

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE VÉTÉRINAIRE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

LA GELÉE ROYAL

Présenté par :

DEHILIS ABDELDJALIL

le : 15/09/2018

Devant le jury composé de :

- Président : : **Mme BAAZIZI R** ; Maitre de conférences B à l'ENSV
- Promoteur : **Mme MIMOUNE N** ; Maitre de conférences A à l'ENSV
- Examineur 1 : **Mme HACHEMI A** ; Maitre-assistant à l'ENSV
- Examineur 2 : **M ADDAD Salah Eddine** , docteur vétérinaire

Année universitaire : 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Particulièrement à mes chers parents pour leur soutien et leurs sacrifices le long de ma formation.

A ma mère, qui m'a encouragé pendant toutes mes études.

A mon père, qui est disponible pour nous et prêt à nous aider, je lui confirme mon profond respect.

A mes frères et ma sœur.

A tous mes amis.

A tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin.

Merci...

Remerciements

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

A terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciement à ma promotrice Dr. MIMOUNE N pour avoir accepté de diriger ce projet de fin d'étude, je tiens à saluer sa patience et sa disponibilité.

Merci à Mme HACHEMI A. de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de mémoire, remerciement respectueux.

Merci à Mme BAAZIZI R. d'avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie de jury, remerciement respectueux.

Merci à M ADDAD Salah Eddine d'avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie de jury, remerciement respectueux.

Encore merci...

Sommaire

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction | 1 |
| I. Données générales sur L'abeille | 5 |
| I.1. La classification systématique de l'abeille | 5 |
| I.2. Anatomie générale de l'abeille | 5 |
| I.2.1. La tête..... | 6 |
| I.2.2. Le thorax | 7 |
| I.2.3. L'abdomen | 7 |
| I.3. Le système glandulaire | 8 |
| I.3.1. Les glandes labiales | 9 |
| I.3.2. Les glandes hypopharyngiennes | 9 |
| I.3.3. Les glandes mandibulaires | 9 |
| I.3.4. Les glandes cirières..... | 9 |
| I.3.5. La glande de Nasonov..... | 9 |
| I.3.6. Les glandes d'Arnhart | 10 |
| I.3.7. La glande de Dufour | 10 |
| I.3.8. Le sac à venin relié à l'aiguillon..... | 10 |
| I.4. Le cycle de développement..... | 10 |
| I. 5 Les races d'abeilles algériennes : | 11 |
| I. 5.1 <i>Apis mellifera intermissa</i> : | 11 |
| I. 5. 2 <i>Apis mellifera sahariensis</i> :..... | 12 |
| II. La gelée royale..... | 15 |
| II.1. Origine | 16 |
| II.2. Technique de production de la gelée royale | 16 |
| II.2.1. Les pré-requis | 17 |
| II.2.2. L'organisation dans la ruche | 17 |
| II.2.3. La préparation des cadres de cellules royales..... | 18 |
| II.2.4. La récolte | 20 |
| II.2.4.1. Le décalottage..... | 20 |
| II.2.4.2. Le délarvage | 21 |
| II.2.4.3. L'aspiration et la filtration..... | 21 |
| II.3. Les caractères organoleptiques et physico-chimiques..... | 21 |
| II.4. La composition | 22 |
| II.4.1. L'eau..... | 22 |
| II.4.2. Les glucides | 23 |
| II.4.3. Les protéines..... | 25 |
| II.4.3.1. Les Major Royal Jelly Proteins (MRJP)..... | 27 |
| II.4.3.2. La royalisine | 29 |
| II.4.3.3. Les jelleines | 30 |
| II.4.4. Les lipides..... | 31 |
| II.4.4.1. L'acide trans-10-hydroxy-2-décénoïque (10H2DA) | 32 |
| II.4.5. Les vitamines | 33 |
| II.4.5.1. La vitamine B1 ou thiamine | 34 |
| II.4.5.2. La vitamine B2 ou riboflavine..... | 35 |

| | |
|---|----|
| II.4.5.3. La vitamine B3 ou vitamine PP ou niacine | 35 |
| II.4.5.4. La vitamine B5 ou acide pantothénique | 35 |
| II.4.5.5. La vitamine B6 ou pyridoxine | 35 |
| II.4.5.6. La vitamine B8 ou biotine | 36 |
| II.4.5.7. La vitamine B9 ou l'acide folique..... | 36 |
| II.4.5.8. Autres vitamines | 36 |
| II.4.5.9. Bilan vitaminique | 36 |
| II.4.6. Les minéraux | 36 |
| II.4.7. Autres..... | 37 |
| II.4.8. Bilan de la composition de la gelée royale | 37 |
| II.5. Conservation et qualité de la gelée royale | 39 |
| II.6. Propriétés de la gelée royale | 40 |
| II.6.1. Propriétés antioxydantes | 40 |
| II.6.2. Propriétés antitumorales | 40 |
| II.6.3. Propriétés antibactériennes | 42 |
| II.6.3.1. Le 10H2DA | 42 |
| II.6.3.2. Les protides..... | 42 |
| II.6.4. Propriétés anti-inflammatoires et immunomodulatrices..... | 42 |
| II.6.5. Modulation de l'immunité acquise..... | 42 |
| II.6.6. Autres Propriétés | 43 |
| Conclusion..... | 45 |
| Références bibliographiques | 48 |
| Annexes | 55 |
| Résumé | 62 |
| Abstract | 62 |
| ملخص..... | 62 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Anatomie de l'abeille ouvrière. | 6 |
| Figure 2 : Tête d'une abeille avec ses proboscis étirés (RUTTNER, 1968). | 6 |
| Figure 3 : Schéma comparatif des genres (de gauche à droite : reine, faux-bourdon, ouvrière) d'après (HARPER et RICHARD, 2013) | 8 |
| Figure 4 : Les principales glandes de l'abeille (WINSTON, 1993) | 8 |
| Figure 5 : Schéma temporel d'évolution des abeilles selon les genres et la nourriture..... | 13 |
| Figure 6 : Une cellule royale contenant une larve de future reine et la gelée royale (GHARBI, 2011). | 15 |
| Figure 7 : Organisation d'une ruche destinée à la production de gelée royale, vue du dessus d'après (FERT et CLEMENT, 2007)..... | 18 |
| Figure 8 : Cadre à cellules royales | 19 |
| Figure 9 : Le greffage..... | 19 |
| Figure 10 : Cellules royales..... | 21 |
| Figure 11 : Composition des phases après centrifugation de la gelée royale. (SIMUTH, 2001) | 28 |
| Figure 12 : Structure de la royalisme (BERG <i>et al.</i> , 2013)..... | 29 |
| Figure 13 : Structure chimique du 10H2DA d'après (RAMADAN et AL-GHAMDI, 2012). 32 | |
| Figure 14: Composition de la gelée royale (BRUNEAU, 2011)..... | 37 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Classification taxonomique de l'abeille domestique..... | 5 |
| Tableau 2 : Teneur en glucides de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse ; F : non renseigné)..... | 24 |
| Tableau 3 : Teneur en protéines de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse, - : non renseigné) | 26 |
| Tableau 4 : Teneur en acides aminés libres de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse) | 27 |
| Tableau 5 : Séquences des acides aminés des différentes jelleines (FONTANA <i>et al.</i> , 2004) | 31 |
| Tableau 6 : Apports journaliers recommandés (AJR) en vitamines | 33 |
| Tableau 7 : Les vitamines B, leurs rôles et les conséquences de leur carence (LE MOËL <i>et</i> <i>al.</i> , 1998,BOGDANOV, 2004) | 34 |
| Tableau 8 : Quantité de minéraux dans la gelée royale | 37 |
| Tableau 9 : Composition de la gelée royale..... | 38 |

Liste des annexes

| | |
|---|----|
| Annexe 1: Classification d'Apis mellifera (CAMPBELL, 1995 et LE CONTE, 2004). | 56 |
| Annexe 2 : Composition moyenne de la gelée royale (MARTINI et SEILLER, 2006)..... | 57 |
| Annexe 3 : Abréviations des acides aminés d'après (BERG <i>et al.</i> , 2013) pour la Figure 12 .. | 58 |
| Annexe 4: Les acides organiques détectés dans la gelée royale (LI <i>et al.</i> , 2013) | 59 |
| Annexe 5 : Teneur en vitamine B1 de la gelée royale | 60 |
| Annexe 6 : Teneur en vitamine B2 de la gelée royale | 60 |
| Annexe 7 : Teneur en vitamine B3 de la gelée royale | 60 |
| Annexe 8 : Teneur en Vitamine B5 de la gelée royale | 61 |
| Annexe 9 : Teneur en Vitamine B6 de la gelée royale | 61 |
| Annexe 10 : Teneur en vitamine B8 de la gelée royale | 61 |
| Annexe 11 : Teneur en vitamine B9 de la gelée royale | 61 |

Liste des abréviations

% : pourcentage.

µg : microgramme.

10H2DA : acide 10-hydroxy-2-décénoïque.

AJR : apports journaliers recommandés.

ANC : apports nutritionnels conseillés.

cf. : confer.

CPG : Chromatographie Phase Gaseuse.

et al. : *et alia*

FAO : Food and Agriculture Organization.

GM-CFU : Granulocyte-macrophage-colony forming unit.

GPGR : Groupe des producteurs de la gelée royale.

HPLC : High Performance Liquid Chromatography.

kDa : KiloDalton.

LT : Lymphocytes T.

mmHg : millimètre de mercure.

MRJP : Major Royal Jelly Proteins.

ng : nanogramme.

pH : potentiel hydrogène.

Introduction

Introduction

« Si l'abeille venait à disparaître, l'homme n'aurait plus que quelques années à vivre », Albert Einstein... Les abeilles font partie depuis des millénaires de la culture et du patrimoine humain, et elles sont donc essentielles au maintien d'une biodiversité végétale très importante pour l'humanité (DAVID-PATERSON, 2008), car sans elles, pas de grains, pas de fruits et pas de reproduction possible pour une grande majorité de plantes, elles rendent un service écologique précieux et indispensable (BACHER, 2008).

Mais le rôle des abeilles ne se limite pas à la production de miel. Véritables actrices de nombreuses pollinisations des cultures et plantes sauvages, les abeilles ont un rôle économique central dans l'agriculture pour la survie et le développement de la flore. La prise de conscience de leur rôle indispensable et la décroissance des effectifs d'abeilles inquiètent.

Cette machine vivante avec ses produits précieux (le miel, la gelée royale, le pollen, la propolis, la cire...) a un impact positif sur la santé humaine grâce à leur richesse en composés phénoliques (notamment les flavonoïdes), en minéraux et en vitamines. C'est ainsi que l'apithérapie, définie comme étant « la médecine par les abeilles », a connu un essor considérable ces dernières années.

La gelée royale a des propriétés stimulante, revitalisante et dynamisante grâce à la présence de nombreuses substances bioactives douées de propriétés antioxydantes, régulatrices ... (MICKAEL, 2010).

L'Algérie compte un effectif global de près de 900 000 ruches pleines, avec une moyenne de production de miel de 8 Kg /ruche/an .En comparant ces données avec celles du Maroc, nombre de ruches : 340 000 (80% traditionnel), production moyenne miel/ruche/an :25 Kg.). ou le Canada, nombre de ruches : 500 000, production moyenne miel/ruche/an : 66 Kg (BELDJOURDI S et BENALDJIA M, 2006), en notant bien que les abeilles ne sortent pas des ruches les jours non-ensoleillés. Ce déficit flagrant peut être dû au fait que chez nous le miel et l'essaïm occupent la première place des produits de la ruche, alors que les autres produits, tel que la gelée royale, le pollen, le venin intéressent peu nos apiculteurs, ces derniers produits représentent 8% des produits de la ruche.

En Algérie, très peu d'études sont actuellement disponibles sur la gelée royale, cela est peut-être dû au manque de vulgarisation et de maîtrise pour exploiter et valoriser ce produit, c'est la raison pour laquelle on a jugé indispensable –et là s'inscrit l'objectif de notre travail- d'apporter des connaissances originales sur la gelée royale.

Dans ce document une large place est réservée pour la biologie de l'abeille et l'organisation de la vie dans la ruche, cette partie s'attachera à comprendre l'origine de la gelée royale et justifier les techniques de sa production qu'on étalera par la suite. En second lieu un chapitre entier est consacré à dresser le portrait de la gelée royale, sa composition et les vertus qui en découlent. Enfin, une conclusion qu'on clôturera avec des perspectives et des recommandations.

Chapitre I

Généralités sur l'abeille

I. Données générales sur L'abeille

I.1. La classification systématique de l'abeille

L'abeille, insecte, appartient, tout comme la guêpe et la fourmi à l'ordre des Hyménoptères (signifiant « ailes membraneuses », du grec hymen, « membrane » et pteron « aile ») (Tableau 1). Elle dépend, de par sa taille et la présence d'un aiguillon, du sous-ordre des Apocrites et de l'infra-ordre des Aculéates. Les abeilles au sens large, se distinguent des guêpes (superfamille des Vespoïdea) et forment la superfamille des Apoïdea. Au sein de celle-ci, l'abeille appartient à la famille des Apidae et à la sous-famille des Apinae grâce à son caractère social. Le genre qui nous intéressera par la suite est *Apis*, social et producteur de miel, et particulièrement l'espèce *mellifera*, domestique. (BRUNEAU et al,2011), une description détaillée de cette classification est indiquée dans l'Annexe 1.

Tableau 1 : Classification taxonomique de l'abeille domestique

| | |
|---------------|--|
| Règne | <i>Animalia</i> |
| Embrevement | <i>Arthropoda</i> |
| Classe | <i>Insecta</i> |
| Ordre | <i>Hymenoptera</i> |
| Sous-ordre | <i>Apocrita</i> |
| Super-famille | <i>Apoïdea</i> |
| Famille | <i>Apidae</i> |
| Sous-famille | <i>Apinae</i> |
| Tribu | <i>Apini</i> |
| Genre | <i>Apis</i> |
| Espèce | <i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758) |

I.2. Anatomie générale de l'abeille

L'abeille est constituée de trois articles, la tête, le thorax et l'abdomen, portant chacun des appendices (Figure 1). Les différents individus de la ruche n'ont pas les mêmes responsabilités, ils n'ont pas non plus la même morphologie. Ainsi, *Apis mellifera* est de couleur brune, son thorax est recouvert de poils brun-jaune, l'abdomen étant généralement jaune à rougeâtre, rayé de bandes feutrées claires. La reine mesure de 15 à 18 mm, l'ouvrière 11 à 13 mm et le mâle entre 13 et 16 mm. (BELLMANN, 1999).

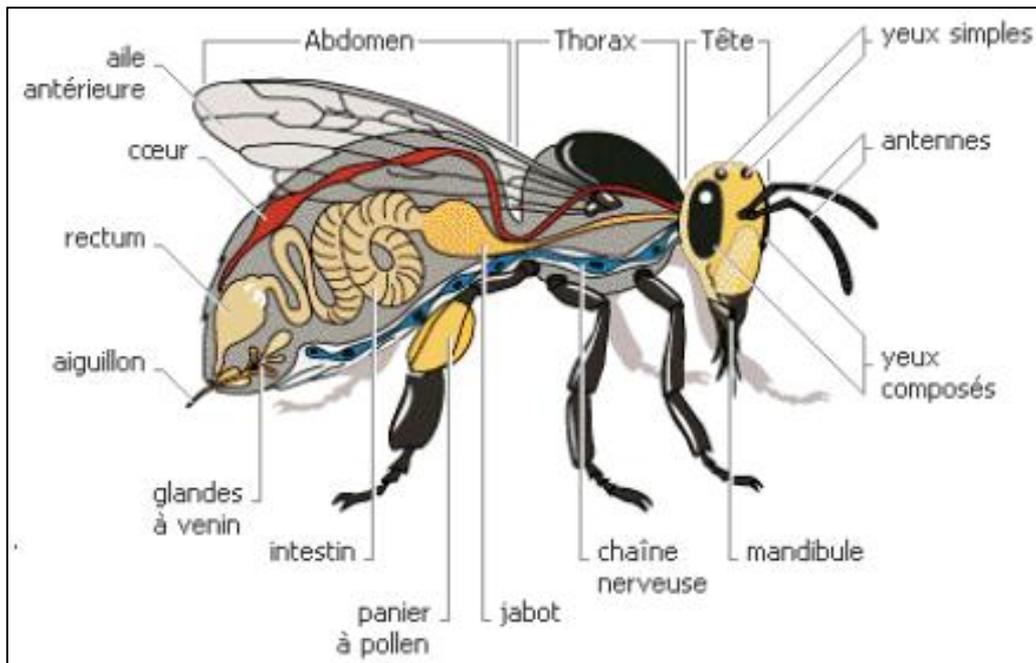


Figure 1 : Anatomie de l'abeille ouvrière.

I.2.1. La tête

La tête de forme ovoïde contient logiquement le cerveau, des glandes et porte les pièces buccales (appareil buccal de type broyeur-suceur formé de deux mandibules et d'une trompe), une paire de yeux composés et trois ocelles (organes visuels), et les antennes. Il est à noter que l'axe de la tête forme un angle de 90° avec celui du reste du corps. La langue, ou proboscis, est plus longue chez les ouvrières qui vont aller recueillir le nectar, que chez la reine et les mâles qui vont être alimentés par les premières. Les yeux, à facettes, sont nettement plus gros chez le mâle, ce qui permet de le reconnaître facilement. (PHAM-DALEGUE, 1998 ; BIRI, 2010), le schéma suivant illustre bien la morphologie de la tête chez l'abeille.

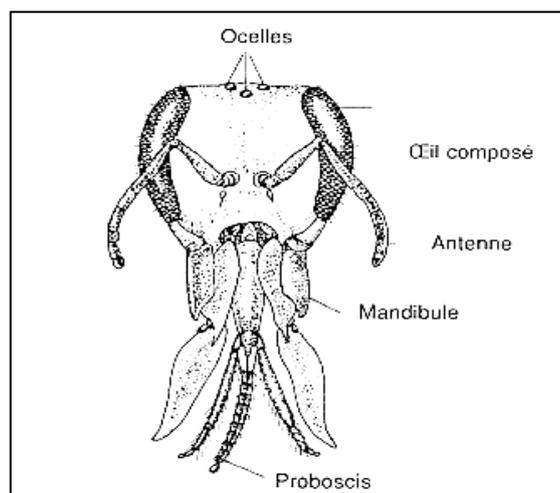


Figure 2 : Tête d'une abeille avec ses proboscis étirés (RUTTNER, 1968).

I.2.2. Le thorax

Le thorax est relié à la tête par un premier rétrécissement, le cou (Figure 1). Cette porte les trois paires de pattes et les deux paires d'ailes (les éléments locomoteurs). Les deux paires d'ailes sont fusionnées grâce à un dispositif de stabilisation, formé d'une gouttière et de crochets. Les ailes de la reine sont plus courtes que celles des ouvrières. Chaque paire de pattes est spécialisée : l'antérieure est utilisée pour nettoyer les antennes, la médiane et la postérieure sont adaptées chez l'ouvrière, à la récolte du pollen dans la corbeille. La première paire permet de l'extraire grâce à des pointes, alors que la seconde sert à la fois à broser celui piégé dans le duvet de la butineuse, à le compresser et à le stocker dans des corbeilles à pollen, constituées de longs poils qui vont contenir la charge (GOULD et GOULD, 1993).

