



*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique*  
*Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi*  
*Faculté Des Sciences Exactes et des Sciences de La Nature et de la Vie*  
*Département des Sciences de La Nature et de la Vie*

**Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat en science de la nature

Option: Ecologie et environnement

**Thème**

*Contribution à l'étude écologique du peuplement des  
fourmis à l'Est Algérien*

**Présentée par : Zaidi Kenza**

**Membres du jury :**

**Président :**

BOULKHSAIM Mouloud                      Pr                      Univ-Oum El Bouaghi

**Rapporteur :**

SAHEB Menouar                              Pr                      Univ-Oum El Bouaghi

**Examineurs :**

ABABSA Labeled                              Pr                      Univ-Oum El Bouaghi

OUAKID Mohammed Laid                      Pr                      Univ-Annaba

SIBACHIR Abdelkrim                              Pr                      Univ-Batna II

ADJAIMI Epouse Hachemi Yesmine              Dr                      Univ-Annaba

**Année universitaire : 2020/2021**

## Remerciements

En tout premier, je remercie **Dieu** qui m'a donné la santé, et de la volonté pour poursuivre mes études.

J'adresse mes remerciements, à tous mes enseignants, qui m'ont donnée les bases de la science.

Nos vifs remerciements vont à **Pr. Boulekhsaim Mouloud** d'avoir accepté de présider le jury

Nous Nous remercions également Monsieur **Pr. Ababsa Labed** , Monsieur **Pr. Si Bachir Abdelkrim**, Monsieur **Pr. Ouakid Mouhamed laid** Et Madame **Dr. Adjaimi Yasmine** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à mon promoteur, Pr. **Saheb Menouar** pour l'aide qu'il m'a apportée, par sa patience, sa confiance, son encouragement, et en œil critique qui m'ont été très précieux pour réaliser ce travail, je le remercie vivement.

Je voudrais exprimer mes vifs remerciements au **Pr Djemoui** , aux docteurs **Zaidi Sara, khammar Hichem** et **Hadjab Ramzi** pour l'aide qu'il m'a apportée.

Je remercie spécialement **Me sedik** pour son entière disponibilité et ses conseils.

C'est avec un immense plaisir que je prends mon clavier pour vous écrire ces quelques mots ; Un énorme MERCI pour des personnes tout simplement géniales :

### Mes chers parents

Les efforts que vous avez fait pour nous, le temps que vous nous avez donné, les conseils avisés qui éclaireront notre chemin...je ne pourrais jamais vous remercier à la hauteur de ce que vous nous avez donné. Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier.

Merci, merci et merci encore mes parents pour votre soutien permanent, constant et surtout sans aucune faille ;avec la patience et la confiance que vous avez toujours placée en moi, vous m'avez permis d'avancer en toute quiétude. J'espère qu'ils trouveront en ce modeste travail une récompense de ce qu'ils ont fait pour moi.

### Mon mari Ibrahim

Mes remerciements ne pourront jamais égaler ton grand cœur qui m'a apporté du soutien au moment où j'avais besoin d'aide. Tu es mon ange gardien ! Merci encore !

Comme tu le sais, j'ai traversé des moments si difficiles que plus d'une fois j'ai pensé que je ne verrais jamais le bout du tunnel. A chacun de ces moments, tu étais là pour me reconforter et m'aider à avancer. Je te remercierais pour tout ce que tu as fait pour moi.

Mes sœurs **Sara** et **Ines** et mes frères **Zinou, Amor** et **Sami** pour leurs encouragements ainsi que les petites **Noursine** et **Ro'ya** et les petits anges **Achref** et **Darine** qui ont admiré la collecte des fourmis et de savoir leurs vie.

Mes belles sœurs, mon beau frère, ma tante **Rahima** et leur filles **Rania** et **Malak** .

*Merci* 

# Sommaire

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

## Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

I. Position systématique des fourmis.....	6
II. Anatomie externe et interne d'une fourmi.....	6
III. Le cycle reproducteur .....	9
IV. Organisation du travail.....	10
V. La communication .....	11
VI. L'approvisionnement en nourriture .....	12
VII. Modes de récolte et de l'orientation .....	14
VIII. Relations biotiques .....	18

## Chapitre 02 : Présentation des sites d'études

I. Présentation des sites d'étude .....	25
I.1. Wilaya d'Oum El Bouaghi .....	25
I.2. Wilaya de Souk Ahras .....	31
I.3. Wilaya de Constantine.....	33

## Chapitre 03 : Matériel et méthodes

<b>Partie I. Identification des espèces étudiées.....</b>	<b>38</b>
I.1. Méthodes et matériels utilisés sur le terrain .....	38
I.2. Méthodes et matériel utilisés au laboratoire .....	39
I.3. Inventaire des espèces capturées .....	40
<b>Partie II. Etude des facteurs abiotiques influents la distribution et l'activité des fourmis .....</b>	<b>41</b>
II.1. Etude du sol aux alentours des fourmilières .....	41
II.1.1. Prélèvements du sol .....	41
II.1.2. Analyse granulométrique .....	41
II.1.3. Analyses physico-chimiques des sols .....	42
II.2. Etude de la micro-climatologie .....	43
II.2.1. Etude de l'ombrage .....	43
II.2.2. Etude des paramètres climatiques influents sur l'activité des fourmis.....	

II.2.2.1. Différentes castes composantes une fourmilière .....	44
II.2.2.2. Estimation de l'activité journalière des fourmis.....	44
II.3. Etude de mécanisme d'orientation .....	45
II.3.1. Orientation par les repères visuels .....	45
II.3.2. Orientation astronomique .....	45
II.4. Etude de l'influence de la nourriture sur le choix d'une source .....	46
<b>Partie III. L'étude des facteurs biotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis.....</b>	<b>42</b>
III.1. Relation fourmis pucerons.....	46
III.2. Relation fourmis-insectes.....	47
III.3. Relation fourmis plantes.....	47

## **Chapitre 04 : Résultats et discussion**

<b>Partie I. Identification des espèces étudiées.....</b>	<b>49</b>
I.1. Description et l'identification des fourmis récoltées .....	49
I.1.1 Genre <i>Cataglyphis</i> .....	49
I.1.2. Genre <i>Camponotus</i> .....	55
I.1.3. Genre <i>Tapinoma</i> .....	58
I.1.4. Genre <i>Messor</i> .....	60
I.1.5. Genre <i>Monomorium</i> .....	65
I.2. Inventaire de la myrmécofaune.....	67
I.2.1. Richesse totale.....	67
I.2.2. Abondance relative des individus.....	68
I.2.3. Exploitation des résultats par l'analyse en composantes principales .....	71
<b>Partie II. Etude des facteurs abiotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis.....</b>	<b>75</b>
II.1. Etude du sol des fourmilières de différentes espèces étudiées .....	75
II.2. Etude de la micro-climatologie .....	78
II.3. Etude des paramètres climatiques influents sur l'activité des fourmis .....	88
II.3.1. Différentes castes composantes une fourmilière .....	88
II.3.2. Estimation de l'activité journalière des fourmis .....	92
II.3.3. Etude du mécanisme d'orientation .....	103
II.3.4. Etude de l'influence de la nourriture sur le choix d'une source .....	118

<b>Partie III. Étude des facteurs biotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis.....</b>	<b>123</b>
III.1. Relation fourmis-pucerons .....	123
III.2. Relation fourmis-plantes .....	125
III.3. Relation fourmis- fourmis .....	125
<b>Conclusion</b>	<b>131</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

## Liste des figures

N° : de figure	Titre de figure	Page
<b>01</b>	Principaux termes utilisés pour décrire la morphologie d'une fourmi	<b>7</b>
<b>02</b>	Schéma de l'anatomie interne d'une fourmi	<b>9</b>
<b>03</b>	Ouvrière de la <i>Lasius niger</i> attiré par l'élaïosome d'une graine	<b>22</b>
<b>04</b>	Localisation de Djebel Sidi R'ghiss au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi	<b>26</b>
<b>05</b>	Complexe de zones humides dans l'est des Hauts Plateaux d'Algérie contenant le Grand Site de reproduction d'Ezzemoul	<b>28</b>
<b>06</b>	Vue satellite présentant le site d'étude de type agricole au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi	<b>30</b>
<b>07</b>	Vue satellite présentant le site d'étude au bord d'Oued Charef	<b>32</b>
<b>08</b>	Vue satellite représentant de la zone d'étude au niveau de la wilaya de Constantine	<b>34</b>
<b>09</b>	Diagramme Ombrothermique des régions d'étude (2008-2017)	<b>35</b>
<b>10</b>	Climagramme d'Emberger de différentes wilaya	<b>36</b>
<b>11</b>	Schéma de l'expérience portant sur le calcul du flux journalier des fourmis	<b>44</b>
<b>12</b>	Différentes parties d'une <i>Cataglyphis viatica</i> (0.8- 4x)	<b>51</b>
<b>13</b>	Différentes parties d'une <i>Cataglyphis bicolor</i> (0.8- 4x)	<b>52</b>
<b>14</b>	Différentes parties d'une <i>Cataglyphis albicans</i> (0.8- 4x)	<b>54</b>
<b>15</b>	Différentes parties d'une <i>Camponotus sylvaticus</i> (0.8- 4x)	<b>57</b>
<b>16</b>	Différentes parties d'une <i>Tapinoma nigerrimum</i> (0.8- 4x)	<b>59</b>
<b>17</b>	Différentes parties d'une <i>Messor</i> (0.8- 4x)	<b>61</b>
<b>18</b>	Différentes parties d'une <i>Monomorium sp</i> (0.8- 4x)	<b>65</b>
<b>19</b>	Les sous-familles de Formicidae recensées dans les différents sites d'étude	<b>67</b>
<b>20</b>	Nombre des fourmis recensées aux différents sites d'étude	<b>70</b>
<b>21</b>	Analyse en composantes principales (ACP)	<b>71</b>

22	Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de trois fourmilières au niveau du lac El Zemoul	78
23	Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de quatre fourmilières au niveau du milieu agricole OEB	80
24	Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de cinq fourmilières au niveau du Djebel Sidi R'ghiss	82
25	Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de trois fourmilières au niveau du milieu agricole de Constantine	84
26	Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de cinq fourmilières au niveau d'Oued Charef	86
27	Différentes classes de taille des ouvrières récoltées sur des fourmilières.	88
28	Variation du nombre de <i>Camponotus sylvaticus</i> , la température et la vitesse du vent au cours d'une journée	92
29	Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de <i>Camponotus sylvaticus</i>	93
30	Variation du nombre de <i>Messor</i> , la température et la vitesse du vent au cours d'une journée	94
31	Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de <i>Messor</i>	94
32	Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de <i>Monomorium sp</i>	95
33	Variation du nombre de <i>Monomorium sp</i> , la température et la vitesse du vent au cours d'une journée	96
34	Variation du nombre de <i>Tapinoma</i> , la température et la vitesse du vent au cours d'une journée	97
35	Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de <i>tapinoma nigerrimum</i>	98
36	Variation du nombre de <i>Cataglyphis</i> , la température et la vitesse du vent au cours d'une journée	99
37	Variation du rayonnement solaire au cours de la journée suivi de l'activité de <i>cataglyphis</i>	99
38	Nombre de fourmis exploitées les différentes voies marquées	105
39	Taux de fourmis de piste avant (absence) et après (présence) l'orientation du soleil	110
40	Taux de fourmis <i>Cataglyphis bicolor</i> dans les trois triangles avant (absence) et après (présence) l'orientation du soleil	111
41	Schémas représentatives des résultats du test du miroir chez deux espèces <i>Tapinoma nigerrimum</i> et <i>Monomorium sp</i>	1112
42	Schémas représentatives des résultats du test du miroir chez <i>Messor capitatus</i>	113
43	Schémas représentatives des résultats du test du miroir chez <i>Cataglyphis bicolor</i>	114
44	Différentes sources de nourriture exploitées par les fourmis	119

## Liste des tableaux

N° : du tableau	Titre du tableau	Page
01	Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de Djebel de Sidi R'ghiss	27
02	Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de Sebkh El Zemoul	29
03	Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de type agricole au niveau de deux wilayas Oum El Bouaghi et Constantine	30
04	Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de haut Charef	32
05	Indices standards utilisés lors l'identification des fourmis	40
06	Classes de différents types des particules minérales	42
07	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Cataglyphis viatica</i>	50
08	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Cataglyphis bicolor</i>	53
09	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Cataglyphis albicans</i>	54
10	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Camponotus sylvaticus</i>	56
11	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Tapinoma nigerrimum</i>	59
12	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Messor minor</i>	62
13	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Messor capitatus</i>	63
14	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Messor barbarus</i>	64
15	Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de <i>Monomorium sp</i>	66
16	Liste globale des espèces de fourmis recensées dans les cinq sites d'étude	68
17	Abondance relative des individus des fourmis recensées dans les cinq sites d'étude	69
18	Résultats des analyses physico-chimiques des différents types du sol prélevé au niveau des différents nids	77
19	Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du lac El Zemoul	79
20	Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du milieu agricole OEB	81
21	Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du milieu forestier djebel Sidi R'ghiss	83
22	Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du milieu agricole de Constantine	85
23	Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau d'Oued Charef	85
24	Espèces des insectes trouvées au sein des plantes	123
25	Fréquence d'occurrence des pucerons au niveau de la plante	124
26	Nombre de <i>Messor capitatus</i> et <i>Brachycaudus sp</i> recensé au cours de la période d'existence du puceron	125
27	Différentes réactions des fourmis lors d'une présence d'un intrus	126

## *Liste des abréviations*

<b>Lco</b>	La longueur totale du corps
<b>Lte</b>	La longueur de la tête
<b>Lat</b>	La largeur de la tête
<b>Lg</b>	La longueur du gastre en vue latérale
<b>Lsc</b>	La longueur du scape
<b>Lth</b>	La longueur du thorax
<b>Lp</b>	La largeur du pronotum
<b>Lm</b>	La longueur du mesosoma
<b>Lo</b>	La longueur de l'œil, le grand diamètre
<b>Lpe</b>	La longueur du nœud pétiolaire
<b>Hpe</b>	La largeur (hauteur) du nœud pétiolaire
<b>Lpp</b>	La longueur du post pétiole
<b>Hpp</b>	La largeur du post pétiole
<b>A.C.P</b>	Analyse en composantes principales
<b>AR %</b>	Abondance relative;
<b>ni</b>	Nombre d'individus de l'espèce i rencontrée dans N relevés ;
<b>N</b>	Nombre total des individus de toutes les espèces rencontrées dans N relevés
<b>q</b>	variables quantitatives
<b>n</b>	variables quantitatives indépendantes
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>CE</b>	La conductivité électrique
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Le calcaire actif
<b>C %</b>	Le carbone organique
<b>MO %</b>	La matière organique
<b>A</b>	Argile
<b>LF</b>	Limon fin
<b>LG</b>	Limon grossier
<b>SF</b>	sable fin
<b>SG</b>	sable grossier
<b>GLA</b>	Gap Light Analyser

<b>LAI</b>	Leaf Area Index
<b>Pi</b>	le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée
<b>P</b>	le nombre total des relevés
<b>FO</b>	Fréquence d'occurrence
<b>Anova</b>	Analyse of variance
<b>I</b>	L'indice d'aridité
<b>p</b>	les précipitations annuelles
<b>T</b>	la température moyenne annuelle
<b>Q</b>	Le quotient pluviothermique d'Emberger
<b>M</b>	moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $T + 273^{\circ} \text{ K}$ ).
<b>m</b>	moyenne des minima du mois le plus froid ( $T + 273^{\circ} \text{ K}$ ).
<b>ANDI</b>	Agence Nationale de Développement et d'Investissement
<b>DRA</b>	Dorsal Rim Area

# **Introduction**

## Introduction

Les fourmis sont des insectes eusociaux appartenant à la famille des formicidae, elles font partie de l'ordre des hyménoptères ( **Schultz, 2000** )

La famille des Formicidae compte près de 13.000 espèces de fourmis (**Lebas et al ., 2016**), réparties en 296 genres et 12 sous-familles (**Bolton ,1994**). Ce qui laisse espérer une grande diversité de modes de vie. On les rencontre partout, sur ou sous la terre, dans les arbres, dans des régions arctiques à l'équateur en passant par les déserts. La progression de ces insectes a été favorisée par différents phénomènes comme l'augmentation des échanges et des transports (notamment les végétaux), l'urbanisation du littoral et peut-être encore les premiers effets des changements climatiques (**Weulersse et Brun, 1999 ; Blight, 2010**).

Avec leur complexe organisation sociale, les fourmis sont distinguées par la fondation des colonies de quelques dizaines jusqu'à plusieurs millions d'individus.

Le maintien d'une telle structure sociale est rendu possible notamment grâce à la communication qui existe entre les individus. Cette communication est basée sur l'intervention des phéromones qui jouent un rôle dans la reconnaissance, le recrutement, la signalisation des sources de nourriture et dans la protection contre les intrus.

Classiquement, par communication, on entend l'émission d'un stimulus par un individu qui provoque une réaction chez un autre individu, la réaction étant bénéfique à celui qui a émis le stimulus, à celui qui l'a reçu ou aux deux (**Wilson, 1971 a**). Les stimuli peuvent être de nature chimique (olfaction, gustation), acoustique (audition), visuelle (perception de la lumière, vision), mécanique (toucher), électrique.

Ce sont des sociétés matriarcales chez lesquelles la division du travail est poussée à l'extrême. Seules les reines sont fécondes, tandis que les ouvrières stériles prennent en charge le ravitaillement de la société, sa défense ou maternent les larves. Les mâles, eux, sont cantonnés au rôle de simples transporteurs de spermatozoïdes.

Les fourmis ont un rôle écologique majeur. Elles sont connues comme des ingénieurs du sol. Avec le remuement de la terre, elles l'enrichissent en matière organique et en oxygène. Ainsi certaines fourmis participent dans la dispersion des graines et la prédation des insectes nocifs pour la végétation. Elles régulent les populations de nombreux autres insectes, et font le rôle des éboueurs qui font disparaître les cadavres d'insectes ou de petits animaux (**Floren et al., 2002**).

Depuis peu, les fourmis sont couramment utilisées comme bio-indicateurs dans des dizaines d'études de biodiversité. Cependant, l'un des problèmes majeurs de l'utilisation des fourmis et d'autres invertébrés dans les études écologiques et environnementales, réside dans la difficulté d'identification des échantillons de terrain (NEW, 1996).

L'activité des fourmis peut être soumise aux aléas environnementaux biotique ou abiotique qui peuvent l'accélérer ou la stopper.

Le rôle de la composition du groupe sur l'organisation des déplacements collectifs est un sujet en question. L'ubiquité des déplacements collectifs incite à s'interroger sur leur valeur adaptative, par exemple en comparant les coûts et les bénéfices que procurent la vie grégaire à l'individu, ou encore en étudiant comment l'évolution a permis l'émergence de ces groupes et a agi sur leurs caractéristiques. Nous pouvons également aborder les déplacements collectifs en nous intéressant, au-delà de leurs spécificités, aux mécanismes élémentaires fondamentaux à l'origine de leurs principales propriétés. Nous ignorons par exemple s'il existe des principes génériques à l'œuvre dans leur production. Les dynamiques collectives spatiales et temporelles de ces phénomènes, ainsi que les mécanismes comportementaux qui les produisent demeurent encore peu connues. (Dussutour *et al.*, 2004)

Les fourmis, comme la plupart des animaux sociaux, possèdent un gîte qui est un abri fixe situé au centre de l'aire de récolte. L'apport de nourriture implique la sortie régulière sur le terrain des ouvrières fourrageuses et leur retour vers le nid central (central place foraging). Au cours de ces sorties, les fourmis seront confrontées à des informations en provenance du milieu. L'apprentissage de ces informations se traduit par une modification des comportements permettant d'optimiser le rendement de la récolte. L'apprentissage et son corollaire, la mémoire, jouent un rôle déterminant dans l'orientation des fourrageuses. (Johnston 1985).

L'apprentissage peut aussi impliquer une dimension temporelle, quand les ouvrières apprennent à sortir de leur nid à des moments précis du nyctémère. Il joue aussi un grand rôle dans le choix des stratégies de fourragement et de prédation, dans celui manifesté par les ouvrières pour tel ou tel type d'aliment qu'elles décident de ramener au nid, ou encore dans la sélection de l'emplacement du nid. (Passera et Aron, 2005).

Le fourragement peut être collectif ou individuel. Si la recherche des proies ou d'un site alimentaire est souvent aléatoire, le retour vers le nid ou homing fait toujours appel à des

processus d'orientation. Le choix d'une direction privilégiée se rencontre aussi lorsque les sociétés déménagent leurs nids. (**Passera et Aron, 2005**).

Le succès écologique partagé par les fourmis avec les autres insectes sociaux est indéniable. Avec les abeilles et les termites, elles occupent l'une des deux extrémités des arbres généalogiques, l'autre étant mobilisée par les vertébrés sociaux. La vie sociale, grâce aux structures coopératives, se révèle être une réponse particulièrement efficace face aux contraintes de l'environnement.

Progressivement, la reconnaissance de l'importance des invertébrés dans les processus touchant les écosystèmes ainsi qu'en tant que composants majeurs de la biodiversité, a provoqué une augmentation significative de leur représentation dans les études biologiques (**Anderson et al., 2002** et **Rohr et al., 2006**).

En Algérie, La pluparts des travaux sont réalisés dans les milieux naturels dans différentes régions de l'Algérie. On peut citer les travaux de **Cagniant (1966, 1968, 1969, 1970, 1973)**, **Doumandji et Doumandji (1988)**, **Belkadi (1990)** dans la région de la Kabylie, **Dehina (2004)** sur la bioécologie des fourmis dans le sahel Algérois, **Oudjiane (2004)** sur la biosystématique des fourmis en altitudes, **Bouzekri (2008) et (2010)** sur la bioécologie des Formicidae dans les hauts plateaux de Djelfa et enfin Chemala (2009) et (Amara, 2010) dans le Sahara. Peu d'auteurs se sont intéressés au régime alimentaire des fourmis, citons les travaux de **Barech (1999, 2005)**, **Ziada (2008)** sur le régime alimentaire de *Cataglyphis bicolor*. **Bernard (1945-1983)** ; **Cagniant (1969-1970)** ; **Barech et al. (2011)**, **Barech (2014)**; **Barech et al. (2015)** et **Barech et al. (2017)**.

En Europe nous citons les travaux de Bernard (1950, 1951, 1958, 1968, 1983), les travaux **Jolivet (1986)** en France, **Holldobler et Wilson (1996)**, et **Bernadou et al., (2006)**. Dans le monde, plusieurs études ont été menées sur la famille des Formicides, notamment sur leur biologie et leur bioécologie.

Depuis la fin des années 1990, des inventaires de la myrmecofaune se sont multipliés dans les pays limitrophes de la Guyane française, souvent dans le cadre de projets visant une meilleure connaissance de la biodiversité. Ces études ont été conduites au Guyana (**Lapolla et al., 2006**), en Argentine (**Lepounce et al., 2004**), au Costa Rica (**Longino & Colwell, 1997**) ou encore au Brésil (**Delabie et al., 2001** ; **Marinho et al., 2002**; **Vasconcelos et al., 2003**; **Hites et al., 2005**). Les travaux de **Thome et Thome (2000)** sur les fourmis du genre *Camponotus* au Liban.

Afin d'ajouter plus d'informations concernant l'écologie des fourmis, notre projet de recherche est inscrit dans cinq sites appartenant à trois wilayas de l'Est Algérien : Oum El Bouaghi, Constantine et Souk Ahras.

Nous proposons donc une synthèse de notre réflexion sur des différents aspects écologiques des peuplements des fourmis.

Après une recherche bibliographique sur le monde vivant des fourmis, nous présentons les différents sites d'études ainsi que le matériel et les méthodes utilisés pour réaliser les différents objectifs dirigés.

Dans une quatrième partie, nous décrivons les résultats obtenus concernant l'identification des différentes espèces des fourmis récoltées, et l'effet des facteurs biotiques et abiotiques sur la distribution et l'activité des fourmis. Ces résultats sont suivis par des discussions appropriées à chaque partie étudiée.

Enfin, nous terminons par une conclusion et les perspectives envisageables.

# **Chapitre I :**

# **Synthèse Bibliographique**

## I. Position systématique des fourmis

Les fourmis sont des hyménoptères (plus de 13000 espèces) du sous-ordre Apocrites. Elles constituent un ensemble naturel phylogénétique classé dans une famille appelé Formicidés. Cette dernière se subdivise en 21 sous famille dont 08 se trouvent dans la région néotropicale : Ceraphillinae, Dorylinae, Leptanillinae, Promyrmicinae, Ponerinae, Myrmicinae, Dolichoderinae et Formicinae (**Bolton, 2003 ; Saux *et al.*, 2004 ; Agosti et Johnson, 2005 et Lebas *et al.*, 2016**).

Les quatre dernières sont les plus représentées dans la nature (**Belkadi, 1990**). Latreille (1809) attribue aux Formicidae la systématique suivante :

**Règne :** Animalia

**Embranchement :** Arthropoda

**Sous-embranchement :** Hexapoda

**Classe :** Insecta

**Sous-classe :** Pterygota

**Infra-classe :** Neoptera

**Ordre :** Hymenoptera

**Sous-ordre :** Apocrita

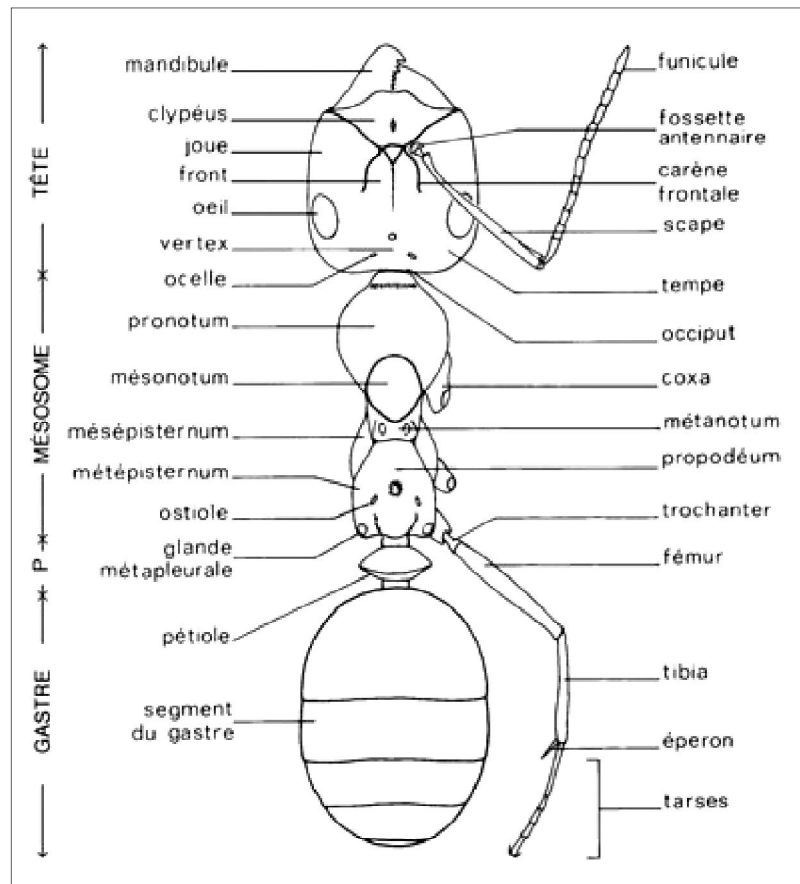
**Super-famille :** Vespoidea

**Famille :** Formicidae

## II. Anatomie externe et interne d'une fourmi

Le corps des insectes est composé de plusieurs segments répartis en trois groupes : la tête, le thorax, et l'abdomen. Chez les fourmis, le thorax est fusionné avec le premier segment de l'abdomen et forme un ensemble appelé « mesosoma ». Par mesure de simplicité, le terme « thorax » est parfois utilisé pour désigner cet ensemble. Le deuxième et le troisième segment de l'abdomen sont fortement rétrécis on les nomme « pétiole » et « post-pétiole ». Le reste des segments de l'abdomen forme un ensemble qu'on appelle « gastre » (**Lebas *et al.*, 2016**).

Pour identifier une fourmi, il est nécessaire de bien connaître les différentes parties de chaque segment ainsi que leurs composants principales (**Fig.01**).



**Figure .01.** Principaux termes utilisés pour décrire la morphologie d'une fourmi.

(Anonyme, 2020)

Les fourmis possèdent certaines particularités anatomiques qui sont utilisées pour leur vie sociale. Au niveau du gastre, on peut citer **le jabot**, véritable estomac social. Grâce à ses anneaux élastiques, cet organe permet à l'individu qui a trouvé une abondante source de nourriture de faire des réserves sous forme liquide. Plus tard, ce même individu aura l'occasion de dégorger une partie ou la totalité de ce qu'il a absorbé (trophallaxie) pour nourrir un congénère dans le besoin. (Billen et Morgan, 1998).

Les fourmis sont munies de diverses glandes exocrines qui émettent des **phéromones**, substances qui font réagir au niveau du comportement ou de la physiologie les individus récepteurs de la même espèce. Dans une certaine mesure, ce phénomène s'apparente à la parole chez l'humain sauf que la communication est olfactive chez les fourmis ! On en connaît plus de 40 glandes se rencontrent chez les Formicidae dont les 14 principales sont représentées sur la figure 2, elles se situent essentiellement dans l'abdomen, la tête et les pattes (Billen et Morgan, 1998).

## ➤ **Au niveau de la tête**

-les glandes mandibulaires servent à ramollir les corps malaxés par la fourmi ; responsables de l'alarme.

-les glandes post pharyngiennes forment le centre de fabrication et de stockage des graisses destinées à l'alimentation des larves.

## ➤ **Au niveau du thorax**

- La glande métapleurale sécrète des substances antiseptiques qui protègent la fourmi et le nid contre les attaques microbiennes.

- La glande labiale sécrète des enzymes digestives.

- La glande métathoracique se déverse près de la base de chaque patte postérieure. Leur produit, souvent odorant, contribue sans doute au repérage ou à la défense des individus.

## ➤ **Au niveau de l'abdomen**

- La glande à venin ou à poison et son annexe renferme principalement l'acide formique qui déclenche un comportement d'alarme typique. Chez d'autres espèces, elle sécrète un venin paralysant.

- La glande de Dufour excite et recrute les congénères esclavagistes dans un comportement de panique. C'est également le " flacon à parfum " de la fourmi dont le composé déposé sur le sol trace un rail odorant qui conduit généralement à une source de nourriture.

- La glande pygidiale sécrète une allomone défensive qui agit comme une phéromone d'alarme classique

- La glande rectale joue un rôle dans la rétention de l'eau des excréta, permet à la fourmi de déposer une phéromone de piste.

D'autres glandes caractérisent une sous-famille ou un genre comme :

-La glande de Pavan rencontrée seulement dans l'abdomen des Dolichoderinae.

-La glande rectale ne se trouve que chez les fourmis tisserandes

-La glande cloacale sécrète des produits malodorants, surtout défensifs. Elle se trouve chez deux genres *Camponotus* et *Cataglyphis*.

## ➤ **Au niveau des pattes**

La glande tibiale se trouve dans les pattes postérieures des *Crematogaster*.

## ➤ **Sous l'épiderme**

Les glandes subépithéliales sont les dernières en date ; elles forment des unités glandulaires sécrétrices, appartenant à huit sous-familles (Gobin *et al.*, 2003 a).

Les adultes possèdent un exosquelette appelé cuticule. Recouvert d'hydrocarbures qui empêchent la fourmi de perdre son eau et composé de chitine, il tient plusieurs rôles, notamment dans la protection contre les agressions du milieu externe, mais aussi le maintien des muscles et des organes internes qui y sont rattachés. De plus, la cuticule est essentielle dans la reconnaissance olfactive entre individus (Combépine *et al.*, 2011).

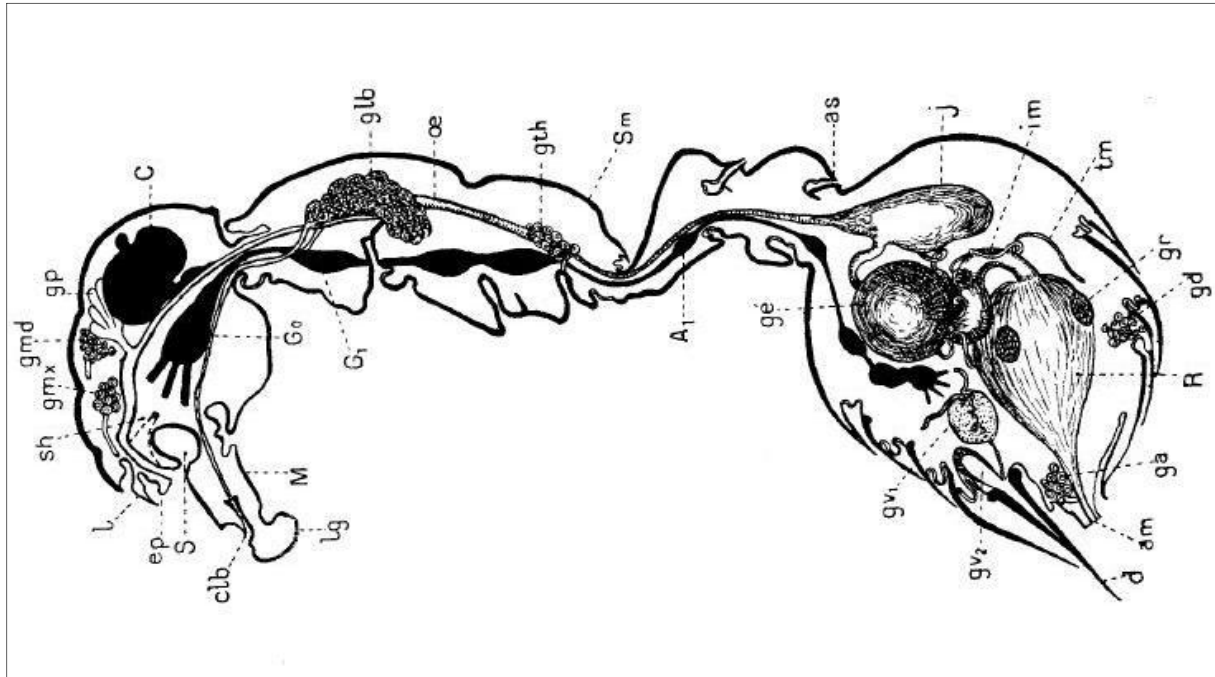


Figure .02. Schéma de l'anatomie interne d'une fourmi

(Anonyme, 2000).

**A** : premier ganglion abdominal ; **am** : anus ; **as** : appareil de stridulation du postpétiole ; **C** : cérébroïdes ; **clb** : canal terminal de l'appareil labial ; **d** : aiguillon ; **ep** : épipharynx, **Go** : ganglions sous-œsophagiens ; **G** : premier ganglion thoracique ; **ga** : glandes anales ; **gd** : glandes abdominales dorsales ; **gé** : gésier ; **glb** : glandes labiales (lobes thoraciques postérieurs) ; **gmd** : glandes mandibulaires ; **gmx** : glandes maxillaires ; **gp** : glandes pharyngiennes ; **gr** : glande rectale ; **gth** : glande métathoracique ; **gv** : glande venimeuse principale ; **gv** : glande venimeuse postérieure (glande alcaline) ; **im** : intestin moyen digestif ; **j** : jabot ; **l** : labre ; **lg** : langue ; **M** : mentum ; **œ** : œsophages ; **R** : rectum ; **sh** : sclérites de l'hypopharynx (figurés en traits interrompus) ; **S** : sac infrabuccal ; **Sm** : segment médiaire ou épinothorax ; **tm** : tubes de Malpighi.

### III. Le cycle reproducteur

Les formicidés connaissent plusieurs étapes de développement (œuf, larve, nymphe, adulte). Les reines ont une grande longévité dans les associations les plus durables (plusieurs *Formica* et *Messor*). Elles sont ensuite remplacées par des jeunes sexués provenant

d'essaimage récents. Ces fourmilières durables peuvent dépasser 40 ans d'âge. (**Bernard, 1951**).

Essaimage ou vol nuptial c'est le seul moment où l'on peut voir les fourmis ailées à l'extérieur du nid. Il assure le croisement entre les mâles et les femelles d'une même ou de différentes colonies. Il a lieu du printemps à l'automne selon l'espèce, après un orage, par temps chaud et lourd. Les fourmis ailées sortent du nid et s'agglutinent en grand nombre près de l'entrée du nid ou sur l'herbe voisine, puis s'envolent.

Selon l'espèce de fourmis, la reine peut s'accoupler avec un ou plusieurs mâles, mais elle ne sera fécondée une seule fois dans sa vie et conservera les spermatozoïdes en vie dans sa spermathèque. Le mâle meurt assez rapidement après l'accouplement. La reine ensuite casse ses ailes à leur base et creuse le sol ou cherche une cavité dans laquelle elle établira sa colonie (**Lebas et al., 2016**). Elle ne commencera à pondre que plusieurs mois après (**Bernard, 1983**). Elle ne prend aucun aliment durant plus de six mois, temps nécessaire à l'éclosion des premières ouvrières. Cependant, elle trouve les substances nécessaires à la ponte par l'autolyse des muscles du vol et par l'absorption des œufs alimentaires non fécondés. Les larves sont apodes et ont un cycle vital de 5 à 6 stades qui seront achevés en seulement quelques mois (**Bernard, 1968 ; Belkadi 1990**).

Une fois le nid fondé, les espèces montrent presque toutes les actes de trophallaxie ou d'échanges sociaux (nourrissage entre ouvrières, d'ouvrières à reines, d'ouvrières à larves et léchage des sécrétions des divers individus) (**Bernard, 1968**).

### IV. Organisation du travail

La société de fourmis est sans cesse en activité : récolter la nourriture, soigner le couvain, construire le nid... Ces travaux impliquent que chaque ouvrière est assignée à une tâche déterminée, conduisant à la division du travail ou **polyéthisme**.

L'attention des chercheurs est basée sur la recherche de facteurs internes de l'individu déterminant la tâche à accomplir (**Gordon, 1996**).

Ces facteurs sont de trois types, le premier concerne l'existence de castes physiques qui prédisposent l'ouvrière à accomplir une tâche particulière, cette spécialisation s'accompagne d'une caractéristique des insectes sociaux : l'existence d'un **polymorphisme**. Le deuxième est lié à l'âge ; il amène l'individu à changer d'activité au fur et à mesure qu'il vieillit. Enfin, des facteurs génétiques déterminent l'ouvrière à réaliser certains travaux particuliers.

L'idée dominante était de comparer le fonctionnement de la fourmilière à celui d'une usine, avec des ouvriers effectuant toujours la même tâche répétitive. Cette conception était en phase avec les idées dominantes alors en biologie, du type : un gène, une protéine ou bien le fait qu'un neurone déterminé ne peut accomplir qu'une seule fonction.

Plus tard, d'autres observations ont montré qu'au sein d'un pool d'ouvrières, certaines manifestent un comportement qui n'est pas celui de leur groupe. Il existe donc une variabilité individuelle, ou **idiosyncrasie**, qui pourrait résulter d'un compromis entre le poids de la génétique et celui de l'expérience individuelle. On a alors accordé de plus en plus d'importance aux facteurs externes. C'est le chemin pris après les années quatre-vingt par des chercheurs comme **Calabi (1988)** ou **Gordon (1989 a)** : ils attirent l'attention sur le fait que l'activité des ouvrières peut changer rapidement, d'un jour à l'autre, voire d'une heure à l'autre.

Ces variations très labiles et dynamiques ne peuvent provenir que des facteurs externes aux individus. Elles impliquent la globalité de la fourmilière et sont liées à des facteurs qui interviennent à l'intérieur ou à l'extérieur du nid. Cette affectation des tâches ou « **task allocation** » est un processus essentiel qui détermine quels animaux et combien d'entre eux prennent en charge telle ou telle activité (**Passera et Aron, 2005**).

### V. La communication

Un avantage apporté par le modèle fourni vient de la compréhension croissante que nous avons des processus de communication au sein de ce groupe (**Liebig, 2010 ; Ozaki et Hefetz, 2014 ; Sturgis et Gordon, 2012**). Comme chez la plupart des arthropodes, l'essentiel des interactions entre individus chez les fourmis repose sur l'échange d'informations olfactives.

Nous choisirons d'adopter la définition de la communication au sens large, telle qu'elle est définie par **Campan et Scapini (2002)** à savoir un phénomène de transmission d'un signal d'un émetteur à un récepteur. Le signal transmis modifie le comportement ou l'état physiologique du récepteur. Il peut être chimique, tactile, acoustique, visuel, électrique, etc. Il peut être unidirectionnel (phéromone de piste), ou multidirectionnel comme les vibrations émises par certaines espèces de fourmis lors de la découverte d'une source de nourriture. Les signaux chimiques quant à eux sont souvent dotés d'une grande rémanence par rapport aux signaux sonores ou visuels.

Pour conserver l'intégrité de la colonie et permettre son fonctionnement harmonieux, les individus utilisent ces indices chimiques émis par leurs congénères. L'organisation sociale,

qui fait intervenir des processus de communication entre la caste ouvrière et les reines ainsi qu'entre les reines, nécessite un transfert d'informations reflétant les différentes caractéristiques des individus.

Le statut de fertilité des individus, celui des ouvrières et de la reine, semble un élément primordial dans ce contexte (**Peeters et Liebig, 2009**). En effet, il est nécessaire que les individus reproducteurs communiquent leur statut et leur productivité aux individus stériles pour permettre une division efficace des tâches. Les composés impliqués dans ces processus de communication semblent être constitutif de la cuticule des individus ou bien produits activement au niveau de glandes exocrines variées présentes principalement sur les pattes, le thorax et la tête (**Billen et Morgan, 1998** et **Blomquist et Bagnères, 2010**).

L'intégration des indices chimiques passe par le système nerveux périphérique (i.e. l'antenne) où il subit un premier processus d'intégration avant d'être relayé vers les centres nerveux supérieurs. Une classe particulière de composés chimiques a été mise en avant chez les Hyménoptères sociaux pour son implication dans la régulation des interactions sociales : les hydrocarbures cuticulaires (**Blomquist et Bagnères, 2010**).

## VI. Approvisionnement en nourriture

### VI.1. Diversité des régimes alimentaires

Les fourmis présentent une incroyable diversité de régimes alimentaires. Bien qu'elles tirent parti de tout ce qui peut être consommable, il existe cependant toute une série de gradation entre la plus large polyphagie et un monophage quasi strict.

Il est impossible d'établir une corrélation entre la position systématique d'une espèce et sa spécialisation alimentaire ; certes les fourmis primitives sont insectivores, les groupes moyennement évolués omnivores, tandis que l'on rencontre dans les familles supérieures des régimes très particuliers, mais il existe aussi des Formicidés largement insectivores et à l'inverse, les fourmis champignonnistes sont beaucoup plus primitives que d'autres espèces polyphagies (**François, 1972** et **Lebas et al., 2016**).

#### VI.1.1. Espèces insectivores

Les fourmis tirent, pour une large part, leur subsistance aux dépens des autres insectes. Beaucoup d'entre elles exercent leur activité chasserresse sur tous les Arthropodes qu'elles

peuvent capturer. Des familles entières (Poneridés, Dorylidés et certains Formicidés) figurent parmi les plus redoutables prédateurs du monde animal eu égard à leur taille.

Les ouvrières des Ponéridés chassent sans relâche sur le territoire entourant leur nid pour nourrir leurs larves. Certaines, comptant parmi les plus farouches ennemis des termites, n'hésitent pas à attaquer des termitières populeuses, défendues par de nombreux soldats, et en reviennent victorieuses (**François, 1972**).

Les fourmis attaquent peu les microarthropodes (acariens et collemboles), encore que certaines comme *Strumygenis louisianae* se nourrissent principalement de collemboles (**Bachelier, 1978**). Elles attaquent énergiquement les autres animaux carnivores (araignées, coléoptères, chilopodes, et même les escargots). Les ouvrières de *Serrastruma serrula* chassent les collemboles de l'espèce *Folsomia candida*.

L'espèce *Aphaenogaster testaceo pilosa* capture des insectes, dont des coléoptères, des mouches, des vers, des chenilles, de petites araignées et même des fourmis du genre *Messor* (**Cagniant, 1973**). En 2009, ce même auteur note que le régime alimentaire des fourmis du genre *Cataglyphis* est constitué surtout de cadavres d'insectes souvent d'autres fourmis : *Messor* et *Camponotus* mais aussi les ailés d'autres *Cataglyphis* mais certaines espèces ramènent des proies vivantes variées chenilles et autres larves, coléoptères adultes, petits arachnides. Les liquides végétaux sucrés sont aussi recherchés (miel dilué en élevage). En Tunisie au Sebkhet el Mnikhra près de Guerdane, cet auteur a observé l'espèce *C. fortis* emporter de petits poissons échoués et dépecer une mouette morte. *C. floricola* du sud de l'Espagne se nourrit de pétales floraux (**Cerdà et al., 1996**).

Les ouvrières de *Formica rufa* sont essentiellement insectivores et peuvent s'emparer de proies assez grandes comme les criquets (**Bellman, 1999**).

## VI.1.2. Espèces omnivores

La plupart des espèces de fourmis sont des espèces omnivores (**Lebas et al., 2016**). Parmi ces espèces, sont cités *Monomorium salomonis* (**Bernard, 1968**), *Tapinoma simrothi*, *Pheidole pallidula* et la plupart des espèces de la famille des Myrmicidae (**Bonnemaison, 1962**).

## VI.1.3. Espèces phytophages

Chez les plantes, ce sont les graines et les feuilles qui constituent une source d'alimentation pour les Formicidés. Selon leurs préférences, il existe des espèces de fourmis phytophages et des espèces de fourmis granivores (**Jolivet, 1986**).

### Espèces phytophages

Selon **Jolivet (1986)**, il existe différentes formes de mutualisme entre les fourmis et la plante. C'est le cas de la sève ou du nectar qui attire différentes espèces de fourmis comme *Formica rufa*. *Aphaenogaster gemella* est une espèce végétarienne qui se nourrit de pétales et de bourgeons (**Bernard, 1968**).

### Espèces granivores

Les fourmis moissonneuses du genre *Messor* et des genres voisins sont parmi les plus connues dès l'antiquité. Leurs colonies sont très visibles et les dégâts qu'elles causent aux cultures sont très importants. Les graines récoltées appartiennent à plusieurs espèces végétales. Les *Messor* préfèrent les graines de Légumineuses comme cela a été observé au Sahara (**Bernard, 1971**).

Les fourmis récoltent les graines au sol ou sur la plante et les ramènent au nid pour être stockées ou mangées soit par les larves ou par les imagos (**Jolivet, 1986**).

## VI.1.4. Espèces entretenant les homoptères

Les fourmis aphidophiles et coccidophiles appartiennent à la sous-famille des Dolichoderinés. Leur jabot est très dilatable et leur gésier possède une structure complexe (**Bernard, 1968**). Dans cette catégorie de fourmis, nous avons les espèces du genre *Tapinoma* qui se nourrissent préférentiellement de liquides sucrés tel que le miellat anal des homoptères (puccerons et cochenilles) (**Bernard, 1950**).

## VII. Modes de récolte et de l'orientation

Le transport vers le nid de la nourriture nécessaire à l'alimentation de la reine et des larves constitue une obligation pour les fourmis. Les larves qui sont apodes ne peuvent sortir de la colonie et la reine reste confinée au nid après la fondation. Les ouvrières se regroupent donc en nombre plus ou moins important sur les sites de nourriture. Le processus par lequel l'agrégation se réalise constitue le recrutement.

Cette force de travail permet de capturer et de dépecer de grandes proies ou de manipuler d'importantes sources de liquides sucrés. Le groupe d'ouvrières fonctionne comme une unité isolée comparable à un prédateur unique de grande taille. Les stratégies d'affouragement (les myrmécologues préfèrent utiliser le néologisme fourragement issu de l'anglais « foraging ») sont d'une grande variété. De nombreux auteurs ont essayé de classer ces stratégies en allant de la plus simple à la plus complexe (**Maschwitz, 1975 ; Oster et Wilson, 1978 ; Passera et Grassé, 1984 ; Beckers *et al.*, 1989 ; Hölldobler et Wilson, 1990 et Baroni Urbani, 1993**).

Il existe deux grandes pratiques de récolte de nourriture chez les fourmis : en solitaire et en groupe.

## VII.1. Fourragement en solitaire

Quand les items alimentaires sont dispersés de manière imprédictible, l'évolution a favorisé le fourragement individuel. L'animal utilise quasi exclusivement des repères physiques ou astronomiques. Il n'y a aucune interaction avec les partenaires. Ce comportement se rencontre chez de nombreuses ponéromorphes à faible effectif (**Lachaud *et al.*, 1984 ; Beckers *et al.*, 1989 et Duncan et Crewe, 1994**).

D'autres espèces archaïques comme *Myrmecia gulosa* pratiquent la même stratégie (**Haskins et Haskins, 1950 a**). Les *Cataglyphis* des régions désertiques, bien que très spécialisés, ont aussi un fourragement individuel (**Wehner *et al.*, 1983**).

## VII.2. Fourragement en groupe

Cette vision classique de l'évolution du comportement de recrutement propose que les contacts physiques entre recruteuse et recrutés prennent de moins en moins d'importance ; à l'inverse, la communication chimique joue un rôle de plus en plus grand (**Maschwitz, 1975 et Hölldobler, 1978**).

Lorsqu'il y a un recrutement alimentaire, on distingue habituellement trois modes de recrutement : la course en tandem, le recrutement de groupe et le recrutement de masse. Ces trois modes comportent presque toujours une invitation physique destinée à faire sortir des congénères du nid. Ils diffèrent ensuite par la part de plus en plus importante prise par le message chimique dans l'attraction et/ou l'orientation des ouvrières recrutées.

### VII.2.1. Recrutement par tandem

Le recrutement par tandem ou « tandem running » est le recrutement le plus simple, puisqu'un seul individu est recruté à la fois et suit jusqu'à la cible une ouvrière recruteuse avec laquelle il garde un contact étroit.

Ce néologisme est dû à **Wilson (1959)** il décrit le recrutement des congénères au sein des sociétés de *Cardiocondyla venestula* et *C. emeryi*. Quand une ouvrière découvre une source alimentaire, elle retourne vers son nid en déposant une piste chimique à l'aide de phéromones issues de son intestin postérieur. Parvenue dans sa colonie elle se livre à un « comportement d'invitation ».

Elle agrippe un congénère par les mandibules, le tire en arrière sur quelques centimètres lâches pris puis fait demi-tour. La phase « recrutement » n'implique donc pas l'émission d'un signal chimique, elle est purement mécanique. Le tandem se met en route, la recrutée touchant en permanence de ses antennes l'abdomen ou les pattes postérieures de la recruteuse. Si la phase « recrutement » est purement mécanique, la liaison entre les deux partenaires au cours de leur déplacement vers la source alimentaire fait, elle, appel à la fois à des signaux mécaniques et chimiques. Cela apparaît clairement dans le comportement de *Pachycondyla obscuricornis*, une Ponerinae étudiée par **Traniello et Hölldobler (1984)**.

Le tandem chez les Myrmicinae marque une étape évolutive. La phase « recrutement » est désormais plus chimique que mécanique. L'initiative de la formation du tandem appartient à l'ouvrière recruteuse qui se livre à un appel chimique ou « tandem calling » (**Möglich et al., 1974**).

