approche globale visant à restaurer des écosystèmes fonctionnels et diversifiés. Favoriser la diversité florale, préserver les sites de nidification, adapter les pratiques agricoles et sensibiliser les citoyens constituent des leviers essentiels pour assurer la pérennité des pollinisateurs. À travers cette démarche intégrée, la conservation des abeilles apparaît non seulement comme un enjeu écologique majeur, mais aussi comme une source d'inspiration pour repenser des systèmes humains plus durables et résilients.

6. Annexe

Annexe 1. Tableau de comparaison des différences entre l'abeille, bourdon et guêpe

Caractéristique	Abeille (<i>Apis mellifera</i>)	Bourdon (<i>Bombus spp.</i>)	Guêpe (<i>Vespula spp.</i>)
Rôle dans la pollinisation	Pollinisateur généraliste et efficace pour une grande diversité de cultures.	Spécialiste des fleurs complexes et profondes (ex : tomate) grâce à la pollinisation vibratile.	Pollinisateur accidentel avec une faible contribution
Pilosité/morphologie	Dense et plumeuse, aspect duveteux. Poils ramifiés pour la collecte du pollen.	Très dense, longue et épaisse. Aspect de "nounours" robuste, idéal pour le vol par temps frais.	Faible ou quasi-absente. Corps lisse et brillant.
Structure des pièces buccales	Type " <u>broyeur-lécheur</u> ". Mandibules pour malaxer la cire et proboscis (trompe) pour aspirer le nectar.	Type " <u>broyeur-lécheur</u> ". Mandibules puissantes et proboscis souvent plus long que celui de l'abeille.	Type " <u>broyeur-mâcheur</u> ". Mandibules acérées pour découper des proies (viande, insectes) et mâcher.

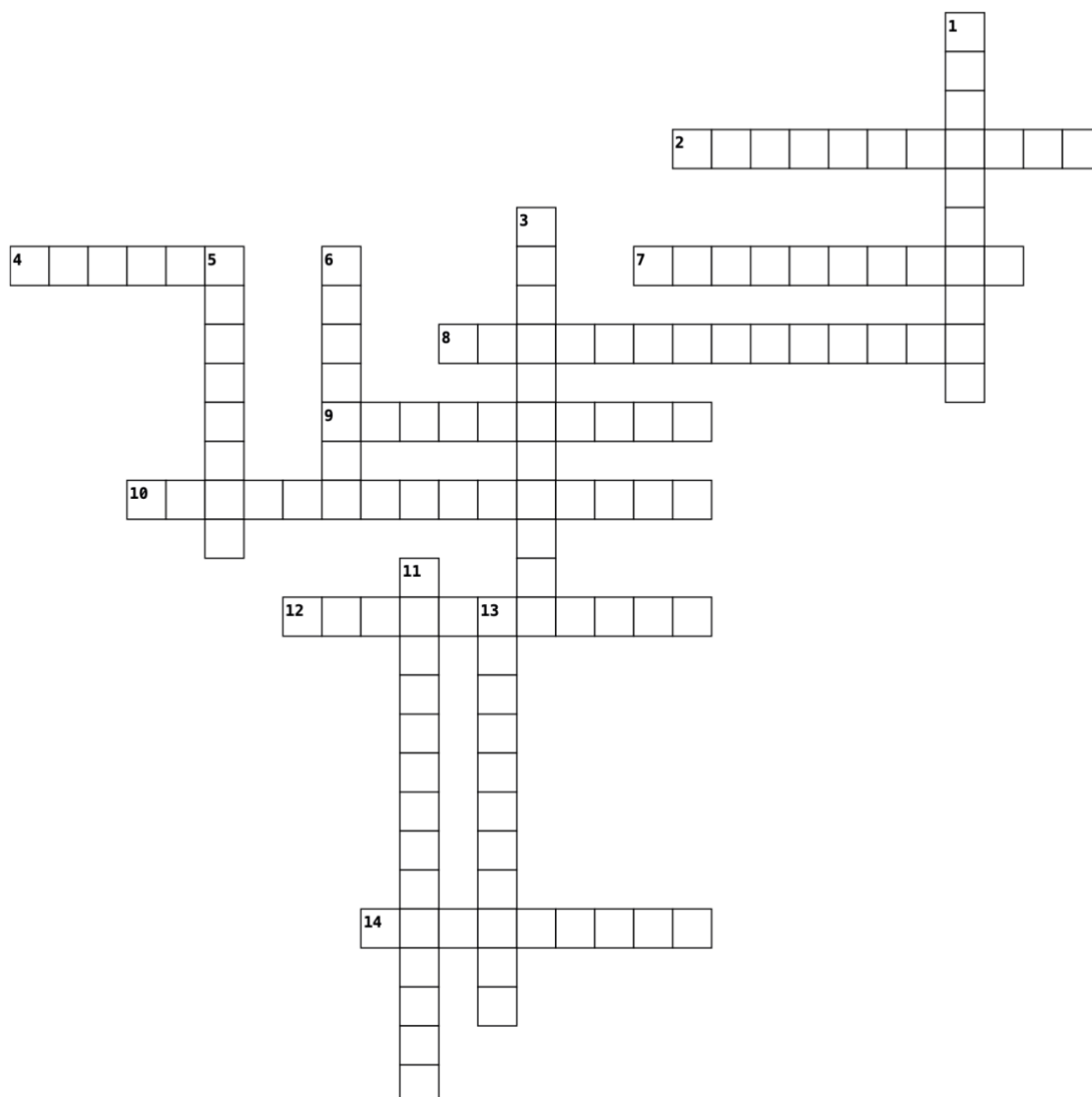
Annexe 1. Tableau reprenant les différents critères pour l'abeille et le bourdon

