

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Spécialité : Biologie Animale



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude De L'intérêt Des Huiles Essentielles
Administrées Par Voie Orale Chez L'abeille
*Apis Mellifera***

Présenté par :

DEBBOU Thiziri & BRIHI Cylia

Soutenu publiquement le : 03 juillet 2024

Devant le jury composé de :

Mme. SAD-EDDINE ZENNOUCHE OURDIA	MCA	Présidente
M. IGUER-OUADA Mokrane	Professeur	Promoteur
Mme. TALBI Asma	MCB	Examinatrice

Année universitaire : 2023 / 2024

Résumé

Le *varroa destructor*, est un parasite acarien, il représente une menace majeure pour les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) fragilisant leur santé et menaçant la survie des colonies. Les traitements chimiques conventionnels contre le varroa, bien qu'efficaces, sont néfastes pour les abeilles et l'environnement, et peuvent entraîner le développement de résistances chez les parasites suite à une utilisation excessive. Face à ces défis, des recherches ont été menées afin de mettre en œuvre des solutions alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement. Les extraits de plantes et les huiles essentielles, en particulier, attirent l'attention en raison de leurs propriétés antiparasitaires potentielles. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'efficacité des huiles essentielles d'armoise et de romarin comme alternatives biologiques aux acaricides chimiques pour réduire la population de varroas infestant les colonies d'abeilles ainsi que leur effet sur la santé des abeilles (viabilité, activité). L'étude a employé une approche expérimentale combinant des tests *in vitro* et *in vivo* dont les huiles essentielles d'armoise et de romarin ont été testées *in vitro* sur des ouvrières d'abeilles domestiques par voie orale et par pulvérisation à différentes doses et sur terrain en appliquant une dose unique d'huile essentielle de romarin par pulvérisation. Les résultats obtenus montrent que les effets des huiles essentielles varient selon leur mode d'application, l'administration orale des huiles essentielles d'armoise et de romarin a eu un effet positif sur la santé des abeilles, mais aussi leur pulvérisation a également montré un effet contre le varroa sans effets néfastes sur la santé des colonies. Les résultats de cette étude suggèrent que les huiles essentielles d'armoise et de romarin, notamment appliquées par pulvérisation, pourraient être des alternatives prometteuses aux acaricides chimiques pour lutter contre le varroa. Ces solutions naturelles présentent l'avantage d'être plus respectueuses de la santé des abeilles et de l'environnement.

Mots clés : abeille, *Apis mellifera*, *varroa destructor*, viabilité, activité, huile essentielle, *Rosmarinus officinalis*, *Artemisia herba-alba*, romarin, armoise, voie orale, pulvérisation, extraits de plante.

Abstract

The *varroa destructor*, a mite parasite, represents a major threat to honeybees (*Apis mellifera*), weakening their health and endangering colony survival. Conventional chemical treatments against varroa, although effective, are harmful to bees and the environment, and can lead to the development of resistance in parasites due to excessive use. Faced with these challenges, research has been conducted to implement more sustainable and environmentally friendly alternative solutions. Plant extracts and essential oils, in particular, have attracted attention due to their potential antiparasitic properties. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of artemisia and rosemary essential oils as biological alternatives to chemical acaricides in reducing the population of varroa mites infesting bee colonies and their effects on bee health (viability, activity). The study employed an experimental approach combining in vitro and in vivo tests, in which artemisia and rosemary essential oils were tested in vitro on domestic bee workers orally and by spraying at different doses, and in the field by applying a single dose of rosemary essential oil by spraying on bee colonies. The results obtained show that the effects of essential oils vary depending on their mode of application, with oral administration of artemisia and rosemary essential oils having a positive effect on bee health. However, spraying also demonstrated effectiveness in combating varroa, significantly reducing the parasite population in bee colonies. Furthermore, the application of rosemary essential oil by spraying on bee colonies effectively reduced the varroa population without adverse effects on colony health. The results of this study suggest that artemisia and rosemary essential oils, particularly when applied by spraying, could be promising alternatives to chemical acaricides for varroa control. These natural solutions have the advantage of being more bee and environmentally friendly while offering comparable effectiveness against the parasite.

Keywords: honeybee, *Apis mellifera*, *varroa destructor*, viability, activity, essential oil, *Rosmarinus officinalis*, *Artemisia herba-alba*, rosemary, artemisia, oral administration, spraying, plant extracts.

ملخص

الفاروا ديستروكتور، هو عث طفيلي، يشكل تهديدا كبيرا للنحل المنزلي (أبيس ميليفيرا) مما يضعف صحتهم ويهدد بقاء الأسر. العلاجات الكيميائية التقليدية ضد الفاروا، على الرغم من فعاليتها، تكون ضارة للنحل والبيئة، ويمكن أن تؤدي إلى تطور مقاومة الطفيليات عن الاستخدام المفرط. مواجهة لهذه التحديات، تم إجراء بحوث لتنفيذ حلول بديلة أكثر استدامة واحتراما للبيئة. تجذب مستخلصات النباتات والزيوت العطرية، على وجه الخصوص، الاهتمام بسبب خصائصها المحتملة لمكافحة الطفيليات. كان هدف هذا العمل هو تقييم فعالية زيوت العطرية للشاي واكليل الجبل كبدايل حيوية للمبيدات الكيميائية للحد من عدد الفاروا المصابة بأسر النحل وتأثيرها على صحة النحل (القابلية للبقاء على قيد الحياة، النشاط). استخدمت دراسة نهج تجريبي يجمع بين الاختبارات في المختبر وفي الميدان حيث تم اختبار زيوت العطرية للشاي واكليل الجبل في المختبر على نحل العاملات عن طريق الفم والرش بجرعات مختلفة وفي الميدان عن طريق تطبيق جرعة واحدة من زيت اكليل الجبل العطري بالرش على أسر النحل. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن تأثيرات الزيوت العطرية تختلف حسب طريقة تطبيقها، حيث أن إعطاء زيوت العطرية للشاي واكليل الجبل عن طريق الفم كان له تأثير إيجابي على صحة النحل، بينما أظهر الرش أيضا فعالية في مكافحة الفاروا، من خلال تقليل عدد الطفيليات بشكل كبير في أسر النحل. بالإضافة إلى ذلك، أدى تطبيق زيت اكليل الجبل العطري بالرش على أسر النحل إلى تقليل عدد الفاروا بشكل فعال، دون أن يكون له تأثيرات ضارة على صحة الأسر. تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن زيوت العطرية للشاي واكليل الجبل، وخاصة عند تطبيقها بالرش، يمكن أن تكون بدائل واعدة للمبيدات الكيميائية لمكافحة الفاروا. تتميز هذه الحلول الطبيعية بأنها أكثر احتراماً لصحة النحل والبيئة، مع توفير كفاءة مقارنة مع المبيدات

كلمات مفتاحية: نحل، أبيس ميليفيرا، فاروا ديستروكتور، قابلية البقاء، النشاط، زيت عطري، روزمارينوس أوفيسيناليس، أرتيميسيا هيربا-ألبا، الروزماري، الشاي، عن طريق الفم، رش، مستخلصات نباتية

Remerciements

On tient avant tout à exprimer ma profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la santé, les capacités intellectuelles et la ténacité nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Aux membres de notre jury : Mme. SAD-EDDINE ZENOUCHE Ourdia et Mme. TALBI Asma, on tient à vous exprimer non sincères remerciements pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger et d'évaluer ce travail. On est particulièrement heureux de pouvoir présenter notre mémoire devant des enseignants qu'on admire et qui sont importants pour nous tout au long de notre parcours académique dans cette spécialité.

À Mr. Iguer-ouada Mokrane, notre directeur de mémoire, on tient à vous exprimer notre profonde gratitude pour votre soutien inestimable, pour avoir nous guider avec patience et expertise, pour vos conseils avisés et votre disponibilité qui ont été essentiels tout au long de l'élaboration de notre mémoire de recherche. On a particulièrement apprécié vos encouragements et votre confiance en nos capacités. Grâce à votre encadrement, on a pu développer nos compétences en recherche, en analyse et en rédaction qui nous a permis d'acquérir une meilleure compréhension de la rigueur scientifique et de l'importance d'une méthodologie claire et rigoureuse. On est reconnaissant pour l'opportunité que vous nous avez donnée de travailler sur un sujet aussi passionnant et d'apprendre auprès d'un chercheur de votre renommée. Votre contribution à notre parcours académique est inestimable et nous vous en sont infiniment reconnaissant. Votre passion pour la recherche et votre engagement envers vos étudiants sont une source d'inspiration pour nous. On vous remercie du fond du cœur pour nous avoir motivés à donner le meilleur de nous-mêmes et d'avoir créé un environnement où chacun se sentait valorisé et capable de réaliser de grandes choses.

On tient à remercier en particulier notre deuxième encadrante et ingénieure de Laboratoire Associé des Ecosystèmes Marins et Aquacoles « LAEMA » de l'université de Bejaia, Mme. Dr. INOURI-ISKOUNEN Ahlam, pour votre soutien, pour partager avec nous vos expériences, vos idées, vos conseils qui ont été essentiels à la réussite de ce travail et pour tout ce que vous avez fait pour nous. On vous remercie également pour votre disponibilité et votre flexibilité, vous avez toujours été à l'écoute de nos besoins. En plus de vos compétences scientifiques et techniques, on tient également à souligner vos qualités humaines exceptionnelles. Votre gentillesse, votre bienveillance et votre sens de l'humour ont créé un environnement de travail agréable et stimulant. On a beaucoup apprécié nos discussions et on a appris beaucoup de vous, tant sur le plan professionnel que personnel.

Vous avez été une source de motivation exceptionnelle pour nous. On est honoré d'avoir pu travailler à vos côtés et on vous remercie du fond du cœur pour tout ce que vous nous avez apporté.

Considérant les efforts des apiculteurs, on tient à leur exprimer notre profonde reconnaissance pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail. Grâce à leur collaboration et leur générosité en nous fournissant des échantillons d'abeilles, on a pu mener à bien notre étude et obtenir des résultats significatifs. On citera particulièrement Mr. YAHY Krimou apiculteur dans la région d'AZFOUNE wilaya de Tizi-Ouzou et Mr HADJ Khelaf apiculteur dans la région d'AKFADOU wilaya de Bejaia, Ils nous ont ouvert les portes de leurs ruchers et ils étaient en disponibilité, on les remercie pour leur générosité et leur expertise

A toute l'équipe de Laboratoire Associé des Ecosystèmes Marins et Aquacole « LAEMA » université de Bejaia, pour leur ambiance et d'avoir créé une atmosphère de travail agréable.

On ne remercie toute personne qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail, de près ou de loin.

Dédicaces

Ce travail est le fruit d'un parcours enrichissant de soutien et d'amour. Je le dédie à tous ceux qui me sont chers, à :

À ma tendre mère,

Je dédie ce mémoire à la femme la plus incroyable du monde, ma mère adorée, source d'amour inconditionnel et de soutien. Tes sacrifices et ton exemple de courage m'ont inspiré et m'ont donnée la force de persévérer dans mes études et m'ont permis de réaliser mes rêves. Merci d'avoir toujours été là pour moi, et de m'avoir transmis les valeurs qui font de moi la personne que je suis aujourd'hui.

À mon père,

Je dédie ce mémoire en signe de mon respect et de mon admiration. Tes encouragements, tes conseils ton soutien ont illuminé mon enfance et continuent de me réconforter aujourd'hui. Merci d'être toujours là pour moi, quoi qu'il arrive.

À ma grande sœur Zahra et mon petit frère adorable Oualid,

Je vous dédie ce mémoire en signe de mon amour inconditionnel. Zahra, ma sœur adorée, tu es ma meilleure amie. Oualid, mon petit frère chéri, Tu es ma source de joie, tes rires contagieux, ton énergie débordante ont illuminé mon quotidien. Je vous aime plus que les mots ne puissent le dire.

À mon grand-père adoré,

Je dédie ce mémoire à mon grand-père Mouloud source de sagesse, que dieu l'accueille dans son vaste paradis. Même si tu n'es plus physiquement présent, ton esprit continue de veiller sur moi. Tes encouragements, tes conseils, ton souvenir précieux et ton affection m'accompagne chaque jour. Merci pour tout ce que tu m'as transmis, grand-père. Tu resteras à jamais gravé dans mon cœur.

À ma grand-mère chérie,

Je dédie ce travail à ta présence qui veille sur nous et qui nous enveloppe de ton amour inconditionnel. Tes leçons de vie, ta sagesse et ta douceur qui laisse une empreinte indélébile sur mon âme. Je ferai toujours en sorte de te rendre fier mama Ouiza.

À tous les membres de ma grande famille, mes tentes, mes oncles, mes cousins et cousines.

À mon encadrant, *Mr. IGUER-OUADA Mokrane*, mon professeur qui a éveillé l'amour de la science dans mon âme.

À tous mes enseignants durant mon parcours académique, particulièrement *Mr. MOUSSI* qui m'as donné une lueur d'espoir quand j'étais sur le point d'abandonner.

À Thiziri, plus qu'un binôme, tu es devenue une véritable amie, ensemble, nous avons relevé les défis et franchi les obstacles, merci pour ton soutien moral, pour les fou-rires, les moments partagés et ton esprit vif durant 3 ans de parcours ensemble.

À mon amie d'enfance Lynda, merci pour tous nos moments partagés et d'être toujours à mes côtés.

À tous mes camarades de la promotion M2 Biologie Animale 2024, et tous mes camarades durant mon parcours, exceptionnellement Noria et Tissouh merci pour votre amour.

À tout qui m'aiment et qui ont participé à ma réussite.

Par amour, Cylia 03 juillet 2024

Dédicaces

Dédicace à une mère extraordinaire, Hadjira,

Source intarissable d'amour et de dévouement, ce mémoire est le fruit de tes sacrifices et de tes prières incessantes. Tes encouragements ont été ma boussole, ta foi en moi mon guide. Aucun mot ne peut exprimer la profondeur de ma gratitude. Merci pour ton abnégation, ta tendresse et ton soutien indéfectible. Tu es la force qui me pousse à toujours avancer.

À mes chers frères et soeurs, Youba, Massy, Chirez et Nadjima,

Merci pour votre soutien indéfectible, vos précieux conseils et vos encouragements constants. Vous avez toujours été là pour moi et je suis fier de vous avoir comme famille.

À mon neveu adoré,

Tu apportes une joie immense et illumines mes journées. Merci d'avoir apporté tant de bonheur dans notre famille.

À toute ma famille,

Merci pour votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire. Je suis reconnaissant de vous avoir à mes côtés, surtout ma tante *Sabrina*.

À mon cher binôme, Cylia,

Je te remercie pour la belle période que nous avons passée lors de ce travail conjoint et pour ces années incroyables passées ensemble. Ta présence et ton soutien ont été inestimables. Que notre amitié continue à briller.

À mes enseignants, en particulier M. Moussi Kamal, M. Iguer-ouada Mokrane et Mme Kebbi Melaaz

Je vous remercie pour votre enseignement, votre patience et votre bienveillance. Vous avez contribué à faire de moi la personne que je suis aujourd'hui.

À ma meilleure amie d'enfance, Dania,

Merci pour ton amitié indéfectible et ton soutien inconditionnel. Tu es une personne précieuse que je chéris énormément. Tu as toujours cru en moi, même lorsque je doutais de moi-même. Je suis fier de t'avoir comme amie.

À mes amies,

Merci pour votre gentillesse, votre joie de vivre et votre agréable compagnie. Vous avez rendu mon parcours universitaire plus lumineux.

Je remercie également tous ceux qui ont croisé mon chemin pendant mes études et qui m'ont apporté leur soutien d'une manière ou d'une autre.

Merci du fond du cœur, Thiziri le 03 juillet 2024

Liste des figures

Figure 1 : <i>Apis mellifera</i>	4
Figure 2 : Carte de répartition naturelle des espèces du genre <i>Apis</i>	5
Figure 3 : Carte de répartition naturelle d' <i>Apis mellifera</i> qui recouvre l'Afrique (a), l'Europe et le Proche Orient (b).	6
Figure 4: Distribution des races d'abeilles mellifères	7
Figure 5 : morphologie externe de l'abeille.....	8
Figure 6 : Les trois castes d'abeilles	9
Figure 7 : Les grandes étapes du développement communes aux trois castes	10
Figure 8 : structure d'une ruche	13
Figure 9 : Organisation du cadre dans la ruche	14
Figure 10: Répartition géographique actuelle de <i>Varroa destructor</i>	17
Figure 11 : Représentation des deux espèces de varroa	18
Figure 12 : femelle de varroa.	19
Figure 13 : Le mâle de varroa	19
Figure 14 : Les différentes phases de la vie de varroa	20
Figure 15 : acariens <i>Varroa destructor</i> en phase phorétique attachés sur l'abdomen d'une abeille. -	21
Figure 16 : les deux phases de cycle de vie de varroa : phase phorétique et reproductive.....	22
Figure 17 : image des feuilles, fleurs de <i>Rosmarinus officinalis</i>	37
Figure 18 : Touffe d'Armoise blanche (<i>Artemisia herba-alba</i>).....	43
Figure 19 : abeilles ouvrières échantillonnées	49
Figure 20 : déplacement des abeilles vers les cagettes	49
Figure 21 : cagette d'expérience en bois de type pain munie d'un grillage en plastique	50
Figure 22 : cagette d'expérience munie des Eppendorfs d'eau et d'un bouchon de traitement.....	51
Figure 23 : distribution de traitement dans cagette à l'aide d'une micropipette	55
Figure 24 : cagette munie d'un plastique transparent pour récupérer le varroa tombé	56
Figure 25 : <i>Varroa</i> récupéré sous grillage	56
Figure 26 : Chemise en plastique récupéré d'une cagette posé au-dessus d'un fond blanc pour visualiser varroa tombé	56
Figure 27 : Situation géographique de la région étude	57
Figure 28 : position du rucher dans la zone d'étude	57
Figure 29: production du miel dans diverses daïra de Tizi Ouzou	58
Figure 30 : Les papiers récupérés sous les ruches contenant le varroas tombés	58
Figure 31 : Effet des différents traitements des huiles essentielles administrées par voie orale sur l'activité des abeilles (Essai 01).....	60
Figure 32 : Effets de deux huiles essentielles administrés par voie orale sur l'activité des abeilles (Essai 02).....	61
Figure 33 : Effets des huiles essentielles administrés par voie orale et/ou par pulvérisation sur l'activité des abeilles (Essai 03)	63
Figure 34 : Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur l'activité des abeilles (Essai 01).....	65
Figure 35: Effets des huiles essentielles pulvérisés sur l'activité des abeilles (Essai 02)	66
Figure 36 : Effets des huiles essentielles appliquées par pulvérisation sur l'activité des abeilles (Essai 3)	68
Figure 37 : Effets des huiles essentielles administrées par voie orale sur la viabilité des abeilles (Essai 01).....	70

Figure 38: Effets des huiles essentielles administrés par voie orale sur la viabilité des abeilles (Essai 02)-----	71
Figure 39: Effets des huiles essentielles administrées par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 03)-----	73
Figure 40: Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 01)-----	75
Figure 41: Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 02)-----	76
Figure 42 : Effets des huiles essentielles de romarin et armoise appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 3)-----	78
Figure 43 : Effet des huiles essentielles sur le varroa destructor durant tous les essais réalisés -----	79
Figure 44 : Observations obtenus des cinq ruches traitées après 24h -----	81

Liste des tableaux

Tableau I : Durée du développement de l'abeille selon chaque caste, en nombre de jours (j.)-----	11
Tableau II : espérances de vie chez les trois castes selon la saison) -----	12
Tableau III : Principaux paramètres dans les opérations d'extraction. -----	34
Tableau IV : Le pourcentage des constituants essentielles de l'HE du Rosmarinus .officinalis, identifiés par CPG /SM -----	39
Tableau V : présente la liste des composés identifiés dans l'huile essentielle d'armoise blanche, classés par ordre décroissant d'abondance. -----	46

Liste des abréviations

RM1 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle de romarin à une concentration de 1µl/ml

RM3 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle de romarin à une concentration de 3µl/ml

RM5 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle de romarin à une concentration de 5µl/ml

AR1 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle d'armoise à une concentration de 1µl/ml

AR3 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle d'armoise à une concentration de 3µl/ml

Ar 5 : traitement de sirop de saccharose enrichis avec huile essentielle d'armoise à une concentration de 5µl/ml

PUL RM 3 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle de romarin à une concentration de 3µl/ml

PUL RM 5 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle de romarin à une concentration de 5µl/ml

PUL RM 10 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle de romarin à une concentration de 10µl/ml

PUL AR 3 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle d'armoise à une concentration de 3µl/ml

PUL AR 5 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle d'armoise à une concentration de 5µl/ml

PUL AR 10 : traitement de pulvérisation d'huile essentielle d'armoise à une concentration de 10µl/ml

HE : huile essentielle

PEG : Polyéthylène glycol

Table des matières

Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Partie 01 : Revue de littérature	
Chapitre 01 : généralités sur l'abeille <i>Apis mellifera</i>	
I.L'abeille <i>Apis mellifera</i>	4
I.1. Description de l'abeille domestique <i>Apis mellifera</i>	4
I.2. Classification de l'abeille <i>Apis mellifera</i>	4
I.3. Origine de l'abeille <i>Apis mellifera</i>	5
I.4. Diversité et répartition géographique de l'abeille <i>Apis mellifera</i>	5
4.1 Répartition géographique de l'abeille <i>Apis mellifera</i> dans le monde	5
4.2 Répartition de l'abeille <i>Apis mellifera</i> en Algérie	6
I.5. Morphologie générale externe de l'abeille.....	8
I.6. Colonie d'abeille ; les trois castes d'abeilles.....	9
6.1. Différencier les castes	9
6.2. Cycle de vie des individus	10
6.3. Régulation des tâches entre les individus	11
6.4. Durée de vie des individus de la colonie.....	12
II.Habitat et alimentation	12
II.1. Habitat : la ruche.....	12
1.1. Structure de la ruche.....	12
1.2. Organisation des cadres	14
1.3. Les produits de la ruche	14
1.4. Les ennemis de la ruche	14
II.2. L'alimentation.....	15
2.1. Alimentation lourde.....	15
2.2. Alimentation légère.....	15
Chapitre 02 : étude du parasite <i>Varroa Destructor</i>	

1. La varroase	16
1.1. Agent causale	16
1.2. Evolution du <i>varroa destructor</i>	16
2. Biologie du <i>varroa destructor</i>	18
2.1. Classification du <i>varroa destructor</i>	18
2.2. Morphologie	19
2.3. cycle de développement de <i>Varroa destructor</i>	20
2.3.1. Phase phorétique	21
2.3.2. Phase reproductive	21
3. Modes de transmission de <i>varroa destructor</i> chez les abeilles <i>Apis mellifera</i>	22
3.1. Transmission intra-colonie	23
3.2. Transmission inter-colonie	23
4. Facteurs influençant la transmission	23
5. Effets et symptômes d'infestation du <i>varroa destructor</i> sur les abeilles domestiques	24
5.1. Effets d'infestation du varroa sur les abeilles	24
5.1.1. A l'échelle individuelle	24
5.1.2. A l'échelle de la colonie	25
5.2. Symptômes d'infestation des abeilles par <i>varroa destructor</i>	26
6. Détection et identification de taux d'infestation par <i>Varroa destructor</i>	26
7. Méthodes de lutte contre le varroa	28
7.1. Lutte chimique	28
7.2. Lutte biotechniques	29
7.3. Lutte biologique	29
7.3.1. Acides organiques	29
7.3.2. Champignons	30
7.3.3. Extrait de plantes	30
7.3.4. Aromathérapie ou utilisation des huiles essentielles	30

Chapitre 03 : les huiles essentielles

I. Les huiles essentielles	31
I.1. Généralités sur les huiles essentielles	31
1.1. Historique	31
1.2. Définition et composition	31
1.3. Production et extraction des huiles essentielles	33
2. Intérêts d'utilisation des huiles essentielles chez les abeilles	35
II. Huile essentielle de <i>Rosmarinus officinalis</i>	36
II.1. Plante étudiée : <i>Rosmarinus officinalis</i>	36
2.1. Historique	37

2.2.	Position systématique	38
II.2.	Huile essentielle de <i>Rosmarinus officinalis</i>	38
2.1.	Composition chimique.....	38
2.2.	Utilisation de l'huile essentielle de <i>Rosmarinus officinalis</i>	39
3.	Intérêts d'utilisation l'huile essentielle de <i>Rosmarinus officinalis</i> chez les abeilles	41
III.	Huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i>	42
III.1.	La description botanique	42
1.1.	Partie aérienne	42
1.2.	Partie souterraine	43
III.2.	Historique	43
III.3.	Position systématique	44
III.4.	Huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i>	44
4.1.	Composition chimique.....	44
III.4.	Utilisation de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba-alba</i>	46

Partie 02 : Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I.	Partie 1 : In Vitro dans des conditions de laboratoire.....	48
I.3.	Abeilles <i>Apis mellifera</i>	48
I.2.	Groupes et traitements	51
2.1.	Essai (01).....	52
2.2.	Essai (2).....	53
2.3.	Essai (3) :	53
II.3.	Paramètres mesurés	55
3.1.	La viabilité ou la survie des abeilles	55
3.2.	L'activité des abeilles.....	55
3.3.	Chute des varroas	56
IV.4.	Analyse statistique	57
Partie 2 :	dans des conditions de terrain	57
1.	Présentation de la région d'étude	57
1.1.	Situation géographique de la zone d'étude.....	57
1.2.	Situation apiculture dans la région	57
2.	Application de traitement	58
3.	Paramètre mesuré.....	58

Résultats et discussion

I.	Etude de l'effet des huiles essentielles sur l'abeille in vitro.....	59
I.1.	Etude de l'effet des huiles essentielles sur l'activité des abeilles	59
1.1.	Administration des huiles essentielles par voie orale	59

1.2. Application des huiles essentielles par pulvérisation.....	64
II.2. Etude de l'effet des huiles essentielles sur la viabilité des abeilles	69
2.1. Administration des huiles essentielles par voie orale	69
2.2. Application des huiles essentielles par pulvérisation.....	74
III. Etude de l'effet des huiles essentielles sur le <i>varroa destructor</i>	79
1. Etude in vitro de l'effet des huiles essentielles sur le <i>varroa destructor</i>	79
2. L'effet de l'huile essentielle de romarin sur le <i>varroa destructor</i> dans les conditions de la ruche.	80
Conclusion.....	81
Listes des références.....	83

Annexes

Annexe 01 : Préparation du sirop de saccharose (volume/volume).....	89
Annexe 02 : préparation des sirops de saccharose enrichi avec huiles essentielles	90
Annexe 03 : préparation des pulvérisateurs d'huiles essentielles	92

Introduction générale

Introduction

L'abeille *mellifère*, aussi appelée abeille domestique, est un insecte précieux originaire d'Europe et d'Afrique (Ruttner, 1988b). Elle est connue pour son rôle crucial pour notre écosystème (Haubruge et al., 2006). Elles pollinisent environ 80% des plantes contribue à la préservation de la biodiversité en assurant la reproduction des plantes sauvages et cultivées (Allen-Wardell et al., 1998; Buchmann & Nabhan, 1996; Burd, 1994; Michener, 2000) ainsi assurent la production du miel ; L'abeille *mellifère* est l'espèce d'abeille la plus productive en miel (Mackowiak, 2009).

Malheureusement, les abeilles *mellifères* sont en déclin (Allen-Wardell et al., 1998 ; Buchmann & Nabhan, 1996; Goulson et al., 2015; Mackowiak, 2009). Aujourd'hui elles sont menacées par divers facteurs, dont l'utilisation de pesticides, la destruction des habitats (spécifiquement pour les espèces sauvage), le réchauffement climatique (Rasmont et al., 2015), et l'apparition de parasites et de microorganismes (Allen-Wardell et al., 1998; Buchmann & Nabhan, 1996). Parmi ces ennemis redoutables, le *varroa destructor* (*varroa*) connu comme un danger majeur pour la survie des colonies d'abeilles (Allen-Wardell et al., 1998).

Le *varroa destructor*, connus sous le nom d'acararien *varroa*, est un ectoparasite le plus redoutable qui représente des menaces très sérieuses pour les abeilles domestiques (Vidal-Naquet, 2012). Ce parasite se nourrit de l'hémolymphe (équivalent de sang) des abeilles adultes et de leurs larves (Dandeu et al., 1991 ; Rosenkranz et al., 2010), par conséquent il affaiblie les colonies d'abeille et les rende plus sensibles aux maladies et aux agents pathogènes et peut leurs transmettre des virus et bactéries.

Dans le cadre de la lutte contre ce parasite, des recherches ont montré que l'utilisation des acaricides chimiques est la solution la plus adaptée à l'heure actuelle à cause son efficacité et sa mise en œuvre facile et rapide (Gregorc & Smodiš Škerl, 2007; Rademacher & Harz, 2006). Les apicultures utilisent généralement des acaricides synthétiques comme ApiLife Var, comme traitement chimique contre le *varroa destructor* (Imdorf et al., 1994). Cependant, l'application excessive de ces produits chimiques crée des résistances chez le *varroa* contre ces acaricides et devient inefficace (Gregorc & Smodiš Škerl, 2007; Rademacher & Harz, 2006; Ventelon & Neyrou, 2021). Ils peuvent aussi contaminer les produits de la ruche ce qui menace la santé des consommateurs. Ces molécules chimiques ne sont pas juste toxiques pour l'homme mais aussi elles sont nocives et toxiques pour les abeilles dont elles provoquent l'affaiblissement des colonies. Afin de réduire l'utilisation des acaricides synthétiques les chercheurs ont consacré leurs études pour trouver des méthodes alternatives

efficaces qui auront moins d'effets sur les abeilles et sur l'environnement à partir des sources biologiques.