L'ouvrière recruteuse de *Leptothorax acer* dresse son abdomen, fait saillir son aiguillon et émet une goutte de phéromone qui attire un congénère, le tandem ainsi constitué se mettant en marche. Si lors du déplacement le contact antennaire entre les deux partenaires est rompu, le leader émet une nouvelle goutte attractive. La phéromone est issue de la glande à poison, mais un abdomen privé de son appareil venimeux reste attractif (**Möglich, 1979**).

Le tandem running des myrmécines présente donc un mélange de signaux chimiques et physiques. Ce comportement est aussi utilisé pour le déménagement vers un nouveau nid lorsque les conditions de vie dans l'ancien gîte deviennent difficiles. C'est ainsi que chez les *Leptothorax*, une ouvrière recruteuse, après un « tandem calling », amène un congénère vers le nouveau nid (**Möglich, 1978**).

### VII.2.2. Recrutement de groupe

Dans le recrutement de groupe, plusieurs congénères suivent un leader à chaque sortie. La recruteuse de *Camponotus socius* exécute à l'intérieur du nid une parade motrice particulière, marquée par des oscillations horizontales de la tête et du thorax à raison de 6 à 12 par seconde (**Hölldobler, 1971 a**). Cette « waggles dance » suffit, à l'exclusion de tout message chimique, à déterminer la sortie d'une trentaine d'ouvrières qui suivront leur leader, un peu à la manière des wagons d'un train. Le leader dépose sur le sol un mélange de phéromones issues de son intestin postérieur et de sa glande à poison. La phéromone de l'intestin postérieur, de l'acide formique, maintiennent les partenaires dans un état d'excitation qui renforce leur motivation à suivre le leader. Celle issue de la glande à poison guide les ouvrières recrutées. Le recrutement de groupe est bien adapté quand le poids de la proie dépasse les capacités de traction d'une seule ouvrière. C'est la stratégie utilisée par *Formica schaufussi* et par de nombreuses espèces ponéro-morphes qui accomplissent des raids de chasse pour s'emparer de leurs proies (**Robson et Traniello, 1998**).

C'est ainsi que *Leptogenys kitteli* capture des sauterelles (**Baroni Urbani, 1973**).

Le recrutement peut aussi impliquer les vibrations que les fourmis produisent à l'aide des dispositions anatomiques situées au niveau du pétiole. La fourmi granivore *Messor capitatus* utilise ces vibrations transmises par le substrat pour recruter des congénères (**Baroni Urbani et al., 1988**).

### VII.2.3. Recrutement de masse

Dans cette stratégie les fonctions de recrutement et d'orientation sont dévolues à l'information chimique délivrée par la piste phéromonale. Il n'y a plus de leader. Pour autant qu'on le sache, les parades motrices de recrutement restent le plus souvent présentes, mais elles sont discrètes. Peut-être elles sont plus fréquentes qu'on ne le pense, surtout si elles prennent une forme difficile à percevoir comme la production de phénomènes vibratoires. Les Dolichoderinae ont souvent des nids très peuplés, ce qui favorise le recrutement de masse. Les conditions qui président à l'exploration d'un nouveau territoire et à l'établissement de la piste de recrutement chez la fourmi d'Argentine ont fait l'objet de travaux approfondis par **Aron et al (1989)** et **Deneubourg et al (1990)**.

Ces auteurs ont montré que l'accès à un nouveau territoire inconnu détermine une sortie massive des ouvrières, associée à une exploration collective de l'aire. La colonne des ouvrières progresse vers le territoire inconnu, les animaux du front formant un éventail qui

s'élargit au fur et à mesure que la colonne progresse. Les fourmis appartenant à l'éventail explorent individuellement l'aire au hasard. En même temps que le front avance, une piste chimique se forme entre ce front et le nid, tandis que le nombre d'ouvrières engagées augmente ce qui traduit l'existence d'un recrutement.

A la différence des exemples précédents, la piste n'est pas construite entre deux points (le nid et la source de nourriture), mais progresse vers un terrain inconnu. Une autre particularité du fourragement de la fourmi d'Argentine est que le marquage de la piste est le fait de quasiment toutes les ouvrières recrutées et qu'il est permanent. Il est donc réalisé tant pendant le trajet aller que pendant le trajet retour (Aron *et al.*, 1989).

## VIII. Relations biotiques

### VIII.1. Fourmis-insectes

#### VIII.1.1. Parasitisme social

Chez les fourmis, on parle de parasitisme social quand une société d'une espèce vit aux dépens d'une société d'une autre espèce. Les colonies utilisées comme hôtes par les parasites sociaux peuvent être soit de la même espèce que le parasite c'est le parasitisme intraspécifique soit d'une autre espèce c'est donc le parasitisme interspécifique (Lebas *et al.*, 2016).

#### Xénobiose

Les fourmis qui pratiquent la xénobiose vivent obligatoirement dans le nid d'une autre espèce, mais dans une loge séparée. Elles élèvent leur couvain de manière indépendante et ne le mélangent pas à celui de l'espèce hôte. Elles dépanent de leur hôte pour le nid et pour l'approvisionnement en nourriture. C'est le cas de l'espèce *formicoxenus nitidulus*, elle construit ses nids dans les parois des dômes de *formica* (Lebas *et al.*, 2016).

#### Parasitisme temporaire

Le parasitisme temporaire correspond à l'usurpation d'une colonie par une reine fondatrice. La reine parasite fondatrice pénètre dans une colonie hôte, tue la reine résidente et profite des ouvrières présentes pour élever sa progéniture. Elle n'est pas capable de fonder sa colonie indépendamment. Lorsque les ouvrières hôtes sont toutes mortes, il y a suffisamment d'ouvrières de l'espèce parasite pour assurer le fonctionnement autonome de la colonie. C'est le cas de genre *Bothriomyrmex* qui utilise des *Tapinoma* comme hôtes ; *Lasius fuliginosus* et

*Lasius chthnolasius* parasitent d'autres *Lasius* ; le genre *Formica coptoformica* qui utilise *Formica serviformica* comme hôte (**Lebas et al., 2016**).

## Esclavagisme

La reine des espèces dites esclavagistes ne fonde pas sa colonie de manière indépendante, mais remplace la reine d'une colonie hôte comme le font les parasites temporaires. Tout au long de leur vie, elles effectuent des raids sur des colonies hôtes pour capturer du couvain. Lorsque les ouvrières hôtes émergent dans la colonie du parasite, elles s'acquittent des différentes tâches nécessaires à la vie de la société comme si elles étaient dans leur propre colonie.

Généralement, les espèces esclavagistes ne peuvent pas survivre sans leurs hôtes, car les ouvrières parasites sont bien souvent inefficaces dans les tâches usuelles de la colonie telles que les soins au couvain, l'entretien du nid, l'approvisionnement en nourriture, la défense du nid...

Pour s'alimenter, elles sont entièrement dépendantes des échanges trophallactiques sollicités auprès des ouvrières hôtes. Chez la plupart des espèces esclavagistes, les ouvrières présentent des caractéristiques adaptées au combat, morphologiques (des mandibules en forme de sabre, des antennes et pétiole et post-pétiole épais) et physiologiques (une substance induite à l'agressivité de ses consœurs, pour tuer les ouvrières du nid attaqué). C'est le cas de *Polyergus rufescens*, *Strongylognathus*, *Harpagoxenus sublaevis*..... (**Lebas et al., 2016**).

## Inquilinisme

Les fourmis inquilines produisent essentiellement des individus sexués qui sont élevés par les ouvrières d'une colonie hôtes. Chez la plupart de ces espèces, la caste ouvrière a totalement disparu. C'est le cas de *Anergates atratulus*, *Teleutomyrmex kutteri*, *Teleutomyrmex schneideri*, *Myrmoxenus corsica*, *Murmica Lemasnei* ...

La grande majorité des espèces inquilines ne tue pas la reine de la colonie hôte puisque ces dernières produisent peu ou pas d'ouvrières, ont besoin de la reine hôte pour produire continuellement des ouvrières qui élèveront leur progéniture (**Lebas et al., 2016**).

## VIII.1.2. Trophobie

La trophobie est une association dans laquelle les fourmis obtiennent de la nourriture d'un autre arthropode, sans pour autant le tuer. Elle concerne deux groupes d'insectes, les

hémiptères et les lépidoptères. Ceux – ci produisent des substances sucrées appréciées des fourmis, qui en contrepartie les protègent des prédateurs et des parasitoïdes.

L'ordre des hémiptères est composé de quatre sous-ordres, dont deux sont impliqués dans la trophobie avec les fourmis : les Auchenorrhyncha (cercopes, cicadelles, fulgorides,..) et les Sternorrhyncha (puçerons, cochenilles...) ils sont des suceurs de sève, donc ils ont un régime alimentaire riche en sucre et en eau qui se trouvent en grande quantité dans leurs excréments qui forment ce que l'on appelle « le miellat ». c'est le cas de *Formica*, *Lasius*, *Tetramorium*...

L'ordre des lépidoptères proprement dit les papillons appartiennent à la famille des Lycaenidae. Les chenilles de ces papillons possèdent une glande exocrine, à l'extrémité postérieure de leurs corps, qui produit un liquide sucré apprécié des fourmis. C'est le cas de *Myrmica* (Pierce *et al.*, 2002).

### VIII.1.3. Myrmecophilie

Elle définit l'aptitude d'animaux ou de végétaux à vivre en association avec les fourmis. Elle s'applique principalement aux insectes qui vivent au sein de la fourmilière, parmi les fourmis. Ils peuvent avoir des rôles différents au sein de la colonie. Plusieurs espèces myrmécophiles consomment les déchets tels que les fourmis et les larves mortes ou les champignons qui poussent dans la fourmilière. D'autres se nourrissent parfois des réserves de nourriture des fourmis ainsi que de leurs œufs et de leurs larves. Enfin, certaines leur fournissent des sources de nourriture.

Les sociétés de fourmis sont dites « fermées » ce qui signifie que les ouvrières tuent tout individu étranger à la colonie. De nombreuses espèces d'arthropodes sont cependant capables de pénétrer dans le nid et de s'intégrer plus ou moins intimement à la colonie.

Ces intrus bénéficient d'une protection indirecte permanente face aux prédateurs, parasites et parasitoïdes. L'intégration dans la colonie se fait soit par production de substances apaisantes, soit par l'acquisition de l'odeur coloniale à partir des ouvrières hôtes (camouflage chimique), soit par la synthèse d'une odeur similaire à celle de la colonie hôte (mimétisme chimique).

Chez les orthoptères, par exemple, seuls les grillions du genre *Myrmecophilus* sont myrmécophiles, ils sont obligatoirement associés aux fourmis dans le nid dans lequel ils effectuent l'ensemble de leur cycle, on les trouve surtout chez *phidole pallidula*, *Crematogaster*, *Camponotus* et des *Messor*.

Ainsi, certaines espèces de diptères du genre *Microdon* (famille des Syrphidae, sous-famille des Microdontinae) effectuent leur développement larvaire aux dépens de *Formica lemani*, leurs grosses larves hémisphériques sont parfaitement intégrées dans la colonie, ce qui leur permet de consommer le couvain tout au long de leur développement. Elles synthétisent une odeur similaire à celle de leur hôte, et constituent donc l'un des rares cas de mimétisme chimique. Les adultes quittent le nid immédiatement après l'émergence (**Lebas et al., 2016**).

## VIII.2. Fourmis-plantes

L'omniprésence et l'importance des plantes et des fourmis dans la grande majorité des écosystèmes expliquent l'évolution répétée de nombreux types d'interactions, parfois très spécifiques et spécialisées.

### VIII.2.1. Consommation des graines

Les fourmis ne consomment pas directement les feuilles ou le bois des arbres. Par contre, certaines espèces sont spécialisées dans l'utilisation des graines comme source presque exclusive de nourriture. D'une manière générale, les fourmis granivores sont beaucoup plus fréquentes dans les écosystèmes à végétation rase, riches en herbacées, tels que les prairies, les steppes, les garrigues, les déserts, etc. Les fourmis granivores les plus spectaculaires et les plus faciles à observer sont les espèces du genre *Messor*.

Ces fourmis inféodées aux milieux chauds et secs sont très communes dans la région méditerranéenne. Les ouvrières présentent une grande variation de taille et des adaptations morphologiques au régime granivore. Les plus grandes ouvrières ont de robustes mandibules et une tête hypertrophiée abritant les muscles nécessaires au broyage des graines.

Les ouvrières de certaines espèces de *Messor* portent sous la tête une série de longs poils courbés vers l'avant (le psammophore) qui servent sans doute à faciliter le maintien et la manipulation des graines. Les fourmis des genres *Oxyopomyrmex* et *Goniomma* sont elles aussi essentiellement granivores. *Pheidole pallidula* et les *Tetramorim* ne consomment qu'occasionnellement des graines (**Pierce et al., 2002**).

### VIII.2.2. Myrmécochorie

**Sernander (1906)** a introduit le terme «myrmécochore» pour toute plante appartenant au groupe des angiospermes dont les diaspores (graines, fruits) sont recherchées et dispersées

par les fourmis en raison de la présence de tissus ou de structures particulières attirant ces fourmis qu'il a appelées « élaïosomes » (du grec elaios - huile et somme- corps). Ils peuvent avoir des formes différentes en fonction de leur origine morphologique. Ces structures ne sont pas indispensables à la germination de la graine. La myrmécochorie est un mutualisme facultatif souvent qualifié de « diffus » entre une guildes de plantes et une guildes de fourmis (**Berg, 1966 ; Handel, 1976 ; Beattie et Hughes, 2002, et Garrido *et al.*, 2002**).

Ce mutualisme a été répertorié chez plus de 11 000 espèces de plantes réparties dans 77 familles d'angiospermes (**Lengyel *et al.*, 2010**). Elle a commencé à apparaître chez ces familles il y a 70 à 80 millions d'années (**Lengyel *et al.*, 2010**). Au sein des angiospermes, les groupes de plantes myrmécochores contiennent en moyenne deux fois plus d'espèces que les groupes de plantes non-myrmécochores, ce qui suggère que la myrmécochorie est une innovation évolutive clé et un facteur important de la diversité à l'échelle mondiale (**Lengyel *et al.*, 2010**).



**Figure .03.** Ouvrière de *Lasius niger* attirée par l'élaïosome d'une graine (**Lebas *et al.*, 2016**).

L'attraction des fourmis pour les élaïosomes est liée à la présence de lipides non volatiles caractéristiques, et plus particulièrement la 1-2 dioléine qui imiterait l'odeur des proies des fourmis pour les attirer (**Brew *et al.*, 1989 et Hughes *et al.*, 1994 b**). De nombreux élaïosomes sont riches en nutriments que les fourmis ne peuvent synthétiser indépendamment comme les stérols et des acides linoléiques (**Gammans *et al.*, 2006**). Les élaïosomes sont également enrichis en acides aminés (**Fischer *et Bolton*, 2016**) et représentent un apport calorique supérieur à l'apport calorique que la graine à laquelle ils sont attachés peut elle-même apporter (**Turner et Frederickson, 2013**).

### VIII.2.3. Myrmécophytes

On appelle myrmécophyte ou plante myrmécophile, une plante qui offre aux fourmis un logement naturel utilisé comme nid et souvent aussi comme nourriture sous des formes diverses : trophosomes ou corps nourriciers, nectaires extrafloraux, fruits comestibles, arilles des graines, tissus médullaires, gouttelettes huileuses. En échange, les fourmis défendent la plante contre les défoliateurs et les épiphytes, l'enrichissent en azote par leurs déjections et leurs déchets, cadavres, élaguent les lianes et les mauvaises herbes, disséminent les graines... etc.

Il est certain que peu d'espèces de myrmécophytes nourrissent réellement les fourmis ou du moins leur fournissent à la fois logement et nourriture. Le cas est connu où la plante fournit même le glycogène, substitut appréciable des proies capturées (*Cecropia*). Généralement, la plante fournit les sucres sous forme de nectaires extrafloraux ou même floraux.

Souvent, les fourmis élèvent des Coccides à l'intérieur des tiges et ces insectes leur apportent le sucre nécessaire. Les *Acacia* de l'Est africain ont des épines stipulaires habitées par des *Crematogaster* mais ne produisent pas de corps nourriciers. Les *Barteria* (passifloracées) sont habitées par des fourmis très agressives, les *Pachysima*, qui les défendent et nettoient les mauvaises herbes aux alentours de l'arbre.

On peut ajouter quelques autres familles, telles que les Verbénacées, les Rubiacées chez lesquelles on rencontre des myrmécophytes confirmés. En réalité, peu d'études ont été faites sur les myrmécophytes africains. (**Jolivet et Schnell, 1986** ; **Lebas et al., 2016** et **Brouat, 1999**)

### VIII.2.4. Pollinisation

La pollinisation bien que de nombreuses fourmis visitent les fleurs pour en consommer le nectar, elles participent peu à la pollinisation des plantes. Les ouvrières étant aptères, elles sont bien moins efficaces que les insectes volants pour visiter un grand nombre de fleurs en peu de temps et sur de grandes distances. De plus, les fourmis produisent des substances antibiotiques (sécrétées en particulier par la glande métapleurale), qui sont susceptibles d'endommager les grains de pollen. En fait, dans certains cas, les fourmis peuvent même avoir un effet négatif sur la pollinisation en chassant les pollinisateurs lorsqu'elles visitent les fleurs à la recherche du nectar (**Lebas et al., 2016**).

**Chapitre II :**  
**Présentation des zones  
d'étude**

### I. Présentation des sites d'étude

L'étude a été réalisée au niveau de trois wilayas de l'Est Algérien : Oum el Bouaghi, Constantine et Souk Ahras. Les wilayas sont brièvement présentées selon l'Agence Nationale de Développement et d'Investissement (ANDI).

#### I.1. Wilaya d'Oum El Bouaghi

La wilaya d'Oum El Bouaghi se situe au nord de l'Algérie dans la région des hauts plateaux au centre des wilayas de l'Est algérien et s'étend sur une superficie de 7638,13 km<sup>2</sup>. La wilaya est située au contact du Tell et des Aurès : au nord de la wilaya, on distingue les versants méridionaux du Tell. Au centre, la haute plaine, l'altitude varie de 700 mètres à 900 mètres et parsemée de petits massifs montagneux isolés qui se dressent au-dessus comme le djebel Sidi R'gheiss (1635 mètres d'altitude), ceux-ci forment la partie Est de l'Aurès. Au sud, elle est jalonnée par des dépressions endoréiques (Garaet) ou Sebkhha (lac salé). Le complexe de zones humides de la wilaya d'Oum El Bouaghi est riche par des plans d'eau, une quinzaine parmi ces derniers couvre une superficie de 160 000 hectares. Sept sont classés des sites Ramsar : Chott Tinsilt, Garaet Ank Djemel, El Maghsel, Garaet Guellif, Garaet Tarf (en 2004), Sebkheth El Zemoul (en 2009), les lacs Timerganine et Boulhilet (en 2009). La majorité des oueds sont endoréiques ; ils coulent en direction des lacs salés et non vers la mer Méditerranée, sauf l'oued Settara et les affluents du Rhume.

D'après la synthèse bioclimatique on a abouti que la wilaya d'Oum El Bouaghi bénéficie d'un climat continental de type semi-aride, continental syrien ; froid et pluvieux durant l'hiver, chaud et sec durant l'été ( $I = 12,65$ ). L'étage de la végétation tracé sur le climagramme pluviothermique est semi-aride à un hiver frais ( $Q_2 = 33,30$ ,  $m = 1,44$ ). Selon le diagramme ombrothermique d'Oum El Bouaghi (2008-2017) (Fig 09), on observe que la période sèche s'étale entre le début de Mai et mi-octobre, par contre la période humide s'étend de la deuxième quinzaine d'Octobre et la fin du mois d'Avril. Au niveau de la wilaya, on a choisi trois sites différents : forestier, agricole, aquatique.

##### I.1.1. Djebel de Sidi R'ghiss

Le mont Djebel de Sidi R'ghiss (35° 53'18.74 "N, 07° 07'25.89 "E) fait partie de la forêt des HERACTA qui s'étend sur une superficie de 26000 ha. Il est situé au nord de la ville d'Oum El Bouaghi. Son altitude est de l'ordre de 1635 m et sa superficie est estimée à 3106 ha. Au niveau de ce site, on a sélectionné trois zones de différentes altitudes : au pied de la montagne, à 500 et à 600 m.

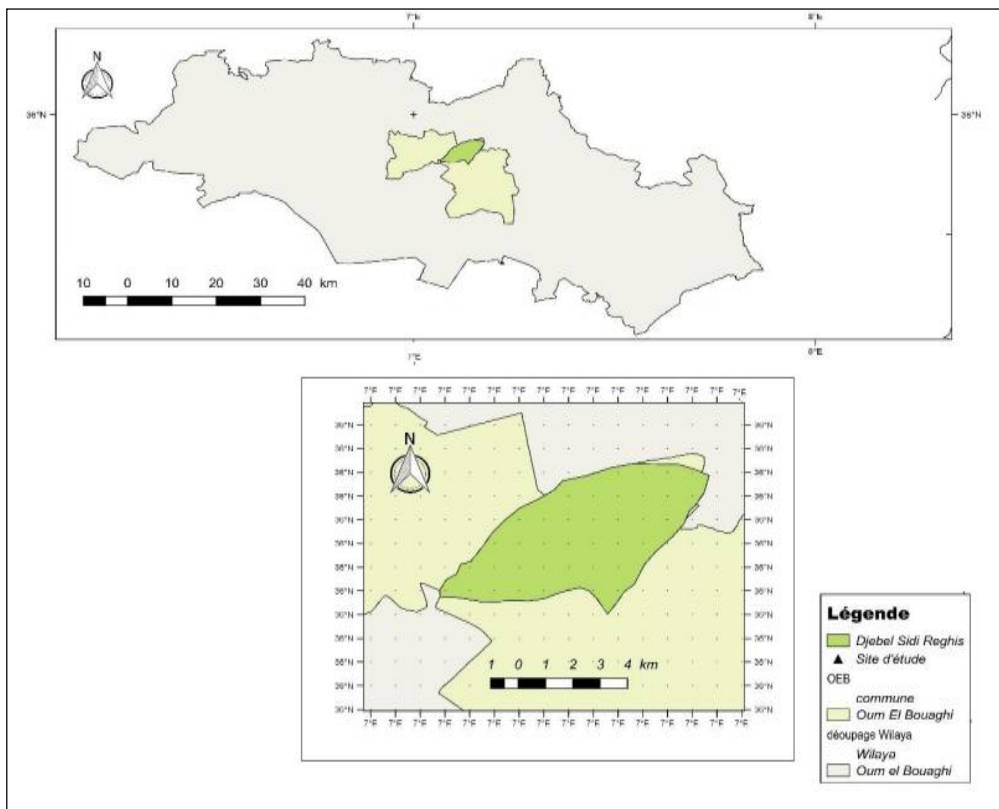


Figure .04. Localisation de Djebel Sidi R'ghiss au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi

(Hafid *et al.*, 2018)

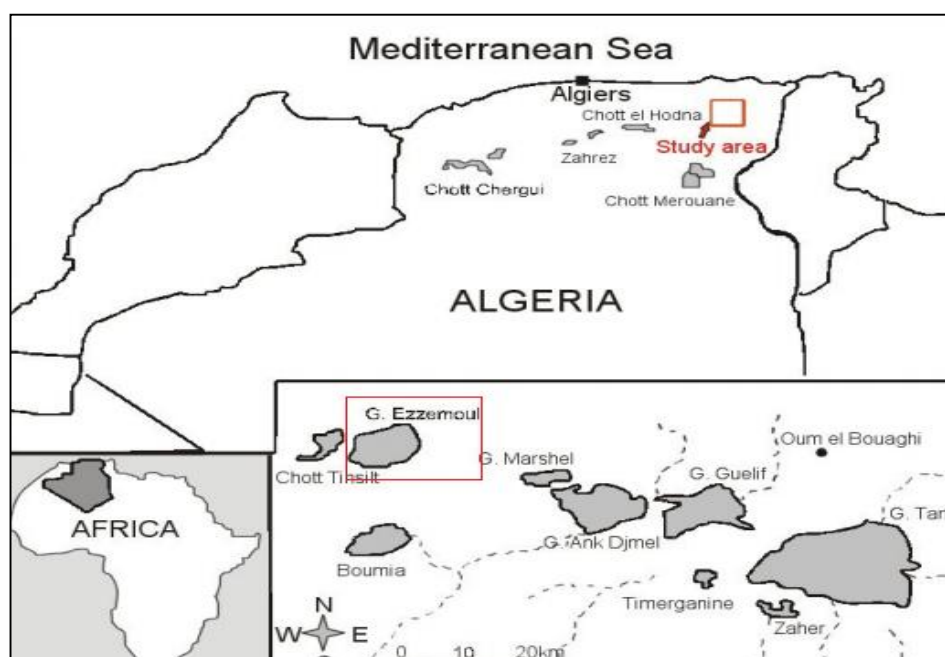
La forêt de djebel sisi Rghiss est formée d'un ensemble naturel caractérisé par un couvert végétal, constitué essentiellement d'espèces autochtones, on y trouve le Chêne vert (*Quercus ilex*), le Genevrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), l'Oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) et l'Olivier sauvage (*Olea oleastre*), son ensemble artificiel est représenté par les reboisements avec une espèce principale le Pin d'Alep *Pinus halpensis* accompagnée de : *Cypressus sempervirens*, *Accasia cyanophilla*, *Eucalyptus camadulensis*.

**Tableau .01.** Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de Djebel de Sidi R'ghiss (Anonyme, 2020).

<b>Espèce</b>	<b>Famille</b>
<i>Astragalus spinosus</i>	Fabaceae
<i>Brassica maurorum Durand</i>	Brassicaceae
<i>Sedum sediforme</i>	Crassulaceae
<i>Hordeum murinum</i>	Poaceae
<i>paronychia kapela</i>	Caryophyllaceae
<i>Reseda alba</i>	Resedaceae
<i>Thymus algeriensis</i>	Lamiaceae
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cupressaceae
<i>Teucrium palium</i>	Labiaceae
<i>Peganum harmala</i>	Zygophyllaceae
<i>Corinilla scorpioides</i>	Fabaceae
<i>Echinops strigosus</i>	Asteraceae
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Cupressaceae
<i>Calicotum spinosa</i>	Fabaceae
<i>Quercus ilex</i>	Fagaceae
<i>Marrubium vulgare</i>	Lamiaceae
<i>plantago minore</i>	Poaceae
<i>Ampelodesma mauritanicum</i>	Poaceae
<i>veronica montana</i>	Scrofulariaceae
<i>Nigella sativa</i>	Rennonculaceae
<i>hyoscyamus niger</i>	Solanaceae
<i>Galium pusilum</i>	Rubiaceae
<i>Rubus ulmifolios</i>	Rosaceae
<i>Papaver rheoas</i>	Papaveraceae

### I.1.2. Lac El Zemoul

Le site aquatique est une partie du lac **Mzouri** ou en arabe **Sebkhha El Zemoul**, aussi connu sous le nom d'*Ezzemoul*, ( $35^{\circ} 52' 11.1''$  N et  $06^{\circ} 29' 51.24''$  E), qui est un lac salé exploité en partie pour l'extraction du sel, et constitue la plus grande zone de nidification de flamants de la Méditerranée. Il est situé à Oum-El-Bouaghi dans la commune Ouled Zouaï au nord-est de l'Algérie. Il est d'une superficie de 6765 ha. Ce lac est cité dans la liste de la convention de Ramsar.



**Figure .05.** Complexe de zones humides dans l'est des Hauts Plateaux d'Algérie contenant le Grand Site de reproduction d'Ezzemoul. (Boulkhssaim et al., 2009)

Le site est divisé en trois zones : la première se trouve au bord du lac, la deuxième à 80 m et la troisième à 200 m. La première zone est caractérisée par la dominance de végétation de type halophyte du genre *Salicornia* et *Cladium*, les deux autres zones englobent plusieurs espèces de plantes herbacées (**Tab.02**).

**Tableau .02.** Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de Sebkh El Zemoul (**Anonyme, 2020**)

<b>Espèce</b>	<b>Famille</b>
<i>Thymus vulgaris</i>	Lamiaceae
<i>Lolium perenne</i>	Poaceae
<i>Bellis perennis</i>	Asteraceae
<i>Sedum sediforme</i>	Crassulaceae
<i>Salicornia europaea</i>	Amaranthacées
<i>Marrubium vulgare</i>	Lamiaceae
<i>Silybum marianum</i>	Asteraceae
<i>Onopordum illyricum</i>	Asteraceae
<i>Juncus effusus</i>	Juncaceae
<i>Reseda luteola</i>	Resedaceae
<i>Hordeum murinum</i>	Poaceae
<i>Atriplex halimus</i>	Amaranthaceae

### I.1.3. Site agricole

C'est un terrain à vocation agricole (Céréales, cultures maraîchères). Ces coordonnées sont 35° 51'03.48" N, 07° 08'25.09" E. Ce dernier est divisé en deux zones : les bords et le centre des champs. La végétation abondante dans ce site est de type herbacé (**Tab.03**).



**Figure .06.** Vue satellite présentant le site d'étude de type agricole au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi (**Google earth**)

**Tableau .03.** Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de type agricole au niveau de deux wilayas Oum El Bouaghi et Constantine (**Anonyme, 2020**)

Espèce	Famille
<i>Centaurea calcitrapa</i>	Asteraceae
<i>Sinapis arvensis</i>	Brassicaceae
<i>Malva sylvestris</i>	Malvacées
<i>Silybum marianum</i>	Asteraceae
<i>Onopordum illyricum</i>	Asteraceae
<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae
<i>Hordeum murinum</i>	Poaceae
<i>Tolpis staticifolia</i>	Asteraceae
<i>Matricaria chamomilla</i>	Asteraceae
<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae
<i>Hordeum vulgare</i>	Poaceae

**I.2. Wilaya de Souk Ahras**

La wilaya de Souk Ahras se situe à l'extrême Est du pays, près de la frontière tunisienne à 640 Kilomètres d'Alger. La wilaya occupe une superficie de 4 360 Km<sup>2</sup>, Elle présente un relief accidenté avec une altitude moyenne de 1 000 m au Nord et 650 m au Sud. Deux ensembles non homogènes déterminent la configuration géomorphologique de la Wilaya : Le Nord, montagneux et forestier d'une superficie de 1.879,58 Km<sup>2</sup> ; le Sud, constitué de hautes plaines et de pâturage sur une superficie de 2 480,07 Km<sup>2</sup>. La wilaya se trouve sur les hauteurs de l'Atlas tellien, elle est exposée aux influences climatologiques méditerranéennes d'une part et désertiques d'autre part. La synthèse bioclimatique démontre que la wilaya de Souk Ahras a un climat continental de type tempéré : un été chaud et sec et un hiver froid et humide **I = 29,53**, l'étage de la végétation tracé sur le climagramme pluviothermique est sub-humide à un hiver tempéré (**Q<sub>2</sub> = 91,99, m = 3,78**). Selon le diagramme ombrothermique de Souk Ahras (2008-2017) (**Fig.09**), on observe que la période sèche s'étale de la mi-Mai à mi-Septembre, par contre la période humide s'étend de la seconde moitié de Septembre jusqu'au début de Mai. Les vents dominants sont ceux de Nord-Ouest et le Sirocco du Sud-ouest qui dure environ 20 jours/an.

Les potentialités hydriques de la Wilaya de Souk-Ahras sont estimées à 265 Millions de m<sup>3</sup>/an, elles sont appréciables de par leur pluviométrie (variant de 800 mm/an au Nord à 300 mm/an au Sud). Elles sont constituées des eaux souterraines et des eaux de surface, ces dernières sont composées principalement de deux grands Barrages d'une capacité globale de 239 Millions de m<sup>3</sup> : Barrage d'Ain-Dalia d'une capacité de 82 Millions de m<sup>3</sup>, et celui de Foum El Khenga sur l'Oued Charef, d'une capacité de 157 Millions de m<sup>3</sup>.

Le site choisi au niveau de la wilaya de Souk Ahras est celui d'oued Charef qui porte le code « 14.01/14.02 » situé dans la partie nord-est du territoire algérien. Il constitue la région limitrophe de trois wilayas Souk Ahras ; Guelma et Oum El Bouaghi. Ce bassin faisant partie du bassin versant de la Seybouse est de forme triangulaire, il s'étale sur une superficie de 2900 Km<sup>2</sup> avec un périmètre de 57 Km. Le bassin d'oued Charef est divisé en deux : le bassin haut charef (14.01) d'une longueur de 25 km avec une superficie de 1739 km<sup>2</sup> et le bassin bas charef (14.02) qui s'étale sur une longueur de 32 km, d'une superficie de 1166 km<sup>2</sup> (**Ghachi, 1986**).

Notre site d'étude fait partie du haut Charef (**36° 06' 14.49" N, 07° 22' 44.36" E**) aux limites Ouest de la ville de Souk Ahras, les eaux sont destinées à l'irrigation.

Le terrain expérimental est divisé en deux stations : le bord, et un milieu agricole distant à environ 80 mètres de l'oued.



**Figure .07.** Vue satellite présentant le site d'étude au bord d'Oued Charef (**Google earth**).

La végétation est peu dense de type herbacé et arbustes (**Tab.04**), pour la zone agricole, elle comporte des terrains à vocation agricole cultivés ou laissés en jachère, pour les cultures pratiquées on peut citer : céréale ; cultures maraîchères.

**Tableau .04.** Liste des espèces végétales inventoriées sur les parcelles de terrain expérimentées de haut Charef (**Anonyme, 2020**)

L'espèce	La famille
<i>Cnidium monnieri</i>	Apiaceae
<i>Centaurea collina</i>	Asteraceae
<i>Succisa pratensis moench</i>	Dipsacaceae / Caprifoliaceae
<i>Tamarix gallica</i>	Tamaricaceae
<i>Dittrichia sp</i>	Asteraceae
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae
<i>Euphorbia palustris</i>	Euphorbiaceae
<i>Plantago ovata</i>	Plantaginaceae
<i>Panicum virgatum</i>	Poaceae
<i>Silybum marianum</i>	Asteraceae
<i>Lygeum spartum</i>	Poaceae

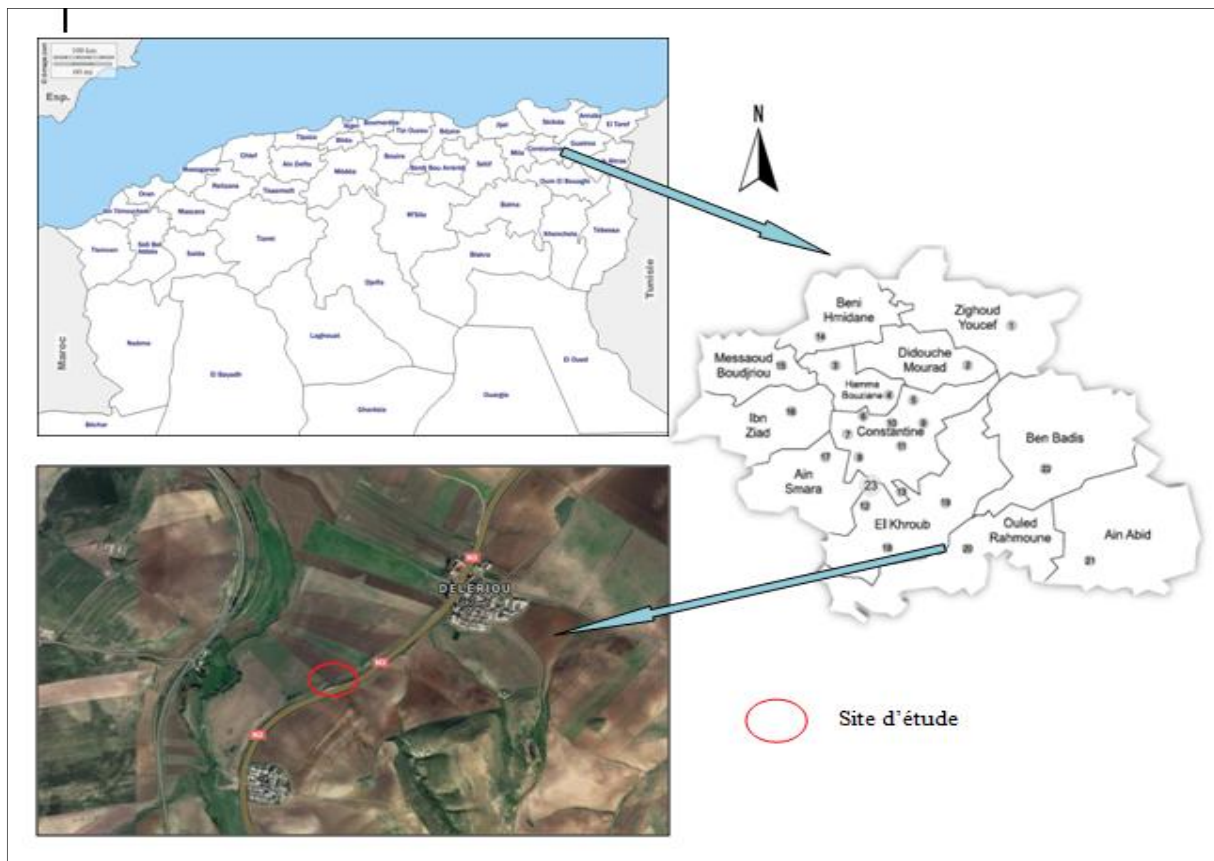
<i>Triticum aestivum</i>	Poaceae
<i>Hordeum vulgare</i>	Poaceae
<i>Elytrigia repens</i>	Poaceae
<i>Ziziphus spina-christi</i>	Rhamnaceae

### I.3. Wilaya de Constantine

La wilaya de Constantine se situe en plein centre de l'Est algérien. Elle est bâtie sur un majestueux rocher situé sur les deux côtés de Oued Rhumel, elle est ainsi cernée par de véritables obstacles naturels, elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 2297,20 Km<sup>2</sup>. La zone montagneuse au nord-est un prolongement de la chaîne tellienne qui s'abaisse vers l'Est, elles prennent des directions d'ensemble Sud-Ouest et Nord-Est qui sont dominées respectivement par le mont de Chettaba et le massif de Djebel Ouahch. A l'extrême Nord aux limites de la wilaya de Mila et Skikda on trouve le mont Sidi Driss qui culmine à 1364 m d'altitude. La zone des bassins intérieurs est un ensemble en forme de dépression s'étend d'Est-Ouest de Ferdjioua dans la wilaya de Mila à Zighoud-Youcef. Elle est limitée au Sud par les hautes plaines avec une altitude variant de 500 à 600 m ; cet ensemble composée de basses collines est entrecoupé par les vallées du Rhumel et de Boumerzoug. Les hautes plaines situées en Sud-Est de la wilaya entre les chaînes intérieures de l'atlas tellien et l'atlas saharien, elles s'étendent sur les communes de Ain Abid et de Ouled Rahmoune.

La région de Constantine est soumise à l'influence du climat méditerranéen semi-aride froid et pluvieux durant l'hiver, chaud et sec durant l'été (**I= 19.03**) et une longue période de sécheresse estivale qui s'étalent de fin Mai jusqu'à la fin d'Octobre. Le quotient (**Q2=50.29, m=2.2**) place notre périmètre d'étude dans un climat semi-aride à un hiver frais.

Notre site choisi est un terrain agricole cultivé en céréales situé au niveau de la commune d'El Khroub, avec des coordonnées géographiques : 36° 13'08.22" N et 06° 41'50.43 "E. (**Fig.08**). La végétation abondante est de type herbacé (**Tab .03**).



**Figure .08.** Vue de satellite représentant la zone d'étude au niveau de la wilaya de Constantine (**Google earth**)

La détermination de la saison sèche par une représentation graphique confirme que nos zones d'étude ont un climat méditerranéen (**Fig .09**).

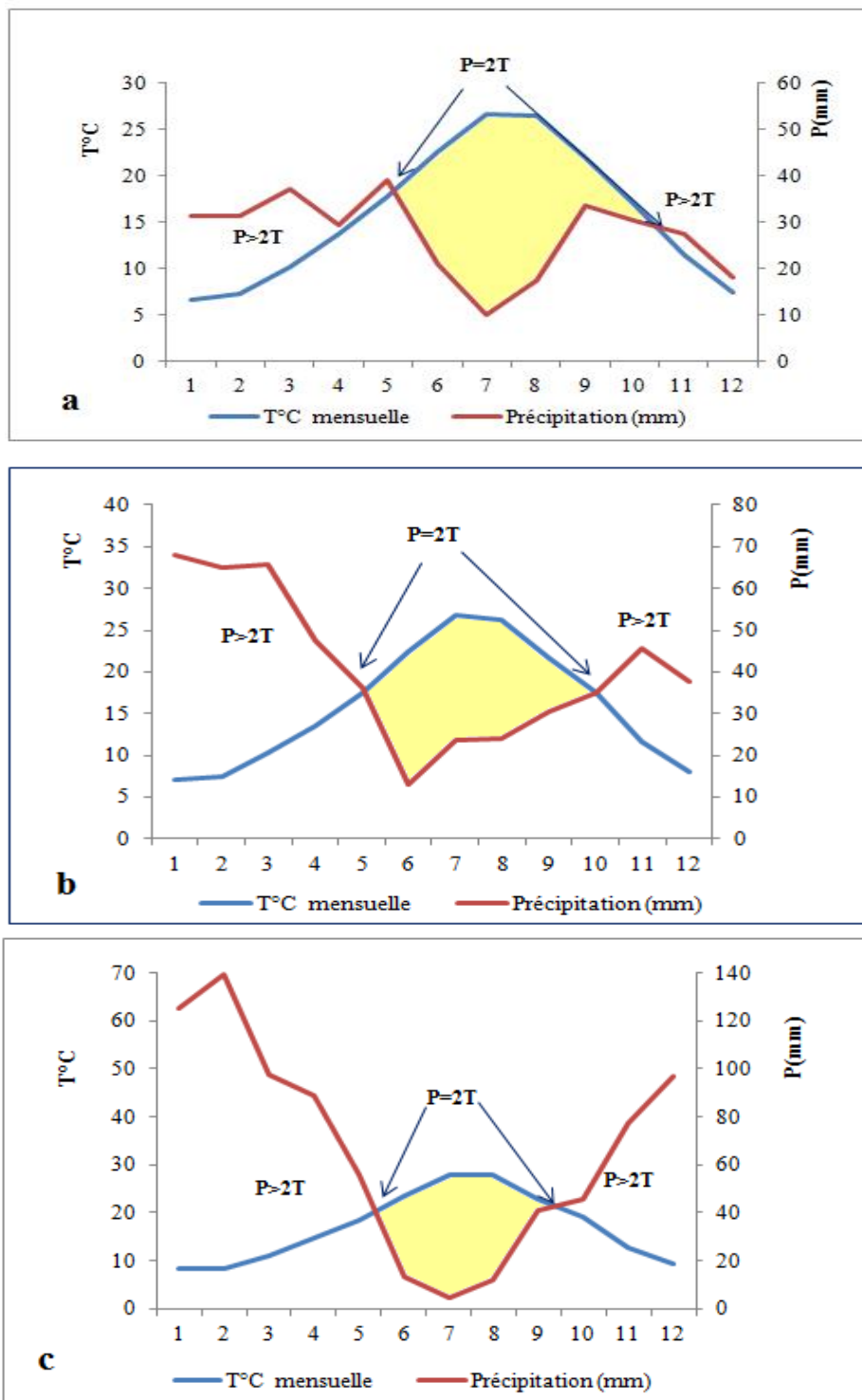


Figure .09. Diagramme Ombrothermique des régions d'étude (2008-2017).

(a : Oum El Bouagui, b : Constantine, c : Souk Ahras)

Selon le calcul du quotient d'Emberger, les différentes zones d'étude sont représentées sur le climagramme schématisé dans la **figure 10**.

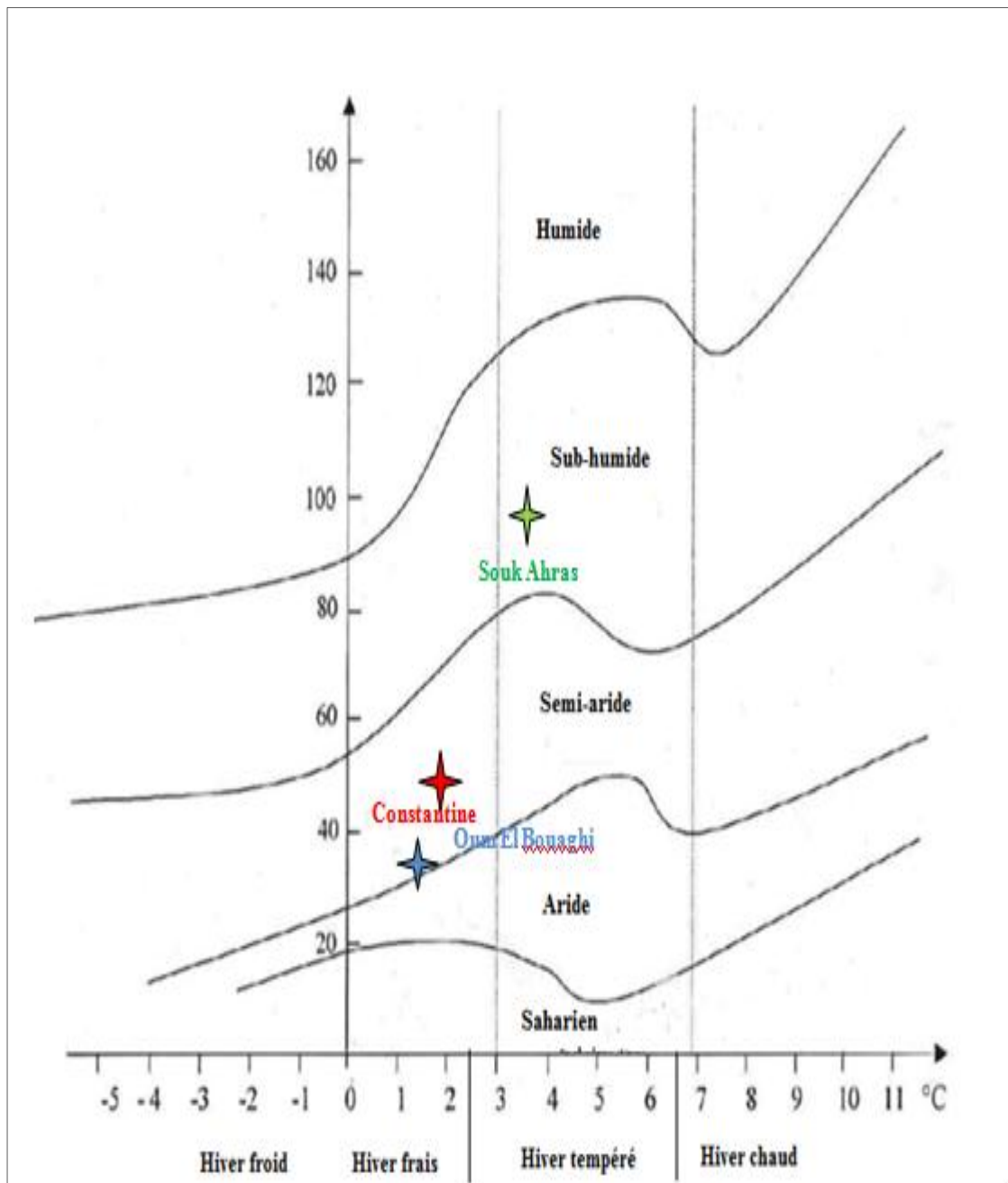


Figure .10. Climagramme d'Emberger de différentes wilayas.

# **Chapitre III :**

## **Matériel et méthodes**

L'écologie c'est l'étude des relations des organismes avec leur environnement. Ainsi c'est l'étude des interactions qui déterminent la distribution et l'abondance de ces organismes. C'est pour cette raison qu'on a essayé d'étudier les facteurs biotiques et abiotiques qui influencent la distribution des fourmis dans les différents sites d'études.

Le présent travail comprend trois volets :

- ✓ Le premier est consacré à l'identification des fourmis capturées dans les différentes zones d'étude.
- ✓ Le deuxième est basé sur l'étude des facteurs abiotiques.
- ✓ Le troisième sur les facteurs biotiques.

### Partie I. Identification des espèces étudiées

#### I.1. Méthodes et matériels utilisés sur le terrain

La méthode d'échantillonnage exige une ou plusieurs techniques de collecte des données et l'établissement d'un plan d'échantillonnage en fonction d'une stratégie, cette dernière est choisie grâce aux quelques informations qu'on a sur la population (**Riba et Silvy, 1992**). La mise au point des techniques d'échantillonnage et de piégeage adéquates donne une représentation significative des populations étudiées (**Benkhelil, 1992**).

Il existe de très nombreux types de piégeage, chacun d'eux est plus ou moins adapté à l'écosystème analysé. D'une façon plus générale, nous retenons que le piégeage doit être : économique, rapide, facile à l'emploi et quantitatif (**Benkhelil, 1992**). L'emploi simultané de plusieurs méthodes d'échantillonnage est le meilleur moyen d'évaluer la biodiversité. Toutes les méthodes ont leurs points forts et leurs points faibles et seule une combinaison de plusieurs d'entre elles permettra d'obtenir un échantillon représentatif utile à la réalisation de la plupart des objectifs de recherche (**Danks, 1996**).

##### I.1.1. Échantillonnage

L'échantillonnage est effectué lors 08 mois de travail de Mars à octobre pendant deux années (2016-2018) .Il a réalisé par l'utilisation de la méthode des carrés consiste à compter les fourmières présentes dans 10 carrés pris au hasard, de 100 m<sup>2</sup> chacun (**Cagniant, 1966**)

##### I.1.2. Piégeage

###### La chasse à vue

Elle consiste à capturer les insectes directement à la main sans faire appel à un matériel particulier (**Lamotte et Bourlliere, 1969**) et (**Bernadou et al., 2006**). Les échantillons des

individus mis dans des flacons contenant l'éthanol à la concentration de 70 % qui sont nommés, datés et particularisés pour une seule espèce. Les individus capturés sont ensuite identifiés et dénombrés. La taille de la fourmilière est déterminée par le nombre des fourmis sortant des nids pendant une demi-heure à l'intervalle de trois minutes distinctes (**Bouzekri et al., 2015**).

### Pots Barber

On a utilisé des boîtes de conserve remplies d'eau et un peu du savon liquide. Ce type de piège permet de capturer divers arthropodes marcheurs, des coléoptères, des larves, des araignées, ainsi qu'un grand nombre d'insectes volants (**Benkhelil, 1992**).

### Parapluie japonais

Le parapluie japonais est constitué d'un 1 m 2 s de toile. Il est tondu par deux tiges de bois de 16 mm de section, cet instrument rend de grands services pour la récolte des insectes vivant sur les branches de l'arbuste ou de l'arbre (**Meriquet et al., 2001**).

### Les sachets en plastique

Les sachets nous permettent de conserver les différentes parties d'une plante qui souvent peut contenir des arthropodes (feuille, tige, brindilles...). On les utilise pour la conservation pour une courte durée des échantillons récoltés, en vue de les amener au laboratoire pour l'identification.

## I.2 Méthodes et matériel utilisés au laboratoire

L'identification est faite au laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire munie d'un oculaire micrométrique afin de prendre les mensurations des différentes parties anatomiques. De différents guides sont utilisés pour faciliter l'identification : guide Delachaux 2016 et des listes de fourmis algériennes réalisées par **Cagniant (1968 ; 1969 ; 1973)**.