Critères	Abeille mellifère (<i>Apis mellifera</i>)	Bourdon terrestre (<i>Bombus terrestris</i>)
Alimentation	Nectar (énergie) + pollen (protéines)	Nectar + pollen (plus flexible selon les saisons)
Butinage	Très organisé, danse pour communiquer (rayon 3-5km)	Moins organisé, très efficace, local (<1km)
Spécialisation florale	Fidélité florale élevée, pollinisation constante	Généraliste, capable d'atteindre les fleurs profondes
Tolérance au froid	Moyenne	Élevée
Type de nid	Cavités aériennes (trons creux, ruches, murs), nids en cire.	Nids souterrains ou dans l'herbe, terriers abandonnés, nids en cire et pollen
Durée de la colonie	Pérenne	Annuelle

Rôle écologique principal	Pollinisation générale + production de miel	Pollinisation de fleurs complexe + cultures sous serre
---------------------------	--	---

7. Quizz

les abeilles



Across

- 2.** Abeille mâle dont le rôle principal est la reproduction.
- 4.** Etat provoqué par les pressions environnementales et la prédation.
- 7.** Ensemble d'actions mises en place pour préserver les abeilles.
- 8.** Organisation biologique où la colonie fonctionne comme un seul organisme.
- 9.** Abeille élevée par l'Homme pour produire du miel.
- 10.** Espèce de frelon introduite en Europe.
- 12.** Forme géométrique des alvéoles.
- 14.** Mode de vie de la majorité des abeilles, sans ruche ni colonie permanente.

Down

- 1.** Moyen de communication chimique utilisé par les abeilles.
- 3.** Situation où plusieurs espèces d'abeilles utilisent les mêmes ressources alimentaires.
- 5.** Abeilles qui jouent un rôle dans la pollinisation beaucoup plus précise.
- 6.** Abeille trapue et très poilue, capable de voler par temps froid.
- 11.** Système génétique particulier chez les abeilles (femelles $2n$, mâles n).
- 13.** Capacité des abeilles à se repérer dans l'espace.