Des recherches ont été menées sur les plantes médicinales et aromatiques possédant des activités biologiques bénéfiques comme antimicrobiennes, antiparasitaires et insecticides pour leur utilisation dans différents domaines y compris l'apiculture. Ces plantes offrent une voie prometteuse pour développer une méthode moins toxique avec peu de dommages pour l'environnement. Particulièrement, **Al-Ghamdi et al, (2021)** ont montré que l'utilisation de l'extrait de cannelle comme complément alimentaire peut réduire le taux d'infestation par le *varroa* chez les abeilles. Aussi, plusieurs recherches ont étudié les effets des huiles essentielles obtenus à partir des plantes aromatiques et les suggèrent comme alternative naturelle pour lutter contre *varroa*. De nombreuses études scientifiques ont montré l'efficacité des huiles essentielles végétales dans la lutte contre les parasites. Ces huiles agissent sur le comportement et/ou le développement de certains arthropodes, pouvant même être mortelles pour ces parasites. **Marian et al, (2021)** ont testé l'effet de 30 huiles essentielles contre le *varroa* et l'abeille domestique par exposition et 11 parmi elles ont montré une efficacité acaricide. Le résultat lié à l'utilisation des huiles essentielles pour lutter contre *varroa* indique l'absence des effets secondaires et n'a pas provoqué une mortalité importante chez les abeilles, la mortalité du parasite augmente avec la concentration en huile essentielle et avec la durée d'exposition. Selon Castagna, l'huile essentielle d'*origanum heracleoticum* est efficace contre le *varroa* par contact et par fumigation.

Les huiles essentielles administrées par voie orale peuvent améliorer la santé des abeilles selon la dose administrée. Cependant selon **Rossini et al, (2020)**, **Canché-Colli et al, (2021)** l'ingestion des huiles essentielles peut avoir des effets indésirables chez les abeilles et affecter leur santé.

Pour cela, l'objectif de notre travail est d'étudier l'intérêt d'utilisation de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* « le Romarin » et l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* « Armoise » par voie orale sur les abeilles et aussi de tester leur effet antiparasitaire et acaricide contre le *varroa destructor* par pulvérisation.

Nous répondons à travers nos études sur les hypothèses suivantes :

- ❖ Quelle est l'intérêt d'utilisation de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* et *Artemisia herba-alba* par voie orale et/ou par pulvérisation chez les abeilles ?

Quelles sont leurs bienfaits ou leurs dommages sur les abeilles domestiques ?

- ❖ Les huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* et *Artemisia herba-alba* présentent-elles une activité acaricide contre le parasite d'abeille domestique le *varroa destructor* ?

- ❖ Peut-on avoir une dose qui neutralise le *varroa* parasite d'abeille domestique et qui protège à la fois cette dernière ?

Le présent travail est subdivisé en deux grandes parties : une partie de synthèse bibliographique et une partie expérimentale.

La première partie bibliographique englobe trois chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur l'abeille domestique *Apis mellifera*.
- Le deuxième est un aperçu sur la biologie du *Varroa destructor* dont on a mentionné les différentes méthodes de lutte existante.
- Le troisième chapitre est consacré pour des généralités sur les huiles essentielles.

La deuxième partie qui est réservée pour l'expérimentation renferme également deux chapitres :

- Le premier chapitre qui comporte la présentation de l'ensemble du matériel et méthodes utilisés.
- Le deuxième chapitre porte les résultats de notre étude et une réponse pour nos hypothèses de départ.

Et on clôture notre travail avec une conclusion générale.



**Partie 01 : Revue de
littérature**



**Chapitre 01 : généralités
sur l'abeille *Apis
mellifera***



I. L'abeille *Apis mellifera*

I.1. Description de l'abeille domestique *Apis mellifera*

Apis mellifera, appelée abeille domestique, est un insecte de l'ordre des hyménoptères. Cette espèce subit une métamorphose complète au fur et à mesure qu'elle progresse à travers différents stades de développement, notamment l'œuf, la larve, la nymphe et (**Aguila et al., 2007**). Connue pour sa structure sociale complexe, caractérisée par sa vie en colonies, elle était décrite comme *Apis mellefera* pour la première fois par *Linné* en 1758 qui vient du latin « mellis » qui veut dire miel et « ferre » qui veut dire porter ou transporter pas seulement le miel mais aussi le pollen (**Gadoum et al., 2007**). L'abeille domestique joue un rôle essentiel dans la pollinisation des plantes (**Le Conte & Navajas, 2008**). Elle a été domestiquée et introduit dans de nombreuses régions du monde en raison de sa capacité à produire du miel (**Le Conte & Navajas, 2008**). Cette substance précieuse est fabriquée dans des ruches en bois installée à partir du nectar récolté et prélevé à partir d'une variété de fleurs qu'elle butine, ce qui rend l'abeille domestique indispensable à l'agriculture.

I.2. Classification de l'abeille *Apis mellifera*

L'abeille domestique *Apis mellifera* (Figure 1) est classée selon **Le Conte, (2002)** comme se suit :

Règne :	Animalia
Embranchement :	Arthropoda
Sous embranchement :	Antennata
Classe :	Insecta
Sous-classe :	Ptérygota
Ordre :	Hyménoptera
Sous-Ordre :	Aculeata
Super-Famille :	Apoidea
Famille :	Apidae
Genre :	<i>Apis</i>
Espèce :	<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)



Figure 1 : *Apis mellifera* (Honey bee - *Apis mellifera* - BugGuide.Net | Bee, Bee art, Honey bee .)

I.3. Origine de l'abeille *Apis mellifera*

Apis mellifera aurait évolué, à partir d'une abeille du Moyen-Orient issus d'*Apis cerana* pour former trois grandes branches qui comporte neuf espèces (Figure 2) :

- Les abeilles géantes (*A. dorsata* et *A. laboriosa*)
- Les abeilles de petite taille (*A. florea* et *A. andreniformis*)
- Les abeilles de taille moyenne (*A. cerana*, *A. koschevnikovi*, *A. nuluensis*, *A. nigrocincta* et *A. mellifera*) (Le Conte, 2002)

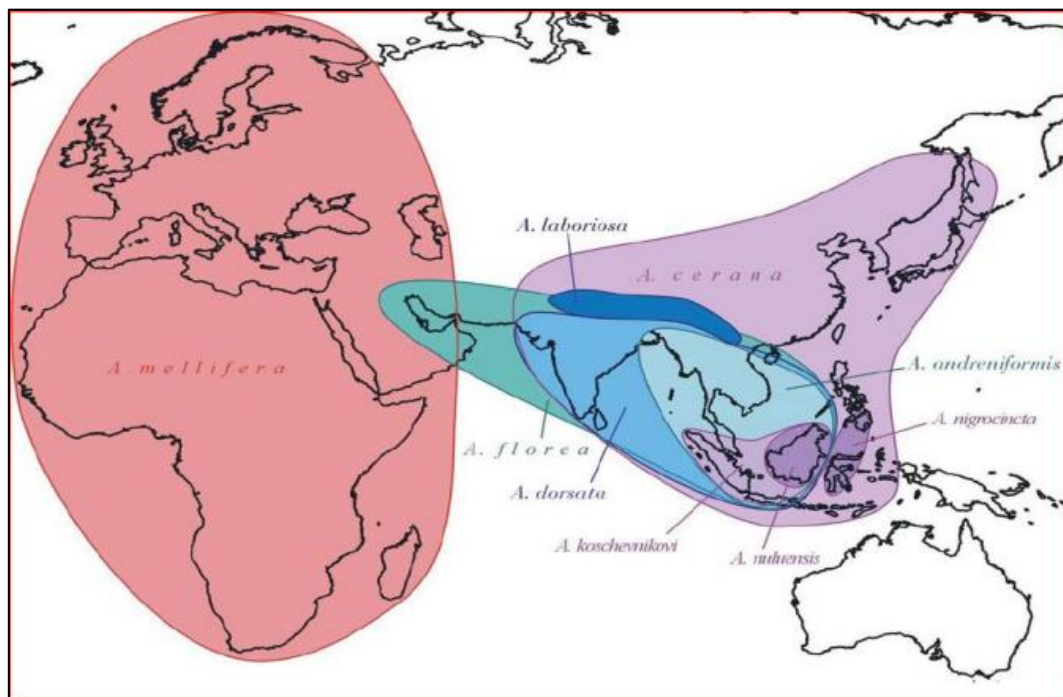


Figure 2 : Carte de répartition naturelle des espèces du genre *Apis*. (Sources : d'après, Ruttner,(1988))

I.4. Diversité et répartition géographique de l'abeille *Apis mellifera*

L'espèce *Apis mellifera* se ramifier en plusieurs sous-espèces qui se distinguent par leurs caractéristiques morphologiques et biologiques, ainsi par leurs répartitions géographiques

4.1 Répartition géographique de l'abeille *Apis mellifera* dans le monde

Apis mellifera se répartie de Kazakhstan et l'est de la Russie et le Moyen-Orient jusqu'à l'Afghanistan (Ruttner, 1988).sa répartition naturelle inclue aussi l'Europe, l'Afrique et le Proche-Orient, mais suites introductions humaines, *Apis mellifera* est actuellement présente dans le monde entier. *Apis mellifera* est l'espèce la plus répandue dans le monde, car elle a pu s'adapter aux différent climats et flores disponibles. Elle comporte 27 sous espèces, qui se

différencier sur la base de certains caractères morphologiques, écologiques et comportementaux. (Le Conte & Navajas, 2008). Les autres espèces d'abeilles du genre *Apis* sont réparties en Asie, et en particulier dans le sud-est asiatique (Figure 3), sous des climats tropicaux (Ruttner, 1988a).



Figure 3 : Carte de répartition naturelle d'*Apis mellifera* qui recouvre l'Afrique (a), l'Europe et le Proche Orient (b). Ici, la carte ne représente que 26 races ou sous-espèces géographiques réparties dans les cinq lignées évolutives (Franck et al., 2001) : Africaine (A), Yéménite (Y) Ouest de la Méditerranée (M), Nord de la Méditerranée (C) et Orientale (O). (Sources : (Mellifica » Des hyménoptères à l'abeille noire)

4.2 Répartition de l'abeille *Apis mellifera* en Algérie

L'abeille algérienne appartient à la lignée africaine A. deux sous-espèces ont été identifiées en Algérie : la sous-espèce *Apis mellifera intermissa* et la sous-espèce *Apis mellifera sahariensis*

4.2.1 La sous-espèce *Apis mellifera intermissa*

La race *Apis mellifera intermissa* ainsi connu sous le nom de « l'abeille tellienne » suite à sa présence dans l'Atlas tellien, ou encore « abeille punique », appartient à la lignée nord-africaine méditerranéenne, elle est caractérisée par sa grande agressivité sa production élevé du miel, elle est la population la plus dominante en Afrique et dans les régions fraîches et évidemment identifiée en Algérie L'abeille algérienne *intermissa* elle est connue par sa couleur

noire contrairement aux races *intermissa* identifiées dans les oasis et les oueds, le long de la limite nord du Sahara au Maroc sont jaunâtres (Hepburn & Radloff, 2013)

La répartition géographique de la sous espèce *Apis mellifera intermissa* s'étend tout l'Afrique du nord et les pays du Maghreb bordée par la méditerranée au nord du Maroc à la Tunisie ; elle est présentée dans l'Atlas tellien dans le nord-ouest du Maroc et dans le secteur Algérien dans le nord-est. (Hepburn & Radloff, 2013)

4.2.2 La sous-espèce *Apis mellifera sahariensis*

La race *Apis mellifera sahariensis* est connu sous le nom d'abeille saharienne ou abeille du sahara suite à sa présence et son identification dans les sud des montagnes et les bordes de Sahara.

Elle est distinguable par sa couleur jaunâtre -rougeâtre dans les sud des montagnes et par sa couleur jaune dans les oasis et les oueds du Sahara algérienne et marocaine (Hepburn & Radloff, 2013).

Elle caractérisée par sa forte adaptation aux conditions extrêmes dont la température se varie de 8 au 50 selon Ruttner *et al*, (1989) et manque de la flore, mais malheureusement elle est en déclin suite à l'introduction de l'abeille tellien et au lutte anti-acaridienne en 1980 qui entraine une menace sérieuse de disparition de cette espèce.

Pour sa distribution géographique la population des abeilles sahariennes se présentent dans le sud-ouest algérien et les oasis marocains (Hepburn & Radloff, 2013) (Figure 4).

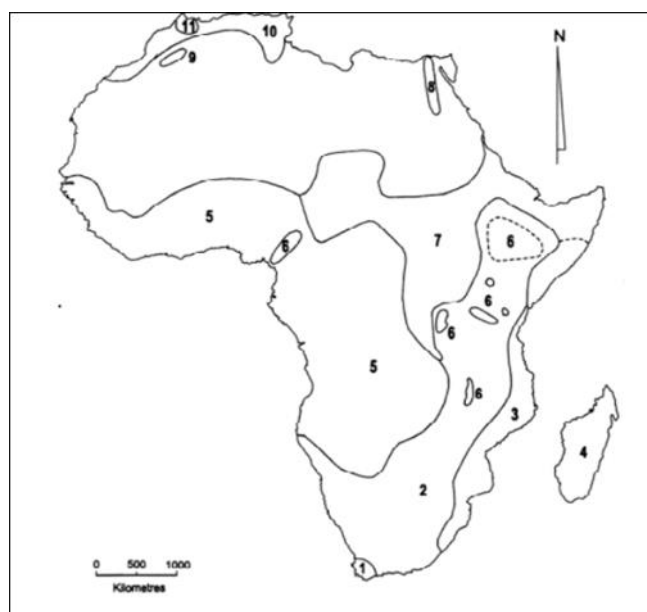


Figure 4: Distribution des races d'abeilles melliferes selon (Ruttner, 1988 ; Hepburn & Radloff, 2013). 1. A. m. Capensis, 2. A. m. scutellata, 3. A. m. litorea, 4. A. m. unicolor, 5.

A. m. adansonii, 6. A. m. monticola, 7. A. m. jemenitica, 8. A. m. lamarkii, 9. A. m. sahariensis, 10. A. m. intermessa, 11. A. m. major.

I.5. Morphologie générale externe de l'abeille

L'abeille, comme tous les insectes, a un corps divisé en trois parties (Figure 5) :

- **La tête**, qui contient le cerveau, les yeux, les antennes et la pièce (**Biri, 2002**), la forme de la tête se diffère entre les trois castes d'abeilles (à détaillée)
- **Le thorax**, la partie la plus dure du corps (**Riondet, 2013**), sa fonction principale c'est d'assurer la locomotion de l'abeille grâce aux ailes et les pattes et aux muscles du vol et de marche puissantes présentent dans cette partie (**Clément, 2009**), le thorax occupe également d'une fonction spécifique qui est la collecte du pollen grâce aux pattes postérieures qui sont adaptée à la récolte (**Biri, 2002; Le Conte, 2004**).
- **L'abdomen**, la partie la plus grande du corps composé de 7 anneaux mobiles allongeables selon besoins (**Frères & Guillaume, 2011**), elle renferme les organes digestifs, circulatoire et certaines glandes, elle se termine par le dard ; appareil vulnérable (pour le venin), les organes reproducteurs et le (**Winston, 1993**).



Figure 5 : morphologie externe de l'abeille, source (**Domi, 2017**)

I.6. Colonie d'abeille ; les trois castes d'abeilles

L'abeille domestique est un insecte eu-sociale qui vit en colonie qui est caractérisé par trois individus indispensables pour le développement et le bon fonctionnement de la colonie c'est-à-dire un seul individu ne peut pas survivre pour cela les trois castes sont nécessaire pour la survie de la colonie.

En effet les individus qui structurent la colonie sont 3 castes qui sont morphologiquement et physiologiquement différents :

- **La reine** : (1 seule), mère de tous les individus du superorganisme, (Le Conte, 2004)
- **Les faux-bourçons ou les male de la ruche** : (500 à 800 environ), essentiellement destinés à la reproduction,
- **Les ouvrières** (de 10.000 à 70.000), effectuent des tâches adaptées à leur âge (Le Conte, 2004)

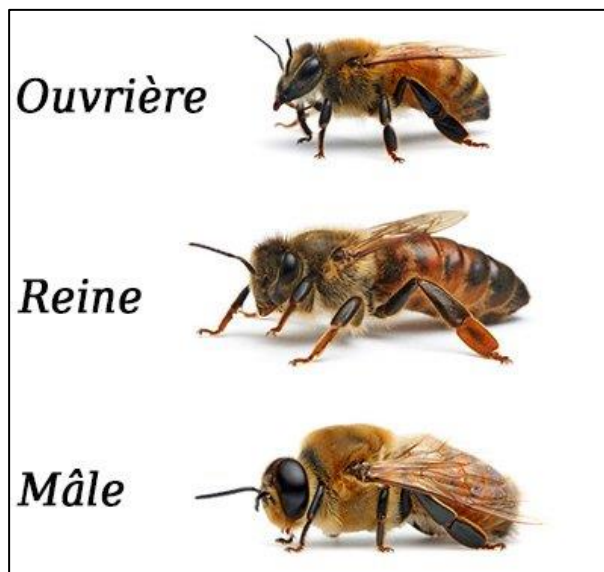


Figure 6 : Les trois castes d'abeilles (— Site des ressources d'ACCES.)

6.1. Différencier les castes

Une colonie d'abeilles est composée de trois castes distinctes et chacune se caractérise par une morphologie propre, adaptée à son rôle bien défini au sein de la colonie :

L'ouvrière

- Forme de tête triangulaire
- Abdomen court fin et pointu
- Ailes qui couvrent l'abdomen
- Petits yeux

La reine

- Tête de forme ovoïde
- Abdomen long, fin et pointu
- Ailes qui arrivent au milieu de l'abdomen
- Petits yeux

Le faux-bourdon ou le male

- Forme de tête arrondie
- Abdomen court et trapu
- Ailes qui dépassent de l'abdomen
- Gros yeux

6.2. Cycle de vie des individus

Le développement des trois castes se diffère de stade larvaire au stade adulte, cette différence consiste la durée de chaque étape.

L'abeille passe au cours de son développement par une succession de phases : l'œuf, la larve, la nymphe, l'adulte. (Figure 7)

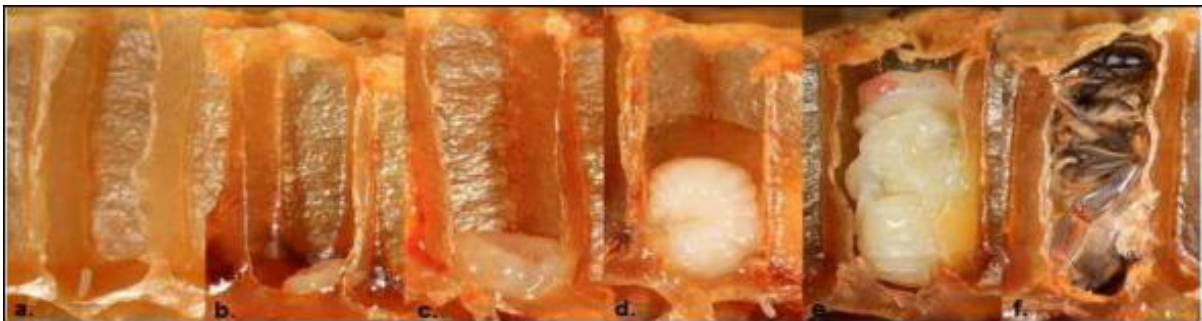


Figure 7 : Les grandes étapes du développement communes aux trois castes (Alice, 2013).

Légende : a. œuf fraîchement pondu, b., c., d. : stade larvaire, e. : stade nymphal f. : abeille adulte prête à sortir (Le Conte, 2002)

Tableau I : Durée du développement de l'abeille selon chaque caste, en nombre de jours (j.). Tableau modifié et traduit de (Gela Bayeta, 2014).

Castes	Reine	Male	Ouvrière
Eclosion de l'œuf	3J	3J	3J
Larve	5J	6.5J	6J
Nymphe	8J	14.5J	12J
Emergence à l'adulte	16J	24J	21J

6.3. Régulation des taches entre les individus

- **La reine** : est la seule femelle fertile dans la colonie et donc elle est indispensable pour la survie de la colonie car elle assure sa durabilité (Marchenay & Bérard, 2007) en occupant un travail principal qu'est pondre les œufs (Jusqu'à 2000 œufs/ jour) après son accouplement avec des mâles ; la reine est donc la mère de tout le superorganisme de la colonie (ouvrières et faux-bourdon) (Le Conte, 2002). Elle joue également un rôle crucial dans le maintien de bon fonctionnement de la colonie d'abeilles.
- **Les faux-bourdon** : les mâles de la colonie, Leurs seule fonction est de féconder les reines lors des vols nuptiaux (Straub, 2007). De ce fait, les mâles n'ont ni dard, ni aucun outil pour récolter (Suchail, 2001). Représentent un petit pourcentage dans la colonie, leur nombre augmente au printemps et à l'arrivée du l'automne soit ils meurent ou ils seront éliminés de la colonie (Le conte ,2002).
- **Les ouvrières** : Elles représentent la majorité de la colonie, soit 30 000 à 60 000 individus par colonie. Les ouvrières assument le travail de la colonie et la maintiennent en bonne condition. L'ouvrière accomplira des tâches différentes selon son âge : (Le Conte, 2004)
 - De 1 à 3 jours de vie, elles nettoient la ruche.
 - Du 3e au 9e jour, elles nourrissent les larves et ferment les cellules contenant des larves, c'est **les ouvrières nourrices**.
 - Du 9e au 12e jour, elles réceptionnent le pollen apporté par les butineuses et le dépose dans les alvéoles ; c'est **les receveuses**.

- Du 12^e au 18^e jour, elles construisent des rayons ou en réparent.
- Du 7^e au 21^e jour, elles battent des ailes à l'entrée de la ruche pour la ventiler, c'est **les ventileuses**
- Du 15^e au 25^e jour, elles organisent la sécurité en interdisant l'accès de la ruche à des abeilles étrangères, c'est **les gardiennes**.
- Enfin, du 22^e jour jusqu'à la fin de leur vie, elles butinent et ramènent leurs trouvailles à la ruche, c'est **les butineuses**.

6.4. Durée de vie des individus de la colonie

La durée de vie des individus d'une colonie d'abeilles *mellifères* varie remarquablement en fonction de leur caste et de la saison

Tableau II : espérances de vie chez les trois castes selon la saison, source : Quelle est la durée de vie d'une abeille ? (2024)

Castes	Reine	Male	Ouvrières
Été	3 à 4 ans	22 jours	36 jours
Hiver	3 à 4 ans	59 jours	5 Mois

II. Habitat et alimentation

II.1. Habitat : la ruche

Les abeilles vivent dans des ruches généralement construites en bois, les plus utilisées en apicultures c'est celle à cadres mobiles qui permet aux apiculteurs de contrôler et manipuler ses colonies d'abeilles.

1.1. Structure de la ruche

Les ruches conçues pour être modulaires, ce qui permet aux apiculteurs d'ajouter ou de retirer des éléments en fonction des besoins de la colonie, et les éléments les plus courants d'une ruche comprennent (Figure 8) :

➤ **Le toit :**

- Sert de couverture à la colonie contre les intempéries.
- Protège les abeilles pour garantir un miel sain.

- **Couvre cadre :**
 - Placé en dessous du toit.
 - Régule la température interne de la colonie.
 - Contribue à la protection des abeilles.
- **La hausse :**
 - Partie plus petite que le corps de la ruche.
 - Mobile, elle est posée au-dessus du corps pendant la période de récolte.
 - Son rôle est de recueillir le miel excédant pouvant être récolté.
- **Le corps :**
 - Composé de 10 ou 12 cadres.
 - Abri principal des abeilles.
 - Le nid y vit et stocke le miel (et le pollen) pour l'hiver.
 - On ne récolte jamais le miel dans cette partie.
- **La planche d'envol :**
 - Constitue le bas de la ruche ; il est prolongé à l'avant, ce qui assure aux abeilles une piste d'envol.

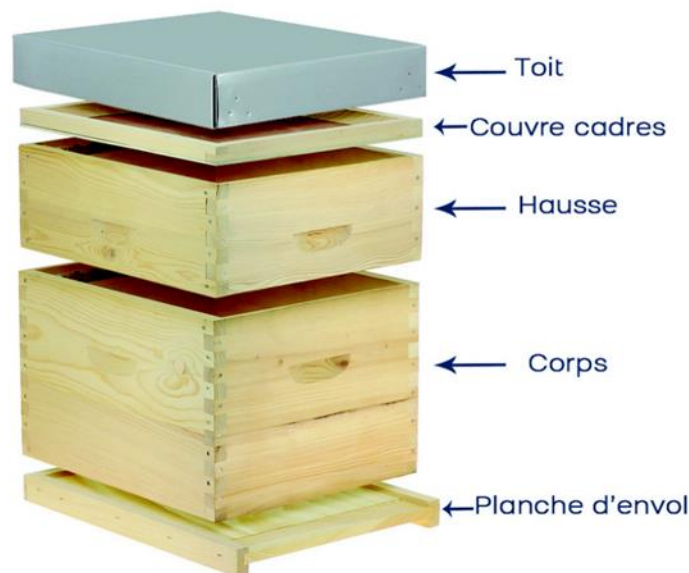


Figure 8 : structure d'une ruche (RUCHES.NET, 2018)

1.2. Organisation des cadres

La disposition des cadres au sein d'une ruche joue un rôle crucial dans la production et le stockage de divers produits de la ruche (Figure 9)

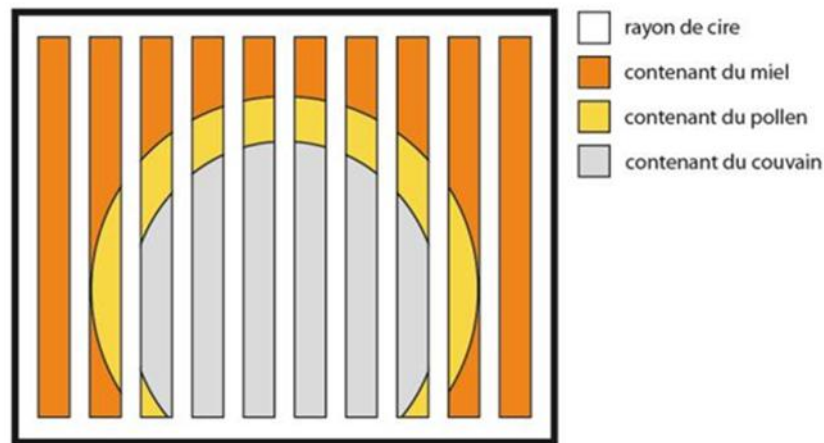


Figure 9 : Organisation du cadre dans la ruche (Laura, 2023)

1.3. Les produits de la ruche

- Le miel
- Le pollen
- La cire
- Le venin
- La propolis
- La gelée royale

1.4. Les ennemis de la ruche

Les abeilles, comme tous les êtres vivants, peuvent être menacées par de nombreux facteurs. On peut les classer en 4 grandes catégories :

- **Les agents biologiques** : des virus et des bactéries peuvent rendre les abeilles sensibles et vulnérables aux maladies tels que, le varroa qui est un acarien qui parasite les abeilles et les affaiblit.
- **Les agents chimiques** : les pesticides utilisés dans l'agriculture peuvent nuire aux abeilles. Certains produits apicoles, comme les traitements contre le varroa, peuvent aussi être nocifs.

- **L'environnement** : le manque de fleurs, le froid et l'humidité excessive peuvent également fragiliser les abeilles, ainsi que changement climatique a également un impact négatif sur les abeilles, car il perturbe leur cycle de vie.
- **Les pratiques apicoles** : des pratiques apicoles non-appropriées, comme une mauvaise gestion des ruches, peuvent également affaiblir les colonies d'abeilles et affecte leur survie.

II.2. L'alimentation

Les réserves de nourriture sont très importantes pour les abeilles. Elles leur permettent de survivre pendant l'hiver et au printemps, quand il n'y a pas beaucoup de fleurs à butiner.

Les abeilles ont assez de nourriture au printemps et en été. Mais en automne, après la saison de production de miel, leurs réserves peuvent être réduites.

Si vous prenez du miel aux abeilles, il est important de leur en laisser assez pour qu'elles puissent passer l'hiver. On estime qu'il faut leur laisser au moins 12 à 14 kg de provisions, ce qui correspond à environ 3 à 4 cadres de corps de ruche remplis de miel.

Il existe deux types d'alimentation :

- Alimentation lourde.
- Alimentation légère.