I.2.3. L'abdomen

L'abdomen enfin, étant la partie la plus importante en volume, est relié au thorax par un deuxième rétrécissement appelé le pétiole. Cette partie comprend le jabot, les organes de digestion et le cœur. C'est à ce niveau que l'on retrouve également, chez les ouvrières, les huit glandes cirières et la glande de Nasonov, responsable de la sécrétion de phéromones. Les femelles possèdent en outre un dard, modification de l'ovipositeur (organe qui permet de déposer les œufs) relié à une glande à venin. En cas de piqûre, la glande se contracte pour libérer son contenu. L'aiguillon de la reine est lisse et peut donc servir plusieurs fois. En revanche, lorsque l'ouvrière pique, son dard barbelé peut rester dans les tissus de la « victime » : en s'éloignant, elle abandonne son appareil vulnérant, ainsi que la glande à venin et une partie de ses entrailles qui y sont reliées et sans lesquelles elle est condamnée (GOULD et GOULD, 1993).

On distingue parmi les abeilles, des caractéristiques propres aux genres (Figure 3). Ainsi on différencie la reine dont le corps est plus allongé, de l'ouvrière, plus légère. Le mâle, appelé faux-bourdon, est plus lourd et plus trapu que les femelles. Par ailleurs, il ne possède pas d'aiguillon (2,5).

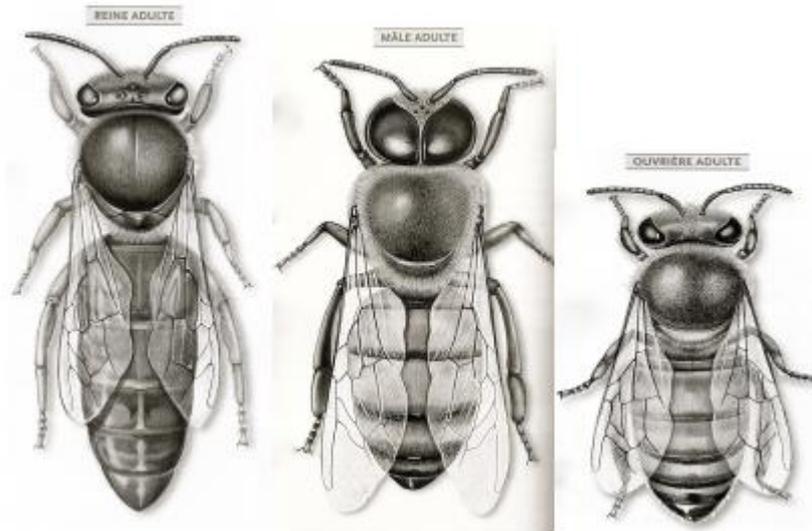


Figure 3 : Schéma comparatif des genres (de gauche à droite : reine, faux-bourdon, ouvrière) d'après (HARPER et RICHARD, 2013)

Une reine pèse en moyenne 200 mg et mesure 17 mm de long, une ouvrière pèse 125 mg et mesure 12 mm de long tandis qu'un mâle pèse environ 230 mg pour 16 mm de long (CHAUVIN, 1968).

I.3. Le système glandulaire

Par définition, une glande est un « organe principalement constitué de cellules spécialisées qui secrètent des substances spécifiques » (BERTHET *et al.*, 2006). Chez l'abeille, elles ont plusieurs grandes fonctions, notamment la transformation des denrées alimentaires, la production de cire, la communication entre individus et la défense.

On distingue principalement 8 types de glandes exocrines (Figure 4) :

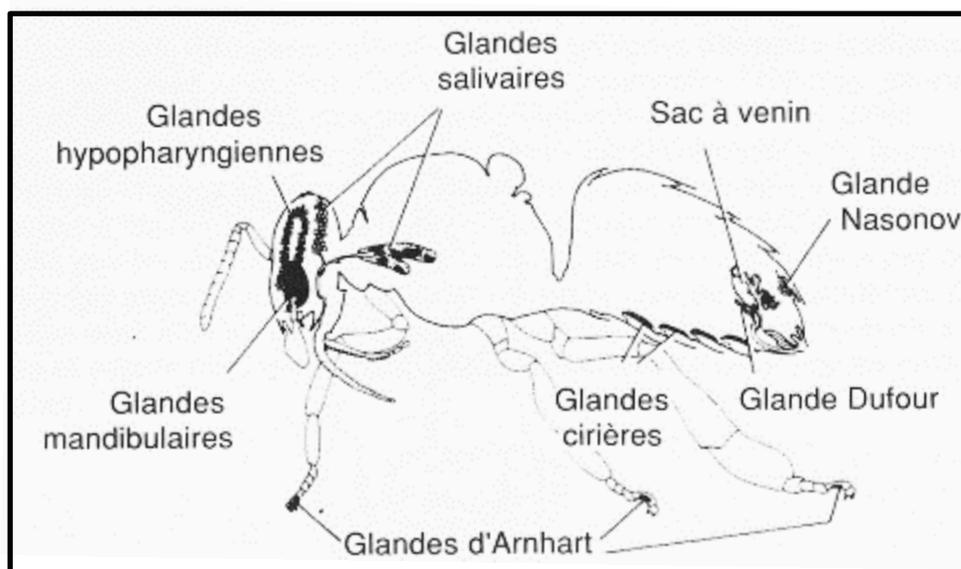


Figure 4 : Les principales glandes de l'abeille (WINSTON, 1993)

I.3.1. Les glandes labiales

Elles sont de plusieurs types, l'ensemble formant les glandes salivaires. La première, appelée glande post-cérébrale, appartenant à la tête, sécrète une substance lipophile à base d'hydrocarbures, probablement utilisée à des fins de reconnaissance chimique. La seconde, la glande thoracique, déverse dans la bouche, à la base de la langue, ses sécrétions aqueuses permettant ainsi la digestion des aliments (par l'action de diastases) et le ramollissement de la nourriture solide comme le pollen.

I.3.2. Les glandes hypopharyngiennes

Uniquement présentes chez les ouvrières, elles sécrètent la gelée royale chez les jeunes abeilles, les nourrices. Les sécrétions sont déversées dans la bouche de l'abeille qui peut alors nourrir le couvain. Chez les abeilles plus vieilles, ces glandes sécrètent des enzymes impliquées dans la fabrication du miel.

I.3.3. Les glandes mandibulaires

Elles sont situées dans la tête à proximité des mandibules. Elles sont particulièrement développées chez les ouvrières qui nourrissent le couvain (défini plus loin). Elles sécrètent majoritairement l'acide 10- hydroxy-2-décénoïque (WINSTON, 1993). La sécrétion de ces glandes permet également aux abeilles plus âgées de manipuler la cire et la propolis en les ramollissant pour ensuite les travailler (CHAUVIN, 1968). Selon d'autres sources, les glandes mandibulaires produiraient aussi une substance d'alarme en cas de danger, le 2-heptanone (WINSTON, 1993). Elles sont, chez la reine, à l'origine des phéromones, substances chimiques « induisant un comportement ou un développement particulier chez les autres individus de la même espèce » (BERTHET *et al.*, 2006).

I.3.4. Les glandes cirières

Elles sont uniquement présentes chez les ouvrières, entre les segments de la partie abdominale. Les plaquettes de cire (environ 0,5 mm d'épaisseur) produites par les cellules cérifères sont récupérées par les pattes de l'abeille, acheminées à la bouche puis mastiquées et ramollies avant d'être modelées pour la construction des cellules (CHAUVIN, 1968).

I.3.5. La glande de Nasonov

Située sur le dernier segment abdominal, elle libère sa production lorsque l'abeille ouvre son canal odoriférant, relève son abdomen et bat des ailes. La composition de la sécrétion, à base de géraniol, d'acide nérolique et de farnésol, est odoriférante et serait notamment utilisée dans l'orientation, le repérage de l'entrée de la colonie et le marquage des fleurs visitées (WINSTON, 1993).

I.3.6. Les glandes d'Arnhart

Positionnées à l'extrémité des pattes, elles sécrètent une substance ressemblant à la cire, permettant aux abeilles de ne pas glisser et de laisser une empreinte sur les fleurs visitées.

I.3.7. La glande de Dufour

Chez la reine, elle serait à l'origine de la production de phéromones dont le rôle reste partiellement inconnu et dont on suppose qu'elles ont une fonction dans la reconnaissance des œufs par les ouvrières (HARPER et RICHARD, 2013).

I.3.8. Le sac à venin relié à l'aiguillon

Uniquement présent chez les femelles, la sécrétion est synthétisée et stockée dans le sac à venin. Le venin est extériorisé par le dard au moment de la piqûre. Le venin est composé entre autres de mellitine, un peptide activateur des phospholipases A2 à l'origine de la réaction inflammatoire et d'apamine, un peptide agissant sur le système nerveux en bloquant les canaux potassiques (HARPER et RICHARD, 2013).

Le fonctionnement optimal des glandes est lié à l'alimentation, ainsi une abeille recevant du miel et du pollen de qualité en quantité nécessaire aura des glandes fonctionnelles. A titre d'exemple, il faudrait 8,4 kg de miel pour fabriquer 1 kg de cire.

I.4. Le cycle de développement

Les œufs, pondus uniquement par la reine, sont de petites tailles (1,3-1,8 mm x 0,120,22 mm), ovales et blanc translucide. La reine pond ses œufs au fond des cellules ; ceux-ci nécessitent ensuite 3 jours d'incubation avant leur éclosion, donnant alors naissance à une larve (THIVIN et MATEESCU, 2004) .

La larve, nouvellement née, requiert une grande quantité de nourriture. Alors que l'œuf, pendant son incubation perd 30 % de son poids, la larve, quant à elle va doubler son poids en sept jours. D'un point de vue morphologique, la larve est une masse blanche avec seulement les pièces buccales, un intestin et un rectum. Elle subit lors de son développement sept mues consécutives. Elle vit dans une cellule qui n'est pas operculée afin de permettre aux abeilles nourricières d'apporter les quantités nécessaires de nourriture, à savoir, la gelée royale. Toutes les larves reçoivent en effet uniquement de la gelée royale dans les trois premiers jours de leur développement. Puis, à partir du quatrième jour, l'alimentation change brutalement : elle se compose alors d'un mélange de miel, de pollen et d'eau. Cependant, lors de circonstances particulières (quand la ruche se sent orpheline, quand il n'y a plus de reine ou lors d'essaimage), les nourrices poursuivent l'alimentation des larves avec de la gelée royale exclusivement, et cela

au-delà du troisième jour. La première abeille qui naîtra deviendra reine de la ruche. On peut alors en déduire que seule la composition de l'alimentation permet de différencier deux destins : celui de reine et celui d'ouvrière (ou de faux-bourdon). Le stade « larve » dure six jours au bout desquels la larve prend la « forme » d'une abeille. C'est alors qu'une abeille cirière opercule la cellule avec de la cire. La larve atteint le stade de « pupa » (ou nymphe).

A ce stade, c'est l'évolution finale de la pupa en abeille par différenciation de la tête, du thorax et de l'abdomen. Cette dernière phase évolutive a une durée variable selon les genres. Pour une ouvrière, le développement pupal dure 21 jours ; pour un faux-bourdon, la durée est de 24 jours ; et enfin, elle est de 16 jours pour une reine. Une dernière mue donne naissance à un imago qui émerge de sa cellule par perforation de la cuticule de cire à l'aide de ses mandibules.

Il y a alors naissance soit d'un faux-bourdon, soit d'une abeille ouvrière, qui travaillera toute sa vie (6 semaines en été), soit d'une reine qui se nourrira exclusivement de gelée royale et dont l'espérance de vie est de 5 ans, soit 40 fois plus qu'une simple ouvrière.

La Figure 5 schématise les différentes évolutions temporelles des œufs selon le genre.

I. 5 Les races d'abeilles algériennes :

Il existe deux races d'abeilles en Algérie :

-*Apis mellifera intermissa* : ou la race tellienne.

-*Apis mellifera sahariensis* : ou la race saharienne.

I. 5.1 *Apis mellifera intermissa* :

Elle était découverte par BUTTEL et REEPEN en 1906 en Algérie, entre l'Atlas et la côte méditerranéenne ou atlantique sur un territoire de 2500 km de longueur. D'après les auteurs cités par HUSSEIN, 2001, elle serait :

De couleur noir, productive, prolifique, résistante aux maladies et aux prédateurs mais

néanmoins fort agressive et présentant une propension à l'essaimage, l'abeille tellienne est la race dominante en Algérie où elle se présente sous la forme de plusieurs variétés (dont cinq identifiées par les apiculteurs : « Maazi », « Nalmi », « Begri », ainsi que deux variantes sauvages kabyles : « Thih Arzine » et « harezzine ») adaptées aux divers biotopes.

C'est une race qui hiverne sans problème; au couvain abondant, et présent toute l'année. Elles construisent de nombreuses cellules royales. Extrêmement agressive mais cependant calme sur le rayon.

I. 5. 2 *Apis mellifera sahariensis* :

Elle était découverte dans la région de Figuig par PH J. BALDENSPERGER en 1921. Elle est rencontrée dans l'Afrique du Nord-Ouest et Oasis (Algérie et Sud du Maroc) (HUSSEIN, 2001).

- Couleur ton clair mais pas jaune ; couleur variable ; segments dorsaux; taille entre *ligustica* et *syriaca*.

La reine a une couleur qui varie du jaune clair au brun foncé mais jamais noire.

Les mâles uniformes : deux segments de couleur bronze bien définie.

Une longueur inhabituelle de la langue.

Les reines modérément fécondes; douces (sauf en cas de pénurie de nourriture).

A l'ouverture de la ruche les abeilles virevoltent autour de la ruche sans agressivité ; peu adhérent au cadre (tombent facilement) ; rapidité de vol et endurante, puissance de vol et ardeur à butiner.

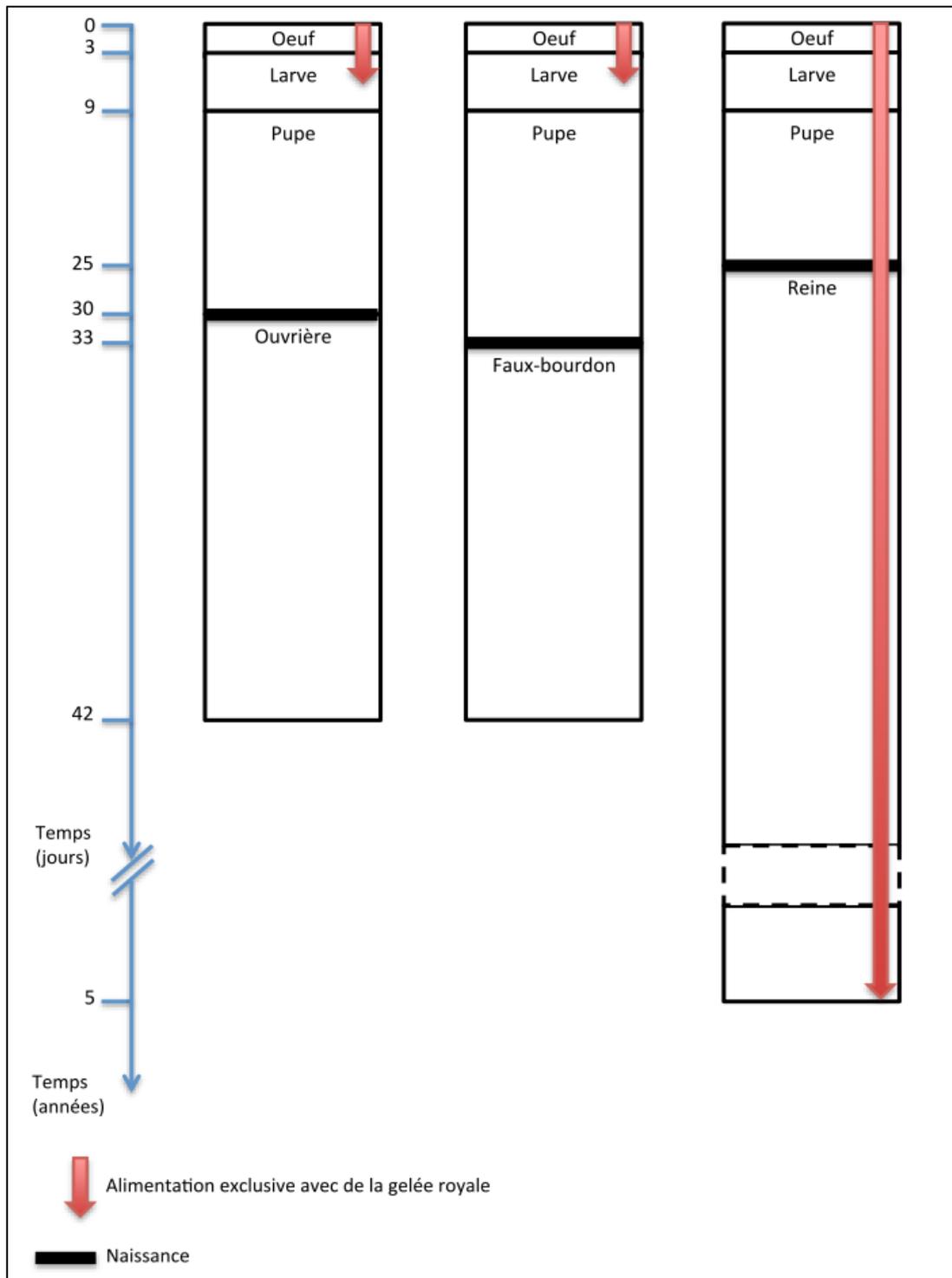


Figure 5 : Schéma temporel d'évolution des abeilles selon les genres et la nourriture

Chapitre II

La Gelée Royale

II. La gelée royale

La gelée royale est une substance centrale de la ruche, elle assure son existence et son fonctionnement. Elle est sécrétée par les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires (*cf.* Figure 4) des jeunes ouvrières nommées nourrices âgées de 5 à 15 jours. La gelée royale sert à nourrir toutes les larves pendant les trois premiers jours et le long de la vie des larves qui sont sélectionnées à devenir reines (Figure 6) (RIGAL, 2012) La reine vit 50 fois plus longtemps qu'une ouvrière et seule l'alimentation due à la gelée royale fait la différence, puisqu'au départ la reine et l'ouvrière sont génétiquement et anatomiquement identique. Il s'agit là de la notion d'épigénétisme (ROSSANT, 2011).