1. ἄνθρωπος / 2. ὑπόκοχνη / 3. ὑποκόχνη / 4. ἄνθρωπος / 5. ἄνθρωπος / 6. ὑπόκοχνη / 7. ὑποκόχνη / 8. ἄνθρωπος / 9. ἄνθρωπος / 10. ἄνθρωπος / 11. ἄνθρωπος / 12. ἄνθρωπος / 13. ἄνθρωπος / 14. ἄνθρωπος

8. Bibliographie

Abeilleduceoradmin. (2019, October 21). La colonie des abeilles. *Abeille du Céor*®.
<https://www.abelleduceor.fr/2019/10/21/la-colonie-des-abeilles/>

Abeilles à miel. (n.d.). Retrieved January 26, 2026, from
https://www.api-douceur.com/abeilles_a_miel.html

Arrazki, H., Beaumal, B., Chailleux, E., Chateau, X., Gaudefroy, V., & Torrenti, J. M. (2019, janvier).
 Biomimétisme et impression 3D : Que peut-on apprendre des abeilles ? DiXite3dPrint :
 Fabrication additive pour la construction. Quelle actualité nationale ?
<https://enpc.hal.science/hal-02119411>

A.T. (2024, July 21). *Tout savoir sur la gelée royale : Sa fabrication et ses bienfaits*.
 Le chasseur français.
<https://www.lechasseurfrancais.com/nature/tout-savoir-sur-la-gelée-royale-sa-fabrication-et-ses-bienfaits-97216.html>

Baldock, K. C. (2020). Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities. *Current Opinion in Insect Science*, 38, 63-71.
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.01.006>

Barmak, R., Hofstadler, D. N., Stefanec, M., Piotet, L., Cherfan, R., Schmickl, T., Mondada, F., & Mills, R. (2024). Biohybrid superorganisms-on the design of a robotic system for thermal interactions with honeybee colonies. *IEEE Access*, 12, 50849-50871.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3385658>

Bruxelles Environnement. (2018, février). Des abeilles dans mon jardin. Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale.
https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=8465

Comparaison de trois insectes abeille, guêpe et bourdon. (n.d.). Vecteezy. Retrieved January 26, 2026, from

<https://fr.vecteezy.com/art-vectoriel/7443331-comparaison-de-trois-insectes-guepe-abeille-et-bourdon>

Courtioux, B. (2021). Le frelon asiatique, un danger pour l'être humain et L'environnement. *Actualités pharmaceutiques*, 60(607), 41-43.

<https://doi.org/10.1016/j.actpha.2021.03.033>

Das, B., Couceiro, M. S., & Vargas, P. A. (2016). A new multi-robot communication system based on passive action recognition. *Robotics and Autonomous Systems*, 82, 46-60.

<https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.04.002>

D'où vient la forme hexagonale des alvéoles des abeilles ? (n.d.). Retrieved January 23, 2026, from

<https://www.apiculture.net/blog/d-ou-vient-la-forme-hexagonale-des-alveoles-des-abeilles--n275>

Dumitru, C. D., Neacsu, I. A., Grumezescu, A. M., Andronescu, E.(2022). Bee-derived Chemical composition and applications in skin tissue engineering. *Pharmaceutics*, 14(4).

<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14040750>

European Commission. Directorate general for the environment. & IUCN (International union for conservation of nature). (2014). *European red list of bees*. Publications office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2779/77003>

Fijen, T. P. M., Eeraerts, M., Osterman, J., Beyer, N., Hass, A., Lundin, O., & Westphal, C. (2025). Crop diversification for pollinator conservation. *Landscape Ecology*, 40, Article 19.

<https://doi.org/10.1007/s10980-024-02027-3>

Frelon asiatique | tap trap. (2021, August 2).

<https://www.taptrap.com/fr/guide-des-insectes-volants-nuisibles/guepes-et-frelons/frelon-asiatique/>