Les différentes mensurations effectuées sur trois ouvrières des fourmis échantillonnées de chaque caste *minor/major* sont : la longueur totale du corps (Lco), la longueur de la tête (Lte), la largeur de la tête (Lat), la longueur du gastre en vue latérale (Lg), la longueur du scape (Lsc), la longueur du thorax (Lth), la largeur du pronotum (Lp), la longueur du mesosoma (Lm), la longueur de l'œil, le grand diamètre (Lo), la longueur du nœud pétiolaire (Lpe), la largeur (hauteur) du nœud pétiolaire (Hpe), la longueur du post pétiole (Lpp), la largeur du post pétiole (Hpp).

Des indices calculés représentent les rapports entre les dimensions de différentes parties anatomiques d'une fourmi (voir tableau ci-dessous).

**Tableau. 05.** Indices standards utilisés lors de l'identification des fourmis, **Cagniant (1967)**.

Indice	Sigle	Équation
Taille	It	$(Lte+Lat)/2$
Céphalique	Ic	$(Lat/Lte) 100$
Dorsale thoracique	Idt	$(Lth/Lp) 100$
Scape	Is	$(Lsc/Lat) 100$
Oculaire	Ioc	$(Lo/Lat) 100$
Nœud pétiolaire	Inp	$(hpe/Lpe) 100$

### I.3. Inventaire des espèces capturées

Un inventaire simple des espèces capturées est exploité par l'utilisation des deux indices de composition (Richesse spécifique, Abondance relative) et par l'analyse en composantes principales (A.C.P.).

#### I.3.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique totale d'une biocénose correspond à la totalité des espèces qui la compose (**Ramade, 1984**).

#### I.3. 2. Abondance relative des espèces (AR %)

La connaissance de l'abondance relative traduit un certain intérêt dans l'étude des peuplements notamment la répartition et les fluctuations des espèces (**Ramade, 1984**). C'est une notion qui permet d'évaluer une espèce ( $n_i$ ) par rapport à l'ensemble des peuplements d'animaux confondus ( $N$ ) dans un inventaire faunistique (**Faurie *et al.*, 1980 ; Dajoz, 1971 et Blondel, 1975**). Cet indice est considéré comme un outil qui sert à quantifier et interpréter en valeur la diversité et la dominance des différentes communautés de Formicidae

$$AR \% = (ni/N) 100$$

**ni** : Nombre d'individus de l'espèce *i* rencontrée dans *N* relevés ;

**N** : Nombre total des individus de toutes les espèces rencontrées dans *N* relevés.

### **I.3.3. Analyse en composantes principales (A.C.P.)**

L'analyse en composante principale est une méthode de base de l'analyse multidimensionnelle. Elle permet de diminuer la dimension de la taille d'un problème traité qui n'est pas apte avec les autres méthodes (**Delagarde, 1983**). L'A.C.P permet l'interprétation d'un nombre de variables quantitatives (*q*) plus ou moins corrélées en (*n*) variables quantitatives indépendantes appelées composantes principales. Elle a pour objectif de présenter sous une forme graphique le maximum d'information contenue dans un tableau de données (**Philippeau, 1992**). On a l'utilisé pour interprété le nombre des espèces de fourmis existées dans un biotope donné.

## **Partie II. Étude des facteurs abiotiques influents la distribution et l'activité des fourmis**

### **II.1. Étude du sol aux alentours des fourmilières**

#### **II.1. 1. Prélèvements du sol**

Le sol étudié dans notre expérimentation a été prélevé au niveau des différents nids des sites étudiés.

Les prélèvements de sol ont été effectués à l'horizon de surface (0 – 30 cm) à l'aide d'une tarière à main dans de différents sites et placés dans des sacs en plastique d'environ 500 g du sol. Ce dernier a subi un séchage à l'aire libre pendant quelques jours et tamisage (2 mm de diamètre) de façon à obtenir une granulométrie plus au moins grosse (**Baize, 2000**).

Des analyses granulométrique et physico-chimique des échantillons du sol ont été réalisées au niveau de laboratoire d'Institut National des sols de L'irrigation et du Drainage Oum el Bouaghi (INSID).

#### **II.1.2. Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a pour but de donner la composition élémentaire ou la texture d'un sol. Elle permet de classer les particules minérales en un certain nombre de fractions par catégorie de diamètre (on suppose que ces particules minérales sont sphériques).

L'association internationale des sciences du sol adopte l'échelle d'Atterberge qui trie les particules selon les classes montrées dans le tableau 6. L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale utilisant la pipette de Robinson pour la fraction inférieure à 0,02 mm (argile, limons) (Clement et Françoise, 2003).

**Tableau.06.** Classes de différents types des particules minérales  
(Clement et Françoise, 2003)

Classe	Diamètre de particules minérales (mm)
Argile	0,002
Limons fins	0,002 à 0,02
Limons grossiers	de 0,02 à 0,05
Sable fin	0,05 à 0,2
Sable grossier	de 0,2 à 2

### II.1.3. Analyse physico-chimique du sol

#### Acidité du sol (pH eau)

Le pH d'eau du sol ou l'acidité actuelle est une expression de la concentration en ions hydrogènes ( $H^+$ ) d'un liquide surnageant dans un bicher, après agitation d'une certaine quantité de sols dans de l'eau distillée, à une température de 25 ° c, nous avons mesuré le pH eau du sol par électrométrie à l'aide d'un pH - mètre, sur une suspension du 20 g du sol dans 50 ml de l'eau distillée (2/5) selon la méthode préconisée par l'Association française de Normalisation AFNOR (numéro de référence X 31-103) (Clement et Françoise, 2003).

#### Conductivité électrique

La CE (ds/m) est déterminée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait aqueux au 1/5 du sol. La conductivité électrique spécifique est déterminée selon la norme internationale ISO (numéro de référence ISO 11265) (Hamouni *et al.*, 2004).

#### Calcaire actif

Le  $CaCO_3$  actif (%) est déterminé par la méthode Drouineau - Galet en utilisant l'oxalate d'ammonium qui se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre (calcaire

actif) pour former des oxalates de calcium insolubles. L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (**Clement et Françoise, 2003**).

### ✚ Carbone et la matière organique

Le carbone organique (%) est dosé par la méthode « Anne », dont il est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr (qui réduit les bichromates) en présence de diphénylamine. (**Clement et Françoise, 2003**). Le taux de la matière organique est déterminé par la formule :

$$\text{MO \%} = \text{C \%} \times 1,72.$$

### ✚ Estimation de valeur d'humidité des nids

La notion d'humidité pondérale (W), qui correspond à la masse d'eau contenue par unité de masse de sol sec :

$$W = M_{\text{eau}}/M_{\text{sol}}$$

Où  $M_{\text{eau}}$  et  $M_{\text{sol}}$  sont la masse d'eau et de sol sec d'un échantillon. La mesure (gravimétrique) de l'humidité pondérale est réalisée par pesée de l'échantillon (prélevé à la tarière par exemple) avant et après passage à l'étuve (à 105 °C pendant 24 h, minimum) pour en évaporer l'eau contenue (**Delalande et al., 2017**).

## II.2. Étude de la micro-climatologie

La structure de la fourmilière est un facteur très important pour la survie de l'espèce. Nous sommes donc intéressés aux différents paramètres influant les fourmilières rencontrées.

### II.2.1. Étude de l'ombrage

Afin de déterminer le couvert végétal et la lumière reçue par la fourmilière, une photographie de la canopée a été effectuée à l'aide d'un appareil photo numérique menu d'objectif Fish-eye. Les photos hémisphériques ont été réalisées. Grâce au logiciel GLA (Gap Light Analyser), nous avons analysé les images obtenues et déterminé les paramètres suivants : l'ouverture de la canopée, le LAI (Leaf Area Index), la quantité de lumière transmise arrivant sur la fourmilière et le rapport du rayonnement transmis.

## II.2.2. Étude des paramètres climatiques influents sur l'activité des fourmis

### II.2.2.1. Différentes castes composantes une fourmilière

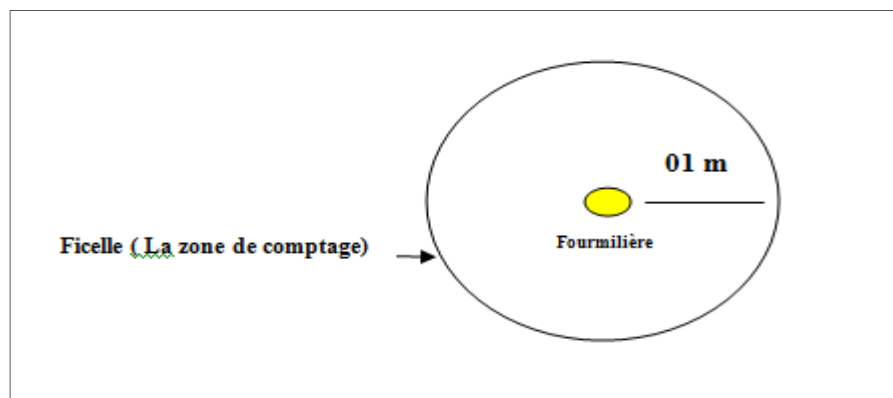
Les ouvrières sont les individus les plus nombreux et actifs au sein d'une fourmilière. Afin de déterminer les différentes castes des ouvrières, des fourmis sont prélevées et leur taille mesurée depuis la tête jusqu'à l'abdomen à l'aide d'une loupe binoculaire. Un nombre de 40 fourmis est pris aléatoirement afin d'obtenir des résultats plus précis.

### II.2.2.2. Estimation de l'activité journalière des fourmis

Afin d'estimer l'activité journalière des fourmis, une piste principale a été définie. À une distance de 80 cm jusqu'à 01 mètre du centre de la fourmilière, on a placé un repère constitué d'une ficelle tendue entre deux sardines. Toutes les fourmis qui franchissent le repère pendant 05 minutes sont comptées à l'aide d'un compteur manuel. L'expérience s'est déroulée de 8 h 30 à 18 h toutes les 30 minutes (**Fig.11**).

À chaque mesure, la température, et la vitesse du vent sont relevées au-dessus de la fourmilière. L'intensité lumineuse est non mesurée à cause de l'absence de luxmètre.

Pour évaluer la relation entre le flux de fourmis et les facteurs de température et du vent on a utilisé le model de régression linéaire multiple dont on a considéré le nombre de fourmis comme la variable dépendante et les facteurs abiotiques comme des variables indépendantes (**Labelle et al., 2012**).



**Figure .11.** Schéma de l'expérience portant sur le calcul du flux journalier des fourmis (**Labelle et al., 2012**).

### II.3. Etude de mécanisme d'orientation

#### II.3.1. Orientation par les repères visuels

Le test d'orientation visuelle est inspiré de l'expérience de **Rostaing *et al.*, 2010**, il consiste à modifier des repères spatiaux utilisés par les fourmis. Nous avons utilisé une arène carrée à quatre entrées, qui relie la fourmilière (première entrée) à une source de nourriture (deuxième entrée) de telle façon que les fourmis soient obligées d'y entrer pour s'approvisionner. Les deux autres accès sont des voies sans issue (**Fig 01, annexe 02**). Chaque sortie est affectée d'un symbole servant de repères visuels colorés (Carré, Croix, Rond, Triangle). Après avoir attendu que les fourmis s'habituent à leur nouvel environnement, nous avons compté le nombre de fourmis empruntant chaque galerie pendant trois minutes (cinq comptages à une minute d'intervalle). Nous avons ensuite effectué une rotation horaire de l'arène à 90° pour modifier la position des symboles. Puis le comptage précédent a été répété afin de comparer le nombre d'individus avant et après la rotation. Les phéromones de piste sont effacées par l'eau juste avant la rotation. **Rostaing *et al.* (2010)** ont retiré la source de nourriture, en la remplaçant par une voie sans issue pour éviter l'attraction des fourmis par la nourriture. Cependant nous avons laissé cette source pour confirmer le mode de recrutement de nourriture adopté par les fourmis étudiées. Les résultats obtenus sont présentés par des histogrammes traduisant le nombre des fourmis qui empruntent chaque voie.

#### II.3.2. Orientation astronomique

L'expérience est inspirée à partir des travaux de **Santschi (1911)** et **Brun (1914)** qui consistaient à modifier artificiellement la position de soleil afin d'observer un éventuel changement de direction des fourmis par rapport à une situation « témoin » précédemment observée. Après avoir localisé la fourmilière (Point A) et une piste, nous avons déposé une source de nourriture sur cette dernière à une distance d'environ 01 mètre (point B) et laissé les fourmis s'habituer à ce changement. Nous avons ensuite observé leur attitude en condition naturelle, en décrivant leur comportement pendant 10 minutes et on note l'angle créé entre la position du soleil et le chemin. Ces observations nous ont servi de témoin pour la suite de l'expérience. Après nous avons arrosé la piste d'eau pour effacer les phéromones et au même temps nous avons placé un grand carton pour masquer la vraie position du soleil. Puis à l'aide d'un miroir, nous avons modifié la position du soleil perçue par les fourmis de telle façon

qu'elle soit à l'opposé de sa position réelle. Enfin nous avons enregistré la réaction des fourmis vers un éventuel changement des conditions de l'expérience.

Les résultats sont présentés et interprétés par le test de Chi<sup>2</sup> d'indépendance.

### II.4. Etude de l'influence de la nourriture sur le choix d'une source

Afin de connaître la nourriture préférée par une espèce de fourmi, nous avons placé autour d'une fourmilière des bifurcations à l'aide de piquets de même longueur qui se termine par une plateforme contenant de différents types de nourriture (**Fig.02, annexe 02**). Un comptage des fourmis existant sur les différentes sources a été effectué (**Labelle *et al.*, 2012**).

Le model de régression linéaire multiple a été utilisé pour interpréter les résultats obtenus.

## Partie III. Étude des facteurs biotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis

Dans cette partie on a étudié les interactions inter et intraspécifiques adoptées par les fourmis soit : pour défendre son territoire contre l'intrusion des individus d'autres insectes de même ou d'autres espèces soit pour assurer un système bitrophique qui s'établit entre les fourmis et les pucerons.

### III.1. Relation fourmis-pucerons

Afin d'étudier ce type de relation, on a examiné les plantes associées aux colonies des fourmis étudiées. Pour chaque relevé, on a estimé le nombre de fourmis et des pucerons trouvés sur la plante hôte par le nombre trouvé de ceux-ci sur une partie bien définie de la plante. Le nombre des pucerons ainsi que les caractéristiques de la plante (espèce, taille) ont été notés. En ce qui concerne l'identification des pucerons, ils ont été déterminés selon la bibliographie propre aux maladies des plantes (**Guénard, 2007**). Nous avons ensuite calculé la fréquence des pucerons en présence de fourmis. Cet indice exprime un rapport sous forme de pourcentage du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée, par rapport au nombre total de relevés (Dajoz, 1982). Elle est calculée par la formule :

$$F_o \% = (P_i/p) 100$$

**P<sub>i</sub>** : le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée

**P** : le nombre total des relevés

En fonction de la valeur de FO, les espèces sont classées comme suit :

**FO =100 %** : espèce omniprésente

**FO >75 %** : Espèce constante

**50 % < FO < 75 %** : Espèce régulière

**25 % < FO < 50 %** : Espèce accessoire

**5 % < FO < 25 %** : Espèce accidentelle

**FO < 25 %** : Espèce rare

L'évaluation de nombre de fourmis et de puceron au cours d'une période déterminée par la présence de deux espèces est interprétée par une analyse statistique utilisant un test d'Anova Two-way.

### III.2. Relation fourmis-insectes

Pour étudier le comportement des individus de fourmis face à un danger potentiel de type « ennemi », nous déposons une fourmi d'une espèce sur le dôme d'une autre colonie, afin de constater le comportement la fourmi et les individus de colonie hôte. Ce procédé sera répété 5 fois.

### III.3. Relation fourmis-plantes

L'installation des fourmilières sous ou bien près des plantes déterminées nous a permis d'étudier la relation qui existe entre elles.

# **Chapitre IV :**

## **Résultats et discussion**

## Partie I. Identification des espèces étudiées

### I.1. Description et identification des fourmis récoltées

L'identification des espèces a été réalisée selon les guides d'identifications citées dans le **chapitre II**. Toute identification nécessite de prendre des mensurations effectuées sur les ouvrières des fourmis échantillonnées (n= 3 de chaque classe minor/ major). La description des espèces a été confirmée par les clés d'identification citées par **Cagniant (1997 et 2009)**.

Après avoir identifié les ouvrières récoltées, on a réalisé des tableaux de mensuration et des rapports caractéristiques entre les dimensions de différentes parties anatomiques d'une fourmi.

#### I.1.1. Genre *Cataglyphis*

Le genre *Cataglyphis* appartient au sous famille Formicinae. Leurs caractéristiques morphologiques sont mentionnées ci-dessous et illustrées par les photographies de la figure 12

- Un seul pétiole assez haut entre le mesosoma et le gastre. (a).
- L'extrémité du gastre avec un pore circulaire bordé de poils (acidopore) (b).
- Absence d'aiguillon (c).

Ce genre a été identifié selon les critères suivants :

- Antennes comportant 12 articles (d).
- Les mandibules sont triangulaires, une face masticatrice armée de dents bien distinctes (e).
- Les scapes sont moins longs.
- Des yeux positionnés dans la moitié supérieure de la tête (f).
- Des ocelles bien visibles chez les ouvrières (g).
- Des mandibules pourvues de 05 dents, de taille décroissante depuis l'apex (h).
- Le spiracle de propodeum a une forme ovale (i)
- Le corps peut être entièrement noir ou bicolore, selon les espèces.
- La taille peut être variable dans une colonie (**Tab08**).
- La base des antennes est très proche de la marge postérieure des clypeus (j). Parmi les fourmis récoltées, on a défini trois espèces appartenant au genre *Cataglyphis*. Ces dernières ont été identifiées selon les clés citées ci-dessous :

 *Cataglyphis viatica*

Cette espèce a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichés dans la figure 12 :

- Pétiole arrondi (k).
- Les poils de l’occiput sont jaunâtres (l), les tibias III portent une pubescence fine et claire ainsi que des épines dorées (m).
- L’avant du corps et les pattes sont rouge clair à rouge vermillon, le gastre est noir.
- Ces espèces sont plus grandes, elles dépassent 10 mm.
- Le premier article du funicule est 1,75 fois plus long que le deuxième. ( $1^{er} = 0,7 \text{ mm}$  ;  $2^{em} = 0,4$ ).
- Les pattes sont relativement courtes ( $LtIII/lat = 2,94/2,2 = 1,33$ , lat de 2,2 à 2,3 mm)

Selon Cagniant, 2009, Lco 4,3 - 11 mm,  $LtIII/lat = 1,60/1,72 = 1,33$ , lat de 2,3 à 2,45 mm

D’après le tableau 07, on constate que les indices de taille (1,35-2,2 %) et de l’oculaire (21,42-22,72 %) augmentent positivement lors du développement des minors alors que l’indice céphalique (1,07-1 %), l’indice dorsal thoracique (428,57-316,66 %) et l’indice du scape (142,85-113,63 %) diminuent lors du développement, cela s’explique par l’agrandissement du Lte (1,3-2,2 mm), Lat (1,4-2,2 mm), Lth (3-3,8 mm), Lp (0,7-1,2 mm) et Lsc (2-2,5 mm) lors de la croissance des minors. L’indice du nœud pétiolaire est 100 % chez les deux castes.

**Tableau. 07.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Cataglyphis viatica*.

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
<b>Minor</b>	7,2± 0.2	1,3± 0.15	1,4 ±0.20	2 ± 0,36	2± 0,15	3,2± 0.2	0,7± 1.26	1.2± 0.05	0,3 ± 0.05	0,3	0,3 ±0.05	/	/
<b>Major</b>	10,1 ± 0.49	2,2 ± 0.30	2,2 ± 0.37	04 ± 2.06	2,5 ± 0.25	3,8 ± 0.2	1,2 ±0.20	1,5 ± 0.1	0,5 ± 0.05	0,5 ±0.05	0,5 ± 0.05	/	/
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
<b>Minor</b>	1,35	1,07	428,57	142,85	21,42	100							
<b>Major</b>	2,2	01	316,66	113,63	22,72	100							



Figure .12. Différentes parties d'une *Cataglyphis viatica* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

**🚩 *Cataglyphis bicolor*:**

Cette espèce a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichées dans la figure 13 :

- Un pétiole arrondi (a).
- Des poils noirs de l'occiput (b),
- Les tibias III portent une pubescence de poils épais et sombres ainsi que des épines noirs sur le bord interne (c)
- Des pattes noires. assez longues ( $Lt_{III}/lat = 1,4/2,4 = 0,58$ , lat de 2,3 à 2,4 mm)
- La tête, le tronc et le pétiole sont pourpres.

Selon **Cagniant (2009)**, Lco 6,0 - 14,1 mm,  $Lt_{III}/lat = 1,60/1,75 = 1,33$ , lat de 2,2 à 2,80 mm.



**Figure.13.** Différentes parties d'une *Cataglyphis bicolor* (0,8 - 4x).  
(Photos personnelles, 2016)

Le tableau ci-dessous (**Tab.08**) montre que les indices de taille (1,2-2,2 %), de l’oculaire (23,07-25 %) et l’indice du nœud pétiolaire (133, 33-150 %) accroissent lors du développement des minors. Les mesures de Lte (1,1-2 mm), Lat (1,3-2,4), Lth (2,1-4,1 mm), Lp (0,8-1,5 mm) et Lsc (1,7 -2,5 mm) augmentent pendant l’évolution des minors cela démontre les taux de l’indice céphalique (143-120 %), l’indice dorsal thoracique (262,5-273,33 %) et l’indice du scape (130,76-104,16 %).

**Tableau .08.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Cataglyphis bicolor*

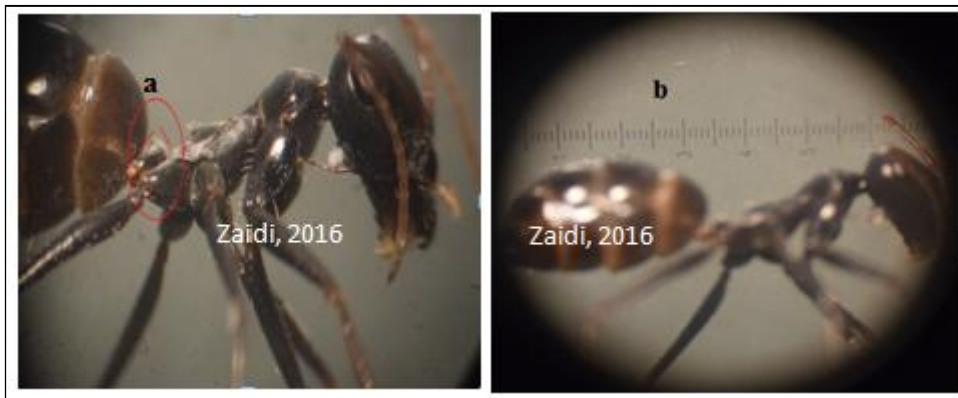
Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
<i>Minor</i>	6± 0,15	1,1± 0,20	1,3± 0,1	2,1± 0,2	1,7± 0,15	2,1± 0,3	0,8± 0,1	1,2± 0,05	0,3± 0,05	0,3	0,4± 0,05	/	/
<i>Major</i>	10,2± 0,2	02± 0,15	2,4± 0,15	3,5± 0,26	2,5± 0,25	4,1± 0,20	1,5± 0,20	1,6± 0,15	0,6± 0,05	0,4± 0,05	0,6± 0,05	/	/
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
<i>Minor</i>	1,2	143	262,5	130,76	23,07	133,33							
<i>Major</i>	2,2	120	273,33	104,16	25	150							

 **Cataglyphis albicans**

Cette espèce a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichées dans la figure 14 :

- un nœud pétiolaire de forme triangulaire, avec un ongle apical très remarqué dont la face antérieure est plus courte que la postérieure (a), la surface dorsale est plus au moins inclinée vers l’avant.
- La longueur totale du corps est presque 07 mm (b)

Selon **Cagniant (2009)**, Lco dépasse rarement 7,5 mm.



**Figure .14.** Différentes parties d'une *Cataglyphis albicans* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

Le tableau 09 affiche une tête d'une longueur (1,2-1,4 mm) et d'une largeur (1,3-1,5 mm). la longueur du scape (1,5-1,7 mm) et la longueur de l'œil (0,3-0,4 mm) augmentent pendant la période de croissance des fourmis cela explique l'élévation des indices de taille (1,25-1,45 %), et de l'oculaire (23.07-26.66 %) ainsi que la diminution de l'indice céphalique (108,33-107,14 %), l'indice dorsal thoracique (340-314,28%) et l'indice du scape (115,38-113,33 %). L'indice du nœud pétiolaire est à 100 % chez les deux classes.

**Tableau .09.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Cataglyphis Albicans*

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
<i>Minor</i>	4,7± 0,15	1,2± 0,17	1,3± 0,1	02± 0,15	1,5± 0,15	1,7± 0,2	0,5± 0,15	0,4± 0,2	0,3± 0,05	0,3	0,3± 0,05	/	/
<i>Major</i>	6,6± 0,15	1,4± 0,20	1,5± 0,1	2,7± 0,1	1,7± 0,15	2,2± 0,32	0,7± 0,2	0,7± 0,17	0,4± 0,1	0,3± 0,1	0,3± 0,1	/	/
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
<i>Minor</i>	1,25	108,33	340	115,38	23,07	100							
<i>Major</i>	1,45	107,14	314,28	113,33	26,66	100							

Les fourmis appartenant au genre *Cataglyphis* font partie des insectes les plus caractéristiques des régions désertiques (Agosti, 1990) mais peu de travaux ont porté sur la systématique et l'écologie de ce genre. Delye, 1965 a identifié les sexués et les soldats de l'espèce *Cataglyphis emmae*. La systématique de *Cataglyphis* du Maroc a fait l'objet d'études approfondies par Cagniant, 2009 où il a identifié 19 espèces : *C. emmae*, *C. bombycina*, *C. gaetula*, *C. mauritanica*, *C. pilisquamis*, *C. bicolor*, *C. diehli*, *C. savignyi*, *C. viatica*, *C. hanna*, *C. cubica*, *C. otini*, *C. (supersp. albicans)*, *C. theryi*, *C. cana*, *C. (supersp. rubra)*; *C. marroui*, *C. espadaleri* et *C. fossilis*.

### I.1.2. Genre *Camponotus*

Le genre *Camponotus* appartient aux sous-familles Formicinae dont leurs critères sont mentionnés précédemment. Ce genre a été identifié selon les critères suivants :

- Les antennes comportent 12 articles
- L'insertion des antennes est distante du bord postérieur du clypeus (a)
- Les mandibules ont une forme triangulaire d'une face masticatrice armée de dents bien distinctes (b).
- L'absence des ocelles.

Pendant notre inventaire de la myrmécofaune, une seule espèce de *camponotus* a été trouvée c'est *Camponotus sylvaticus*

#### *Camponotus sylvaticus*

Cette espèce a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichées dans la figure15 :

- Une grande variation de taille entre les ouvrières avec des formes de transition bien visibles chez les majors et les minors.
- Une lame frontale sinuée en forme de « s » allongé (c).
- Un clypeus avec une carène longitudinale médiane, prolongée vers l'avant par un plateau subrectangulaire (d).
- Un corps assez luisant avec une pubescence souvent éparses sur le gastre (e).
- Un profil de mesosoma en ligne continue et arrondie (f).
- Des poils moins nombreux dressés sur le gastre. (g).
- Des joues sans poils (h).

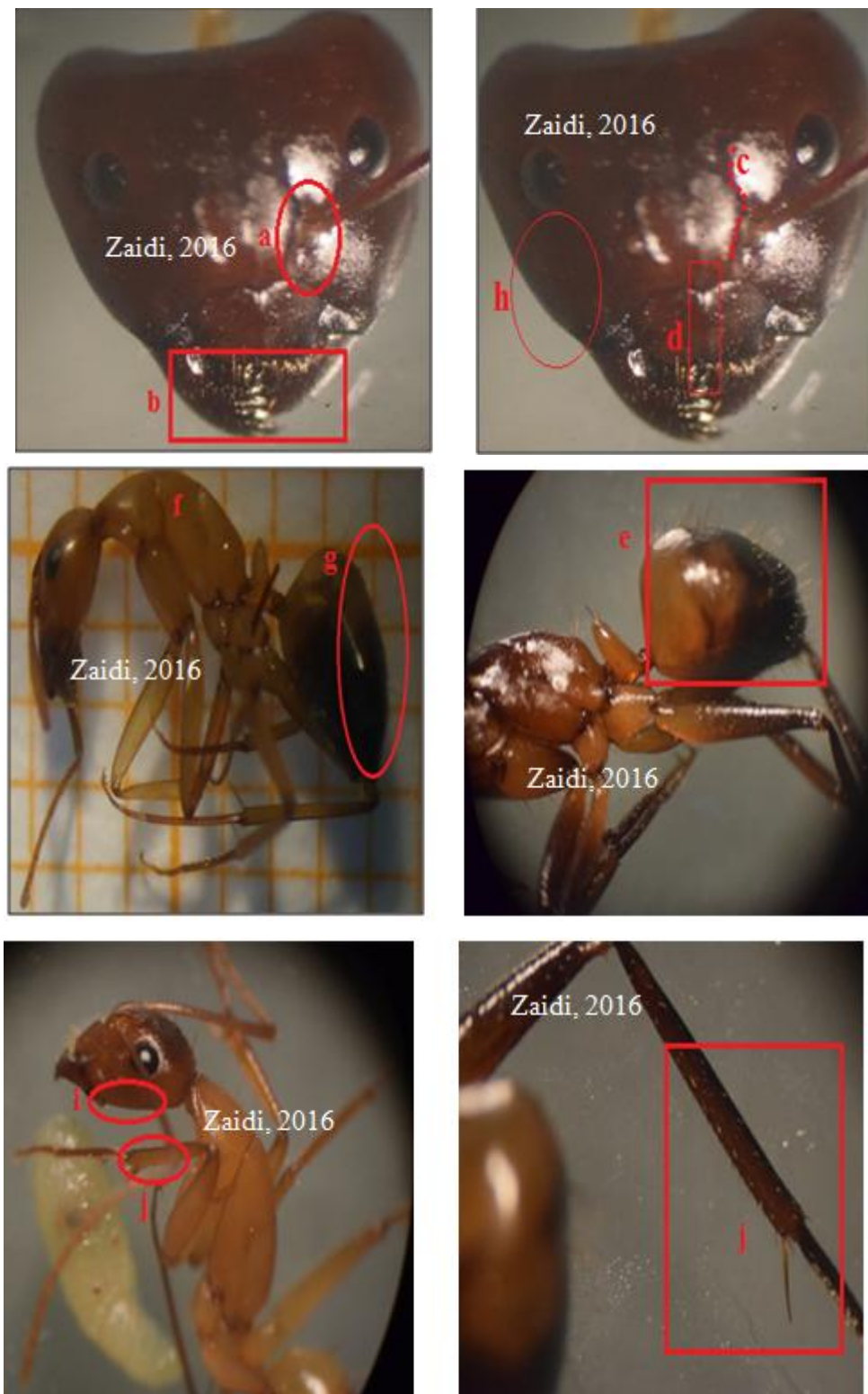
- La présence de poils dressés sous la tête (i).
- Des tibias pourvus d'épines sur le bord intérieur (j).

Le tableau ci-dessous (**Tab.10**) démontre que l'indice de taille (1,5-3,75 %) et du nœud pétiolaire (250-366,66 %) augmente, cependant, les indices ; céphalique (57,89-87,5 %), dorsale thoracique (320-333, 33 %), du scape (227,27-85,71 %) et oculaire (36,36-14,25 %) diminuent à cause des mesures développées obtenues à partir des majors : Lte (1,9 - 4 mm), Lat (1,1-3,5 mm), Lth (3,2-5 mm), Lp (1-1.5 mm) et Lsc (2,5-3 mm).

**Tableau.10.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Camponotus sylvaticus*

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
<i>Minor</i>	09±0 .36	1,9± 0,1	1,1± 0,15	3,2± 0,3	2,5±0, 35	3,2± 0,15	01± 0,15	2,5±0 ,1	0,4±0 ,1	0,2±0 ,05	0,5± 0,1	/	/
<i>Major</i>	16±0 ,40	04±0 ,05	3,5± 0,30	06±0 ,51	03± 0,15	05±0 ,35	1,5±0 ,20	02± 0,15	0,5±0 ,05	0,3±0 ,1	1,1± 0,15	/	/
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
<i>Minor</i>	1,5	57,89	320	227,27	36,36	250							
<i>Major</i>	3,75	87,5	333,33	85,71	14,28	366,66							

Une étude comparative a été réalisée par **McArthur, 2007** en Australie qui a identifié 91 espèces et 10 sous-espèces de *camponotus*. Une autre étude en Roumanie par **Markó et al., 2009** qui ont défini la présence de 11 espèces : *C. herculeanus*, *C. ligniperda*, *C. vagus*, *C. truncatus*, *C. atricolor*, *C. dalmaticus*, *C. fallax*, *C. lateralis*, *C. piceus*, *C. tergestinus*, *C. aethiops*



**Figure.15.** Différentes parties d'une *Camponotus sylvaticus* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

### I.1.3. Genre *Tapinoma*

Le genre *Tapinoma* appartient aux sous-familles Dolichoderinae qui est caractérisé par :

- Un seul segment (pétiole) entre le mesosoma et le gastre, généralement assez bas.
- L'extrémité du gastre avec une fente transversale peu visible.
- Absence d'aiguillon.

Ce genre a été identifié selon les critères suivants (**Fig16**) :

- Une surface lisse du tégument.
- Un propodeum arrondi, mais jamais concave (a).
- Une écaille pétiolaire très basse et inclinée (b). Elle est recouverte par l'avant du gastre et devient invisible quand l'ouvrière est observée de dessus (c).
- Une couleur généralement noire.
- Un pronotum sans poils dressés (d).
- Un gastre vu de dessus montre 04 segments visibles (e)
- La présence d'une incision au niveau de la bordure antérieure du clypeus. (f)

#### ✚ *Tapinoma nigerrimum*

Pendant notre inventaire de la myrmécofaune, une seule espèce de *Tapinoma* a été trouvée : c'est *Tapinoma nigerrimum* qui a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichées dans la figure16 :

- L'incision de la bordure antérieure du clypeus est de forme allongée plus profonde (f).
- Le deuxième article du funicule a une longueur supérieure ou égale à celui du troisième (g).

Le tableau ci-dessous (**Tab.11**) indique que les valeurs obtenues lors de la mesure de Lte (0,9-1,1 mm), Lat (0,9 mm), Lth (1,1-1,5 mm), Lp (0,3-0,4 mm) et Lsc (0,9-1 mm) interprètent le développement des minors, ce qui définit l'augmentation du taux des différents indices : de taille (0,9-10 %), de dorsale thoracique (366.66-375 %), du scape (100-111, 11 %) et de l'oculaire (22,22-22,22 %) et aussi la diminution de l'indice céphalique (100-81,81%). La négligence du calcul de l'indice du nœud pétiolaire est due à l'aplatissement du nœud. Les résultats obtenus révèlent que les individus appartiennent à cette espèce ont eu presque la même taille.



Figure .16. Différentes parties d'une *Tapinoma nigerrimum* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

Tableau. 11. Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Tapinoma nigerrimum*.

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
Minor	2,8± 0,15	0,9± 0,58	0,9± 0,25	1,7± 0,25	0,9± 0,15	1,1± 0,36	0,3± 0,2	0,3± 0,15	0,2± 0,05	0,3± 0,05	aplati	/	/
Major	04± 0,35	1,1± 0,2	0,9± 0,15	2,1± 0,15	01± 0,32	1,5± 0,15	0,4± 0,2	0,4± 0,17	0,2± 0,15	0,4± 0,05	aplati	/	/
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
Minor	0,9	100	366,66	100	22,22	/							
Major	01	81,81	375	111,11	22,22	/							

#### I.1.4. Genre *Messor*

Le genre *Messor* appartient aux sous-familles Myrmicinae qui est caractérisé par :

- La présence de deux segments (pétiole et poste – pétiole) entre le mesosoma et le gastre.
- La présence d'un aiguillon.
- La présence des yeux composés.

Ce genre a été identifié selon les critères suivants (**Fig.16**) :

- Fourmis en général plus grandes.
- La tête n'est pas en forme de poire, elle est grosse et carrée. (a)
- Un funicule de 11 articles (b), dont le 1<sup>er</sup> article est 1,5 fois plus grand que le 2<sup>ème</sup>
- Des mandibules triangulaires, très larges avec plus de 10 dents (c).
- Un propodeum arrondi ou anguleux (d).
- L'insertion de poste pétiole est bien visible (e).
- L'absence des épines propodéales. (f)
- Les ouvrières ont des tailles très variables, de 3,5 mm pour les ouvrières minores à plus de 12 mm chez les majors.
- Un corps souvent très sombre dont quelques espèces ont l'avant du corps rouge (c'est le cas de *Messor minor*)
- les tibias II ont de simples éperons (g).

Parmi les fourmis récoltées on a défini 03 espèces appartiennent au genre *Messor* : *M. minor*, *M. capitatus*, *M. barbarus*. Ces dernières ont été identifiées selon des clés spécifiques citées ci-dessous.

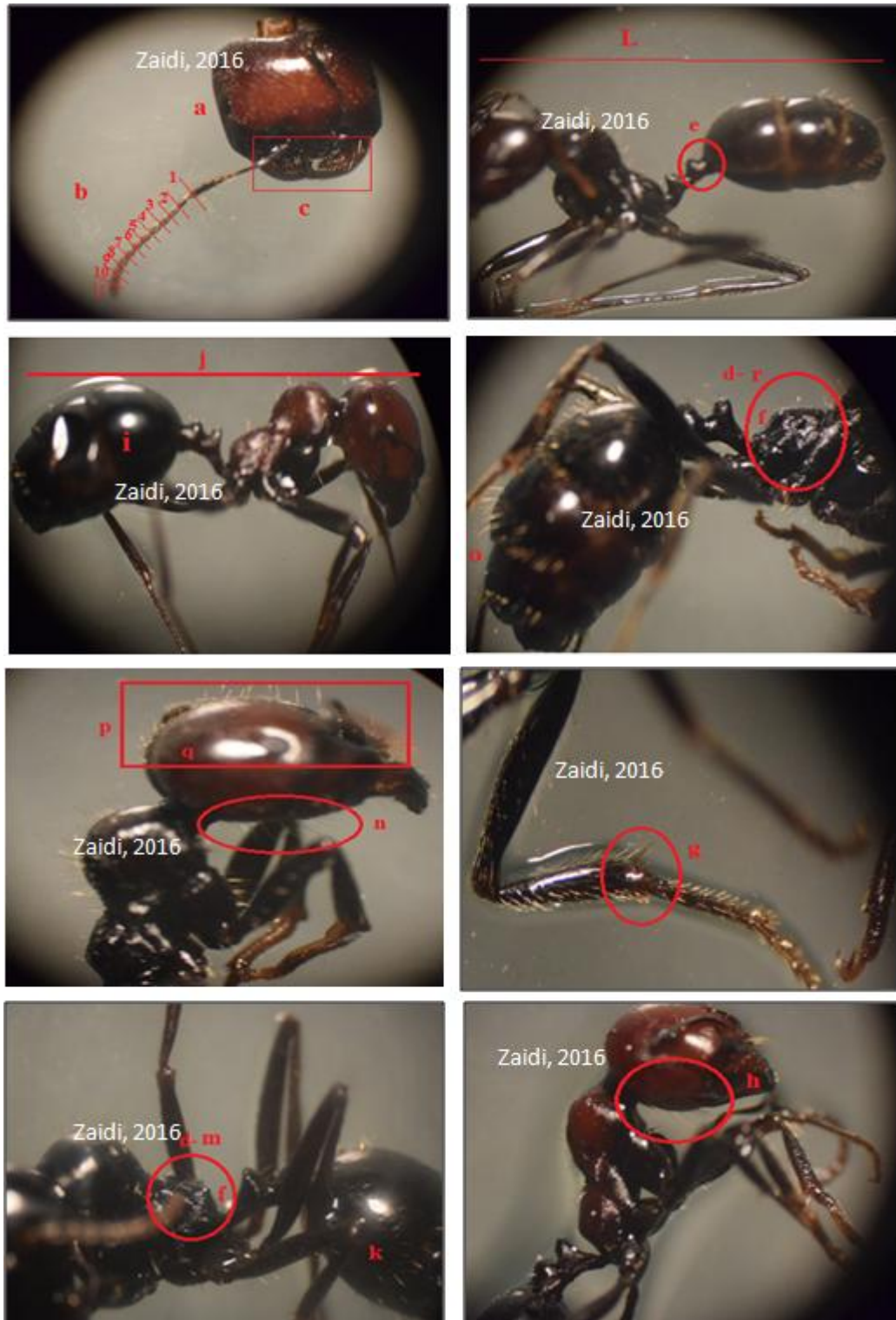


Figure .17. Différentes parties d'une *Messor* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

 *Messor minor*

Cette espèce a été identifiée selon les critères cités et montrés par les photographies affichées dans la figure 17 :

- Le dessous de la tête porte de long poils recourbés vers l'avant (psammophore) (h).
- Le gastre est sans poils dressés (i)
- Le corps n'est pas entièrement noir, la tête et le mesosoma sont rougeâtres (j).

Selon cagniant (1997), Lco = 3,7-10,9 mm, Lat max = 2,0 mm

Le tableau ci-dessous (**Tab.12**) montre que les indices de taille (1,3-1,85 %), de céphalique (100-117, 64 %) et du nœud pétiolaire (150-200 %) augmentent, par contre ceux de la dorsale thoracique (242,85-227,27 %), du scape (92,30-75 %) et de l'oculaire (15,38-15 %) diminuent. Ces résultats expriment la croissance des mensurations pendant le développement des fourmis : Lte (1,3-1,7 mm), Lat (1,3-2 mm) Lth (1,7-2,5 mm), Lp (0,7-1,1 mm) et Lsc (1,2-1,5 mm)

**Tableau .12.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Messor minor*

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
Minor	5,7±	1,3±	1,3±	02±	1,2±	1,7±	0,7±	0,5±	0,2±	0,2±	0,3±	0,4±	0,4±
	0,30	0,25	0,1	0,30	0,11	0,1	0,11	0,17	0,05	0,05	0,11	0,1	0,1
Major	7,9±	1,7±	02±	03±	1,5±	2,5±	1,1±	0,8±	0,3±	0,2±	0,4±	0,5±	0,7±
	0,26	0,2	0,05	0,2	0,15	0,20	0,25	0,05	0,11	0,17	0,26	0,05	0,11
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt		Is	Ioc		Inp					
Minor	1,3	100	242.85		92.30	15.38		150					
Major	1,85	117,64	227,27		75	15		200					

 *Messor capitatus*

Cette espèce a été identifiée selon les critères montrés par les photographies affichées dans la figure 17 :

- Le dessous de la tête porte des poils courts.
- Une pilosité abondante sur le gastre (k).
- Une pilosité plus éparse sur la tête.
- La tête des majors est plus ou moins lisse (a).
- Le corps est entièrement noir (L)
- Le propodeum est anguleux (m)

Selon cagniant (1997), Lco = 4.5-12.6 mm, Lat max = 4,1 mm

Le tableau ci-dessous (**Tab.13**) montre que les mesures de Lte (1,1-2 mm), Lat (1,3-2,4), Lth (2,1-4,1 mm), Lp (08-1,5 mm) et Lsc (1,7 -2,5 mm) ont été allongé pendant l'évolution des minors, ce qui définit l'augmentation du taux de l'indice de taille (0,95-2,8 %), de l'indice dorsal thoracique (260-428, 57 %), et l'indice du nœud pétiolaire (100-166, 66 %), et la diminution de l'indice du scape (111,11-67,85 %) et de l'indice oculaire (22,22-14,28 %).

**Tableau .13.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Messor capitatus*.

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
Minor	3,8±	01±	0,9±	1,2±	01±	1,3±	0,5±	0,3±	0,2±	0,2±	0,2±	0,4±	0,2±
	0,36	0,25	0,05	0,4	0,11	0,25	0,11	0,25	0,05	0,05	0,15	0,1	0,28
Major	09±	2,8±	2,8±	3,4±	1,9±	03±	0,7±	0,8±	0,4±	0,3±	0,5±	0,6±	0,7±
	0,6	0,2	0,05	0,2	0,15	0,28	0,25	0,05	0,11	0,17	0,26	0,05	0,11
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
Minor	0,95	90	260	111,11	22,22	100							
Major	2,8	100	428	67,85	14,28	166,66							

 *Messor barbarus*

Cette espèce a été identifiée selon les critères montrés par les photographies affichées dans la figure (18) :

- Le dessous de la tête porte des poils courts (n)
- Une pilosité abondante sur le gastre (o)
- Une pilosité plus éparsée sur la tête (p)
- La tête des majors est plus ou moins lisse, elle est généralement d'un rouge plus ou moins sombre (q)
- Le propodeum est arrondi. (r)

Selon cagniant (1997), Lco = 4.1-11.9 mm, Lat max = 3,7 mm

D'après le tableau 14, les indices de taille (1,25-2,4 %) augmentent positivement lors du développement des minors alors que l'indice céphalique (1,07-1 %), l'indice dorsal thoracique (333,33-241,66 %) et l'indice du scape (108,33-87,5 %) diminuent cela s'explique par l'agrandissement des mensurations de Lte (1.3-2.4 mm), Lat (1,2-2,4 mm), Lth (2-2,9 mm), Lp (0,6-1,2 mm) et Lsc (1,3-2,1 mm) lors de la croissance des minors. On constate aussi que chez les deux castes, l'indice oculaire est égal à 16,66 % et celui du nœud pétiolaire est à 100 %.

**Tableau .14.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Messor barbarus*

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
Minor	4,7±	1,3±	1,2±	1,4±	1,3±	2±	0,6±	0,5±	0,2±	0,2±	0,2±	0,4±	0,2±
	0.35	0.15	0.15	0.20	0.11	0.25	0.11	0.2	0.05	0.05	0.20	0.15	0.15
Major	10,5±	2,4±	2,4±	3,5±	2,1±	2,9±	1,2±	01±	0,4±	0,4±	0,4±	0,6±	0,4±
	0.7	0.26	0.15	0.41	0.11	0.15	0.20	0.05	0.1	0.11	0.20	0.15	0.15
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt		Is	Ioc		Inp					
Minor	1,25	92,30	333,33		108,33	16,66		100					
Major	2,4	100	241,66		87,5	16,66		100					

Une étude comparative réalisée par **Tohmé et Tohmé, 1981** et argumentée par les études de **Santschi, 1927** et **Bernard, 1973** a révélé la présence de 17 espèces caractérisées par des mensurations spécifiques. Ces espèces sont : *M. semirufus*, *M. intermedius*, *M. ebeninus*, *M. hebraeus*, *M. maculifrons*, *M. concolor*, *M. dentatus*, *M. meridionalis*, *M. rugosus*, *M. incorruptus*, *M. syriacus*, *M. rufus*, *M. alexandri*, *M. sultanus*, *M. orientalis*, *M. rufotestaceus*, *M. nahali*.

### I.1.5. Genre *Monomorium*

Le genre *Monomorium* appartient aux sous-familles Myrmicinae dont leurs critères sont mentionnés précédemment. Ce genre a été identifié selon les critères définis par les photographies affichées dans la figure 18 :

- L'absence des poils dressés en dessous de la tête, cette dernière n'est pas en forme de poire (a)
- Le funicule à 11 articles (b) dont les trois derniers forment une massue antennaire (c)
- L'insertion de poste pétiole est visible.
- Les mandibules ont une forme triangulaire
- L'absence des épines propodéales (d)
- Des ouvrières de petite taille, de 2 à 4 mm, dont la plupart de la même taille.



**Figure .18.** Différentes parties d'une *Monomorium sp* (0,8 - 4x).

(Photos personnelles, 2016)

Le tableau ci-dessous (**Tab.15**) présente de différentes mesures morphologiques faites sur des individus qui sont de la même taille (3,3 mm) de *Monomorium sp*. On constate que : Lte= 0,7 mm, Lat = 0,6 mm, Lsc= 0,7 mm, Lth=1, Lp=0,3 mm. Ces mesures sont utilisées

dans le calcul des indices de taille =0,65%, céphalique=85,71%, dorsale thoracique=333,33%, du scape=116,66%, de l'oculaire=33,33% et du nœud pétiolaire =300%.

**Tableau .15.** Mesures morphologiques et indices standards des ouvrières de *Monomorium sp*

Les mesures morphométriques (mm)													
	Lco	Lte	Lat	Lg	Lsc	Lth	Lp	Lm	Lo	Lpe	Hpe	Lpp	Hpp
Individu	3,3	0,7	0,6	1,1	0,7	01	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2
Les indices (%)													
	It	Ic	Idt	Is	Ioc	Inp							
Individu	0,65	85,71	333,33	116,66	33,33	300							

Le genre *Monomorium* présente de nombreuses difficultés sur le plan taxonomique (**Bolton, 1995 ; Bolton, 2007**). Cela a incité certains taxonomistes à le réviser, notamment **Ettershank (1966)** qui a travaillé sur les Myrmicinae du monde à partir des spécimens issus de Musées.

Par ailleurs **DuBois (1986)** a étudié les *Monomorium* Néarctiques du groupe minimum. Une année après, **Bolton (1987)** a apporté des remaniements taxonomiques au genre *Monomorium* dans la région afrotropicale et sahéliens.

**Radchenko (1997a)** a révisé les *Monomorium* du groupe scabriceps. **Heterick (2001 et 2006)** révisé le genre en Australie et à Madagascar.

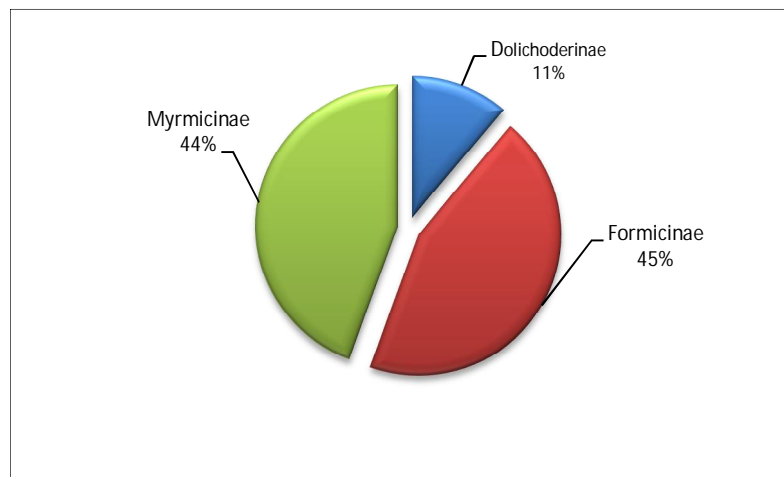
Les *Monomorium* d'Afrique du Nord n'ont pas bénéficié jusqu'à présent de tels travaux, à l'exception de celui de **Santschi (1936)** ; selon sa méthode, cet auteur multiplie les « variétés » (15 pour *M. salomonis* dont 5 à Kairouan où il habitait). Il s'est basé sur les anciens travaux **d'Emery (1881 ; 1908 ; 1922)** et il a corrigé de nombreuses confusions taxonomiques.

Une récente étude réalisée par **Barech et al. (2017)** finis par un essai de clé des espèces du genre *Monomorium* de la région du Maghreb, ils déclarent la présence de vingt et une espèces au sein de ce genre.