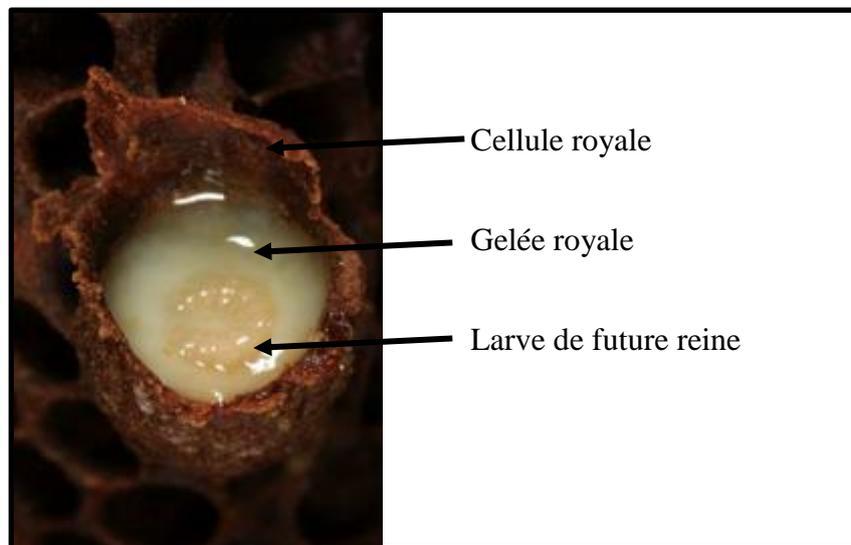


Figure 6 : Une cellule royale contenant une larve de future reine et la gelée royale (GHARBI, 2011).

La gelée royale se distingue par des caractéristiques spécifiques : une couleur blanchâtre qui devient jaune au contact avec l'air, une odeur caractéristique du phénol, un goût gélatineux, visqueux (FRATINI *et al.*, 2016), fortement acide à cause d'un pH avoisinant 3-4, légèrement amer avec une odeur âcre discrètement piquante (PHILIPPE, 1999).

La gelée royale est la substance la plus élaborée de la ruche. Fabriquée en très faible quantité par la colonie, elle demande un savoir-faire particulier à l'apiculteur pour la recueillir. Elle est consommée comme complément alimentaire mais est également utilisée en cosmétique et dans l'industrie pharmaceutique (BOGDANOV, 2011; BRUNEAU, 2011; HAN *et al.*, 2011).

2.2. Elaboration de la gelée royale

Les abeilles produisent exclusivement la quantité nécessaire à leurs besoins et ne font pas de réserve comme avec le miel. Il s'agit donc d'un produit noble de production très limitée et de très haute valeur ajoutée.

La technique de production consiste à rendre la ruche orpheline en lui enlevant sa reine pour que les ouvrières élèvent alors une nouvelle reine. On insère dans la ruche des cadres comportant des ébauches de cellules royales artificielles dans lesquelles on dépose de jeunes larves, âgées de 12 à 36 heures, sur une goutte de gelée royale. La plupart d'entre elles sont adoptées et alimentées en gelée royale par les abeilles nourricières. Trois jours plus tard, le cadre est retiré, les larves sont délicatement prélevées, et la gelée royale est récoltée à l'aide d'une spatule de verre, ou avec un petit aspirateur (CHERBULIEZ et DOMEREGO, 2003). Dès son extraction, elle est conditionnée dans des pots en verre et conservée entre 1 et 5°C. La gelée royale est donc une substance fragile et produite en faible quantité qui demande, de la part de l'apiculteur, un grand savoir-faire, justifiant ainsi un prix élevé.

A titre d'exemple, en France, une ruche fournit en moyenne 300 à 800 g de gelée royale par an. Grâce à des techniques plus sophistiquées et à une sélection génétique d'abeilles particulièrement adaptées, des pays comme la Chine sont capables de produire 5 à 7 kg par an et par ruche. On peut alors parler de production industrielle mais il n'est pas certain que toutes les propriétés de ce produit incomparable survivent à de telles manipulations (BRUNEAU, 2009 ; CHERBULIEZ et DOMEREGO, 2003).

II.1. Origine

La gelée royale est sécrétée par les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des jeunes abeilles nourrices, au stade où ces glandes sont les plus développées. Elle est fabriquée à partir des protéines et des nutriments du pollen qu'elles ont ingérés (GHARBI, 2011). On distingue deux types de gelée royale : celle destinée à toutes les larves durant leurs premiers jours de développement et celle uniquement destinée aux larves de reines

II.2. Technique de production de la gelée royale

Comme expliqué précédemment, la gelée royale est la nourriture exclusive des reines et des larves lors de leurs premiers jours de vie. L'intérêt du grand public pour cette substance est né vers le milieu du XX^{ème} siècle. Suite à cette observation, plusieurs laboratoires ont développé des spécialités à base de gelée royale. La consommation croissante a nécessité d'utiliser une technique de production de meilleur rendement que la récolte classique liée à l'essaimage. Le

principe de la production de gelée royale repose sur le fait d'isoler la reine afin que la ruche sente orpheline, et que les abeilles nourrissent des larves de gelée royale dans le but de créer une nouvelle reine (GPGR, 2012).

II.2.1. Les pré-requis

La production de gelée royale est un travail minutieux qui demande rigueur et patience à l'apiculteur qui souhaite s'atteler à cette tâche.

Avant tout, il est nécessaire de posséder des colonies de forte densité et en bonne santé car une ruche faible ne pourra produire de gelée royale en quantité. Par ailleurs la présence d'une reine performante est indispensable : elle est sélectionnée génétiquement pour être une excellente productrice mais cette sélection poussée à l'extrême la rend sensible aux maladies et peu autonome pour subvenir à ses propres besoins vitaux. Il convient donc de trouver un juste équilibre pour obtenir une reine hautement productive mais également résistante. Les colonies destinées à la production de gelée royale sont sélectionnées lors de la saison précédente. On veille à ce que la nourriture soit suffisante pour l'hivernage (12 à 18 kg pour l'hiver sous forme soit de sirop concentré, soit à partir de la réserve de miel) (GPGR, 2012).

Au printemps, lors des premières journées ensoleillées, l'activité de la ruche redémarre avec la récolte de pollen et la reprise de la ponte. Pour accroître l'activité, la ruche est nourrie par un sirop stimulant pendant quelques semaines puis on ajoute éventuellement une pâte de pollen mélangée à du miel si les rentrées de pollen sont insuffisantes. Une sélection des ruches les plus performantes est effectuée (GPGR, 2012 ; FERT et CLEMENT, 2007).

II.2.2. L'organisation dans la ruche

Une fois l'activité de la ruche bien lancée, le travail pour obtenir de la gelée royale peut commencer. Il existe plusieurs méthodes possibles pour la récolte de gelée royale. Une seule sera détaillée dans ce propos afin de comprendre le principe général. Comme détaillé plus haut, le but est d'isoler la reine afin d'orpheliner la colonie et ainsi provoquer un élevage royal. Ce dernier est alimenté par les abeilles nourrices. Cet élevage est interrompu trois jours après pour y récolter la gelée royale.

Concrètement, l'isolement de la reine s'effectue grâce à une grille à reine (Figure 7), c'est-à-dire une grille qui laisse passer les ouvrières mais pas la reine de par sa taille plus importante. Une partie de la ruche est alors isolée.

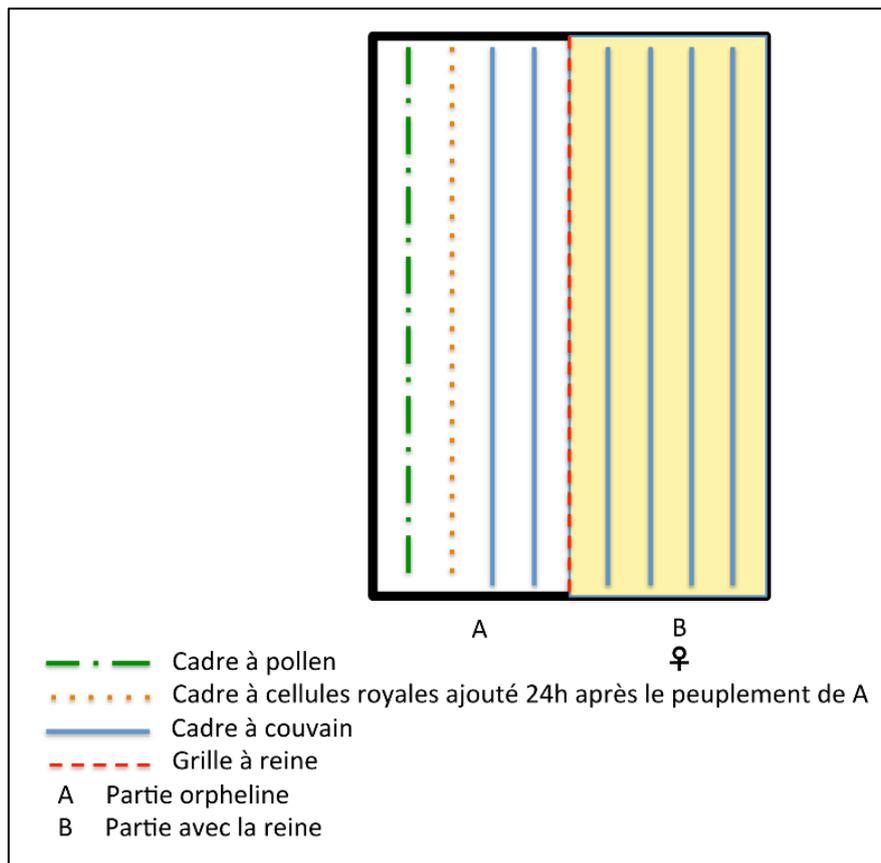


Figure 7 : Organisation d'une ruche destinée à la production de gelée royale, vue du dessus d'après (FERT et CLEMENT, 2007)

Le compartiment B ne comporte que des cadres de couvain avec la reine. La zone A possède deux cadres de couvain afin d'attirer les abeilles nourrices dans celui-ci. La reine n'ayant pas accès au compartiment A, elle ne peut y déposer ses phéromones, marques de sa présence. Les nourrices se sentent alors orphelines en zone A. On peut alors ajouter un cadre à cellules royales greffées dans la zone A. Les nourrices s'alimentant avec du pollen, il semble judicieux de placer un cadre de pollen dans la zone A à proximité du cadre de cellules royales afin que les nourrices soient dans des conditions optimales pour la production de gelée royale.

II.2.3. La préparation des cadres de cellules royales

Les cellules destinées à recevoir l'élevage royal diffèrent par rapport aux cellules classiques des ouvrières. Les cellules royales, appelées cupules, peuvent être en cire ou plus couramment en plastique. Elles sont fixées sur des lattes, elles-mêmes emboîtées dans un cadre classique de ruche (Figure 8).



Figure 8 : Cadre à cellules royales

Il est important de noter que les cupules sont, avant leur première utilisation, placées durant une journée dans une ruche quelconque. Les abeilles éliminent ainsi les odeurs étrangères à la ruche, nettoient et imprègnent les cupules de leur odeur. Cette familiarisation permet une meilleure acceptation des cellules par la suite.

Avant de procéder au greffage, l'apiculteur doit préparer les cellules royales en y déposant au fond un mélange de gelée royale : eau (1/3 : 2/3), qui optimise la survie de la larve après greffage. Par ailleurs, il doit également avoir récupéré un cadre de jeunes larves (nées depuis moins de 24h) dans une des ruches (zone B, où la reine peut pondre). Ces deux conditions étant réunies, le greffage peut débuter (Figure 9).



Figure 9 : Le greffage

Il consiste à prélever, à l'aide d'outils appropriés, une larve du cadre pour la déposer dans une cellule royale. Ce travail minutieux demande du temps et de l'habileté ainsi qu'une bonne vue ; les larves ne mesurant que quelques millimètres. Un apiculteur expérimenté et équipé greffe entre 600 et 1000 larves à l'heure. Après greffage, les cupules et leur cadre doivent être positionnés dans la ruche dans la demi-heure qui suit pour éviter le dessèchement des larves. Une ruche peut élever, selon son potentiel, de 60 à 120 larves (GPGR, 2012 ; FERT et CLEMENT, 2007).

II.2.4. La récolte

Les cupules restent en place 3 jours durant dans la ruche puis sont retirées pour la récolte de la gelée royale. Cette étape demande une rigueur exemplaire du point de vue de l'hygiène : l'environnement de travail doit être propre (l'idéal est un laboratoire dédié à cette activité) et le matériel utilisé doit être de qualité alimentaire et désinfecté avant et après chaque usage à l'alcool à 70°.

II.2.4.1. Le décalottage

La première étape appelée le décalottage consiste à couper le haut de la cellule en cire : les abeilles ont, durant les trois jours, allongé la cellule royale avec de la cire (Figure 10). Pour ce faire, il faut couper la cire au ras de la gelée royale afin de faciliter l'extraction larvaire par la suite. Cette opération se fait avec un couteau ou un cutter à condition que ceux-ci soient de qualité alimentaire. Le principal risque de cette étape est de blesser la larve et de répandre ses fluides dans la gelée royale.

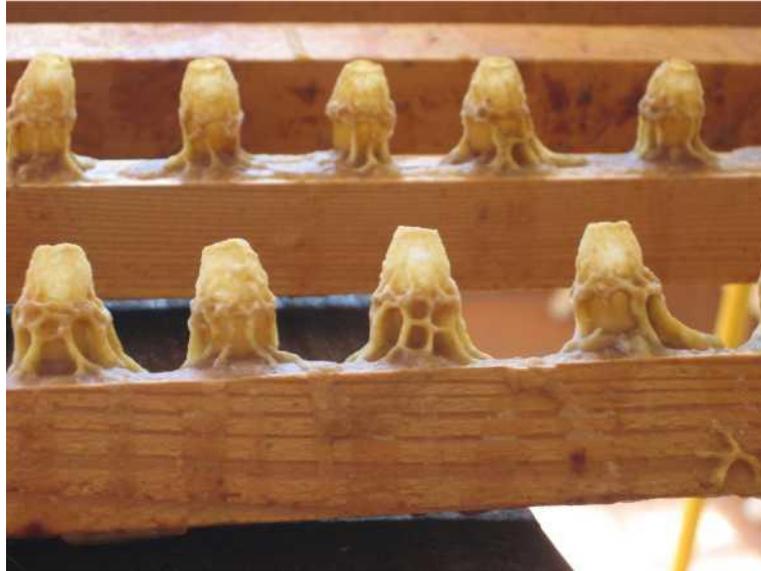


Figure 10 : Cellules royales

II.2.4.2. Le délarvage

Dans un second temps, la larve est retirée de la cupule en prenant toujours soin de ne pas la blesser, des fluides de larve pourraient compromettre la qualité de la gelée royale. La larve est retirée de sa cellule de façon manuelle avec une spatule par exemple ou avec un système d'aspiration, apprécié pour sa rapidité.

II.2.4.3. L'aspiration et la filtration

La dernière étape consiste à retirer la gelée royale de la cupule manuellement ou à l'aide d'une pompe, puis à la filtrer (0,4 à 0,7 mm) avant de la conditionner en pot de verre. La conservation se fait entre 2°C et 5°C à l'abri de la lumière.

II.3. Les caractères organoleptiques et physico-chimiques

La gelée royale est une sorte de pâte homogène épaisse blanche jaunâtre. Des variations de couleurs peuvent être observées en fonction de son origine. L'odeur de la gelée royale est assez peu marquée mais tout de même phénolique. Sa saveur, quant à elle, acide et brûlante est caractéristique et rarement appréciée. Partiellement soluble dans l'eau, sa densité est de 1,40 et son pH est acide, compris entre 3,6 et 4,2 (KRELL, 1996 , MARTINI et SEILLER, 2006).

Selon son mode de conservation, la viscosité peut varier : ainsi à température ambiante ou à 5°C, la gelée royale devient peu à peu plus visqueuse.

II.4. La composition

Avant d'aborder la composition de la gelée royale, il est primordial de rappeler que celle-ci, d'origine naturelle, n'est pas standardisée. Elle dépend des conditions environnementales (saison, lieu de récolte, météorologie), Ainsi, la composition de la gelée royale est différente suivant qu'elle est destinée aux larves d'abeilles ouvrières ou aux larves de reines et dépend également de la race des abeilles la produisant. Par ailleurs, les études effectuées présentent des résultats différents liés au nombre d'échantillons testés dans différents endroits, à différents moments et dans des conditions d'analyse différentes. Les critères potentiellement variables sont donc nombreux. Malgré ces paramètres fluctuants, les proportions restent relativement stables. La proportion des composants est donc donnée sous forme d'intervalles (Annexe 2).

La composition de la gelée royale peut varier selon :

- L'âge de la larve,
- L'âge de la nourrice,
- L'environnement,
- Les conditions de conservation,
- Les méthodes d'analyse.

En effet, la composition de la gelée royale varie selon l'âge des larves. Selon ELSER (1919) cité par CHAUVIN, 1968, la quantité de protides diminue après le deuxième jour de vie de la larve à l'inverse des sucres qui croissent. Par ailleurs, la gelée royale s'enrichit en eau au fil des jours. Au contraire, HAYDAK (1943) montre que la matière sèche et les cendres minérales diminuent avec le temps alors que les protéines augmentent (CHAUVIN, 1968). Ces deux études, bien qu'en désaccord sur le sens des variations des différents composants de la gelée royale en fonction de l'âge, confirment que la composition varie avec le temps.

Selon les ressources disponibles dans l'environnement et l'âge des nourrices, la composition de la gelée royale peut changer comme l'a laissé entendre HAYDAK (1960). Ainsi, les colonies à l'extérieur produiront une gelée royale plus riche en eau, et en vitamines en général. Par ailleurs, la gelée royale sera d'autant plus riche en vitamines que l'abeille nourrice est jeune, âgée de 11 à 15 jours (CHAUVIN, 1968).

II.4.1. L'eau

L'eau est l'un des composants majeurs de la gelée royale. La relative constante humidité est assurée par la rapidité entre la synthèse et la distribution aux larves de la gelée royale,

l'hygroscopie propre à celle-ci ainsi que l'effort collectif des habitants de la ruche pour maintenir une humidité ambiante optimale (RAMADAN et AL-GHAMDI, 2012). Les résultats développés par la suite font référence soit à la matière sèche, débarrassée de son eau soit à la matière fraîche, brute.

En remontant au début du XX^{ème} siècle, on trouve déjà des auteurs qui se sont intéressés à la composition de la gelée royale. Les études menées pour déterminer la quantité d'eau dans la gelée royale. Une revue publiée par la *Food and Agriculture Organization* (FAO) en 1996 retrace quelques études plus anciennes sur la composition de la gelée royale. Ces études plus anciennes manquent de détails quant aux méthodes employées et au nombre d'échantillons ainsi que leurs origines.

Plusieurs études ont été menées plus récemment afin de déterminer la quantité d'eau dans la gelée royale. MESSIA *et al.*, 2005 ont utilisé des échantillons de gelée royale provenant d'un apiculteur de la région de Bologne, analysés par gravimétrie suite à une dessiccation à température inférieure à 60°C et pression inférieure à 50 mmHg. Leurs résultats proposent une teneur moyenne en eau de 67,20 % pour ces échantillons de gelée royale.

GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2007 ont également fait une étude sur des échantillons de diverses origines par analyse gravimétrique après dessiccation. Leurs résultats ne montrent pas de réelle variation selon l'origine de la gelée royale, la concentration moyenne en eau est de 63,17 %.

FERIOLI *et al.*, 2007 proposent également une étude de la teneur en eau selon l'origine de la gelée royale. Une fois de plus, aucune différence significative n'a été montrée entre les teneurs en eau des échantillons italiens (53,9 %) par rapport aux échantillons non européens (50,0 %).

SESTA et LUSCO, 2008 procèdent à une analyse gravimétrique après dessiccation des échantillons à l'étuve sous vide 24h à 48°C. Cette étude a pour objectif de montrer la relation entre quantité d'eau dans la gelée royale et l'indice de réfraction. Vingt-sept échantillons sont alors testés, la moyenne du taux d'eau contenue dans la gelée royale est de 62,3 %.

II.4.2. Les glucides

Les glucides ont fait l'objet de plusieurs études quant à leur nature et leur quantité. Pour les interpréter correctement, il faut être vigilant au fait que les études soient menées sur matière fraîche ou sur matière sèche. Les résultats ainsi obtenus et exposés dans le Tableau 2 doivent être interprétés distinctement.

Les études les plus anciennes avancent des taux de glucides sous formes d'intervalles qui sont difficilement interprétables puisqu'ils vont de 20 à plus de 50 %.

GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2007 ont testés des échantillons de diverses origines. Leurs résultats sont semblables quelle que soit l'origine de la gelée royale : le taux de sucres est en moyenne de 19,36 %. Leur méthode de dosage consiste à peser l'échantillon et à en déduire les masses d'eau, de protéines, de lipides et de micronutriments.

SESTA, 2006 propose un dosage des sucres par Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) sur 97 échantillons. Il donne la composition quantitative et qualitative des sucres. Cette étude montre un taux de fructose de 4,6 %, de glucose de 5,8 % et de saccharose de 1,0 % pour un taux total de ces 3 sucres de 11,4 %. Le maltose n'a pas été détecté dans tous les échantillons, son taux moyen est de 0,4 % mais sur un panel de 41 échantillons. On peut noter la précision de ces résultats, grâce à la méthode utilisée et au nombre conséquent d'échantillons.

Tableau 2 : Teneur en glucides de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse ; F : non renseigné)

| Types d'échantillon | Références | Méthodes | n | Nombre d'échantillons (origine) | m / Coefficient de variation |
|---------------------|--|-------------------------------------|---|---------------------------------|------------------------------|
| | PLANTA, 1888 <i>in</i> | - | - | - | 20,39 % |
| | KÖHLER, 1922 <i>in</i> | - | - | - | 15,3 % |
| | SCHUEL et DIXON, 1959 | | | | 33,9 % |
| Matière sèche | AEPPLER, 1922 | - | - | - | 14,05 % |
| | POURTALLIER <i>et al.</i> , 1970 | Titration par réduction des sucres | | | 20-33 % |
| | POURTALLIER <i>et al.</i> , 1990 | Chromatographie Phase Gazeuse (CPG) | | | 38-43 % |
| | LERCKER <i>et al.</i> , 1984, 1986, 1992 | CPG haute résolution | | | 19,7-52,1 % |
| Matière fraîche | ESLER, 1929 | - | - | - | 10,7 % |
| | GARCIA- | Calcul : 100g de | 3 | 4 (Commerce) | 19,54 % |

| | | | | | |
|--|---------------------------------------|--|----|---|--|
| | AMOEDO, ALMEIDA-MURADIAN, 2007 | l'échantillon - [masse (eau, protéines, lipides, micronutriments)] | | 2 (Direct producteur) | 19,18 % |
| | | | | 1 (Chine) | 19,04 % |
| | | | | Moyenne | 19,36% / 1,88 |
| | SESTA, 2006 | HPLC | 10 | 79 (Ruchers de l'Instituto Sperimentale par la Zoologia Agraria à Rome, Italie) 13 (Producteurs italiens) 5 (Pays étrangers dont la Chine) | Gl+Fr+Su : 11,4 % Fructose : 4,6 % Glucose : 5,8 % Saccharose : 1,0 % Maltose : 0,4 % (sur 41 échantillons) |
| | DANIELE et al., 2012 | CPG | | 290 (France) | Total : 7,8-17,1 % Fructose : 2,3-7,8 % Glucose : 3,4-7,7 % Sucrose : <1,7 % Erlöse : <0,3 % Maltose : <1,4 % |

Les principaux glucides présents dans la gelée royale sont le fructose, le glucose, représentant à eux seuls 90 % des sucres. Le sucrose est toujours présent mais retrouvé en quantité variable. Les autres sucres secondaires retrouvés en quantité moindre sont le galactose, le mannitol, le maltose, le maltulose, le turanose, le tréhalose, le palatinose, l'isomaltose, le gentiobiose, le melezitose, l'erlose et le maltotriose (SESTA, 2006). Ils sont notamment employés pour garantir l'authenticité et la pureté du produit, en le différenciant du miel couramment employé en mélange à la gelée royale (KRELL, 1996,40). D'une manière générale, la gelée royale comporte 10 à 20 % de glucides.

II.4.3. Les protéines

D'un point de vue quantitatif, les protéines font partie des constituants majeurs de la gelée royale.

Peu d'études récentes abordent la quantité de protéines contenue dans la gelée royale. Les études anciennes manquent d'indications quant à leur méthode de dosage, au nombre d'essais sur chaque échantillon et même au nombre d'échantillons testés. Leurs résultats sont tout de même présentés dans le Tableau 3.

Sur matière sèche, malgré des méthodes de dosage différentes, les différentes études montrent des résultats similaires avec 30,62 % pour AEPPLER, 1922 *in* (CHAUVIN, 1968), et avec 35-45 % pour POURTALLIER *et al.*, 1970, 1990 (KRELL, 1996) selon les années.

Tableau 3 : Teneur en protéines de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse, - : non renseigné)

| Type d'échantillon | Références | Méthodes | n | Nombre d'échantillons (origine) | m / Coefficient de variation |
|--------------------|--|--|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | PLANTA, 1883 | - | - | - | 45,14 % |
| | MELAMPY et JONES, 1939 | | | 8 | 12,34 % |
| | SHUEL et DIXON, 1959 | | | | 35,3 % |
| Matière sèche | AEPPLER, 1922 | - | - | - | 30,62 % |
| | POURTALLIER <i>et al.</i> , 1970 | Extraction sélective au méthanol (puis pesée ? non spécifié) | | | 35-45 % |
| | POURTALLIER <i>et al.</i> , 1990 | Extraction sélective au méthanol (puis pesée ? non spécifié) | | | 36-42 % |
| | LERCKER <i>et al.</i> , 1984, 1986, 1992 | Méthode de Kjeldahl | | | 33,0-41,7 % |
| Matière fraîche | ESLER, 1929 | - | - | - | 11,4 % |
| | HAYDAK, 1943 | - | - | - | 15,47 % |
| | NAKAMURA, 1985 | Méthode de Kjeldahl | - | - | 11,0-14,5 % |
| | GARCIA-AMOEDO, ALMEIDA-MURADIAN, 2007 | Micro-Kjeldahl : taux d'azote x 6,25 = taux de protéines | 3 | 4 (Commerce) | 13,22 % |
| | | | 2 (Direct producteur) | 12,84 % | |
| 1 (Chine) | | | 13,28 % | | |
| Moyenne | | | 13,12 % / 0,64 | | |

On peut en déduire que les protéines représentent 11-15 % de la matière fraîche et 33-45 % de la matière sèche.

Sur matière fraîche, les études les plus anciennes ne détaillent pas les modes de dosage mais annoncent des quantités à 11,4 % [ESLER, 1929 *in* (CHAUVIN, 1968)] et 15,47 % [HAYDAK,

1943 *in* (CHAUVIN, 1968)]. NAKAMURA, 1985 *in* (KRELL, 1996), par la méthode de Kjeldahl donne un intervalle entre 11,0 et 14,5%. Plus récemment, GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2007 montrent par un dosage par micro-Kjeldahl du taux d'azote que le taux de protéines atteint une moyenne de 13,12 % sans réelle variation selon l'origine des échantillons (Tableau 4).

Les acides aminés libres (AAL) ont également été étudiés par BOSELLI *et al.*, 2003 par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et spectrophotométrie. Les AAL retrouvés en plus grande quantité sont la proline, la lysine, l'acide glutamique, la 3-alanine, la phénylalanine, l'asparagine et la sérine (Tableau 4) (SABATINI *et al.*, 2009, BOSELLI *et al.*, 2003).

Tableau 4 : Teneur en acides aminés libres de la gelée royale (n : nombre d'essais sur chaque échantillon ; m : moyenne du pourcentage masse/masse)

| Référence | Méthodes | n | Nombre d'échantillons (origine) | m |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|
| BOSELLI <i>et al.</i>, 2003 | CPG reliée à un spectrophotomètre | 3 | 14 (Emilia Romagna, Italie) | AAL totaux : 0,73 % Proline : 0,40 % Lysine : 0,14 % Glutamine, acide glutamique : 0,07 % P-alanine : 0,04 % Asparagine, acide aspartique : 0,04 % Phénylalanine : 0,04 % Serine : 0,02 % |

Il existe des protéines remarquables. La majeure partie des protéines sont solubles et sont appelées *Major Royal Jelly Proteins* (MRJP), il existe également la royalisine et le groupe des jelleines.

II.4.3.1. Les Major Royal Jelly Proteins (MRJP)

Les principales protéines présentes dans la gelée royale appartiennent au groupe des MRJP, nommées MRJP 1 à MRJP 5 (49 - 87 kDa) (SIMUTH, 2001). La MRJP 1 (55 kDa) représente 48 % des protéines hydrosolubles de la gelée royale sur 9 MRJP retrouvées ; et les MRJP 1 à 5 représentent 82 % du total protéique (HOJO *et al.*, 2010).

SIMUTH, 2001 a tenté d'isoler les MRJP par ultracentrifugation et électrophorèse afin de caractériser leurs structures moléculaires. L'objectif était de distinguer les fractions physiquement différentes composant la gelée royale. Le surnageant obtenu est fluide de couleur jaunâtre principalement composée de sucres (50,6 % m/m). La phase intermédiaire est

composée majoritairement de protéines (57,1 % m/m) et d'acides gras (11,6 % m/m) et a un aspect gélatineux de couleur jaune brun. La phase inférieure est caractérisée par un sédiment blanc solide composé à 48,1 % m/m d'acides gras. La phase intermédiaire a été isolée, remise en suspension et centrifugée pour donner deux phases : un surnageant peu coloré et un sédiment solide jaune doré, formé après augmentation du pH, composé à 88,4 % m/m de protéines, 4,8 % m/m de glucides et 0,4 % m/m d'acides gras. L'ensemble des phases et leur constitution sont présentées sur la Figure 11.

L'augmentation du pH au-dessus de 7,0 a donc influencé la formation d'agrégats de

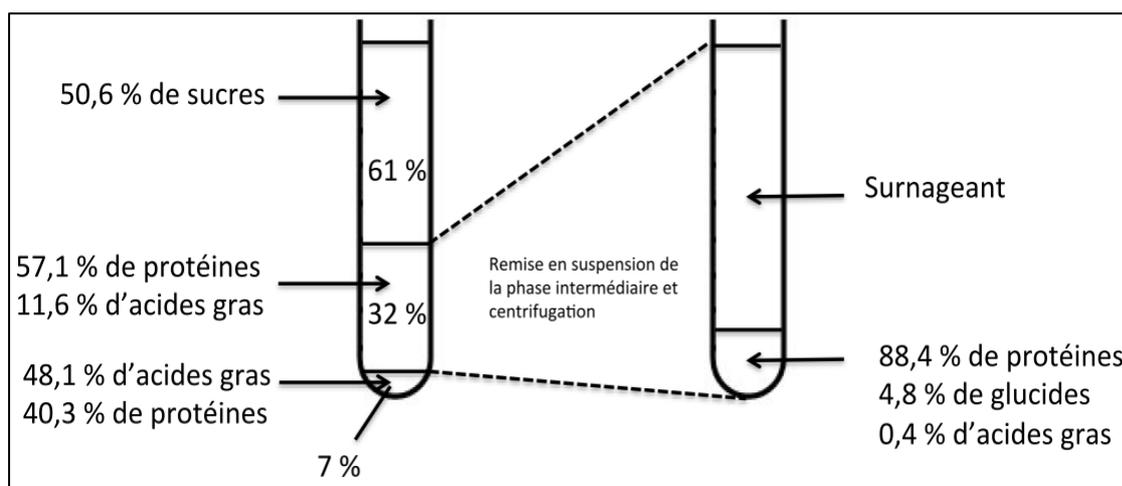


Figure 11 : Composition des phases après centrifugation de la gelée royale. (SIMUTH, 2001)

protéines. Connaissant les masses moléculaires des différentes MRJP et par électrophorèse des différentes phases, ils ont pu déterminer à quelle phase appartient chaque MRJP. Ainsi, la MRJP 1 serait trouvée dans la phase surnageant, la phase intermédiaire, le sédiment blanc et le sédiment jaune. La MRJP 2 (49 kDa) et la MRJP 3 (60 - 70 kDa) seraient présentes dans la phase surnageant. Par ailleurs, une analyse par chromatographie sur colonne du sédiment jaune montre une séparation en deux fractions : 95 % m/m des protéines de cette phase seraient éluées et correspondraient à une masse moléculaire de 420 kDa (fraction 1) et une autre partie des protéines seraient éluées pour une masse moléculaire correspondante de 66 kDa (fraction 2). Après traitement par Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) et électrophorèse de la fraction 1, on observe un seul spot avec une masse moléculaire de 55 kDa. On peut en déduire que la fraction 1 est composée de MRJP 1 agrégées. Suite au même traitement, la fraction 2 possède 2 spots sur l'électrophorèse à 55 kDa et 47 kDa. Ces deux spots, déterminés comme étant actifs envers des anticorps recombinés de MRJP 1, on peut en suggérer que la fraction à 47 kDa correspondrait à des MRJP 1 partiellement dégradées.

Par ailleurs, on trouve des quantités non négligeables d'acides gras dans les phases les moins hydrophiles à savoir la phase intermédiaire et le sédiment blanc mais également dans ces mêmes phases des quantités notables de protéines, respectivement 57,1 % et 40,3 %. Identifiées comme étant principalement constituées de MRJP 1, protéines hydrosolubles, les auteurs supposent une interaction entre les acides gras et la MRJP 1 à l'origine de la fraction protéique insoluble dans l'eau. La MRJP 1 est donc présente sous plusieurs formes, monomères (55 kDa), sous-unités oligomériques (420 kDa) et agrégats insolubles dans l'eau formés après interaction avec des acides gras. Les MRJP 2 et 3 retrouvées dans la phase de surnageant seraient plus hydrophiles. La MRJP 1 est donc présente dans la gelée royale sous différentes formes, à savoir monomère, sous-unité oligomérique, agrégat avec les acides gras la rendant non hydrosoluble.

Synthétisée dans les glandes hypopharyngiennes et mandibulaires des nourrices, les études portent principalement sur la MRJP1, plus abondante, qui aurait non seulement des propriétés nutritionnelles pour le développement des larves d'abeilles mais est aussi retrouvée dans les corps pédonculés, structure cérébrale impliquée dans l'apprentissage et la mémoire des abeilles adultes et aurait des capacités anti-infectieuses (HOJO *et al.*, 2010). Par ailleurs, la MRJP1, grâce à sa structure stable dans l'eau, aurait un rôle dans la récolte et l'assemblage des pelotes de pollen (SIMUTH, 2001).

La famille des MRJP est à ce jour appelée la famille des apalbumines, également numérotées de 1 à 5 (SCARSELLI *et al.*, 2005). Bien que le premier terme Major Royal Jelly Proteins ne devrait plus être utilisé, les études évoquent encore les MRJP.

II.4.3.2. La royalisine

La royalisine est l'une des protéines présentes dans la gelée royale aux côtés des apalbumines précédemment décrites. La seule source connue à ce jour de royalisine est la gelée royale. Sa structure primaire a été étudiée par FUJIWARA *et al.*, 1990 et est présentée à la Figure 12.

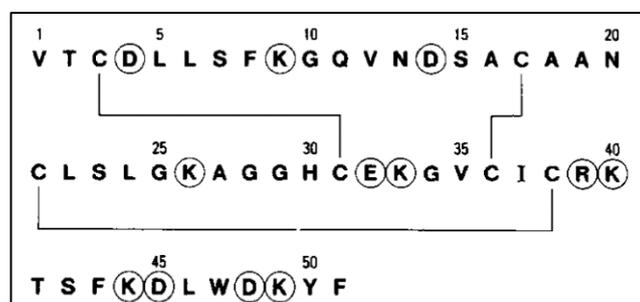


Figure 12 : Structure de la royalisine (BERG *et al.*, 2013)

L'Annexe 3, permet de déchiffrer cette illustration. La masse moléculaire de la royalisine est de 5,52 kDa pour 51 acides aminés (dont 6 cystéines).

Trois ponts disulfures (représentés par la liaison entre cystéines sur la Figure 12) lui donnent une structure tridimensionnelle et lui assurent une grande stabilité à pH faible et à forte température. Amphiphile par nature, la royalisine a son pôle hydrophobe sur l'extrémité N-terminale (acides aminés 1 à 22) alors que les acides aminés 23 à 45 de l'extrémité C-terminale sont hydrophiles.

La royalisine appartient à la famille des défensines, c'est le groupe de protéines antimicrobiennes issues des insectes le plus important. Les défensines sont des peptides antimicrobiens cationiques (SHEN *et al.*, 2010). D'autres peptides antimicrobiens de structure homologue à celle de la royalisine existent, notamment la sapécine issue des cellules embryonnaires de *Sarcophaga peregrina*, espèce de mouche et la phormicine tirée des larves de *Phormia terranova*, autres espèce de mouche (FUJIWARA *et al.*, 1990).

II.4.3.3. Les jelleines

D'autres peptides exclusivement retrouvés dans la gelée royale existent, ils appartiennent à la famille des jelleines, tiré du nom anglais de la gelée royale, *royal jelly*. On en distingue 4 numérotés de I à IV. Les jelleines se composent de 8 ou 9 acides aminés dont l'extrémité C-terminale est amidée et sont chargés positivement (ROMANELLI *et al.*, 2011), leurs séquences sont décrites dans le Tableau 5.

Par définition, les peptides sont « composés d'acides aminés unis par des liaisons peptidiques » (BERTHET *et al.*, 2006). La différence avec les protéines provient du fait qu'ils sont plus petits, souvent moins de 50 acides aminés.