- Guzman, A., Chase, M., & Kremen, C. (2019). On-farm diversification in an agriculturally dominated landscape positively influences specialist pollinators. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00087>
- Henry, M., & Rodet, G. (2018). Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Scientific reports*, 8(1), Article 9308.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-27591-y>
- Hristov, P., Shumkova, R., Palova, N., & Neov, B. (2020). Factors associated with honey bee colony losses : A mini-review. *Veterinary Sciences*, 7(4), 166.
<https://doi.org/10.3390/vetsci7040166>
- JKehoe_Photos. (2016). “*I need a hug,” she said. A female Bombus melanopygus, or Black-tailed Bumble Bee seen on a manzanita. We can see her small pollen collection on her hind leg. It is stored on an area called the corbicula. These bumble bees also “buzz-pollinate” these manzanitas as the pollen is held up inside the urn-shaped blossoms. Bumble bees can buzz their wing muscles without flapping those wings, and this buzzing frequency causes the manzanita to release its pollen. This process is sometimes called “sonication.”* [Graphic]. Black-TailedBumbleBee_4241a.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black-TailedBumbleBee_4241a_\(24034051879\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black-TailedBumbleBee_4241a_(24034051879).jpg)
- Lee, W., & Kim, D. (2019). Adaptive approach to regulate task distribution in swarm robotic systems. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 1108-1118.
<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.11.005>
- Les 10 meilleurs monuments de Séville.* (n.d.). Retrieved January 23, 2026, from
<https://www.hellotickets.fr/espagne/seville/monuments/sc-144-2937>
- Les abeilles.* (n.d.). Retrieved January 25, 2026, from
<https://www.leruchersaintgervais.fr/les-abeilles.htm>

- Longa, M. E., Tsourdos, A., & Inalhan, G. (2022). Human–machine network through bio-inspired decentralized swarm intelligence and heterogeneous teaming in SAR operations. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 105(4), 88.
<https://doi.org/10.1007/s10846-022-01690-5>
- Luo, L., Kamau, P. M., & Lai, R. (2022). Bioactive peptides and proteins from wasp venoms. *Biomolecules* (Basel, Switzerland), 12(4), 527.
<https://doi.org/10.3390/biom12040527>
- Maicelo-Quintana, J. L., Reyna-Gonzales, K., Balcázar-Zumaeta, C. R., Auquiñivin-Silva, E. A., Castro-Alayo, E. M., Medina-Mendoza, M., Cayo-Colca, I. S., Maldonado-Ramirez, I., & Silva-Zuta, M. Z. (2024). Potential application of bee products in food industry : An exploratory review. *Heliyon*, 10(1).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24056>
- McHenry, L. C., Schürch, R., Johnson, L. E., Ohlinger, B. D., & Couvillon, M. J. (2025). Dancing on the edge : Honey bee recruitment networks are sparse and affected by individuality in waggle dance behaviour. *Frontiers in Bee Science*, 3.
<https://doi.org/10.3389/frbee.2025.1654032>
- Milford, A. B., & Hatteland, B. (2022). The responsibility of farmers, public authorities and consumers for safeguarding bees against harmful pesticides: a Norwegian case study. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*.
<https://doi.org/10.1007/s10806-022-09889-0>
- Morgan, A. (2023, septembre 11). Le déclin des abeilles menace notre futur alimentaire. Miel Paris - Un Apiculteur près de chez vous.
<https://www.miel-paris.com/le-declin-des-abeilles-menace-notre-futur-alimentaire/>
- Okada, R., Ikeno, H., Aonuma, H., Sakura, M., & Ito, E. (2023). Honey bee waggle dance as a model of swarm intelligence. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 35(4), 901-910.
<https://doi.org/10.20965/jrm.2023.p0901>

Pierre naturelle certifiée, savon alep, savon bio saf cambrai 59. (n.d.). Merveille de Nature.

Retrieved January 25, 2026, from

<https://merveilledenature.fr/>

Rasmussen, C., Dupont, Y. L., Madsen, H. B., Bogusch, P., Goulson, D., Herbertsson, L., Maia, K. P., Nielsen, A., Olesen, J. M., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Sydenham, M. A. K., & Kryger, P. (2021). Evaluating competition for forage plants between honey bees and wild bees in Denmark. *Plos One*, 16(4), Article e0250056.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250056>

Renature Brussels. (s.d.). Frelon asiatique : *Vespa velutina*.