2.1. Alimentation lourde

Pendant l'hiver, les abeilles sont moins actives et ont du mal à chauffer la ruche, du coup, l'eau du sirop s'évapore plus lentement et les abeilles risquent de ne pas pouvoir le stocker correctement, c'est pour cela qu'on administre un sirop plus épais en hiver, avec moins d'eau. En effet, les abeilles ont moins de travail pour faire évaporer l'eau et peuvent stocker le sirop plus facilement. Le sirop d'hiver est généralement fabriqué avec 1 kg de sucre pour 60 cl d'eau. (Waring & Waring, 2012)

2.2. Alimentation légère

Le sirop plus léger est donné aux abeilles au printemps, en été ou en cas de manque de nourriture, car il est plus facile à digérer et à stocker. Ce sirop est préparé avec un kg de sucre pour 1 litre d'eau. (Waring & Waring, 2012)



**Chapitre 02 : étude du
parasite *Varroa Destructor***



1. La varroase

La varroase est parasitose qui affecte l'abeille domestique *Apis mellifera* dans le monde entier, elle parasite l'abeille adulte et son couvain, due à un acarien ectoparasite hématophage *Varroa destructor* (Vidal-Naquet, 2012).

La varroase est une maladie dangereuse pour l'abeille, peut entraîner des dommages sérieux pour la ruche et la colonie (Hanely et Duval, 1995) ainsi causé des pertes économiques importantes.

1.1. Agent causale

Le *Varroa destructor* est un acarien mésostigmaté (acarien minuscule), parasite externe qui attaque aux abeilles domestiques (*Apis mellifera*), cet ectoparasite dépend des abeilles dans son développement (un ectoparasite obligatoire qui ne peut se développer que chez l'abeille) et qui est transmis et assure son déplacement d'une colonie à une autre grâce déplacement des abeilles (parasite phorétique), le varroa peut affaiblir les colonies et en effet affecte leurs productions comme il peut favoriser la propagation des maladies.

1.2. Evolution du *varroa destructor*

Le *varroa destructor* est un acarien qui a été développé suite un acarien d'origine asiatique *varroa jacobsoni* qui a été capturé pour la première fois en île de Java en Inde sur son hôte originale qui l'abeille orientale d'Asie *Apis cerana* (Fabricius, 1973) par l'entomologiste Edward Jacobson.

En 1904, le *varroa jacobsoni* a été décrit pour la première fois par le Dr. Oudemans, acarologue hollandais et lui a donné son nom scientifique ; *varroa jacobsoni* suite à son découvreur ; Edward Jacobson.

L'abeille asiatique *Apis cerana* est une espèce qui est très proche de l'abeille européenne *Apis mellifera* sur l'état physiologique et comportemental, pour cela le *varroa jacobsoni* a fait une transition d'hôte de son hôte originale *Apis cerana* vers *Apis mellifera* (espèce plus productive) (Figure 10) suite à l'introduction et à l'importation de cette dernière dans le territoire asiatique, ou possiblement en raison des échanges commerciaux ou transport de matériel et d'apiculteurs infestés. Ceci a permis par la suite la propagation de cet acarien dans le monde entier, sauf en Australie, et l'île sud de la Nouvelle Zélande et certains pays africains (Faucon et al., 2007).

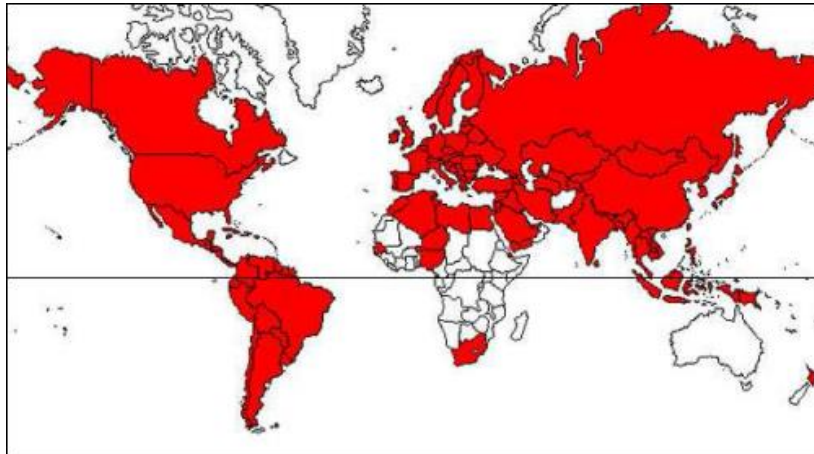


Figure 10: Répartition géographique actuelle de *Varroa destructor* (Rosenkranz et al.,2010).

En 1975, *Varroa* atteint le continent africain par la Tunisie, suite à l'importation de colonies d'abeilles en provenance de Roumanie et progresse vers l'ouest en Algérie et vers l'est et le sud en direction de la Libye, et en Amérique du Sud, *Varroa* s'étend depuis le Paraguay vers la Bolivie, le Brésil et l'Uruguay, et remonte vers l'Amérique centrale et l'Amérique du Nord.

En 1980, *Varroa* arrive sur les rives méditerranéennes par la Grèce et la Yougoslavie (Griffiths et Bowman, 1981)

Selon Anderson et Truman,(2000), des observations ont révélé des différences dans le développement de *Varroa destructor* chez les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) et les abeilles asiatiques (*Apis cerana*). Chez *A. mellifera*, le parasite se développe dans le couvain des mâles et des ouvrières, tandis que chez *A. cerana*, il se limite au couvain des faux bourdons.

Intéressé par ces observations, Anderson et Truman ont mené des études génotypiques et phénotypiques en 2000 pour confirmer que *Varroa destructor* et *Varroa jacobsoni* étaient effectivement deux espèces distinctes (Figure 11).

Le genre *Varroa* compte deux espèces distinctes :

- ***Varroa destructor* Anderson & Trueman, 2000 :**
 - **Hôte naturel :** *Apis cerana* (abeille asiatique)
 - **Parasite également :** *Apis mellifera* (abeille domestique), causant la varroase, une maladie grave
 - **Distribution actuelle :** Mondialement répandu
- ***Varroa jacobsoni* Oudemans, 1904 :**

- **Hôte** : *Apis cerana* (abeille asiatique) uniquement
- **Distribution** : Limitée à l'Asie

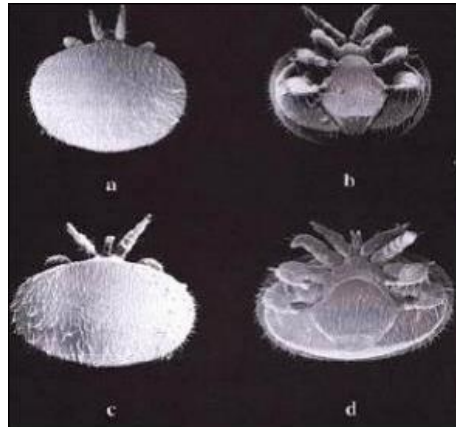


Figure 11 : Représentation des deux espèces de varroa :(a et b) vu dorsale et ventrale du *V.jacobsoni*, (c et d) vu dorsale et ventrale du *V. destructor* (Anderson et Truman, 2000).

Des études de biologie moléculaire ont révélé que *Varroa destructor*, parasite d'*Apis mellifera* (nommé par **Anderson et Truman**), est distinct de *Varroa jacobsoni*. Dont Les Varroa parasitant *Apis cerana* sont plus petits que ceux parasitant *Apis mellifera* dont (**Bertrand,2003**) a émis l'hypothèse que cette différence de taille est liée à l'espèce hôte.

En Algérie, (**Belaid & Doumandji, 2010**) confirme que l'abeille locale *Apis mellifera intermissa* est parasitée par *Varroa destructor*.

Le décret exécutif n°95-66 du 22 ramadhan 1415 correspondant au 22 février 1995 établit la liste des maladies animales à déclaration obligatoire en Algérie et définit les mesures générales qui leur sont applicables. La varroase figure sur cette liste, soulignant son importance en tant que problème de santé animale dans le pays et l'obligation de sa déclaration.

2. Biologie du *varroa destructor*

2.1.Classification du *varroa destructor*

Selon **Anderson et Truman, (2000)** le *Varroa destructor* est classé comme ce suit :

Embranchement : Arthropoda

Genre : Varroa

Sous-embranchement : Chelicerata

Espèce : Varroa destructor

Classe : Arachnida

Ordre : Mesostigmata

Super ordre : Parasitiformes**Famille : Varroidae**

2.2.Morphologie

Le *varroa destructor* est un petit acarien qui s'attaque aux abeilles domestiques (*Apis mellifera*), qui est visible à l'œil nu contrairement à d'autres parasites microscopiques, ce qui facilite son identification. Le *varroa* présente un dimorphisme sexuel remarquable (Figure12 et Figure13), signifiant que les mâles et les femelles diffèrent visiblement en taille et en morphologie. (Mondet et al., 2016)

➤ **La femelle du varroa :** (Weldling, 2014)

- **Taille :** Visible à l'œil nu, entre 1,5 et 1,8 mm de long et 1 et 1,2 mm de large
- **Forme :** Elliptique, plus large que longue
- **Couleur :** Brun foncé
- **Comportement :** S'accroche aux abeilles adultes
- **Particularité :** Se distingue facilement des abeilles par sa couleur et sa forme.



Figure 12 : femelle de varroa. (NC State Extension Publications)

➤ **Le mâle de varroa :** (Lhomme, 1990)

- **Couleur :** Jaunâtre
- **Forme :** Arrondie
- **Taille :** Plus petit que la femelle, entre 0,8 et 0,9 mm de diamètre
- **Comportement :** Discret, vit exclusivement dans les cellules du couvain de l'abeille
- **Difficulté de repérage :** Taille réduite et couleur discrète



Figure 13 : Le mâle de varroa (Gilles, 2012).

2.3.Cycle de développement de *Varroa destructor*

Hôte : Abeille domestique (*Apis mellifera*)

Le cycle de vie de *varroa destructor* lié à celui de son hôte, l'abeille domestique (**Vidal-Naquet, 2012**). Il passe par différentes étapes : œuf, deux stades larvaire (protonympe, deutonympe), préadulte et adulte (Figure14).

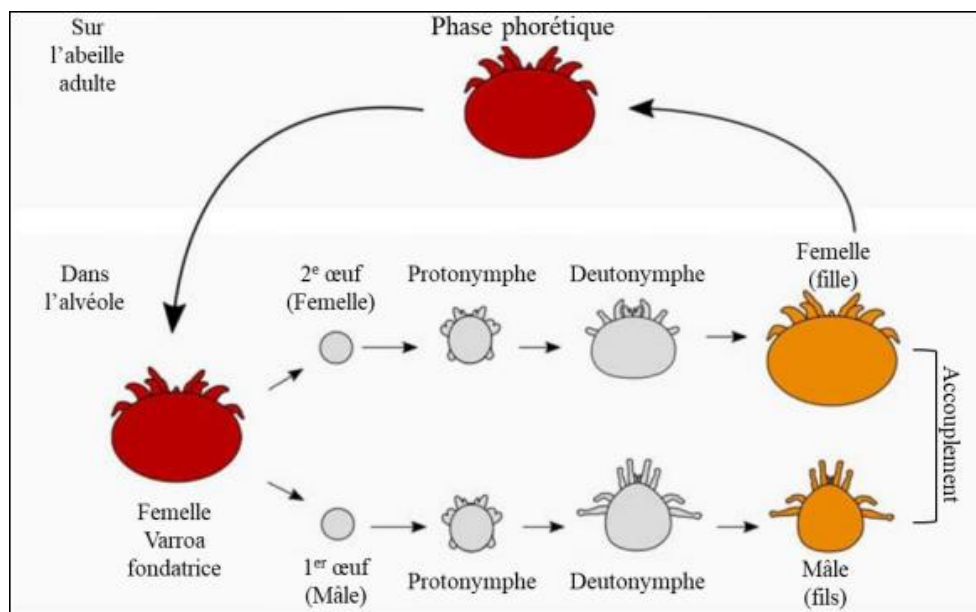


Figure 14 : Les différentes phases de la vie de varroa : œuf, protonympe, deutonympe, préadulte et adulte. Un dimorphisme sexuel est visible en forme adulte. Figure adaptée de McAfee A et al., 2017

La femelle varroa (fondatrice) présente deux phases distinctes ; la phase phorétique (sur les abeilles adultes) et la phase reproductive (sur les nymphes) (**Blatt & Rocés, 2001; Borsuk et al., 2017a; Nazzi & Le Conte, 2016**) (Figure 16), donc le varroa peut infecter les abeilles à la fois au stade larvaire et adulte (**Nazzi & Le Conte, 2016**) (Figure16). Pour assurer sa survie le changement d'hôte entre les deux phases est crucial, infestant ainsi l'ensemble de la (**Yevstafieva V. O. et al., 2020**). Le mâle n'a qu'un seul rôle unique il est bien la reproduction, il a une courte durée de vie et il vit uniquement dans les cellules operculées et meurt à l'émergence de la jeune abeille (**Borsuk et al., 2017a**).

2.3.1. Phase phorétique

Durant cette phase, la femelle Varroa se fixe sur l'abeille adulte, se nourrissant de son corps gras et assurant sa dispersion au sein de la colonie et vers d'autres ruches.



Figure 15 : acariens *Varroa destructor* en phase phorétique attachés sur l'abdomen d'une abeille. (Rosenkranz et al., 2010)

La phase phorétique débute dès l'éclosion de la jeune abeille. Les femelles Varroa, la mère et ses filles, s'attachent à leur hôte, l'abeille adulte (Figure 15). Les mâles et les autres femelles immatures, restés dans la cellule operculée, sont éliminés par les abeilles nettoyeuses. Le Varroa s'insère entre les segments abdominaux de l'abeille et perce sa peau pour se nourrir par aspiration. Après l'éclosion de la jeune abeille, le Varroa change d'hôte pour infester une nourrice, généralement âgée de 12 à 14 jours. La phase phorétique favorise la dispersion du Varroa au sein de la ruche et potentiellement vers d'autres colonies par contact direct entre abeilles. La phase phorétique dure environ une dizaine de jours en été, mais peut s'étendre sur plusieurs mois en hiver. La phase phorétique se termine lorsque la femelle Varroa s'introduit dans une alvéole, déclenchant ainsi un nouveau cycle de reproduction. (Rosenkranz et al., 2010).

2.3.2. Phase reproductive

La phase de reproduction assure la survie et la propagation de l'espèce au sein des colonies d'abeilles. Cette phase se déroule exclusivement dans les alvéoles operculées, où les larves d'abeilles se développent.

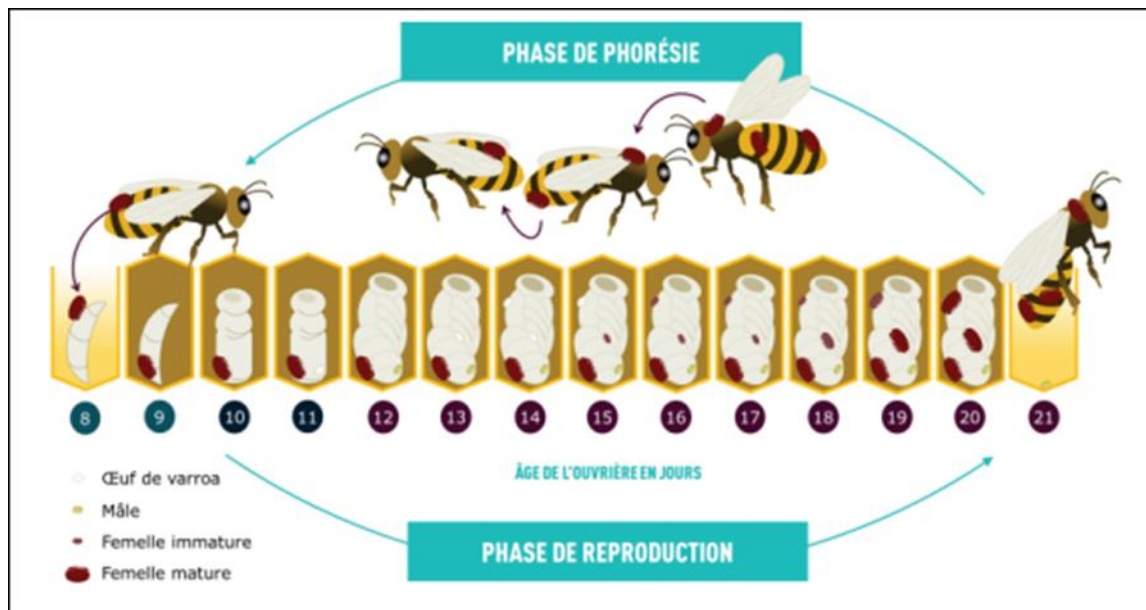


Figure 16 : : les deux phases de cycle de vie de varroa : phase phorétique et reproductive.

Légende : La femelle varroa est attaché à l'abeille adulte pendant la phase phorétique. La reproduction de varroa se déroule dans l'alvéole operculé.

Durant cette phase la femelle Varroa, après s'être attachée à une abeille nourrice, pénètre dans une alvéole contenant une larve d'abeille au stade prénymphe, environ 15 heures avant l'operculation, et elle commence à pondre ses œufs environ 70 heures après l'operculation. Le premier œuf est haploïde et donne naissance à un mâle, tandis que les œufs suivants, jusqu'à 5 pour les ouvrières et 6 pour les faux bourdons, sont fertilisés et donnent naissance à des femelles. Les œufs éclosent et les larves se développent, passant par les stades larvaire et nymphal (Figure 16). Le développement dure environ 6,6 jours pour les femelles et 5,8 jours pour les mâles. Le mâle, arrivé à maturité sexuelle avant la femelle, s'accouple avec les femelles adultes (ses sœurs) dans l'alvéole. Les jeunes Varroa, mâles et femelles, émergent de l'alvéole après la naissance de l'abeille adulte. (Morrison ,2013)

3. Modes de transmission de *varroa destructor* chez les abeilles *Apis mellifera*

Les virus qui affectent les abeilles *Apis mellifera* se propagent par deux modes principaux : la transmission intra-colonie et la transmission inter-colonie.

3.1. Transmission intra-colonie

➤ **Transmission horizontale intra-colonie :**

Les abeilles peuvent se transmettre le parasite par contact direct, en se touchant ou en se frottant les unes contre les autres. (Chen et al., 2006)

Peut également se transmettre par voie orale ou par Trophallaxie, processus par lequel les abeilles partagent de la nourriture (Chen et al., 2006)

➤ **Transmission verticale intra-colonie :**

Via l'ovaire : Le varroa peut être transmis de la reine aux œufs qu'elle pond. Les abeilles issues de ces œufs seront infectées dès leur naissance. (Chen et al., 2006)

Ou via le Sperm : Les virus peuvent également être transmis par le sperme des mâles infectés aux reines lors de l'accouplement. (Chen et al., 2006)

3.2. Transmission inter-colonie

➤ **Transmission verticale inter-colonie :**

Quand il s'agit de créer une nouvelle colonie infestée par essaimage

➤ **Transmission horizontale inter-colonie**

Peut-être résulter du comportement des abeilles :

- Pillage : Abeilles pillardes ramènent des agents pathogènes.
- Dérive : Butineuses se trompent de ruche et y entrent avec des parasites.
- Echange lors du butinage.

Mais aussi peut-être liée aux pratiques apicoles

- Transhumance : Ruches saines près de ruches infestées, ou vice versa.
- Echange de cadres : Cadres d'une ruche malade vers une colonie saine.
- Furetage : Butineuses dans des cadres ou ruches malades abandonnées.

4. Facteurs influençant la transmission

- **Localisation géographique** : l'infestation par le varroa varie selon les régions. Les abeilles situées dans des zones avec une forte propagation du varroa sont plus à risque d'infection.

- **Pratiques apicoles :** Certaines pratiques apicoles, comme le transport des colonies ou l'utilisation de matériel contaminé, peuvent favoriser la transmission du varroa.

5. Effets et symptômes d'infestation du *varroa destructor* sur les abeilles domestiques

5.1.Effets d'infestation du varroa sur les abeilles

5.1.1. A l'échelle individuelle

Le *varroa destructor* peut causer des dommages importants sur la santé et la survie des colonies d'abeilles. Ses effets néfastes se manifestent à plusieurs niveaux :

➤ **Impact sur le comportement :**

Les abeilles parasitées montrent une diminution de leur capacité d'apprentissage (**Kralj & Fuchs, 2006**). Les butineuses perdent leur sens de l'orientation, augmentant ainsi les risques de non-retour à la ruche (**Kralj et al., 2007**). Ces dernières subissent une perte et une augmentation de mortalité importante dans les ruches fortement parasitées (**Kralj et al., 2007**).

➤ **Changements physiologiques :**

Varroa se nourrit principalement du l'hémolymphe des abeilles, ce qui affecte leur développement et subissent une perte de poids d'environ 30%, en affectant ainsi leur espérance de vie (**Y. P. Chen et al., 2005; X. Yang & Cox-Foster, 2007**)

Le varroa est responsable également de la réduction de la taille des glandes hyopharyngiennes, responsables de la production de gelée royale chez les abeilles parasitées, réduisant ainsi leur capacité à nourrir le couvain (**Borsuk et al., 2017b; Buckemüller et al., 2017**). Comme il peut perturber le métabolisme des lipides, des protéines et de l'eau chez les abeilles, affectant leur santé et leur survie (**Annoscia et al., 2012; Y. P. Chen et al., 2005; van Dooremalen et al., 2013**)

Ce parasite redoutable affaiblit le système immunitaire des abeilles, les rendant plus vulnérables aux maladies (**Blatt & Roces, 2001; Marche et al., 2019**)

Les faux bourdons parasités présentent une diminution de leur poids, de leur fertilité et de leur nombre de spermatozoïdes (**Blatt & Roces, 2001; Duay et al., 2002**).

➤ **Changements morphologiques :**

Les abeilles parasitées durant leur développement pèsent moins que les abeilles saines, ce qui affecte leur performance et leur longévité (**Blatt & Roces, 2001; Borsuk et al., 2017a; Bowen-Walker & Gunn, 2001; Duay et al., 2002; Rosenkranz et al., 2010b; van Dooremalen et al., 2013**). Ces abeilles infectées peuvent avoir des ailes plus petites et déformées, réduisant leur capacité de vol (**De Jong et al., 1982**).

➤ **Transmission de maladies :**

Varroa joue un rôle crucial dans la transmission de plusieurs virus dangereux pour les abeilles, tels que le virus des ailes déformées et les virus du complexe AKI (**Peck, 2021**).

Varroa peut aggraver les effets d'autres agents infectieux, tels que le champignon *Nosema ceranae* (**Rosenkranz et al., 2010**).

5.1.2. A l'échelle de la colonie

Au-delà des impacts individuels sur les abeilles, l'infestation par *Varroa destructor* a des conséquences désastreuses pour les colonies.

➤ **Perturbation du rôle social des abeilles :**

Les abeilles infestées, affaiblies et malades, ne peuvent plus assumer leurs rôles essentiels au sein de la colonie :

- Nourrir les larves
- Nettoyer les alvéoles
- Défendre la ruche
- Assurer la thermorégulation
- Participer à la communication

➤ **Affaiblissement des colonies :**

Varroa provoque une augmentation de la mortalité des abeilles, réduisant ainsi la force de travail de la colonie. La reproduction est également affectée, avec une diminution de la surface de couvain et du nombre de jeunes abeilles.

➤ **Diminution de la production :**

La baisse d'énergie et la perturbation des comportements des abeilles infestées se traduisent par une réduction notable de la production.

Diminution de la surface du couvain veut dire moins de larves nourries et donc moins d'abeilles pour assurer la production dans la colonie. Cette dernière devient moins productive ce qui affecte la production de miel et de pollen, fragilisant d'autant plus la colonie mais aussi aura un impact économique direct sur les apiculteurs et l'apiculture.

➤ **Vulnérabilité accrue aux maladies :**

L'affaiblissement général des abeilles et le stress causé par l'infestation les rendent plus sensibles aux maladies. *Varroa* peut également agir comme vecteur de virus, favorisant leur propagation au sein de la colonie.

➤ **Effondrement des colonies :**

Dans les cas d'infestation massive et non contrôlée, *varroa* peut mener à l'effondrement total d'une colonie d'abeilles en quelques années. La disparition des colonies d'abeilles a des conséquences graves sur l'ensemble de l'écosystème, affectant la pollinisation des plantes et la production agricole.

5.2.Symptômes d'infestation des abeilles par *varroa destructor*

Les signes cliniques des infections virales chez les abeilles peuvent être variés et non spécifiques, ce qui rend le diagnostic difficile. Cependant, certains symptômes peuvent alerter les apiculteurs sur la présence potentielle d'un virus dans la colonie. Les Signes les plus fréquents sont la paralysie et les difformités. Les abeilles peuvent être asymptomatiques (**Peck, 2021**)

6. Détection et identification de taux d'infestation par *Varroa destructor*

Effectuer un dépistage afin de déterminer la présence ou l'absence de *varroa destructor*, ainsi évaluer le taux de son infestation.

Il existe différentes méthodes de détection, certains nécessitent une bonne connaissance de *varroa* et de l'abeille ainsi leurs biologies par l'apiculteur (**Robeau ,1986**) parmi ces méthodes :

- **Inspection visuelle** : est une méthode simple et rapide pour détecter la présence de *Varroa destructor* dans les colonies d'abeilles. Il suffit d'observer directement les acariens sur les abeilles et les cadres de la ruche. Une loupe peut être utilisée pour observer les abeilles et les cadres de plus près et identifier plus facilement les varroas surtout s'ils sont peu nombreux.
- **L'inspection du couvain** : est une méthode complémentaire à l'inspection visuelle qui permet d'estimer le niveau d'infestation par *Varroa destructor* dans les colonies d'abeilles. Elle consiste à examiner les pupes operculées après avoir les prélevées (environ 100 pupes) à l'aide d'un peigne à désoperculer, stade où les varroas se développent préférentiellement à l'intérieur des cellules et on recherche la présence de varroa et les compter pour déterminer le taux d'infestation.
- **Chute naturelle du Varroa (langes)** : c'est une méthode qui offre aux apiculteurs une approche simple et pratique pour surveiller le niveau d'infestation par *Varroa destructor* dans leurs colonies d'abeilles. Elle consiste à placer un carton collant sur le plancher de la ruche. Les varroas tombés des abeilles infestées à la surface collante, permettant de les compter et d'estimer le taux d'infestation. (Alice, 2013).

Afin de calculer le taux d'infestation on divise le nombre de varroa compté sur le nombre de jours durant le carton est laissé en place

- Avantages : la méthode est simple facile à mettre en œuvre, non-invasive (ne nécessite pas l'ouverture de la ruche et perturber les abeilles), elle permet également de suivre à distance dont on peut laisser le carton collant en place pendant plusieurs jours.
 - Inconvénients : la méthode ne permet pas de calculer le pourcentage précis d'infestation de la colonie (estimation approximative), elle nécessite deux visites au rucher une pour placer le carton et une autre pour le retirer et compter les Varroas.
- **Sucre en poudre** : Cette méthode permet d'estimer le pourcentage d'infestation par *Varroa destructor* dans une colonie d'abeilles. Elle consiste à utiliser du sucre en poudre pour déloger les parasites des abeilles. On prélève environ 300 abeilles de la chambre à couvain, on les plaçant dans un bocal et fermer le couvercle avec un tamis grillagé. Ajouter 1 à 2 cuillères à soupe de sucre en poudre et agiter pendant une minute pour recouvrir les abeilles. Laisser reposer le bocal pendant 3 à 5 minutes. Renverser le bocal

sur un carton blanc et secouer comme une salière pour faire tomber les Varroas. Compter les Varroas tombés. Répéter les étapes 4 et 5 pour une deuxième fois. Calculer le pourcentage d'infestation par diviser le nombre total de Varroas comptés par 300 (nombre total d'abeilles prélevées) et multiplier par 100.

- Avantages : Simple et rapide, peut être réalisée en une seule visite au rucher et le plus important ne tue pas les abeilles
 - Inconvénients : Nécessite l'ouverture de la ruche, peut prendre plus du temps que d'autres méthodes et le comptage doit être effectué sur place
- **Lavage à l'alcool** : est une méthode précise pour estimer le pourcentage d'infestation par *Varroa destructor* dans une colonie d'abeilles. Elle consiste à séparer les Varroas des abeilles à l'aide d'alcool éthylique. Prélever environ 200 abeilles des cadres de couvain, les placer dans un bocal contenant 250 ml d'alcool éthylique. Secouer le bocal pendant au moins une minute pour déloger les Varroas des abeilles. Filtrer les abeilles et les Varroas à l'aide d'une passoire. Verser le contenu de la passoire dans une autre passoire encore plus fine pour récupérer uniquement les Varroas. Compter le nombre de Varroas récupérés. Calculer le pourcentage d'infestation en divisant le nombre de Varroas comptés par 200 (nombre total d'abeilles prélevées) et multiplier par 100. (Giovenazzo ,2011)

7. Méthodes de lutte contre le varroa

7.1.Lutte chimique

La lutte chimique contre *Varroa destructor*, parasite des abeilles, s'appuie sur l'utilisation de plusieurs molécules acaricides. Ces produits, appliqués dans les ruches, permettent d'éliminer efficacement les varroas et de protéger les colonies (Guptal et al.,2012).

Cependant, l'utilisation à long terme de ces produits chimiques présente un danger. En effet, plusieurs risques non-négligeables sont associés à leur emploi. L'utilisation de ces molécules acaricides peuvent s'accumuler dans les produits apicoles, comme le miel, et contaminer la nourriture des consommateurs. Ainsi l'application répétée de ces mêmes molécules peut favoriser l'émergence de souches de varroas résistantes aux traitements, rendant la lutte contre le parasite plus difficile (Trouiller, 1993 In Noufel ,2015). Les acaricides sont

commercialisés sous forme de bandelettes en plastique imprégnées d'acaricides prêtes à placer directement dans la ruche comme l'APIVAR®.