FONTANA *et al.*, 2004 ont étudié leurs structures et leur activité antibactérienne. Une étude par HPLC de gelée royale a montré l'existence de 2 catégories de composants. Le premier pic a été identifié comme étant le 10H2DA et le deuxième pic est composé de peptides jusqu'alors inconnus. Ils sont alors isolés, leur masse moléculaire est trouvée et leur séquençage est ensuite effectué par spectrométrie de masse (Tableau 5). Ces auteurs montrent également: que ces 2 catégories de composants ont des propriétés antimicrobiennes : il en sera question en 4.3 de cette même partie.

Tableau 5 : Séquences des acides aminés des différentes jelleines (FONTANA *et al.*, 2004)

| Fraction | Peptine | Sequence | Poids moléculaire(Da) |
|----------|--------------|--|-----------------------|
| 8.1 | Jelleine-I | PFKISIH _L -NH ₂ | 953.24 |
| 8.2 | Jelleine-II | TPFKISIH _L -NH ₂ | 1054.30 |
| 8.3 | Jelleine-III | EPFKISIH _L -NH ₂ | 1082.32 |
| 8.4 | Jelleine-IV | TPFKISIH-NH ₂ | 942.13 |

II.4.4. Les lipides

La fraction lipidique de la gelée royale n'est pas la plus importante d'un point de vue quantitatif mais son importance est non négligeable d'un point de vue qualitatif : elle renferme notamment l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque (ou 10H2DA), composant d'intérêt majeur de la gelée royale.

Plusieurs études, depuis plus d'un siècle, ont tenté de déterminer la quantité de lipides présents dans la gelée royale.

GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2007 ont montré dans leurs essais que le pourcentage de lipides contenus dans la gelée royale ne dépendait pas de l'origine de cette dernière. Leurs résultats exposés dans l'Annexe 4 affichent une moyenne de 3,28 % de lipides sur matière fraîche.

RAMADAN *et al.*, 2012 *in* (RAMADAN et AL-GHAMDI, 2012) détaillent la composition des lipides et des acides organiques. Ils relatent que cette phase représente entre 3 et 8 % de la matière fraîche. La phase lipidique se composerait à 80-85 % d'acides gras, à 4-10 % de phénols, à 5-6 % de cires, à 3-4 % de stéroïdes et à 0,4-0,8 % de phospholipides. Les acides gras seraient composés à 32 % de 10H2DA, à 24 % d'acide gluconique, à 22 % d'acide 10-hydroxydécénoïque, à 5 % d'acides dicarboxyliques. Il faut noter que le 10H2DA et l'acide 10-hydroxydécénoïque sont des composants spécifiques de la gelée royale.

La gelée royale sèche contient entre 6 et 18 % de lipides et la gelée royale fraîche entre 3 et 5 % de lipides. Quantitativement, ce n'est effectivement pas la classe de macronutriments la plus importante dans la gelée royale.

Le détail de la composition lipidique de la gelée royale a notamment été exploré par LI *et al.*, 2013. Ils dénombrent au minimum 93 acides gras libres, qu'ils ont classés selon leur nombre de carbones dans la chaîne principale (visibles dans l'Annexe 4). A la différence de la majeure partie des acides gras d'origine animale et végétale, les acides gras de la gelée royale ont 8 à 10 atomes de carbone, ce sont donc des acides à courte chaîne (RAMADAN et AL-GHAMDI,

2012). Ces acides gras sont souvent trouvés en quantité infime mais certains se démarquent quantitativement, dont le 10H2DA.

II.4.4.1. L'acide *trans*-10-hydroxy-2-décénoïque (10H2DA)

La partie lipidique de la gelée royale comporte un acide gras remarquable : l'acide 10-hydroxy-2E-décénoïque. Provenant des glandes mandibulaires des ouvrières et de celles-ci exclusivement, il n'est pas retrouvé dans les sécrétions mandibulaires de la reine. Cet acide est spécifique de la gelée royale. Le 10H2DA est un acide gras monoinsaturé à 10 atomes de carbone (Figure 13). Il possède une fonction acide carboxylique et une insaturation *trans* sur la liaison entre les carbones 2 et 3. Sa dénomination biochimique est C 10 : 1 ω -8 : composé de 10 atomes de carbones et d'une insaturation positionnée en 8 en partant de l'extrémité opposée à l'acide carboxylique. Par ailleurs, il possède à son extrémité un alcool primaire.

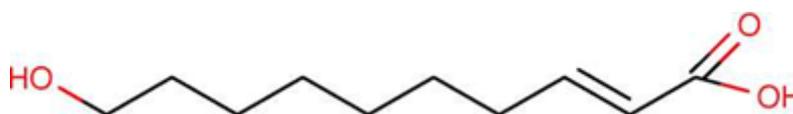


Figure 13 : Structure chimique du 10H2DA d'après (RAMADAN et AL-GHAMDI, 2012)

La quantité de 10H2DA présente dans la gelée royale est étudiée depuis près de 50 ans. Les études les plus anciennes évoquent une quantité de 10H2DA de 3 % à 7 %. SERRA BONVEHI et ESCOLA JORDA, (1991) dosent le 10H2DA par CPG et obtiennent 1,44 %. BLOODWORTH *et al.*, (1995) annoncent des quantités de près de 2 % à plus de 4 % par analyse sur chromatographie liquide. Ces études ne précisent pas la nature de la gelée royale utilisée (matière fraîche ou matière sèche).

GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2003 ont quantifié le 10H2DA sur 7 échantillons de gelée royale du Brésil, à en moyenne 2,53 %. Néanmoins il ressort clairement de leurs observations que selon les échantillons la gelée royale possède différents « niveaux » de 10H2DA. Ils identifient ainsi un niveau à 1,8 % pour 3 de leurs échantillons et un niveau à 3 % pour 3 autres. Ces mêmes auteurs montrent en 2007 que la quantité de 10H2DA est liée à l'origine de la gelée royale, ainsi, d'origine chinoise, la gelée royale contiendrait moins de 10H2DA (1,98 %) que celle obtenue chez un producteur brésilien dont le taux de 10H2DA atteindrait les 3,10 - 3,39 %.

La même année, FERIOLI *et al.*, mesurent le 10H2DA par deux méthodes, la HPLC et l'électrophorèse capillaire de zone (CZE), en distinguant les échantillons italiens des échantillons hors pays européens. Là encore, la différence est marquée avec un taux de 10H2DA de 2,5 % pour la gelée royale d'origine italienne et d'environ 1,5 % pour les autres. PAMPLONA

et al., 2004 montrent au travers d'une étude sur les mélanges de miel et de gelée royale, que la gelée royale pure issue de la production d'apiculteurs brésiliens contient 4,98 % de 10H2DA.

ZHOU *et al.*, en 2007 ont fait une étude selon une méthode de dosage par HPLC. L'origine des échantillons n'est pas donnée mais leurs expérimentations se portent sur des échantillons de gelée royale fraîche et lyophilisée dont l'origine n'est pas précisée. Le 10H2DA dosé dans la gelée royale fraîche atteint 1,61 % et 4,91 % dans les échantillons lyophilisés. L'étude étant réalisée par des chercheurs de nationalité chinoise, leurs résultats semblent concordants avec les dosages précédemment réalisés sur des échantillons de gelée royale d'origine chinoise.

JOONYEONG *et al.*, 2010 ont mené leurs études par HPLC sur des échantillons obtenus chez des producteurs américains, ils trouvent une quantité de 10H2DA comprise entre 1,85 % et 2,18 %.

On peut donc raisonnablement considérer que la teneur en 10H2DA de la gelée royale est autour de 2-3 %.

II.4.5. Les vitamines

De nombreuses vitamines sont présentes dans la gelée royale. Leur variété est grande mais leur quantité reste infime. Avant de détailler la composition vitaminique de la gelée royale, le Tableau 6 retrace les apports journaliers recommandés (AJR) en vitamines. Les AJR sont des indications sur les apports quotidiens nécessaires pour un adulte moyen.

Tableau 6 : Apports journaliers recommandés (AJR) en vitamines

| VITAMINES | APPORTS JOURNALIERS recommandés (AJR) |
|---|---------------------------------------|
| Vitamine A (µg) | 800 |
| Vitamine D (µg) | 5 |
| Vitamine E (mg) | 12 |
| Vitamine K (µg) | 75 |
| Vitamine C (mg) | 80 |
| Vitamine B1 ou Thiamine (mg) | 1,1 |
| Vitamine B2 ou Riboflavine (mg) | 1,4 |
| Vitamine B3 ou Niacine (mg) | 16 |
| Vitamine B5 ou Acide pantothenique (mg) | 6 |
| Vitamine B6 ou Pyridoxine (mg) | 1,4 |
| Vitamine B8 ou Biotine (µg) | 50 |
| Vitamine B9 ou Acide folique (µg) | 200 |
| Vitamine B12 (µg) | 2,5 |

Les AJR ne prennent pas en compte les différences interindividuelles (sexe, âge, situation physiologique,...). Ces différences sont prises en compte par les apports nutritionnels conseillés (ANC), qui dresse des groupes aux besoins homogènes selon leur âge, leur sexe, leur situation physiologique (grossesse, allaitement).

Les vitamines du groupe B, indispensables à de nombreuses réactions métaboliques de l'organisme, sont les plus représentées dans la gelée royale. Le Tableau 7 suivant donne quelques exemples de l'implication des vitamines dans le métabolisme ainsi que les conséquences engendrées par une carence.

Tableau 7 : Les vitamines B, leurs rôles et les conséquences de leur carence (LE MOËL *et al.*, 1998, BOGDANOV, 2004)

| Vitamines | Rôles métaboliques | Conséquences de la carence |
|-----------|---|---|
| B1 | - Coenzyme de la voie des pentoses (métabolisme des glucides) | - Atteinte du système nerveux : neuropathies périphériques - Atteinte du système cardiovasculaire : béri-béri (vasodilatation périphérique, insuffisance cardiaque, oedèmes) |
| B2 | - Coenzyme des métabolismes lipidique (β -oxydation des acides gras), protéique (catabolisme des acides aminés) et glucidique - Coenzyme du cycle de Krebs et de la chaîne respiratoire | - Atteinte cutanéomuqueuse : dermatite séborrhéique du visage, lésions des muqueuses - Atteinte oculaire : larmoiements, photophobie, cataracte |
| B3 | - Coenzyme des métabolismes lipidique (lipolyse), protéique et glucidique (glycolyse, voie des pentoses phosphate) - Coenzyme du cycle de Krebs | - Asthénie, anorexie, vertiges, céphalées, dépression jusqu'à la pellagre (érythèmes douloureux, gastrite, stomatite, entérocolite, atteinte neuropsychique) |
| B5 | - Coenzyme des métabolismes lipidique, protéique, glucidique | - Asthénie, faiblesse musculaire, irritabilité Parfois troubles digestifs, neurologiques, cardiovasculaires, infectieux et troubles de la croissance |
| B6 | - Coenzyme du métabolisme des acides aminés | - Anémie, lésions cutanées, vomissements, nausées, convulsions |
| B8 | - Coenzyme des métabolismes des acides aminés, glucidique et lipidique | - Acidose métabolique, troubles de la conscience, digestifs, neurologiques, cutanés - Alopecie, dermatite séborrhéique |
| B9 | - Coenzyme du métabolisme des acides nucléiques et des acides aminés | - Atteinte neurologique - Anémie macrocytaire |

II.4.5.1. La vitamine B1 ou thiamine

La vitamine B1 a fait l'objet de dosage dans la gelée royale. Des études, anciennes et assez peu concordantes sont répertoriées dans l'Annexe 5. Par ailleurs les unités employées ne sont

pas identiques selon les études, ce qui rend leurs concordances d'autant plus difficiles à déterminer. En se basant sur l'étude la plus récente, un rapport du Manuel Suisse des Denrées Alimentaires de 2004 (AFNOR, 2014), la gelée royale fraîche en contiendrait entre 1 et 17 ng/g. Ainsi une prise quotidienne de 1 g de gelée royale apporterait environ 0,09 à 1,55 % des apports journaliers recommandés.

II.4.5.2. La vitamine B2 ou riboflavine

Les études dosant la vitamine B2 sont assez concordantes (Annexe 6) : la gelée royale sèche aurait une teneur de 26 à 28 µg/g alors que la gelée royale fraîche en contiendrait de 5 à 25 ng/g. Ainsi pour une prise quotidienne d'1 g de gelée royale fraîche, l'apport serait de 0,35 à 1,79 % des apports journaliers recommandés.

II.4.5.3. La vitamine B3 ou vitamine PP ou niacine

La teneur en vitamine B3 de la gelée royale est de 45 à 190 µg/g dans la gelée royale (Annexe 7), en s'appuyant sur les données de l'étude du MSDA. Ainsi pour une prise quotidienne d'1 g de gelée royale fraîche, l'apport serait de 0,28 à 1,19 % des apports journaliers recommandés.

II.4.5.4. La vitamine B5 ou acide pantothénique

Les études effectuées sur la teneur en vitamine B5 de la gelée royale, retracées dans l'Annexe 8, montrent clairement que cette vitamine est quantitativement plus représentée que les autres. La teneur en vitamine B5 est de 300 à 700 µg/g sur matière sèche et de 36 à 230 µg/g sur matière fraîche. Ainsi dans 1 g de gelée royale fraîche, on trouve environ 0,60 à 3,83 % de l'apport journalier recommandé.

En 1959, BUTENANDT *in* (CHAUVIN, 1968) suppose que les vitamines et en particulier la forte teneur en acide pantothénique de la gelée royale soient responsables de la différence morphologique entre ouvrières et reine. Il y aurait également une différence de concentration en acide pantothénique entre la gelée royale destinée aux larves de reine et celle des larves d'ouvrières. Par ailleurs la longévité de la reine serait également liée à la quantité d'acide pantothénique absorbé par la reine.

II.4.5.5. La vitamine B6 ou pyridoxine

La teneur en vitamine B6 de la gelée royale a fait l'objet de quelques études retracées dans l'Annexe 9. En se basant sur l'étude la plus récente du MSDA, on peut dire que la vitamine B6 est présente dans la gelée royale à hauteur de 2 à 55 ng/g. Ainsi pour une prise quotidienne d'1 g de gelée royale fraîche, l'apport serait de 0,14 à 3,93 % des apports journaliers recommandés.

II.4.5.6. La vitamine B8 ou biotine

Les résultats de quelques études menées sur la gelée royale afin de déterminer son taux de vitamine B8 sont présentés dans l'Annexe 10. La quantité de vitamine B8 de la gelée royale se situe entre 1,5 et 5 µg/g sur la matière fraîche et autour de 5 µg/g sur la matière sèche. Ainsi pour une prise quotidienne d'1 g de gelée royale fraîche, l'apport serait de 3 à 10 % des apports journaliers recommandés

II.4.5.7. La vitamine B9 ou l'acide folique

Quelques études ont dosé la teneur en vitamine B9 de la gelée royale (Annexe 11). La vitamine B9 est quantitativement peu importante dans la gelée royale avec des taux de 0,20 µg/g sur matière fraîche à 0,5 µg/g sur matière sèche. Ainsi pour une prise quotidienne d'1 g de gelée royale fraîche, l'apport serait de 0,05 à 0,30 % des apports journaliers recommandés

II.4.5.8. Autres vitamines

La vitamine E n'a pas été retrouvée dans la gelée royale alors même qu'elle est présente dans le pollen distribué aux larves d'ouvrières en relais de la gelée royale (KRELL, 1996). Les autres vitamines liposolubles, A, D, K sont également absentes. Par ailleurs, des traces de vitamine C peuvent être trouvées.

II.4.5.9. Bilan vitaminique

La gelée royale comporte donc un large échantillon de vitamines hydrosolubles du groupe B. Cependant leur concentration reste tout de même limitée pour en déduire que les effets de la gelée royale sont uniquement liés à un apport vitaminique. La gelée royale peut contribuer à apporter à l'organisme des vitamines dans le cadre d'un apport alimentaire préalable suffisant.

II.4.6. Les minéraux

Les minéraux présents dans la gelée royale représentent environ 0,8 à 3 % de celle-ci (40). Les éléments majoritairement retrouvés sont par ordre décroissant le potassium, le calcium, le sodium, le magnésium, le zinc, le fer, le cuivre et le manganèse. L'étude ne donne cependant pas d'indication quantitative sur chaque élément. Les auteurs évoquent des variations quantitatives en fonction de l'environnement de la ruche et de facteurs biologiques liés aux abeilles elles-mêmes.

GARCIA-AMOEDO et ALMEIDA-MURADIAN, 2007 ont tenté de voir si l'origine de la gelée royale influençait la quantité totale de minéraux présents dans la gelée royale. Les résultats présentés dans le Tableau 8, montrent que l'origine n'a pas d'impact sur la quantité totale de minéraux dans la gelée royale.

Tableau 8 : Quantité de minéraux dans la gelée royale

| Référence | Méthode | n | Nombre d'échantillons (origine) | m / Coefficient de variation |
|---|--|---|---------------------------------|------------------------------|
| GARCIA-AMOEDO-ATMEIDA-MURADIAN, 2007 | Analyse gravimétrique après dessiccation à l'étuve à 550°C | 3 | 4 (Commerce) | 1,07 % |
| | | | 2 (Producteur Direct) | 1,04 % |
| | | | 1 (Chine) | 1,06 % |
| | | | Moyenne | 1,06 % / 0,08 |

II.4.7. Autres

Par ailleurs, on peut trouver certains débris dans la gelée royale tels que des fragments de larves ou encore de la cire. Dépendant du mode de récolte et de l'opérateur, ces composants sont également un gage d'authenticité (KRELL, 1996).

II.4.8. Bilan de la composition de la gelée royale

Les études de la composition de la gelée royale permettent alors de dresser, à partir des références bibliographiques citées précédemment, un bilan des différents constituants de celle-ci. (Tableau 9):

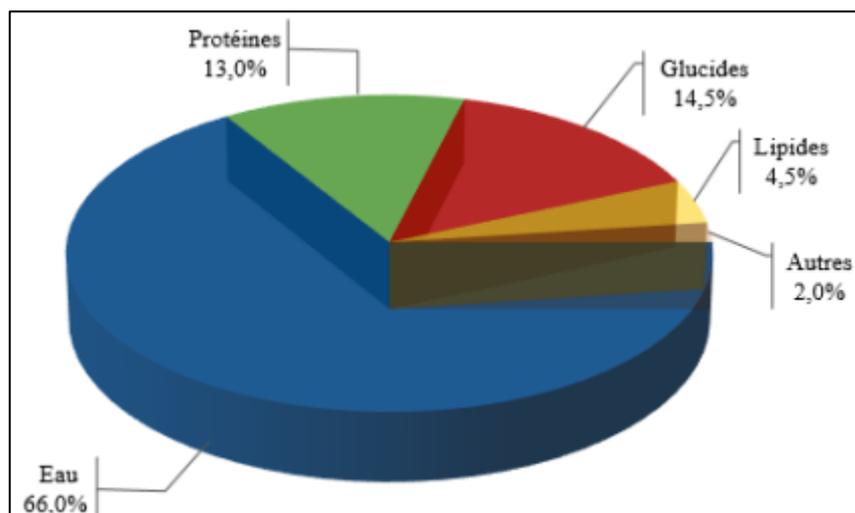


Figure 14: Composition de la gelée royale (BRUNEAU, 2011).