## I.2. Inventaire de la myrmécofaune

### I.2.1. Richesse totale

L'échantillonnage nous a permis de recenser 09 espèces de Formicidae réparties en 03 sous-familles et 05 genres : Dolichoderinae, Myrmicinae, Formicinae, dont les deux dernières sont les abondantes (44,44 %) par la présence de 04 espèces spécifiques pour chacune (Fig.19).



**Figure.19.** Les sous-familles de Formicidae recensées dans les différents sites d'étude

Le tableau ci-dessous (Tab.16) regroupe toutes les espèces de fourmis capturées dans les différentes zones des cinq sites d'étude. La sous-famille Formicinae regroupe les espèces suivantes : *Camponotus sylvaticus*, *Cataglyphis viatica*, *Cataglyphis bicolor*, *Cataglyphis albicans* et celle de Myrmicinae contient : *Messor barbarus*, *Messor capitatus*, *Messor minor*, *Monomorium sp* par contre la sous-famille de Dolichoderinae se manifeste par une seule espèce de *Tapinoma nigerrimum*.

On constate que le milieu forestier est le plus riche en espèces, il regroupe 05 espèces : *Camponotus sylvaticus*, *Cataglyphis viatica*, *Messor capitatus*, *Messor minor*, *Monomorium sp* suivi par le milieu agricole qui contient les espèces *Cataglyphis viatica*, *Messor barbarus*, *Messor capitatus*, *Cataglyphis albicans*, cependant le milieu aquatique soit du lac ou bien celui du barrage est représenté par la présence de *Tapinoma nigerrimum* comme une espèce spécifique ainsi l'espèce de *cataglyphis bicolor* est présente seulement au lac.

Tableau .16. Liste globale des espèces de fourmis recensées dans les cinq sites d'étude

Sous-famille	zone espèce	Milieu forestier			Milieu Agricole		Milieu Agricole Constantine		Lac El Zemoul			Barrage Oued Charef	
		Alt 1	Alt 2	Alt 3	Chemin	centre	chemin	centre	Bord	80 m	200 m	Bord	Milieu Agricole
<b>Dolichiderinae</b>	<i>Tapinoma nigerrimum</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
<b>Formicinae</b>	<i>Camponotus sp</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cataglyphis viatica</i>	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+
	<i>Cataglyphis bicolor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Cataglyphis albicans</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
<b>Myrmicinae</b>	<i>Messor barbarus</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
	<i>Messor capitatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
	<i>Messor minor</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Monomorium sp</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

I.2.2. Abondance relative des individus

Dans le site forestier et agricole de Constantine *Messor capitatus* est la plus abondante (29,95 % -39,36 %) par contre au niveau du site agricole d'Oum El Bouaghi *messor barbarus* est la dominante par un taux de 58,2 %. Cependant dans les deux sites aquatiques, *Tapinoma nigerrimum* est fortement dominante par un pourcentage de 93,47 % (Tab.17).

Tableau .17. Abondance relative des individus des fourmis recensées dans les cinq sites d'étude

espèce	AR %				
	Milieu forestier OEB	Milieu agricole OEB	Milieu agricole constantine	barrage oued charef Souk ahras	Lac El Zemoul O E B
<i>Camponotus sp</i>	8,3	*	*	*	*
<i>Cataglyphis bicolor</i>	*	*	*	*	4,35
<i>Cataglyphis viatica</i>	28,23	15,61	21,47	13,9	*
<i>Cataglyphis albicans</i>	*	9,88	*	*	2,16
<i>Messor minor</i>	13,57	*	*	*	*
<i>Messor capitatus</i>	<b><u>29,95</u></b>	<b><u>39,36</u></b>	20,31	21,35	*
<i>Messor barbarus</i>	*	35,13	<b><u>58,2</u></b>	18,87	*
<i>Monomorium sp</i>	19,92	*	*	*	*
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	*	*	*	<b><u>45,85</u></b>	<b><u>93,47</u></b>

L'interprétation du nombre d'individus des fourmis recensées dans les différents sites d'études lors 08 mois de travail de Mars à Octobre pendant deux années successives (2016-2017) et (2017-2018) montre que l'abondance est élevée pendant les saisons du printemps et de l'été (Fig.20).

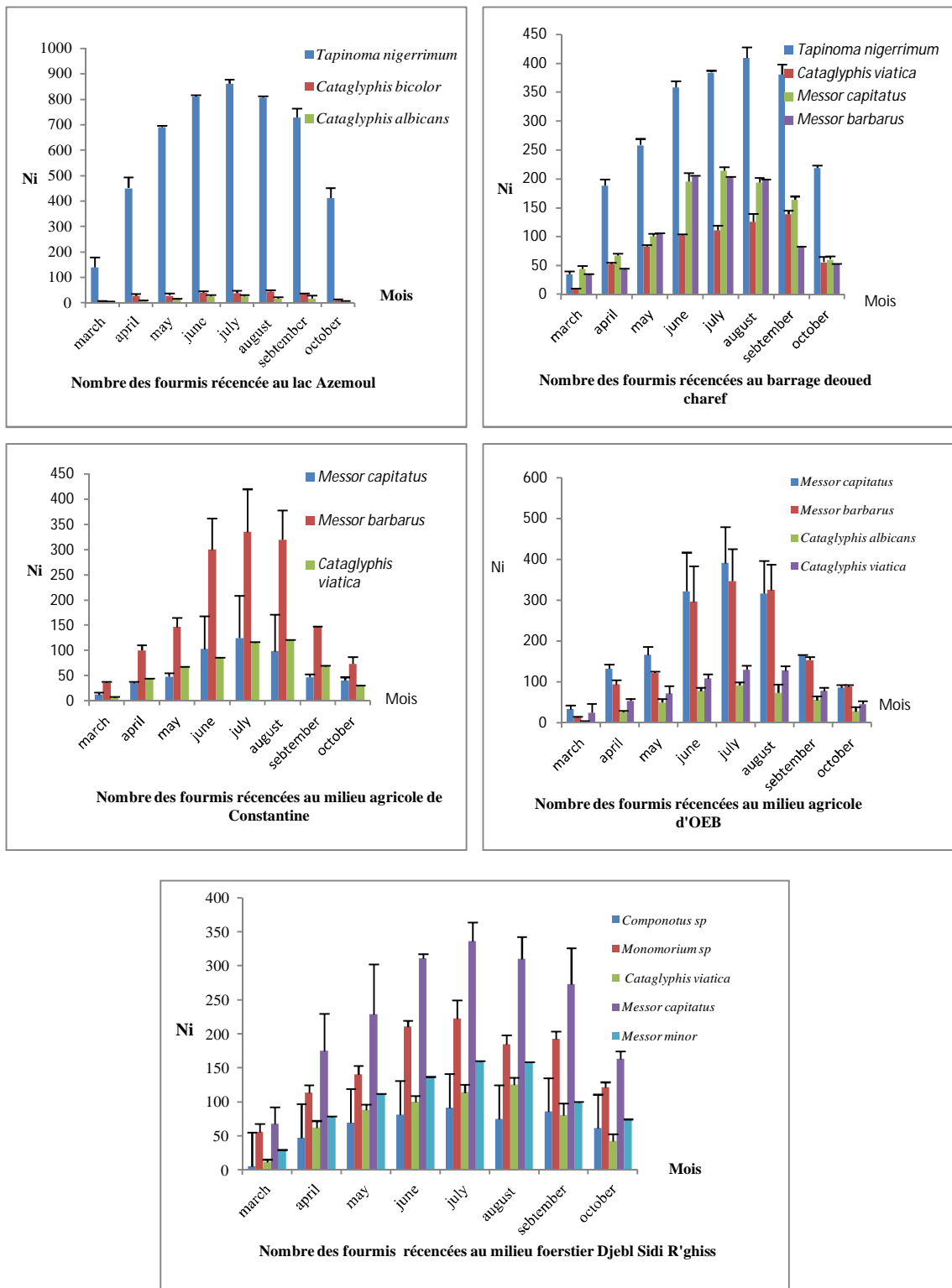


Figure .20. Nombre des fourmis recensées aux différents sites d'étude.

I.2.3. Exploitation des résultats par l'analyse en composantes principales (ACP) :

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) montre que le genre *Messor* est associé aux milieux agricoles cependant *Tapinoma nigerrimum* est affecté au milieu aquatique soit du lac ou celui du barrage. Ainsi les genres *Camponotus* et *Monomorium* sont liés au milieu forestier et celui de *Cataglyphis* existe dans les différents milieux sélectionnés (Fig.21).

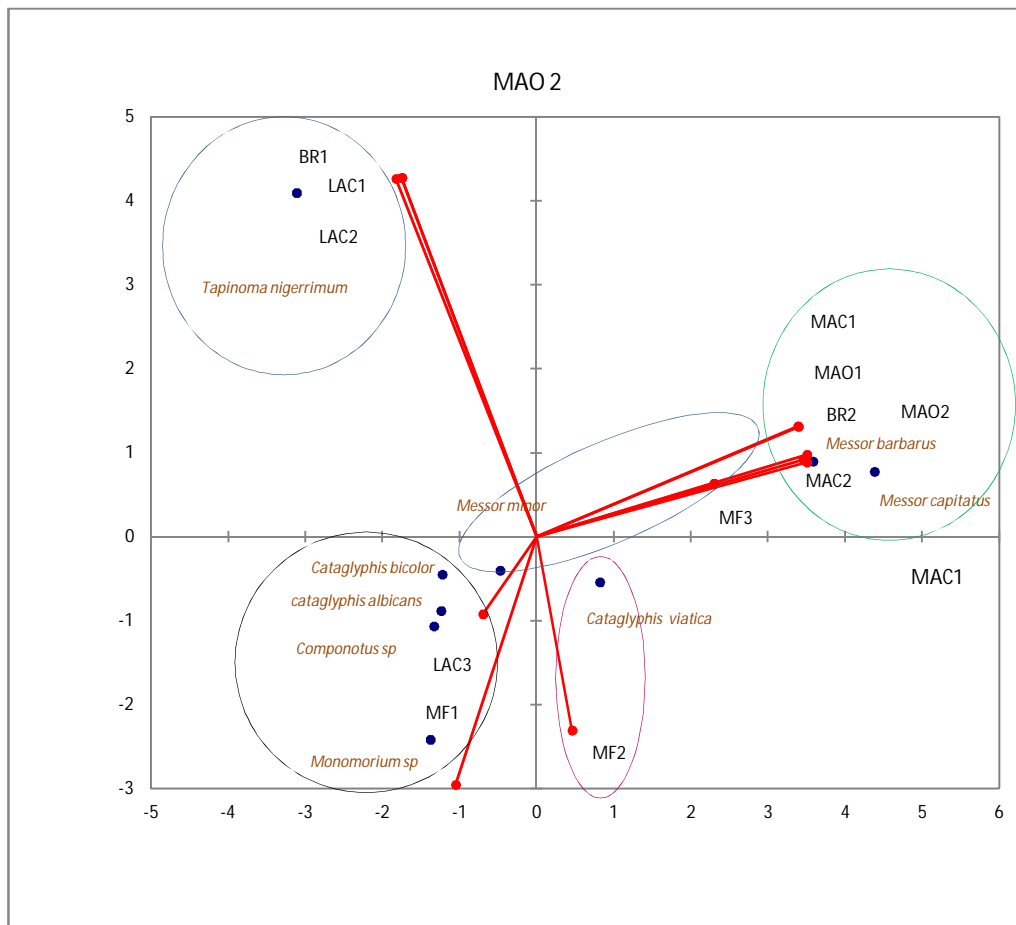


Figure .21. Analyse en composantes principales (ACP).

**MAC** : Milieu agricole Constantine ; 1 : Chemin, 2 : Centre    **MAO** : Milieu agricole d'Oum el bouaghi ; 1 : Chemin, 2 : Centre, **Lac** : lac Azemoul ; 1 : Le bord, 2 : à 80 m, 3 : à 200 m **BR** : Barrage d'oued Charef ; 1 : Le bord, 2 : Milieu agricole **MF** : Milieu forestier ; 1 : Au pied de la montagne, 2 : à 500m plus haut, 3 : 600 m plus hauts.

Lors de l'étude bioécologique des formicidae dans les cinq sites on a remarqué une richesse totale de 09 espèces qui s'avère moins importante. Nos résultats sont semblables à ceux de **Bouzekri et al. (2015)**, qui travaillent sur le peuplement des fourmis de Djelfa, cependant **Barech et al. (2016)** signalent la présence de 24 espèces dans le lac de Chott El Hodna.

**Cagniant (1966)** dans son étude sur le peuplement de fourmis en Atlas de Blida (région d'Alger, Algérie) il a trouvé 39 espèces. Cependant dans sa liste préliminaire de fourmis forestières d'Algérie (1963-1966) rédigée en 1968, il a mentionné la présence de 90 espèces trouvées dans 30 stations d'études.

Un inventaire de fourmis réalisé par **Djioua et Sadoudi -ali (2015)** dans 05 écosystèmes différents de la wilaya de Tizi-Ouzou a été identifié 15 espèces appartenant à 03 sous-familles (Dolichiderinae, Formicinae et Myrmicinae).

Ces résultats sont plus importants que le notre au terme du nombre d'espèces. Une étude de la faune de fourmis retrouvée aux abords du barrage de K'sob (M'sila, Algérie) réalisée par **Barech et al. (2018)** a conduit à l'identification de 4483 spécimens de fourmis appartenant à 16 espèces et 03 sous-familles dans l'est et le sud de la Serbie 38 espèces de fourmis ont été enregistré par **Petrov et al. (2007)**.

**Paknia et al. (2008)** ont basé dans leur étude des formicidés à Iran sur une revue complète de la littérature et l'examen de sa propre collection, il a annoncé la présence de 110 espèces appartenant à 26 genres de six sous-familles, les genres les plus spécifiques étaient *Camponotus*, *Cataglyphis*, *Messor* avec respectivement 19, 14, et 13 espèces.

La diversité altitudinale des fourmis dans les régions himalayenne est discutée par **Bharti (2008)**; la plupart des genres de fourmis enregistrés sont originaires, 115 espèces de fourmis sur 202 atteignent une altitude de 2000 mètres au moyen du dessus du niveau de mer et pénètre dans la zone paléarctique.

La myrmécofaune Hongroise a subi des changements taxonomiques, **Csoz et al. (2011)** ont fourni une liste de contrôle mise à jour contenant 126 espèces dont 6 sont neuves (*Temnothorax albipennis*, *Temnothorax jailensis*, *Tetramorium sp*, *Tapinoma melanocephalum*, *Plagiolepis pallezensis*, *Plagiolepis ampeloni*), d'autres espèces sont supprimées de la liste.

**Kiran et Karaman (2012)** ont ajouté quatre espèces (*Tapinoma subboréale*, *Formica georgica*, *Formica lugubris*, *Lasuis balcanicus*) à la première liste annotée des fourmis de Turquie qui contient 286 espèces et 20 sous-espèces et exclu treize espèces. Un inventaire de

la myrmécofaune a été réalisé souvent en Maroc, plus anciennement par **Bernard (1945)** qui a travaillé sur la forêt de Mamora où il a signalé la présence de 55 espèces dans 43 est inédites.

Ainsi **Taheri et al. (2014)** ont noté la présence d'au moins 40 espèces de fourmis, réparties en 3 sous-familles et 13 genres dans le parc national de Talassemtane (nord du Maroc). Cagniant dans sa liste actualisée des fourmis du Maroc a noté l'existence de 214 espèces réparties en 38 genres, 60 % des espèces du Maroc ont été trouvées en Algérie - Tunisie et 30 % en Iberian Peninsula.

En France, cinquante et une espèces de Fourmis sont recensées en Polynésie française par **Thibault (2014)**. Les informations sur la composition biogéographique et les modèles de la distribution spatiale des peuplements des fourmis en Mongolie sont relativement rares.

**Bayartogtokh et al. (2014)** Ont étudié la richesse des espèces et ont enregistré un total de 71 espèces appartenant à 17 genres et 3 sous-familles, la littérature mongolienne noté que la majeure partie de la faune des fourmis mongoles est associée à la taïga de la montagne et à la steppe forestière, quelque espèces de fourmis appartiennent à la steppe aride, semi-désertique et désertique. Aussi, ils ont observé qu'il ya une corrélation positive entre la richesse des espèces des fourmis et les plantes dans les diverses régions étudiées. Ainsi la plupart des espèces ont été enregistrées dans une large gamme d'élévations mais à des altitudes moyennes (1000\_ 2000 m).

Une liste de contrôle mise à jour des fourmis du Sri Lanka présenté par **Dias et al. (2020)** comprend 11 espèces des 17 sous-familles existantes connues avec 341 espèces de fourmis valides dans 79 genres.

L'interprétation du Nombre des individus recensés par l'indice de l'abondance relative montre que certains sites ont été dominés par la présence des espèces particulières, c'est le cas de deux milieux aquatiques celui du barrage d'Oued Charef et du lac Azemoul dont *Tapinoma nigerrimum* est l'espèce dominante. Cette dernière est en cohabitation avec le genre *Cataglyphis* au niveau du lac.

Selon **Cagniant (1970)**, *Tapinoma nigerrimum* a été répondu dans toute l'Algérie y compris l'Atlas saharien, dans les pâturages humide, très commun en grande Kabylie. **Lebas et al. (2016)** Noté que *Tapinoma nigerrimum* habite les milieux ouverts et chauds de la zone méditerranéenne, surfaces cultivées arrosées, dunes littorales, talus, jachères, garrigues, trottoirs.

Le nombre faible de *Cataglyphis albicans* capturé dans le lac et en milieu agricole peut être expliqué par le comportement solitaire des ouvrières lors de la recherche des ressources nutritionnelles (Lebas *et al.*, 2016).

Cagniant (1968) a signalé que les espèces du genre *Cataglyphis* se trouvent en Afrique du Nord depuis le bord de la mer jusqu'à 2800 m au Hoggar et semblent nicher en lieux découverts. Il est noté la présence de *Cataglyphis viatica* dans les lisières des forêts.

Concernant le genre *Messor* on a noté qu'il existe dans les milieux agricoles d'Oum El Bouaghi et de Constantine, cela s'explique par le mode de l'approvisionnement en nourriture par les ouvrières qu'elles sont presque exclusivement granivores.

Detrain *et al.* (1999) ont signalé que pour ce prédateur majeur des Graminées dans les prairies annuelles de la zone méditerranéenne, la répartition ainsi que le maximum de densité sont en fonction des conditions naturelles de semences. Ainsi la zone agricole de Djebel Sidi R'ghiss regroupe ce genre du *Messor* mais on a remarqué l'absence de l'espèce *Messor barbarus* et la présence de celle de *Messor minor*. Ces données sont définies par les informations menées par Lebas *et al.* (2016) Qui ont signalé que *messor barbarus* ne monte guère en altitude alors que *Messor minor* peu atteindre 700 d'altitude.

Cagniant (1968 -1969) a cité que *Messor barbarus* est à peu près nul en foret alors qu'elle abonde dans les plaines et les plateaux principalement du constantinois et de l'Est algérois cependant *Messor capitatus* est présente dans les vicariants forestier et montagnard, chemins et dans les forêts jusqu'à 1500 m.

Fisher et Bolton (2016) ont souligné que *Monomorium sp* se trouve dans tous les endroits, du désert aride à la forêt tropicale humide et du sol à la canopée des arbres. Ses nids sont construits dans le sol, parmi les racines des plantes, dans la litière de feuilles et les brindilles tombées, dans les bois pourris, ce qui explique la présence des nids dans le sol et sous les feuilles des arbres de cyprès et de pin qui sont les plus dominants de couverture végétale de Djebel Sidi R'Ghiss.

Selon Cagniant (1968 b), elle réponde dans tout l'Ancien monde et très banale en Afrique du Nord, surtout dans les lieux abrités, les pâturages, les parcours de troupeaux, commun depuis la mer jusqu'aux plus hautes montagnes (Babar, Kabylie, Aurès).

Bernard (1945) a noté que cette espèce supporte bien le milieu acide cela explique la présence des nids dans les sols et sous feuilles des arbres des cyprès et du pin

La zone une de Djebel Sidi R'Ghiss regroupe aussi l'espèce *Camponotus sylvaticus*, cela s'explique par la nature du sol rocheux où elle installe leur nid sous les pierres.

Lors de la période de l'échantillonnage on a remarqué que le nombre des individus augmente pendant la saison du printemps pour presque toutes les espèces dont les conditions climatiques sont favorables pour la reproduction, la fondation des œufs, la recherche de nourriture, l'installation des relations inter et intra spécifiques, c'est pour cette raison que Bernard (1945) et Cagniant (1973) ont démontré que la saison du printemps est la plus préférable pour l'échantillonnage et la capture des fourmis.

## Partie II. Étude des facteurs abiotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis

### II.1. Étude du sol des fourmilières de différentes espèces étudiées

D'après les analyses pédologiques de différents sites d'étude réalisés en laboratoire régional - est - Oum El Bouaghi de l'Institut National des sols de l'Irrigation et du Drainage, on a obtenu que chaque site à des critères particuliers caractérisant un facteur écologique qui agit sur la répartition de différentes espèces des Formicidae.

Le sol de barrage de Oued Charef est alcalin (pH=8,27), pauvre en matière organique (0,21 %), non salé (CE= 0,10 ds/cm) avec une texture sableuse et un taux de calcaire total égaux à 0,12 %. Celui du lac Azemoul est légèrement alcalin à alcalin (pH = 7,31-8,21), entièrement salé pour *Cataglyphis bicolor* et très salé pour *Tapinoma nigerrimum* et salé pour *cataglyphis albicans*. Il a une texture limoneuse pour le genre *Cataglyphis* et limoneuse fin pour le genre *Tapinoma*. Le taux de la matière organique et de calcaire totale est faible estimé successivement à 0,52 % et et 0,6 %.

Le sol du Djebel Sidi R'ghiss est neutre à alcalin (7,36-7,83), non salé (CE = 0,25-0,37 ds/cm), avec un faible taux de calcaire (0,12-0,98 %), il est pauvre en matière organique pour *cataglyphis* et *Messor* et très pauvre pour les genres *camponotus* et *Monomorium* sa texture est sablo-limoneuse pour *Cataglyphis*, limono -argilo-sableuse pour *componotus* et *Monomorium* et argileux pour les différentes espèces de *Messor*.

Le site agricole de Constantine a un sol un peu salé (CE=1,17 ds/cm) et un taux de calcaire total égal à 1,55 %. Sa texture est limono -argilo-sableuse avec un taux moyen de matière organique (2,75 %) et un pH neutre. Par contre celui d'Oum El Bouaghi est un sol non salé (CE=0,3 ds/cm), neutre à alcalin (7,36-7,84), avec un taux de calcaire faible et moyen pour la matière organique, il a une texture variée entre Argileuse à limono-argileuse.

En général, le genre *Messor* préfère le sol limono -argilo-sableux de Ph neutre à alcalin (*barbarus*, *capitatus*), argileux et alcalin (*minor*), le genre *Cataglyphis* adopte le sol neutre et

limoneux (*bicolor*, *albicans*) limono-argileux et sablo-limoneux (*viatica*), les deux genres de *Camponotus* et *Monomorium* favorisent le sol alcalin à une texture limono -argilo-sableuse mais l'espèce *Tapinoma nigerrimum* opte pour le sol alcalin de texture sableuse.

Il apparaît que *Cataglyphis bicolor* préfère les sols lourds, argileux et humides et près du lacs, ces résultats ont été confirmés par les travaux de **wehner et al. (1994)** et celui de **Cagniant (2009)** qui travaillait sur un lac salé de Oum Dba (nord de Laâyoune) en Maroc et de **Heatwole (1996)** dans le Chott El Djerid en Tunisie.

Selon **Cagniant (1970)** cette espèce varie notablement de teinte, dans l'Atlas tellien, on ne rencontre que la forme noire en entier.

Le résultat obtenu concernant la présence du *Cataglyphis viatica* dans les sols limono-sableux du Djebel Sidi R'ghiss et limono-argileux du champ a été approuvé par le résultat de **Wehner (1983)** qui a signalé que cette espèce préfère le sol sec et dur dans les régions steppiques.

**Cagniant, 1968 b et 1970** a cité que *Cataglyphis albicans* est une espèce de pentes raides et sols instables : éboulis, sable, elle a montré sa résistance à la sécheresse et aux températures élevées.

**Lebas et al. (2016)** ont signalé que *Tapinoma nigerrimum* préfère les lieux argileux et humides de bords de rivières.

Selon **Santschi (1929)**, *Camponotus sylvaticus* est une espèce qui adopte le sol sableux à l'aide de la pilosité abondante trouvée sur la tête ou bien la présence de psammophore. L'espèce *Monomorium sp* a été trouvée seulement dans les deux zones une et deux de Djebel Sidi R'ghiss où le sol est limono-argileux à une altitude moins ou égale 500 m. Cela a été signalé par **Lebas et al. (2016)** qui a prouvé que cette dernière monte peu en altitude et habite les sols vaseux et sableux.

L'humidité des différents nids est comprise entre 0,05-0,09 sauf celle des *Tapinoma nigerrimum* et *Cataglyphis bicolor* est de 0,23-0,27.

**Tableau. 18.** Résultats des analyses physico-chimiques des différents types du sol prélevés au niveau des différents nids

Milieu	espèces	Ph	CE (ds/cm)	C (%)	MO (%)	W	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	Texture
Milieu Agricole Constantine	<i>Messor (capitatus, barbarus)</i> <i>Cataglyphis viatica</i>	7,16	1,77	1,59	2,75	0,09	24,52	18,13	0,85	15,16	41,34	Limono - argilo-sableux
Milieu Agricole Oum el bouaghi	<i>Messor (capitatus, barbarus)</i> <i>Cataglyphis albicans</i>	8,02	0,32	0,12	0,21	0,08	49,77	24,57	12,61	9,09	3,96	Argileux
	<i>Cataglyphis viatica</i>	7,78	0,25	0,98	1,69	0,08	3,44	11,46	8,46	7,62	69,02	Limono-argileux
Milieu forestier	Pied de montagne <i>Camponotus sp</i> <i>Monomorium sp</i>	7,80	0,20	0,12	0,21	0,08	25,66	7,69	15,88	24,74	26,03	Limono - argilo-sableux
	à 500 m <i>Cataglyphis viatica</i>	7,78	0,25	0,98	1,69	0,05	3,44	11,46	8,46	7,62	69,02	Sableux-limoneux
	à 600 m <i>Messor (capitatus, minor)</i>	7,83	0,28	0,86	1,48	0,12	49,73	10,87	22,93	12,96	3,51	Argileux
Lac El Zemoul	à 80 m <i>Tapinoma nigerrimum</i> <i>Cataglyphis bicolor</i>	8,21	6,18	0,49	0,84	0,23	4,89	10,39	45,62	21,88	17,22	Limoneux fin
	à 200 m <i>Cataglyphis albicans</i>	7,57	2,15	0,12	0,21	0,05	17,31	15,54	18,03	10,27	38,85	Limoneux
Oued Charef	Le bord <i>Tapinoma nigerrimum</i>	8,27	0,10	0,12	0,21	0,27	3,54	0,25	4,02	25,57	66,61	Sableux

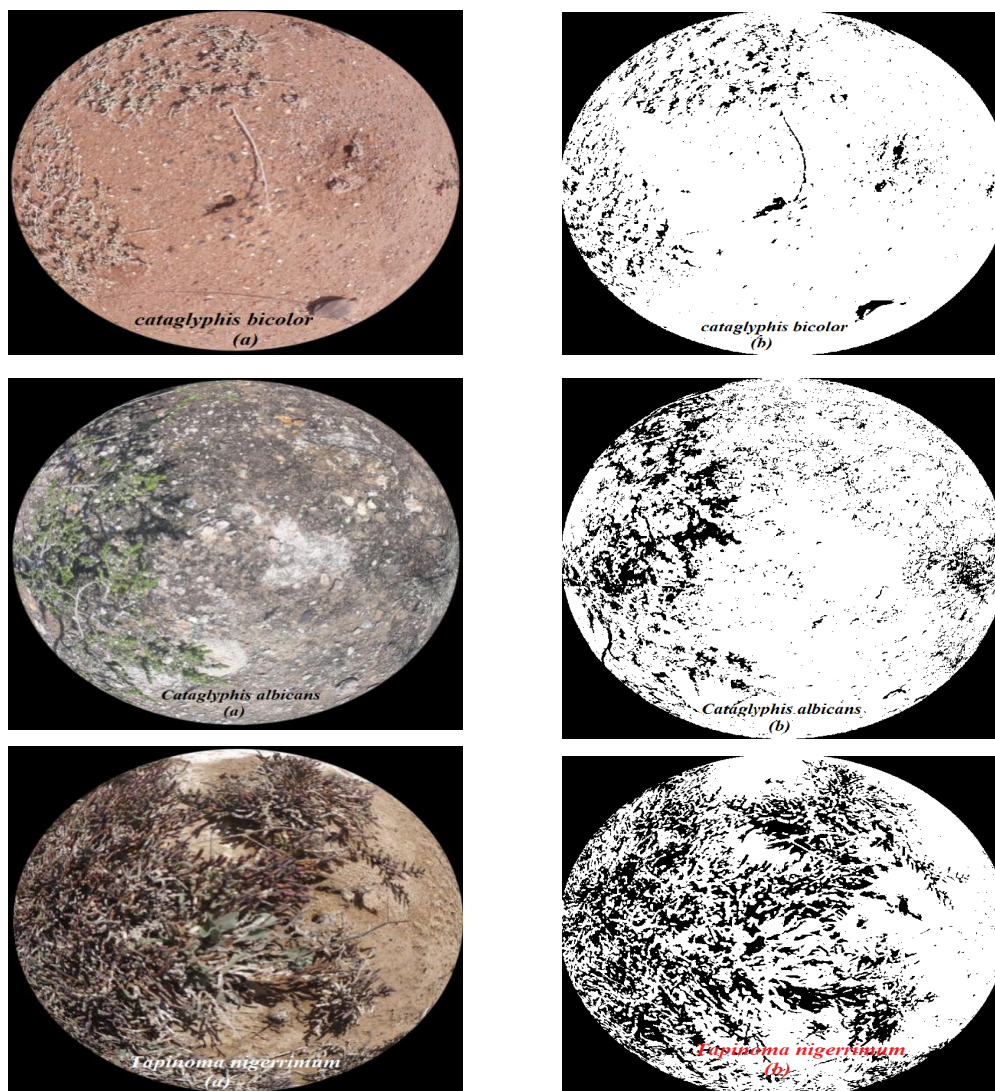
## II.2. Étude de la microclimatologie

### II.2.1. Étude de l'ombrage

#### II.2.1.1. Au niveau des sites de la wilaya d'Oum El Bouaghi

##### ✚ Lac El Zemoul

La figure 22 présente le résultat du traitement des photos Fish-eye prises sur les fourmilières de trois espèces étudiées au niveau du lac El Zemoul.



**Figure.22.** Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de trois Fourmilières au niveau du lac El Zemoul (**Photos personnelles, 2018**).

a : photo originale et b : photo traitée par GLA

Le tableau ci-dessous (**Tab.19**) représente les différents paramètres analysés avec le logiciel GLA. On constate que la plus grande ouverture de canopée trouvée sur le *Cataglyphis bicolor* avec un taux de 94,82 %, ce qui implique un indice foliaire faible (0,05), c'est-à-dire qu'elle reçoit beaucoup de rayons lumineux (95,24 %), suivit par celle de *Cataglyphis albicans*. Cependant la fourmière de *Tapinoma nigerrimum* reçoit un taux moyen de rayons lumineux soit 66,54 % à cause de l'ouverture de canopée estimée à 68,68 %.

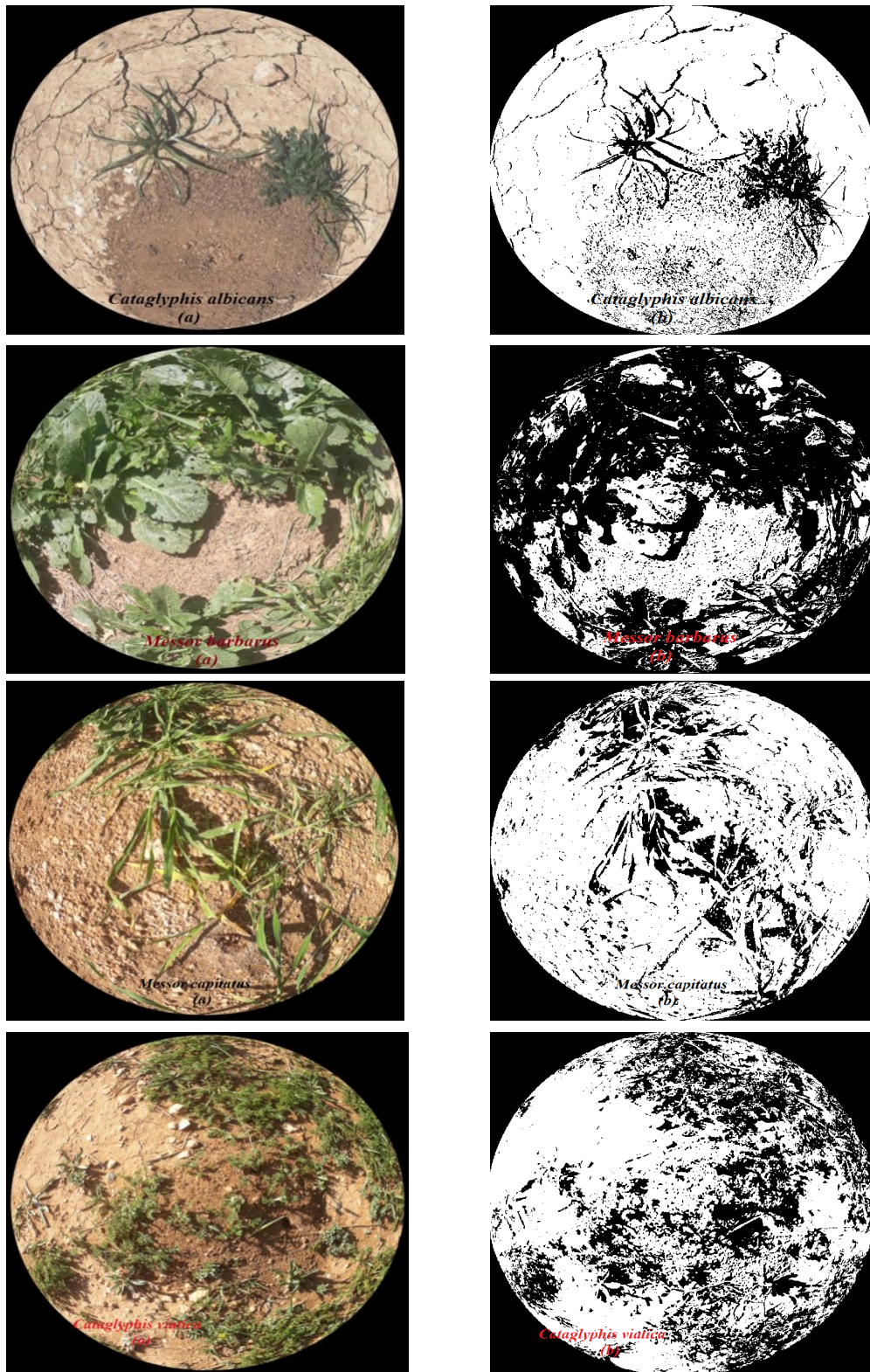
**Tableau.19.** Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmières étudiées au niveau du lac El Zemoul

Espèce	Ouverture de canopy (%)	Indice foliaire LAI	Trans total (Mole/m <sup>2</sup> /j)	Trans total (%)
<i>Cataglyphis Bicolor</i>	94,82	0,05	40,16	95,24
<i>Cataglyphis albicans</i>	86,35	0,15	32,47	88,88
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	68,68	0,48	22,88	66,54

#### Le milieu agricole

La figure **23** présente le résultat du traitement des photos Fish-eye prises sur des fourmières de quatre espèces étudiées au niveau du milieu agricole d'Oum El Bouaghi.

L'interprétation de ces résultats s'affiche dans le tableau **20**.



**Figure.23.** Photographies hémisphériques présentant l’environnement autour de quatre Fourmilières au niveau du milieu agricole OEB (Photos personnelles, 2018).

a : photo originale et b : photo traitée par GLA

D'après le tableau 20 on note que la plus grande ouverture de canopée a été enregistrée au niveau de la fourmilière de *Cataglyphis albicans* avec un taux de 85,43 % et un LAI égal à 0,22 suivi par celle de *Messor capitatus* avec un taux d'ouverture de 79,14 % et un LAI égal à 0,29 et de *Cataglyphis viatica* (65,45 %, 0,49). Cependant le nid de *Messor barbarus* a été installé sous une couverture d'herbe ce qui résulte un LAI égal à 1,09.

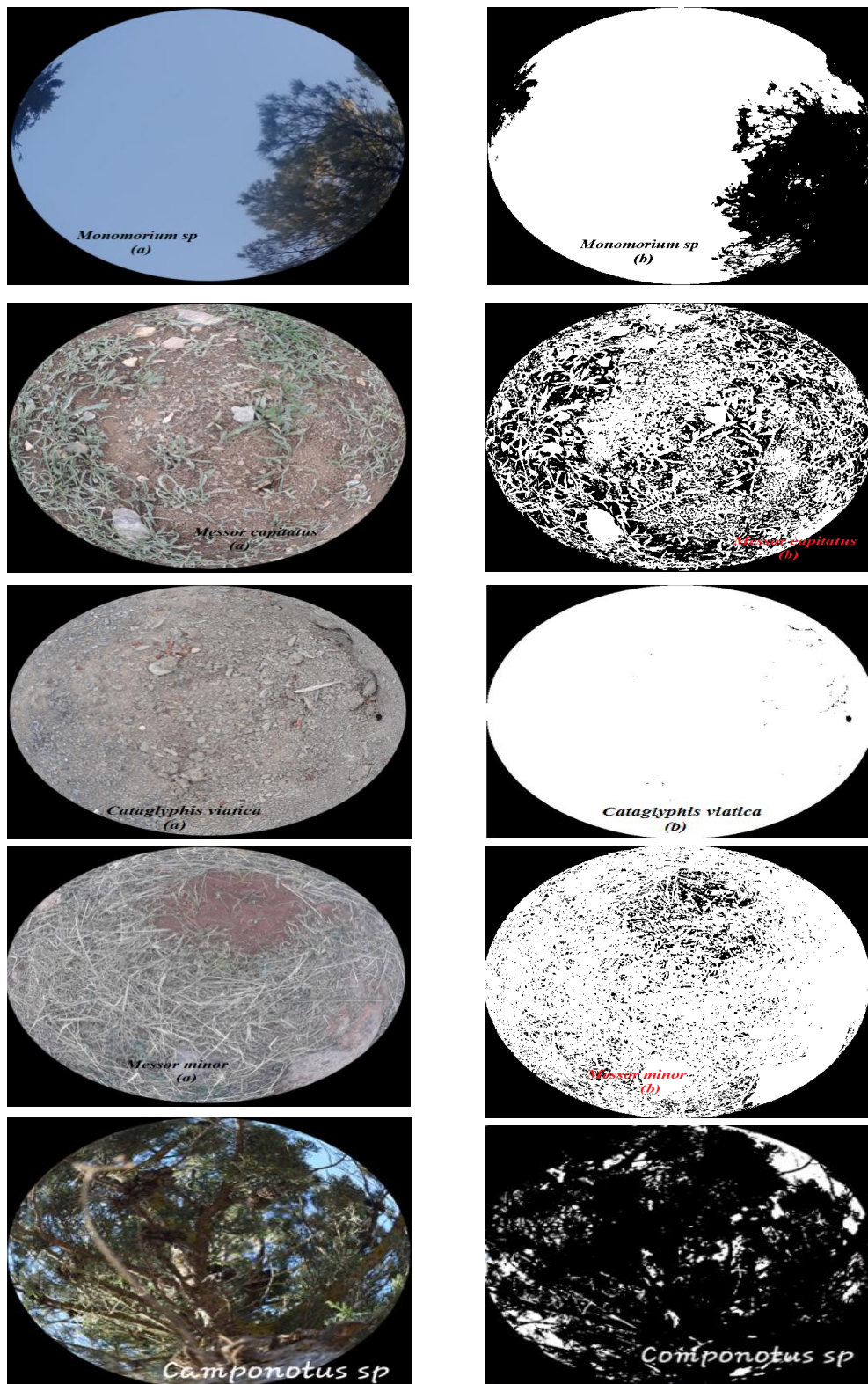
**Tableau .20.** Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du milieu agricole OEB

Espèce	Ouverture de canopy (%)	Indice folière LAI	Trans total (MJ/m <sup>2</sup> /j)	Trans total (%)
<i>Cataglyphis viatica</i>	65,45	0,49	25,46	60,38
<i>Cataglyphis albicans</i>	85,43	0,22	33,49	79,41
<i>Messor barbarus</i>	36,84	1,09	21,96	52,07
<i>Messor capitatus</i>	79,14	0,29	32,87	77,95

#### Le milieu forestier Djebel Sidi R'ghiss

La figure 24 présente le résultat du traitement des photos Fish-eye prises sur les fourmilières de trois espèces étudiées au niveau du milieu forestier du Djebel Sidi R'ghiss.

L'interprétation de ces résultats s'affiche dans le tableau 21.



**Figure .24.** Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de cinq Fourmilières au niveau du Djebel Sidi R'ghiss (Photos personnelles, 2018).

a : photo originale et b : photo traitée par GLA

Les résultats obtenus après le traitement des photos hémisphériques prises montrent que la fourmière de *Cataglyphis viatica* reçoit la plus grande quantité des rayons (42,13 mole/m<sup>2</sup>/j) avec un LAI nul, par contre *Camponotus sylvaticus* reçoit une petite quantité (2,73 mole/m<sup>2</sup>/j) avec un taux élevé de LAI égal à 2,92. Les fourmières de *Messor minor* et *monomorium sp* se trouvent sous une couverture de canopée assez grande estimée à 88,22 % et 87,08 % successivement, cependant celle de *Messor capitatus* se trouve sous une couverture moyenne de 60,94 %.

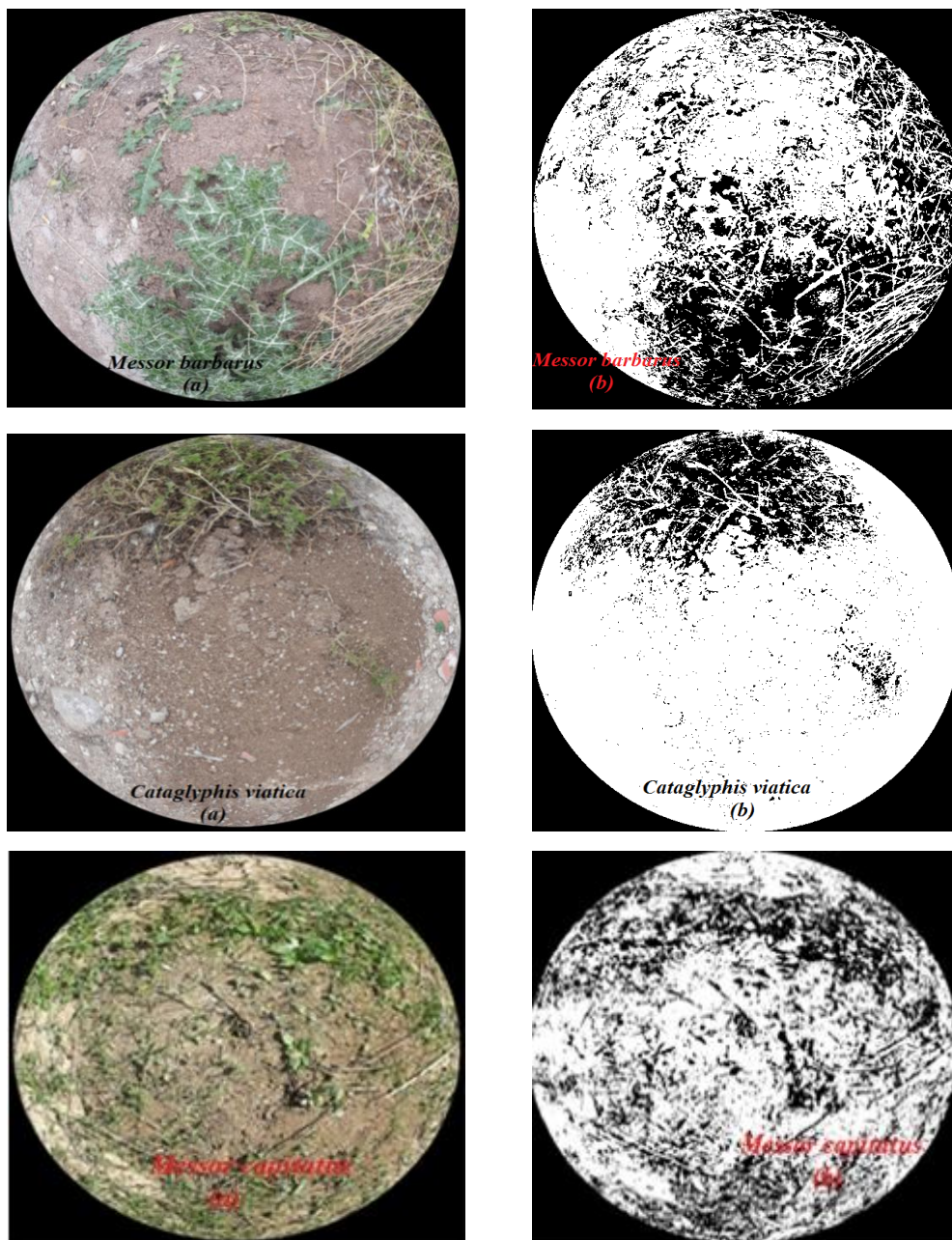
**Tableau.21.** Conditions annuelles d'enseillement sur les fourmières étudiées au niveau du milieu forestier djebel Sidi R'ghiss.

Espèce	Ouverture de canopy (%)	Indice folière LAI	Trans total (Mole/m <sup>2</sup> /j)	Trans total (%)
<i>Cataglyphis viatica</i>	99,58	0	42,13	99,91
<i>Messor capitatus</i>	60,94	0,52	24,75	61,08
<i>Messor minor</i>	88,22	0,15	31,09	90,42
<i>Camponotus sylvaticus</i>	10,93	2,92	2,73	7,92
<i>Monomorium sp</i>	78,08	0,22	27,95	87,26

### II.2.1.2. Au niveau du milieu agricole de Constantine

La figure 25 présente le résultat du traitement des photos Fish-eye prises sur les fourmières de trois espèces étudiées au niveau du milieu agricole de Constantine.

L'interprétation de ces résultats s'affiche dans le tableau 22, il montre que l'ouverture de canopée sur le nid de *cataglyphis viatica* est estimée à 86,77 % avec un LAI égal à 0,15 ce qui interprète la quantité des rayons transmis qui sont estimés à 39,28 Mole/m<sup>2</sup>/j. Pour celle de *Messor barbarus* est *Messor capitatus*, l'ouverture de canopée est de 65,07 et de 69,52 %, avec un LAI de 0,46 et de 0,41, la quantité des rayons transmis est de 27,42 et de 29,75 Mole/m<sup>2</sup>/j.



**Figure.25.** Photographies hémisphériques présentant l'environnement autour de trois fourmières au niveau du milieu agricole de Constantine (**Photos personnelles, 2018**).

**a** : photo originale et **b** : photo traitée par GLA

**Tableau.22.** Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau du milieu agricole de Constantine.

Espèce	Ouverture de canopy (%)	Indice folière LAI	Trans total (Mol/m <sup>2</sup> /j)	Trans total (%)
<i>Cataglyphis viatica</i>	86,77	0,15	39,28	93,29
<i>Messor barbarus</i>	65,07	0,46	27,42	65,12
<i>Messor capitatus</i>	69,52	0,41	29,75	73,57

### II.2.1.3. Au niveau des sites de la wilaya de Souk Ahras

La figure 26 présente le résultat du traitement des photos Fish-eye prises au niveau des fourmilières de trois espèces étudiées au niveau du bord d'Oued Charef et au milieu agricole.

L'interprétation de ces résultats s'affiche dans le tableau 23. On constate que *Tapinoma nigerrimum* installe leur nid soit sous l'arbuste *Tamarix* avec une couverture de canopée égale à 31,62 % soit sous l'herbe chiendent avec une couverture égale à 87,97 %. L'espèce *Cataglyphis viatica* préfère des zones avec une grande couverture de canopée (83,46 %) mais les espèces du genre *Messor* préfèrent des zones avec des ouvertures moyennes.

**Tableau .23.** Conditions annuelles d'ensoleillement sur les fourmilières étudiées au niveau d'Oued Charef

Espèce	Ouverture de canopy (%)	Indice folière LAI	Trans total (Mol/m <sup>2</sup> /j)	Trans total (%)
<i>Cataglyphis viatica</i>	83,46	0,18	31,81	87,26
<i>Messor capitatus</i>	35,95	1,21	15,64	37,1
<i>Messor barbarus</i>	67,65	0,54	25,84	70,72
<i>Tapinoma nigerrimum</i> (Nid sous arbuste)	31,62	1,18	13,69	39,87
<i>Tapinoma nigerrimum</i> (Nid dans un espace vide)	78,97	0,24	34,72	82,42

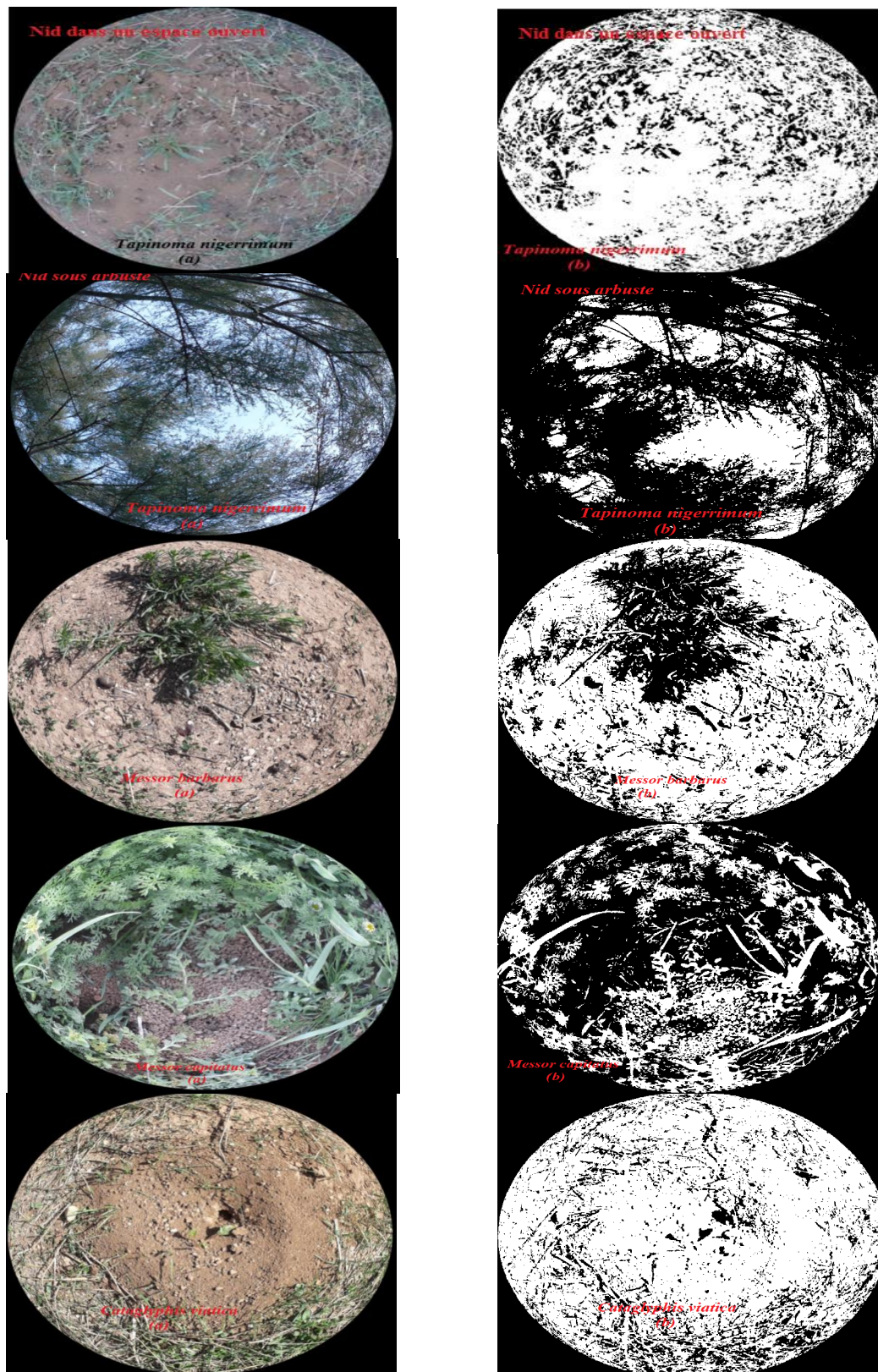


Figure .26. Photographies hémisphériques présentant l’environnement autour de cinq fourmilières au niveau d’Oued Charef (Photos personnelles, 2018).

a : photo originale et b : photo traitée par GLA

D'une manière générale, on constate que la quantité des rayons lumineux transmis dépend du taux d'ouverture de canopée. Les données confirment que lorsque l'ouverture de canopée est grande, la quantité des rayonnements transmis sous le couvert soit élevée ce qui implique un LAI bas.