7.2.Lutte biotechniques

La lutte biotechnique regroupe un ensemble de mesures visant à ralentir la croissance de la population de *Varroa destructor* dans les colonies d'abeilles. Ces méthodes s'avèrent plus ou moins efficaces selon les opérations apicoles mises en œuvre.

- **Blocage de la ponte de la reine :** Limiter la ponte de la reine sur un cadre à plusieurs reprises sur une période de 4 semaines permet de réduire le couvain disponible pour les Varroas et perturber leur cycle de reproduction.
- **Piégeage des parasites dans le couvain de mâles :** Les Varroas préfèrent pondre dans les cellules des mâles. En fournissant un cadre avec de telles cellules, il est possible de les piéger. Une fois les cellules operculées, le cadre est retiré et détruit, la cire fondue ou brûlée en éliminant ainsi les parasites piégés (**Charriere et al.,1998**).
- **Formation de nuclei :** Cette technique consiste à diviser la colonie en deux, une colonie mère et une colonie fille. La population de Varroa est ainsi répartie entre les deux colonies, réduisant le taux d'infestation dans chacune d'elles (**Simoneau ,2004**).
- **Plateaux grillagés :** Placer un plateau grillagé sous la colonie permet aux Varroas tombés des abeilles de ne pas pouvoir remonter dans la ruche, réduisant ainsi leur population (**Chapleau, 2003**).
- **Propolis :** la propolis est un produit de la ruche qui peut être utilisée comme technique de lutte contre le varroa en colmatant les fissures d'une ruche afin de la protéger de l'humidité et éviter le développement agents pathogènes. (**Domerego ,2002**).

7.3.Lutte biologique

Consiste à utiliser des acides organiques, des extraits de plantes, des huiles essentielles ou des champignons pour se débarrasser du varroa

7.3.1. Acides organiques

- **Acide formique :** L'acide formique, présent naturellement dans les plantes, est utilisé pour lutter contre le parasite *Varroa destructor*. Son efficacité repose sur la fumigation,

permettant à l'acide formique gazeux de s'infiltrer dans les alvéoles et d'éliminer les parasites (Hanely et Duval, 1995).

- **Acide oxalique** : L'acide oxalique est un acaricide efficace contre *Varroa destructor* (Gregorc & Smodiš Škerl, 2007; Rademacher & Harz, 2006), pouvant être appliqué selon trois modes : dégouttement, pulvérisation et évaporation. Parmi ces méthodes, le dégouttement se distingue par sa simplicité, sa rapidité et son efficacité, pouvant atteindre 95% d'élimination des parasites lorsqu'appliqué sur des colonies sans couvain (Charriere et Imdorf, 2003).

7.3.2. Champignons

Des études ont été menées afin d'évaluer l'efficacité des champignons *Beauveria bassiana* et *Metharhizium anisoplias* dans la lutte contre cette parasitose (Rodriguez et al., 2009) qui peuvent être une méthode alternative prometteuse contre le varroa.

7.3.3. Extrait de plantes

Des recherches ont montré que l'utilisation des extraits de plantes comme compléments alimentaire peut améliorer la santé des abeilles et de la colonie. Elles ont également révélé que l'extrait de cannelle peut contribuer à réduire le taux d'infestation par *Varroa*. Une autre étude a également démontré que les feuilles de laurier ont un effet antiparasitaire sur *varroa destructor*.

7.3.4. Aromathérapie ou utilisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles peuvent être des alternatives prometteuses aux acaricides de synthèse pour lutter contre *le varroa destructor*. Plusieurs recherches ont été muni afin d'évaluer leurs efficacités et leurs impacts sur les abeilles (à détailler dans le chapitre 3).



Chapitre 03 : les huiles essentielles



I. Les huiles essentielles**I.1. Généralités sur les huiles essentielles****1.1. Historique**

Depuis de longues années, l'humanité se démène et réfléchit afin de trouver un moyen pour séparer et extraire l'essence (huile) des plantes aromatiques. En soumettant la matière végétale à l'action de la chaleur, les hommes ont découvert la distillation, un procédé qui permet de transformer les substances odorantes en vapeur puis de les recueillir sous forme liquide.

Cette technique, connue dès 20 siècles avant J.C. par les Chinois et les Indiens, a ensuite été adoptée par les Egyptiens et les Arabes, qui ont exploité les vertus médicinales et aromatiques des huiles essentielles pour la conservation des momies, l'aromatisation des bains, la désinfection des plaies, la création de parfums et la fabrication de boissons parfumées (Möller, 2008).

Au cours de leurs conquêtes en Afrique du Nord et en Espagne, les Arabes ont transmis leur savoir aux Espagnols, qui l'ont diffusé à travers l'Europe, notamment dans les possessions du Royaume d'Aragon situées le long des côtes méditerranéennes (Berthier, 1980 ; Möller, 2008).

1.2. Définition et composition**1.2.1. Définition des huiles essentielles**

D'après (Durville, 1930), les huiles essentielles se caractérisent par leur nature odorante, leur forme huileuse et volatile, leur faible solubilité dans l'eau et leur solubilité plus importante dans l'alcool et l'éther. Incolores ou jaunâtres, elles sont inflammables et s'altèrent facilement au contact de l'air en se transformant en résine. Liquides à température ambiante, certaines peuvent se présenter sous forme solide ou partiellement cristallisée. Elles se distinguent des huiles fixes par leur absence de toucher gras et onctueux et par leur volatilité.

La norme **AFNOR NF T 75-006 (1998) In Bruneton, 1993** a défini l'huile essentielle comme : « produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus, soit par distillation sèche. L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques ».

Selon la **Commission de la Pharmacopée européenne (2008)**, une huile essentielle est un « Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif dans sa composition. »

Si les huiles essentielles sont souvent perçues comme des substances naturelles "sans danger", il ne faut pas oublier qu'elles présentent une puissance certaine (**Degryse et al., 2008**).

Comme le souligne **Benzzegouta, (2005)**, il est essentiel d'utiliser les huiles essentielles avec une extrême prudence en raison de leur composition chimique complexe. En effet, une utilisation non encadrée et autonome peut présenter de graves dangers.

1.2.2. Composition chimique

Les huiles volatiles, ces substances aux fragrances envoûtantes, sont en réalité des mélanges d'une multitude de composés chimiques. Parmi les plus importants, on trouve les monoterpènes et les sesquiterpènes, des hydrocarbures de structure complexe représentés par la formule générale $(C_5H_8)_n$. Ces hydrocarbures peuvent se combiner à l'oxygène pour former une variété de composés oxygénés, tels que des alcools, des aldéhydes, des esters, des éthers, des cétones et des phénols. La diversité de ces structures est immense : on estime qu'il existe plus de 1000 types de monoterpènes et 3000 de sesquiterpènes. Ces composés majoritaires, les huiles volatiles peuvent également contenir des phénylpropanes et des molécules plus spécifiques renfermant du soufre ou de l'azote (**Svoboda et Hampson, 1999 In Mohammadi, 2006**). Cette richesse moléculaire explique la variété des propriétés et des utilisations des huiles essentielles.

Afin de dévoiler la composition d'une huile essentielle, les scientifiques ont recours à une technique d'analyse sophistiquée c'est la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Cette méthode permet de séparer et d'identifier les différents composants de l'huile, tels que les monoterpènes, les sesquiterpènes et les composés oxygénés, en déterminant leurs proportions exactes.

L'huile essentielle est un concentré de la plante dont elle est issue. Elle est composée de multiples molécules chimiques, dont la nature et la proportion varient en fonction de plusieurs facteurs :

- **La plante et le sol** : La composition chimique de l'huile essentielle dépend de l'espèce végétale et des caractéristiques du sol dans lequel elle pousse (**Angioni et al., 2004 ; Tucker et Maciarello, 1986**).
- **La récolte** : Le moment de la récolte influence la composition de l'huile essentielle (**Celiktas et al., 2007**).
- **La partie de la plante** : Les fleurs, les feuilles, les racines ou les fruits peuvent donner des huiles essentielles aux compositions distinctes (**Flamini et al., 2002 ; Parry, 1921**).
- **La préparation de l'échantillon** : La manière dont la plante est préparée avant l'extraction peut également avoir un impact sur la composition de l'huile essentielle (**McCormick et al., 2006**).
- **La méthode d'extraction** : La technique d'extraction utilisée (distillation, CO₂ supercritique, etc.) influence la composition de l'huile essentielle (**Boutekedjiret et al., 2004**).

1.3. Production et extraction des huiles essentielles

Étant donné la richesse et la complexité des huiles essentielles, le choix de la méthode d'extraction est crucial. En effet, il est important de sélectionner un procédé qui ne modifie pas la composition de l'huile en discriminant les composés polaires et apolaires, ou en provoquant des réactions biochimiques, des dégradations thermiques, une oxydation, une réduction, une hydrolyse, un changement de pH ou une perte de composés volatils. Pour cela, il est essentiel de prendre en compte différents paramètres et propriétés pour garantir une extraction optimale, comme le soulignent (**Fernandez et Cabrol-Bass, 2007**)

1.3.1. Paramètres d'extraction

Les paramètres essentiels à prendre en considération lors des opérations d'extraction de matières premières naturelles aromatiques sont :

- La volatilité
- La solubilité

- La taille et la forme des molécules constitutives
- L'adsorption (Peyron, 1992)

Tableau III : Principaux paramètres dans les opérations d'extraction. (Peyron, 1992)

Techniques	Propriétés	Produits fabriqués
Evaporation Déshydratation - Séchage Concentration de miscella (S/pres. atm. ou réduite) Concentration de jus de fruits	Volatilité	Résinoïdes, concrètes Oléorésines
Distillation Rectification (S/pres. atm. ou réduite) Distillation sèche		Isolats, déterpénés Huile empyreumatique
Co-distillation Avec eau (S/pres. atm. ou en surpression) Hydrodistillation et à vapeur humide Vapeur sèche Avec un autre fluide (S/pres. atm. ou réduite) Alcool Polyols		Huiles essentielles Eaux aromatisées Alcoolats Distillats moléculaires
Extraction liquide / solide Solvant conservé : Corps gras Alcool Solvant éliminé: Fluide liquide Fluide liquéfié (ou supercritique)	Solubilité	Pommade Infusion – Teinture } Concrète, résinoïde
Extraction liquide / liquide Discontinue Continue		Essences déterpénées
Cristallisation après concentration partielle et refroidissement		Menthol – Anéthol
Broyage – tamisage	Formes et taille des particules	Huiles essentielles d'agrumes
Expression – Filtration		
Glaçage – Filtration		
Séparation au moyen de membranes	Adsorption	Huiles essentielles Absolues
Séparation chromatographique Décoloration		

Légende : Le Tableau III résume les techniques les plus couramment utilisées et quelques types de produits fabriqués.

1.3.2. Techniques d'extraction

D'après **Guenther, (1949)**, les huiles essentielles sont obtenues le plus souvent par distillation.

L'hydrodistillation, un procédé ancestral, consiste à plonger la matière végétale (entière ou broyée) dans un alambic rempli d'eau et à porter le tout à ébullition. Les vapeurs hétérogènes issues de ce mélange sont ensuite condensées, permettant à l'huile essentielle de se séparer grâce à sa différence de densité (**Bruneton, 1999**).

Dans la distillation à vapeur saturée, la plante n'est pas en contact direct avec l'eau. La vapeur d'eau est injectée à travers la matière végétale disposée sur une grille perforée (**Belaiche, 1979**). En parcourant la plante, la vapeur fait éclater les cellules contenant l'essence et entraîne avec elle les molécules odorantes (**Padrini et Lucheroni, 1996**).

2. Intérêts d'utilisation des huiles essentielles chez les abeilles

Face à l'inquiétude concernant les effets néfastes des pesticides chimiques sur l'environnement et la santé humaine, la lutte biologique se présente comme une alternative prometteuse et durable. Cette approche s'appuie sur l'exploitation des ressources naturelles du règne végétal pour identifier et isoler des composés aux propriétés antibactériennes, antioxydantes, antifongiques et insecticides (**Djenane et al., 2002 ; Bousbia, 2004 ; Bouzuita et al., 2008 ; Djenane et al., 2011**).

Nombreuses recherches ont été menées afin de trouver des méthodes alternatives parmi ces méthodes :

- (**Leconte et Colin, 2006**) mentionnent l'utilisation d'huiles pulvérisées sur les abeilles. Cette approche s'inspire d'observations menées sur l'effet des huiles essentielles émulsifiées dans l'eau sur les abeilles parasitées.

En effet, de nombreuses études ont démontré l'efficacité des substances huileuses dans la perturbation du comportement des insectes parasites parmi ces recherches on peut citer ce qui suit :

- (**Imdorf et al., 1999**) ont testé l'effet de 150 huiles essentielles sur des colonies d'abeilles et ont conclu que l'huile de thym était parmi les plus efficaces dans la lutte contre les parasites d'abeilles.
- (**Peguin, 1987**) a mené des recherches similaires et a démontré l'efficacité d'un mélange d'huiles essentielles composé de thym, de sarriette, de lavandin et de cades, additionné de sauge, de menthe et de girofle, pour lutter contre les parasites des abeilles en conditions réelles.
- (**Hybl et al., 2021**) ont mené des recherches similaires et ont testé l'effet de 30 huiles essentielles contre *le varroa destructor* chez les ouvrières des abeilles domestiques

parmi eux l'huile de thym, 11 huiles essentielles par exposition ont montré une efficacité acaricides élevé.

- (P.Karimi et al.,2022) ont tester différentes concentration des huiles essentielles par exposition comme agent anti-varroa, les résultats ont révélé une relation proportionnelle entre la mortalité des acariens varroa et la concentration et la durée d'exposition
- (Pusceddu et al.,2021) ont étudié l'activité inhibitrice, fongicide et sporicides de 10 huiles essentielles contre *Ascosphaera apis* champignon responsable de la maladie du couvain plâtré chez les abeilles dans des conditions de laboratoires. Les résultats trouvés montrent que 3 huiles ont une activité fongicide et sporicide.
- D'après Castagna et al ,(2022) l'huile essentielle de *origanum heracleoticum* est efficace contre le *varroa destructor* par test de contact et fumigation.

Cependant, des recherches ont suggérer d'administrer les huiles essentielles par voie orale comme complément alimentaire afin d'améliorer la santé des abeilles et augmenter la survie des abeilles parasitées :

- (Martin Ewert et al.,2023) ont démontré que l'huile essentielle de citronnelle et de menthe par voie orale ont des effets variables selon la dose sur l'augmentation de la survie des abeilles.
- Selon Rossini et al,(2020) l'ingestion d'huile essentielle d'*Eupatorium buniifolium* peut modifier la composition des CHC des abeilles de manière dose -dépendante. Cela pourrait affecter la communication entre les abeilles. Cette étude est la première à rapporter des modifications des CHC suite à l'ingestion d'huiles essentielles.

II. Huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*

II.1. Plante étudiée : *Rosmarinus officinalis*

Description botanique

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*), selon Coste, (1937), est un arbrisseau aux multiples atouts. Pouvant atteindre une hauteur de 50 cm à 1 mètre et plus, il se distingue par son feuillage persistant, coriace et très aromatique. Ses feuilles, sessiles et linéaires, présentent des bords légèrement enroulés, une couleur vert foncé brillante sur le dessus et un revers blanchâtre

tomenteux. Les fleurs, regroupées en petites grappes axillaires et terminales, possèdent un calice bilabié et une corolle bilabée également.

Le romarin se distingue aisément par ses feuilles persistantes sans pétiole (Figure 17), plus longues que larges et aux bords enroulés. Sa couleur vert sombre et brillante sur le dessus contraste avec le revers blanchâtre.

Si plusieurs espèces de romarin existent dans le monde, *R. officinallis* est la seule à croître naturellement dans les pays du bassin méditerranéen et dans les zones himalayennes. Cultivé depuis l'antiquité dans de nombreuses régions du globe, il s'est adapté à des climats variés, allant de l'Europe à l'Amérique centrale et aux Philippines (Tyler et al., 1976).



**Figure 17 : image des feuilles, fleurs de *Rosmarinus officinalis*,
source (agronomie .info)**

2.1. Historique

Le romarin a marqué l'histoire et les légendes. Vénéral par les Anciens Grecs, il était omniprésent dans leurs fêtes, des cérémonies nuptiales aux célébrations profanes. Les mariées portaient des couronnes de romarin, symbole d'amour et de fidélité, tandis que les invités recevaient des branches ornées de rubans. On en glissait également sous les oreillers pour éloigner les mauvais esprits et les cauchemars. Les Égyptiens plaçaient des rameaux de romarin dans les tombes des pharaons pour fortifier leur âme (Bousbia,2013).

Symbole du souvenir et de l'amitié, le romarin était porté en couronne par les étudiants grecs durant les examens pour stimuler leur mémoire. Les Romains le considéraient également comme une plante sacrée, comme en témoignent **les vers d'Horace (-65/8 av. J.-C.)** : "Si tu veux gagner l'estime des dieux, apporte-leur des couronnes de romarin et de myrte".

2.2. Position systématique

L'étymologie du nom "romarin", composé de deux mots latin "ros" (rosée) et "marinus" (marin). Son nom une référence à sa nature ; à son parfum délicat, fraîche et à son habitat, Sur les coteaux au borde la mer (**Ulmer, 2007**). Sa classification botanique est comme le suivant :

Règne	: Plantae	Ordre	: Lamiales
Division	: Magnoliophyta	Famille	: Lamiaceae
Classe	: Magnoliopsida	Genre	: Rosmarinus
Période de floraison	: Février à Avril	Exposition	: Soleil
Couleur des fleurs	: Bleu / mauve	Hauteur	: 150 cm
Espèce	: <i>Rosmarinus officinalis</i> L. 1753		
Noms communs	: Romarin, Encensier, Herbe aux couronnes, Rose des marins, Rose de la mer, Rose-marine		

II.2. Huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*

2.1. Composition chimique

L'étude approfondie de l'huile essentielle (HE) de romarin (*Rosmarinus officinalis*) a révélé la présence de 17 composants majeurs, représentant environ 75,6% de sa composition totale. Parmi ces éléments, on retrouve : α pinène (32,64 %), β humulène (8,71 %), Camphène (5,95 %), 1,8 Cinéole (5,07 %), β -pinène (3,56 %), α humulène (3,51 %), Camphre (3,34 %), P-cymène (2,78 %), Bornéol (2,15 %), γ -terpinène (2,07 %), α -cadinène (1,52 %), P-mentha-3,8 diène (1,21 %), Linalol (1,08 %) (**Bakkali,2018**), (Tableau IV).

Tableau IV : Le pourcentage des constituants essentielles de l'HE du *Rosmarinus officinalis*, identifiés par CPG /SM (Bakkali,2018)

Temps de rétention (min)	Composé	Indice de Kovats calculé	Indice de Kovats, littérature (DB5-ADAMS2001)	AIR%
7,35	α -pinène	937,30	939	32,64
7,71	Camphène	951.15	953	5,95
8,44	β -pinène	979.23	980	3,56
9,95	1,8 Cinéole	1034.64	1033	5,07
9,72	P-cymène	1026,42	1026	2,78
11,81	Linalol	1101.06	1098	1,08
13,23	Camphre	1151.41	1143	3,34
13,82	Bornéol	1172.34	1165	2,15
14,11	α terpinéol	1182.62	1189	0,53
14,48	Gamma-terpineol	1195.74	1183	0,59
24,69	Iso aromadendréneepoxide	1559.29	1579	0,70
25,29	Caryophyllène oxyde	1625,11	1581	0,19
21,54	α humulène	1465.58	1455	3,51
10.69	γ -terpinène	1061.07	1062	2,07
11.53	P-mentha-3,8 diène	1091.07	1072	1,21
20,71	β humulène	1431.98	1440	8,71
23.17	α -cadinène	1533.33	1538	1,52
TOTAL				75.6

2.2. Utilisation de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*

2.2.1. Usage médicinales (Phytothérapie)

➤ Utilisation externe

Le romarin est un remède précieux pour nombreuses maux externe et pour le bien-être. Pour les traitements, une infusion des sommités dans de l'alcool apporte un soulagement efficace des entorses, foulures, contusions et torticolis. L'extrait alcoolique, est bénéfique pour les ulcères, les plaies et les dermatoses parasitaires.

En décoction aqueuse, le romarin se révèle utile pour les gargarismes (angines) et les bains de bouche (aphtes). Il peut également être ajouté aux bains stimulants pour tonifier l'organisme.

L'huile essentielle de romarin, concentrée en principes actifs, offre une multitude de bienfaits :

- Soulage les troubles rhumatismaux et de la circulation sanguine
- Soigne les blessures et les maux de tête

- Améliore la mémoire et la concentration
- Fortifie les convalescents et combat les effets du stress et de la fatigue
- Traite l'inflammation des voies respiratoires et de la sphère ORL (**Dias et al., 2000**)

➤ **Utilisation interne**

Le romarin s'impose comme un véritable trésor de la nature, offrant un large éventail de propriétés bénéfiques pour notre santé. (**Chang et al., 1977 ; Aqel, 1991 ; Leung et Foster,1996 ; Haloui et al., 2000**)

→ **En usage interne, le romarin :**

- Stimule l'organisme : Aide à lutter contre la fatigue et les états de faiblesse.
- Favorise la digestion : Soulage les troubles digestifs tels que les dyspepsies et les fermentations intestinales.
- Détend les muscles : Apaise les spasmes et les contractions involontaires.
- Stimule la production de bile : Facilite la digestion des graisses et la fonction hépatique.
- Favorise la régulation du cycle menstruel : Aide à soulager les troubles menstruels.
- Stimule la diurèse : Favorise l'élimination des toxines par les urines.

Le romarin est également étudié pour ses propriétés potentielles :

- Anti-VIH : Des études suggèrent que le romarin pourrait avoir des effets bénéfiques dans la lutte contre le VIH (**Paris et al., 1993**).
- Anti-cancéreuse : Le romarin pourrait jouer un rôle dans la prévention de certains cancers (**Offord et al., 1995**).

2.2.2. Parfumerie

L'histoire du romarin en parfumerie remonte à plusieurs siècles. L'eau de la Reine de Hongrie, un alcoolat populaire au XVIIème siècle, en est un exemple célèbre. Attribué à la reine Elisabeth de Hongrie, cette portion magique été créé dès le XIVème siècle et le romarin y figurait parmi les ingrédients principaux. La légende raconte que l'eau lui aurait rendu sa fraîcheur à tel point que le roi de Pologne la demanda en mariage (**Le Florentin, 1914 ; Gildemeister et Hoffmann, 1912**).

Aujourd'hui, le romarin est un élément précieux dans la composition de nombreux parfums, en particulier les fragrances masculines. On le retrouve dans les eaux de Cologne hespéridés aromatiques, les parfums boisés et les fougères aromatiques. Sa présence s'étend également aux pommades dermiques.

Des études scientifiques, comme celle de **Calabres et al.,(2000)**, ont mis en lumière les propriétés antioxydantes du romarin et sa capacité à protéger la peau des lésions causées par les radicaux libres. Ces travaux confirment le potentiel de la biotechnologie des antioxydants naturels dans la lutte contre le vieillissement cutané.

2.2.3. Usage culinaire

Le romarin se distingue comme une source précieuse de composés antioxydants naturels, largement utilisés dans l'industrie alimentaire pour préserver les aliments de la dégradation oxydative et microbienne (**Ponce et al., 2008 ; Georgantelis et al., 2007 ; Zivanovic et al., 2005 ; Shylaja et Peter, 2004 ; Dorman et al., 2003 ; Sotelo-Felix et al., 2002 ; Takenaka et al., 1997 ; Richheimer et al., 1996 ; Haraguchi et al., 1995 ; Aruoma et al., 1992, 1996 ; Houlihan et al., 1985 ; Inatani et al., 1983**).

Le romarin est utilisé comme antioxydant et agent antimicrobien dans la préparation de divers aliments : volaille, agneau, veau, fruits de mer, saucisses, salades, soupes, chapelures. Il parfume également les croustilles, chips et frites françaises, apportant une saveur aromatique appréciée des consommateurs. (**Moino et al., 2008 ; Georgantelis et al., 2007 ; Janz et al., 2007 ; O'Grady et al., 2006 ; Sebranek et al., 2005 ; Djenane et al., 2002 ; SanchezEscalante et al., 2001**).

3. Intérêts d'utilisation l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* chez les abeilles

Des recherches ont été menées afin d'évaluer l'activité biologique de deux huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* obtenus à partir de matières végétales soumises à différents traitements de séchage dont ont été testés par exposition. Les résultats ont révélé l'activité inhibitrice des deux huiles essentielles contre la bactérie *Paenibacillus larvae* qui affecte l'abeille *Apis mellifera*, ainsi l'efficacité de l'huile essentielle séchée au four contre le *varroa destructor* (**Maggi et al., 2011**)

III. Huile essentielle *d'Artemisia herba-alba*

III.1. La description botanique

1.1. Partie aérienne

Elle comprend la tige, les feuilles, les fleurs et les graines.

a. La tige :

L'armoise blanche se distingue par sa tige principale très épaisse et rougeâtre, qui se ramifie en de nombreuses tiges secondaires de plus en plus fines (Figure 18). Cette structure arborescente, atteignant une hauteur de 30 à 50 cm, donne à la plante son aspect buissonnant caractéristique (**Bendahou, 1991**)

b. Les feuilles et les rameaux :

L'armoise blanche se pare de petites feuilles blanchâtres, laineuses et courtes qui minimisent la surface sujette à la transpiration. Cette adaptation morphologique lui confère une résistance remarquable à la sécheresse (**Pourrat, 1974**).

c. Capitules et fleurs :

Les capitules de l'armoise sont homogènes et contiennent des fleurs hermaphrodites et caractérisés par un réceptacle nu et une corolle insérée de manière très oblique sur l'ovaire. Chaque capitule regroupe 2 à 5 fleurs (jusqu'à 12 pour la variété Sahara) (**Quezel et Santa, 1963**). Les fleurs présentent des écailles du péricline en plusieurs rangs, avec des internes linéaires, vertes, velues sur le dos, scarieuses et transparentes, et des externes plus petites et tomenteuses. Elles forment des grappes et une longue panicule cylindrique (**Nègre, 1962**), Il est à noter que deux types d'insertion de la corolle sur l'ovaire ont été observés : oblique et verticale (**Maghni, 2013**).

d. La graine :

Le fruit est un akène de forme oblongue, lisse et glabre, coiffé latéralement par le périlanthe. Sa petite taille, ne dépassant pas 0,3 mm (**Nègre, 1962**). Au contact de l'eau, la graine développe une masse mucilagineuse qui lui permet de se fixer dans le sol (**Kaul et Al-Mufti, 1974 in Lahmar, 2001**).

1.2. Partie souterraine

L'armoise blanche possède un système composé d'une racine pivotante profonde qui s'enfonce dans le sol tel un pivot, et de racines secondaires ramifiées qui sont près de la surface. Cette architecture racinaire permet à la plante de s'adapter à divers environnements, notamment en présence de calcaire superficiel ou en cas de sécheresse. La majorité des racines se concentrent dans les premiers 50 cm du sol, assurant ainsi l'ancrage, l'absorption d'eau et de nutriments, et le stockage de réserve (**Pourrat, 1974 ; Aidoud, 1983**).



**Figure 18 : Touffe d'Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*)
(Clichet et Djamai, 2021)**

III.2. Historique

L'armoise, également connue sous le nom d'herbe blanche, est une plante ancienne. Décrite depuis des siècles, elle a été mentionnée dès le début du IV^e siècle après J.-C. par l'historien grec Xénophon (**Francise, 2001**). En 1779, le botaniste espagnol Graciano Claudio de Asso y del Río l'a répertoriée. Il existe environ 250 espèces, les armoises sont principalement présentes dans l'hémisphère nord, notamment en Orient et en Afrique du Nord ; également dans l'hémisphère sud. Elles sont appréciées pour leur goût amer et leur odeur distinctive de thymol (**Francise, 2001**). Cette plante est largement utilisée comme fourrage, particulièrement pendant les mois d'hiver, et est très prisée par le bétail.