Tableau 9 : Composition de la gelée royale

| Composition | Quantité (en pourcentage de GR fraîche) | Quantité (en pourcentage de GR lyophilisée) |
|------------------|---|---|
| Eau | 50 - 67 % | < 5 % |
| Glucides | 10 - 20 % dont : Fructose : 2,3 - 7,8 % Glucose : 3,4 - 7,7 % Sucrose : < 1,7 % Erllose : < 0,3 % Maltose : < 1,4 % Trehalose, melibiose, ribose, gentiobiose, isomaltose, raffinose, melezitose : traces | 15 - 50 % |
| Protides | 11 - 15 % dont : MRJP 1 : 48 % MRIP 2 à 5 : 34 % AAL : 2,3 % dont (en mg/g de gelée royale): proline : 2,4 - 5,4 lysine : 0,6 - 2,2 glutamate : 0,5 - 0,9 P-alanine : 0,3 - 0,5 phénylalanine : 0,2 - 0,6 aspartate : 0,2 - 0,5 sérine : 0,1 - 0,3 autres AAL : traces Royalisine Jelleines | 33 - 45 % |
| Lipides | 3 - 5 % dont : Acides gras libres (80 - 90 %) dont : - Acide 10-hydroxy-2-décénoïque (10H2DA) : 32 % - Acide gluconique : 24 % - Acide 10-hydroxydécénoïque : 22 % - Acides dicarboxyliques et autres : 5 % Stérols : 4 - 10 % Cires : 5 - 6 % Phospholipides : 0,4 - 0,8 % Stéroïdes : 3 - 4 % | 6 - 15 % |
| Vitamines | En Hg/g GR fraîche : B1 : 1 - 17; B2 : 5 - 25; B3 : 45 - 190 ; B5 : 36 - 230 B6 : 2 - 55; B8 : 1,5 - 5,0; B9 : 0,1 - 0,6; C : traces | |
| Minéraux | 0.8 - 3% dont : Potassium. Calcium. Sodium, Magnésium, Zinc, Fer, Cuivre, Manganèse | 2 - 3 % |

La gelée royale est en quelque sorte du pollen digéré, sa composition est donc proche de celle du pollen (Figure 14) (BRUNEAU, 2011).

II.5. Conservation et qualité de la gelée royale

La qualité de la gelée royale est évaluée par sa teneur en protéines et acides aminés (MARTINI et SEILLER, 2006 ; BOSELLI *et al.*, 2003). La conservation de celle-ci a ainsi pu être étudiée (BOSELLI *et al.*, 2003), en dosant par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, la quantité d'acides aminés libres (AAL) et leur variation au cours du temps selon les conditions de stockage. Cette étude a montré que les conditions de stockage optimales pour limiter la dégradation des AAL se font à 4°C. En effet, à cette température la teneur des AAL n'a pas varié durant 10 mois contrairement à la conservation à température ambiante : la proline et la lysine ont dans un premier temps légèrement augmenté avant de décroître à partir du troisième mois. Les AAL seraient impliqués dans des réactions de dégradation comme la réaction de Maillard. Le taux de furosine, produit de la réaction de Maillard, dépend de la température de stockage et du temps. Ainsi de 0 à 10 mg/100g de protéines obtenues dans la gelée royale fraîche, la furosine peut augmenter jusqu'à 50 mg/100g après 18 mois à 4°C et jusqu'à 500 mg/ 100g après 18 mois à température ambiante (MESSIA *et al.*, 2005,40).

La composition de la gelée royale semble la protéger des contaminations bactériennes. Des mesures hygiéniques doivent tout de même être prises lors de la récolte, du conditionnement et du stockage. Le conditionnement se fera de préférence dans des flacons de verre teinté, protégeant le contenu de la lumière. Par ailleurs, l'utilisation de couvercle en métal est évitée en raison de son altération due à l'acidité de la gelée royale (GPGR, 2012).

Il n'y a actuellement pas de normes AFNOR concernant la gelée royale. Cependant, la commission de normalisation AFNOR, travaille en vue de l'élaboration de celles-ci. L'objectif est d'instituer des spécifications et des méthodes d'analyse dans le cadre de la production et de la commercialisation de la gelée royale (ANTINELLI *et al.*, 2003). L'aboutissement des travaux de cette commission est prévu pour avril 2016.

La composition en sucres et en 10H2DA sont des critères primordiaux afin de qualifier une gelée royale. En pratique, l'eau et les protéines, en proportion trop variable d'une production à une autre ne peuvent être utilisées. La détermination des sucres est utilisée pour déterminer l'authenticité de la gelée royale. En effet, leur diversité dans la gelée royale est synonyme de pureté. On trouve le fructose et le glucose principalement mais les meilleurs marqueurs d'adultération sont les sucres présents en petite quantité, les plus susceptibles de disparaître en cas de mélange de la gelée royale. Parmi ceux-ci, on trouve le galactose, le mannitol, le maltose,

le maltulose, le turanose, le tréhalose, le palatinose, l'isomaltose, le gentiobiose, l'erlose et le maltotriose (DANIELE et CASABIANCA, 2012). Néanmoins, le meilleur marqueur d'authenticité est le 10H2DA, même si ce dernier n'est pas un marqueur de fraîcheur selon ANTINELLI *et al.*. En effet, ils ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les quantités de 10H2DA des gelées royales stockées à -18°C, 4°C et à température ambiante. Le taux de 10H2DA ne permet donc pas de connaître les conditions et la durée de stockage de la gelée royale. On peut mettre en corrélation ces observations et la structure du 10H2DA (Figure 14). Possédant une seule insaturation, il est effectivement peu sensible à l'oxydation.

II.6. Propriétés de la gelée royale

II.6.1. Propriétés antioxydantes

Grâce à sa richesse en produits antioxydants, la gelée royale aiderait à retarder les effets du vieillissement cutané. Elle contient des oligoéléments et des vitamines qui, comme nous l'avons vu pour le miel, jouent un rôle protecteur vis-à-vis des radicaux libres. En plus de la vitamine C, la gelée royale contient de la vitamine E à l'état de trace qui possède des propriétés anti-radicalaires et anti-inflammatoires, expliquant son action protectrice contre les effets nocifs du soleil (MARTINI et SEILLER, 2006).

II.6.2. Propriétés antitumorales

Le potentiel antitumoral de la gelée royale a également fait l'objet de recherches. ORSOLIC *et al.*, 2003 ont étudié les effets des produits de la ruche sur des cellules de tumeurs de murins de type carcinome mammaire et carcinome du colon. Ces cellules sont injectées en intraveineux sur des souris saines. Les auteurs affirment que la gelée royale, administrée en même temps que les cellules tumorales, n'a pas d'effet en intra-péritonéal ni en sous-cutané sur la formation des métastases. Cependant, administrée en intraveineux juste avant l'injection des cellules tumorales, la gelée royale exerce un effet suppresseur de la formation des métastases dans les poumons. Les auteurs supposent que le 10H2DA soit impliqué dans cet effet inhibiteur de la formation des métastases.

BINCOLETTO *et al.*, 2005 ont testé la gelée royale sur des souris atteintes de sarcome ascitique d'Ehrlich. Ces cellules de sarcome se développent rapidement en induisant des troubles hématopoïétiques et immunitaires. Il se produit des tumeurs ascitiques ou solides qui finissent par tuer son hôte. Cette tumeur altère la réponse inflammatoire et ses cellules effectrices de l'organisme, lui permettant ainsi de se développer plus facilement. Ils ont ainsi étudié l'impact de la gelée royale de façon prophylactique et thérapeutique sur le sarcome

ascitique d'Ehrlich. Ce dernier a un effet suppresseur sur les cellules souches de la moelle osseuse, ainsi on observe une diminution des GM-CFU (*Granulocyte-macrophage colony forming unit*) dans la moelle osseuse et dans la rate. Les effets de la gelée royale à doses différentes (0,5 g/kg/j, 1,0 g/kg/j, 1,5 g/kg/j) permettent la récupération de la myélosuppression sans être dose-dépendante. Vingt-trois jours de traitement par la gelée royale ne permettent pas de récupérer le pool cellulaire de GM-CFU de moelle osseuse 3 jours après l'inoculation de la tumeur. Cependant après 28 et 33 jours de traitement par la gelée royale, le nombre de GM-CFU est quasi- similaire à celui observé sur le contrôle.

Dans cette même étude, les auteurs montrent que la gelée royale prolonge la durée de vie des souris atteintes par cette affection. Ainsi, après 33 jours de traitement par la gelée royale, la durée de vie des souris est allongée de 38, 71 et 85 % pour des doses journalières de 500 mg/kg, 1000 mg/kg et 1500 mg/kg respectivement.

Cette étude montre que la gelée royale n'impacte pas le nombre de GM-CFU de la moelle osseuse chez la souris saine mais à forte dose chez la souris atteinte par le sarcome ascitique de Ehrlich, elle permet d'abroger les troubles hématopoiétiques. Elle permet aussi de prolonger la durée de vie des souris malades. Les auteurs supposent que la gelée royale, grâce à son potentiel immunomodulateur, exerce une action sur les macrophages envers les cellules tumorales.

Par ailleurs, NAKAYA *et al.*, 2007 ont étudié l'effet de la gelée royale sur la prolifération des cellules cancéreuses du sein (MCF-7) induite par le bisphénol-A. Ce dernier, courant dans l'industrie du plastique, a fait l'objet d'études quant à ses risques sur la santé en lien notamment avec sa structure œstrogénique. Il serait impliqué dans des pathologies féminines. Son utilisation dans la fabrication de biberons a été interdite en janvier 2011 par la Commission européenne. En effet, la structure œstrogénique du bisphénol-A entraîne la prolifération des cellules du cancer du sein. D'autres études, citées précédemment, montrent que la gelée royale peut avoir des effets œstrogéniques, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Ils montrent clairement que la gelée royale inhibe le développement cellulaire des MCF-7 induit par le bisphénol-A.

La gelée royale inhiberait donc la prolifération cellulaire des MCF-7 induite par les œstrogènes. Les auteurs ne décrivent pas le mécanisme d'action mais citent le 10H2DA comme effecteur potentiel de cet effet.

II.6.3. Propriétés antibactériennes

II.6.3.1. Le 10H2DA

Des études ont montré que la gelée royale possède une activité antibactérienne. En effet, elle inhibe certaines bactéries gram positif et gram négatif. Cette activité est due en majorité à la présence d'un acide gras, l'acide trans-10-hydroxy-2-décénoïque, qui est actif sur différentes bactéries : *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* (BARNUTIU *et al.*, 2011).

II.6.3.2. Les protides

Des protéines et des peptides jouent également un rôle important dans le pouvoir antibactérien de la gelée royale. Il s'agit des protéines majeures de la gelée royale ou MRJP (www.bee-hexagon.net), ainsi que de trois types de peptides : une défensine (la royalisine), les jelleines (jelleine I, II, III, IV), et l'apisimine. Ce dernier peptide ne possède pas d'activité antimicrobienne mais forme un complexe avec l'apalbumine (MRJP1) et serait impliqué dans l'activation de mécanismes cellulaires (FONTANA *et al.*, 2004). La royalisine inhibe les bactéries à gram positif tel que *Bacillus subtilis*. Elle est aussi active sur *Escherichia coli*, comme l'apalbumine (BARNUTIU *et al.*, 2011).

II.6.4. Propriétés anti-inflammatoires et immunomodulatrices

D'après une étude japonaise publiée en 2004, la gelée royale semblerait inhiber la production de cytokines pro-inflammatoires par les macrophages activés (KOHNO *et al.*, 2004).

II.6.5. Modulation de l'immunité acquise

La gelée royale a également une action sur l'immunité acquise. Elle aurait une influence sur la production d'anticorps.

SVER *et al.*, 1996 ont prouvé que la gelée royale stimule la production d'anticorps et le développement de cellules immunocompétentes chez des souris immunisées par des hématies de mouton. En contradiction, ils ont affirmé que la gelée royale avait des effets immunosuppresseurs sur la production d'anticorps modulée par les Lymphocytes T (LT) chez le rat. En conclusion, ils ne peuvent qu'affirmer que la gelée royale a un impact sur le système immunitaire sans qualifier cet effet.

Plusieurs études rapportent un effet antiallergique de la gelée royale. OKA *et al.*, 2001 ont administré par voie orale 1g / kg de gelée royale à des souris immunisées par DNP- KLH (*dinitrophenylated keyhole limpet hemocyanin*). La gelée royale a supprimé la production d'IgE

spécifique de l'antigène et le relargage d'histamine des mastocytes tout en restaurant la fonction des macrophages et en augmentant la réponse des LT.

TANIGUCHI *et al.*, 2003 ont montré que la gelée royale par voie orale limite le développement des lésions de dermatite atopique chez la souris. Les lésions de type hypertrophie, hyperkératose en lien avec la réaction inflammatoire et allergique typique de cette affection sont nettement diminuées.

OKAMOTO *et al.*, 2003 ont étudié le potentiel immunomodulateur de la gelée royale, notamment dans la réaction allergique. L'allergie se manifeste physiologiquement par la sécrétion d'interleukine-4 (IL-4) par les lymphocytes Th2. L'IL-4 est un co-stimulateur de la prolifération des lymphocytes B et engendre une augmentation de la sécrétion des immunoglobulines E (IgE) par les plasmocytes (MARIEB et LACHAINE, 2005). Okamoto *et al.* montrent que la MRJP 3 est responsable de l'effet suppressif de la sécrétion d'IL-4. Par ailleurs, ils ont testé l'action *in vitro* de la MRJP 3 sur d'autres cytokines.

La MRJP3 diminue la production de cytokines pro-inflammatoires sans pour autant diminuer la viabilité cellulaire des lymphocytes CD4+. *in vivo*, leurs observations sont totalement différentes : l'injection de MRJP3 en intrapéritonéal chez la souris a provoqué la production d'anticorps IgG anti-MRJP3 même si cette protéine a aussi réduit la production d'anticorps contre d'autres allergènes testés.

Des composants de la gelée royale comme les acides gras auraient une activité immunomodulatrice. VUCEVIC *et al.*, 2007 ont testé deux acides gras isolés de la gelée royale : le 10H2DA et l'acide 3,10-dihydroxydécénoïque (3,10-DDA). Ils montrent *in vitro* que ces deux acides inhibent la production d'IL-2 par les LT activés. Cette IL-2 a notamment pour fonction d'activer les LT. Seul le 10H2DA inhibe la présence à la surface des LT des récepteurs aux IL-2. De plus, le 10H2DA inhibe la maturation des cellules dendritiques, cellules présentatrices d'antigène, entraînant une moindre stimulation des LT. La gelée royale a donc un potentiel immunomodulateur en agissant sur la production et les récepteurs de l'IL-2 mais également sur la maturation des cellules dendritiques.

II.6.6. Autres Propriétés

Depuis des milliers d'années, le miel est utilisé au niveau cutané pour de nombreuses autres propriétés : adoucissantes, détoxifiantes, hydratantes (dus au pouvoir hygroscopique du miel), émollientes, humectantes, rafraichissantes, anti-irritantes, nourrissantes, tonifiantes, énergisantes, légèrement astringentes et éclaircissantes.

La gelée royale serait susceptible, par ailleurs, de supprimer les pigmentations des peaux séniles. Elle aurait en outre une action sur la séborrhée et sur l'acné, grâce à sa richesse en vitamines du groupe B, notamment la riboflavine ou vitamine B2, la pyridoxine ou vitamine B6, et la biotine ou vitamine B8, mais aussi grâce à la présence de zinc et de soufre (MARTINI et SEILLER, 2006).

Pour finir, il est important de noter que les propriétés du miel et de la gelée royale sont le résultat d'une grande cohésion entre les différentes substances qui les composent. Il existe une véritable synergie d'action entre les différents composants, c'est-à-dire que l'activité thérapeutique des constituants actifs, lorsqu'ils sont associés, est supérieure à la somme des activités thérapeutiques des constituants pris individuellement. En cela, il est impossible d'entreprendre une synthèse artificielle des produits naturels comme le miel et la gelée royale (CHERBULIEZ et DOMEREGO, 2003).

Conclusion

Conclusion

Les abeilles passionnent et intriguent de puis des siècles. Les mystères de leur mode de vie ont été « en partie » percées, seulement partiellement, car la vérité d'aujourd'hui sera-t-elle toujours de mise demain ? La science progresse et remet perpétuellement en question les qqcis actuels.

Cependant, même si la gelée royale a déjà fait l'objet de diverses études ayant mis en évidence leurs propriétés, de nombreuses interrogations subsistent encore concernant leur composition et l'action de certains composants, notamment une question persiste : quand sera-t-il dévoilé les secrets de la gelée royale de notre précieuse abeille saharienne ?

En s'intéressant à la gelée royale, on peut qu'admettre que ce produit, si précieux, ne peut être synthétisé artificiellement par l'Homme. Seule l'abeille, véritable alchimiste de la nature, est capable de le produire. C'est pourquoi, il est impératif de préserver la survie de cet insecte. Sans notre aide, cette espèce ne pourrait en effet pas survivre face à la menace des pesticides, des parasites, virus et prédateurs, ou du changement climatique.

L'apiculture en Algérie ne mérite pas encore l'épithète filière. En outre, la gelée royale est loin d'être un centre d'intérêt pour les apiculteurs algériens, c'est pourquoi nous recommandons ce qui suit :

- Une coopération entre les agriculteurs et les apiculteurs, ces derniers doivent se mobiliser et s'organiser en unissant les associations dispersées çà et là pour créer des coopératives et pourquoi pas un office national des produits apicoles.
- Privilégier les races algériennes comme l'abeille saharienne.
- Mener l'activité apicole vers une étape industrielle en favorisant la coopération entre les apiculteurs et les firmes pharmaceutiques et cosmétiques, pour ce faire il faut savoir séduire ces derniers avec les propriétés miraculeuses de la gelée royale.
- Promouvoir l'acquisition du savoir-faire des techniques de productions et de récolte de la gelée royale. pour ce faire il faut s'inspirer des chinois, le premier producteur mondial, en invitant des experts et intégrer ce métier dans nos centres de formation.
- Des projets de recherche doivent se focaliser sur la gelée royale de nos races endémiques afin de valoriser cette espèce et optimiser l'extraction des produits de la ruche.