<https://renature.brussels/fr/hotel/animaux/vespa-velutina>

Roy Chowdhury, A., & Gupta, S. (2025). An overview of complex threats to bee populations: Pesticides, contaminants, and the urgency for research. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India. Section B: Biological Sciences*.

<https://doi.org/10.1007/s40011-025-01741-5>

Schwartz, C., Villemant, C., Rome, Q., & Muller, F. (2012). *Vespa velutina* (Frelon asiatique) : Un nouvel hyménoptère en France. *Revue française d'Allergologie* (2009), 52(5), 397-401.

<https://doi.org/10.1016/j.reval.2012.06.002>

Serres, J. R., & Viollet, S. (2018). Insect-inspired vision for autonomous vehicles. *Current Opinion in Insect Science*, 30, 46-51.

<https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.09.005>

Sgolastra, F., Medrzycki, P., Bortolotti, L., Maini, S., Porrini, C., Simon-Delso, N., & Bosch, J. (2020). Bees and pesticide regulation: Lessons from the neonicotinoid experience. *Biological Conservation*, 241, Article 108356.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108356>

Srinivasan, M. V., Chahl, J. S., Weber, K., Venkatesh, S., Nagle, M. G., & Zhang, S. W. (1999). Robot navigation inspired by principles of insect vision. *Robotics and Autonomous Systems*, 26(2), 203-216.

[https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(98\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(98)00069-4)

St. Clair, A. L., Zhang, G., Dolezal, A. G., O'Neal, M. E., & Toth, A. L. (2020). Diversified farming in a monoculture landscape: Effects on honey bee health and wild bee communities. *Environmental Entomology*, 49(3), 753-764.

<https://doi.org/10.1093/ee/nvaa031>

Structural model: Kaust breakwater beacon. (n.d.-b). M. Metawati. Retrieved January 23, 2026, from <http://www.metawati.com/structural-model-kaust-beacon-ii>

The biology of the honey bee. (n.d.). Harvard University Press. Retrieved January 23, 2026, from <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674744196>

Timberlake, T. P., Tew, N. E., & Memmott, J. (2024). Gardens reduce seasonal hunger gaps for farmland pollinators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291(2033). <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1523>

Ullmann, K. S., Meisner, M. H., & Williams, N. M. (2016). Impact of tillage on the crop pollinating, ground-nesting bee, *peponapis pruinosa* in California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 240–246.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.002>

Varroa destructor. (n.d.). apiculteur.ch. Retrieved January 26, 2026, from <https://www.apiculteur.ch/varroa-destructor>

VivelesSVT.com, J. de. (2022, May 3). *Communication par la danse chez les abeilles | vive les svt! Les sciences de la vie et de la terre au collège et au lycée—Cours de svt en ligne -*. <https://www.vivelessvt.com/lycee/communication-intra-specifique-et-selection-sexuelle-svt-2nde/attachment/communication-par-la-danse-chez-les-abeilles/>

- Wiseman, L., Rawson, R., & Okere, U. V. (2025). Bee-friendly interventions: the barriers and opportunities affecting urban residents' conservation of wild bees in gardens. *Journal of Insect Conservation*, 29, Article 7.
<https://doi.org/10.1007/s10841-024-00641-9>
- Woyke, J. (1963). What happens to diploid drone larvae in a honeybee colony. *Journal of Apicultural Research*, 2(2), 73–75.
<https://doi.org/10.1080/00218839.1963.11100063>
- Zhang, Q., Yang, X., Li, P., Huang, G., Feng, S., Shen, C., Han, B., Zhang, X., Jin, F., Xu, F., & Lu, T. J. (2015). Bioinspired engineering of honeycomb structure - Using nature to inspire human innovation. *Progress in Materials Science*, 74, 332-400.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.05.001>
- Zhang, Z., Zhang, H., & Li, Y. (2012). Biologically inspired collective construction with visual landmarks. *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, 13(5), 315-327.
<https://doi.org/10.1631/jzus.C1100243>
- Zoom sur la fonction de l'essaim. (n.d.). Retrieved January 26, 2026, from
<https://www.apiculture.net/blog/zoom-sur-la-fonction-de-lessaim-n336>