III.3. Position systématique

Le nom de genre des armoises, *Artemisia*, est dérivé du nom de la déesse grecque de la chasse, et "*herba-alba*" signifie "herbe blanche". Est classé selon **pelser**,(2011) comme ce suit :

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Spermatophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Asteridae
Ordre :	Asterales
Genre :	<i>Armoise (Artemisia)</i>
Famille :	Astéracées (Asteraceae)
Sous-famille :	Asteroideae
Tribu :	Anthemideae
Sous-tribu :	Artemisiinae
Exposition :	Ensoleillée
Couleur des fleurs :	Jaunes pâles / blanchâtres
Hauteur :	30 à 100 cm
Espèce :	Armoise blanche (<i>Artemisia herba-alba</i>)
Période de floraison :	Mai à juillet (en fonction du climat)
Noms communs :	Armoise blanche, Absinthe blanche, Armoise des champs, Herbe blanche

III.4. Huile essentielle d'*Artemisia herba-alba*

4.1. Composition chimique

L'extraction de l'huile essentielle d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) aboutit à une huile de couleur jaune pâle, avec un rendement moyen d'environ 1,9%. Un rendement similaire

(1,23 %) a été observé chez des populations du Maroc (**Ghanmi et al., 2010**). En Algérie, les rendements varient considérablement : 0,95 % (**Bezza et al., 2010**), 0,28 % dans la région de Biskra (**Bechiri et Tahar Mezedek, 2018**), et 0,93 % dans la région de Saïda (**Bouzidi, 2016**). Selon **Akrout,(2004)**, en Tunisie, les rendements sont de 0,65 % dans la région de Matmata et de 0,26 % dans la région du Kef (**Benhadj Jilani, 2014**). Dans la région d'Errachidia au sud-est du Maroc, le rendement est de 0,35 % (**Moumni et al., 2013**). En Arabie Saoudite, cette plante a donné un rendement très faible de 0,051 % (**Al-Wahaibi et al., 2018**). Ces variations de rendement s'expliquent probablement par des facteurs environnementaux tels que le climat, le sol et les techniques de culture

L'analyse GC-GC/MS de l'huile essentielle a permis d'identifier 38 composés volatils, représentant environ 92,89 % de l'huile totale d'*A. herba-alba* (Tableau V) Cette huile est principalement constituée de camphre (28,58 %), de cis-thujone (22,03 %), d'eucalyptol (11,65 %) et de trans-thujone (7,03 %), accompagnés de constituants à des teneurs relativement faibles : camphène (3,35 %), acétate de cis-chrysanthényle (2,88 %), bornéol (2,71 %) et pinocarvone (2,40 %). Cette composition chimique est similaire à celles rapportées par plusieurs auteurs, dont (**Akrout ,2004, Bezza et al.,2010, Ghanmi et al. (2010), (Zouari et al.,2010, Belhattab et al.,2012 et Bouzidi ;2016)**). Il est à noter que l'eucalyptol est présent uniquement dans les populations de la région de Saïda (6,51 %) (**Bouzidi, 2016**). La présence de ce composé est également confirmée dans notre huile, extraite des populations de la région de Sétif

Selon **Moumni et al. (2013)**, la variabilité du profil chimique de ces huiles peut être d'origine géographique, génétique ou même écologique (sol, humidité, etc.). Elle peut également être influencée par le procédé d'extraction de l'huile et l'état de conservation (**Bekhechi et Abdelouahid, 2014 ; Poirot, 2016**)

Tableau V : présente la liste des composés identifiés dans l'huile essentielle d'armoise blanche, classés par ordre décroissant d'abondance. (Benarab,2021)

N°	Composés	Tr	%
01	Santolina-Triène	10.91	0.12
02	Tricyclène	11.71	0.21
03	Alpha-Thujène	11.84	0.04
04	Alpha-Pinène	12.14	0.50
05	Camphène	12.80	3.36
06	Thuja-2,4(10)-Diène	12.92	0.08
07	Sabinène	13.61	0.13
08	Béta-pinène	13.76	0.15
09	1-Octène-3-ol	13.91	0.08
10	Myrcène	14.15	0.01
11	Déhydro-1,8-Cinéole	14.19	0.01
12	Mésitylène	14.39	0.31
13	Alpha-Terpinène	15.16	0.01
14	Para-Cymène	15.51	1.16
15	Eucalyptol	15.82	11.66
16	Gamma-Terpinène	16.60	0.03
17	Linadol	18.08	0.65
18	Cis-Thujone	18.44	22.03
19	Trans-Thujone	18.76	7.10
20	Chrysanthénone	18.85	1.97
21	Camphre	19.83	28.58
22	Sabina cétone	19.98	0.24
23	Pinicarvone	20.16	2.41
24	Bornéol	20.57	2.72
25	Terpinen-4-ol	20.75	0.95
26	Cryptone	20.85	0.04
27	Alpha-Terpinéol	20.96	0.24
28	Myrténal	21.16	0.29
29	Verbénone	21.54	0.30
30	Nerol	21.94	0.06
31	Formate de Bornyle	22.14	0.08
32	Cuminaldéhyde	22.54	0.02
33	Carvotanacétone	22.59	0.30
34	Acétate de Cis-Chrysanthényle	22.92	2.89
35	Acétate de Bornyle	23.73	0.64
36	Acétate de trans-Sabinyle	23.76	0.07
37	Inconnu 164	26.75	2.79
38	Inconnu MW 206	31.60	0.65
	Total		92.89

III.4. Utilisation de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba*

L'espèce *Artemisia herba-alba* est largement utilisée en médecine traditionnelle pour ses propriétés thérapeutiques. Elle est employée pour traiter divers troubles inflammatoires comme le rhume, la toux, la bronchite et la diarrhée, ainsi que des maladies infectieuses telles que les affections cutanées, la gale et la syphilis. De plus, elle est utilisée pour le diabète et les névralgies (Abu-Darwish et al., 2015). En cas de troubles gastriques tels que la diarrhée et les

douleurs abdominales, cette plante est un remède efficace pour l'inflammation du tractus gastro-intestinal (Gharabi et al., 2008). Son utilisation la plus fréquemment mentionnée dans la littérature est pour le traitement du diabète sucré (Twaij et Al-badr, 1988).

De nombreuses études scientifiques ont confirmé les propriétés Antidiabétiques, antiparasitaires antibactériennes, antivirales, antioxydantes, antimalariques, antipyrétiques, antispasmodiques et antihémorragiques et l'effet hypoglycémique de *l'Artemisia herba-alba* (Boudjelal, 2013). Des recherches sur les plantes médicinales algériennes, y compris *l'Artemisia herba-alba*, ont montré que ces plantes possèdent une forte activité antioxydante et une teneur élevée en composés phénoliques, surpassant les plantes alimentaires courantes. Elles sont de puissants piègeurs de radicaux libres, ce qui les rend de bonnes sources d'antioxydants naturels pour des applications médicinales et commerciales (Sadia, 2015).

En Algérie, *l'Artemisia herba-alba* est reconnue comme un remède populaire pour faciliter la digestion, apaiser les douleurs abdominales et traiter certains troubles du foie. Ses racines sont également utilisées contre certains troubles nerveux (Baba Aissa, 2000).

➤ **Intérêts d'utilisation l'huile essentielle de Artemisia herba-alba chez les abeilles :**

L'huile essentielle d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) attire l'attention des apiculteurs en raison de ses propriétés prometteuses pour la santé des abeilles. Elle pourrait repousser les parasites comme *le varroa destructor*, améliorer la résistance des abeilles aux maladies, stimuler la production de miel et même conférer au miel une saveur unique.



**Partie 02 : Partie
expérimentale**

Matériel et méthodes

❖ Objectifs du travail

Notre travail a été effectué au sein de Laboratoire Associé en Ecosystèmes Marins et Aquacoles « LAEMA » sous la direction de M. IGUER-OUADA Mokrane Et Madame INOURI-ISKOUNEN Ahlam, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV), département des sciences de biologiques de l'environnement « SBE », université Abderrahmane Mira-Bejaia

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'obtention du Diplôme Master Biologie Animale.

L'objectif de notre travail était de tester et évaluer les effets de deux huiles essentielles : Romarin « *Rosmarinus officinalis* » et l'armoise « *Artemisia herba-alba* » à différentes doses par voie orale ou ingestion (comme supplément dans le sirop) dans des conditions de laboratoire, et par pulvérisation dans des conditions de laboratoire et du terrain sur les abeilles ouvrières d'*Apis mellifera* afin de tester les paramètres suivants :

- ✓ La santé des abeilles ouvrières par évaluation de leur activité subjectivement et suivi de leur viabilité
- ✓ Leurs efficacités sur le *Varroa destructor* parasite d'abeille *Apis mellifera* par l'estimation et comptage de nombre de varroas tombés.
- ✓ Trouver une dose qui protège et renforce l'abeille et peut neutraliser le varroa à la fois.

I. Partie 1 : In Vitro dans des conditions de laboratoire

Cette partie a été effectuée en trois (3) essais réalisés en des conditions distinctes en termes de :

- Nombre d'abeilles dans chaque groupe
- Site d'échantillonnage des abeilles
- Type de traitement (concentration et nature de traitement)
- Nombre de groupes
- Durée de traitement

I.3. Abeilles *Apis mellifera*

Tous les essais sont réalisés avec des abeilles ouvrières locales *Apis mellifera intermissa* dans des conditions de laboratoire

Les abeilles sont échantillonnées dans deux sites différents

- Essai 1 : abeilles échantillonnées au rucher situé dans la région d'AKFADOU wilaya de Bejaia
- Essai 2+ Essai 3 : abeilles échantillonnées au rucher situé dans la région d'AZFOUNE wilaya de TIZI-OUZOU

Les abeilles choisies sous le critère d'être infestés par le parasite d'abeilles domestiques *Apis mellifera*, le *Varroa destructor*

Les abeilles sont transportées au laboratoire dans une boîte en plastique perforée afin de créer l'espace pour l'aération.



Figure 19 : abeilles ouvrières échantillonnées (originale, 2024)

Les abeilles ouvrières échantillonnées sont déplacées délicatement dans des cagettes expérimentales en bois type de pain qui peut accommoder des petits groupes d'abeilles afin de les maintenir dans des conditions de laboratoire répondant aux exigences distinctes

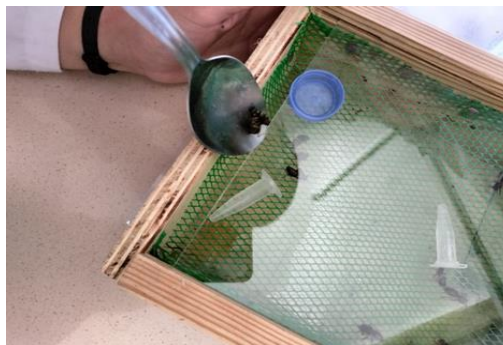


Figure 20 : déplacement des abeilles vers les cagettes (originale,2024)

Le nombre d'abeilles placé dans les cagettes varie selon le nombre d'abeilles échantillonnées à chaque essai :

- Essai 1 : 450 abeilles échantillonnées répartie en 9 cagettes (50abeilles/cagettes)
- Essai 2 : 280 abeilles échantillonnées répartie en 7 cagettes (40 abeilles/cagette)
- Essai 3 : 315 abeilles échantillonnées répartie en 9 cagettes (35abeilles/cagette)

Remarque :

Les abeilles échantillonnées ont subi une congélation à -4°C de 5 à 15 minutes selon l'activité des abeilles afin de les faire anesthésier et pouvoir les placer en sécurité dans les cagettes.

Les cagettes d'expériences utilisées sont des cagettes proposées par Mme INOURI-ISKOUNEN Ahlam Docteur et ingénieure de laboratoire de LAEMA

Ce nouveau modèle de cagettes expérimentales est différent d'autre modèles en termes de dimensions, ces cagettes sont du forme parallélépipède rectangle mesurant 30 x 16 x 7,5 cm. La base ainsi les quatre cotés sont en bois opaque, dont les deux grands cotés sont perforés en des orifices d'aération circulaires en diamètre de 3,5 mm Le plafond de la cagette est une vitre qui permet d'observer et de suivre les abeilles.

A l'intérieur des cagettes, un grillage en plastique avec des mailles à un diamètre de 3mm a été placé afin de permettre aux varroas tomber et d'être récupérer sous le grillage.



Figure 21 : cagette d'expérience en bois de type pain munie d'un grillage en plastique (originale,2024)

Les cagettes sont munies des Eppendorf remplis d'eau permettant aux abeilles de sucer l'eau à volonté (abreuvoirs). Des bouchons en plastiques ont été collés au-dessus de grillage pour la mise en place de divers traitements et alimentation (mangeoires).

Les cagettes sont maintenues à l'étuve à une température de $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 50% d'humidité relative et à l'obscurité



Figure 22 : cagette d'expérience munie des Eppendorfs d'eau et d'un bouchon de traitement (originale,2024)

I.2. Groupes et traitements

Chaque essai a été réparti en groupes et aux traitements différents pour une durée définie.

Nous avons classé les cagettes d'abeilles en trois (3) divers groupes communs pour les 3 essais à l'exception de l'essai (3) qui est répartie en 4 groupes :

Groupe (1) : il représente le groupe d'abeilles témoin, qui est nourri uniquement avec un sirop de saccharose à 50% (volume de saccharose/volume d'eau).

Groupes (2) : il représente le groupe dont les traitements des huiles essentielles de Romarin « *Rosmarinus officinalis* » et l'armoise « *Artemisia herba-alba* » sont administrés par voie orale en plus du saccarose. Il est divisé en sous-groupes différents en termes de type et concentration de l'huile essentielle administrée.

Groupe (3) : il représente le groupe d'abeilles traitées par pulvérisation des huiles essentielles de Romarin « *Rosmarinus officinalis* » et l'armoise « *Artemisia herba-alba* » à différentes doses en plus le sirop de saccharose. il est divisé en sous-groupes qui représentent les différentes doses des deux huiles essentielles distinctes.

Groupe (4) : qui sont spécifique pour l'essai (3), il représente le groupe d'abeilles traitées par pulvérisation d'une huile essentielle en plus le sirop de saccharose qui est enrichi avec la même huile essentielle.

2.1. Essai (01)

- **Durée de traitement :** 12 jours
- **Groupes :** réparti en trois (3) groupes qui sont divisés en sous-groupes (cagettes) avec un nombre de 50 abeilles/ cagette.

Groupe (1) : il sert au groupe témoin non traité nourrie avec solution de saccharose.

Groupe (2) : groupe dont le traitement des huiles essentielles est distribué par voie orale ajouter à la solution de saccharose. il est divisé en 4 sous-groupes :

- **RM 1 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 1µl / ml.
- **RM 3 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 3µl / ml.
- **AR 1 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une dose de 1µl / ml.
- **AR 3 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 3µl / ml.

Groupe (3) : groupe dont les abeilles ont été nourries avec une solution de saccharose et traités par pulvérisation des huiles essentielles à différentes doses. il est réparti également en 4 groupes :

- **PUL RM 3 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 3µl / ml.
- **PUL RM 5 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 5µl/ ml.
- **PUL AR 3 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une dose de 3µl/ ml.

- **PUL AR 5** : abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 5µl/ ml.

2.2. Essai (2)

- **Durée de traitement** : 5 jours
- **Groupes** : réparti en trois (3) groupes qui sont divisés en sous-groupes (cagettes) avec un nombre de 40 abeilles/cagette

Groupe (1) : il sert au groupe témoin non traité nourrie avec solution de saccharose.

Groupe (2) : groupe dont le traitement des huiles essentielles est distribué par voie orale ajouter à la solution de saccharose.il est divisé en 2 sous-groupes :

- **RM 5** : groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 5µl/ ml.
- **AR 5** : groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 5µl/ ml.

Groupe (3) : groupe dont les abeilles ont été nourries avec une solution de saccharose et traités par pulvérisation des huiles essentielles à différentes doses.il est réparti également en 4 groupes :

- **PUL RM 5** : abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 5µl/ ml.
- **PUL RM 10** : abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 10µl/ ml.
- **PUL AR 5** : abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une dose de 5µl/ ml.
- **PUL AR 10** : abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 10µl/ ml.

2.3. Essai (3) :

- **Durée de traitement** : 8 jours
- **Groupes** : réparti en trois (4) groupes qui sont divisés en sous-groupes (cagettes) avec un nombre de 35 abeilles/cagette

Groupe (1) : il sert au groupe témoin non traité nourrie avec solution de saccharose.

Groupe (2) : groupe de traitement par les huiles essentielles distribuées par voie orale ajoutées à la solution de saccharose.il est divisé en 4 sous-groupes :

- **RM 3 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 3µl/ ml.
- **RM 5 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 5µl/ ml.
- **AR 3 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une dose de 3µl/ ml.
- **AR 5 :** groupe d'abeilles nourries avec sirop de saccharose enrichi avec l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 5µl/ ml.

Groupe (3) : groupe dont les abeilles ont été nourries avec une solution de saccharose et traités par pulvérisation des huiles essentielles à différentes doses.il est réparti en 3 groupes :

- **PUL RM 5 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 5µl/ ml.
- **PUL RM 10 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 10µl/ ml.
- **PUL AR 10 :** abeilles traitées par pulvérisation de l'huile essentielle d'armoise « *Artemisia herba-alba* » à une concentration de 10µl/ ml.

Groupe (4) : Abeilles dont elles sont nourries avec un sirop enrichi avec huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une concentration de 5µl/ml et pulvérisées avec la même huile essentielle à une dose de 5µl/ ml.

Remarque

Les abeilles sont nourries quotidiennement avec 2000µl de traitement/cagette respectant les traitements appropriés de chaque cagette. Les traitements sont distribués dans chaque cagette à l'aide d'une micropipette de 1000µl x2.



**Figure 23 : distribution de traitement dans cagette à l'aide d'une micropipette
(originale,2024)**

II.3. Paramètres mesurés

Pour chaque essai (1, 2 et 3), trois paramètres sont mesurés : la viabilité, l'activité et la chute des varroas :

3.1. La viabilité ou la survie des abeilles

La mortalité des abeilles a été enregistrée quotidiennement pour chaque groupe et sous-groupe pendant une période défini pour chaque essai afin de mesurer la viabilité des abeilles.

Les résultats de la viabilité sont comparés entre le témoin et les différents groupes de traitements.

3.2. L'activité des abeilles

L'activité des abeilles a été mesurée subjectivement en notant chaque cagette comme ce suit :

- + + + : représente la plus forte activité ou 100% des abeilles sont actives.
- + + : représente une activité moyenne ou 75% des abeilles sont actives.
- + : représente la plus faible activité ou 40% des abeilles sont actives.
- 0 : ne représente aucune activité.

3.3. Chute des varroas

Une chemise en plastique transparent a été placée sous le grillage de chaque cagette afin de récupérer les parasites varroas tombés des abeilles

Figure 25 : cagette munie d'un plastique transparent pour récupérer le varroa tombé (originale,2024)

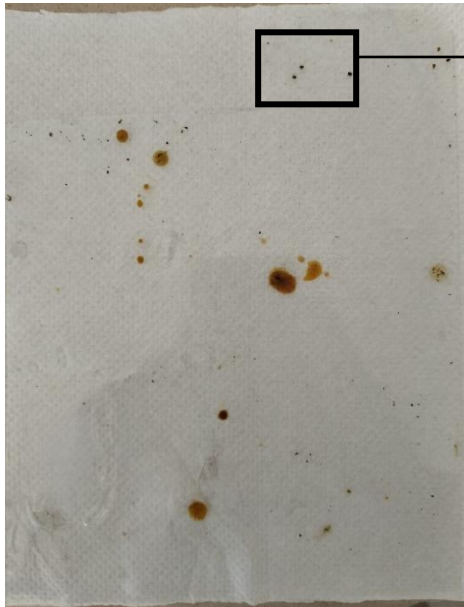


Figure 24 : Chemise en plastique récupéré d'une cagette posé au-dessus d'un fond blanc pour visualiser varroa tombé (originale,2024)



Figure 26 : Varroa récupéré sous grillage (originale, 2024)

IV.4. Analyse statistique

Les résultats de la viabilité et l'activité, exprimés en pourcentage et celles des varroas tombés, exprimé en entier naturel, ces résultats ont été enregistrés dans une feuille de calcul EXCEL et analysés à l'aide du logiciel Statview 4.02 (Abacus Concepts Inc., Berkeley, CA, USA).

Partie 2 : dans des conditions de terrain

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Le rucher se situe dans la région d'Azeffoun, une ville côtière de la wilaya de Tizi Ouzou en région de la grande Kabylie en Algérie, située à 70 km au nord-est de Tizi Ouzou et à 95 km à l'ouest de Béjaïa. (**Journal officiel de la République algérienne [archive], 1984**)



Figure 27 : Situation géographique de la région étude
(Azeffoun carte - Google Search, 2024)



Figure 28 : position du rucher dans la zone d'étude (originale,2024)

1.2. Situation apiculture dans la région

La région dispose de réserve naturelle et d'une biodiversité importante et nécessaire au développement de l'apiculture malgré le manque de la flore mellifère. La wilaya bénéficie de la proximité de la réserve de biosphère du Parc national du Djurdjura. La race d'abeille rencontrée dans cette région est l'*Apis Mellifera*. L'activité apiculture principale de la région est la production du miel. (**Bourkache. F et Perrete. C ,2014**)

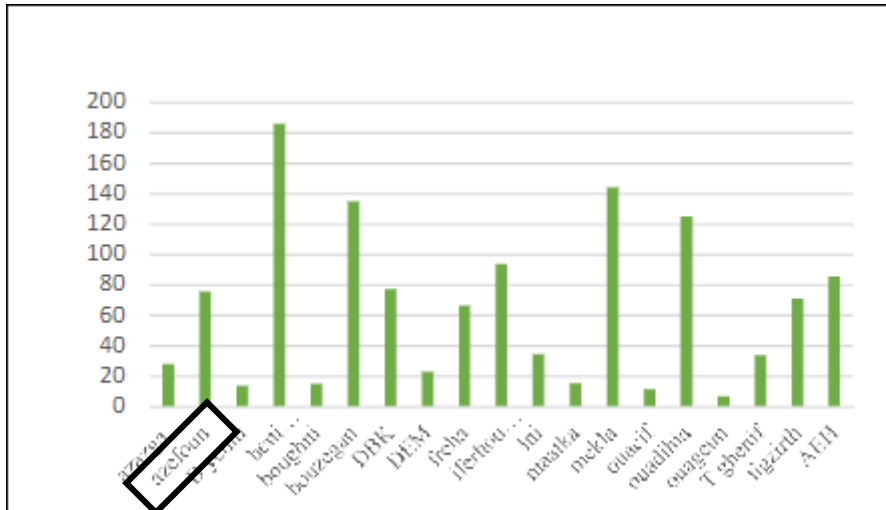


Figure 29: production du miel dans diverses daïra de Tizi Ouzou (DSA, 2021).

2. Application de traitement

Un traitement de pulvérisation de l’huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » à une dose de 5µl/ml a été appliqué sur 5 ruches.

3. Paramètre mesuré

Un seul paramètre a été mesuré est la chute du *varroa destructor* parasite d’abeilles domestiques *Apis mellifera*.

Afin de récupérer les parasites varroas tombés un papier est placé entre le corps de la ruche et son plancher.

Après 24h d’application du traitement les papiers sont récupérés.

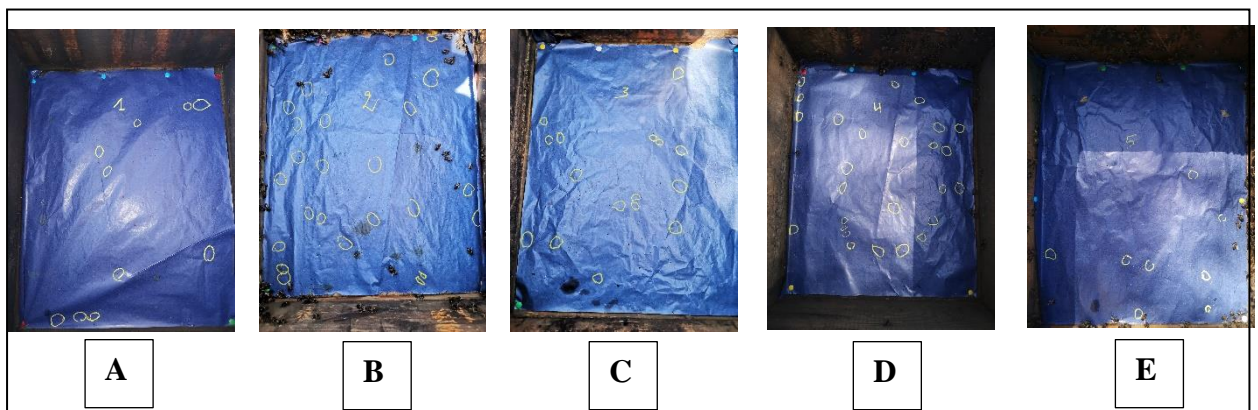


Figure 30 : Les papiers récupérés sous les ruches contenant le varroa tombé (originale,2024).

Légende : les varroas représentés en cercle jaune

A : Varroas récupéré de la ruche (1), **B** : Varroas récupéré de la ruche (2), **C** : Varroas récupéré de la ruche (3), **D** : Varroas récupéré de la ruche (4), **E** : Varroas récupéré de la ruche (5)

Résultats et discussion

I. Etude de l'effet des huiles essentielles sur l'abeille in vitro

Nous avons pour objectif dans cette partie d'évaluer l'efficacité des huiles essentielles, en particulier l'huile essentielle de romarin « *Rosmarinus officinalis* » et d'armoise « *Artemisia herba-alba* », sur la viabilité des abeilles ainsi que sur leur activité, tout en les administrant par voie orale et par pulvérisation.

Actuellement, peu de données scientifiques existent sur l'administration orale d'huiles essentielles aux abeilles sans causer leur mortalité, et aucune étude n'existe sur leur application par pulvérisation sur les abeilles, tout en préservant leur survie à long terme. De plus, les huiles essentielles sont connues pour leur toxicité, notamment par voie orale.

Comme première démarche, nous avons commencé par tester la toxicité des huiles essentielles en les administrant et en les appliquant à différentes doses afin d'identifier la dose idéale qui protège et/ou améliore l'activité des abeilles et/ou ne cause pas plus de mortalité.

I.1. Etude de l'effet des huiles essentielles sur l'activité des abeilles

1.1. Administration des huiles essentielles par voie orale

1.1.1. Essai (01)

Le diagramme en bâtons présenté montre le pourcentage d'activité des abeilles sous l'effet de différents traitements.

L'axe des y représente le pourcentage d'activité, tandis que l'axe des x représente les jours de l'essai. Les différentes barres représentent les différents traitements, et la couleur de chaque barre correspond à un traitement spécifique. (Figure.31)

Selon nos résultats présentés dans la Figure 31, nous pouvons dire que l'analyse statistique montre que les traitements ayant un effet positif sur l'activité des abeilles sont :

- **AR1 µl/ml** : L'activité des abeilles dans le traitement **AR1µl/ml** a été supérieure au contrôle pendant une partie importante de l'essai, atteignant un pic le 8^{ème} jour.
- En revanche, l'activité des abeilles traitées par le **RM3 µl/ml** est presque égale à celle des abeilles de contrôle.

D'autre part, le traitement ayant un effet négatif sur l'activité des abeilles est :

- **RM1 $\mu\text{l/ml}$** : L'activité des abeilles dans le traitement **RM1 $\mu\text{l/ml}$** a été inférieure au contrôle pendant la majorité de l'essai, avec un minimum d'activité de 40% le 10^{ème} jour.

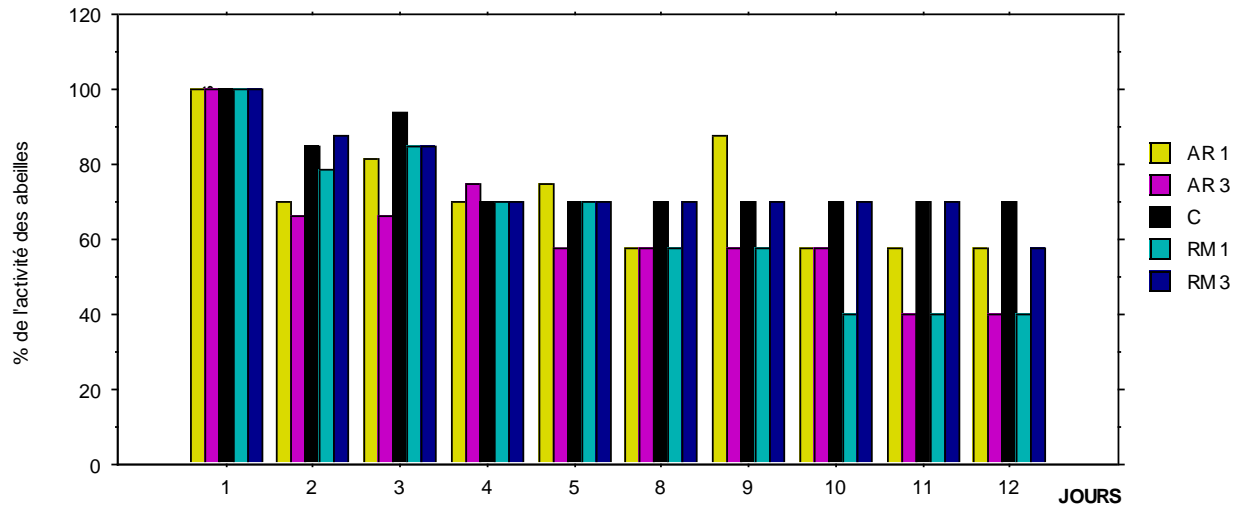


Figure 31 : Effet des différents traitements des huiles essentielles administrées par voie orale sur l'activité des abeilles (Essai 01)

Nos résultats montrent des variations de l'activité des abeilles en fonction des différents traitements aux huiles essentielles.

L'augmentation de l'activité des abeilles traitées par l'armoise (**AR1 $\mu\text{l/ml}$**) suggère que ce traitement améliore leur activité. En se référant aux résultats de **Lazăr et al., (2022)**, les huiles essentielles comme l'origan, la menthe et le thym ont un effet positif sur la composition chimique du miel et améliorent les propriétés antimicrobiennes, ce qui peut indirectement influencer la santé générale des abeilles et leur niveau d'activité. Étant donné que l'armoise est semblable au thym, appartenant tous deux à la famille des Lamiacées et riches en composés terpéniques (**Salon et al., 2011**), cette similitude chimique suggère que le traitement à l'armoise pourrait avoir des effets similaires à ceux du thym sur les abeilles.

Par contre, la diminution notable de l'activité des abeilles traitées par le romarin (**RM1 $\mu\text{l/ml}$**) est probablement liée à un effet négatif ou répulsif de cette dose de traitement sur ces abeilles.