La majorité des espèces étudiées installent leurs nids sous la strate d'herbe (Canopée végétarienne), c'est le cas des genres *Messor*, *Tapinoma*, *Cataglyphis*, cependant *Camponotus sp* et *Monomorium sp* se trouvent sous une canopée forestière.

Il apparaît que les fourmilières de *Cataglyphis bicolor* situées sous une grande ouverture de canopée (96,91 %  $\pm$  2,96) avec un LAI bas (0,025  $\pm$  0,03), celles de *Cataglyphis albicans* et *Cataglyphis viatica* sont installées sous une ouverture estimée à (85,89 %  $\pm$  0,65 ; 83,93 %  $\pm$  17,24) avec un LAI (0,185  $\pm$  0,04 ; 0,21  $\pm$  0,25).

Ainsi, les espèces *Monomorium sp* et *Messor minor* préfèrent les zones avec une ouverture de canopée assez grande (76,18 %  $\pm$  2,67 ; 75,4 %  $\pm$  18,13) avec un LAI égal à (0,25  $\pm$  0,04 ; 0,37  $\pm$  0,31). *Messor capitatus*, *Messor barbarus*, *Tapinoma nigerrimum* optent pour les ouvertures moyennes (69,86 %  $\pm$  9,10 ; 56,58  $\pm$  17,15 et 59,75 %  $\pm$  24,90) et un LAI égal à (0,40  $\pm$  0,11 ; 0,69  $\pm$  0,34 et 0,63  $\pm$  0,48).

Pendant, *Camponotus sylvaticus* favorise les canopées forestières presque fermées avec une petite ouverture déterminée par un taux de 10,93 % avec un LAI élevé égal à 2,92.

**Casevitz et Chérix, (1986)** ont aperçus que les fourmis de *Cataglyphis* choisissent l'emplacement de leurs fourmilières principalement en fonction de l'ensoleillement, de la proximité des sources de nourriture et de la profondeur du sol.

**Bernard (1945)** a noté que l'espèce de *Cataglyphis* nécessite le plein soleil pour faire son rôle comme prédateur.

**Rostaing et al. (2010)** ont étudié l'influence de luminosité sur la fourmi *Formica rufa* dans la station de Paimpont au cœur de la forêt de Brocéliande dans la ville de Rennes. Ils ont choisi une fourmilière située au-dessous d'une ouverture de canopée égale à 75,62 % avec un LAI de 0,09, le taux des rayons transmis est de 93,53 %.

**Lata et al. (2003)** ont obtenu des résultats assimilables mais leur étude est basée sur un peuplement des fourmis : *Formica rufa*, *Formica formica*, *Formica sp*, *Lasuis niger*, *Myrmica scabrinodis*

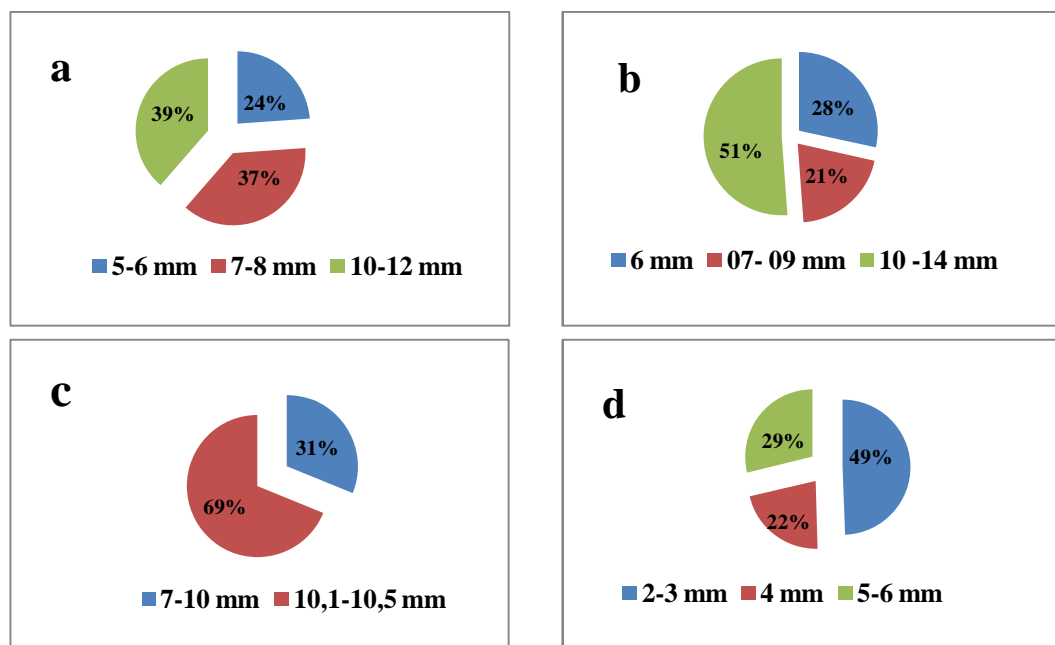
### II.3. Étude des paramètres climatiques influents sur l'activité des fourmis

#### II.3.1. différentes castes d'une fourmilière

D'après les mensurations faites sur les individus de types ouvrières au niveau des différentes fourmilières de cinq espèces choisies, on a constaté que les ouvrières sont divisées d'après leurs tailles en sous-castes. Concernant les échantillons de : *Messor capitatus*, *Cataglyphis bicolor* et *Tapinoma nigerrimum* on a constaté qu'ils contiennent trois sous castes, mais celle de *Camponotus sylvaticus* est formé seulement de deux sous castes. Cependant, les individus de l'espèce *Monomorium sp* sont monomorphes.

Chez les espèces : *Cataglyphis bicolor* et *Camponotus sylvaticus*, la sous-caste des *majors* se manifeste par un nombre élevé de 22.,  $5 \pm 0,70$  individu pour *Cataglyphis bicolor* et  $16,5 \pm 2,12$  individus pour celle de *Camponotus sylvaticus*. Chez *Messor capitatus* le nombre des *medias* et des *majors* est presque identique,  $17 \pm 4,24$  individus des *majors* et  $16,5 \pm 2,12$  des *medias*. Parmi les ouvrières de *Tapinoma nigerrimum*, la sous-caste des *minors* présente le plus grand nombre d'individus égal à  $25 \pm 2,82$  (Fig 27).

Ces résultats permettent de déterminer les sous-castes des individus participants aux différentes tâches de la fourmilière.



**Figure .27.** Différentes classes de taille des ouvrières récoltées sur des fourmilières de :

*a* : *Messor capitatus* ; *b* : *Cataglyphis bicolor* ; *c* : *Camponotus sylvaticus* et  
*d* : *Tapinoma nigerrimum*

Le polymorphisme renvoie à la notion de caste, ce terme est créé par **Latreille (1798)** pour désigner les diverses catégories d'individus rencontrés dans la fourmilière et identifiables par des apparences physiques (le phénotype) : la reine, les mâles, les ouvrières.

**Oster et Wilson (1978)** ont observé des variations morphologiques au sein même des neutres ce qui résulte l'apparence de trois sous-castes : les ouvrières minors, les ouvrières se et les ouvrières majors. Ces variations morphologiques résultent de la croissance allométrique de certaines parties du corps d'une manière plus rapide, c'est-à-dire leur croissance différente de celle du reste du corps. La tête est souvent l'organe privilégié par une telle croissance allométrique.

**Noirot (1989)** a signalé que le polymorphisme des fourmis est un polymorphisme d'imagos (ou adultes).

On dit alors que l'espèce est polymorphique en raison de l'existence d'ouvrières de tailles différentes. Le polymorphisme apparaît étroitement associé à l'exécution de tâches différentes, par exemple la sous-caste des petites ouvrières prend en charge les soins au couvain, celle des ouvrières de taille moyenne récolte la nourriture et celle des grandes ouvrières assure la défense. Cette division du travail, appelée par les spécialistes **le polyéthisme**. Mais le polyéthisme existe aussi chez les fourmis dont les ouvrières ont une taille fluctuant autour d'un seul mode.

La division du travail sera alors essentiellement fondée sur l'âge des individus (Le cas de l'espèce *Monomorium sp.*).

L'influence génétique n'est pas exclue, puisque nous verrons que des individus de même taille et de même âge peuvent être enclins à préférer une activité à une autre. Enfin, l'expérience individuelle et l'apprentissage sont également responsables de variations dans le polyéthisme.

Le polymorphisme peut être continu par la présence de tous les intermédiaires de taille : les ouvrières minor, média et major (**Passera et Aron, 2005**), c'est le cas des genres : *Messor*, *Cataglyphis*, *Tapinoma*. Chaque sous-caste accomplit une tâche particulière : c'est la division du travail selon la caste. Chez un petit nombre d'espèces, le polymorphisme des neutres n'est plus continu, mais devient discontinu, il n'y a plus d'individus *medias* mais seuls restent en présence des ouvrières *minors* et des *soldats* à la tête disproportionnée. C'est le cas de *Camponotus sylvaticus*.

Les ouvrières *majors* jouent leur premier rôle en relation avec leurs puissantes mandibules. Chez les *Messor* où le polymorphisme est le plus important, elles broient les

graines en petits fragments, les graines sont travaillées par l'ensemble des ouvrières et surtout les médias. Elles sont pincées par les mandibules et longuement imprégnées d'une salive, originaire principalement des glandes labiales (contiennent l'amylase). Le ramollissement de la graine permet alors à chaque ouvrière d'en prélever un fragment qui sera ingéré. Chaque ouvrière est obligée de s'alimenter directement, car il n'existe pas d'échanges trophallactiques entre adultes chez ces fourmis (**Delage, 1962**). La deuxième spécialisation des *majors* est liée à l'activité de récolte.

**Davidson (1978)** a montré l'existence d'une division du travail étroitement associée à la morphologie des individus. Il apparaît une relation parfaite entre la taille de la fourmi (ou plus exactement la longueur de ses mandibules) et la dimension du fragment de graine choisi. Plus la fourmi n'est grande, elle se spécialise dans la récolte fragments les plus gros.

Au sein des sous-familles des Formicinae et des Dolichoderinae comme pour la récolte des proies, l'objectif est de minimiser les coûts énergétiques du transport pour un optimal, la solution sera identique : un fourragement collectif et coopératif, le polymorphisme s'avérant ici aussi un bon moyen d'optimiser l'opération.

Lorsque des ouvrières de la fourmi *Camponotus pennsylvanicus* ont découvert une colonie de pucerons, l'exploitation de leur production alimentaire se fait sur la base d'une spécialisation des sous-castes ouvrières. Les plus petites, dont la tête a une largeur de 1 à 2 mm, fonctionnent comme gardiennes de la colonie de pucerons, la protégeant de ses parasites. Ce sont elles également qui sollicitent les homoptères et obtiennent les gouttes de miellat. Elles s'empressent de donner ces gouttes alimentaires à des ouvrières majeures, dont la largeur de tête varie de 2 à 3 mm. Ces grandes ouvrières, qui sont incapables du fait de leur taille de solliciter efficacement les pucerons, sont spécialisées dans le transport. Elles se comportent en véritables tankers qui font des va-et-vient entre la colonie de pucerons et leur nid (**Fowler, 1985**).

**Pfeiffer et Linsenmair (1998)** ont étudié sur *Camponotus gigas*, ils ont noté qu'il présente un polymorphisme pratiquement discontinu avec des ouvrières minor et des ouvrières major. Ces dernières constituant une caste de défenseurs, les autres tâches sont confiées aux ouvrières minor.

Comme pour *Camponotus pennsylvanicus*, il existe un polyéthisme lié au polymorphisme. Au sein des ouvrières *minors*, ce sont les plus petits représentants de la sous-caste qui collectent le miellat et le ramènent vers les nids périphériques. Ces derniers n'étant jamais très loin des colonies de pucerons, la distance parcourue par les ouvrières collectrices

sera de l'ordre de quelques mètres seulement. Par contre, les nids périphériques sont parfois éloignés de 60 mètres du nid central où se trouve le couvain à nourrir. Le transport du miellat qui a été stocké temporairement dans les nids périphériques est confié aux plus gros représentants des ouvrières minor. Ces transporteuses pèsent environ 150 mg contre 130 mg pour les ouvrières collectrices. Bien qu'elles ne soient que 1,16 fois plus lourdes que les collectrices, elles peuvent néanmoins stocker dans leur jabot cinq fois plus de liquide que leurs sœurs plus petites. Or, en se déplaçant, à charge égale, une grosse fourmi dépense d'énergie par unité de poids qu'une petite fourmi et le coût du transport diminuent quand la charge augmente (Nielsen *et al.*, 1982).

Le choix d'utiliser de plus grosses ouvrières pour assurer le transport à longue distance est donc judicieux. Mais il y a encore mieux. Une hypothèse classique en écologie, connue sous le terme de « central place foraging theory », suggère que l'énergie recueillie sous forme d'items alimentaires doit être proportionnelle à la longueur du trajet effectué.

En d'autres termes, un animal qui effectue de longs trajets doit être plus sélectif dans son choix et ramener au nid les items de plus forte valeur énergétique. C'est précisément ce qui a été observé chez *C. gigas*. Les transporteuses qui assurent le transbordement du miellat des nids périphériques les plus éloignés sont plus grandes que celles qui effectuent cette même tâche à partir de nids plus proches du nid central. Ce résultat est d'autant plus remarquable qu'il est rare chez les fourmis. Les ouvrières *majors* de la fourmi tisserande *Oecophylla smaragdina* sont moins spécialisées, puisqu'elles sont affectées à la fois à des tâches de fourragement, au cours desquelles elles récoltent des liquides sucrés et des proies animales, et de plus elles assurent le gardiennage du nid. Mais l'important est qu'elles s'activent hors du nid alors que les ouvrières minor restent à l'intérieur pour s'occuper des larves (Passera et Aron, 2005).

Schmid-Hempel et Schmid-Hempel (1984) ont noté qu'une conséquence du polyéthisme d'âge est que les individus les plus âgés sont chargés des activités extérieures, le fourragement et la défense. Il s'agit là de tâches extrêmement dangereuses.

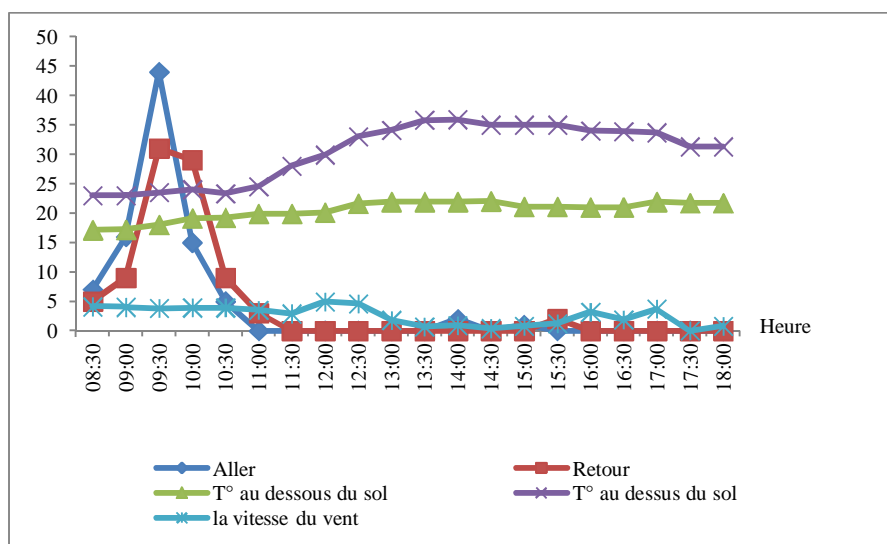
### II.3.2. Estimation de l'activité journalière des fourmis

#### II.3.2.1. Genre *Camponotus*

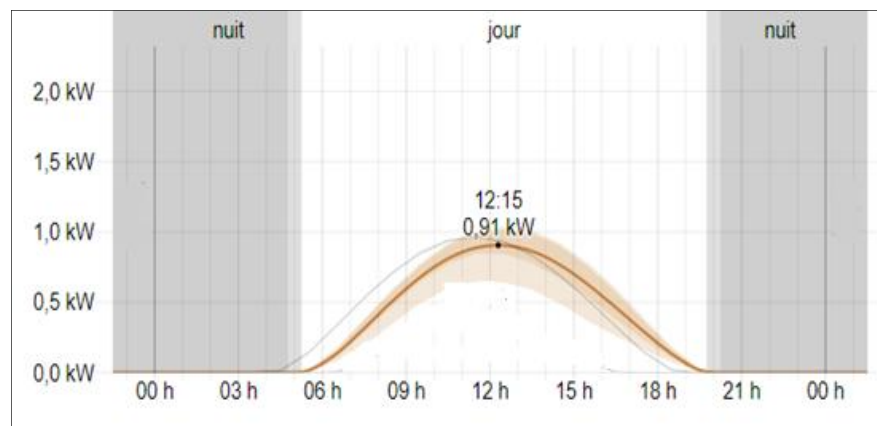
L'ensemble des données récoltées et présentées dans la figure 28 montrent une variation de température et de vitesse du vent au cours de la journée. L'augmentation progressive des valeurs des différents facteurs atteint le plateau centré à 12 h 15 pour la luminosité (0,91 Kw, à 14 h pour la température au-dessus du sol (35,9 °C), à 14 h 30 pour la température au-dessous du sol (22 °C) et à 12 h pour la vitesse du vent (4,9 m/s). Concernant le flux de fourmis on constate qu'il est faible et à 9 h 30 il aboutit à un maximum de 44 individus en aller et 31 individus en retour. Cependant à partir de 11 h on remarque la disparition du flux.

Les résultats obtenus par le modèle de régression linéaire multiple : montrent que le modèle est significatif dont ( $F= 4\,055$ ,  $p= 0,025$ ) pour la variable dépendante en aller et ( $F=4,151$ ,  $p=0,024$ ) pour la variable au retour, le  $p$  valeur dans les deux cas est  $\leq 0,05$  donc il ya une corrélation significative entre le flux et les deux facteurs. Ainsi,  $R^2 = 0,435$  quant la valeur dépendante en aller et égal à 0,438 quant la valeur dépendante est en retour, ceux qui signifie que 43,5 à 34,8 % de la variation du flux est expliquée par les variables du vent et de température ; donc la relation significative est moyenne.

D'après les résultats obtenus, le rayonnement solaire est le facteur le plus affectif d'activité de la fourmi *Camponotus sylvaticus*.



**Figure .28.** Variation du nombre de *Camponotus sylvaticus*, de température et de la vitesse du vent au cours d'une journée



**Figure .29.** Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de *Camponotus sylvaticus* (weatherspark.com).

### II.3.2.2. Genre *Messor*

D'après les résultats obtenus lors du dénombrement des fourmis *Messor* actives au cours d'une journée **Fig (30)**. On constate que l'activité est importante aux heures matinales et pendant le soir (N=144-1260) soit en aller ou en retour dont les valeurs de température est entre (20-30, 1 °C) et la vitesse du vent est (0-7, 4 m/s). A partir de 13 h à 14 h 30 il ya une absence totale d'activité quant la température au-dessus du sol est entre (30 à 32 °C) et une température de 26,1 °C au-dessous, la vitesse du vent est comprise entre (1,6-10 m/s) et les degrés du rayonnement solaire sont en maximum (0,91° KW). Ces résultats montrent que la température et la vitesse du vent n'ont aucun effet sur l'activité des *Messor* lorsqu'elles sont aux valeurs optimales. L'explication par le modèle de régression est significative, pour la variable de retour (F= 3 078, p= 0,049), car le p valeurs est <0,05 et non significative pour la variable en aller (F=2,795, p= 0,065), car le p valeurs est >0,05, donc il n'ya pas une corrélation significative entre la variable dépendante en aller et au retour et les variables indépendantes. Le  $R^2$  est égal à 0,427 et 0,451 en aller et en retour, ce qui signifie que 42,7 à 45,1 % de la variation de flux est expliqué par les variations de la vitesse du vent et de la température.

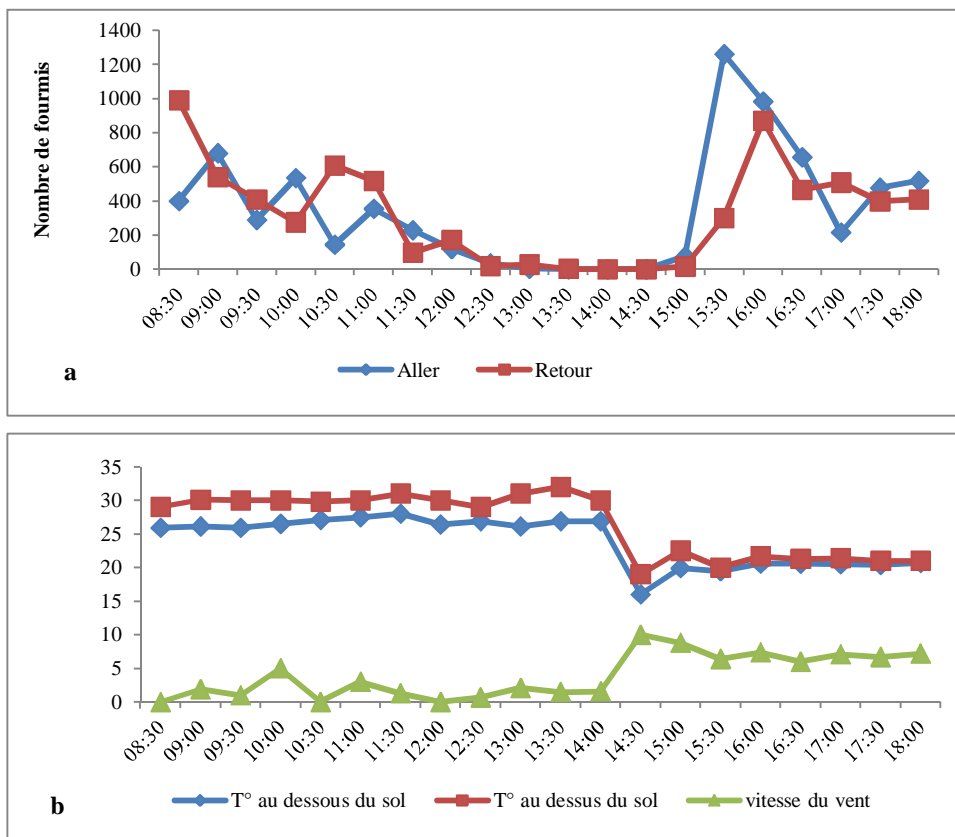


Figure .30. Variation du nombre de *Messor* (a), la température et la vitesse du vent (b) au cours d'une journée

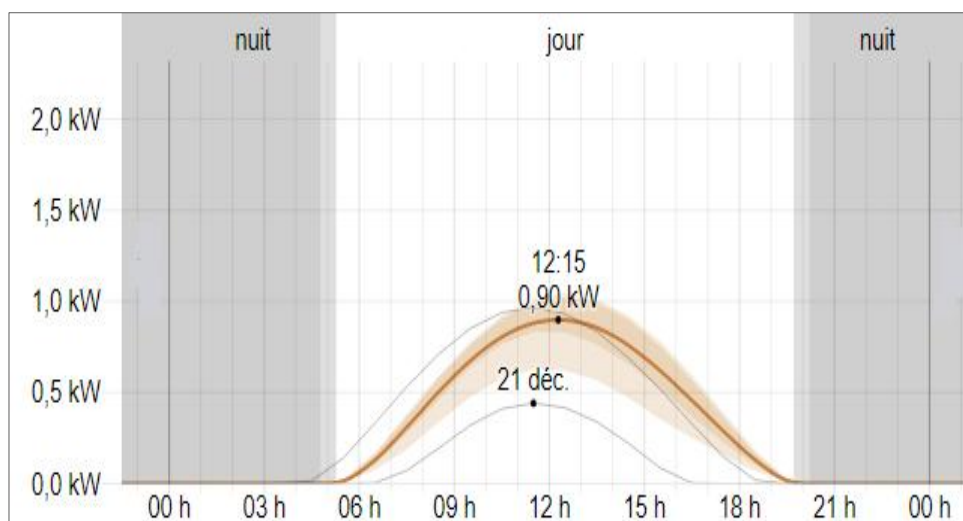
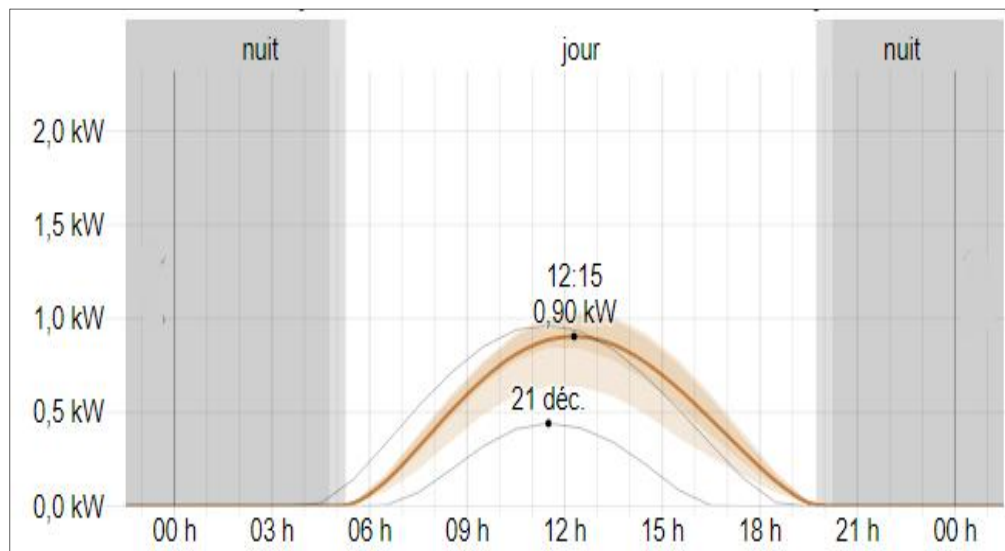


Figure .31. Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de *Messor* (weatherspark.com)

### II.3.2.3. Genre *Monomorium*

Le suivi de l'activité journalière d'une *Monomorium* montre que cette dernière est plus active le matin (N=212-433) jusqu'à 11 h quand les degrés de température varient entre 23,1 °C et 28 °C. À partir de 12 h 30 jusqu'à 14 h et lorsque les degrés de température et du rayonnement solaire sont maximaux (T au-dessous = 24,3-27,1 °C, T au dessus = 33-34,3 °C, RS  $\approx$  0,90 KW) l'activité s'arrête puis elle reprend dès que la température diminue seulement elle reste moyenne (N=16-198). Les valeurs de la vitesse du vent montrent qu'elles n'influent pas sur l'activité des fourmis.

Le traitement des résultats par le modèle de régression montre qu'il y a une haute signification concernant la variable en aller (F=8,629, p=0,001) et la variable au retour (F=9 231, p= 0,001). Cela signifie qu'il y a une forte corrélation entre les variables dépendantes en aller et retour et les variables indépendantes (vent et température). D'après les valeurs de R<sup>2</sup> : 69,7 % de la variation de flux en aller et 71,1 % de flux au retour sont expliquées par les variations de température et du vent.



**Figure .32.** Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de *Monomorium sp* (weatherspark.com).

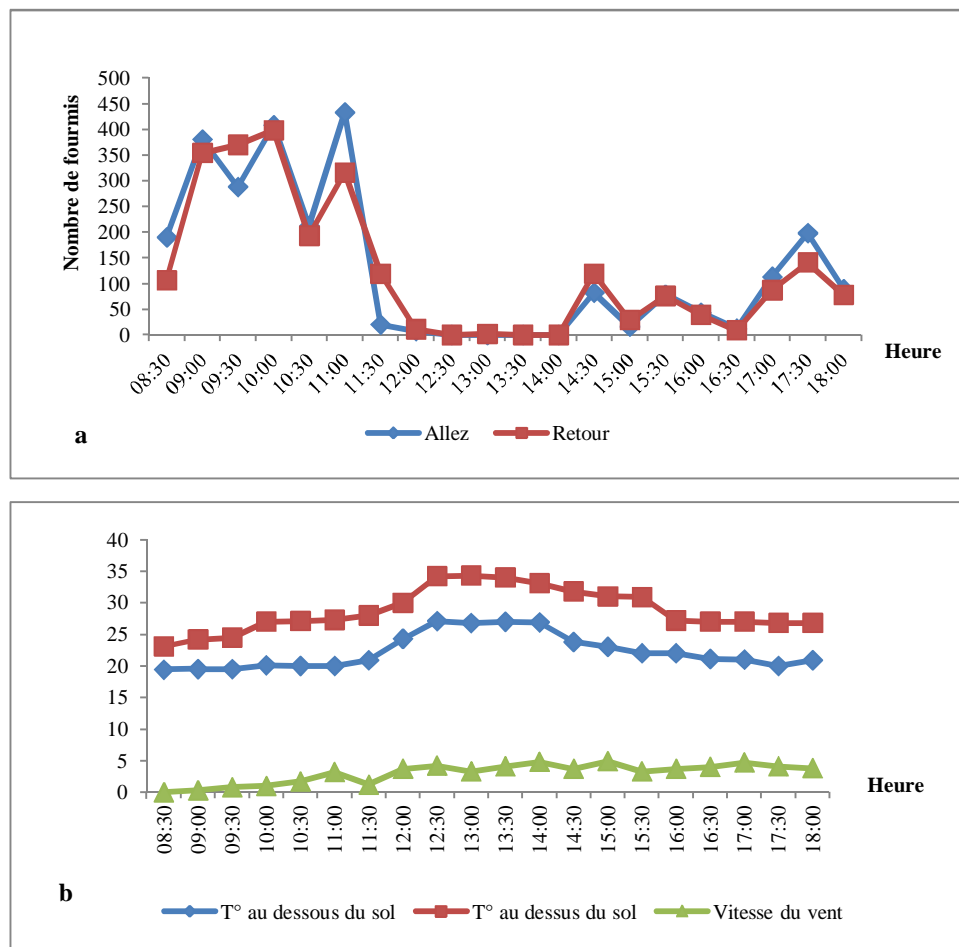


Figure .33. Variation du nombre de *Monomorium sp* (a), la température et la vitesse du vent (b) au cours d'une journée.

#### II.3.2.4. Le genre *Tapinoma*

Le dénombrement des fourmis actives au cours d'une journée (Fig 34) qui appartiennent au genre *Tapinoma* montre une activité faible le matin et absente entre midi et 14 h quand la vitesse du vent est de  $4,03 \pm 0,25$  m/s et la température du sol est égale à  $30,6 \pm 0,45$  °C au-dessus et  $21,5 \pm 0,52$  °C au-dessous. Elle devient importante le soir à partir de 15 h (N=68-454). Les valeurs optimales qui favorisent l'activité sont de l'ordre de  $30,03 \pm 1,59$  °C au-dessus du sol et  $27,5 \pm 0,52$  °C au-dessous et de la vitesse du vent estime à  $2 \pm 1,58$  m/s. Le degré du rayonnement solaire augmente progressivement jusqu'à un maximum de  $0,91$  KW à 12 h 15.

L'explication par le modèle de régression est significative pour la variable en aller (F= 4 316, p= 0,016) et pour la variable au retour (F= 4 252, p= 0,017), donc il ya une corrélation significative entre la variable dépendante aller/retour et les variables indépendantes. Le  $R^2$  est

égal à 0,535 en aller et 0,531 en retour ce qui signifie que 53,5 à 53,1 % de la variation de flux est expliquée par les variations de la vitesse du vent et de la température.

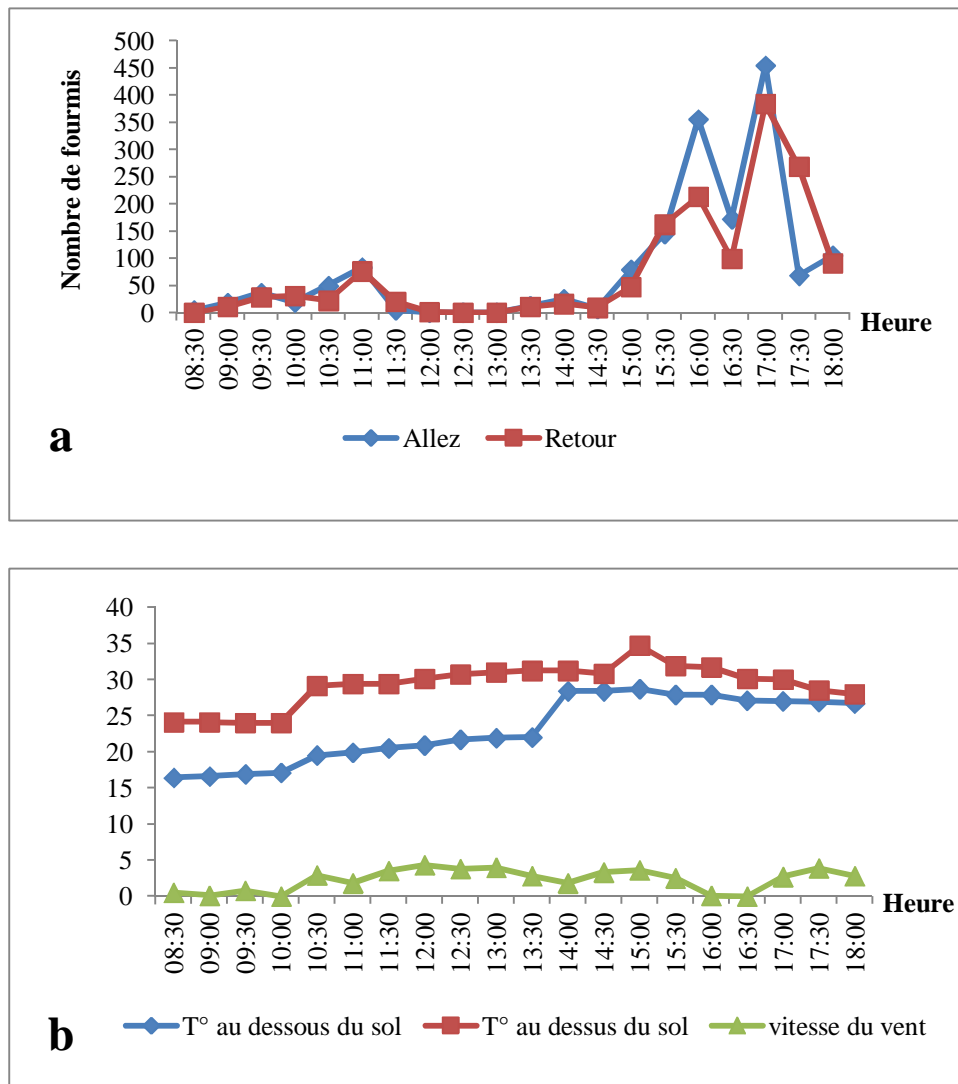
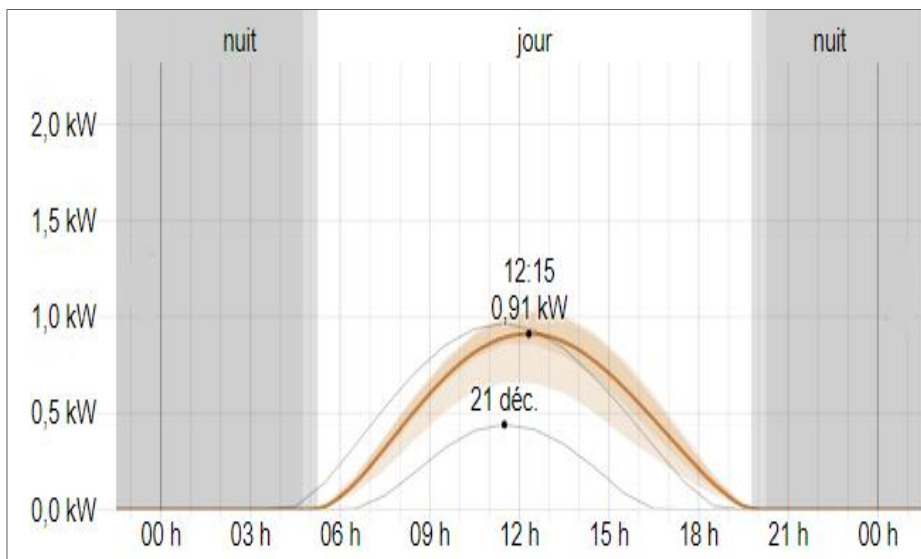


Figure .34. Variation du nombre de *Tapinoma* (a), la température et la vitesse du vent (b) au cours d'une journée



**Figure .35.** Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l'activité de *Tapinoma nigerrimum* (weatherspark.com).

### II.3.2.5. Genre *Cataglyphis*

Le dénombrement des fourmis *Cataglyphis bicolor* montre une activité permanente au cours de la journée, et devient important à partir de 11 h 30 lors où les degrés de température sont élevés 28-36, 6 °C au dessus et de 22-29, 9 °C au-dessous du sol. La vitesse du vent est comprise entre (0,5-3 m/s). Le rayonnement solaire a une augmentation progressive, il atteint le plateau centré à 12 h 15 avec une valeur de 0.90Kw.

Le modèle de régression linéaire est hautement significatif ( $F=7,698$ ,  $p=0,001$ ) donc il ya une corrélation importante entre la variable du flux et les deux variables indépendantes (vent et température). Le  $R^2 = 0,672$  soit 67,2 % de la variation de flux qui est expliquée par les variations du vent et de température.

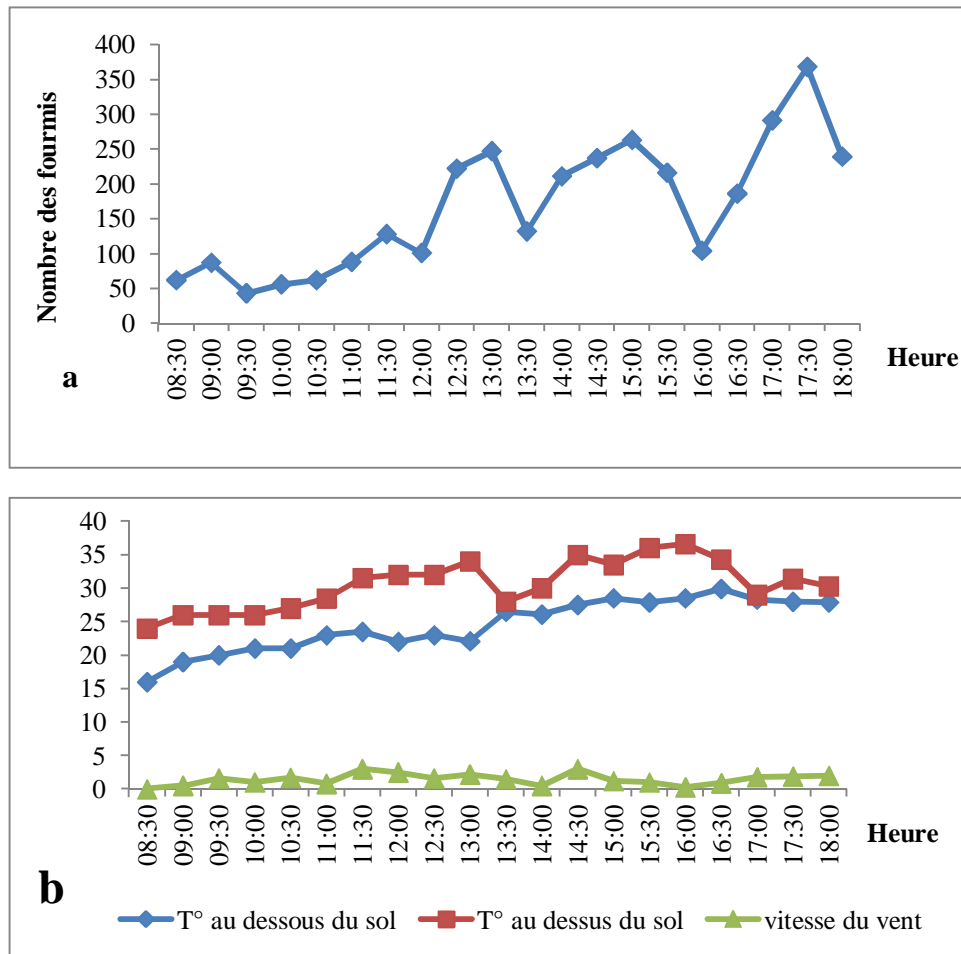


Figure .36. Variation du nombre de *Cataglyphis* (a), la température et la vitesse du vent (b) au cours d’une journée

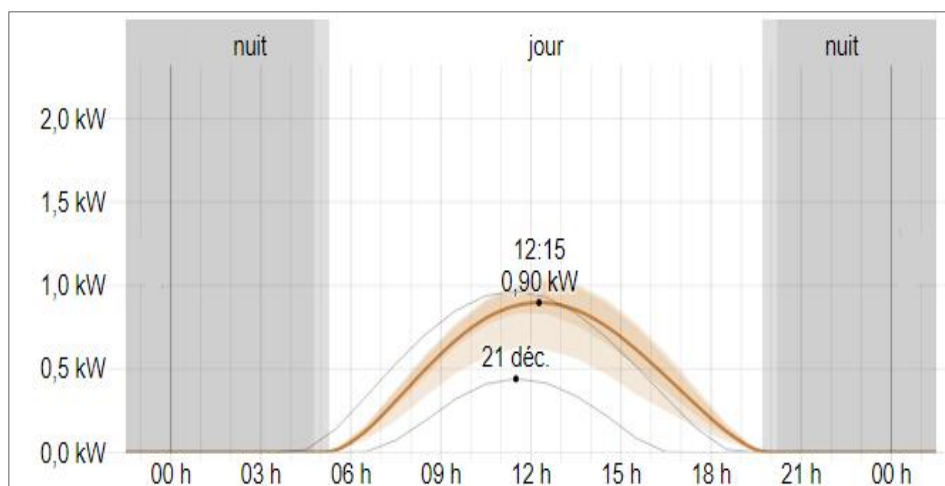


Figure .37. Variation du rayonnement solaire au cours de la journée du suivi de l’activité de *Cataglyphis* (weatherspark.com).

Plusieurs facteurs climatiques ont un effet indirect mais général sur l'activité de recherche de nourriture des fourmis (Talbot, 1946 ; Finnegan, 1973 ; McNeil *et al.*, 1978 ; Nielse, 1981 ; Doncaster, 1983 et Gano et Rogers, 1983).

La température semble avoir une influence plus forte et directe à cause de son effet sur la consommation d'oxygène, la perte d'eau et les coûts de transport des fourmis fourragères. (Cagniant 1971 ; Whitford *et al.*, 1976 ; Jensen et Holm-Jensen, 1980 ; Hebling et Garcia 1982 ; Mac Kay, 1982 ; Sigal et Arlian, 1982 ; Mac Kay et Sassaman, 1984 et Nielsen, 1986).

Narendra *et al.* (2010) ont démontré que certaines espèces de fourmis ne se nourrissent que la période diurne ou nocturne, tandis que d'autres espèces peuvent se nourrir toute la journée et la nuit. Certaines fourmis peuvent mesurer les niveaux de lumière à l'interne pour savoir quand commencer la recherche de nourriture tandis que d'autres sont motivés par cycles de température diurne.

Les travaux de Chambers (2011) résultent par la récolte de six espèces de fourmis : *Aphaenogaster lamellidens*, *Aphaenogaster rudis*, *Camponotus castaneus*, *Camponotus pennsylvanicus*, *Crematogaster lineolata*, and *Formica pallidefulva*. De ceux-ci, pour la recherche de nourriture, *C. castaneus* a été observé que dans la nuit cependant *Formica pallidefulva* a été observé au cours de la journée. Les autres espèces ont été actives pendant les deux périodes.

Les raisons pour lesquelles les fourmis plus grosses se nourrissent à des températures plus élevées sont mal connues mais on suppose que cela est dû à des budgets énergétiques plus importants. Dans ces colonies, les fourmis sont forcées de fourrager plus d'heures au cours de la journée en raison de la recherche de nourriture (Kaspari, 1993).

Des données de la littérature pour toutes les espèces de fourmis ont recueilli des informations sur les températures maximales sol-surface pendant l'activité des fourmis et le mode de recherche de nourriture (recrutement ou solitaire). L'activité maximale du genre *Messor* (*capitatus*, *bouvieri*, *aegyptiacus*, *arenarius*) est de 6 h à 8 h et de 18 h à 20h (Lopez *et al.*, 1992). Celle du genre *Monomorium* est variée selon l'espèce (*salomonis* : de 7 h et 20 h, *alarmarum* : de 16 h à 17 h, *vatranum* : de 7 h à 9 h et de 15 h à 16 h). L'activité maximale du *Camponotus foreli* est à 10 h et 16 h, du *Camponotus martensis* est à 20 h et 7 h et du *camponotus Cruentatus* est à 9 h et 18 h (Cros *et al.*, 1997 ; Heatwole et Muir, 1989 et March, 1988).

*Cataglyphis bicolor* est une fourmi prédatrice d'activité strictement diurne, **Cros et al. (1997)** Dans leurs études ont déclaré que l'espèce *Cataglyphis* adopte le mode de recherche de nourriture isolée que ce de recrutement, leur activité maximale s'étend de 12 h à 15 h, lorsque la température atteint son maximum.

La différence entre l'espèce solitaire et recruteuse était statistiquement significative (test de wilcoxon,  $t=0$ ,  $N=7$ ,  $P=0,018$ ). **Heatwole et Muir (1989)** ont démontré que les espèces d'animaux solitaires (*Cataglyphis bombycina* et *Cataglyphis aurata*) sont actives à des températures maximales, alors que les espèces recruteuses ne le sont pas. De plus, les températures au cours de l'activité maximale étaient significativement plus élevées chez les espèces solitaires (test Mann Whitney  $U=0$ ,  $N =2$ ,  $P= 0,046$ ).

**March (1988)** cité que les fourmis qui se nourrissent isolément étaient active à mi-journée (test Mann Whitney  $U=0$ ,  $N =4$ ,  $P= 0,06$ ).

**Ruano et al. (2000)** ont confirmé ces informations par l'examinations de 50 espèces de Formicinae et de Myrmicinae. Leurs résultats obtenus démontrent que les propriétés physiques de l'environnement influent sur les taux d'atténuation et la dégradation du signal et, par conséquent, la température peut influencer sur l'évolution et la maintenance des signaux chimiques volatils. Les espèces qui étaient actives à des températures plus basses se sont avérées être celles qui utilisent des signaux chimiques pour recruter des partenaires durant la recherche de nourriture. Ainsi, celles actives à haute température du sol ne recrutent pas des partenaires de nidification.

L'activité des colonies de fourmis est normalement conditionnée par les conditions environnementales (**Ayre, 1958 ; Briese et Macaule, 1980 et Nielsen, 1981**). Dans le cas de *C. sylvaticus*, et *Camponotus semitestaceus*, l'intensité lumineuse semble être le facteur le plus important : sans égard à la période de l'année, l'activité commence au crépuscule et cesse à l'aube. Chez les autres espèces nocturnes, lorsque les températures se situent entre certaines plages tolérées par l'espèce l'intensité lumineuse est le facteur le plus important pour déterminer le début et la fin de l'activité.

La température est un autre facteur qui peut limiter l'activité de *C. sylvaticus*. L'activité ordinaire de l'espèce a lieu entre 14 et 29 ° C. Donc, *C. sylvaticus* reste active à une température beaucoup plus basse que la plupart des autres espèces de fourmis qui peut être comprise comme une caractéristique adaptative à la recherche de nourriture de nuit également signalée chez d'autres fourmis nocturnes (**Conway, 1980 et Gano et Rogers, 1983**).

**Gehring et Wehner (1995)** ont cité que la fourmi *Cataglyphis* vit dans le désert du Sahara, elle est l'un des animaux terrestres les plus thermotolérants connus. Elle fourrage à des températures corporelles supérieures jusqu'à 55,1 °C. Ainsi, *Formica polyctena* fourrage à 46,8 °C. Ayre, 1958 cité que les températures au sol et au voisinage de la surface du sol affectent les activités de récolte de *Formica subnitens* Creighton ; le maximum d'activité se produit lorsque la température moyenne de la surface du sol est de 82,1 ° F le matin et 93,5 F l'après-midi.

La thermorégulation morphologique est complétée par des processus cellulaires tels que la synthèse de « **Heat shock proteins** » qui empêchent la dénaturation des protéines et maintiennent l'activité enzymatique même à des températures très élevées.

Chez *Cataglyphis bicolor* et *C. bombycina*, les Heat shock proteins sont synthétisées à des températures comprises entre 25 °C et 45 °C. Cette production de base à des températures qui ne sont pas toujours particulièrement élevées peut constituer une préadaptation contre un choc thermique soudain, par exemple, lorsque les ouvrières en sortant fourrager passent d'un environnement relativement frais (l'intérieur du nid) à un environnement extérieur pouvant dépasser les 55 °C (**Gehring et Wehner, 1995**).

L'humidité relative influe apparemment sur l'activité de récolte, mais les méthodes employées pour la mesure systématique de ses variations ne furent pas satisfaisantes. Il est évident que la luminosité et la pression atmosphérique influent sur les activités de récolte ; mais comme les variations de ces facteurs s'accompagnent de variations de température et d'humidité relative, ce qui revient à chacun n'a pas été déterminé (**Gehring et Wehner, 1995**).

On a pu montrer également que la direction du déplacement des fourmis était influencée par la position astronomique du soleil. Pendant les périodes de l'insolation, la couleur et la forme de la fourmi jouent une partie de l'influence sur la température corporelle (**Gehring et Wehner, 1995**).