En s'inspirant de la dévotion de cette espèce au travail et des miraculeuses propriétés de la gelée royale, il suffit juste de jeter au grand public ces informations fascinantes pour le voir son accueil chaleureux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. ABBOTT CN, DIECK H, STUTTERD S, DZIERZON J. (1882). Dzierzon's rational bee-keeping or, The theory and practice of Dr. Dzierzon of Carlsmarkt. London: Houlston & sons; xvi, 350 p.
2. AFNOR. (2014). Produits de l'apiculture - Gelée royale - Spécifications : AFNOR/V36A [Internet].[cited].Available from:http://www2.afnor.org/espace_normalisation/structure.aspx?commid=75569
3. ANTINELLI J-F, ZEGGANE S, DAVICO R, ROGNONE C, FAUCON J-P, LIZZANI L. (2003). Evaluation of (E)-10- hydroxydec-2-enoic acid as a freshness parameter for royal jelly. Food Chem. ;80(1):85-9.
4. ARISTOTE, BERTIER J. (1994). Histoire des animaux. Paris: Gallimard; 587 p.
5. BACHER R. (2008). Les abeilles, le miel et l'apiculture, Edition Terre vivante p. 138,8.
6. BARBIERI N. (2006). English: Bee swarm on a bicycleDeutsch: Bienenschwarm auf einem FahrradFrançais : Essaim d'abeilles sur une bicycletteItaliano: Sciame d'api su una bicicletta [Internet]. 2006 [cited 2014 Sep 29]. Available from: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_Bee_swarm_on_a_bicycle_f1-53_-_.jpg
7. BARNUTIU L.I., MARGHITAS L. Al., DEZMIREAN D.S. (*et al.*) (2011). Antimicrobial compounds of royal jelly. Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies, vol. 68, n° 1-2, p. 85-90.
8. BELLMANN H (1999). Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe : l'identification, le comportement, l'habitat. Lausanne : Delachaux et Niestlé, - 336p.
9. BERG JM, GATTO GJ, DARMON M. (2013). Biochimie. Paris: Médecine sciences publications-Lavoisier; 1054 p.
10. BERTHET J, AMAR-COSTESECC A, DUVE CD. (2006) . Dictionnaire de biologie. Bruxelles: De Boeck; 1034 p.
11. BELDJOUDI S., BENALDJIA M. (2006). Situation de l'apiculture en Algérie (Enquête sur le profil de l'apiculteur). Thèse de Docteur vétérinaire. ENSV - Alger I, pp. 86.
12. BINCOLETTO C, EBERLIN S, FIGUEIREDO CAV, LUENGO MB, QUEIROZ MLS. (2005). Effects produced by Royal Jelly on haematopoiesis: relation with host resistance against Ehrlich ascites tumour challenge. Int Immunopharmacol. (4):679-88.
13. BIRI M. (2010). Tout savoir sur les abeilles et l'apiculture. Edition De Vecchi, Paris, 13-101.
14. BLOODWORTH BC, HARN CS, HOCK CT, BOON YO. (1995). Liquid chromatographic determination of trans-10-hydroxy-2-decenoic acid content of commercial products containing royal jelly. J AOAC Int. 78(4): 1019-23.

15. BOGDANOV S. (2004). Produits apicoles, Gelée royale (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires] [Internet]. OSAV
16. BOGDANOV S. (2011) Royal jelly, bee brood: composition, health, medicine: a review. *Lipids*. 3, 8–19.
17. BOGDANOVSKY D.(1963). Sur quelques composés de la gelée royale et des larves de reines d'abeilles. *Ann Abeille.*;6(1):5-33.
18. BOSELLI E, CABONI MF, SABATINI AG, MARCAZZAN GL, LERCKER G. (2003). Determination and changes of free amino acids *in* royal jelly during storage. *Apidologie*. (2):129-37.
19. BROCKMANN A, DIETZ D, SPAETHE J, TAUTZ J.(2006). Beyond 9-ODA: sex pheromone communication in the European honey bee *Apis mellifera* L. *J Chem Ecol*. 32(3):657-67.
20. BRUNEAU E. (2011) Chapitre IX : Les produits de la ruche. In: Clément *et al.*, *Le traité rustica de l'apiculture*. Éditions Rustica, Paris, p. 354-387.
21. CAMPBELL N.A.(1995). *Biologie – Adaptation et révision scientifique* de Richard Mathieu. Edition DeBoeck Université, Bruxelles, Belgique : 598-634 ; 982- 999
22. CAMPOS MGR, BOGDANOV S, DE ALMEIDA-MURADIAN LB, SZCZESNA T, MANCEBO Y, FRIGERIO C, *ET AL.* (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *J Apic Res*. 1;47(2):154-61.
23. CHAUVIN R, EDITOR. (1968). *Traité de biologie de l'abeille*. Paris: Masson et Cie;152 p.
24. CHAUVIN R, EDITOR.(1968) . *Traité de biologie de l'abeille: en cinq tomes: I. biologie et physiologie générales, II. Système nerveux, comportement et régulations sociales, III. Les Produits de la ruche, IV. Biologie appliquée, V. Histoire, ethnographie et folklore*. Paris: Masson.
25. CHERBULIEZ Th., DOMEREGO R. (2003). *L'apithérapie Médecine des abeilles*. Bruxelles : Amyris. 255p.
26. DANIELE G, CASABIANCA H. (20012). Sugar composition of French royal jelly for comparison with commercial and artificial sugar samples. *Food Chem.* ;134(2):1025-9.
27. DUPONT F, PELT J-M, GUIGNARD J-L. (2007). *Botanique : systématique moléculaire*. 14e édition. Paris: Masson; 285 p.
28. FERIOLI F, MARCAZZAN GL, CABONI MF. (2007). Determination of (E)-10-hydroxy-2-decenoic acid content in pure royal jelly: a comparison between a new CZE method and HPLC. *J Sep Sci*. 30 (7) :1061-9.
29. FERT G, CLEMENT H. (2007). *L'élevage des reines*. Paris: Editions Rustica; 128 p.

30. FONTANA R, MENDES MA, SOUZA BM DE, KONNO K, CESAR LMM, MALASPINA O, *ET AL.* (2004). Jelleines: a family of antimicrobial peptides from the Royal Jelly of honeybees (*Apis mellifera*). *Peptides*. ;25(6):919-28.
31. FONTANA R., MENDES M. A., MONSON De SOUZA B. (*et al.*). , 2004. Jelleines : a family of antimicrobial peptides from the Royal Jelly of honeybees (*Apis mellifera*). *Peptides*, vol. 25, n° 6, p. 919-928.
32. FRANCEAGRIMER. (2014). Audit économique de la filière apicole française [Internet].]. Available http://www.itsap.asso.fr/downloads/audit_de_la_fililiere_apicole_2012.pdf
33. FRATINI F., CILIA G., MANCINI S., FELICOLI A. (2016). Royal Jelly: An ancient remedy with remarkable antibacterial properties. *Microbiological Research*, S0944-5013, 30083-0.
34. FRISCH K VON, DALCQ A.(2011) . Vie et moeurs des abeilles. Paris: Albin Michel; 250 p.
35. FUJIWARA S, IMAI J, FUJIWARA M, YAESHIMA T, KAWASHIMA T, KOBAYASHI K. (1990). A potent antibacterial protein in royal jelly. Purification and determination of the primary structure of royalisin. *J Biol Chem*. ;265(19):11333-7.
36. GARCIA-AMOEDO LH, ALMEIDA-MURADIAN LB DE. (2007). Physicochemical composition of pure and adulterated royal jelly. *Quim Nova*. (2):257-9.
37. Gharbi M. (2011). Les produits de la ruche : Origines - Fonctions naturelles -Composition Propriétés thérapeutiques Apithérapie et perspectives d'emploi en médecine vétérinaire. Thèse de Doctorat en Médecine-pharmacie, Université Claude-Bernard - Lyon I, pp. 221.
38. GOULD J. L., GOULD C. G. (1993). La vie des Abeilles. In : Les abeilles, comportement, communication et capacités sensorielles. Paris : Pour la science, diffusion Belin. p. 27-54.
39. GPGR. (2012). Groupement des producteurs de gelée royale O pour la documentation et l'information en apiculture. Le guide technique du producteur de gelée royale. 117 p.
40. HAN B., LI C., ZHANG L., FANG Y., FENG M., LI J. (2011) Novel royal jelly proteins identified by gel-based and gel-free proteomics. *J. Agric. Food Chem*. 59, 10346-10355.
41. HARPER C, RICHARD D. (2013) .La bible de l'apiculteur: abeilles, miels et autres produits. Paris: Delachaux et Niestlé;. 412 p.
42. HOJO M, KAGAMI T, SASAKI T, NAKAMURA J, SASAKI M. (2010). Reduced expression of *major royal jelly protein 1* gene in the mushroom bodies of worker honeybees with reduced learning ability. *Apidologie*. (2):194-202.

43. HUSSEIN MH. (2001). L'apiculture en Afrique. *Apiacta.*, 1: 34-48. Disponible en ligne sur <http://www.apimondiafoundation.org/pdf>
44. JOONYEONG K, JONGSEOK L. (2010). Quantitative analysis of trans-10-hydroxy-2-decenoic acid in royal jelly products purchased in usa by high performance liquid chromatography.;54(1):77-85.
45. KATZAV-GOZANSKY T, BOULAY R, SOROKER V, HEFETZ A.(2004). Queen-signal modulation of worker pheromonal composition in honeybees. *Proc Biol Sci.* 7;271(1552):2065-9.
46. KOCHER SD, RICHARD F-J, TARPY DR, GROZINGER CM.(2009) . Queen reproductive state modulates pheromone production and queen-worker interactions in honeybees. *Behav Ecol Off J Int Soc Behav Ecol*;20(5):1007-14.
47. KOHNO K., OKAMOTO I., SANO O. [*et al.*]. (2004). Royal jelly inhibits the production of proinflammatory cytokines by activated macrophages. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 68, n° 1, p. 138-145.
48. KRELL R. (1996). Value-added Products from Beekeeping, Numéro 124. Food and Agriculture Organization; 409 p.
49. LE CONTE Y. (2004). Mieux connaître l'abeille. La vie sociale de la colonie. In : Bruneau E., Barbançon J.-M., Bonnaffé P., Clément H., Domerego R., Fert G., Le Conte Y., Ratia G., Reeb C., Vaissière B. *Le traité Rustica de l'apiculture*. Rustica éditions, Paris, 12-83.
50. LE MOËL G, SAVEROT-DAUVERGNE A, GOUSSON T, GUEANT J-L, RAOUL Y. (1998). Le statut vitaminique: physiopathologie, exploration biologique et intérêt clinique. Cachan (France): Editions médicales internationales; . 550 p.
51. LE ROBERT. (2001). *Le nouveau petit Robert: dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Rey-Debove J, Rey A, editors. Paris, France: Dictionnaire Le Robert, DL 2001; 2001. 2841 p.
52. LI X, HUANG C, XUE Y. (2013). Contribution of lipids in honeybee (*Apis mellifera*) royal jelly to health. *J Med Food.* ;16(2):96-102.
53. LUIS HENRIQUE GARCIA-AMOEDO LB DE A-M. (2003). Determination of trans-10-hydroxy-2-decenoic acid (10-HDA) in royal jelly from São Paulo State, Brazil. *Cienc E Tecnol Aliment - Cienc TECNOL ALIMENT.* .
54. MARIEB EN, LACHAINE R. (2005). *Anatomie et physiologie humaines*. Adaptation de la 6e édition américaine. Paris: Pearson éducation.1288 p.
55. MARTINI M-C, SEILLER M. (2006). *Actifs et additifs en cosmétologie*. 3e édition. Cachan:

Éditions Médicales internationales;1051 p.

56. MESSIA MC, CABONI MF, MARCONI E. (2005). Storage stability assessment of freeze-dried royal jelly by furosine determination. *J Agric Food Chem.* 1;53(11):4440-3.
57. MICKAËL B. (2010). Propriétés et usage médical des produits de la ruche. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Limoges, Faculté de Médecine et Pharmacie, pp. 119, 12-18.
58. NAKAYA M, ONDA H, SASAKI K, YUKIYOSHI A, TACHIBANA H, YAMADA K. (2007). Effect of royal jelly on bisphenol A-induced proliferation of human breast cancer cells. *Biosci Biotechnol Biochem.* ;71(1):253-5.
59. OKA H, EMORI Y, KOBAYASHI N, HAYASHI Y, NOMOTO K. (2001). Suppression of allergic reactions by royal jelly in association with the restoration of macrophage function and the improvement of Th1/Th2 cell responses. *Int Immunopharmacol.* (3):521-32.
60. OKAMOTO I, TANIGUCHI Y, KUNIKATA T, KOHNO K, IWAKI K, IKEDA M, *et al.* (2003). Major royal jelly protein 3 modulates immune responses in vitro and in vivo. *Life Sci.* 73(16]:2029-45.
61. ORSOLIC N, KNEZEVIC A, SVER L, TERZIC S, HACKENBERGER BK, BASIC I. (2003). Influence of honey bee products on transplantable murine tumours. *Vet Comp Oncol.* (4):216-26.
62. PAMPLONA LC, AZEDO RAB, OLIVEIRA KCLS, GARCIA-AMOEDO LH, ALMEIDA-MURADIAN LB DE. (2004). Physicochemical analyses indicated to the quality control of royal jelly with honey. *Food Sci Technol Camp.* ;24(4]:608-12.
63. PHAM-DALEGUE M. (1998). Abeilles Paris : Ed de la Martinière, 47p.
64. PHILIPPE J. M. (1999). Le guide de l'apiculteur, Troisième Edition EDISUD, p.1087.
65. RAMADAN MF, AL-GHAMDI A. (2012). Bioactive compounds and health-promoting properties of royal jelly: A review. *J Funct Foods.* (1):39-52.
66. RENAULT L. (2012). Les plantes mellifères. Paris: Editions Rustica; 111 p.
67. RIGAL M-L. (2012). Miel et gelée royale : utilisations thérapeutiques dans le domaine cutané et applications en cosmétologie. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Limoges, Faculté de Pharmacie, pp. 156.
68. ROMANELLI A, MOGGIO L, MONTELLA RC, CAMPIGLIA P, IANNACCONE M, CAPUANO F, *ET AL.* (2011). Peptides from Royal Jelly: studies on the antimicrobial activity of jelleins, jelleins analogs and synergy with temporins. *J Pept Sci.* 1;17(5):348-52.
69. ROSSANT A. (2011). Le miel, un composé complexe aux propriétés surprenantes. Thèse de doctorat : Pharmacie. Limoges : Université de Limoges. 132 p.

70. RUIZ M. (2001). Mature flower diagram french [Internet]. [cited 2014 Apr 27]. Available from:
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Mature flower diagram french.s
vg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Mature_flower_diagram_french.svg)
71. RUTTNER F. (1968). Les races d'abeilles. In : Traité de Biologie de l'abeille, Tome I : Biologie et physiologie générales/ ed. par Rémy CHAUVIN. Paris: Masson. p.27-44.
72. SABATINI AG, MARCAZZAN GL, CABONI MF, BOGDANOV S, ALMEIDA-MURADIAN LB. (2009). Quality and standardisation of royal jelly. J ApiProduct ApiMedical Sci. (1):1-6.
73. SALATINO A, FERNANDES-SILVA CC, RIGHI AA, SALATINO MLF. (2001). Propolis research and the chemistry of plant products. Nat Prod Rep.(5):925-36.
74. SCARSELLI R, DONADIO E, GIUFFRIDA MG, FORTUNATO D, CONTI A, BALESTRERI E, ET AL. (2005). Towardsroyal jelly proteome. PROTEOMICS. 1;5(3):769-76.
75. SERRA BONVEHI J, ESCOLA JORDA R. (1991). Studie über die mikrobiologische Qualität und bakteriostatische Aktivität des Weiselfuttersaftes (Gelée Royale) : Beeinflussung durch organische Säuren. Dtsch Lebensm-Rundsch. 87(8):256-9.
76. SESTA G, LUSCO L. (2008). Refractometric determination of water content in royal jelly. Apidologie.Mar;39(2):225-32.
77. SESTA G. (2006). Determination of sugars in royal jelly by HPLC. Apidologie.;37(1):84-90.
78. SHEN L, DING M, ZHANG L, JIN F, ZHANG W, LI D. (2010). Expression of Acc-Royalisin gene from royal jelly of Chinese honeybee in Escherichia coli and its antibacterial activity. J Agric Food Chem. 24;58(4):2266-73.
79. SIMUTH J. (2001). Some properties of the main protein of honeybee (*Apis mellifera*) royal jelly. Apidologie.;32(1):69-80.
80. SVER L, ORSOLIC N, TADIC Z, NJARI B, VALPOTIC I, BASIC I.(1996). A royal jelly as a new potential immunomodulator in rats and mice. Comp Immunol Microbiol Infect Dis. (1):31-8.
81. TANIGUCHI Y, KOHNO K, INOUE S, KOYA-MIYATA S, OKAMOTO I, ARAI N, et al. (2003). Oral administration of royal jelly inhibits the development of atopic dermatitis-like skin lesions in NC/Nga mice. Int Immunopharmacol. (9):1313-24.
82. THIVIN S, MATEESCU C. (2004) . Gelée royale mode d'emploi. Paris: R. Jauze. 175 p.
83. VIRGILE, PIGEAUD J, SAINT-DENIS E DE. (1998). Géorgiques. Paris: les Belles lettres;172 p.

84. VUCEVIC D, MELLIYOU E, VASILJIC S, GASIC S, IVANOVSKI P, CHINOUI I, *et al.* (2007). Fatty acids isolated from royal jelly modulate dendritic cell-mediated immune response in vitro. *Int Immunopharmacol.*(9):1211-20.
85. WINSTON ML. (1993) .La biologie de l'abeille. Paris, France, Belgique: Frison-Roche;. 276p.
86. ZHOU J, XUE X, LI Y, ZHANG J, ZHAO J. (2007). Optimized determination method for trans-10- hydroxy-2-decenoic acid content in royal jelly by high-performance liquid chromatography with an internal standard. *J AOAC Int.* ;90(1):244-9.

Annexes

Annexe 1: Classification d'*Apis mellifera* (d'après CAMPBELL, 1995 et LE CONTE, 2004).

| Rang de classification | Dénomination | Principales caractéristiques |
|------------------------|-----------------------|---|
| Embranchement | Arthropodes | <ul style="list-style-type: none"> - appendices articulés - exosquelette (cuticule rigide) |
| Sous-embranchement | Hexapodes | <ul style="list-style-type: none"> - trois paires de pattes - présence d'un labium |
| Classe | Insectes | <ul style="list-style-type: none"> - corps divisé en trois parties - trois paires de pattes - deux paires d'ailes - respiration trachéenne - une paire d'antennes |
| Ordre | Hyménoptères | <ul style="list-style-type: none"> - métamorphose complète - tête mobile - métathorax soudé au premier segment abdominal - ailes membraneuses - appareil buccal de type broyeur-suceur - présence d'un aiguillon postérieur chez la femelle |
| Famille | Apidés | <ul style="list-style-type: none"> - nombreux poils sur la cuticule - système sur la patte arrière pour stocker le pollen - dimorphisme sexuel - comportement social marqué |
| Genre | <i>Apis</i> | |
| Espèce | <i>Apis mellifera</i> | |

Annexe 2 : Composition moyenne de la gelée royale (MARTINI et SEILLER, 2006)

| Composition | Pourcentage total | Type de composés | Principaux composants |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| Eau | 57 à 70 % (moyenne 70 %) | | |
| Hydrates de carbone | 14 % | Monosaccharides | Glucose et fructose |
| | | Disaccharides | Saccharose, maltose... |
| | | Polysaccharides | Mélibiose, erlose, ribose... |
| Protides | 13 % | Acides aminés (dont les 8 essentiels) | Proline, lysine, leucine, arginine, valine, phénylalanine... |
| | | Peptides | Défensine (la royalisine), apisimine, jelleines I, II, III, IV... |
| | | Protéines | MRJP1, MRJP2, MRJP 3, MRJP4 |
| Lipides | 4,5 % | Acides gras | <i>Trans</i> -10-hydroxy-2-décénoïque... |
| | | Stérols | Cholestérol et stigmastérol |
| | | Cires | |
| | | Phospholipides | |
| Substances diverses | 2 à 8 % | Minéraux | K, Na, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu, S, P, N, C... |
| | | Vitamines | B1, B2, B3 ou PP, B5, B6, B8 ou H, inositol, B9, (B12, C A, D, E, K) |
| | | Enzymes | Glucose-oxydase, ... |
| | | Acétylcholine 1mg/g | |
| | | Hormones (gelée fraîche) | (Estradiol, testostérone, progestérone) |
| | | Acides nucléiques (gelée fraîche) | (ADN et ARN) |

MRJP : Major Royal Jelly Protein (MRJP1 ou Apalbumine-1...)