1.1.2. Essai (02)

Les résultats présentés dans le diagramme en bâtons montrent l'effet des huiles essentielles d'armoise et de romarin sur l'activité des abeilles ouvrières.

Nos résultats obtenus montrent que l'activité des abeilles dans groupe témoin (C) diminue progressivement à partir de 2^{ème} jour après le début du traitement (Figure.32).

En revanche, l'activité des abeilles dans groupe **AR5µl/ml** traitées par l'huile essentielle d'armoise semble être similaire à celle du groupe **RM5µl/ml** où les abeilles sont traitées par l'huile essentielle de romarin, à l'exception d'une légère augmentation de 15% au 3^{ème} jour chez le groupe **AR5 µl/ml** (Figure.32).

Le meilleur taux d'activité a été enregistré au 3^{ème} jour pour les abeilles traitées avec huile essentielle d'armoise avec une dose de **5µl/ml** (Figure.32).

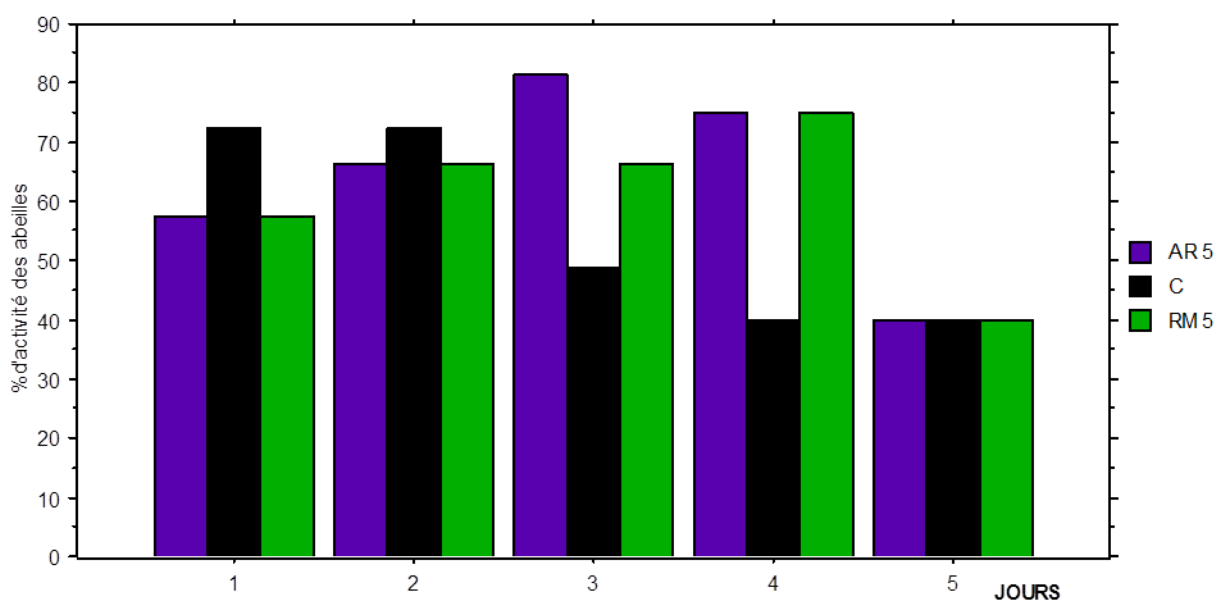


Figure 32 : Effets de deux huiles essentielles administrés par voie orale sur l'activité des abeilles (Essai 02)

La diminution de l'activité des abeilles dans le groupe témoin (C) (Figure 32) suggère que le temps a un effet néfaste sur le niveau d'activité des abeilles, même en l'absence de tout traitement. Ce déclin d'activité pourrait être dû à divers facteurs, tels que la fatigue, le stress ou l'exposition à

des agents pathogènes notamment dont les abeilles ont été déjà infestées par le parasite *varroa destructor*.

En revanche, la stabilité et l'augmentation légère de l'activité des abeilles dans les groupes **AR5** (huile essentielle d'armoise à **5µl/ml**) et **RM5** (huile essentielle de romarin à **5µl/ml**) (Figure 32) suggère que les huiles essentielles d'armoise et de romarin ont un effet positif sur l'activité des abeilles, contrecarrant le déclin observé dans le groupe témoin.

Les observations dans les groupes **AR5** et **RM5** suggèrent que les deux huiles essentielles ont une efficacité comparable pour stimuler l'activité des abeilles. Cependant, l'augmentation d'activité observée chez le groupe **AR5** au 3^{ème} jour pourrait indiquer un effet légèrement plus bénéfique de l'huile essentielle d'armoise à ce moment précis.

La combinaison de traitement (huile essentielle d'armoise à **5µl/ml**) semble être la plus efficace pour stimuler l'activité des abeilles.

Ces effets positifs peuvent être liés à leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et immunomodulatrices (**Nam et al., 2014**). Ces propriétés pourraient aider à protéger les abeilles du stress oxydatif, contribuant ainsi à maintenir leur santé notamment leur activité.

Les résultats de cette étude suggèrent que les huiles essentielles d'armoise et de romarin ont un effet positif sur l'activité des abeilles, contrecarrant le déclin d'activité observé dans le groupe témoin. L'huile essentielle d'armoise semble avoir un effet légèrement plus bénéfique que l'huile essentielle de romarin, en particulier à une dose de **5µl/ml**.

1.1.3. Essai (03)

Le diagramme en bâtons (Figure 33) montre le pourcentage d'activité des abeilles sous l'effet de différents traitements par voie orale et par voie orale + pulvérisation au même temps.

L'axe des y représente le pourcentage d'activité, tandis que l'axe des x représente la période d'essai. Les différentes barres représentent les différents traitements, et la couleur de chaque barre correspond à un traitement spécifique.

D'après le diagramme, l'activité des abeilles tend à augmenter au fil des jours pour tous les traitements : **AR 5 µl/ml**, **AR 3 µl/ml**, **RM 5 µl/ml**, **RM 3 µl/ml** et **RM 5 µl/ml + PUL5 µl/ml**, ainsi que pour le contrôle. Cependant, cette augmentation est plus remarquable pour la majorité des traitements comparativement au contrôle

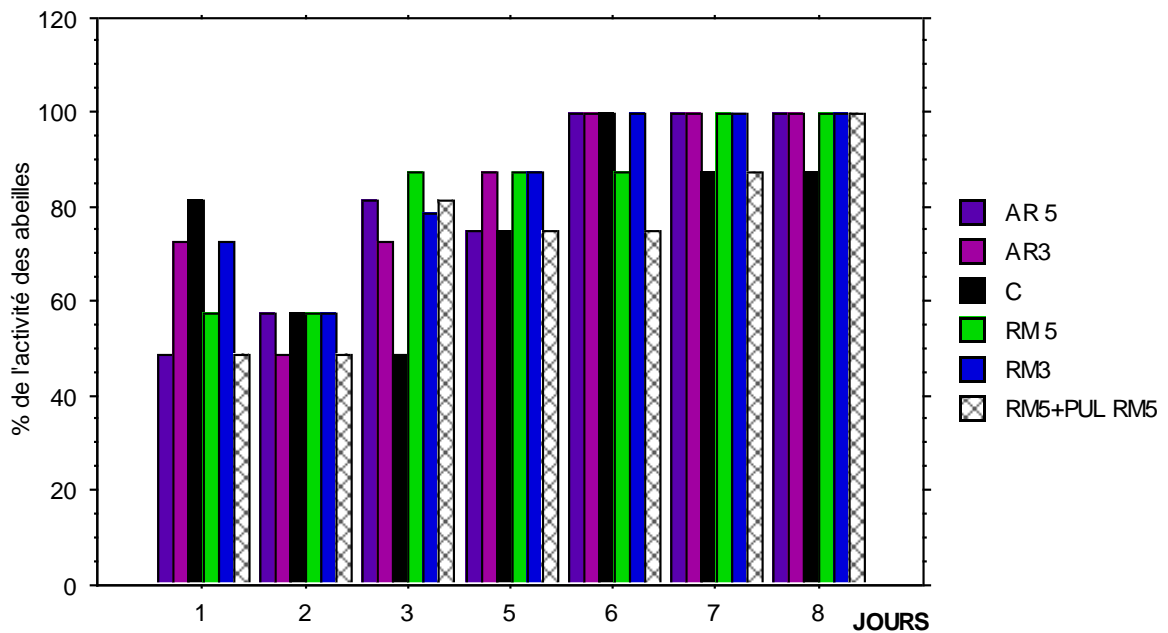


Figure 33 : Effets des huiles essentielles administrés par voie orale et/ou par pulvérisation sur l'activité des abeilles (Essai 03)

L'augmentation de l'activité des abeilles au fil des jours pour tous les traitements, y compris le groupe témoin (**contrôle**) pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs :

- Adaptation au stress expérimental et au traitement : Au début de l'expérience, les abeilles pourraient être perturbées par le nouvel environnement et les manipulations. Au fil des jours, elles pourraient s'adapter progressivement à ces conditions dont les effets des huiles essentielles, ce qui se traduirait par une augmentation de leur activité au fil du temps.
- Des facteurs externes tels que la température, la disponibilité de la nourriture pourraient influencer l'activité des abeilles indépendamment des traitements pendant la période de l'expérience.

Cependant, il est important de noter que l'augmentation de l'activité des abeilles pour la majorité des traitements (**AR5, AR3, RM5 et RM5+PUL**) suggère que les huiles essentielles, administrées par voie orale ou par pulvérisation, ont un effet positif sur l'activité des abeilles.

En comparant les différents traitements à base d'huiles essentielles, on observe que l'huile essentielle d'armoise (**AR5 et AR3**) semble avoir un effet stimulant plus important sur l'activité des abeilles que l'huile essentielle de romarin (**RM5 et RM3**). Cette différence d'effet pourrait

s'expliquer par la composition chimique distincte des deux huiles essentielles et leurs propriétés pharmacologiques spécifiques.

Il est intéressant de noter que le groupe **RM5+PUL RM5**, qui a reçu une combinaison d'huile essentielle de romarin par voie orale et par pulvérisation, présente une augmentation d'activité similaire à celle du groupe **RM5** (huile essentielle de romarin par voie orale uniquement). Cela suggère que la pulvérisation n'a pas d'effet supplémentaire sur l'activité des abeilles dans ce cas précis.

1.2. Application des huiles essentielles par pulvérisation

1.2.1. Essai (01)

Le diagramme en bâtons (Figure .34) représente le pourcentage d'activité des abeilles sous l'effet de différents traitements par pulvérisation.

L'axe des y représente le pourcentage d'activité, tandis que l'axe des x représente les jours de l'essai. Les différentes barres représentent les différents traitements, et la couleur de chaque barre correspond à un traitement différent.

D'après les résultats, les traitements ayant un effet positif sur l'activité des abeilles sont :

- **AR PUL 5 µl/ml, RM PUL 5 µl/ml et AR PUL 3 µl/ml**, car l'activité des abeilles dans ces trois groupes est supérieure à celle du groupe de contrôle pendant la majorité des jours de l'essai (Figure.34).

En revanche, l'activité des abeilles sous le traitement **RM PUL 3 µl/ml** a été inférieure à celle du groupe de contrôle pendant la majeure partie de l'essai, atteignant un minimum de 40% le 10^{ème} jour (Figure.34). Cette baisse remarquable indique que le traitement **RM PUL3 µl/ml** a un effet négatif sur l'activité des abeilles.

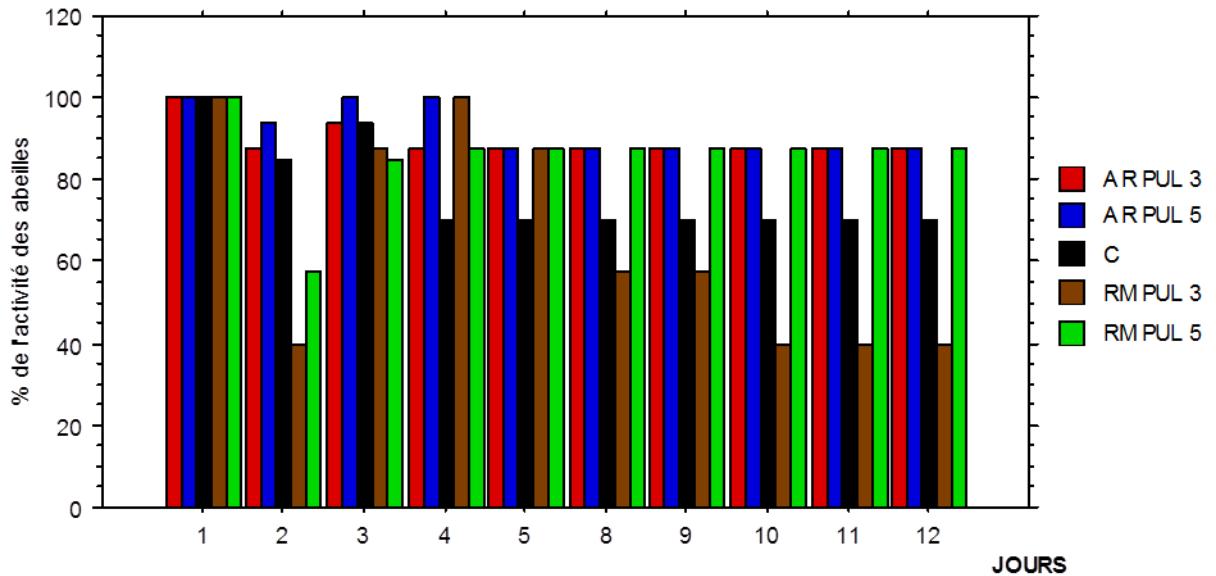


Figure 34 : Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur l’activité des abeilles (Essai 01)

Dans cette expérience, les abeilles ont été traitées par pulvérisation avec différents traitements des huiles essentielles, ce qui a permis d'observer des effets directs sur l'activité des abeilles en fonction des traitements appliqués. La pulvérisation implique une application directe des traitements sur les abeilles ce qui influe sur leur comportement immédiatement et on a remarqué d'après les résultats que les traitements **AR PUL5 $\mu\text{l/ml}$** , **AR PUL3 $\mu\text{l/ml}$** , **RM PUL5 $\mu\text{l/ml}$** ont montré une augmentation d'activité des abeilles. Ces observations suggèrent que la pulvérisation a un effet à la fois physique (absorption) et physiologique sur les abeilles selon **Neira et al.,(2004)**.

Cette augmentation peut être attribuée à la composition chimique des traitements, appliqués à des concentrations spécifiques : romarin par pulvérisation à **5 $\mu\text{l/ml}$** , armoise par pulvérisation à **5 $\mu\text{l/ml}$** et **3 $\mu\text{l/ml}$** . Cette augmentation peut être aussi due à l’activité antimicrobienne, anti-inflammatoire et antioxydante du romarin et de l’armoïse (**Nam et al., 2014**).

1.2.2. Essai (02)

Les résultats présentés en diagrammes en bâtons montrent les effets des huiles essentielles de romarin et d’armoïse par pulvérisation sur l’activité des abeilles ouvrières

Les résultats montrent une activité des abeilles dans le groupe témoin qui diminue progressivement au fil des jours (Figure.35).

Les deux doses pulvérisées de l'huile essentielles d'armoise montrent une activité d'abeilles qui semble être similaire et/ou inférieure durant toute la période de mesure à l'exception du 2^{ème} et 3^{ème} jour où les doses de **5 µl/ml** et **10µl/ml, d'armoise** ont montré une activité supérieure au témoin respectivement (Figure.35).

En revanche l'huile essentielle de romarin pulvérisée à une concentration de **5 µl/ml**, a connu une diminution progressive d'activité des abeilles au fil des jours d'essai avec une activité supérieure à celle du groupe témoin, à l'exception de 5^{ème} jour où elle était similaire. Tandis que la dose de **10 µl/ml**, de la même huile a montré une activité similaire au groupe témoin durant toute la durée de mesure, à l'exception du dernier jour où elle a montré la meilleure activité par rapport aux divers traitements (Figure.35).

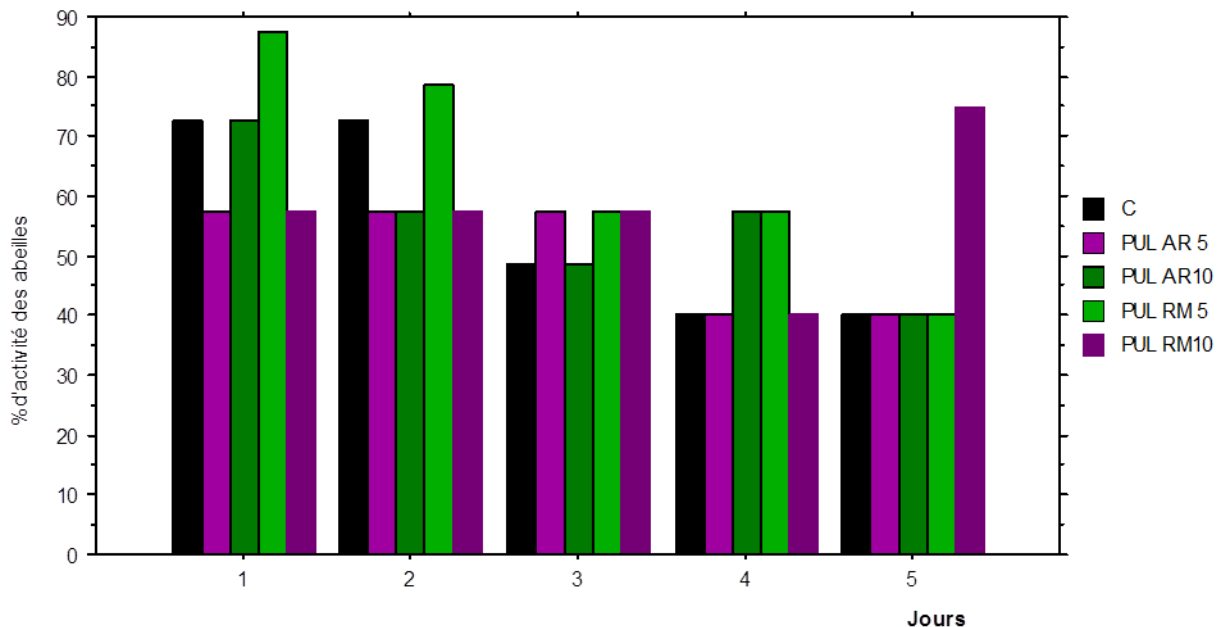


Figure 35: Effets des huiles essentielles pulvérisés sur l'activité des abeilles (Essai 02)

La diminution progressivement observée dans groupe témoin(C), indique un effet négatif du temps sur leur niveau d'activité. En revanche, les groupes traités avec des huiles essentielles pulvérisées présentent des tendances d'activité diverses. Les deux doses d'huile essentielle d'armoise pulvérisée (5µl et 10µl) semblent avoir un effet similaire ou inférieur à celui du groupe témoin sur l'activité des abeilles tout au long de la période de mesure. Cependant, nous observons une augmentation temporaire de l'activité pour les deux doses d'armoise au 2^{ème} et 3^{ème} jour, suggérant un effet stimulant potentiel de l'huile essentielle d'armoise à ces moments précis. Ce qui

indique que l'huile essentielle d'armoise peut avoir un effet stimulant temporaire sur l'activité des abeilles, mais cet effet ne se maintient pas sur la durée de l'expérimentation.

L'huile essentielle de romarin pulvérisée est plus contrastée. La dose de **5µl/ml** montre une diminution progressive de l'activité des abeilles au fil des jours, mais reste supérieure à celle du groupe témoin à l'exception du 5^{ème} jour, cela suggère que l'huile essentielle de romarin à cette dose peut avoir un effet stimulant modéré sur l'activité des abeilles, mais cet effet diminue également avec le temps. La dose de **10µl/ml**, en revanche, présente une activité similaire au groupe témoin pendant la majeure partie de la période de mesure, avec une augmentation notable de l'activité le dernier jour. Cela suggère que l'huile essentielle de romarin à cette dose peut avoir un effet stimulant ponctuel sur l'activité des abeilles, mais cet effet n'est pas durable.

En comparant les deux huiles essentielles et en se basant sur l'activité des abeilles à la fin de l'expérimentation (5^{ème} jour), le traitement avec pulvérisation de l'huile essentielle de romarin à une concentration de **10µl/ml** semble être le plus efficace pour améliorer l'activité des abeilles. Cependant, il est important de noter que l'effet stimulant de cette dose n'est que ponctuel et ne se maintient pas sur la durée. Les résultats positifs peuvent être due aux propriétés bénéfiques des huiles essentielles qui peuvent se diffuser par absorption cutanée (Neira et al., 2004)

Les résultats de cette étude suggèrent que les huiles essentielles d'armoise et de romarin, pulvérisées sur les abeilles, peuvent avoir un effet stimulant sur leur activité, mais cet effet est temporaire et variable selon la dose et le type d'huile essentielle.

1.2.3. Essai (03)

Les résultats sont présentés en digrammes en bâtons où l'axe des ordonnées représente le taux d'activité des abeilles et l'axe des abscisses représente les jours après début de traitement, les différents traitements sont représentés en couleur, où chaque couleur correspond à un traitement spécifique.

D'après le diagramme en bâtons, l'activité des abeilles des traitements **PUL AR 10** et **PUL RM 5** est supérieure à celle des abeilles du groupe contrôle tout au long de l'essai. Cela suggère que ces deux traitements ont eu un effet positif sur l'activité des abeilles.

En revanche, l'activité des abeilles sous le traitement **PUL RM 10** est inférieure à celle des abeilles du groupe contrôle à partir du 2^{ème} jour. Cela suggère que ce traitement a eu un effet négatif sur l'activité des abeilles après le 2^{ème} jour (Figure 36).

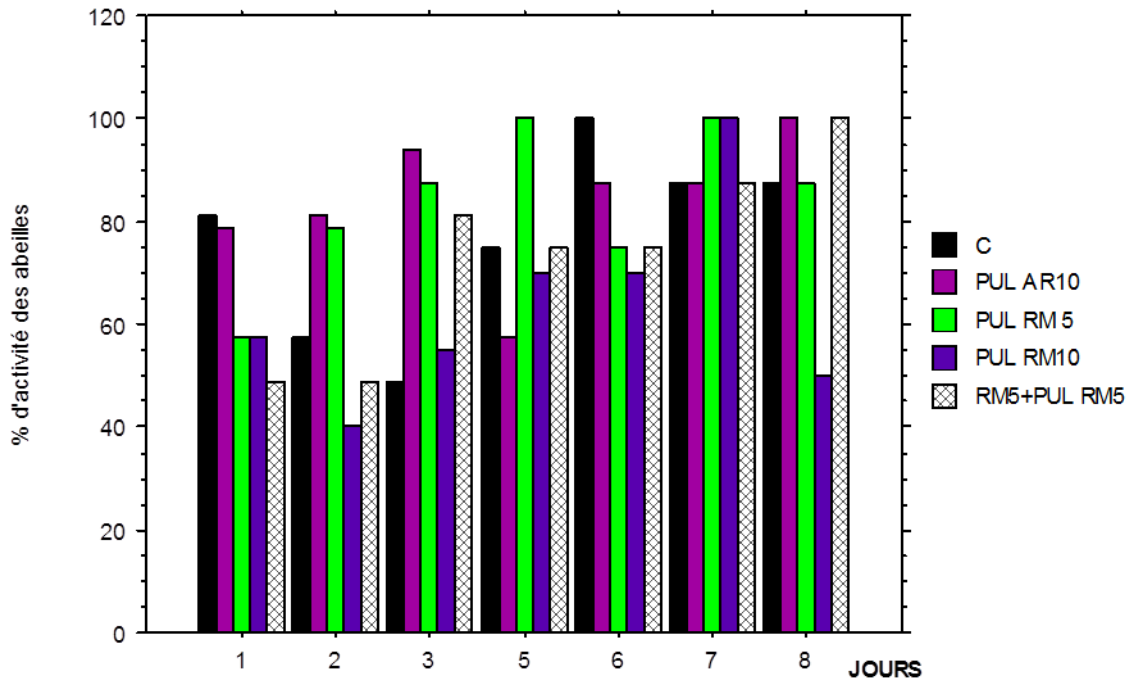


Figure 36 : Effets des huiles essentielles appliquées par pulvérisation sur l'activité des abeilles (Essai 3)

L'activité des abeilles dans le groupe témoin reste relativement stable tout au long de l'expérimentation. Le traitement par pulvérisation d'huile essentielle d'armoise à une dose de **10µl/ml (PUL AR 10)** et traitement par pulvérisation d'huile essentielle de romarin à une dose de **5µl/ml (PUL RM 5)** montrent une activité des abeilles globalement supérieure à celle du groupe témoin tout au long de l'essai. Cela suggère que l'huile essentielle d'armoise et de romarin à ces doses à un effet positif et durable sur l'activité des abeilles. Contrairement aux deux traitements précédents, le traitement par pulvérisation d'huile essentielle de romarin à une dose de **10µl/ml (PUL RM 10)** montre une activité des abeilles inférieure à celle du groupe témoin à partir du 2^{ème} jour. Cela suggère que l'huile essentielle de romarin à cette dose à un effet négatif sur l'activité des abeilles après le 2^{ème} jour. L'effet négatif de l'huile essentielle de romarin à une dose de **10µl/ml (PUL RM 10)** pourrait s'expliquer par une dose trop élevée de cette huile essentielle. Il est possible que cette dose élevée ait un effet toxique sur les abeilles à long terme, ce qui expliquerait la diminution de leur activité.

En se basant sur l'activité des abeilles tout au long de l'expérimentation, les traitements par pulvérisation d'huile essentielle d'armoise à une dose de **10 μ l/ml (PUL AR 10)** et d'huile essentielle de romarin à une dose de **5 μ l/ml (PUL RM 5)** semblent être les plus efficaces pour améliorer l'activité des abeilles.

Il est intéressant de noter que le groupe **RM5+PUL RM5**, qui a reçu une combinaison d'huile essentielle de romarin par voie orale et par pulvérisation, présente une augmentation d'activité similaire à celle du groupe **PUL RM5** (huile essentielle de romarin par voie pulvérisation uniquement) mais qui se maintient jusqu'à la fin de l'expérience par rapport au groupe **PUL RM5**. Cela suggère que L'administration par voie orale présente un effet supplémentaire sur l'activité des abeilles dans ce cas précis.

II.2. Etude de l'effet des huiles essentielles sur la viabilité des abeilles

2.1. Administration des huiles essentielles par voie orale

2.1.1. Essai (01)

Le graphique montre l'évolution de pourcentage de la viabilité des abeilles sur une période de 12 jours pour différents traitements par voie orale.

Les résultats montrent que l'activité des abeilles avec le traitement AR 1 est supérieure à celle du groupe de contrôle jusqu'au 7^{ème}. À partir du 8^{ème}, nous observons une légère diminution, et la viabilité des abeilles sous le traitement **AR 1** devient égale à celle du groupe de contrôle (figure 37).

Le traitement AR3 présente une tendance à une diminution graduelle de la viabilité des abeilles à partir du jour 2. Cette baisse s'accroît jusqu'à atteindre un niveau minimal d'environ 40% à partir du 5^{ème}, en contraste avec le groupe témoin qui maintient une viabilité stable aux alentours de 75%. Cette observation suggère que le traitement **AR 3** a un effet négatif sur la santé des abeilles, particulièrement à partir de la 2^{ème} journée d'application (figure 37).

Le traitement **RM 1** se caractérise par une baisse initiale de la viabilité des abeilles, suivie d'une phase de stabilisation où la viabilité se rapproche de celle du groupe témoin. Cependant, cette stabilisation est temporaire, car la viabilité redescend à un niveau minimal d'environ 40% à partir du 5^{ème}. Cette tendance indique que le traitement **RM 1** a un effet négatif sur la viabilité des abeilles à long terme, bien que son impact initial soit plus prononcé que celui du traitement AR3 (Figure 37).

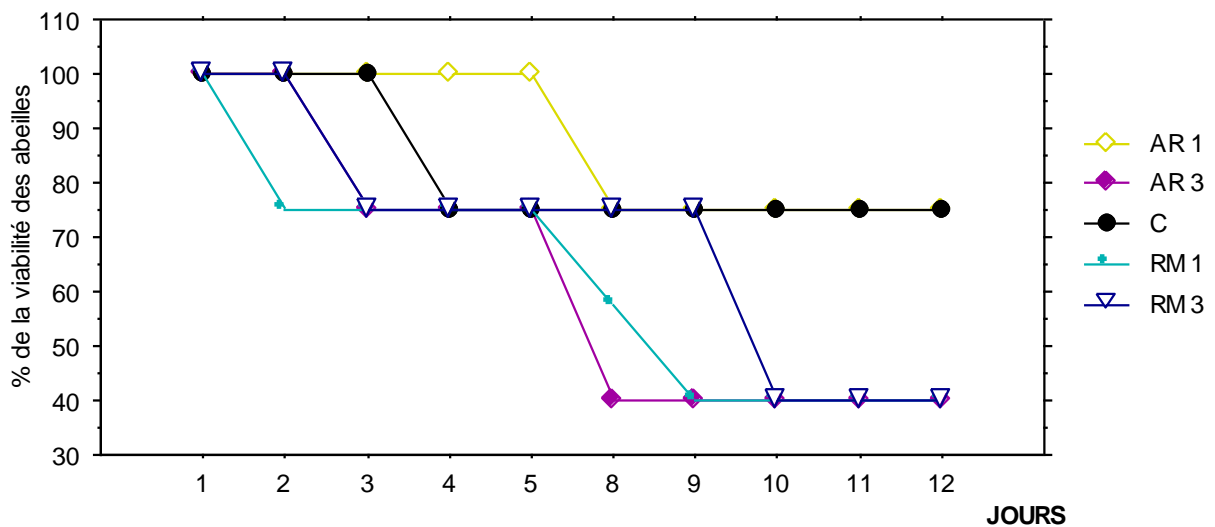


Figure 37 : Effets des huiles essentielles administrées par voie orale sur la viabilité des abeilles (Essai 01)

L'analyse de ces résultats indique que la viabilité des abeilles sous le traitement à l'armoise **1 µl/ml (AR 1)** est supérieure à celle du groupe de contrôle, qui diminue tout au long de la période de mesure. Cela suggère que le traitement **AR 1** a un effet bénéfique sur la santé des abeilles et peut ralentir leur déclin sur une durée plus importante que celle du groupe de contrôle.