La coloration rouge et noir de *Formica subnitens* provoquerait une grande absorption de chaleur que la couleur rayonnement solaire à angle droit, quelque soit la position du soleil.

**Uvarov (1948)** a montré qu'il ya un léger décalage de la température corporelle lorsqu'un insecte est exposé au rayonnement solaire ou lorsqu'il est ombragé par le rayonnement solaire. Concernant les fourmis, en raison de leur petite taille, ce retard ne serait pas long pour permettre aux fourmis de s'abaisser de la zone ombragée à autre, alors que le

chauffage solaire continu provoquerait normalement une température corporelle trop élevée pour l'activité.

L'humidité est fortement liée à la température, avec de pression de vapeur plus élevée aux températures chaudes. Il a été constaté que les fourmis plus grosses se nourrissent à des degrés élevés de pression de vapeurs (dans les conditions plus sèches), donc les fourmis plus grandes s'approvisionnent généralement à des températures plus élevées. En général, on peut conclure que la température est liée à d'autres facteurs environnementaux et les résultats antérieurs pourraient donc être la conséquence de la variation de l'activité.

L'effet du vent est non discuté dans notre étude, car on n'a pas enregistré un effet remarquable sur l'activité des cinq genres étudiés, ainsi les conditions quand on a fait le suivi d'activité sont favorables. Une étude faite par **Rodriguez (2014)** concernant l'effet du vent sur les stratégies de recherche de nourriture par une fourmi coupeuse de feuille *Atta cephalotes* met en évidence la plasticité comportementale des fourmis en réponse aux conditions locales sur la piste de recherche de nourriture.

### II.3.3. Étude du mécanisme d'orientation

#### II.3.3.1. Orientation par les repères visuels

D'après les résultats obtenus et montrés en figure 38 concernant l'orientation des fourmis basée sur les repères visuels (Carré, Croix, Rond, Triangle), nous constatons que : chez les différentes espèces, les deux accès Croix (F) et Rond (N) sont les plus inspectés avant la rotation, cependant ceux de Triangle et Carré sont les plus fréquentés après la rotation. Une augmentation progressive du nombre de fourmis au cours de l'expérience a été constatée.

➤ Avant la rotation :

Une abondance des différentes espèces sur l'accès Croix a été enregistrée. Une moyenne de  $199,6 \pm 67,69$  individus pour *Messor capitatus*,  $26,33 \pm 16,97$  individus pour *Cataglyphis bicolor*,  $247,6 \pm 48,93$  individus pour *Monomorium sp* et  $134,6 \pm 14,14$  individus pour *Tapinoma nigerrimum*. Cela s'explique par la liaison de cet accès avec l'ouverture des nids actifs.

Ainsi et à cause de son association avec la source de nourriture, l'accès Rond a été exploré par les fourmis d'une moyenne de  $199,6 \pm 67,69$  individus pour *Messor capitatus*,  $26,33 \pm 16,97$  individus pour *Cataglyphis bicolor*,  $247,6 \pm 48,93$  individus pour *Monomorium sp* et  $134,6 \pm 14,14$  individus pour *Tapinoma nigerrimum*.

Les deux autres accès (Triangle et Carré) sans issus sont mal fréquentés.

➤ Après la rotation :

Une faible abondance des fourmis dans les différents accès a été remarquée à cause des changements liés à la rotation de l'arène. Les accès les plus fréquentés avant la rotation sont mal exploités par les fourmis, cependant ceux de Triangle (F) et Carré (N) sont devenus les plus prospectés.

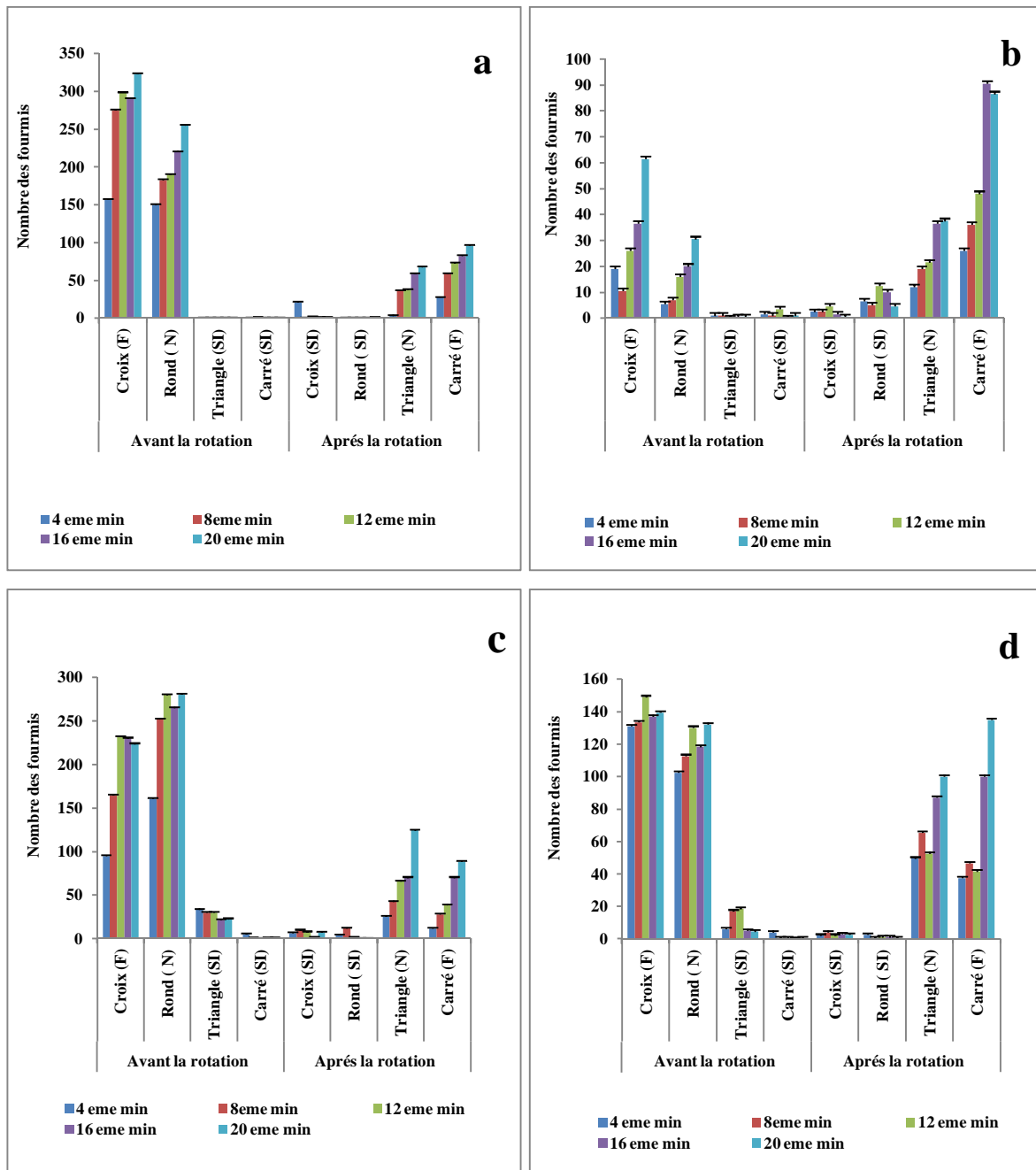
Ainsi, on a constaté que les espèces *Messor capitatus*, *Monomorium sp*, *Tapinoma nigerrimum* ne sont pas dirigées par les repères visuels après la rotation, ce qui explique la diminution à la quatrième minute du nombre des individus qui empruntent les différents accès précédemment utilisés, dans lequel, l'accès Rond a été fréquenté en moyenne de :  $4 \pm 1,41$  individu pour *Monomorium sp*,  $2,5 \pm 2,12$  individus pour *Tapinoma nigerrimum* et aucun pour *Messor capitatus*.

Pour l'accès Croix, il a été fréquenté en moyenne de  $6,5 \pm 0,70$  individu pour *Monomorium sp*,  $2 \pm 1,41$  individu pour *Tapinoma nigerrimum* et  $21 \pm 5,65$  individus pour *Messor capitatus*. Cependant les accès sans issus avant la rotation (Triangle et Carré) ont été devenus les plus exploités par les fourmis. Ce qui explique le mode de recrutement de masse adopté par ces espèces dans lequel on a constaté la formation des nouvelles pistes après quelques minutes de la rotation : 07 min chez *Tapinoma nigerrimum*, 10 min chez *Messor capitatus* et 08 min chez *Monomorium sp*.

Concernant l'espèce *Cataglyphis bicolor*, on a constaté que les individus de cette espèce restent fidèles à l'accès Rond d'une moyenne de  $6,5 \pm 0,70$  individus à la quatrième minute après la rotation. ( $5,5 \pm 2,12$  individus avant la rotation). Après la 12<sup>ème</sup> minute, on a remarqué la diminution du nombre par cet accès (Rond) et l'augmentation par celui du Triangle. Ce qui est signifié que cette espèce se fonde sur la mémorisation des repères visuels lors de leur fourragement de type solitaire.

Ainsi, une vitesse remarquable lors du déplacement des fourmis permet une adaptation rapide de ces dernières avec les changements de rotation de l'arène.

En résumé, les espèces *Tapinoma nigerrimum*, *Messor capitatus*, *Monomorium sp* se fondent sur l'information chimique délivrée par la piste phéromonale pour fourrager tandis que *Cataglyphis bicolor* dépend sur les repères environnementaux à cause de leur déplacement solitaire à grande distance pour fourrager. Elle a donc adopté un modèle de sketchmaps dont elle mémorise les relations entre le but et les différents repères.



**Figure.38.** Nombre de fourmis exploitées les différentes voies marquées  
*a* : *Messor capitatus* ; *b* : *Cataglyphis bicolor*; *c* : *Monomorium sp* et *d* : *Tapinoma nigerrimum*

Beugnon *et al.* (1996) A été proposée une hypothèse du croquis topographique ou « sketchmap », comme notre cas de *Cataglyphis bicolor*, dans lequel la fourmi mémorise aussi son environnement sous forme imagée. Mais ici, plutôt que d'apparier à chaque instant l'image reçue et l'image mémorisée, elle s'efforcerait de localiser son but en mémorisant les

relations entre le but et les différents repères. Il s'agit cette fois d'une représentation allocentrée, obtenue en encodant les relations entre les repères.

**Nicholson *et al.* (1999)** dans leurs études sur les promenades d'apprentissage chez *formica rufa* ont examiné un modèle de comportement chez ces fourmis de bois qui diffèrent des manières d'apprentissage des abeilles et des guêpes. En retournant au nid à partir d'une source d'alimentation nouvellement détectée, la fourmi retourne et regarde les points de repère près de la source d'alimentation. La fréquence des inspections des points de repère est plus élevée lorsque la fourmi est près de la source de nourriture et diminue au fur et à mesure lorsqu'elle s'éloigne. Ainsi, en commun avec les vols d'apprentissage, les inspections de points de repère deviennent moins fréquentes, car elles seront familières avec leur environnement.

**Cartwright et Collett (1982)** ont décrit que la navigation par pilotage consiste à localiser le but à atteindre à partir des repères qui environnent ce dernier. S'il est clair que la fourmi obtient des informations sur sa localisation à partir des repères topographiques, la manière dont elle utilise ces repères est encore mal résolue. Une autre hypothèse est celle de l'instantané photographique ou « snapshot ». La position d'un site, entrée de nid ou site de nourriture, est mémorisée en fonction de l'image de repères acquis.

Un exemple a été posé par **Judd et Collett (1998)**, si l'on place un cône près d'un nourrisseur, les fourmis des bois apprennent très vite à s'y rendre. L'analyse fine de leur déplacement montre que l'approche est soutenue par la mémorisation de l'image du cône vu à différentes distances, les images rétinienne qui en résultent formant autant de gabarits de référence. En cheminant, une fourmi cherche à chaque instant le meilleur appariement entre l'image perçue et l'image mémorisée.

D'après **Durier *et al.* (2003)** et **Collett *et al.* (2003)**, on peut d'ailleurs amener les fourmis à se diriger vers une mauvaise direction en substituant à des repères appris pendant une phase d'entraînement, d'autres repères, plus grands ou plus petits. Par exemple, on peut entraîner des fourmis des bois à trou - identiques. Si l'on remplace ces cylindres par d'autres, l'un plus petit et l'autre plus grand, les fourmis décalent leurs mouvements de recherche vers le cylindre plus petit. Cela leur permet de faire grossir l'image du cylindre sur la rétine de leurs yeux composés jusqu'à ce qu'il y occupe la même surface que celle du cylindre plus gros, mémorisée pendant la phase d'apprentissage.

Cette opération est basée sur l'utilisation de deux paramètres métriques : la valeur angulaire sous laquelle l'objet de référence est vu et la taille de l'objet. C'est pour cela que

l'ouvrière qui a trouvé le nourrisseur retourne souvent sur ses pas lors des premiers retours vers son nid pour mieux voir le cône de face et le mémoriser (Nicholson *et al.*, 1999).

Beugnon *et al.* (2005) ont mentionné que chez la fourmi *Cataglyphis cursor* (milieu semi-désertique pauvre en repères visuels terrestres) la direction de la lumière a un rôle clairement précisé au laboratoire dans l'acquisition et la mémorisation d'une séquence de formes visuelles disposées le long d'une route familière. Ils ont pu aussi démontrer que ces insectes sont capables de discriminer et de mémoriser au moins 8 formes visuelles différentes.

Ainsi, chez la fourmi néotropicale *Gigantiops destructor* (milieu tropical complexe), les travaux conduits sur le terrain ont aussi permis de révéler l'existence d'une nouvelle stratégie d'orientation, jamais décrite chez d'autres espèces de fourmis, et impliquant une forme inédite de mémoire spatiale à long terme (independent local vector).

La dynamique d'apprentissage de routines motrices simples (persévération latéralisée), réalisé dans un environnement contraint au laboratoire, suggère une grande rapidité dans l'acquisition et la mise en place de ces routines chez cette espèce de fourmi. Donc ces fourmis se déplacent en utilisant des combinaisons complexes d'informations spatiales comme un vecteur d'intégration et des signes visuels.

Lenoir (1979), Beckers *et al.* (1989) Et Mailleux (2002) ont travaillé sur l'écologie de *Lasius niger* ils ont noté que cette espèce pratique le recrutement de masse, c'est notre cas de *Messor capitatus*, *Monomorium sp* et *Tapinoma nigerrimum*.

La découverte d'une source de nourriture par une ouvrière est suivie d'un recrutement conduisant à la mise en place d'une piste chimique qui stimulera les individus présents dans le nid à quitter celui-ci et les guidera vers la zone de la découverte, ce qui explique l'augmentation progressive du nombre des individus au cours de notre expérience. Ces individus recrutés récolteront et recruteront à leur tour.

Les ouvrières de *Lasius niger* déposent de la phéromone de piste en revenant d'une source de nourriture, mais également lorsqu'elles y retournent, ce comportement de marquage est dit bidirectionnel.

Il est important de noter que chez *Lasius niger*, les pourvoyeuses ne pistent que si elles ont trouvé de la nourriture (Beckers *et al.*, 1992a) contrairement à certaines espèces comme *Linepithema humile*, *Monomorium pharaonis* ou *Pheidole pallidula* qui pistent également lors de l'exploration (Goss *et al.*, 1989, Detrain *et al.*, 1991 et Fourcassié et Deneubourg, 1994). Cela peut expliquer la vitesse de formation d'une nouvelle piste par *Monomorium sp* après les changements réalisés.

La phéromone de piste est produite dans une dilatation de l'intestin postérieur, l'ampoule rectale, et son composant principal est la mélléine 6 (3,4 dihydro-8-hydroxy-3,5,7 triméthylisocoumarine) (**Bestmann et al., 1992** et **Kern et al., 1997**). Cette phéromone de piste est déposée de manière discontinue et la durée de vie moyenne d'un dépôt de phéromone individuel a été estimée à  $\pm 40$  minutes (**Beckers et al., 1992a**).

La piste agit comme un signal qui, d'une part stimule les congénères à sortir du nid et, d'autre part guide les fourrageuses jusqu'à la source de nourriture. Ce mode de communication conduit vers la source une population de plus en plus importante. Celle-ci ne grandira pas indéfiniment, elle se stabilisera autour d'une valeur déterminée par le nombre d'individus disponibles dans la colonie, le temps passé à la source, la taille de la source et l'encombrement autour de la source.

**Beckers et al. (1992 a)** ont observé une importante variabilité inter individuel au cours du recrutement. Considérant l'ensemble des fourrageuses participants au recrutement, seule une fraction peut être considérée comme pisteuses. **Beckers et al., 1992a** montrent dans leurs expériences que près de la moitié des ouvrières n'effectuent jamais de comportement de dépôt, et qu'un tiers des fourrageuses assurent à elles seules au moins 75 % des marques de phéromones. Au début de recrutement, cette fraction de pisteuses est plus importante : 10 % des scouts ne déposent pas de piste chimique, quel que soit le volume de la source offerte (**Mailleux et al., 2000**).

Ce résultat a aussi été observé par d'autres auteurs lors d'expériences du même type (**Beckers et al., 1992a, Portha et al., 2002**).

**Mailleux et al. (2000)** a également montré que la probabilité de pister diminue avec le nombre de voyages réalisés par la fourmi. Le comportement de dépôt entraîne une diminution de la vitesse de déplacement des fourmis.

Ces auteurs montrent également que la quantité de phéromone présente sur la piste à un effet direct sur la vitesse de déplacement. Les fourmis vont plus vite lorsqu'elles se déplacent sur un segment imprégné par la piste chimique que sur un segment non marqué. Ce résultat confirme la diminution de la vitesse de fourrage après la rotation.

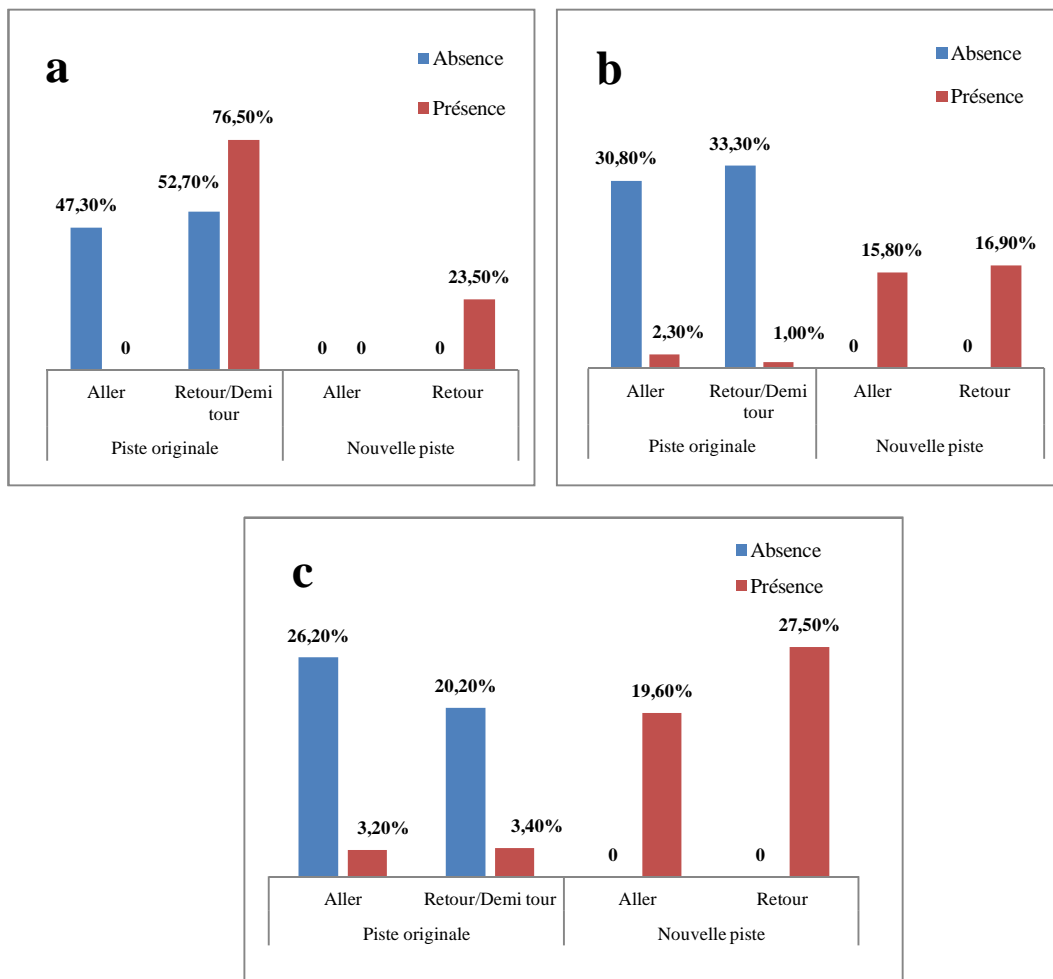
**Beckers et al. (1992a)** a mis également en évidence un effet positionnel de la piste par l'intermédiaire du marquage chimique lors du recrutement. En effet les ouvrières qui se dirigent vers la source de nourriture déposent plus souvent près du nid, et celles qui reviennent au nid présentent plus de comportements de dépôt près de la source de nourriture.

C'est résultats peut expliquer à partir des études de **Devigne et al. (2004)** sur le marquage territorial.

### II.3.3.2. Orientation astronomique

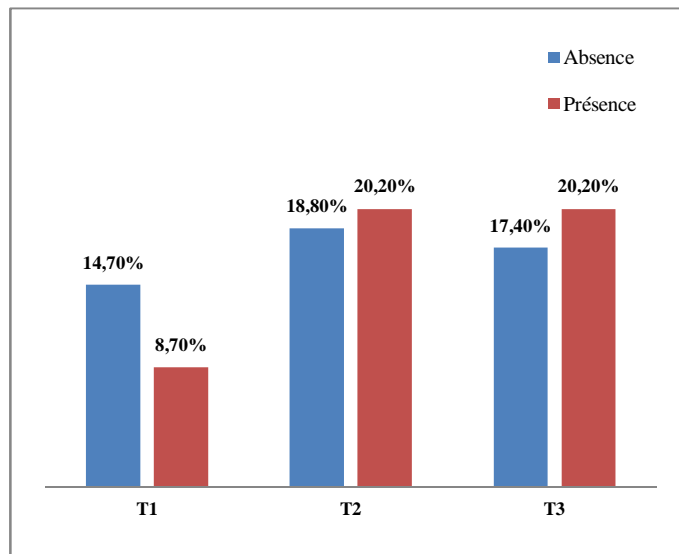
Les résultats obtenus concernant l'orientation astronomique permettent de comparer les directions prises par les fourmis avant et après la modification de l'orientation du soleil par le miroir. L'interprétation par le test chi <sup>2</sup> montre qu'il ya une association hautement significative ( $p \text{ value} = 0,000 < 5 \%$ ) entre l'orientation du soleil et la création des nouvelles pistes par les trois espèces : *Messor capitatus*, *Monomorium sp* et *Tapinoma nigerrimum*. Concernant l'espèce *Cataglyphis bicolor* le résultat est non significatif, car la  $p \text{ value}$  est égale à  $0,151 > 5 \%$ .

D'après les histogrammes ci-dessous (**Fig .39**), résultant du test chi <sup>2</sup>, on a constaté que les espèces fourrageuses en masse (*Messor capitatus*, *Monomorium sp* et *Tapinoma nigerrimum*) ont formé des pistes aller-retour avec un taux des individus assez important. Lorsqu'on a changé l'orientation du soleil, les trois espèces quittent leurs pistes originales et forment de nouvelles pistes : une piste de retour avec un taux de 23,50 % par *Messor capitatus* et des pistes aller-retour chez *Tapinoma nigerrimum* avec 47,10 % et chez *Monomorium sp* avec 32,70 %.



**Figure. 39.** Taux de fourmis de piste avant (absence) et après (présence) l'orientation du soleil a : *Messor capitatus* ; b : *Monomorium sp* et c : *Tapinoma nigerrimum*

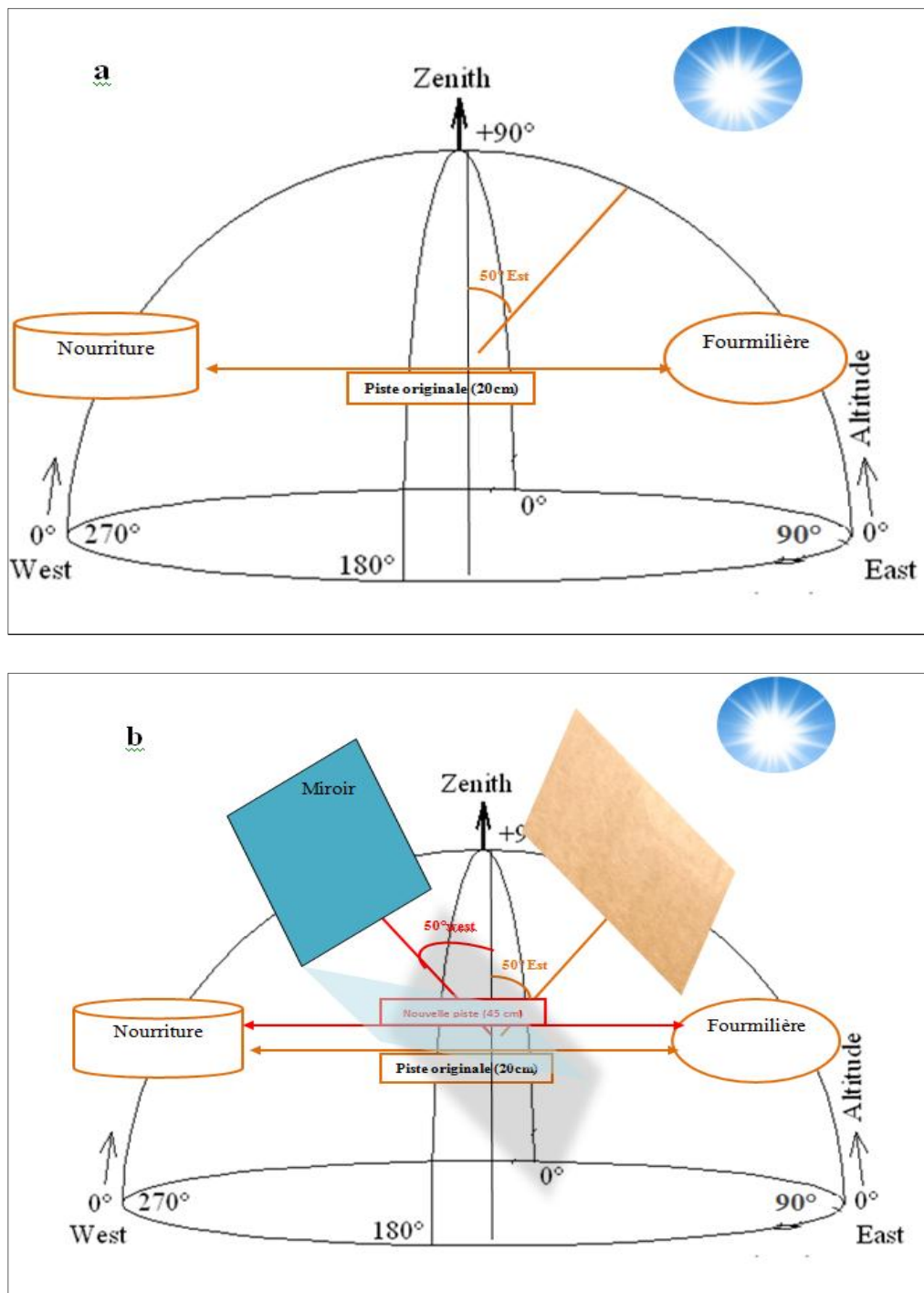
À propos de l'espèce solitaire *Cataglyphis bicolor* on constate que le taux des individus est plus bas au niveau du T3 que T2 où se trouve la nourriture. En présence du miroir le taux est identique au niveau des deux triangles T2 et T3, cependant au niveau du triangle T1 le taux diminue de 14,70 % à 8,70 % (Fig .40).



**Figure .40.** Taux de fourmis *Cataglyphis bicolor* dans les trois triangles avant (absence) et après (présence) l'orientation du soleil.

D'après nos expériences sur le terrain, on a constaté que les espèces étudiées ont été influencées par les rayons du soleil désorientés par le miroir. Lorsqu'on a transmis les rayons sur une terre humidifiée on a remarqué que la plupart des individus de *Tapinoma nigerrimum*, *Monomorium sp* et *Messor capitatus* ont interrompu leurs activités, elles sont soit : stationnées autour de la nourriture ou faire un demi-tour vers leurs nids. Après une courte période du temps, de nouvelles pistes Aller/Retour sont réalisées. Après 4 min une piste a été fondée par *Monomorium sp*, proche de 15 cm de l'origine avec un nouveau diamètre de 45 cm au lieu de 20 cm (**Fig .41**).

Aussi, après 10 min *Tapinoma nigerrimum* a réalisé une piste proche de l'originale de 20 cm avec une diminution de 05 cm de diamètre.



**Figure .41.** Schémas représentatifs des résultats du test du miroir chez deux espèces *Tapinoma nigerrimum* et *Monomorium sp*  
 a : absence du miroir et b : présence du miroir

Concernant l'espèce *Messor capitatus*, au retour elle change de direction avec un angle de  $75^\circ$  par rapport à la piste originale. Cet angle est le même que celui délimité par le zénith et le miroir (Fig.42).

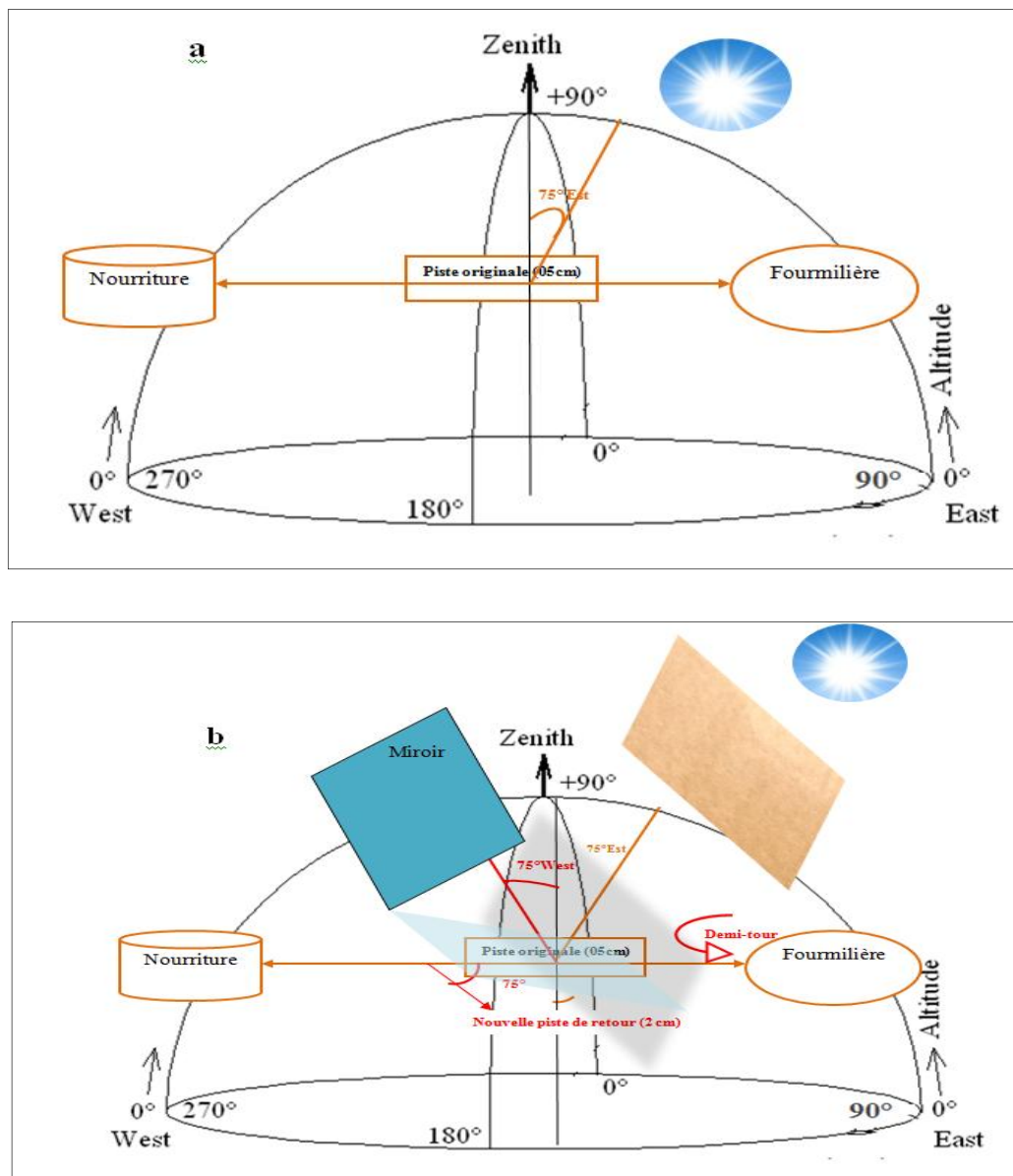
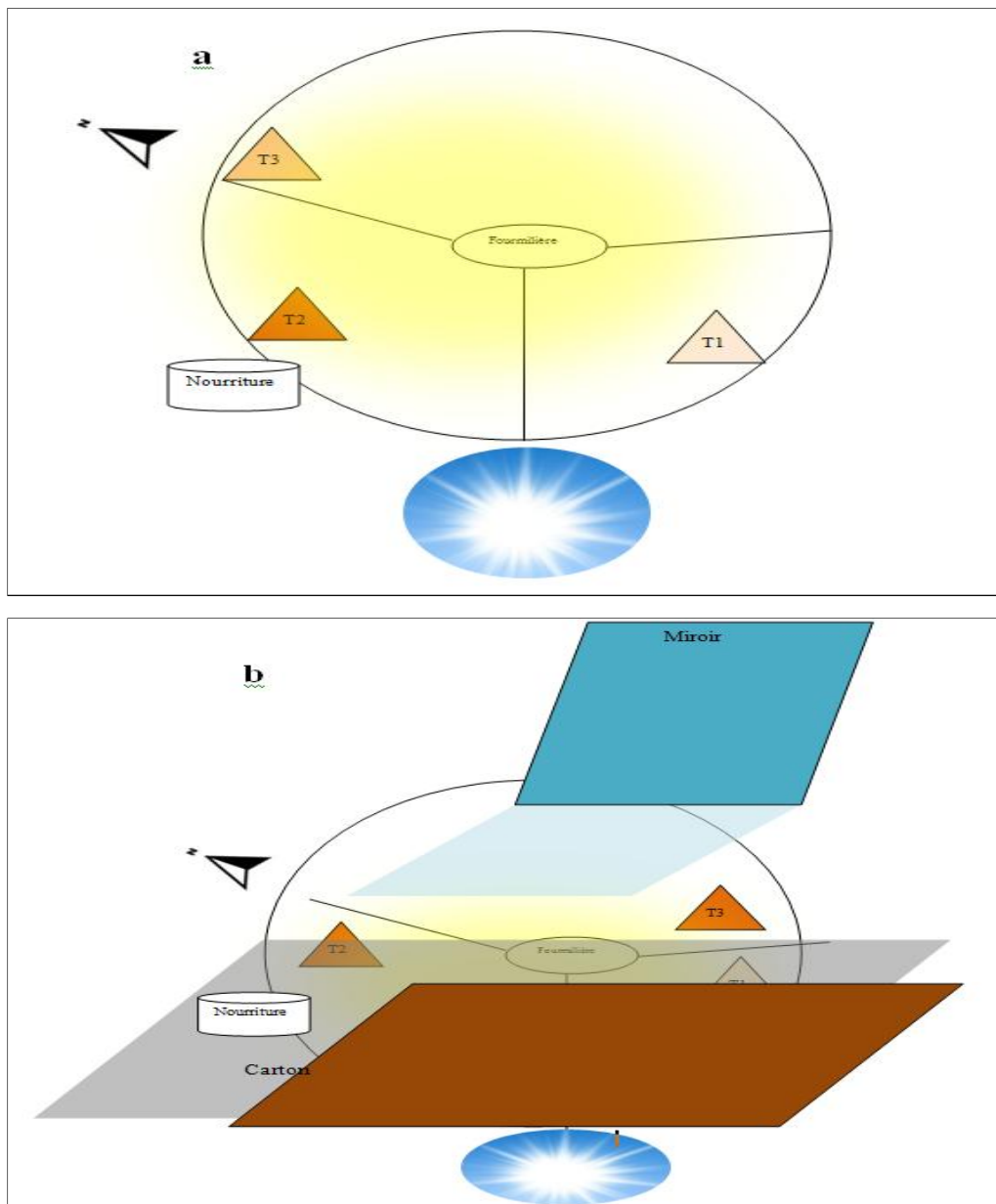


Figure .42. Schémas représentatifs des résultats du test du miroir chez *Messor capitatus*

a : absence du miroir et b : présence du miroir

L'espèce solitaire *Cataglyphis bicolor* utilise leur mémoire pour retenir les repères terrestres, entre-temps elle bénéficie des rayons du soleil comme un repère céleste. Cela exprime la concordance du taux des individus au niveau T2 ( $44 \pm 2,64$ ) et T3 ( $44 \pm 15,39$ ) après la désorientation des rayons. Le taux des individus au niveau de T1 reste plus faible par rapport à T2 et T3.



**Figure .43.** Schémas représentatifs des résultats du test du miroir chez *Cataglyphis bicolor*

**a** : absence du miroir et **b** : présence du miroir

D'après les résultats obtenus on conclut que pendant le fourragement les espèces *Tapinoma nigerrimum*, *Monomorium sp* et *Messor capitatus* se fondent sur les phéromones et les rayons du soleil, cependant *Cataglyphis bicolor* utilise les repères terrestres et célestes.

Le premier chercheur qui a étudié l'orientation astronomique c'est **Santshi (1911)**, il a démontré que l'expérience du miroir s'adapte mieux avec le genre *Messor* qu'avec ce de *Cataglyphis* ; elle a aussi bénéfique quand le soleil est bas. Cela veut dire que la boussole solaire (ce qu'il appelle l'œil-boussole) fait partie d'un système plus complexe.

**Wehner, (1982)** a noté que sur le plan neuroanatomique, les ommatidies (yeux élémentaires, assemblés en un œil composé) des fourmis sont étudiées en ce qui concerne leurs propriétés de transformation de la lumière en signal nerveux : les propriétés des pigments sensibles à la lumière, leur orientation, leurs caractéristiques de polarisation de la lumière qui les traverse, etc. Pour connaître le champ visuel de chaque œil, la tête disséquée de la fourmi est placée dans un système stéréotaxique et éclairée par en-dedans : ceci permet de déterminer dans quelle direction la lumière sort de chaque œil élémentaire en direction du ciel, et, par conséquent, quelle portion du ciel est vue par chaque œil chez l'animal vivant.

Il découvre ainsi que ce sont les 80 ommatidies supérieures de chaque œil (qui compte environ 1000), constituant l'Aire Marginale dorsale (*Dorsal Rim Area, DRA*), qui forment l'œil-boussole. Pour simplifier, on peut dire que chaque ommatidie parmi les 80 réagit sélectivement à la direction de la polarisation de la lumière qui la traverse : l'ensemble forme un détecteur de polarisation complexe.

En fonction de l'orientation de la tête de l'animal, la lumière polarisée du ciel, « filtrée » par ces ommatidies, fournit donc à la fourmi une sorte de signature lumineuse traduisant cette orientation. Il est donc en fin de compte un détecteur de l'orientation de l'œil relativement au ciel polarisé.

En effet, **Wehner (1997)** a ajouté une autre explication, lorsque la lumière solaire se propageant dans l'atmosphère, elle subit une polarisation de ses vecteurs électromagnétiques lors de sa réflexion par les molécules d'O<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>. Ce gradient de polarisation de la lumière, fixe et symétrique par rapport au soleil, est capté par une zone spécialisée de l'œil composé, contient un groupe de photorécepteurs situé en région dorsale de l'œil stimule des neurones spécialisés du cerveau (neurones) selon un schéma dépendant de l'orientation de l'insecte par rapport au soleil.

Au cours de ses excursions, la fourmi s'arrête souvent pour scanner le ciel (elle tourne sur elle-même et garde également la tête en inclinaison immuable) et ainsi déterminer via son

Aire Marginale dorsale la direction du patron de polarisation du ciel, par rapport auquel elle va mesurer la direction du prochain segment de son parcours. Puisqu'elle recourt au patron de polarisation du ciel, la fourmi peut savoir comment elle est orientée par rapport au soleil même si celui-ci n'est pas directement visible (par exemple quand il est caché par le paysage ou par des nuages couvrant partiellement le ciel).

Il faut noter qu'en raison de la symétrie de la polarisation du ciel, l'animal pourrait se tromper de 180°, mais d'autres informations du ciel (la luminosité) viennent désambiguïser l'information de la polarisation. (**Wehner, 1982**)

D'autres chercheurs de son temps (notamment Cornetz, autre grand observateur de fourmis) récusent la possibilité d'utiliser le soleil, à cause de son mouvement. A cela, Santschi rétorque que l'animal peut avoir une représentation interne du temps et associer la position du soleil à l'heure du jour : «Un repère céleste mobile n'est pas moins fiable qu'un repère terrestre immobile si son mouvement est complètement régulier et prévisible. »

**Santschi (1923)** a montré que les fourmis s'orientent même si elles ne voient qu'une portion du ciel n'incluant pas le soleil, il en conclut que les fourmis détectent quelque chose dans le ciel, mais il ne sait pas quoi : peut-être un gradient de lumière ultraviolette. Il suggère aussi qu'elles voient les étoiles même en plein jour. On sait maintenant, grâce à Wehner, que les fourmis ne peuvent percevoir les étoiles même de nuit.

**Waterman (1981)** et **Wehner et Rossel (1985)** ont mentionné que l'utilisation des propriétés du soleil et de la lumière polarisée comme compas céleste est commune à tous les arthropodes.

**Dyer et Dickinson (1996)** ont noté que les abeilles (et les fourmis) perçoivent la polarisation du ciel et l'utilisent comme un indice de la position du soleil. À son tour, le soleil, combiné à une information sur l'heure qu'il est et sur la manière dont l'azimut solaire change au cours de la journée, fournit une boussole à l'animal.

**Wehner et al. (2006)** ont déclaré que lors d'un déplacement, l'individu solitaire estime continuellement la distance parcourue (translation) et la direction prise (rotation) par rapport à son point de départ. Les directions sont estimées principalement grâce à un compas céleste : les fourmis utilisent la position du soleil ou les propriétés de la lumière polarisée (**Wehner et Wehner, 1990 ; Wehner et al., 1996 ; Menzel et al., 1996 ;** revues de **Homberg, 2004** et **Wehner et Müller, 2006**).

L'abeille s'oriente également par rapport aux repères visuels terrestres (**Chittka et Geiger 1995, Chittka et al., 1995**). Ainsi, à grande distance, l'abeille utilise majoritairement

des repères célestes et terrestres **Dukas (1998)**, tandis qu'à proximité de la fleur ou de la colonie, ce sont les repères visuels (**Slaa et al., 2003**) et surtout olfactifs (**Tautz et Sandeman, 2003**) qui sont prépondérants.

**Wehner et Müller (1993)** ont marqué que les abeilles et fourmis semblent recevoir génétiquement une information simplifiée sur le parcours azimutal du soleil : en première approximation, le soleil est stable dans une certaine direction durant la matinée, et à midi il passe brutalement dans la direction opposée (à 180°), où il reste stable l'après-midi. Bien qu'imparfaite, cette fonction assure quand même une orientation de base relativement correcte ; de plus, l'animal peut certainement plus facilement raffiner cette fonction de base en l'ajustant (sur la base de ses observations du déplacement du soleil), que s'il devait la construire à partir de rien.

**Wehner et Müller, 2006** ont montré que les fourmis *Cataglyphis* utilisent une lucarne polarisée comme repère de secours lorsque le repère principal de la boussole (le soleil) est masqué par les nuages. Ils ont montré que les *Cataglyphis* reposent principalement sur la lucarne mais la signature de la boussole de polarisation restée inchangée même si les fourmis peuvent simultanément ressentir le soleil. Les informations fournies par la lumière directe du soleil et la lucarne polarisée sont captées par différentes parties des yeux composés de type apposition et sont canalisées dans deux systèmes de navigation plutôt séparés. La perception du plan de polarisation est possible grâce à la présence de molécules pigmentaires photosensibles orientées dans un axe spécifique et situées dans les microvilli des rhabdomères. L'activation survient (absorption maximale) lorsque la lumière vibre dans le même plan que ces molécules. Plusieurs auteurs se sont attachés à l'explication de ce sujet en utilisant deux aspects l'un se fonde sur la mémorisation et le deuxième sur l'intégration du chemin. **Belisle et Cresswell (1997)** et **Dukas (1999)** ont cité qu'il devient évident que les fourmis du désert ne peuvent pas utiliser des capacités de mémoire illimitées.

Selon **Dukas (1999)**, les études sur l'écologie de la mémoire animale se sont concentrées sur les bénéfices de la mémoire tout en supposant implicitement qu'il y a aussi des coûts, ce qui indique que le maintien d'informations précises chez les animaux est un processus actif et coûteux d'entretien et de réparation. La redondance joue probablement un rôle clé pour garantir un haut niveau de précision ; son coût est en termes de tissu supplémentaire, ce qui augmente la masse corporelle et les dépenses énergétiques.

**Collett et Collett (2000)** et **Wehner et al. (2006)** ont montré que ces fourmis solitaires disposent pour naviguer d'un mécanisme d'intégration de trajet. Ainsi, **Merkle et Wehner**

(2009) on déclare que les butineuses *Cataglyphis* n'améliorent pas la précision de leur intégrateur de chemin tout en voyageant entre le nid et un site de restauration. De même, ils ne se souviennent que de la distance parcourue pendant une sortie récente (Cheng et Wehner 2002 et Cheng *et al.*, 2006).

Vickerstaff et Cheung (2010) ont vu que l'intégration du chemin repose sur deux volets : l'acquisition de l'information (sur les composantes linéaire et angulaire du mouvement), et le traitement de cette information. Ce deuxième volet est celui de *comment*, par quel calcul, les données entrées vont être traitées pour permettre à l'animal de garder à jour une représentation de la direction du point de départ (ou d'une autre cible). Ils se fondent sur des considérations théoriques, soit en essayant d'expliquer plus directement des constatations empiriques. Ils ont défini l'intégration du chemin par le processus qui, à tout moment, donne à l'animal sa position et son orientation par rapport au point de départ de son trajet, par le moyen d'une addition vectorielle réalisée en continu, de tous les segments de chemin parcourus, chaque segment correspondant à un vecteur (ayant une longueur et une direction). Chaque nouveau vecteur vient s'ajouter à la somme vectorielle calculée après le segment précédent, ce qui veut dire que la résultante (le vecteur point de départ – position courante) est disponible en continu produisant en continu une somme vectorielle instantanée. Ce processus ne nécessite pas de mémoire, si ce n'est celle permettant le stockage très volatil de la somme courante, à laquelle viendra s'ajouter le pas suivant.

Merkle et Wehner (2010) ont ajouté que l'intégration du chemin permet aux fourmis du désert de retourner à leur nid par un chemin direct. Cependant, le mécanisme d'intégration de chemin est un sujet d'erreur et les fourmis manquent souvent la position exacte de l'entrée du nid, auquel cas elles s'engagent dans un comportement de recherche systématique.

#### II.3.4. Étude de l'influence de la nourriture sur le choix d'une source

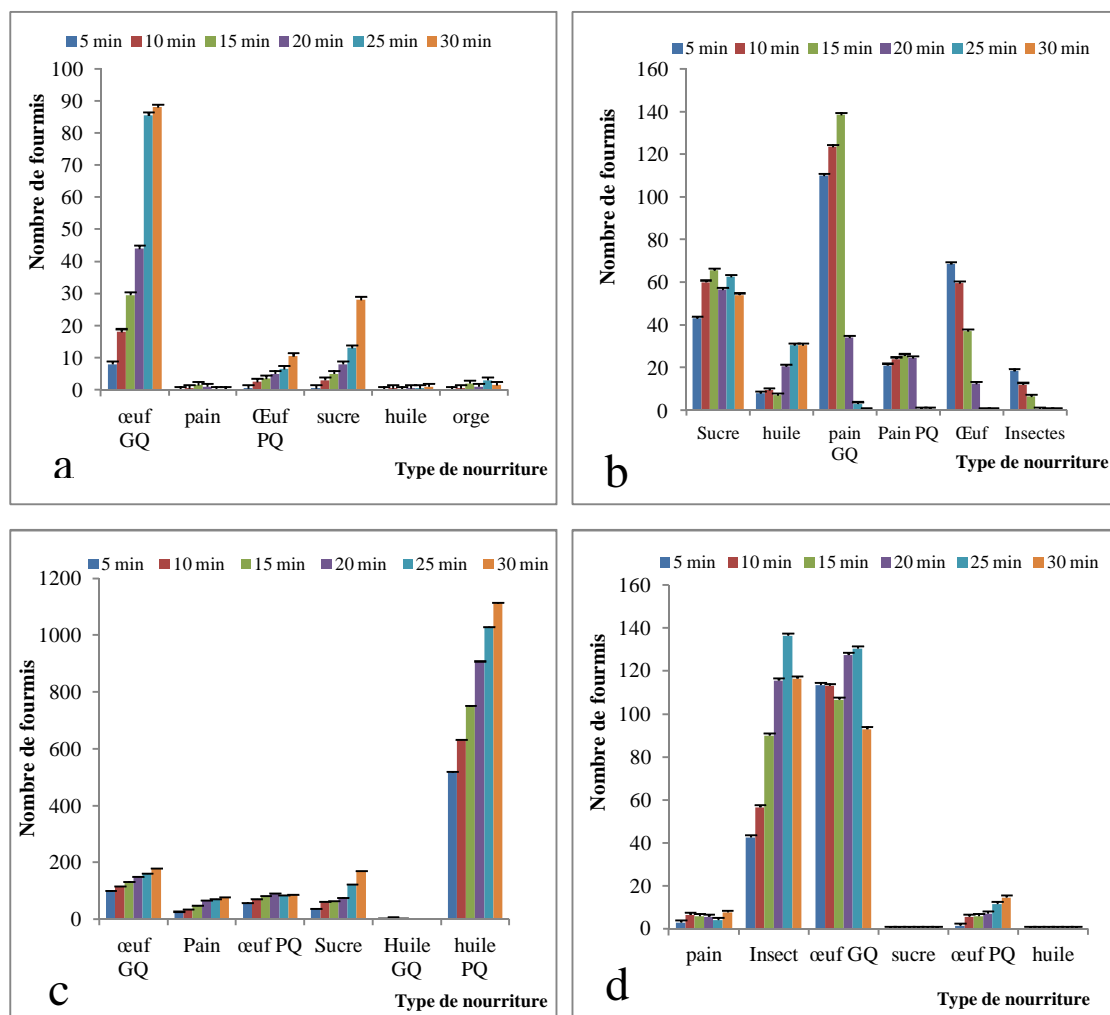
Les résultats obtenus montrent que les différentes espèces ont choisi de diverses sources de nourriture. Les espèces *Messor capitatus* et *Tapinoma nigerrimum* sont attirées par la source protéique de grande quantité avec une moyenne de  $45,5 \pm 34,13$  individus pour *Messor* et  $114 \pm 13,80$  individus pour *Tapinoma*. Cette dernière a aussi fréquenté la source d'insectes avec une moyenne de  $92,91 \pm 36,99$  individus.