Les substances indiquées entre parenthèses sont à l'état de traces ; les pourcentages sont donnés par rapport au poids total de la gelée royale.

Annexe 3 : Abréviations des acides aminés d'après (BERG *et al.*, 2013) pour la Figure 12

| Nom complet de l'acide aminé | Code à une lettre |
|-------------------------------|-------------------|
| Alanine | +A |
| Arginine | R |
| Asparagine | N |
| Aspartate ou acide aspartique | D |
| Cystéine | C |
| Glutamate ou acide glutamique | E |
| Glutamine | Q |
| Glycine | G |
| Histidine | H |
| Isoleucine | I |
| Leucine | L |
| Lysine | K |
| Méthionine | M |
| Phénylalanine | F |
| Proline | P |
| Sérine | S |
| Thréonine | T |
| Tryptophane | W |
| Tyrosine | Y |
| Valine | V |

Annexe 4: Les acides organiques détectés dans la gelée royale (LI *et al.*, 2013)

| IUPAC (with or without other trivial) and molecular size | Relative amount ⁷ | | IUPAC (with or without other trivial) name and molecular size | Relative amount ⁷ | | IUPAC (with or without other trivial) name and molecular size | Relative amount ⁷ | |
|---|------------------------------|-------|---|------------------------------|------|--|------------------------------|------|
| | Min | Max | | Min | Max | | Min | Max |
| I. Free (aliphatic) fatty acids | | | Main chain length of 9 carbon atoms | | | Main chain length of 14 carbon atoms | | |
| Acetic (ethanoic) ⁷ | nr | nr | 10-Acetoxydecanoic ²⁷ | / | / | Hexadecanoic (cetyl or palmitic) ^{7,22,25} | Trace | 0.1 |
| 2-Hydroxyethanoic (glycolic) ⁷ | Trace | 0.03 | Methyl 3-hydroxy decanoate ^{7,27} | / | / | 15-Hydroxyhexadecanoic ²⁵ | / | / |
| Main chain length of 2 carbon atoms | | | 3-Hydroxydecanoic ^{6,7,22,24-27,29} | 0.9 | / | Main chain length of 16 carbon atoms | | |
| 2-Hydroxypropanoic (lactic) ⁷ | 0.01 | 0.1 | 6-Hydroxydecanoic ^{25,29} | / | / | Octadecanoic (octylacetic, stearic or stearylphanic) ⁷ | 0.02 | 0.1 |
| 2,3-Dihydroxypropanoic (glyceric) ⁷ | Trace | 0.02 | 9-Hydroxydecanoic ^{7,20-22,30,31} | 0.2 | / | 9-Octadecenoic (oleic) ^{1,25} | Trace | 0.02 |
| Main chain length of 3 carbon atoms | | | 10-Hydroxydecanoic ^{6,7,22,23,25-28} | 13.0 | / | Main chain length of 18 carbon atoms | | |
| Butanoic (butyric) ⁷ | nr | nr | 3,9-Dihydroxydecanoic ^{26,29} | / | / | icosanoic (arachic, arachidic or eicosanoic) ⁷ | Trace | 0.1 |
| 2-Methylbutanoic (2-methylbutyric) ^{21,22} | / | / | 3,10-Dihydroxydecanoic ^{6,7,22,25-27,29} | 4.4 | / | Main chain length of 20 carbon atoms | | |
| 3-Methylbutanoic (delphinic) ^{21,22} | / | / | 5,10-Dihydroxydecanoic ^{25,27} | / | / | Tetracosanoic (lignoceric) ⁷ | Trace | 0.02 |
| (1,4-)Butanedioic (succinic) ⁷ | 0.01 | 0.1 | 8,9-Dihydroxydecanoic ^{7,25,26} | 0.1 | / | Main chain length of 24 carbon atoms | | |
| 2-Hydroxybutanedioic (malic) ⁷ | Trace | 0.03 | 9,10-Dihydroxydecanoic ^{25,27,29} | / | / | II. Aromatic organic acids | | |
| Main chain length of 4 carbon atoms | | | (1,10-)Decanedioic (sebacic) ^{6,7,22-27} | 2.5 | / | Benzenecarboxylic (benzoic) ^{7,21} | Trace | 0.06 |
| Pentanoic (valeric) ²² | / | / | 3-Hydroxydecanoic ^{7,26,27} | 0.01 | / | 4-Hydroxybenzoic or p-hydroxybenzoic ^{7,23,24} | 0.01 | 0.3 |
| 3-Methylpentanoic (3-methylvaleric) ^{21,23} | / | / | n-Decanedioic ²⁵ | / | / | Phenylacetic (α -toluic or benzenoacetic) ^{21,22} | / | / |
| 2-Hydroxy-4-methylpentanoic (2-hydroxy-4-methylvaleric) ²² | / | / | 2-Decenoic ¹¹ | / | / | 1,3-Benzenedicarboxylic (isophthalic) ²⁵ | / | / |
| 3-Hydroxy-3-methylpentane(-1,5-)dioic (3-methyl-3-hydroxyglutaric) ⁷ | Trace | 0.03 | 10-Acetoxy-2-decenoic ²⁷ | Trace | / | 3-(3-Hydroxyphenyl)propanoic (4-hydroxyhydrocinnamic) ⁷ | Trace | 0.01 |
| Main chain length of 5 carbon atoms | | | 8-Hydroxy-2-decenoic ^{7,26} | 1.2 | / | 3-(3,4-Dihydroxy phenyl)-2-propenoic (caffeic) ⁷ | Trace | - |
| Hexanoic (caproic or n-caproic) ^{21,22} | / | / | 9-Hydroxy-2-decenoic ^{6,7,22,25,26,28} | 50.5 | / | 4-phenylbutanoate (phenylbutyrate) ^{7,33} | / | / |
| 2-Ethylhexanoic (2-butylbutanoic) ²¹ | / | / | 10-Hydroxy-2-decenoic ^{6,7,22,23,25-27} | 3.1 | / | 3-(4-Hydroxy-3-methoxy phenyl)propionic (benzenepropionic) ²⁷ | / | / |
| 2-Hydroxyhexanoic (2-hydroxycaproic) ^{21,22} | / | / | 4,9-Dihydroxy-2-decenoic ²⁹ | / | / | III. Nonaromatic organic acids | | |
| Hexane(-1,6-)dioic (adipic) ^{7,24} | / | / | 4,10-Dihydroxy-2-decenoic ²⁹ | / | / | 2,3,4-Trihydroxybutanoic (threonic and isothreonic isomers) ⁷ | Trace | 0.14 |
| 2-Hexenoic (3-propylacrylic) ²¹ | / | / | 9,10-Dihydroxy-2-decenoic ^{7,29} | 0.03 | / | 2,3,4-Trihydroxyglutaric (arabinoic) ⁷ + γ -lactone | Trace | 0.09 |
| 3-Hexenoic (β,γ -hexenoic) ²¹ | / | / | 2-Decenedioic (1-octene-1,8-dicarboxylic) ^{6,7,22,23,26} | 3.1 | / | 2,3,4,5-Tetrahydroxypentanoic (ribonic) ⁷ + γ -lactone | Trace | 0.4 |
| p-Methyl-n-hexenedioic ²⁵ | / | / | n-Decenedioic ²⁵ | / | / | Gluconic (dextroic) ^{7,26} + γ -lactone | 0.7 | 1.4 |
| Main chain length of 6 carbon atoms | | | Main chain length of 10 carbon atoms | | | 1,3,4,5-Tetrahydroxycyclohexanecarboxylic (quinic) ⁷ | Trace | 0.3 |
| Heptanoic (enanthic or oenanthalic) ²² | / | / | 11-Hydroxyundecanoic ^{21,25} | / | / | | | |
| Heptane(-1,7-)dioic (pimelic) ²⁴ | / | / | Main chain length of 11 carbon atoms | | | | | |
| Main chain length of 7 carbon atoms | | | 10-Hydroxydodecanoic ^{7,23} | 0.1 | 0.6 | | | |
| Octanoic (caprylic) ^{22,26-28} | / | / | 11-Hydroxydodecanoic ^{7,22,23,25-27} | 0.3 | 0.8 | | | |
| 2-Hydroxyoctanoic (2-hydroxycaprylic) ⁷ | 0.02 | 0.02 | 11-Oxo(keto)dodecanoic ²⁷ | / | / | | | |
| 3-Hydroxyoctanoic (3-hydroxycaprylic) ^{7,22,23,26} | 0.01 | 0.01 | 12-Hydroxydodecanoic (12-hydroxylauric) ^{7,23,26} | 0.1 | 0.4 | | | |
| 7-Hydroxyoctanoic (7-oxidanyloctanoic) ^{7,25,26} | 0.05 | 0.05 | 3,10-Dihydroxydodecanoic ^{7,26} | Trace | 0.03 | | | |
| 7-Oxo(keto)octanoic (7-keto-n-caprylic) ⁷ | Trace | Trace | 3,11-Dihydroxydodecanoic ^{7,25-27,29} | 0.1 | 0.4 | | | |
| 8-Hydroxyoctanoic (8-hydroxycaprylic) ^{6,7,22,23,25-27} | 3.1 | 6.5 | 3,12-Dihydroxydodecanoic ^{7,25,26} | Trace | 0.1 | | | |
| Octane(-1,8-)dioic (suberic) ^{7,24} | Trace | 0.1 | 9,10-Dihydroxydodecanoic ⁷ | Trace | 0.1 | | | |
| Methyloctanedioic ²⁵ | / | / | 10,11-Dihydroxydodecanoic ^{7,26,27} | 0.01 | 0.2 | | | |
| 2-Octenoic ²² | / | / | 10,12-Dihydroxydodecanoic ^{7,26} | Trace | 0.1 | | | |
| 7-Hydroxy-2-octenoic ^{7,26} | Trace | 0.02 | 11,12-Dihydroxydodecanoic ^{7,27,32} | Trace | 0.1 | | | |
| 8-Hydroxy-2-octenoic ^{7,26} | Trace | 0.1 | Dodecane(-1,12-)dioic ^{7,23,26} | 0.01 | 0.1 | | | |
| 2-Octenedioic (1-hexene-1,6-dicarboxylic) ^{7,26} | Trace | 0.1 | 3-Hydroxydodecanedioic ^{7,26,27} | Trace | 0.03 | | | |
| Methyloctenedioic ²⁵ | / | / | 10-Hydroxy-2-dodecenoic ^{7,26,27} | Trace | 0.1 | | | |
| Main chain length of 8 carbon atoms | | | 11-Hydroxy-2-dodecenoic ^{7,26,27} | Trace | 0.3 | | | |
| Nonanoic (1-octanecarboxylic or pelargonic) ^{21,22} | / | / | 12-Hydroxy-2-dodecenoic ^{7,26,27} | Trace | 0.2 | | | |
| n-Nonanedioic ^{24,25} | / | / | 11,12-Dihydroxy-2-dodecenoic ⁷ | 0.01 | 0.05 | | | |
| 9-Hydroxynonanoic (9-hydroxypelargonic) ²⁵ | / | / | 2-Dodecenedioic (traumatic) ^{7,26,27} | Trace | 0.03 | | | |
| | | | Main chain length of 12 carbon atoms | | | | | |
| | | | Methyltridecenedioic ²⁵ | / | / | | | |
| | | | Main chain length of 13 carbon atoms | | | | | |
| | | | Tetradecanoic (myristic) ⁷ + carbohydrate | / | / | | | |
| | | | 12-Hydroxytetradecanoic ²⁵ | / | / | | | |
| | | | 13-Hydroxytetradecanoic ^{7,23,26} | Trace | 0.1 | | | |
| | | | 14-Hydroxytetradecanoic ⁷ | 0.02 | 0.04 | | | |
| | | | 3,13-Dihydroxytetradecanoic ^{7,25,26} | Trace | 0.02 | | | |
| | | | 13-Hydroxy-2-tetradecenoic ^{7,23} | Trace | 0.02 | | | |

*Fatty acids dominant in RJ.

†Any salt of corresponding acid.

nr, compound was not registered; Trace, compound was determined below 0.01% of the total ion current of chromatograms; /, qualitative analysis of compounds in RJ was conducted whereas the quantitative was not; -, the presence of compounds in RJ was detected qualitatively, but not quantitatively; IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry; RJ, royal jelly.

Annexe 5 : Teneur en vitamine B1 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|----------------|
| Matière sèche | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 3,0 UI/g |
| | KITZES <i>et al.</i> , 1943 (6) | 18 µg/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 3,9 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 21 µg/g |
| Matière fraîche | MELAMPY et JONES, 1939 (6) | 1,0-1,5 UI/g |
| | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 1,5 UI/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 1,2 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 6,6 µg/g |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 (30) | 1,44-6,70 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 1&17 µg/g |

Annexe 6 : Teneur en vitamine B2 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|------------------------|
| Matière sèche | KITZES <i>et al.</i> , 1943 (6) | 28,0 µg/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 26,0 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 26,0 µg/g |
| Matière fraîche | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 9,5 UI/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 6,4 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 8,2 µg/g (6,6-10,0) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 (30) | 5-25 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 5-25 µg/g |

Annexe 7 : Teneur en vitamine B3 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|--------------------|
| Matière sèche | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 329 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 100 µg/g |
| Matière fraîche | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 80-100 µg/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 104,8 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 59 µg/g (47-73) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 | 48-88 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 45-190 µg/g |

Annexe 8 : Teneur en Vitamine B5 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|---------------------|
| Matière sèche | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 750 µg/g |
| | KITZES <i>et al.</i> , 1943 (6) | 320 µg/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 583 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 290 µg/g |
| Matière fraîche | HAYDAK et PALMER, 1940, 1942 (6) | 680 µg/g |
| | HAYDAK et VIVINO, 1950 (6) | 184,2 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 (6) | 89 µg/g (65-110) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 | 159-265 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 36-230 µg/g |

Annexe 9 : Teneur en Vitamine B6 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|-----------------------|
| Matière sèche | KITZES <i>et al.</i> , 1943 | 10,2 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 7,7 µg/g |
| Matière fraîche | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 2,4 µg/g (2,2-2,5) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 | 1,0-48,0 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 2-55 µg/g |

Annexe 10 : Teneur en vitamine B8 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|-----------------------|
| Matière sèche | KITZES <i>et al.</i> , 1943 | 4,1 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 5,4 µg/g |
| Matière fraîche | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 1,7 µg/g (1,6-1,8) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 | 1,1-19,8 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 1,5-5 µg/g |

Annexe 11 : Teneur en vitamine B9 de la gelée royale

| Type d'échantillon | Références | Quantité |
|--------------------|---|--------------------------|
| Matière sèche | KITZES <i>et al.</i> , 1943 | 0,50 µg/g |
| | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 0,62 µg/g |
| Matière fraîche | CHELDELIN et WILLIAMS, 1962 | 0,20 µg/g (0,16-0,22) |
| | VECCHI <i>et al.</i> , 1988 | 0,13-0,53 µg/g |
| | Rapport MSDA (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires), 2004 | 0,1-0,6 µg/g |

Résumé

La gelée royale est un des produits de la ruche qui bénéficie depuis longtemps d'une bonne réputation. Le but de ce document est dans un premier temps de comprendre la place et l'intérêt de la gelée royale dans la ruche en étudiant la biologie de l'abeille. Puis mettre en évidence la composition et les bienfaits, notamment sur le système immunitaire de l'Homme, de cette nourriture qui est exclusive de la reine tout au long de sa vie, elle lui apporte une longévité, une résistance et une fécondité remarquables à la différence des autres membres de la ruche, ouvrières et faux-bourçons, qui ne consomment de la gelée royale que durant les premiers jours de leur vie. S'attachant à comprendre les effets de la gelée royale sur la reine, la composition de cette substance est détaillée. Majoritairement constituée d'eau, elle présente une composition qualitativement riche en macronutriments dont un acide gras particulier : l'acide 10-hydroxy-2-décénoïque.

Mots-clés : gelée royale, abeilles, récolte, composition, propriétés.

Abstract

Royal jelly is one of the products of the hive, which has long enjoyed a good reputation. The goal of this work is first to understand the place and value of royal jelly in the hive by studying the bee biology. Then we will focus on the composition and the benefits, especially on the human immunity system, of this nutriment, which is exclusive to the queen throughout its whole life, it brings it longevity, strength and remarkable fertility unlike the other members of the hive, workers and drones, which consume royal jelly only during the first days of their lives. Focusing on understanding the effects of royal jelly on the queen, the composition of this substance is detailed. Mainly composed of water, it has a qualitatively rich in macronutrients composition, including a particular fatty acid: the 10-hydroxy-2-decenoic acid.

Keywords: royal jelly, bees, beekeeping, composition, properties.

ملخص

الهلام الملكي هو أحد منتجات الخلية الذي يتمتع بسمعة جيدة منذ فترة طويلة. الهدف من هذا العمل هو أولاً فهم مكان وقيمة الهلام الملكي في الخلية من خلال دراسة بيولوجيا النحل. مع التركيز على تركيبته وفوائده الصحية. خاصة على الجهاز المناعي للإنسان. هذه المادة المغذية الحصرية لتغذية الملكة طوال حياتها، فهي تجلب لها طول العمر، القوة والخصوبة على خلاف الأعضاء الآخرين في الخلية، من عاملات وذكور، الذين يستهلكون الهلام الملكي خلال الأيام الأولى من حياتهم فقط، مع التركيز على فهم آثار غذاء ملكات النحل. ولذلك تم تفصيل تركيب هذه المادة التي تتكون أساساً من الماء وكونها غنية نوعياً بالماكرومغذيات، بما في ذلك الحمض الدهني: حمض-10-هيدروكسي-2-دينويك.

الكلمات المفتاحية: الهلام الملكي، النحل، جني، التركيبية، فوائد.