Selon **Rossini et al. (2020)** l'ingestion de l'huile essentielle d'*Eupatorium buniifolium* n'affecte pas la survie des abeilles. Il est possible d'estimer que cela est lié à la composition chimique des deux huiles, car elles contiennent toutes deux des flavonoïdes et des composés phénoliques connus pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

Par contre, le traitement à l'armoise **3 µl/ml (AR 3)** montre un effet négatif sur la santé des abeilles, qui peut être dû à la concentration élevée de l'armoise. D'après les résultats de **Martin Ewert et al, (2023)**, les différentes doses d'huile essentielle peuvent avoir des effets négatifs, comme la menthe qui améliore la viabilité à une faible concentration mais à un effet négatif à une concentration élevée.

2.1.2. Essai (02)

Les résultats sont présentés en courbe étudiant les effets des huiles essentielles de romarin et d'armoise administré par voie orale sur la viabilité des abeilles (Figure 38)

Les résultats obtenus indiquent que la viabilité des abeilles du groupe témoin diminue progressivement au cours de la période de mesure, atteignant un niveau quasi inexistant avec un pourcentage de 5% le 5^{ème} jour (Figure 38).

La viabilité des abeilles traitées avec de l'huile essentielle d'armoise (AR5) et de romarin (RM5) à une dose de 5µl est globalement supérieure à celle des abeilles du groupe témoin (C) au cours des 5 jours suivant le début du traitement (Figure 38).

Les abeilles traitées avec huile essentielle d'armoise à 5µl ont montré la meilleure viabilité toute la période de traitement en passant de 100% le 1^{er} jour à environ 55% le 5^{ème} jour de traitement.

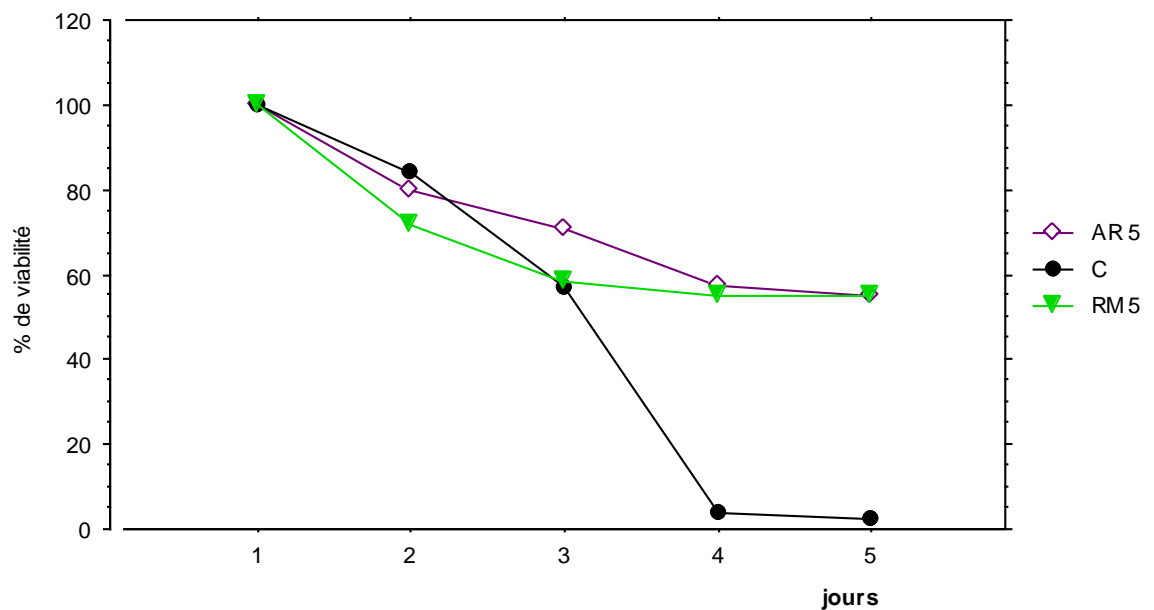


Figure 38: Effets des huiles essentielles administrés par voie orale sur la viabilité des abeilles (Essai 02)

La viabilité des abeilles dans le groupe témoin diminue progressivement au cours de la période de mesure. Cela suggère que les abeilles non traitées subissent une dégradation de leur santé au fil des jours.

En se basant sur la viabilité des abeilles durant toute la période de l'expérimentation, l'huile essentielle d'armoise à **5µl/ml (AR5)** semble être le traitement le plus efficace pour maintenir la viabilité des abeilles, en effet, la diminution de cette dernière dans ce groupe est la moins importante parmi les trois groupes. L'huile essentielle de romarin à **5µl/ml (RM5)** montre également un effet positif, mais légèrement moins important que l'huile d'armoise. Cela suggère que le traitement par ces deux huiles essentielles à cette dose a un effet positif sur la viabilité des abeilles, en ralentissant leur déclin.

Selon **Porrini et al , (2017)** l'utilisation de l'huile essentielle de romarin à deux concentrations (333 mg/kg et 6666 mg/kg) n'a eu aucune amélioration sur la viabilité des abeilles ouvrière par rapport au groupe témoin. Cette observation est probablement due à la concentration élevée d'huile essentielle qui pourrait être toxique par rapport à la présence élevée de β -myrcène (25%) et de 1,8-cinéol (9,1%). D'autres huiles essentielles, telles que l'huile essentielle d'eucalyptus, de cannelle et de laurier rose, ont montré un effet toxique sur la viabilité des abeilles ouvrières aux mêmes concentrations (**Porrini et al., 2017**).

L'absence d'effets négatifs d'autres huiles essentielles sur les abeilles peut s'expliquer par les doses utilisées et les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires des composés présents tels que les polyphénols et les flavonoïdes (**Khan et al., 2016 ; Taofiq et al., 2017**).

Selon **Martin Ewert et al, (2023)** qui a examiné l'effet de trois huiles essentielles (thym, menthe verte et citronnelle) sur la survie des abeilles à deux doses différentes (faible et élevée). Les résultats ont montré des effets variables et parfois contradictoires entre les différentes huiles et les différentes doses. Dont l'huile de thym a eu un effet négatif sur la survie des abeilles, surtout à faible dose. Par contre, l'huile de menthe verte a un effet variable, améliorant la survie à faible dose mais l'aggravant à haute dose. En revanche, l'huile de citronnelle a un effet positif, surtout à haute dose, augmentant notablement la durée de vie des abeilles.

Les effets positifs des huiles essentielles d'armoise et de romarin observées sur la viabilité des abeilles pourraient s'expliquer par leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et immunomodulatrices (**Nam et al., 2014**). Ces propriétés pourraient aider à protéger les abeilles du stress oxydatif, des infections et des maladies, contribuant ainsi à maintenir leur santé et leur viabilité.

D'après les données présentées, il semble que les traitements aux huiles essentielles d'armoise (**AR5**) et de romarin (**RM5**) pourraient avoir un effet protecteur sur la viabilité des abeilles par

rapport au groupe contrôle (C). Les abeilles traitées aux huiles essentielles semblent présenter une diminution moins importante de leur viabilité au fil du temps.

2.1.3. Essai (03)

Le graphique présenté montre le pourcentage de la viabilité des abeilles sous l'effet de différents traitements par voie orale et par voie orale + pulvérisation au même temps.

Selon le graphique, les différents traitements administrés aux abeilles montrent des effets variables sur leur viabilité par rapport au groupe contrôle. Notamment, le traitement **AR5** se distingue comme étant le plus bénéfique, affichant une viabilité supérieure tout au long de la période d'essai par rapport au contrôle (figure 39). À l'opposé, le traitement **RM5** présente la plus faible viabilité, indiquant des niveaux inférieurs au contrôle. Cependant, lorsqu'il est combiné avec une pulvérisation (**RM5 + PUL RM5**), ainsi que dans le cas du traitement **RM3**, la viabilité observée est relativement similaire à celle du groupe contrôle (figure 39).

Ces résultats suggèrent que le traitement **AR5** pourrait être une option favorable pour améliorer la viabilité des abeilles.

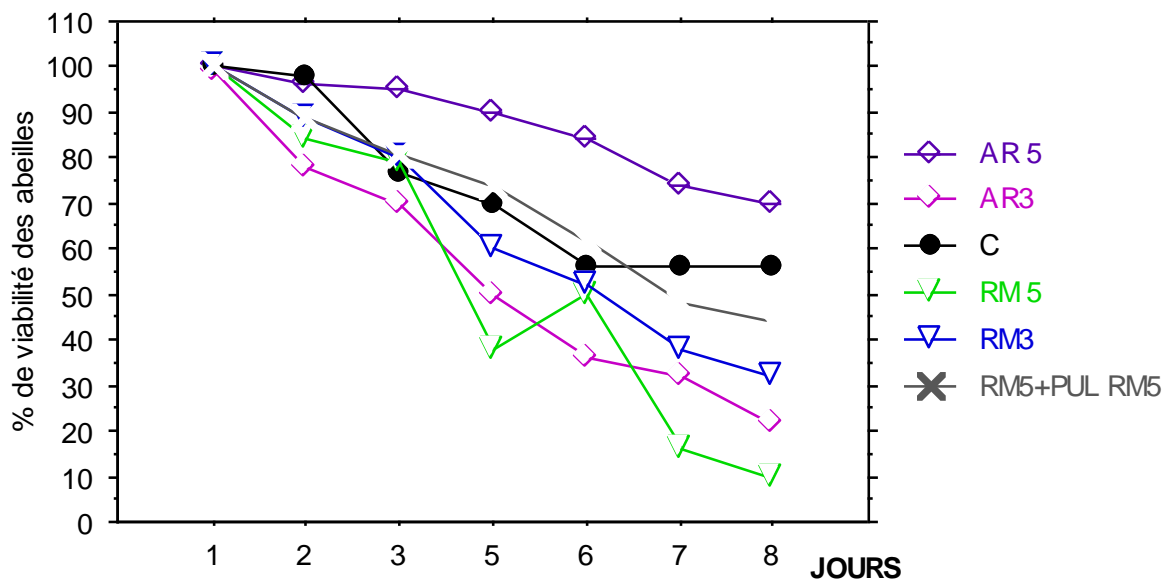


Figure 39: Effets des huiles essentielles administrées par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 03)

Le traitement par l'armoise à **5µl/ml (AR5)** se distingue comme le plus bénéfique, avec une viabilité supérieure au contrôle tout au long de la période d'essai (Figure 39). Cela suggère que le

traitement AR5 pourrait favoriser la survie et la santé des abeilles. Cet effet positif observé pourra s'expliquer par ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et immunomodulatrices (Nam et al., 2014). Tandis que le traitement par de l'huile essentielle de romarin à 5µl/ml (RM5) présente la plus faible viabilité, avec des niveaux inférieurs au contrôle. Cela indique un effet négatif du traitement RM5 sur la survie des abeilles. Cette différence d'effet pourrait s'expliquer par la composition chimique distincte des deux huiles essentielles et leurs propriétés pharmacologiques spécifiques.

En revanche, lorsque le traitement RM5 est combiné à une pulvérisation (RM5 + PUL RM5) ou que le traitement par romarin est utilisé à faible dose de 3µl/ml (RM3), la viabilité observée est relativement similaire à celle du groupe contrôle (Figure 39). Cela suggère que la pulvérisation pourrait atténuer l'effet négatif du traitement RM5, ou que le traitement RM3 pourrait avoir un effet neutre sur la viabilité.

2.2. Application des huiles essentielles par pulvérisation

2.2.1. Essai (01)

Le graphique (Figure 40) montre la viabilité des abeilles en fonction du temps sous l'effet de différents traitements. La viabilité est mesurée en pourcentage et est représentée par l'axe y. Le temps est mesuré en jours et est représenté par l'axe x.

Les résultats d'AR PUL 5 montrent que la viabilité des abeilles sous ce traitement est comparable à celle des abeilles du groupe de contrôle la plupart du temps, avec une légère augmentation observée au 4^{ème} jour.

En revanche la courbe de RM PUL 3 montre que la viabilité des abeilles est inférieure à celle du contrôle tout au long de l'expérience. Cela indique que le traitement RM PUL 3 a un effet négatif sur la viabilité des abeilles.

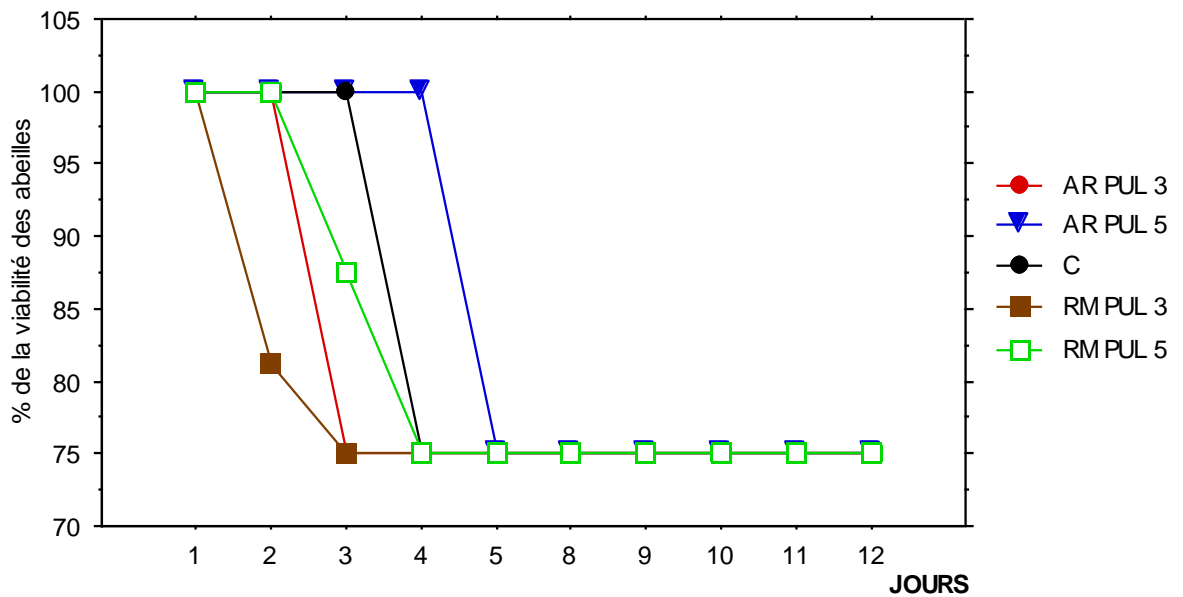


Figure 40: Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 01)

Les résultats obtenus révèlent des différences notables dans la viabilité des abeilles selon les différents traitements aux huiles essentielles. Ces résultats suggèrent que le traitement à l'armoise par pulvérisation de **5 µl/ml (AR PUL 5)** n'a pas d'effet négatif sur la viabilité des abeilles et pourrait même avoir un effet légèrement bénéfique, comme l'indique l'augmentation observée au jour 4 par rapport au groupe de contrôle. D'après les résultats de **Nam et al, (2014)**. Ces effets bénéfiques de l'armoise sur la viabilité des abeilles peuvent s'expliquer par ses propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes et immunomodulatrices.

En revanche, le traitement romarin de **3 µl/ml (RM PUL 3)** a un effet négatif sur la viabilité des abeilles, qui pourrait être dû à plusieurs facteurs, telle que la concentration. Selon les résultats de **Martin Ewert et al, (2023)**, différentes doses de la même huile essentielle peuvent avoir des effets variés sur la viabilité des abeilles, certaines concentrations pouvant être toxiques, comme c'est le cas avec cette concentration de romarin

2.2.2. Essai (02)

Les résultats (Figure 41) présentent l'effet de deux huiles essentielles romarin et armoise sur la viabilité des abeilles ouvrières appliqués par pulvérisation à deux doses différentes **5µl/ml** et **10µl/ml**.

Les résultats montrent une diminution progressive de la viabilité des abeilles du groupe témoin au cours de la période de traitement jusqu'à atteindre un pourcentage quasiment peu considérable environ 5%.

Les résultats des traitements des huiles essentielles de romarin et d'armoise à différentes doses montrent une viabilité qui diminue graduellement au fil de la durée de traitement. Ces résultats semblent être inférieurs à celle du groupe témoin les 3 premiers jours tandis que les mêmes traitements montrent une viabilité supérieure à celle du control après le 3^{ème} jour.

La meilleure viabilité a été enregistrée le 4^{ème} et 5^{ème} jour chez le groupe d'abeilles traitées avec pulvérisation de l'huile essentielle de romarin à 10 μ l (**PUL RM 10**) avec un pourcentage de viabilité d'environ 40%.

Les résultats suggèrent que l'utilisation d'huiles essentielles d'armoise (**PUL AR5** et **PUL AR 10**) et de romarin (**PUL RM5** et **PUL RM 10**) pulvérisés, peut contribuer à améliorer la survie des abeilles et maintenir leur viabilité par rapport aux abeilles non traitées.

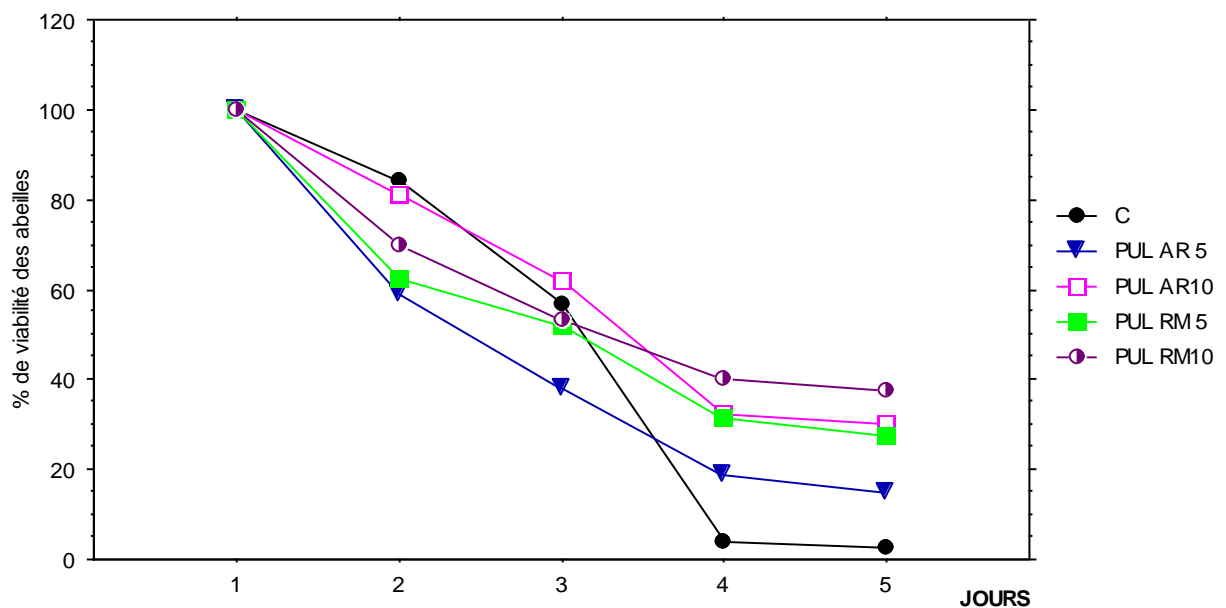


Figure 41: Effets des huiles essentielles appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 02)

Les résultats suggèrent que les abeilles non traitées sont confrontées à des facteurs de stress qui réduisent leur survie. Ce résultat est cohérent avec d'autres études qui ont montré que la survie des abeilles peut être affectée par divers facteurs, tels que les parasites, les maladies, les pesticides et les conditions environnementales défavorables.

La viabilité des abeilles traitées avec les huiles essentielles de romarin et d'armoise montre une tendance à la diminution au cours du traitement, mais reste supérieure à celle du groupe témoin après le troisième jour. Cela suggère que les huiles essentielles atténuent l'effet des facteurs de stress et contribuent à maintenir la survie des abeilles. Ces résultats rejoignent des observations similaires dans d'autres études qui ont exploré l'utilisation d'huiles essentielles pour améliorer la santé des abeilles. Par exemple, une étude de (H. Yang et al., 2016) a montré que l'huile essentielle de thymol pouvait améliorer la survie des abeilles infectées par le parasite *Nosema ceranae*. De même, une étude a suggéré que l'huile essentielle de lavande pouvait réduire la mortalité des abeilles causée par varroa (Neira et al., 2004).

La meilleure viabilité a été observée chez les abeilles traitées avec l'huile essentielle de romarin à **10 µl/ml (PUL RM 10)** les 4^{ème} et 5^{ème} jour. Cette observation suggère que cette combinaison d'huile essentielle et de concentration est particulièrement efficace pour améliorer la survie des abeilles.

2.2.3. Essai (03)

Les résultats obtenus (Figure 42) révèlent une viabilité de groupe control qui diminue graduellement au cours de la période de mesure jusqu'à atteindre un pourcentage d'environ 55% le 8^{ème} jour.

La viabilité chez les groupes d'abeilles traitées avec huiles essentielles d'armoise et de romarin par pulvérisation à une concentration de **10µl/ml** connue une diminution progressive au cours de la période de traitement avec un pourcentage de viabilité semble être inférieure à celui du groupe témoin.

En revanche, traitement d'huile essentielle de romarin administré par voie orale associé par son application par pulvérisation, ne montre pas un effet protecteur de la viabilité des abeilles sous ce traitement dont il montre des résultats globalement similaires à ceux de témoin.

La meilleure viabilité a été enregistrée chez le groupe d'abeille traité avec huile essentielle de romarin à une concentration de **5µl/ml** toute au long de période de traitement.

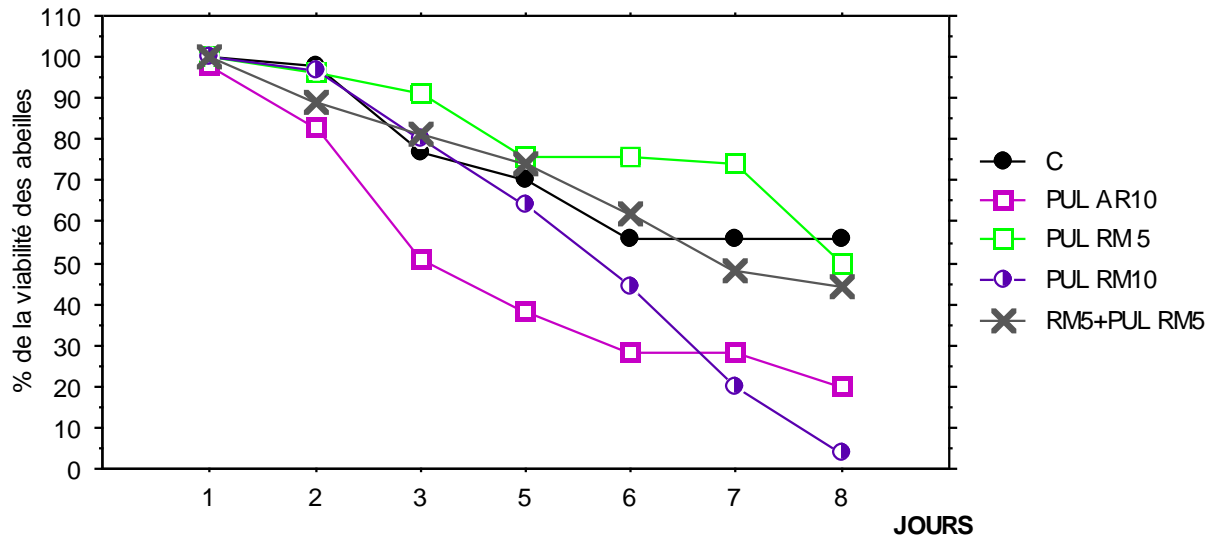


Figure 42 : Effets des huiles essentielles de romarin et armoise appliqués par pulvérisation sur la viabilité des abeilles (Essai 3)

La viabilité des abeilles du groupe témoin diminue graduellement au cours de la période de mesure. Cela suggère que les abeilles non traitées sont confrontées à des facteurs de stress qui réduisent leur survie.

La viabilité des abeilles traitées avec les huiles essentielles d'armoïse et de romarin par pulvérisation à une concentration de **10 µl/ml** présente une diminution progressive au cours du traitement. La viabilité des abeilles dans ces groupes semble être inférieure à celle du groupe témoin. Ce résultat suggère que les huiles essentielles appliquées par pulvérisation à cette concentration n'ont pas d'effet positif sur la survie des abeilles, et pourraient même avoir un effet négatif. Ces effets peuvent être expliqués par la toxicité de cette huile à cette dose.

Le traitement combinant l'administration par voie orale et la pulvérisation d'huile essentielle de romarin ne montre pas d'effet protecteur sur la viabilité des abeilles. Les résultats de ce groupe sont similaires à ceux du groupe témoin. Cela suggère que cette combinaison d'administration n'est pas efficace pour améliorer la survie des abeilles et peut atténuer l'effet protecteur des huiles administrées par voie orale.

La meilleure viabilité a été observée chez le groupe d'abeilles traité avec l'huile essentielle de romarin à une concentration de **5 µl/ml** par voie orale tout au long de la période de traitement. Cela suggère que l'administration par voie orale d'huile essentielle de romarin à une concentration plus faible (**5 µl/ml**) pourrait avoir un effet positif sur la survie des abeilles.

III. Etude de l'effet des huiles essentielles sur le *varroa destructor*

1. Etude in vitro de l'effet des huiles essentielles sur le *varroa destructor*

Le graphique (Figure 43) représente les effets des huiles essentielles de romarin et d'armoise appliquées par pulvérisation et ingestion sur le *varroa destructor* parasite d'abeilles domestiques.

Les résultats montrent des effets variables durant chaque essai, et qui diffèrent en fonction de type et/concentration de traitement appliqué. Les résultats montrent que le groupe témoin qui n'a reçu aucun traitement n'a montré aucune chute de varroa infestant les abeilles durant tous les essais réalisés.

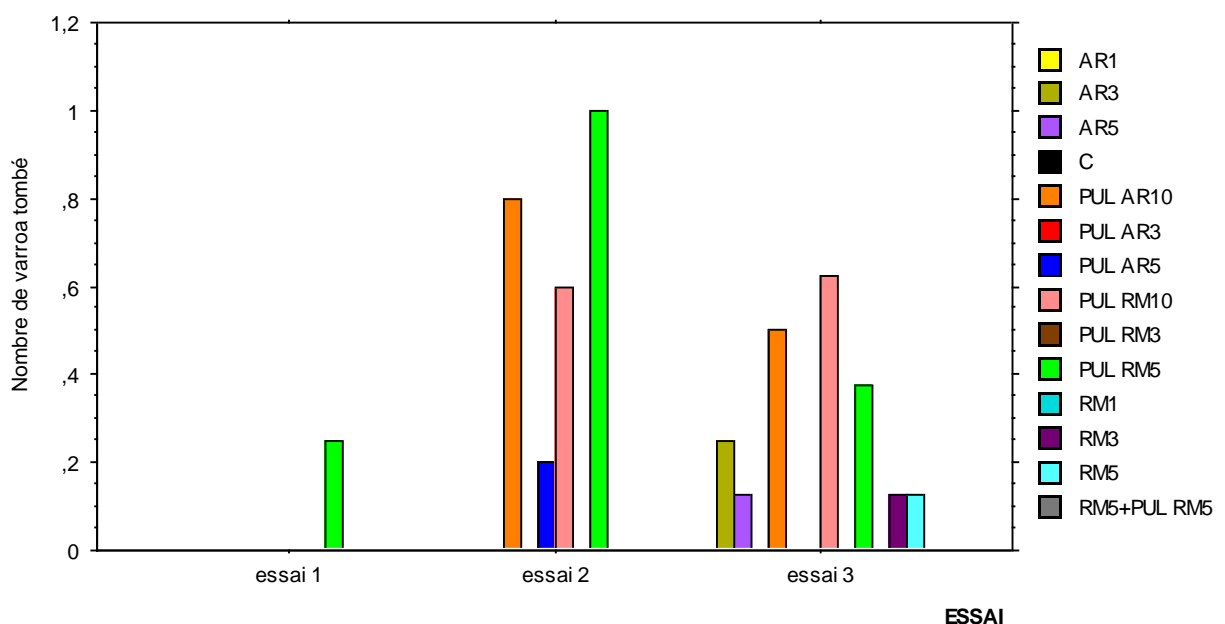


Figure 43 : Effet des huiles essentielles sur le *varroa destructor* durant tous les essais réalisés

Pendant l'essai 1, le seul traitement qui a permis de faire tomber le varroa c'est le traitement par pulvérisation d'huile essentielle de romarin à **5µl/ml (PUL RM5)**, aussi cette dose représente la forte dose utilisée par pulvérisation durant cet essai pour les deux huiles essentielles. Les résultats obtenus pendant cet essai sont confirmés durant les deux derniers essais (essai 2+essai 3) où le traitement **PUL RM5** a permis de faire tomber le nombre le plus élevé de varroa infestant les abeilles. En revanche, le traitement par pulvérisation avec l'armoise à la même dose a permis de réduire légèrement le nombre de varroa pendant l'essai 2.