Concernant l'espèce *Cataglyphis bicolor* : elle est orientée vers la source des glucides, soit les disaccharides (saccharose) en moyenne de  $56,91 \pm 7,96$  individus ou les

polysaccharides (amidon du pain) d'une moyenne de  $101,5 \pm 46,48$  individus, et la source protéique avec  $44,37 \pm 25,04$  individus.

Malgré que cette espèce soit insectivore, elle n'a pas choisi la source d'insectes et préfère les autres sources, cela peut s'expliquer par la grande taille des autres insectes mise en disposition (type Blaps).

L'espèce *Monomorium sp* a choisi les lipides comme une source de nourriture prioritaire, mais à cause de leur taille minimale qui entraîne leur noyade, elle préfère celle de petite quantité avec une moyenne importante de  $823,92 \pm 231,69$  individus. Les autres sources de protéine, de polysaccharide et de disaccharide ont été aussi fréquentées en moyenne de  $137,75 \pm 29,06$ ,  $52,5 \pm 21,06$  et  $86,41 \pm 48,56$  individus.



**Figure.44.** Différentes sources de nourriture exploitées par les fourmis.

**A :** *Messor capitatus* ; **b :** *Cataglyphis bicolor* ; **c :** *Monomorium sp* et

**d :** *Tapinoma nigerimum*

Le recrutement alimentaire par une piste chimique ou solitaire peut être principalement caractérisé comme un processus dynamique d'autocatalyse. Le nombre d'ouvrières présentes au niveau de la source montre le nombre des recrutées qui renforcent la piste ce qui augmente la quantité de phéromone. Dans une situation naturelle, la colonie peut être confrontée à des choix.

Différentes expériences ont montré l'émergence d'un choix collectif lorsque deux sources de nourriture (**Pasteels et al., 1987**) ou deux chemins menant à une même source (**Beckers et al., 1992**) étaient simultanément en présence.

**Beckers et al. (1992 b)** et **Frizzi et al. (2018)** ont montré que lorsqu'une colonie de *Lasius niger* a le choix entre deux chemins de longueur identique menant à deux sources alimentaires (pont en Y) ou a une seule source (pont en losange), la colonie utilise majoritairement un seul de ces deux chemins. La transmission coopérative via la piste chimique est responsable du choix asymétrique.

En effet, ils ont noté qu'au début du recrutement les fourmis utilisent de manière égale les deux chemins, mais du fait de l'aspect probabiliste du suivi de piste, un plus grand nombre de fourmis s'engagent sur l'une des deux pistes qui deviennent alors plus attractives. Cette piste va donc être mieux suivie et renforcée et la colonie va progressivement concentrer son activité sur ce chemin (**Deneubourg et al., 1983**).

Lorsque les fourmis ont le choix entre deux chemins de longueur identique, le chemin utilisé au premier voyage n'influencera nullement le choix effectué lors du deuxième voyage (**Beckers et al., 1992b**). Ils ont conclu que la mémoire individuelle n'influence pas le choix d'un chemin, du moins dans ces dispositifs, et que la piste chimique joue un rôle essentiel dans l'orientation de l'ouvrière.

Il est fréquemment rapporté que les fourmis « choisissent » une source ou un chemin. Il est en effet important de noter que les choix des colonies ne nécessitent pas une comparaison par les fourrageuses des différentes sources présentes au même moment sur une aire de récolte. Ce système de décision se présente comme un sous-produit inattendu qui émerge de la compétition de deux processus autocatalytiques. Lors de la découverte d'une source de nourriture, les exploratrices de *Lasius niger* modulent leur comportement de dépôt de piste en fonction du volume ingéré. La probabilité de déposer une piste croît avec le volume ingéré et pour des volumes importants le dépôt devient systématique.

Ce « volume désiré » est un seuil de réponse déclenchant le comportement de dépôt de piste (**Mailleux et al., 2000**). Si ce seuil est atteint, l'individu rentre au nid en déposant une

piste dont l'intensité est indépendante du volume ingéré ; s'il n'est pas atteint, l'individu part à la recherche d'une autre source. Cependant si la fourmi ne trouve pas de source supplémentaire elle rentrera au nid sans déposer de piste.

Une expérience en laboratoire concernant la qualité de la source de nourriture a été faite par **Frizzi et al. (2018)** dont ils ont présenté à des fourmis de l'espèce *Lasius niger* deux sources d'eau sucrée de concentrations différentes et équidistantes du nid. Lorsqu'une source dont la concentration est de 0,05 M, 0,1 M ou 0,5 M est confrontée avec une source de 1 M, ils ont remarqué que la source la moins concentrée étant introduite en premier lieu et la source la plus concentrée ensuite (1 M) après un délai de 40 minutes, la colonie de *Lasius niger* n'est plus capable de rediriger son activité de récolte vers la source la plus concentrée, mais reste piégée par la piste préétablie.

Il est important de noter que la sélection et l'exploitation de la source la plus riche ne nécessitent aucune comparaison directe de la part des ouvrières. Le choix résulte de processus d'amplification reposant sur la piste de phéromones dont le dépôt est modulé par la qualité de la source de nourriture. La proportion d'expériences caractérisées par l'exploitation de la source la plus riche est d'autant plus grande que la différence de concentration entre les sources est élevée.

**Dussutour (2004)** a ajouté qu'en fonction de la qualité de la source, les fourmis modulent quantitativement leur comportement de pistage. Ainsi lors de l'introduction simultanée de deux sources, la piste menant à la source la plus concentrée sera davantage renforcée ce qui conduira par amplification à l'exploitation de la source la plus riche.

De plus, **Le Breton et Fourcassié (2004)** ont montré que les fourmis se déplacent plus rapidement lorsque la source est de plus grande qualité. Cette différence de vitesse pourrait également influencer les choix collectifs.

**Devigne (2003)** a confirmé ces résultats par une étude de terrain, il a montré en effet que les colonies de *Lasius niger* focalisent leur activité de fourragement sur les colonies de pucerons les plus peuplées.

**Mailleux et al. (2003 a)** ont montré que lorsque la source de nourriture découverte se présente sous forme de plusieurs gouttes de faibles volumes dispersés sur une petite surface, le pourcentage d'individus déposant leur phéromone de piste est moins élevé que lorsque la source est unique. Dans les deux cas, les fourmis ont la possibilité de se nourrir ad libitum. La dispersion des sources diminue donc le pourcentage des fourmis engagées dans le processus de recrutement. Ils ont expliqué cette diminution du pourcentage de fourmis par le départ

prématuré de certaines fourmis quittant l'aire de fourragement avant d'avoir atteint leur volume désiré

**Portha et al. (2004)** ont mentionné que la nature de la source de nourriture selon si elle est sucrée ou protéique influence les comportements individuels et dès lors les décisions collectives. La fraction de fourmis qui se nourrissent d'eau sucrée est beaucoup plus importante que lorsque celles-ci sont confrontées à une source protéique liquide. Le recrutement est dès lors beaucoup moins intense lorsque la colonie découvre une source de nourriture protéique. Afin d'expliquer ces résultats, ils ont émis l'hypothèse d'un biais dans le régime alimentaire des *Lasius niger* en faveur des sources à base d'hydrates de carbone qui peuvent également être automatiquement des sources de protéines.

**Schoener (1974)** a cité que les ressources protéiques sont éphémères et leur distribution est imprédictible et ne nécessite donc pas de recruter un grand nombre d'individus. À l'inverse, les ressources sucrées qui sont majoritairement représentées par le miellat des pucerons sont des ressources stables.

**Le Breton et Fourcassié (2004)** ont noté que la recherche sera plus focalisée si les recruteuses ont trouvé du sucre lors d'un précédent voyage. À l'opposé, si elles ont trouvé une proie lors de son retour sur l'aire de fourragement le pattern de recherche sera plus étendu et la probabilité que celle-ci revienne sur le site de la découverte sera plus faible.

**Veena et Ganeshiah (1991)** ont mentionné que la qualité de la source alimentaire est mesurée et prise en compte. Les ouvrières de *Camponotus sericeus* et *C. compressus*, qui recherchent le miellat des pucerons, peuvent abandonner une colonie d'aphides si la production sucrée de ces derniers n'est pas de bonne qualité. Le choix des fourmis est confirmé par des expériences de laboratoire. La charge de liquide sucré ramenée par les fourrageuses de *Camponotus* mus augmente avec la concentration en sucre de l'eau offerte, jusqu'à une limite légèrement supérieure à 40 %. Le volume ingéré diminuera ensuite, sans doute à cause de la viscosité trop forte de la solution (**Josens et al., 1998**).

La réalisation de l'homéostasie nutritionnelle est cruciale pour la forme physique de tous les organismes vivants (**Raubenheimer et Simpson, 2018**). En utilisant la sagesse collective, les fourmis se sont révélées excellentes pour prendre des décisions rapides et appropriées dans la recherche de nourriture (**Jeanson et al., 2012** et **Bose et al., 2017**).

Le fourragement en utilisant les phéromone est un processus qui permette aux fourmis de concentrer leurs activités sur la meilleure source de nourriture disponible (**Prix et al., 2016** ; **Bose et al., 2017** ; **Frizzi et al., 2018**).

**Raubenheimer et Simpson (2018)** ont ajouté que la meilleure source de nourriture dépend du contexte nutritionnel de la colonie par rapport à son environnement alimentaire.

Une étude récente de **Csata et al. (2019)**, dans ils ont exposé des colonies de fourmis à diverses carences en nutriments et observé leurs réponses nutritionnelles compensatoires. Les fourmis étaient privées de glucides, de stérols, de protéines, d'un sous-ensemble d'acides aminés ou d'un seul acide aminé. Ils ont constaté que les fourmis étaient rapidement capables de faire correspondre leurs décisions de recherche de nourriture à leurs besoins nutritionnels, même si la carence concernait un seul acide aminé. Un modèle individuel démontre que ces exploits impressionnants de compensation nutritionnelle peuvent émerger du processus itératif de comportement de piste, qui repose sur une simple décision individuelle : manger ou ne pas manger.

### Partie III. Étude des facteurs biotiques influents sur la distribution et l'activité des fourmis

#### III.1. Relation fourmis-pucerons

D'après les sorties réalisées sur le terrain à la recherche des fourmilières on a constaté que certaines espèces de fourmis (*Camponotus sylvaticus* et *Messor capitatus*) ont installé leurs nids à proximité ou sous l'abri des plantes déterminées. L'examen de ces dernières a montré la présence des pucerons propres pour chacune (**Tab.24**).

Dans la majorité des cas, l'espèce *Messor capitatus* installe leur nid sous l'herbe *Silybum marianum*, ce dernier a été parasité par un aphidien de sous-famille Aphinidae c'est : *Brachycaudus sp.* Ainsi, *Camponotus sylvaticus* se trouve en association avec *Aphis Punicae* au niveau d'un arbre de grenadier.

On note l'absence d'arbres *punica granatum* (le grenadier) au niveau de la zone d'étude du site forestier. Mais suite à notre sollicitude, on a remarqué l'existence de cette fourmi (*Camponotus sylvaticus*) au niveau du jardin de notre maison.

**Tableau. 24.** Espèces des insectes trouvées au sein des plantes.

Puceron	Fourmi	Plante
<i>Aphis Punicae</i>	<i>Camponotus sylvaticus</i>	<i>Punica granatum</i>
<i>Brachycaudus sp.</i>	<i>Messor capitatus</i>	<i>Silybum marianum</i>

Le calcul de l'indice de fréquence d'occurrence indique que le puceron *Aphis Punicae* est une espèce accessoire mais *Brachycaudus sp* est accidentelle (**Tab.25**).

**Tableau .25.** Fréquence d'occurrence des pucerons au niveau de la plante.

Puceron	Période	FO %
<i>Aphis Punicae</i>	Juin - Août	37,5
<i>Brachycaudus sp</i>	Juin - Octobre	62,5

Le nombre de *Messor capitatus* et de puceron *Brachycaudus sp* associé, varie au cours de la période d'échantillonnage (**Tab.26**). Celui de *Messor capitatus* atteint le maximum au mois de Juillet ( $65,67 \pm 6,65$ ) cependant le puceron l'atteint au mois de Mai ( $95,33 \pm 6,5$ ) à cause de la parthénogénèse. Ainsi, le nombre faible des fourmis au mois de juin est expliqué par la tendance des fourmis au fourrage des graines de céréales après la récolte. Les valeurs minimales ont été enregistrées au mois d'octobre quand les fourmis sont entrain de faire la diapause et les pucerons en période d'accouplement.

L'interprétation par le test d'Anova indique que :

- L'effet principal du type d'insecte a produit un effet de taille de 0,83 c'est-à-dire que 83 % de la variance du nombre d'insectes est expliquée par le type de ceux-ci. [F (1,24) = 117 147, p=0,000].
- L'effet principal du type du mois a produit un effet de taille de 0,915 donc 91,5 % de la variance du nombre d'insectes est expliquée par le type mois. [F (5,24) = 51,80, p=0,000].
- L'effet principal de l'interaction entre le type d'insecte et du moi a produit un effet de taille de 0,623 donc 62,3 % de la variance du nombre d'insectes est expliquée par l'interaction entre les deux groupes [F (5,24) = 7 941, p=0,000].

**Tableau. 26.** La moyenne de *Messor capitatus* et *Brachycaudus sp* recensé au cours de la période d'existence du puceron.

		Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
<i>Messor capitatus</i>	Moyenne	63,33	37,67	<b>65,67</b>	49,33	59,67	<b>8</b>
	Ecart type	4,163	7,50	6,65	4,04	10,50	2
<i>Brachycaudus sp</i>	Moyenne	<b>95,33</b>	89	83,33	80,66	67,33	<b>29</b>
	Ecart type	6,50	3	6,11	5,50	6,80	3,60

### III.2. Relation fourmis-plantes

D'après les résultats obtenus dans la partie **I.2.2 de ce chapitre**, l'abondance des fourmis du genre *Messor* dans des sites agricoles permet aux individus de consommer les graines des céréales, ce qui montre l'existence d'une relation du mutualisme dont les fourmis jouent un rôle fondamental dans la dispersion des graines (la myrmécochorie), qui en retour se nourrissent de l'élaïosome riche en lipides et protéines.

### III.3. Relations fourmis- insectes

Les résultats obtenus concernant les relations inter et intraspécifiques montrent que les espèces du genre *Cataglyphis* ont des réactions agressives qui leur permettent la fuite rapide ( $1,33 \pm 0,57$  S) lorsque la fourmi soit une proie, ou bien la prédation des différentes espèces d'insectes, qu'elle immobilise puis elle les coupe en miettes pour ensuite les consommer. Le temps de prédation dépend de la taille de la proie (**Tab.27**).

Le cas d'attaque et de l'écartement de la fourmi *Messor capitatus* par deux autres fourmis de la même espèce mais d'une autre colonie dans un temps de  $1860 \pm 991,36$  S est expliqué par la fermeture de la colonie, c'est-à-dire que les ouvrières qui appartiennent à une même colonie coopèrent entre elles mais agressent tout étranger à leur colonie, même s'il s'agit d'un individu de la même espèce. Cette discrimination entre les individus et intrus opère par une

odeur qui joue le rôle du "visa colonial" qui consiste à un ensemble d'hydrocarbures portés par la cuticule.

**Tableau. 27.** Différentes réactions des fourmis lors d'une présence d'un intrus.

Fourmi	Proie	Réaction de la proie	Réaction de la fourmi	Temps (S)
<i>Cataglyphis bicolor</i>	<i>Tapinoma nigerrimum</i>	Indifférence	Attaque jusqu'à la mort de la proie	$3.26 \pm 0,64$
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	<i>Cataglyphis bicolor</i>	Fuite	Nombreuses attaques	$1.33 \pm 0,57$
<i>Messor capitatus</i>	<i>Messor capitatus</i>	Tentative de fuite	Attaque + écartement	$1860 \pm 991,36$
<i>Cataglyphis viatica</i>	<i>Messor capitatus</i>	Tentative de fuite	Attaque jusqu'à la mort de la proie	$520 \pm 330,45$
<i>Monomorium sp</i>	<i>Messor capitatus</i>	Fuite	indifférence	$1.66 \pm 0,57$
<i>Cataglyphis albicans</i>	<i>Locusta sp</i>	Tentative de fuite	Attaque agressive jusqu'à la mort de la proie	$693 \pm 272,27$

L'espèce *Monomorium sp* à une réaction neutre contre l'espèce *Messor capitatus* ce qui permet leur fuite.

*Tapinoma nigerrimum* fait une réaction de prédation contre *Cataglyphis bicolor*, elle agit par de nombreuses attaques collectives qui provoquent la fuite rapide de *Cataglyphis bicolor*.

Les réactions des fourmis contre les différents intrus se fonde sur la communication entre elles qui est basé sur des composés chimiques émis par les différents types de glandes : mandibulaires, métathoracique, la glande à venin ou bien la glande de Dufour.

Dans une étude plus vaste faite par **Guénard (2007)** et effectuée sur plusieurs sites et divers plantes, la proportion de sites avec des colonies de pucerons entretenues par les fourmis s'avère différente en fonction de la plante. La fourmi *Lasius niger* a maintenu une relation de

mutualisme avec six espèces de pucerons différentes, distribuées sur les parties supérieures de cinq plantes différentes. Sur le chardon,  $82,60 \pm 8,1$  % des sites étudiés comprenaient au moins un ennemi naturel de puceron au sein de la colonie. Sur asclépiade, ce chiffre est plus faible ( $42,10 \pm 4,1$  %), mais demeure supérieur à celui du peuplier ( $10 \pm 6,9$  %) et du pommier ( $7 \pm 1,3$  %). Aucun ennemi naturel n'a été retrouvé sur le poirier. Ils ont évalué aussi la fréquence relative des différents types d'ennemis naturels au sein des colonies de pucerons en présence de fourmis. Les prédateurs furtifs se révèlent les ennemis naturels les plus abondants sur le chardon et le pommier, représentant respectivement  $73,7 \pm 10$  % et  $78,6 \pm 8$  %.

**Guénard (2007)** a aussi réalisé la régression multiple en Stepwise et montré l'existence d'une corrélation entre le nombre de pucerons et la période chez deux espèces : *Aphis pomi* (df=406,  $r^2=0.12$ ,  $P<0,0001$ ) et *Chaitophorus sp* (df=14,  $r^2=0.27$ ,  $P=0.045$ ). Les nombres de pucerons moyens sont alors plus élevés chez ces deux espèces en fin de saison qu'à son début. Donc l'interaction entre ces deux facteurs étant effective. Ainsi, par une Régression multiple au pas-à-pas il a enregistré que le nombre de pucerons de *Brachycaudus sp* est le facteur principal expliquant le nombre de fourmis que l'on retrouve sur les colonies de pucerons (df=20,  $r^2=0,39$ ,  $P=0.002$ ).

**Guénard (2007)** est ajouté que la période influence également le nombre de fourmis. Ainsi chez *Aphis nerii*, alors que le nombre de pucerons reste constant au cours de la saison au sein des colonies, le nombre de fourmis les entretenant diminue, les colonies étant plus exploitées au mois de juillet qu'au mois d'août. La période de l'année a un effet négatif sur le nombre de fourmis, indépendamment du nombre de pucerons.

**Fischer et al. (2001)** ont conclu que le nombre de fourmis que l'on rencontre au sein des colonies de pucerons semble être déterminé par plusieurs facteurs dont les principaux sont l'espèce de puceron entretenu, la densité de population de pucerons et la période de l'année.

**Kaneko (2003a)** a montré que les fourmis pouvaient agir comme un agent régulateur des populations d'homoptères qu'elles entretenaient par la prédation de certains individus de parasitoïdes.

**Verheggen et al. (2008)** dans leurs études sur *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera, Aphididae) et leur relation de mutualisme avec *Lasius niger* L. (Hymenoptera, Formicidae) ont confirmé que *L. niger* améliore les conditions de vie des colonies de pucerons d'*A. fabae* dont elle exploite le miellat, principalement grâce à la protection qu'elle apporte

contre les prédateurs et la réduction de la pression de compétition exercée par les autres espèces non myrmécophiles de pucerons.

**Delabie (2001), Wilson et Hölldobler (2005), Moreau *et al.* (2006) et Brady *et al.* (2006)** montrent que ces excréments liquides appelés miellat constituent pour les fourmis une source très importante de glucides

**Malik *et al.* (2010)** ont travaillé sur les interactions tritrophiques : plante-puceron-hyménoptère parasitoïde observée dans les milieux naturels et cultivés de l'Est algérien. Parmi les 29 espèces de parasitoïdes (Hymenoptera : Braconidae, Aphidiinae) collectées à partir des momies de 47 espèces de pucerons trouvées sur 85 espèces végétales, le genre *Aphidius* Nees 1819 est le mieux représenté. L'espèce *Aphidius matricariae* Haliday 1834 est la plus fréquente, elle a été récoltée à partir des momies de 23 espèces de pucerons. Parmi ces parasitoïdes, certains sont nouveaux pour l'Algérie et pour l'aire biogéographique. Les espèces de pucerons : *Aphis gossypii* Glover 1877, *A. craccivora* Koch 1854, *A. fabae* Scopoli 1763 et *Myzus persicae* Sulzer 1776 sont les plus parasitées. Le taux de parasitisme dépend du végétal, de l'hôte et des conditions abiotiques.

De nombreuses plantes épiphytes sont associées aux fourmis pour obtenir des nutriments. **Chomicki et Renner (2016)** ont rapporté un nouveau type de symbiose fourmi-plante aux îles de Fidji où une espèce de fourmi *Philidris nagasau* plante activement et exclusivement les graines et féconde les semis de six espèces de *Squamellaria* (Rubiaceae) dont une telle agriculture joue un rôle clé dans le mutualisme.

Selon **Moog *et al.* (2003)**, au moins 45 espèces appartenant à 20 genres et 14 familles sont reconnus comme des myrmécophytes. Une estimation prudente des « vraies » fourmilières dans la forêt de Pasoh Réserve démontre que la réserve abrite au moins un tiers des myrmécophytes présents sur la péninsule.

Les fourmis se nourrissent de végétaux, directement (fruits par exemple) ou indirectement (feuilles via leur association avec un champignon ; sève via des Hémiptères producteurs de miellat). Ces interactions trophiques indirectes sont à l'origine de comportements originaux, associés à la culture d'un champignon chez les *Attini* ou à la trophobiose chez de nombreuses fourmis.

En plus du miellat, les fourmis arboricoles se nourrissent de nectars produits par des nectaires extra-floraux qui résultent d'une co-évolution diffuse plantes-fourmis : les fourmis gagnent alors accès à une source importante d'énergie et les plantes visitées bénéficient d'une protection contre les herbivores. Pour assurer les besoins des plantes en azote, les relations

trophiques plantes-fourmis sont parfois « inversées » dans les quelques cas de carnivorie chez les plantes ou lorsque les fourmis approvisionnent ces dernières (myrmécotrophie).

Par ailleurs, suite à une co-évolution plus étroite, les relations plantes-fourmis ont pu aboutir à des scénarios de mutualisme myrmécophyte-fourmi à plante. Dans ce cas, les fourmis sont hébergées dans les structures préformées (domaties) d'une plante qui souvent leur fournit nectar extra-floral et corps nourriciers. La plante y gagne en protection contre les herbivores, éventuellement contre les plantes compétitrices (**Corbara et al., 2017**).

**Delabie et al. (2003)** ont cité que les *Pheidole* sont donc à la fois des prédatrices de graines et des disséminatrices, c'est aussi le cas de nombreuses *Solenopsis* et *Attini* qui modifient de cette façon la végétation des environs de leur nid.

**De Vroey (1979)** a étudié la concurrence entre les butineuses au moyen d'appâts en sucre entre *Myrmica rugulosa*, *M. scabrinodis*, *M. sabuleti* et *Lasius niger*. Les ouvriers de *Myrmica rugulosa* ont rapidement trouvé et exploité les sources de nourriture, mais ils ont rapidement été évincés de beaucoup d'entre eux par un grand nombre de *Lasius niger* qui ont lentement envahi de plus en plus d'appâts.

**Le Breton (2003)** est ajouté que les deux espèces appartiennent à la sous-famille des Myrmicinae, mais les mécanismes qu'elles utilisent lors des interactions sont différents. Les ouvrières de *W. auropunctata* mordent puis piquent leurs adversaires alors que les ouvrières de *P. megacephala* les mordent mais ne les piquent pas. Toutefois, nous observé que des ouvrières de *P. megacephala* piquent celles de *W. auropunctata* et avec leurs puissantes mandibules écrasent ou même de couper en deux les ouvrières de *W. Auropunctata*. Les deux populations testées ne réagissent donc pas de la même manière à l'introduction des ouvrières de *W. auropunctata*.

# **Conclusion**

### Conclusion

Une identification précise permet de savoir le nom scientifique et les critères morphologiques et biologiques de différentes espèces recensées aux différents sites d'études.

L'échantillonnage nous a permis de recenser 09 espèces de Formicidae réparties en 03 sous-familles : Dolichoderinae, Myrmicinae, Formicinae, dont les deux dernières sont les abondantes en moyennes de 44,44 % par la présence de 04 espèces spécifiques pour chacune.

Ces espèces appartiennent aux 05 genres : *Camponotus* (*Camponotus sylvaticus*), *Cataglyphis* (*Cataglyphis viatica*, *Cataglyphis bicolor*, *Cataglyphis albicans*), *Messor* (*Messor barbarus*, *Messor capitatus*, *Messor minor*), *Monomorium* (*Monomorium sp*) et *Tapinoma* (*Tapinoma nigerrimum*).

Chaque espèce adopte un environnement spécifique déterminé par la nature du sol et la quantité des rayons lumineux transmis.

D'après les analyses pédologiques le genre *Messor* préfère le sol limono -argilo-sableux de pH neutre à alcalin (*barbarus*, *capitatus*), argileux et alcalin (*minor*), le genre *Cataglyphis* adopte le sol neutre et limoneux (*bicolor*, *albicans*) limono-argileux et sablo-limoneux (*viatica*), les deux genres de *Camponotus* et *Monomorium* favorisent le sol alcalin à une texture limono -argilo-sableuse mais l'espèce *Tapinoma nigerrimum* opte pour le sol alcalin de texture sableuse.

La majorité des espèces étudiées installent leurs nids sous la strate d'herbe (Canopée végétarienne), c'est le cas des genres *Messor*, *Tapinoma*, *Cataglyphis*, cependant *Camponotus sp* et *Monomorium sp* se trouvent sous une canopée forestière.

Il apparaît que les fourmilières de *Cataglyphis bicolor* situées sous une grande ouverture de canopée (96,91 %  $\pm$ 2,96) avec un LAI bas (0,025 $\pm$  0,03), celles de *Cataglyphis albicans* et *Cataglyphis viatica* sont installées sous une ouverture estimée à (85,89 %  $\pm$  0,65 ; 83,93 %  $\pm$  17,24) avec un LAI (0,185  $\pm$ 0,04 ; 0,21  $\pm$ 0,25).

Ainsi, les espèces *Monomorium sp* et *Messor minor* préfèrent les zones avec une ouverture de canopée assez grande (76,18 %  $\pm$ 2,67 ; 75,4 %  $\pm$ 18,13) avec un LAI égal à (0,25  $\pm$ 0,04 ; 0,37  $\pm$ 0,31). *Messor capitatus*, *Messor barbarus*, *Tapinoma nigerrimum* optent pour les ouvertures moyennes (69,86 %  $\pm$ 9,10 ; 56,58 $\pm$  17,15 et 59,75 %  $\pm$  24,90) et un LAI égal à (0,40  $\pm$ 0,11 ; 0,69  $\pm$  0,34 et 0,63  $\pm$ 0,48).

Cependant, *Camponotus sylvaticus* favorise les canopées forestières presque fermées avec une petite ouverture déterminée par un taux de 10,93 % avec un LAI élevé égal à 2,92.

Comme chez tous les hyménoptères les fourmis sont organisées en castes (*Majors, medias et minors*). Ces dernières se forment à cause du polymorphisme qui permet l'exécution des tâches par les différents types d'ouvrières constituant la fourmilière, c'est le polyéthisme. Les espèces *Messor capitatus*, *Cataglyphis bicolor* et *Tapinoma nigerrimum* contiennent trois sous castes, mais celle de *Camponotus sylvaticus* est formée seulement de deux sous castes. Cependant, les individus de l'espèce *Monomorium sp* sont monomorphes.

Plusieurs facteurs climatiques ont un effet sur l'activité des fourmis. La température semble avoir une influence plus forte et directe.

Les résultats obtenus sont :

✚ Hautement significative pour :

- ✓ *Cataglyphis bicolor*, ( $p=0,001$ ), le  $R^2 = 0,672$  soit 67,2 % de la variation de flux qui est expliquée par les variations du vent et de température.
- ✓ *Monomorium sp*, [la variable aller ( $p=0,001$ ), la variable au retour ( $p= 0,001$ ), le  $R^2=0.697$  % de la variation de flux en aller et 71,1 % de flux au retour sont expliquées par les variations de température et du vent.

✚ Significatives pour :

- ✓ *Tapinoma nigerrimum*, [la variable aller ( $p= 0,016$ ), la variable au retour ( $p= 0,017$ )], le  $R^2$  est égal à 0,535 en aller et 0,531 en retour ce qui signifie que 53,5 à 53,1 % de la variation de flux est expliquée par les variations de la vitesse du vent et de la température.
- ✓ *Camponotus sylvaticus* ( $p= 0,025$ ), le  $R^2 =0,435$  quant la valeur dépendante en aller et égal à 0,438 quant la valeur dépendante est en retour, ce qui signifie que 43,5 à 34,8 % de la variation du flux est expliquée par les variables du vent et de température
- ✓ *Messor capitaus* [la variable retour ( $p= 0,049$ ), la variable vont ( $p= 0,065$ )], le  $R^2$  est égal à 0,427 et 0,451 en aller et en retour, ce qui signifie que 42,7 à 45,1 % de la variation de flux est expliqué par les variations de la vitesse du vent et de la température.

L'orientation des fourmis consiste à positionner leurs corps en relation à des stimuli spatiaux terrestre ou céleste. Les résultats de l'orientation astronomique interprétés par le test  $\chi^2$  confirment celles de l'orientation par les repères visuels. Il montre qu'il ya une association hautement significative ( $p \text{ value} = 0,000$ ) entre l'orientation du soleil et la création des nouvelles pistes par les trois espèces : *Messor capitatus*, *Monomorium sp* et *Tapinoma*

*nigerrimum*. Concernant l'espèce *Cataglyphis bicolor* le résultat est non significatif, car le p value est égale à 0,151.

Donc, pendant le fourragement les espèces *Tapinoma nigerrimum*, *Monomorium sp* et *Messor capitatus* se fondent sur les phéromones et les rayons du soleil, cependant *Cataglyphis bicolor* utilise les repères terrestres et célestes.

Concernant le choix d'une source de nourriture par les fourmis, les résultats obtenus montrent que les différentes espèces ont choisi de diverses sources de nourriture. Les espèces *Messor capitatus* et *Tapinoma nigerrimum* sont attirées par la source protéique de grande quantité avec une moyenne de  $45,5 \pm 34,13$  individus pour *Messor* et  $114 \pm 13,80$  individus pour *Tapinoma*.

Concernant l'espèce *Cataglyphis bicolor* : elle est orientée vers la source des glucides, soit les disaccharides (saccharose) en moyenne de  $56,91 \pm 7,96$  individus ou les polysaccharides (amidon du pain) d'une moyenne de  $101,5 \pm 46,48$  individus, et la source protéique avec  $44,37 \pm 25,04$  individus.

L'espèce *Monomorium sp* a choisi les lipides comme une source de nourriture prioritaire avec une moyenne importante de  $823,92 \pm 231,69$  individus. Les autres sources de protéine, de polysaccharide et de disaccharide ont été aussi fréquentées en moyenne de  $137,75 \pm 29,06$ ,  $52,5 \pm 21,06$  et  $86,41 \pm 48,56$  individus.

Les fourmis sont également au centre d'un réseau d'interactions inter et intraspécifiques :

- ✓ le mutualisme avec des pucerons producteurs de miellat, c'est le cas étudié de : *Camponotus sylvaticus* & *Aphis punicae* et le mutualisme avec certaines plantes (la myrmécochorie par les *Messor*)
- ✓ la prédation des insectes nocifs lors de l'approvisionnement de nourriture (le régime alimentaire des *Cataglyphis*)

Cette étude nous a permis de connaître les peuplements des fourmis associées aux différents biotopes : forêt, milieu agricole et aquatique de l'Est algérien.

Compte tenu de la vaste diversité végétale et climatique, il est certain que d'autres prospections élargies à un plus grand nombre d'espèces de fourmis qui peuvent exister au niveau d'autres sites et même dans d'autres wilayas limitrophes de l'Est algérien permettront d'enrichir davantage la liste de la myrmécofaune algérienne. Aussi lorsque la communication

## Conclusion

---

entre les individus est la clé de toute relation, il est intéressant et nécessaire d'étendre l'étude de tout type de phéromone secrété par les fourmis pour bien comprendre leur bio-écologie.

# **Références Bibliographiques**

## A

**Agosti, D and Johnson, N. F. (2005).** Antbase. World Wide Web electronic publication. antbase. org, version (05/2005).

**Agosti, D. (1990).** Review and reclassification of *Cataglyphis* (Hymenoptera, Formicidae). Journal of Natural history, 24(6), 1457-1505.

**Anderson, T., Hussam, A., Plummer, B., & Jacobs, N. (2002).** Pie charts for visualizing query term frequency in search results. In International Conference on Asian Digital Libraries (pp. 440-451). Springer, Berlin, Heidelberg.

**Aron, S., Pasteels, J. M., & Deneubourg, J. L. (1989).** Trail-laying behaviour during exploratory recruitment in the Argentine ant, *Iridomyrmex humilis* (Mayr). Biol. Behav, 14(3), 207-217

**Ayre, G. L. (1958).** Some meteorological factors affecting the foraging of *Formica subnitens* Creighton (Hymenoptera:«Formicidae»). Insectes sociaux, 5(2), 147-157.

## B

**Bachelier, G. (1978).** La faune des sols, son écologie et son action.

**Baize, D. (2000).** Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. Edition, INRA. Paris, 257 p.

**Barech, G., Khaldi, M., Doumandji, S and Espadaler, X. (2011).** One more country in the worldwide spread of the wooly ant: *Tetramorium lanuginosum* in Algeria (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News 14: 97–98.

**Barech, G. (2014).** Contribution à la connaissance des fourmis du Nord de l'Algérie et de la steppe: Taxonomie, bio-écologie et comportement trophique (Cas de *Messor medioruber*). Doctoral thesis, École Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Algiers, Algérie.

**Barech, G. ; Khaldi, M. ; Ziane S. ; Zedam A. ; Doumandji, S. ; Sharaf, M and Espadaler, X., A .(2016).** First checklist and diversity of ants Hymenoptera : Formicidae of the saline dry lake Chott El Hodna in Algeria, à Ramsar Conservation Wetland. African Entomology. 24 : 143-152. doi : 10.4001/003.024.0143.

**Barech, G., Khaldi, M., Boujelal, F. Z and Espadaler, X.(2018).** El ksob en Algerie: Nouvelle citations pour *Aphaenogaster rupestris* forel, 1909 (hymenoptera: formicidae).

- Barech, G., Khaldi, M., Espadaler, X et Cagniant, H. (2017).** Le genre *Monomorium* (Hymenoptera, Formicidae) au Maghreb (Afrique du nord): clé d'identification, avec la redescription de la fourmi *Monomorium major* Bernard, 1953 et nouvelles citations pour l'Algérie. *Boletín de la SEA*, (61), 151-157.
- Barech, G., Rebbas, K., Khaldi, M., Doumandji, S. Espadaler, X. (2015).** Redécouverte de la fourmi d'Argentine *Linepithema humile* (Hymenoptera : Formicidae) en Algérie: un fléau qui peut menacer labiodiversité. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)* 56: 269–272.
- Baroni Urbani, C. (1973).** Simultaneous mass recruitment in exotic Ponerine ants. Proc VII IUSI Congr, London, 12-15.
- Baroni Urbani, C. (1993).** The diversity and evolution of recruitment behaviour in ants, with a discussion of the usefulness of parsimony criteria in the reconstruction of evolutionary histories. *Insectes sociaux*, 40(3), 233-260.
- Baroni-Urbani, C., Buser, M. W and Schilliger, E. (1988).** Substrate vibration during recruitment in ant social organization. *Insectes Sociaux*, 35(3), 241-250.
- Bayartogtokh, B., Aibek, U., Yamane, S and Pfeiffer, M. (2014).** Diversity and biogeography of ants in Mongolia (Hymenoptera: Formicidae). *Asian Myrmecology*, 6, 63-82.
- Beattie, A. J and Hughes, L. (2002).** Ant–plant interactions. In ‘Plant–animal interactions: an evolutionary approach’. (Eds CM Herrera, O Pellmyr) pp. 211–235.
- Beckers, R., Deneubourg, J. L and Goss, S. (1992b).** Trails and U-turns in the selection of a path by the ant *Lasius niger*. *Journal of theoretical biology*, 159(4), 397-415.
- Beckers, R., Deneubourg, J. L and Goss, S. (1992a).** Trail laying behaviour during food recruitment in the ant *Lasius niger* (L.). *Insectes Sociaux*, 39(1), 59-72.
- Beckers, R., Goss, S., Deneubourg, J. L and Pasteels, J. M. (1989).** Colony size, communication and ant foraging strategy. *Psyche: A Journal of Entomology*, 96(3-4), 239-256.
- Bélisle, C and Cresswell, J. (1997).** The effects of a limited memory capacity on foraging behavior. *Theoretical Population Biology*, 52(1), 78-90.
- Belkadi, M. (1990).** Biologie de la fourmi des jardins *Tapinoma simrothi* Krausse (Hymenoptera, Formicidae) dans la région de Tizi ouzou (Doctoral dissertation, Thèse Magister, Univ. Tzi ouzou, 127p).

- Belleman, H .( 1999)**. Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe. Delachaux et Niestlé, 336 p.
- Benkhilil, M. L. (1992)** . Les techniques de récolte et de piégeages utilisées en entomologie terrestre. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun, Alger, 68p.
- Berg, R. Y. (1966)**. Seed dispersal of *Dendromecon*: its ecologic, evolutionary, and taxonomic significance. *American Journal of Botany*, 53(1), 61-73.
- Bernadou, A., Latil G., Fourcassie V et Etesplaer X. (2006)** . Étude des communautés de fourmis d'une vallée Andorrane lues .SF, coll .annuel, avignon, 4 p .
- Bernard ,F. (1983)** . Les fourmis et leur milieu en France méditerranéenne .Ed. Lechevalier ,Paris, 149p.
- Bernard, F. (1945)**. Notes sur l'écologie des fourmis en forêt de Mamora Maroc.
- Bernard, F. (1950)**.Notes sur les fourmis de France. II. Peuplement des montagnes meridionales.
- Bernard, F. (1951)**. Super-famille des Formicoidea. *Traité de Zoologie*, 10(2), 997-1104.
- Bernard, F. (1968)**. Les fourmis (Hymenoptera Formicidae) d'Europe occidentale et septentrionale (Faune de l'Europe et du Bassin Méditerranéen, 3).
- Bernard, F. (1971)**. Comportement de la fourmi *Messor barbara* (L.) pour la récolte des graines de *Trifolium stellatum* L. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 62, 15-20.
- Bernard, F. (1971)**. Les fourmis de l'Ile de Djerba (Tunisie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger*, 3-13.
- Bernard, F. (1973)**. Origine et évolution des Fourmis moissonneuses *Messor* et *Cratomyrmex*. *CR somm. séances Soc. de Biogéographie, Paris*, 251-278.
- Bestmann, H. J., Kern, F., Schäfer, D and Witschel, M. C. (1992)**. 3, 4-dihydroisocoumarins, a new class of ant trail pheromones. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 31(6), 795-796.
- Beugnon, G., Chameron, S., Monmarché, N et Venturini, G. (2005)**. Systèmes de navigation autonomes: de la fourmi au robot. *Agir dans l'espace, Cognitique*, 193.
- Beugnon, G., Pastergue-Ruiz, I., Schatz, B and Lachaud, J. P. (1995)**. Cognitive approach of spatial and temporal information processing in insects. *Behavioural Processes*, 35(1-3), 55-62.
- Bharti, H. (2008)**. Altitudinal diversity of ants in Himalayan regions (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 52(2), 305.

- Billen, J and Morgan, E. D. (1998).** Pheromone communication in social insects: sources and secretions. Pheromone communication in social insects: ants, wasps, bees, and termites, 3-33.
- Blight, O. (2010).** Ampleur et conséquences écologiques de l’envahissement du littoral corse par la fourmi d’Argentine (*Linepithema humile*, Mayr) (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3).
- Blomquist, G. J and Bagnères, A. G. (Eds.). (2010).** Insect hydrocarbons: biology, biochemistry, and chemical ecology. Cambridge University Press.
- Blondel, J. (1975).** L'analyse des peuplements d'oiseaux, élément d'un diagnostic écologique. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.). La Terre et la Vie (Revue d'Ecologie) 29:533-589.
- Bolton, B. (1987).** A review of the *Solenopsis* genus-group and revision of Afrotropical *Monomorium* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology, 54(3), 263-452.
- Bolton, B. (1994).** Identification guide to the ant genera of the world. Harvard University Press.
- Bolton, B. (1995).** A new general catalogue of the ants of the world (No. C/595.796 B6).
- Bolton, B. (2003).** Synopsis and classification of Formicidae. American Entomological Institute.
- Bolton, B. (2007).** Taxonomy of the dolichoderine ant genus *Technomyrmex* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) based on the worker caste. Contributions of the American Entomological Institute, 35(1): 1-150.
- Bonnemaison, L. (1962).** Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts.
- Bose T., Reina A et Marshall, J. (2017).** Prise de décision collective. Curr. Opin. Behav. Sci. 2017 ; 16 m 30-34.
- Boulkhssaim, M., Ouldjaoui, A., Baaziz, N., Zebza, R., Sekrane, N., Ayaichia, F., ... and Samraoui, B., (2009).** Mass reproduction of the Greater Flamingo at Ezzemoul, Algeria in 2009 the need to reassess the role of North African wetlands. Flamingo, 17, 48-53.
- Bouzekri ,M., Daoudi-hacini, S., Cagniant, H et Doumandji, S. (2015).** Etude comparative des associations (plantes-fourmis) dans une région steppique (cas de la région de djelfa, algérie) Lebanese Science Journal, 16(1) :69-77.

**Bouzekri, M. ; Daoudi-Hacini, S. ; Cagniant, H et Doumandji, S.E. (2015)** .Étude comparative des associations plantes-fourmis dans une région steppique cas de la région de djelfa, Algérie. Libanaise Science Journal, 161, 69.

**Brady, S. G., Schultz, T. R., Fisher, B. L and Ward, P. S. (2006)**. Evaluating alternative hypotheses for the early evolution and diversification of ants. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(48), 18172-18177.

**Brew, C. R., O'Dowd, D. J and Rae, I. D. (1989)**. Seed dispersal by ants: behaviour releasing compounds in elaiosomes. *Oecologia*, 80(4), 490-497.

**Briese, D. T and Macauley, B. J. (1980)**. Temporal structure of an ant community in semi-arid Australia. Australian Journal of Ecology, 5(2), 121-134.

**Brouat, C. (1999)**. Origine et évolution des mutualismes plantes-fourmis. Le cas de "*Leonardoxa*", myrmécophyte à domaties caulinaires (Doctoral dissertation, Montpellier 2).

**Brun, R. (1914)**. Die raumorientierung der ameisen und das orientierungsproblem im allgemeinen: Eine kritisch-experimentelle studie; zugleich ein beitrag zur theorie der mneme. G. Fischer.

## C

**Cagniant, H. (1966)**. Note sur le peuplement en fourmis d'une montagne de la région d'Alger l'atlas de Blida. Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse T.102, FASC.1 , PP 278-283

**Cagniant, H et Espadaler, X. (1997)**. Le genre *Messor* au Maroc (Hymenoptera: Formicidae). In Annales de la Société entomologique de France (Vol. 33, No. 4, pp. 419-434). Paris: La Societe.

**Cagniant, H. (1968)**. Liste préliminaire de fourmis forestières d'Algérie. –Résultats obtenus de 1963 à 1966. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 104, 1-10.

**Cagniant, H. (1969)**. Nouvelle description de *Leptothorax spinosus* Forel. Représentation des trois castes et notes biologiques [Hym. Formicidae Myrmicinae]. Bulletin de la Société entomologique de France, 747, 201-208.

**Cagniant, H. (1970)**. Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt 1re partie. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 105, 405-430.

**Cagniant, H. (1971)**. Resistance relative à la sécheresse et au froid, de quelques fourmis d'Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 107(1-2), 135-145.

- Cagniant, H. (1973).** Les Peuplements de fourmis des forêts algériennes : Ecologie, biocénétique, essai biologique Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar.
- Cagniant, H. (2009).** Le genre *Cataglyphis* Foerster, 1850 au Maroc Hyménoptères Formicidae. *Orsis : organismes i sistemes*, 24, 041-71.
- Cagniant, H.(1970)** Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt Deuxième partie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 106, 28-40.
- Calabi, P. (1988).** Behavioral flexibility in Hymenoptera: a re-examination of the concept of caste. *Advances in myrmecology*, 237-258.
- Campan, R., & Scapini, F. (2002).** Ethologie: approche systémique du comportement. De Boeck Supérieur.
- Cartwright, B. A and Collett, T. S. (1982).** How honey bees use landmarks to guide their return to a food source. *Nature*, 295(5850), 560-564.
- Cerdá, X., Retana, J and Carpintero, S. (1996).** The caste system and social repertory of *Cataglyphis floricola* (Hymenoptera Formicidae). *Journal of Ethology*, 14(1), 1-8.
- Chambers, C. M. (2011).** The effects of resource availability and temperature on ants.
- Cheng, K and Wehner, R. (2002).** Navigating desert ants (*Cataglyphis fortis*) learn to alter their search patterns on their homebound journey. *Physiological Entomology*, 27(4), 285-290.
- Cheng, K., Narendra, A and Wehner, R. (2006).** Behavioral ecology of odometric memories in desert ants: acquisition, retention, and integration. *Behavioral Ecology*, 17(2), 227-235.
- Chittka, L and Geiger, K. (1995).** Can honey bees count landmarks?. *Animal Behaviour*, 49(1), 159-164.
- Chittka, L., Geiger, K and Kunze, J. A. N. (1995).** The influences of landmarks on distance estimation of honey bees. *Animal Behaviour*, 50(1), 23-31.
- Chomicki, G and Renner, S. S. (2016).** Obligate plant farming by a specialized ant. *Nature Plants*, 2(12), 1-4.
- Clement, M et Françoise P. (2003).** Analyse chimique des sols Méthodes choisies. Editions TEC&DOC. Paris .p23-292.
- Collett, M and Collett, T. S. (2000).** How do insects use path integration for their navigation?. *Biological cybernetics*, 83(3), 245-259.
- Collett, T. S., Graham, P and Durier, V. (2003).** Route learning by insects. *Current opinion in neurobiology*, 13(6), 718-725.
- Combépine, M. F., & Donzé, A. (2011).** Approche expérimentale et théorique de l'écologie des fourmis des bois1.

**Conway, J. R. (1980).** The Seasonal Occurrence of Sexual Brood and the Pre-and Post-Nuptial Behavior of the Honey Ant, *Myrmecocystus mexicanus* Wesmael, in Colorado. *Journal of the New York Entomological Society*, 7-14.

**Corbara, B., Leroy, C., Orivel, J., Dejean, A et Delsinne, T.(2017).** Les relations fourmis-plantes en Amérique tropicale.

**Cros, S., Cerdá, Xand Retana, J. (1997).** Spatial and temporal variations in the activity patterns of Mediterranean ant communities. *Ecoscience*, 4(3), 269-278.

**Csata E., Gautrais J., Bach A., Blanchet J., Ferrante J., Fournier F., Levesque T., Dussutour, A and Simpson SJ. (2019) .** Ant foragers compensate for the nutritional deficiencies in the colony. *Curr biol*, 30(1), 135-142.E4.

**Csósz, S., Markó, B and Gallé, L. (2011).** The myrmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) of Hungary: an updated checklist. *North-western journal of zoology*, 7(1).

## D

**Dajoz J. (1971).** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.

**Dajoz R. (1982).** Précis d'écologie. Ed. Gauthier-Villars, 522 p.

**Danks, H.V. (1996).** How to assess insect biodiversity without wasting your time. *Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods) Canadian Museum of Nature, Ottawa*. ISBN. N°5.: 0-9692727-6-6

**Davidson, D. W. (1978).** Size variability in the worker caste of a social insect (*Veromessor pergandei* Mayr) as a function of the competitive environment. *The American Naturalist*, 112(985), 523-532.

**De Vroey, C. (1979).** Relations interspecifics chez les fourmis. *CR Sct. Fr. UIEIS*, 107-113.

**Dehina, N. (2009).** Systématique et essaimage de quelques espèces de fourmis (Hymenoptera, Formicidae) dans deux régions de l'Algérois (Doctoral dissertation, 2009).

**Delabie J., Ospina M y Zabala G. (2003).** Relaciones entre hormigas y plantas: una introducción. In : *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. F. Fernandez (Ed.), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 167-180.

**Delabie, J. H. (2001).** Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. *Neotropical Entomology*, 30(4), 501-516.

**Delagarde, J. (1983) .** Initiation à l'analyse des données. Ed. Dunod., Paris, 157p.

- Delage, B. (1962).** Recherches sur l'alimentation des fourmis granivores *Messor capitatus* Latr. Insectes Sociaux, 9(2), 137-143.
- Delalande, M., Gavaland, A., Mistou, M. N., Burger, P., Meunier, F., Marandel, R., ...et Doussan, C. (2017).** Mesure de l'eau du sol: questions, méthodes et outils. Exemples d'application sur deux plateformes champs du réseau Phenome. Le Cahier des Tech. INRA, 2017, 1-32.
- Delye, G. (1965).** *Cataglyphis (Paraformica) emmae* Forel, sexués et «soldats»[Hym. Formicidae]. Bulletin de la Société entomologique de France, 70(3), 52-56.
- Deneubourg, J. L., Aron, S., Goss, S and Pasteels, J. M. (1990).** The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant. Journal of insect behavior, 3(2), 159-168.
- Deneubourg, J. L., Pasteels, J. M and Verhaeghe, J. C. (1983).** Probabilistic behaviour in ants: a strategy of errors?. Journal of theoretical Biology, 105(2), 259-271.
- Detrain, C., Deneubourg, J. L., Goss, S and Quinet, Y. (1991).** Dynamics of collective exploration in the ant *Pheidole pallidula*. Psyche, 98(1), 21-31.
- Detrain, C.; Deneubourg, J. L.; Pasteels, J. Mand Pasteels, J. M.(1999) .** Information processing in social insects. Springer Science & Business Media..
- Devigne, C. (2003).** Influence de la distance et du marquage d'aire sur le recrutement alimentaire de la fourmi *Lasius niger*.
- Devigne, C., Renon, A. J and Detrain, C. (2004).** Out of sight but not out of mind: modulation of recruitment according to home range marking in ants. Animal Behaviour, 67(6), 1023-1029.
- Dias, R. K. S., Guénard, B., Akbar, S. A., Economo, E. P., Udayakantha, W. S and Wachkoo, A. A. (2020).** The Ants (Hymenoptera, Formicidae) of Sri Lanka: a taxonomic research summary and updated checklist. ZooKeys, 967, 1.
- Djioua, O.; Sadoudi-ali ahmed, D. (2015).** The stands of ants Hymenoptera, Formicidae in some forest and agricultural areas of Kabylia. International Journal of Zoological Research, 5: 15-26.
- Doncaster, H. D. (1983).** The foraging habitats of four species of ant on ramsey island, dyfeed.
- DuBois, M. (1986).** A revision of the native New World species of the ant genus *Monomorium* (minimum group) (Hymenoptera: Formicidae). Univ. Kansas Sci. Bull., 53, 65-119.
- Dukas, R. (1999).** Costs of memory: ideas and predictions. Journal of theoretical biology, 197(1), 41-50.