Les différences entre ces résultats peuvent être expliquées par la composition chimique distincte de chaque huile mais aussi par le nombre de pulvérisation appliqué durant chaque essai où dans l'essai 1 une seule pulvérisation chaque deux heures a été appliquée tandis que durant l'essai 2 une pulvérisation chaque heure est appliquée.

Les traitements de romarin et d'armoise à **10 μ l/ml (PUL RM10 et PUL AR10)** ont montré des résultats positifs qui ont permis de réduire l'infestation par varroa. Cet effet positif des deux huiles essentielles peut-être expliqué par leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et immunomodulatrices (Nam et al., 2014).

L'administration des huiles essentielles par voie orale, n'as pas pu révéler des résultats positifs sur le varroa par rapport à leur application par pulvérisation, les résultats montrent un effet légèrement positif des huile essentielles administré par voie orale pendant l'essai 3 pour les quatre traitements d'huile essentielle **RM3 et AR3, RM5 et AR5** dont l'effet de ces traitements n'ont pas été confirmés en essai 1 et essai 2 respectivement.

Note :

D'après les observations des varroas tombés sous l'effet des traitements sous la loupe binoculaire, on a identifié que ces derniers tombent morts contrairement aux varroas tombés du témoin qui sont vivants.

2. L'effet de l'huile essentielle de romarin sur le *varroa destructor* dans les conditions de la ruche

L'huile essentielle de romarin à une dose de **5 μ l/ml (PUL RM5)** a été pulvérisée sur 5 ruches, après 24h on a récupéré les varroas sous les cadres (Figure 44)

Les mêmes ruches sont contrôlées après une semaine de la fin de traitement, et l'observation de ses ruches n'a révéle aucune chute de varroa sous les cadres.

Ces résultats obtenus montrent que le traitement (**PUL RM5 μ l/ml**) semble être efficace de lutter contre le varroa parasite d'abeilles ce qui confirme son efficacité in vitro et in vivo. Cependant ce ne sont que des résultats préliminaires qui vont nécessiter d'autres essais.

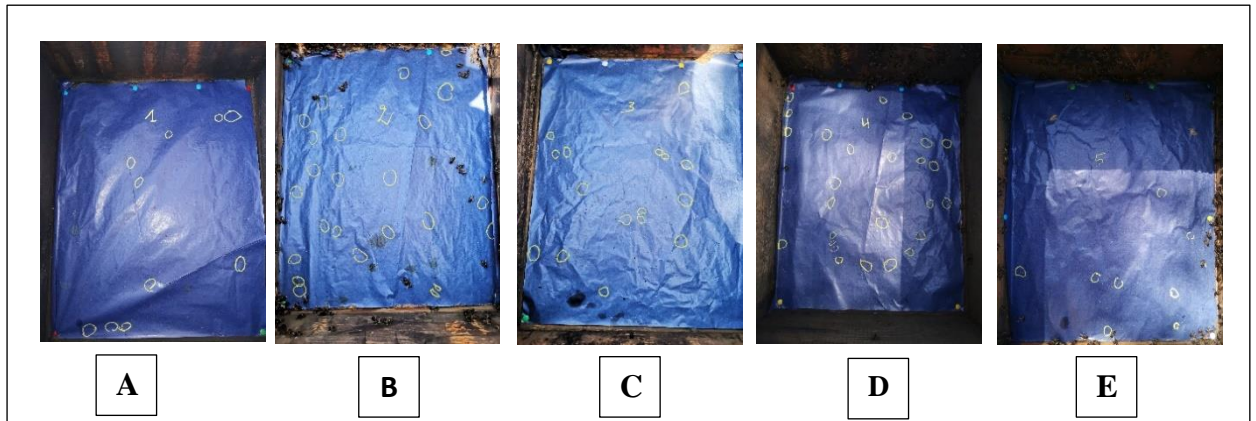


Figure 44 : Observations obtenus des cinq ruches traitées après 24h

(Originale,2024).

Légende : les varroas représentés en cercle jaune

A : Varroas récupéré de la ruche (1), **B** : Varroas récupéré de la ruche (2), **C** : Varroas récupéré de la ruche (3), **D** : Varroas récupéré de la ruche (4), **E** : Varroas récupéré de la ruche (5).

Conclusion générale

Conclusion

Notre étude, portant sur l'effet des huiles essentielles de romarin et d'armoise sur les abeilles et le parasite *Varroa destructor*, a permis d'apporter des informations préliminaires sur leur potentiel d'utilisation en apiculture.

Les résultats obtenus montrent que l'effet des huiles essentielles varie selon le mode d'administration. L'administration par voie orale s'est avérée bénéfique pour la santé des abeilles, renforçant probablement leur système immunitaire et améliorant leur activité. Leur administration par pulvérisation a permis de faire tomber le *Varroa*, mais a également eu des effets indésirables sur les abeilles, notamment à fortes doses.

L'essai de terrain réalisé avec une pulvérisation à une dose unique de 5µl/ml d'huile essentielle de romarin a montré des résultats prometteurs. Cette dose a permis de réduire le *Varroa* sans effet toxique sur la colonie, en améliorant leur santé (activité, viabilité) offrant une alternative potentielle aux traitements chimiques classiques.

En conclusion, les huiles essentielles de romarin et d'armoise présentent un potentiel intéressant pour la lutte contre le *Varroa destructor* et l'amélioration de la santé des abeilles. Cependant, leur utilisation nécessite une attention particulière quant au mode d'administration et à la dose appliquée, afin d'optimiser leur efficacité tout en minimisant les effets indésirables.

Des recherches approfondies sont encore nécessaires pour explorer l'utilisation des huiles essentielles dans différentes conditions et pour déterminer les doses optimales pour chaque mode d'administration à long terme.

Notre étude ouvre la voie à de nouvelles perspectives prometteuses pour l'utilisation des huiles essentielles dans une apiculture durable et respectueuse de l'environnement. Les perspectives incluent :

- Mener des recherches plus poussées pour comprendre les mécanismes impliqués dans l'amélioration de la viabilité des abeilles en présence d'huile essentielle de romarin et d'armoise.
- Réaliser des études complémentaires afin de mieux déterminer l'effet à long terme de l'huile essentielle de romarin dans les ruches.

- Valider l'utilisation de l'huile essentielle de romarin et d'armoise en tant qu'additif alimentaire dans le domaine de l'apiculture.
- Poursuivre les recherches sur les effets de l'huile essentielle de romarin et d'armoise sur les stades larvaires ainsi que sur d'autres castes d'abeilles.

Listes des références

A

- **Al-Ghamdi, A. A., Al-Ghamdi, M. S., Ahmed, A. M., Mohamed, A. S. A., Shaker, G. H., Ansari, M. J., Dorrah, M. A., Khan, K. A., & Ayaad, T. H. (2021).** Étude du système immunitaire des couvées d'abeilles domestiques *Apis mellifera jemenitica* : Un pas vers la production d'un antibiotique dérivé des abeilles contre la loque américaine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1528-1538. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.026>
- **Aguila, J. R., Suszko, J., Gibbs, A. G., & Hoshizaki, D. K. (2007).** The role of larval fat cells in adult *Drosophila melanogaster*. *Journal of Experimental Biology*, 210(6), 956-963. <https://doi.org/10.1242/jeb.001586>
- **Annoscia, D., Del Piccolo, F., & Nazzi, F. (2012).** How does the mite *Varroa destructor* kill the honeybee *Apis mellifera*? Alteration of cuticular hydrocarbons and water loss in infested honeybees. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1548-1555. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.09.008>

B

- **Belaid, M., & Doumandji, S. (2010).** EFFET DU VARROA DESTRUCTOR SUR LA MORPHOMETRIE ALAIRE ET SUR LES COMPOSANTS DU SYSTEME IMMUNITAIRE DE L'ABEILLE OUVRIERE APIS MELLIFERA INTERMISSA. *Lebanese science journal*, 11.
- **Biri, M. (2002).** *Tout savoir sur les abeilles et l'apiculture / M. Biri.* De Vecchi. Paris. <https://mediatheque.montbeliard.com/Default/doc/SYRACUSE/590972/tout-savoir-sur-les-abeilles-et-l-apiculture-m-biri>
- **Blatt, J., & Roces, F. (2001).** Haemolymph sugar levels in foraging honeybees (*Apis mellifera carnica*): Dependence on metabolic rate and in vivo measurement of maximal rates of trehalose synthesis. *The Journal of experimental biology*, 204, 2709-2716. <https://doi.org/10.1242/jeb.204.15.2709>
- **Borsuk, G., Ptaszyńska, A. A., Olszewski, K., Domaciuk, M., Krutmuang, P., & Paleolog, J. (2017a).** A New Method for Quick and Easy Hemolymph Collection from Apidae Adults. *PLOS ONE*, 12(1), e0170487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170487>
- **Borsuk, G., Ptaszyńska, A. A., Olszewski, K., Domaciuk, M., Krutmuang, P., & Paleolog, J. (2017b).** A New Method for Quick and Easy Hemolymph Collection from

Apidae Adults. *PLOS ONE*, 12(1), e0170487.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170487>

- **Bowen-Walker, P. L., & Gunn, A. (2001).** The effect of the ectoparasitic mite, *Varroa destructor* on adult worker honeybee (*Apis mellifera*) emergence weights, water, protein, carbohydrate, and lipid levels. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 101(3), 207-217.
<https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00905.x>
- **Buckemüller, C., Siehler, O., Göbel, J., Zeumer, R., Ölschläger, A., & Eisenhardt, D. (2017).** Octopamine Underlies the Counter-Regulatory Response to a Glucose Deficit in Honeybees (*Apis mellifera*). *Frontiers in Systems Neuroscience*, 11.
<https://doi.org/10.3389/fnsys.2017.00063>

C

- **Chen, Y., Evans, J., & Feldlaufer, M. (2006).** Horizontal and vertical transmission of viruses in the honey bee, *Apis mellifera*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92(3), 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.03.010>
- **Chen, Y. P., Higgins, J. A., & Feldlaufer, M. F. (2005).** Quantitative Real-Time Reverse Transcription-PCR Analysis of Deformed Wing Virus Infection in the Honeybee (*Apis mellifera* L.). *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 436-441.
<https://doi.org/10.1128/AEM.71.1.436-441.2005>
- **Clément, H. (2009).** *L'abeille, sentinelle de l'environnement / Henri Clément*. Alternatives. Paris. <https://mdsm.seinemaritime.fr/MDSM76/doc/SYRACUSE/844229/l-abeille-sentinelle-de-l-environnement-henri-clement>
- **Conte, Y. L., & Navajas, M. (2008).** Climate change : Impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique - Office International Des Épizooties*, 27(2), 499-510.

D

- **De Jong, D., De Jong, P. H., & Gonçalves, L. S. (1982).** Weight Loss and Other Damage to Developing Worker Honeybees from Infestation with *Varroa Jacobsoni*. *Journal of Apicultural Research*, 21(3), 165-167. <https://doi.org/10.1080/00218839.1982.11100535>
- **Duay, P., De Jong, D., & Engels, W. (2002).** Decreased flight performance and sperm production in drones of the honey bee (*Apis mellifera*) slightly infested by *Varroa destructor* mites during pupal development. *Genetics and Molecular Research: GMR*, 1(3), 227-232.

F

- Frères, J.-M., & Guillaume, J.-C. (2011). *L'apiculture écologique de A à Z*. M. Pietteur.

G

- Gadoum, S., Terzo, M., & Rasmont, P. (2007). *jachères apicoles et jachères fleuries : La biodiversité au menu de quelles abeilles ?*
- Gregorc, A., & Smodiš Škerl, M. I. (2007). Toxicological and immunohistochemical testing of honeybees after oxalic acid and rotenone treatments. *Apidologie*, 38(3), 296-305. <https://doi.org/10.1051/apido:2007014>

H

- Hepburn, H. R., & Radloff, S. E. (2013). *Honeybees of Africa*. Springer Science & Business Media.

J

- Journal officiel de la République algérienne [archive], 15.4 (1984).

K

- Kralj, J., Brockmann, A., Fuchs, S., & Tautz, J. (2007). The parasitic mite *Varroa destructor* affects non-associative learning in honey bee foragers, *Apis mellifera* L. *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 193(3), 363-370. <https://doi.org/10.1007/s00359-006-0192-8>
- Kralj, J., & Fuchs, S. (2006). Parasitic *Varroa destructor* mites influence flight duration and homing ability of infested *Apis mellifera* foragers. *Apidologie*, 37(5), 577-587. <https://doi.org/10.1051/apido:2006040>

L

- Le Conte, Y. (2002). L'abeille dans la classification des insectes. *Abeilles & Fleurs*, 628, 15-16.
- Le Conte, Y. (2004). Le vol chez l'abeille "Apis mellifera". *Abeilles et Fleurs*, 648, 20-21.
- Lhomme, M. (1990). *Varroa jacobsoni* (Oudemans 1904) : Morphologie, biologie et étude spécifique du système respiratoire et du comportement.

M

- Maggi, M., Gende, L., Russo, K., Fritz, R., & Eguaras, M. (2011). Bioactivity of *Rosmarinus officinalis* essential oils against *Apis mellifera*, *Varroa destructor* and *Paenibacillus larvae* related to the drying treatment of the plant material. *Natural Product Research*, 25(4), 397-406. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.481261>

- **Marche, M. G., Satta, A., Floris, I., Pusceddu, M., Buffa, F., & Ruiu, L. (2019).** Quantitative variation in the core bacterial community associated with honey bees from Varroa-infested colonies. *Journal of Apicultural Research*, 58(3), 444-454. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1589669>
- **Martin Ewert, A., Simone-Finstrom, M., Read, Q., Husseneder, C., & Ricigliano, V. (2023).** Effects of ingested essential oils and propolis extracts on honey bee (Hymenoptera : Apidae) health and gut microbiota. *Journal of Insect Science*, 23(6), 15. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead087>
- **Mondet, F., Kim, S. H., de Miranda, J. R., Beslay, D., Le Conte, Y., & Mercer, A. R. (2016).** Specific Cues Associated With Honey Bee Social Defence against Varroa destructor Infested Brood. *Scientific Reports*, 6(1), 25444. <https://doi.org/10.1038/srep25444>
- **Moussaoui, K., Ahmed Hedjala, O., Zitouni, G., & Djazouli, Z. (2014).** Estimation de la toxicité des d'huiles essentielles formulées de thym et d'eucalyptus et d'un produit de synthèse sur le parasite de l'abeille tellienne Varroa destructor (Arachnida, Varroidae). *AGROBIOLOGIA*, 4(1), 17-26.

N

- **Nam, S.-Y., Chung, C., Seo, J.-H., Rah, S.-Y., Kim, H.-M., & Jeong, H.-J. (2014).** The therapeutic efficacy of α -pinene in an experimental mouse model of allergic rhinitis. *International Immunopharmacology*, 23(1), 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2014.09.010>
- **Nazzi, F., & Le Conte, Y. (2016).** Ecology of *Varroa destructor*, the Major Ectoparasite of the Western Honey Bee, *Apis mellifera*. *Annual Review of Entomology*, 61(1), 417-432. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023731>
- **Neira, C. M., Heinsohn, P. P., Carrillo, L. R., Baez, M. A., Fuentealba, A. J., Neira, C. M., Heinsohn, P. P., Carrillo, L. R., Baez, M. A., & Fuentealba, A. J. (2004).** The effect of lavender and laurel essential oils on Varroa destructor Anderson & Truemann (Acari:Varroidae). *Agricultura Tecnica*, 64(3), Article 3.

P

- **Peck, D. (2021).** *The Parasitic Mite Varroa destructor : History, Biology, Monitoring, and Management* (p. 235-251). <https://doi.org/10.1002/9781119583417.ch20>

- **Pusceddu, M., Floris, I., Mangia, N. P., Angioni, A., & Satta, A. (2021).** In Vitro Activity of Several Essential Oils Extracted from Aromatic Plants against *Ascospaera apis*. *Veterinary Sciences*, 8(5), 80. <https://doi.org/10.3390/vetsci8050080>

Q

- ***Quelle est la durée de vie d'une abeille? - Mes Abeilles.* (2024, janvier 16).** <https://mesabeilles.fr/apiculture/quelle-est-la-duree-de-vie-dune-abeille>

R

- **Rademacher, E., & Harz, M. (2006).** Oxalic acid for the control of varroosis in honey bee colonies – a review. *Apidologie*, 37(1), 98-120. <https://doi.org/10.1051/apido:2005063>
- **Riondet, J. (2013).** *Le rucher durable : Guide pratique de l'apiculteur d'aujourd'hui*. Ulmer. Paris. <https://bm-lille.fr/ecoles/doc/CATALOGUE/0000755970/le-rucher-durable-guide-pratique-de-l-apiculteur-d-aujourd-hui>
- **Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. (2010).** Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103 Suppl 1, S96-119. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016>
- **Rossini, C., Rodrigo, F., Davyt, B., Umpiérrez, M. L., González, A., Garrido, P. M., Cuniolo, A., Porrini, L. P., Eguaras, M. J., & Porrini, M. P. (2020).** Sub-lethal effects of the consumption of *Eupatorium buniifolium* essential oil in honeybees. *PLOS ONE*, 15(11), e0241666. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241666>
- **Ruttner, F. (1988a).** *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1>
- **Ruttner, F. (1988b).** Honeybees of the Central Mediterranean and Southeastern Europe. In F. Ruttner (Éd.), *Biogeography and Taxonomy of Honeybees* (p. 240-257). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1_14

V

- **van Dooremalen, C., Stam, E., Gerritsen, L., Cornelissen, B., van der Steen, J., van Langevelde, F., & Blacquière, T. (2013).** L'effet interactif de la disponibilité réduite du pollen et de l'infestation par *Varroa destructor* limite la croissance et la teneur en protéines des jeunes abeilles mellifères. *Journal of Insect Physiology*, 59(4), 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.02.006>
- **Vidal-Naquet, N. (2012).** Les maladies de l'abeille domestique d'élevage, *Apis mellifera* L. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 165(4), 307-316. <https://doi.org/10.4267/2042/48811>

W

- **Waring, C., & Waring, A. (2012).** *Abeilles : Tout savoir sur l'apiculture*. Artémis éditions.

Y

- **Yang, H., Qin, C., Li, Y. H., Tao, L., Zhou, J., Yu, C. Y., Xu, F., Chen, Z., Zhu, F., & Chen, Y. Z. (2016).** Therapeutic target database update 2016 : Enriched resource for bench to clinical drug target and targeted pathway information. *Nucleic Acids Research*, *44*(D1), D1069-D1074. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1230>
- **Yang, X., & Cox-Foster, D. (2007).** Effects of parasitization by *Varroa destructor* on survivorship and physiological traits of *Apis mellifera* in correlation with viral incidence and microbial challenge. *Parasitology*, *134*(3), 405-412. <https://doi.org/10.1017/S0031182006000710>
- **Yevstafieva V. O., Zaloznaya, L. M., Nazarenko, O. S., Melnychuk, V. V., & Sobolta, A. G. (2020).** MORPHOLOGICAL VARIATION OF VARROA DESTRUCTOR (PARASITIFORMES, VARROIDAE) IN DIFFERENT SEASONS. *Biosystems Diversity*, *28*(1), 18-23. <https://doi.org/10.15421/012003>

Annexes

Annexe 01 : Préparation du sirop de saccharose (volume/volume)

Ingrédients :

- Eau potable
- Saccharose (sucre blanc)

Proportions :

- 1 volume de saccharose pour 1 volume d'eau (1:1)

Matériel :

- Casserole
- Cuillère à mesurer
- Bocal en verre stérilisé

Protocole :

- 1. Mesurer les ingrédients :**
 - On mesure la quantité d'eau distillée souhaitée. Par exemple, pour 1 litre de sirop, mesurez 1 litre d'eau distillée.
 - On mesure la même quantité de saccharose (sucre blanc). Pour 1 litre de sirop, mesurez 1 kg de saccharose.
- 2. Dissoudre le saccharose dans l'eau :**
 - On verse l'eau distillée dans la casserole.
 - On ajoute le saccharose dans l'eau.
 - On mélange doucement à l'aide d'une cuillère jusqu'à ce que le saccharose soit complètement dissous.
- 3. Chauffer le sirop :**
 - Placez la casserole sur feu moyen et faites chauffer le sirop jusqu'à ce qu'il atteigne une température de 70°C.
 - Retirez la casserole du feu et laissez refroidir complètement le sirop.
- 4. Stockage :**
 - Une fois le sirop refroidi, on le verse dans un bocal en verre stérilisé.
 - On ferme hermétiquement le bocal.
 - On assure de bien fermer le bocal après chaque utilisation pour éviter la contamination.

Note : Le sirop de saccharose volume/volume peut être utilisé pour nourrir les abeilles directement

Annexe 02 : préparation des sirops de saccharose enrichi avec huiles essentielles

Exemple : préparation de 100ml du sirops enrichis

Pour préparer 100ml de sirop enrichis avec des huiles essentielles, on a besoin de mélanger 50 ml de sirop avec huile essentielle dissoudre dans 50 ml d'eau distillé +Polyéthylène glycol dans la logique de 90% de solubilisant et 10% d'HE.

Il est essentiel de dissoudre l'huile essentielle dans le PEG (polyéthylène glycol) avant l'ajout de sirop de saccharose, pour cela plusieurs étapes sont nécessaires :

1. Mesurer le poids de PEG nécessaire pour 1 μ L d'huile essentielle, il est important de noter que le poids de PEG se varie selon huile essentielle utilisé.
2. Dans un bécher on verse la quantité de PEG pesé et on ajoute 25 ml d'eau distillé
3. On met le mélange au-dessus un agitateur jusqu'au le mélange dissoudre
4. On verse le mélange dans une fiole jaugé de 50 ml on ajoute la dose nécessaire d'HE et on complète avec eau distillé jusqu'à 50ml.
5. On renferme le flacon avec du papier paraffine afin d'éviter l'évaporation d'HE
6. On met le mélange sur un agitateur jusqu'à la dissous complète d'HE.
7. On verse le mélange dans un bécher de 100ml on rajoute 50ml de sirop de saccharose préalablement préparer.
8. On remet le mélange sur l'agitateur jusqu'à obtenir un mélange homogène

I. Sirop enrichi avec huile essentielle de romarin

Pour mesurer le poids nécessaire de PEG et la quantité et la dose d'HE de romarin, il est nécessaire de suivre les mesures suivantes :

<p>➤ Pour une concentration de romarin à 1μl</p> <p>1μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ 7.830 mg PEG</p> <p>10μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 78.30 mg PEG</p> <p>100μl d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ 7830 mg PEG</p> <p>➤ Pour une concentration de 3μl</p> <p>1μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ 7.830 mg PEG</p> <p>3μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 23.49 mg PEG</p> <p>100μl d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ 2349 mg PEG</p> <p>➤ Pour une concentration de 5μl</p> <p>1μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ 7.830 mg PEG</p> <p>5μl d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 39.15 mg PEG</p> <p>500μl d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ 3915 mg PEG</p>	<p>Pour une concentration de 1μl, on dissoudre 7830mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100μL de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose</p> <p>Pour une concentration de 3μl, on dissoudre 2349 mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100μL de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.</p> <p>Pour une concentration de 5μl, on dissoudre 3915 mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100μL de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.</p>
--	---

- Pour une concentration de 10µl

1µl d'HE romarin	$\xrightarrow{1ml}$	7.830 mg PEG
10µl d'HE romarin	$\xrightarrow{1 ml}$	78.30 mg PEG
100µl d'HE romarin	$\xrightarrow{1ml}$	78.30mg PEG
10µl d'HE romarin	$\xrightarrow{100 ml}$	7830 mg PEG
1000µl d'HE romarin	$\xrightarrow{100ml}$	7.830g PEG

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 7.830g de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.

II. Sirop de saccharose enrichi avec huile essentielle d'armoise

Pour mesurer le poids nécessaire de PEG et la quantité et la dose d'HE de romarin, il est nécessaire de suivre les mesures suivantes :

- Pour une concentration d'armoise à 1µl

1µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1 ml}$	8.01mg PEG
10µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1ml}$	80.1 mg PEG
100µl d'HE armoise	$\xrightarrow{100m}$	8010 mg PEG

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 8010mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE d'armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.

- Pour une concentration de 3µl

1µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1 ml}$	8.01mg PEG
3µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1ml}$	24.03 mg PEG
100µl d'HE armoise	$\xrightarrow{100m}$	2403 mg PEG

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 2403mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE d'armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.

- Pour une concentration de 5µl

1µl d'HE romarin	$\xrightarrow{1 ml}$	8.01 mg PEG
5µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1ml}$	40.05 mg PEG
500µl d'HE armoise	$\xrightarrow{100m}$	4005 mg PEG

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 4005mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE de armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.

- pour une concentration de 10µl

1µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1ml}$	8.01mg PEG
10µl d'HE armoise	$\xrightarrow{1 ml}$	80.1 mg PEG
100µl d'HE armoise	$\xrightarrow{100m}$	8001 mg PEG
1000µl d'HE armoise	$\xrightarrow{100 ml}$	8.001 g PEG

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 8.001g de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE de armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 50ml, à la fin on rajoute 50ml de sirop de saccharose.

Annexe 03 : préparation des pulvérisateurs d'huiles essentielles

Exemple : préparation de 100ml de pulvérisateur d'huile essentielle

Pour préparer 100ml de pulvérisateurs d'huiles essentielles, on a besoin d'huile essentielle dissoudre dans 100ml d'eau distillé +Polyéthylène glycol dans la logique de 90% de solubilisant et 10% d'HE.

Pour dissoudre l'huile essentielle dans le PEG (polyéthylène glycol) plusieurs étapes sont nécessaires :

1. Mesurer le poids de PEG nécessaire pour 1 μ L d'huile essentielle, il est important de noter que le poids de PEG se varie selon huile essentielle utilisé.
2. Dans un bécher on verse la quantité de PEG pesé et on ajoute ml d'eau distillé
3. On mit le mélange au-dessus un agitateur jusqu'au le mélange dissoudre
4. On verse le mélange dans une fiole jaugé de 100 ml on ajoute la dose nécessaire d'HE et on complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.
5. On renferme le flacon avec du papier paraffine afin d'éviter l'évaporation d'HE
6. On mit le mélange sur un agitateur jusqu'à la dissous complète d'HE jusqu'à obtenir un mélange homogène.

III. Pulvérisateur d'huile essentielle de romarin

Pour mesurer le poids nécessaire de PEG et la quantité et la dose d'HE de romarin, il est nécessaire de suivre les mesures suivantes :

- Pour une concentration de 3 μ l

1 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ **7.830 mg PEG**

3 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 23.49 mg PEG

100 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ **2349 mg PEG**

Pour une concentration de 3 μ l, on dissoudre 2349 mg de PEG dans 25ml d'eau distillé puis on rajoute 100 μ L de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.

- Pour une concentration de 5 μ l

1 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ **7.830 mg PEG**

5 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 39.15 mg PEG

500 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ **3915 mg PEG**

Pour une concentration de 1 μ l, on dissoudre 3915 mg de PEG dans 50ml d'eau distillé puis on rajoute 100 μ L de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.

- Pour une concentration de 10 μ l

1 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ml}}$ **7.830 mg PEG**

10 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ 78.30 mg PEG

100 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ 78.30mg PEG

1000 μ l d'HE romarin $\xrightarrow{100\text{m}}$ **7.830 g PEG**

Pour une concentration de 1 μ l, on dissoudre 7.830g de PEG dans 50ml d'eau distillé puis on rajoute 100 μ L de l'HE de romarin et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.

IV. Pulvérisateur d'huile essentielle d'armoise

Pour mesurer le poids nécessaire de PEG et la quantité et la dose d'HE d'armoise, il est nécessaire de suivre les mesures suivantes :

- Pour une concentration de 3µl

1µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ **8.01mg PEG**
 3µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 24.03 mg PEG
 100µl d'HE armoise $\xrightarrow{100\text{m}}$ **2403 mg PEG**

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 2403mg de PEG dans 50ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE d'armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.

- Pour une concentration de 5µl

1µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ **8.01 mg PEG**
 5µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ml}}$ 40.05 mg PEG
 500µl d'HE armoise $\xrightarrow{100\text{m}}$ **4005 mg PEG**

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 4005mg de PEG dans 50ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE d'armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.

- pour une concentration de 10µl

1µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ml}}$ **8.01mg PEG**
 10µl d'HE armoise $\xrightarrow{1\text{ ml}}$ 80.1 mg PEG
 100µl d'HE armoise $\xrightarrow{100\text{m}}$ 8001 mg PEG
 1000µl d'HE armoise $\xrightarrow{100\text{ ml}}$ **8.001 mg PEG**

Pour une concentration de 1µl, on dissoudre 8.001g de PEG dans 50ml d'eau distillé puis on rajoute 100µL de l'HE d'armoise et en complète avec eau distillé jusqu'à 100ml.