**Dukas, R. (Ed.). (1998).** Cognitive ecology: the evolutionary ecology of information processing and decision making. University of Chicago Press. imation of honey bees. *Animal Behaviour*, 50(1), 23-31.64.

**Duncan, F. D., & Crewe, R. M. (1994).** Field study on the foraging characteristics of a ponerine ant, *Hagensia havilandi* Forel. *Insectes Sociaux*, 41(1), 85-98.

**Durier, V., Graham, P and Collett, T. S. (2003).** Snapshot memories and landmark guidance in wood ants. *Current Biology*, 13(18), 1614-1618.

**Dussutour, A., Fourcassié, V., Helbing, D and Deneubourg, J. L. (2004).** Optimal traffic organization in ants under crowded conditions. *Nature*, 428(6978), 70-73.

**Dyer, F. C and Dickinson, J. A. (1996).** Sun-compass learning in insects: Representation in a simple mind. *Current Directions in Psychological Science*, 5(3), 67-72.

## E

**Emery, C. (1881).** Viaggio ad Assab nel Mar Rosso, dei signori G. Doria ed O. Beccari con il R. Avviso "Esploratore" dal 16 Novembre 1879 al 26 Febbraio 1880. I. Formiche. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale Giacomo Doria*, 16, 525-535.

**Emery, C. (1908) .** Beiträge zur Monographie der Formiciden des paläarktischen Faunengebietes. (Hym.) Teil V. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 1908: 663-686.

**Emery, C. (1922).** Genera Insectorum. Hymenoptera, Fam. Formicidae, Subfam. Myrmicinae, Fase, 174, 95-206.

**Ettershank, G. (1966).** A generic revision of the world Myrmicinae related to *Solenopsis* and *Pheidologeton* (Hymenoptera: Formicidae). *Australian Journal of Zoology*, 14(1), 73-171.

## F

**Faurie, C. ; Ferra, C et Medori, P. (1980).** *Ecologie*. eds. Baillière JB.P-150.

**Finnegan, R. J. (1973).** Diurnal foraging activity of *Formica sublucida*, *F. sanguinea subnuda*, and *F. fossiceps* (Hymenoptera: Formicidae) in Quebec. *The Canadian Entomologist*, 105(3), 441-444.

**Fischer, M. K., Hoffmann, K. H and Völkl, W. (2001).** Competition for mutualists in an ant–homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. *Oikos*, 92(3), 531-541.

**Fisher, B. L and Bolton, B. (2016).** *Ants of Africa and Madagascar: a guide to the genera*. Univ of California Press.

**Floren, A., Biun, A and Linsenmair, E. K. (2002).** Arboreal ants as key predators in tropical lowland rainforest trees. *Oecologia*, 131(1), 137-144.

**Fourcassie, V and Deneubourg, J. L. (1994).** The dynamics of collective exploration and trail-formation in *Monomorium pharaonis*: experiments and model. *Physiological Entomology*, 19(4), 291-300.

**Fowler, H. G. (1985).** Alloethism in the carpenter ant, *Camponotus pennsylvanicus* (Hymenoptera: Formicidae). *Entomologia generalis*, 69-76.

**François, R. (1972).** Le peuple des fourmis. *Presses universitaires de France, Paris*, 126.

**Frizzi, F., Talone, F and Santini, G. (2018).** Modulation of trail laying in the ant *Lasius neglectus* (Hymenoptera: Formicidae) and its role in the collective selection of a food source. *Ethology*, 124(12), 870-880.

## G

**Gammans, N., Bullock, J. M., Gibbons, H and Schönrogge, K. (2006).** Reaction of mutualistic and granivorous ants to *Ulex* elaiosome chemicals. *Journal of chemical ecology*, 32(9), 1935-1947.

**Gano, K. A and Rogers, L. E. (1983).** Colony density and activity times of the ant *Camponotus semitestaceus* (Hymenoptera: Formicidae) in a shrub steppe community. *Annals of the Entomological Society of America*, 76(6), 958-963.

**Garrido, J. L., Rey, P. J., Cerdá, X and Herrera, C. M. (2002).** Geographical variation in diaspore traits of an ant-dispersed plant (*Helleborus foetidus*): are ant community composition and diaspore traits correlated?. *Journal of Ecology*, 446-455.

**Gehring, W. J and Wehner, R. (1995).** Heat shock protein synthesis and thermotolerance in *Cataglyphis*, an ant from the Sahara desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(7), 2994-2998.

**Gobin, B., Ito, F and Billen, J. (2003).** The subepithelial gland in ants: a novel exocrine gland closely associated with the cuticle surface. *Acta Zoologica*, 84(4), 285-291.

**Gordon, D. M. (1989a).** Caste and change in social insects. *Oxford surveys in evolutionary biology*, 6, 67-72.

**Gordon, D. M. (1996).** The organization of work in social insect colonies. *Nature*, 380(6570), 121-124.

**Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J. L and Pasteels, J. M. (1989).** Self-organized shortcuts in the Argentine ant. *Naturwissenschaften*, 76(12), 579-581.

**Guénard, B. (2007).** Mutualisme fourmis pucerons et guildes aphidiphage associée: le cas de la prédation furtive.

**Guénard, B. (2007).** Mutualisme fourmis pucerons et guildes aphidiphage associée: le cas de la prédation furtive.

## H

**Hafid, H., Allaoua, N., Hamlaoui, A., Rebbah, A. C and Merzoug, D., (2018).** Structure and Diversity of Arthropod Communities in the Jebel SidiR'ghiss Forest (Oum El Bouaghi) North East Algerian. *World*, 7(4), 95-101.

**Hamouni M., Touaf L. et Chekired Z. (2004).** Analyse du sol .intérêt agronomique. Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) Alger. pp 16.

**Handel, S. N. (1976).** Dispersal ecology of *Carex pedunculata* (Cyperaceae), a new North American myrmecochore. *American Journal of Botany*, 63(8), 1071-1079.

**Haskins, C. P and Haskins, E. F. (1950).** Notes on the biology and social behavior of the archaic ponerine ants of the genera *Myrmecia* and *Promyrmecia*. *Annals of the Entomological Society of America*, 43(1), 1-12.

**Heatwole, H and Muir, R. (1989).** Seasonal and daily activity of ants in the pre-Saharan steppe of Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 16(1), 49-67.

**Heatwole, H.(1996).** Ant assemblages at their dry limits: the northern Atacama Desert, Peru, and the Chott El Djerid, Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 33(4), 449-456.

**Hebling, b and mja, h. B. (1982).** The influence of temperature on oxygen consumption rates of workers of two leaf cutting ants, *atta laevigata* (f. Smith, 1858) and *atta sexdens rubropilosa* (forel, 1908).

**Heterick, B. E. (2001).** Revision of the Australian ants of the genus *Monomorium* (Hymenoptera: Formicidae). *Invertebrate Systematics*, 15(3), 353-459.

**Heterick, B. E. (2006).** A revision of the Malagasy ants belonging to the genus *Monomorium* Mayr, 1855 (Hymenoptera: Formicidae). *Proceedings of The California Academy of Sciences (Fourth Series)*, 59, 719-722.

**Hites, N. L., Mourão, M. A., Araújo, F. O., Melo, M. V., De Biseau, J. C., & Quinet, Y. (2005).** Diversity of the ground-dwelling ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) of a moist, montane forest of the semi-arid Brazilian "Nordeste". *Revista de Biologia Tropical*, 53(1-2), 165-173.

**Hoelldobler, B. (1971).** Recruitment behavior in *camponotus socius* (hym. formicidae). *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 75 (2) , 123-142.

**Hölldobler B., 1978.** Ethological aspects of chemical communication in ants. In *Advances in the Study of Behavior*. Academic Press Inc. New York, San Francisco, London, vol. 8 : 75–115.

**Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990).** *The Ants*. Springer-Verlag, Berlin. 732 p.

**Homberg, U. (2004).** In search of the sky compass in the insect brain. *Naturwissenschaften*, 91(5), 199-208.

**Hughes, L., Westoby, M. T and Jurado, E. (1994).** Convergence of elaiosomes and insect prey: evidence from ant foraging behaviour and fatty acid composition. *Functional Ecology*, 358-365.

## J

**Jeanson R., Dussutour A et Fourcassié V.(2012)** . Facteurs clés pour l'émergence de la décision collective chez les invertébrés. *De face. Neurosci.* 2012 ;6 :121.

**Jensen, T. F and Holm-Jensen, I. (1980).** Energetic cost of running in workers of three ant species, *Formica fusca* L., *Formica rufa* L., and *Camponotus herculeanus* L. (Hymenoptera, Formicidae). *Journal of comparative physiology*, 137(2), 151-156.

**Jolivet, P et Schnell, R. (1986).** Les fourmis et les plantes: un exemple de coévolution (No. 595.796 JOL). Société nouvelle des éditions Boubée.

**Josens, R. B., Farina, W. M and Roces, F. (1998).** Nectar feeding by the ant *Camponotus mus*: intake rate and crop filling as a function of sucrose concentration. *Journal of Insect Physiology*, 44(7-8), 579-585.

**Judd, S. P. D and Collett, T. S. (1998).** Multiple stored views and landmark guidance in ants. *Nature*, 392(6677), 710-714.

## K

**Kalisz, P. J. et Powell, J. E. (2003).** Effect of calcareous road dust on land snails (Gastropoda: Pulmonata) and milipedes (Diplopoda) in acidforest soils of the Daniel Boone National Forest of Kentucky, USA. *Forest Ecology and Management*, 186:177-183.

**Kaneko, S. (2003).** Different impacts of two species of aphid-attending ants with different aggressiveness on the number of emerging adults of the aphid's primary parasitoid and hyperparasitoids. *Ecological Research*, 18(2), 199-212.

**Kaspari, M. (1993).** Body size and microclimate use in Neotropical granivorous ants. *Oecologia*, 96(4), 500-507.

**Kern, F., Klein, R. W., Janssen, E., Bestmann, H. J., Attygalle, A. B., Schäfer, D and Maschwitz, U. (1997).** Mellein, a trail pheromone component of the ant *Lasius fuliginosus*. *Journal of Chemical Ecology*, 23(3), 779-792.

**Kiran, K and Karamn, C. (2012).** First annotated checklist of the ant fauna of Turkey (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 3548(1), 1-38.

## L

**Labelle, B., Olivier, T., Lesiourd, K et Thevenin, C. (2012).** Étude des flux d'individus et des modalités de recrutement chez *Formica rufa*.

**Lachaud, J. P., Fresneau, D et García-Pérez, J. (1984).** Étude des stratégies d'approvisionnement chez 3 espèces de fourmis ponérines (Hymenoptera, Formicidae). *Folia Entomológica Mexicana*, (61), 159-177.

**Lamotte M et Bourliere F. (1969).** Problème d'écologie –l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. Ed Masson et Cie, Paris ,303p.

**LaPolla, J. S., Suman, T., Sosa-Calvo, J., & Schultz, T. R. (2007).** Leaf litter ant diversity in Guyana. *Biodiversity and Conservation*, 16(2), 491-510.

**Latreille, P. A. (1989).** Essai sur l'histoire des fourmis de la France. Slatkine.

**Le Breton, J and Fourcassié, V. (2004).** Information transfer during recruitment in the ant *Lasius niger* L.(Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55(3), 242-250.

**Le Breton, J. (2003).** Etude des interactions entre la fourmi *Wasmannia auropunctata* et la myrmécofaune. Comparaison d'une situation en zone d'introduction, la Nouvelle-Calédonie, et d'une situation en zone d'origine, la Guyane Française. These de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 3.

**Lebas, C., Galkowski, C., Blatrix, R et Wegnez, P. (2016).** Fourmis d'Europe occidentale. Delachaux et Niestlé.

**Lengyel, S., Gove, A. D., Latimer, A. M., Majer, J. D and Dunn, R. R. (2010).** Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: a global survey. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12(1), 43-55.

**Lengyel, S., Gove, A. D., Latimer, A. M., Majer, J. D and Dunn, R. R. (2009).** Ants sow the seeds of global diversification in flowering plants. *PloS one*, 4(5), e5480.

**Lenoir, A. (1981).** Le comportement alimentaire et la division du travail chez la fourmi *Lasius niger*.

**Leponce, M., Theunis, L., Delabie, J. H., & Roisin, Y. (2004).** Scale dependence of diversity measures in a leaf-litter ant assemblage. *Ecography*, 27(2), 253-267.

**Liebig, J. (2010).** Hydrocarbon profiles indicate fertility and dominance status in ant, bee, and wasp colonies. *Insect hydrocarbons: biology, biochemistry, and chemical ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 254-281.

**Longino, J. T., & Colwell, R. K. (1997).** Biodiversity assessment using structured inventory: capturing the ant fauna of a tropical rain forest. *Ecological applications*, 7(4), 1263-1277.

**López, F., Serrano, J. M and Acosta, F. J. (1992).** Temperature-vegetation structure interaction: the effect on the activity of the ant *Messor barbarus* (L.). *Vegetatio*, 99(1), 119-128.

## M

**MacKay, W. P and Sassaman, C. A. (1984).** Paradoxical acclimation and seasonal comparisons of oxygen consumption rates in three species of *Pogonomyrmex* harvester ants (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Comparative Physiology B*, 154(4), 399-407.

**MacKay, W. P. (1982).** An altitudinal comparison of oxygen consumption rates in three species of *Pogonomyrmex* harvester ants (Hymenoptera: Formicidae). *Physiological Zoology*, 55(4), 367-377.

**Mailleux, A. C. (2002).** Les Règles de comportements à l'origine des stratégies alimentaires chez *Lasius niger*.

**Mailleux, A. C., Deneubourg, J. L and Detrain, C. (2000).** How do ants assess food volume?. *Animal behaviour*, 59(5), 1061-1069.

**Mailleux, A. C., Deneubourg, J. L and Detrain, C. (2003a).** Regulation of ants' foraging to resource productivity. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1524), 1609-1616.

- Malik, L., Souad, T. C., Soraya, B., Belkais, A. S., Halima, M., Sihem, G., ... et Petr, S. (2010).** Interactions tritrophiques: plante-puceron-hyménoptère parasitoïde observées en milieux naturels et cultivés de l'Est algérien. *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology*.
- Markó, B., Ionescu-Hirsch, A and Szász-Len, A. (2009).** Genus *Camponotus* Mayr, 1861 (Hymenoptera: Formicidae) in Romania: distribution and identification key to the worker caste. *Entomologica romanica*, 14, 29-41.
- Marinho, C. G., Zanetti, R., Delabie, J. H., Schlindwein, M. N., & Ramos, L. D. S. (2002).** Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em eucaliptais (Myrtaceae) e área de cerrado de Minas Gerais. *Neotropical Entomology*, 31(2), 187-195.
- Marsh, A. C. (1988).** Activity patterns of some Namib desert ants. *Journal of Arid Environments*, 14(1), 61-73.
- Maschwitz, U. (1975).** Old and new trends in the investigation of chemical recruitment in ants. In *Pheromones and defensives secretions in social insects*. Dijon: Symp. IUSI (pp. 47-49).
- McArthur, A. J. (2007).** A key to *Camponotus* Mayr of Australia. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 80, 290-351.
- McNeil, J. N., Delisle, J and Finnegan, R. J. (1978).** Seasonal predatory activity of the introduced red wood ant, *Formica lugubris* (Hymenoptera: Formicidae) at Valcartier, Quebec, in 1976. *The Canadian Entomologist*, 110(1), 85-90.
- Menzel, R., Geiger, K., Chittka, L., Joerges, J., Kunze, J and Müller, U. (1996).** The knowledge base of bee navigation. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 141-146.
- Meriquet, B et Zagatti, P. (2001).** Inventaire entomologique sur l'Aqueduc de la Dhuy de Carnetin à Courty (Seine et Marne). Réalisé pour l'Agence des Espaces Verts de la Région Île-de-France. Office pour l'information Eco-entomologique (France), 7p.
- Merkle, T and Wehner, R. (2009).** Repeated training does not improve the path integrator in desert ants. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(3), 391.
- Merkle, T and Wehner, R. (2010).** Desert ants use foraging distance to adapt the nest search to the uncertainty of the path integrator. *Behavioral Ecology*, 21(2), 349-355.
- Möglich, M. (1978).** Social organization of nest emigration in *Leptothorax* (Hym., Form.). *Insectes Sociaux*, 25(3), 205-225.
- Möglich, M. (1979).** Tandem calling pheromone in the genus *Leptothorax* (Hymenoptera: Formicidae): Behavioral analysis of specificity. *Journal of chemical ecology*, 5(1), 35-52.
- Möglich, M., Maschwitz, U and Hölldobler, B. (1974).** Tandem calling: a new kind of signal in ant communication. *Science*, 186(4168), 1046-1047.

**Moog, J., Fiala, B., Werner, M., Weissflog, A., Guan, S. L and Maschwitz, U. (2003).** Ant-plant diversity in Peninsular Malaysia, with special reference to the Pasoh Forest Reserve. In Pasoh (pp. 459-494). Springer, Tokyo.

**Moreau, C. S., Bell, C. D., Vila, R., Archibald, S. B and Pierce, N. E. (2006).** Phylogeny of the ants: diversification in the age of angiosperms. *Science*, 312(5770), 101-104.

## N

**Narendra, A., Reid, S. F and Hemmi, J. M. (2010).** The twilight zone: ambient light levels trigger activity in primitive ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1687), 1531-1538.

**Nicholson, D. J., Judd, S. P., Cartwright, B. A., & Collett, T. S. (1999).** Learning walks and landmark guidance in wood ants (*Formica rufa*). *Journal of Experimental Biology*, 202(13), 1831-1838.

**Nielsen, M. G. (1981).** Diurnal foraging activity of two ant species, *Myrmica schencki* Emery and *Formica rufibarbis* F., in a sandy heath area. *Natura Jutlandica*.

**Nielsen, M. G. (1986).** Respiratory rates of ants from different climatic areas. *Journal of Insect Physiology*, 32(2), 125-131.

**Nielsen, M. G., Jensen, T. F and Holm-Jensen, I. B. (1982).** Effect of load carriage on the respiratory metabolism of running worker ants of *Camponotus herculeanus* (Formicidae). *Oikos*, 137-142.

**Noirot, C. (1989).** Social structure in termite societies. *Ethology ecology & evolution*, 1(1), 1-17.

## O

**Oster, G. F et Wilson, E. O. (1978).** Caste and ecology in the social insects. Princeton University Press.

**Ozaki, M and Hefetz, A. (2014).** Neural mechanisms and information processing in recognition systems. *Insects*, 5(4), 722-741.

## P

**Paknia, O., Radchenko, A., Alipanah, H and Pfeiffer, M. (2008).** A preliminary checklist of the ants (Hymenoptera: Formicidae) of Iran. *Myrmecological News*, 11, 151-159.

**Passera, L et Grassé, P. P. (1984).** L'organisation sociale des fourmis.

**Passera, L et Aron, S. (2005).** Les fourmis: comportement, organisation sociale et évolution. NRC Research Press.

**Pasteels, J. M., Deneubourg, J. L and Goss, S. (1987).** Self-organization mechanisms in ant societies. I: Trail recruitment to newly discovered food sources. *Experientia. Supplementum*, (54), 155-175.

**Peeters, C., and Liebig, J. (2009).** Fertility signaling as a general mechanism of regulating reproductive division of labor in ants. *Organization of insect societies: from genome to socio-complexity*. Harvard University Press, Cambridge, 220-242.

**Petrov, I. Z., Petrov, B., Miličić, D and Karan-Žnidaršič, T. (2007).** Contribution to the Myrmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) of East and South Serbia. *Acta Zoologica Bulgarica*.

**Pfeiffer, M and Linsenmair, K. E. (1998).** Polydomy and the organization of foraging in a colony of the Malaysian giant ant *Camponotus gigas* (Hym./Form.). *Oecologia*, 117(4), 579-590.

**Philippeau, G. (1992).** Analyse en composantes principales. Collection STAT-ITCF. Institut Technique des Céréales et Fourrages. 15 p.

**Pierce, N. E., Braby, M. F., Heath, A., Lohman, D. J., Mathew, J., Rand, D. B and Travassos, M. A. (2002).** The ecology and evolution of ant association in the Lycaenidae (Lepidoptera). *Annual review of entomology*, 47(1), 733-771.

**Portha, S., Deneubourg, J.-L. & Detrain, C. (2002).** Self-organized asymmetries in ant foraging: a functional response to food type and colony needs. *Behav. Ecol.*, 13, 776–781.

**Portha, S., Deneubourg, J. L and Detrain, C. (2004).** How food type and brood influence foraging decisions of *Lasius niger* scouts. *Animal Behaviour*, 68(1), 115-122.

## R

**Prix, R., Gruter, C., Hughes W et Evison S. (2016).** Rupture de la symétrie chez les fourmis qui recrutent en masse: l'étendue des biais de recherche de nourriture dépend de la qualité des ressources. *Behav. Ecol. Sociobiol. (Impression)* ; 70 : 1813-1820.

- Radchenko, A. G. (1997).** Review of the ants of scabriceps group of the genus *Monomorium* Mayr (Hymenoptera, Formicidae). In *Annales Zoologici* (Vol. 46, No. 3-4, pp. 211-224).
- Ramade, F. (1984).** *Eléments d'écologie – Ecologie fondamentale*. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 397 p.
- Raubenheimer, D et Simpson, S. (2018).** Ecologie nutritionnelle et théorie de la recherche de nourriture. *Curr. opin. Insect Sci.* 2018 ;27 :38-45.
- Riba G & Silvy C. (1992).** *Combattre les ravageurs des cultures : enjeux et perspectives*, INRA, Versailles, INRA editions, Paris , 768 p .
- Robson, S. K and Traniello, J. F. (1998).** Resource assessment, recruitment behavior, and organization of cooperative prey retrieval in the ant *Formica schaufussi* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of insect behavior*, 11(1), 1-22.
- Rodriguez, M. J. (2014).** The effects of wind on foraging strategies of *Atta cephalotes* leaf-cutter ants. *Ecology & Evolutionary Biology Graduate Theses & Dissertations*, 55.
- Rohr, J. R., Kerby, J. L., & Sih, A. (2006).** Community ecology as a framework for predicting contaminant effects. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(11), 606-613.
- Rostaing, K. F. S et Thirion, E. P. B. (2010).** *Formica rufa*, déplacements et orientation d'une colonie de la forêt de Paimpont, Bretagne.
- Ruano, F., Tinaut, A and Soler, A. J. J. (2000).** High surface temperatures select for individual foraging in ants. *Behavioral Ecology*, 11(4), 396-404.

## S

- Santschi, F. (1911).** Observations et remarques critiques sur le mécanisme de l'orientation chez les fourmis. *Rev. suisse zool.*, 19, 303-338.
- Santschi, F. (1923).** L'orientation sidérale des fourmis, et quelques considérations sur leurs différentes possibilités d'orientation. *Mém. Soc. Vaudoise Sci. Nat.*, 4, 137-175.
- Santschi, F. (1929).** Etude sur les *Cataglyphis*. *Revue Suisse de Zoologie*, 36(2), 25-70.
- Santschi, F. (1936).** Étude sur les fourmis du genre *Monomorium* Mayr.
- Saux, C., Fisher, B. L and Spicer, G. S. (2004).** Dracula ant phylogeny as inferred by nuclear 28S rDNA sequences and implications for ant systematics (Hymenoptera: Formicidae: Amblyoponinae). *Molecular phylogenetics and evolution*, 33(2), 457-468.
- Schmid-Hempel, P and Schmid-Hempel, R. (1984).** Life duration and turnover of foragers in the ant *cataglyphis bicolor* (hymenoptera, formicidae). *Insectes sociaux*, 31(4), 345-360.

**Schoener, T. (1974).** Resource partitioning in ecological communities. *Science*, 185(4145), 27-39.

**Schultz, T. R. (2000).** In search of ant ancestors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(26), 14028-14029.

**Sernander, R. (1906).** Entwurf einer Monographie der europäischen Myrmekochoren (Vol. 41, No. 7). Almqvist & Wiksells.

**Sigal, M. D and Arlian, L. G. (1982).** Water balance of the social insect *Formica exsectoides* (Hymenoptera: Formicidae) and its ecological implications. *Physiological Zoology*, 55(4), 355-366.

**Slaa, E. J., Wassenberg, J and Biesmeijer, J. C. (2003).** The use of field-based social information in eusocial foragers: local enhancement among nestmates and heterospecifics in stingless bees. *Ecological Entomology*, 28(3), 369-379.

*Society of America*, 43(4), 461-491.

**Sturgis, S. J and Gordon, D. M. (2012).** Nestmate recognition in ants (Hymenoptera: Formicidae): a review. *Myrmecological news*, 16, 101-110.

## T

**Taheri, A.; Reyes, J. L et Bennis, N. (2014).** Contribution à l'étude de la faune myrmecologique du Parc National de Talassemtane nord du Maroc: biodiversité, biogéographie et espèces indicatrices. *Boletín de la SEA*, 54, 225-236.

**Talbot, M. (1946).** Daily fluctuations in aboveground activity of three species of ants. *Ecology*, 27(1), 65-70.

**Tautz, J and Sandeman, D. C. (2003).** Recruitment of honeybees to non-scented food sources. *Journal of Comparative Physiology A*, 189(4), 293-300.

**Thibault, R. (2014).** Les Fourmis de Polynésie française Hymenoptera, Formicidae *Bulletin de la Société entomologique de France*, 119 2, 145-176.

**Tohmé, G et Tohmé, H. (1981).** Les fourmis du genre *Messor* en Syrie. Position systématique. Description de quelques ailés et de formes nouvelles. Répartition géographique. *Ecologia Mediterranea*, 7(1), 139-153.

**Tohmé, G., & Tohmé, H. (2000).** Redescription de *Camponotus oasis* Forel, 1890, de *C. fallah* Emery, 1908, de *C. sanctus* Forel, 1904 et description de *C. palmyrensis* n. sp., quatre fourmis du Liban et de la Syrie (Hymenoptera, Formicidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 105(4), 387-394.

**Traniello, J. F., & Hölldobler, B. (1984).** Chemical communication during tandem running In *Pachycondyla obscuricornis* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of chemical Ecology*, 10 (5), 783-794.

**Turner, K. M and Frederickson, M. E. (2013).** Signals can trump rewards in attracting seed-dispersing ants. *PloS one*, 8(8), e71871.

## U

**Uvarov, B. P. (1931).** Insects and climate. Transactions of the Royal Entomological Society of London, 79(pt. 1).

## V

**Vasconcelos, H. L., Macedo, A. C., & Vilhena, J. M. (2003).** Influence of topography on the distribution of ground-dwelling ants in an Amazonian forest. *Studies on Neotropical Fauna and environment*, 38(2), 115-124.

**Veena, T and Ganeshiah, K. N. (1991).** Non-random search pattern of ants foraging on honeydew of aphids on cashew inflorescences. *Animal Behaviour*, 41(1), 7-15.

**Verheggen, F., Diez, L., Detrain, C et Haubruge, E. (2009).** Mutualisme pucerons-fourmis: étude des bénéfiques retirés par les colonies d'*Aphis fabae* en milieu extérieur. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13, 232-242.

**Vickerstaff, R. J and Cheung, A. (2010).** Which coordinate system for modelling path integration?. *Journal of Theoretical Biology*, 263 (2), 242-261.

## W

**Waterman, T.H. (1981).** Polarisation sensitivity. In: H. Autrum (Ed.), *Handbook of Sensory Physiology*, Vol. VII/6B (pp. 366-381). Berlin: Springer.

**Wehner, R and Müller, M. (1993).** How do ants acquire their celestial ephemeris function? *Naturwissenschaften*, 80 (7) , 331-333.

- Wehner, R and Müller, M. (2006).** The significance of direct sunlight and polarized skylight in the ant's celestial system of navigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(33), 12575-12579.
- Wehner, R and Rossell, S. (1985).** The bees celestial compass: a case study in behavioural neurobiology. *Fortschritte der Zoologie (Stuttgart)*, 31, 11-53.
- Wehner, R and Wehner, S. (1990).** Insect navigation: use of maps or Ariadne's thread?. *Ethology Ecology & Evolution*, 2 (1), 27-48.
- Wehner, R. (1982).** Himmelsnavigation bei Insecten. *Neujahrsblatt Naturforsch Ges Zurich*, 5.
- Wehner, R. (1983).** Taxonomie, Funktionsmorphologie und Zoogeographie der saharischen Wüstenameise *Cataglyphis fortis* Forel 1902 stat. nov. *Senckenbergiana biol*, 64, 89-132.
- Wehner, R. (1997).** The ant's celestial compass system: spectral and polarization channels. In *Orientation and communication in arthropods* (pp. 145-185). Birkhäuser, Basel.
- Wehner, R., Boyer, M., Loertscher, F., Sommer, S and Menzi, U. (2006).** Ant navigation: one-way routes rather than maps. *Current Biology*, 16(1), 75-79.
- Wehner, R., Harkness, R. D and Schmid-Hempel, P. (1983).** Foraging strategies in individually searching ants. Fischer.
- Wehner, R., Michel, B and Antonsen, P. (1996).** Visual navigation in insects: coupling of egocentric and geocentric information. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 129-140.
- Wehner, R.; Wehner, S and Agosti, D.(1994).** Patterns of biogeographic distribution of the North African desert ant, *Cataglyphis Foerster* 1850 *Insecta: Hymenoptera: Formicidae*. *Senck Biol*, 74, 163-191.
- Weulersse, J. C et Brun, P. (1999).** Présence en Corse de la fourmi d'Argentine, *Linepithema humile* (MAYR) (Formicidae Dolichoderinae). *Bulletin de la Société des Sciences historiques et naturelles de la Corse*, (686-687), 151-162.
- Whitford, W. G., Kay, C. A and Schumacher, A. M. (1975).** Water loss in Chihuahuan desert ants. *Physiological Zoology*, 48(4), 390-397.
- Wilson, E. and Hölldobler, B. (2005).** The rise of the ants: a phylogenetic and ecological explanation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(21), 7411-7414.
- Wilson, E. O. (1959).** Communication by tandem running in the ant genus *Cardiocondyla*. *Psyche : A Journal of Entomology*, 66 (3), 29-34.
- Wilson, E.O. ( 1971 a).** *The Insect Societies*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.

## Z

**Ziada, M. et Doumandj, S. (2008).** Etude de l'aspect sélectif chez la fourmi prédatrice *Cataglyphis bicolor* (Hymenoptera, Formicidae) dans la région de Guelma. 3ème Journée nati. protec. végét., 7-8 avril 2008, Dép. Zool. agri. for., Inst. nati. agro., El-Harrach, p: 62.

## Sites web

<http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/fourmis/identification.html>

<http://fort.thomas.free.fr/Anatomie.htm>

<https://www.tela-botanica.org/identifier-une-plante/>

# **Annexes**

# Annexe

## Annexe 01 : Résumé de la synthèse bioclimatique du trois wilayas

**Tableau.01.** Résumé de la synthèse bioclimatique du trois wilaya

Wilaya	Pluviométrie Annuelle (mm)	Température (°C)					Q2	I	Etage bio climatique
		moyenne annuelle	M	Mois le plus chaud	m	Mois le plus froid			
Oum El Bouaghi	326,46	15,76	35,09	Juillet	1,44	Janvier	33,30	12,65	Semi – aride
Constantine	491,45	15,82	35,62	Juillet	2,2	Janvier	50,29	19,03	
Souk Ahras	796,45	16,97	33,39	Août	3,78	Février	91,99	29,53	Sub-humid

## Annexe 02 : Expériences réalisées sur le terrain

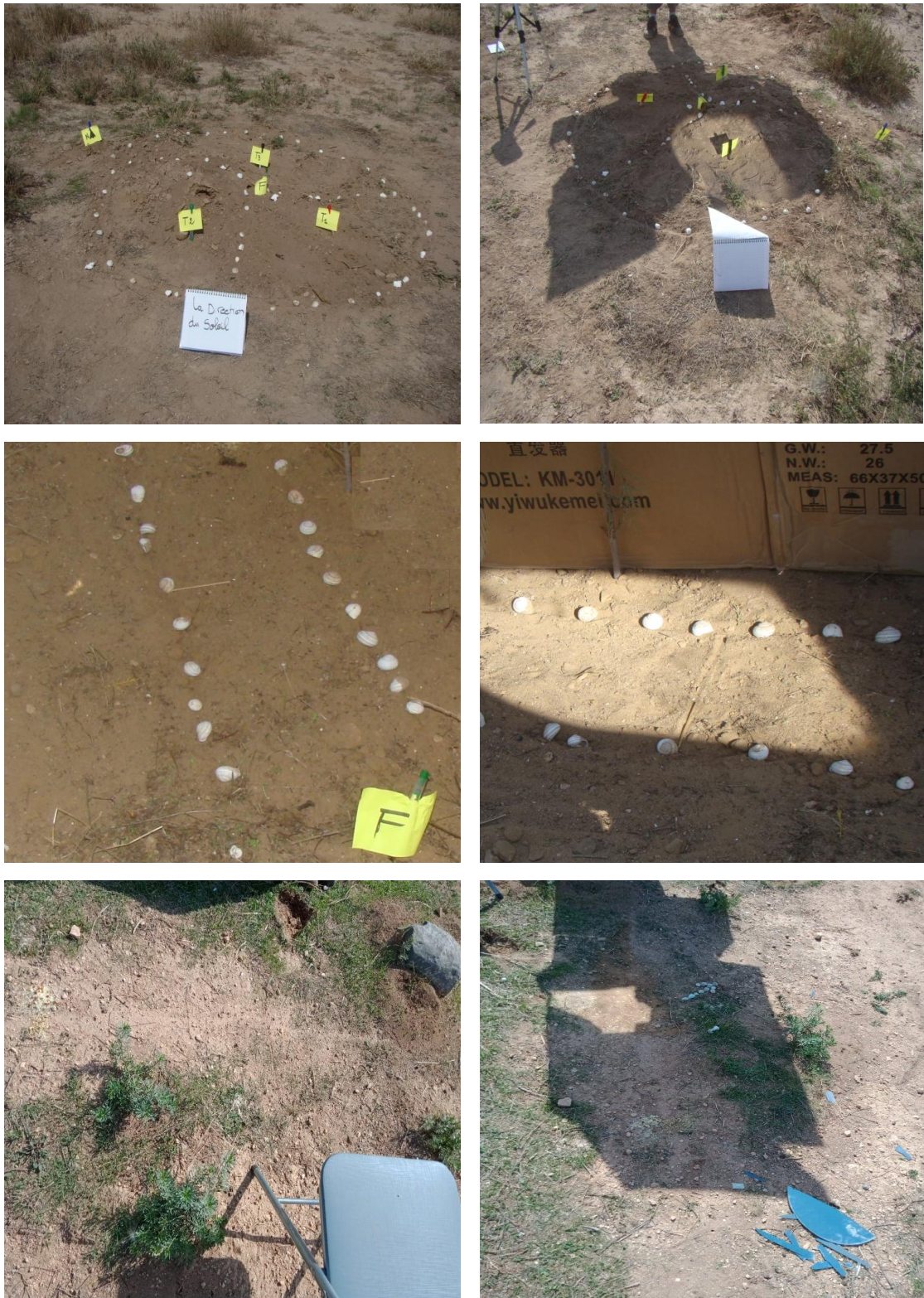


**Figure.01.** Expérience de l'orientation par les repères visuels



**Figure.02.** Expérience de l'influence de nourriture sur le choix d'une source

# Annexe



**Figure.03.** Expérience de l'orientation astronomique

## Annexe

### Annexe 03 : Données statistiques résultent du test Régression Linéaire Multiple

**Tableau.02.** Différents valeurs de régression résultent a partir des données de l'activité journalière de *Camponotus sylvaticus*.

<i>Camponotus sylvaticus</i>									
V Dépendantes	v Indépendantes	R	R <sup>2</sup>	F	Sig	B	t	Sig t	VIF
Allez	T° du sol	0,657	0,432	4,055	0,025	-0,4358	-1,509	0,151	5,462
	T° de l'air					-0,145	-0,155	0,879	5,565
	vent					-0,778	-0,473	0,642	1,762
Retour	T° du sol	0,662	0,438	4,151	0,024	-1,019	-0,403	0,692	5,462
	T° de l'air					-0,995	-1,214	0,242	5,565
	vent					-0,358	-0,249	0,807	1,762

**Tableau.03.** Différents valeurs de régression résultent a partir des données de l'activité journalière de *Monomorium sp.*

<i>Monomorium sp</i>									
V Dependantes	v indépendantes	R	R <sup>2</sup>	F	Sig	B	t	Sig t	VIF
Allez	T° du sol	0,835	0,697	8,629	0,001	-59,092	-2,588	0,021	9,196
	T° de l'air					13,582	0,731	0,476	9,333
	vent					43,058	1,259	0,227	6,671
Retour	T° du sol	0,843	0,711	9,231	0,001	-55,183	-2,711	0,016	9,196
	T° de l'air					21,106	1,275	0,222	9,333
	vent					9,267	0,304	0,765	6,671

## Annexe

**Tableau.04.** Différents valeurs de régression résultent a partir des données de l'activité journalière de *Messor capitatus*.

<i>Messor capitatus</i>									
V Dependantes	v indépendantes	R	R <sup>2</sup>	F	Sig	B	t	Sig t	VIF
Aller	T° du sol	0,653	0,427	2,795	0,065	1,889	2,022	0,061	22,84
	T° de l'air					-2,552	-2,819	0,013	21,454
	vent					0,201	0,406	0,691	6,436
Retour	T° du sol	0,671	0,451	3,078	0,049	1,774	1,94	0,071	22,84
	T° de l'air					-2,761	-3,115	0,007	21,454
	vent					-0,258	-0,531	0,603	6,436

**Tableau.05.** Différents valeurs de régression résultent a partir des données de l'activité journalière de *Tapinoma nigerrimum*

<i>Tapinoma nigerrimum</i>									
V Dependantes	v indépendantes	R	R <sup>2</sup>	F	Sig	B	t	Sig t	VIF
Aller	T° du sol	0,732	0,535	4,316	0,016	-15,962	-1,011	0,328	11,171
	T° de l'air					15,838	1,101	0,288	4,015
	vent					-47,192	-2,526	0,023	1,715
Retour	T° du sol	0,729	0,531	4,252	0,017	-8,183	-0,6	0,557	11,171
	T° de l'air					-5,193	-0,418	0,682	4,015
	vent					-11,436	-0,709	0,489	1,715

**Tableau.06.** Différents valeurs de régression résultent a partir des données de l'activité journalière de *Cataglyphis bicolor*

<i>Cataglyphis bicolor</i>									
V Dependantes	v indépendantes	R	R <sup>2</sup>	F	Sig	B	t	Sig t	VIF
Aller	T° du sol	0,82	0,672	7,698	0,001	0,6	0,196	0,847	2,283
	T° de l'air					-1,307	-0,256	0,801	1,892
	vent					21,958	1,15	0,268	1,4

# Annexe

## Annexe 04 : Résultats statistiques du test Chi 2

**Tableau.07.** Résultats de l'expérience de l'orientation astronomique de trois espèces

		Piste originale		Nouvelle piste		Total	Pearson $\chi^2$	df	P value
		Aller	Retour/Demi tour	Aller	Retour				
<i>Monomorium sp</i>	Absence	30,80%	33,30%	0	0	64,10%	692,389	3	0.000
	Présence	2,30%	1,00%	15,80%	16,90%	36,00%			
		Piste originale		Nouvelle piste		Total	Pearson $\chi^2$	df	P value
		Aller	Retour/Demi tour	Aller	Retour				
<i>Messor capitatus</i>	Absence	35,90%	39,90%	0%	0%	75,80%	130,873	2	0.000
	Présence	0,00%	18,50%	0,00%	5,70%	24,20%			
		Piste originale		Nouvelle piste		Total	Pearson $\chi^2$	df	P value
		Aller	Retour/Demi tour	Aller	Retour				
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	Absence	26,20%	20,20%	0	0	46,40%	803,918	3	0.000
	Présence	3,20%	3,40%	19,60%	27,50%	53,60%			

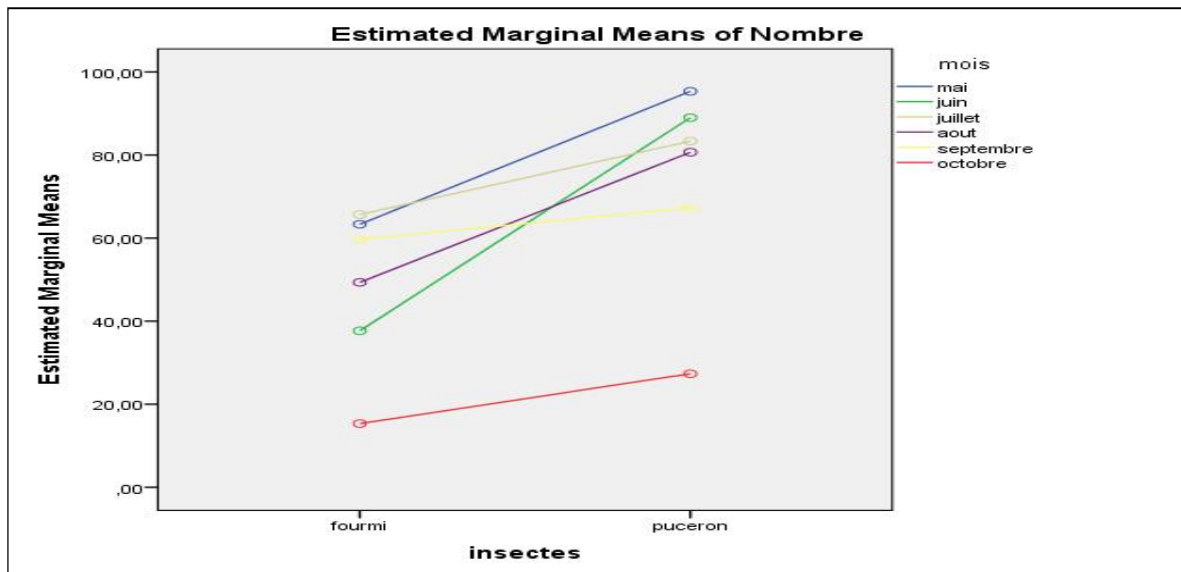
**Tableau.08.** Résultats de l'expérience de l'orientation astronomique de *Cataglyphis bicolor*

		T1	T2	T3	Total	Pearson $\chi^2$	df	P value
		<i>Cataglyphis bicolor</i>	Absence	14,70%	18,80%			
Présence	8,70%		20,20%	20,20%	49,10%			

# Annexe

## Annexe. 05. Résultats statistiques du test Anova two way utilisé en interprétation des données de relation fourmis-pucerons

<b>Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup></b>						
Dependent Variable: Nombre						
F	df1	df2	Sig.			
1,258	11	24	,305			
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.						
<b>Tests of Between-Subjects Effects</b>						
Dependent Variable: Nombre						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	20449,667 <sup>a</sup>	11	1859,061	37,705	,000	,945
Intercept	134689,000	1	134689,000	2731,721	,000	,991
mois	12716,000	5	2543,200	51,580	,000	,915
insectes	5776,000	1	5776,000	117,147	,000	,830
mois * insectes	1957,667	5	391,533	7,941	,000	,623
Error	1183,333	24	49,306			
Total	156322,000	36				
Corrected Total	21633,000	35				
R Squared = ,945 (Adjusted R Squared = ,920)						



# AN INVENTORY OF THE MYRMECOFAUNA AT FIVE SEMI-ARID SITES IN EASTERN OF ALGERIA

Kenza Zaidi<sup>1,2</sup>, Hichem Khammar<sup>1,2</sup>, Ramzi Hadjab<sup>1,2</sup>, Menouar Saheb<sup>1,2\*</sup>, Sara Zaidi<sup>3</sup>,  
Merzoug Djemoui<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> *Laboratory of Functional Ecology and Environment.*

<sup>2</sup> *Department of Life and Nature Sciences, Faculty of Exact Sciences and Life and Nature Sciences, University of "Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi. 1<sup>st</sup> November 1954 streets, Oum El Bouaghi 04000. Algeria.*

<sup>3</sup> *Department of Life and Nature Sciences. Faculty of Exact Sciences and Life and Nature Sciences University Center of Mila*

*\*Corresponding author: E-mail: khammar.eco.env@gmail.com*

## Abstract

In a contribution to the study of the bioecology of ant populations in eastern Algeria, an inventory of the Myrmecofauna was carried out in five sites belonging to three wilayas: Oum El Bouaghi, Constantine, Souk Ahras. These sites are considered as different ecological environments (forest, agricultural and aquatic environment). This inventory has been defined by the presence of 09 species of ants, each of which is attached to a biotope, the different biotic and abiotic factors that favour their adaptation are preferable. The 09 species of Formicidae belong to the 05 genera: *Tapinoma*, *Cataglyphis*, *Camponotus*, *Messor* and *Monomorium* of 03 subfamilies: Dolichoderinae, Formicinae and Myrmicinae. The calculation of the ecological indices, a statistical analysis was carried out to evaluate the abundance, richness and the distribution of these species.

**Keywords:** Inventory, Ants, Bioecology, Abundance, Wealth, East Algerian.

## Introduction

One of the peculiarities of the insect world is that there are more or less social species: Ants. They belong to the order of Hymenoptera, constituting the family Formicidae.

According to Lebas *et al.*, 2016 there are more than 13,000 species of ants described in the world, which occupy nearly all types of terrestrial environments: forests, cultivated and anthropogenic environments and at the edge of aquatic environments. Despite the large biomass of these insects they are unable to live alone, they shelter very large, occupied, organized and hierarchical nests known as anthills (Bernard, 1983). Concerning ecological interactions, ants play the role of predators of arthropods and herbivores; mutualists receiving honeydew rejected by aphids, seed transporters, excavators from the ground... (Beattie, 1985; Beattie and Hughes, 2002). Several authors around the world have focused on the study of ants but most of the work is interested in their bio-ecology. In Europe, the work of de Jolivet, et Schnell, 1986), Holldobler *et al.*, 1996 is cited. The systematics of the Algerian myrmecofauna seems to be unknown to date only through the work of de Bernard (1951-1983) and those of Cagniant (1969-1970) also the works of Barech *et al.*, 2011, Barech, 2014 and Barech *et al.*, 2015.

The present work consists of carrying out an inventory of the myrmecofauna in a few terrestrial environments at Eastern Algeria.

## **Materials and methods**

### **Study sites**

The study was held in three wilayas of Eastern Algeria: Oum El Bouaghi, Constantine and Souk Ahras. The sampling sites were chosen according to the types of terrestrial environments selected, each of which was sealed in different zones defined by the presence of several anthills. Geographic coordinates of each site have been defined by a GPS Garmin 72. The first site is that of the mountain of Sidi R'ghiss ( $35^{\circ} 53' 18.74''$  N,  $07^{\circ} 07' 25.89''$  E) where we have selected three zones at different altitudes: at the foot of the mountain, 500 and 600 m higher. The second and third sites are agricultural areas, their coordinates are  $36^{\circ} 13' 08.22''$  N and  $06^{\circ} 41' 50.43''$  E for El khroub, Constantine and  $35^{\circ} 51' 03.48''$  N,

07° 08' 25.09" E for Oum El Bouaghi. These are divided into two areas: the edges and the centre of the fields. The fourth one, we chose a part of the Oued Charef which is located west of the city of Souk Ahras, it is between 36° 06' 14.49" N and 07° 22' 44.36" E, where two enclosures have been selected: the edges, and a middle farm about 80 metres from the wadi. The fifth site prospected is part of Lake El Zemoul, which is located on the border between the wilaya of Oum El Bouaghi and Batna (35° 52' 11.1" N and 06° 29' 51.24 "E), the latter is divided into three zones: the first is on the lakeshore, the second at 80 m and the third at 200 m.

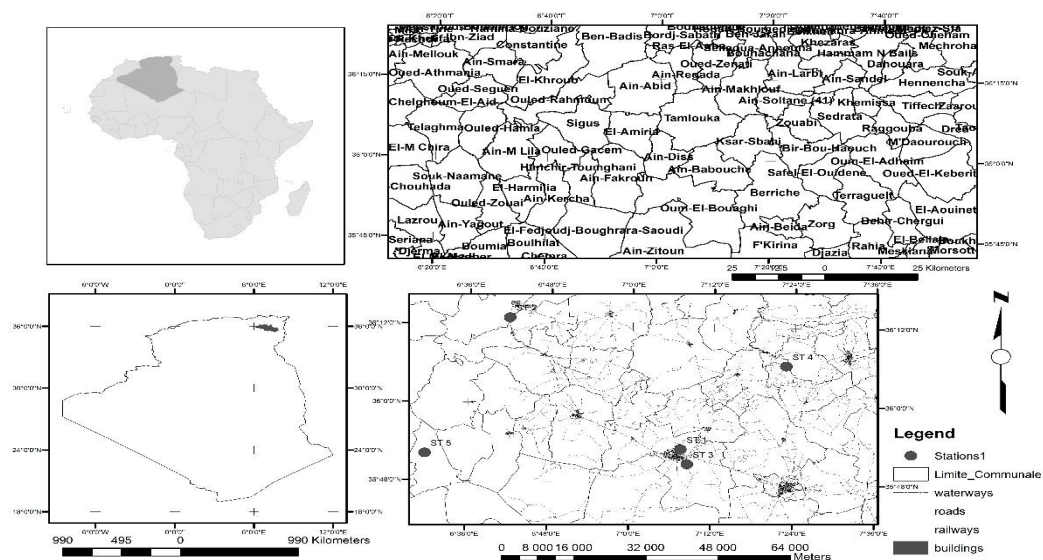


Figure 1. Map of the geographical location of the study area.

## Sampling methods

### Sampling

Sampling was carried out using the square method of counting ant-hills. Present in 10 randomly selected squares of 100 m<sup>2</sup> each (Cagniant, 1966).

### Trapping

Sight hunting is the most accessible search method for everyone and one of the most effective. Its effectiveness increases with experience. The hunting method does not require the use of special equipment and can be practised in the following ways without any special

preparation, as appropriate (Lebas *et al.*, 2016) Samples from individuals placed in vials containing ethanol at the 70% concentration, each of which is named, dated and particularized for a single species. Captured individuals were then counted and identified using a binocular magnifying glass with micrometric ocular, for morphometric measurements, and various guides: Guide Delachaux of Lebas *et al.*, 2016, the lists of Algerian ants produced by Cagniant(1968; 1969; 1973). The number of individuals is the number of ants emerging from nests for half an hour at the interval of three distinct minutes, which allowed us to estimate the size of an anthill (Bouzekri *et al.*, 2015)

### **Data analysis**

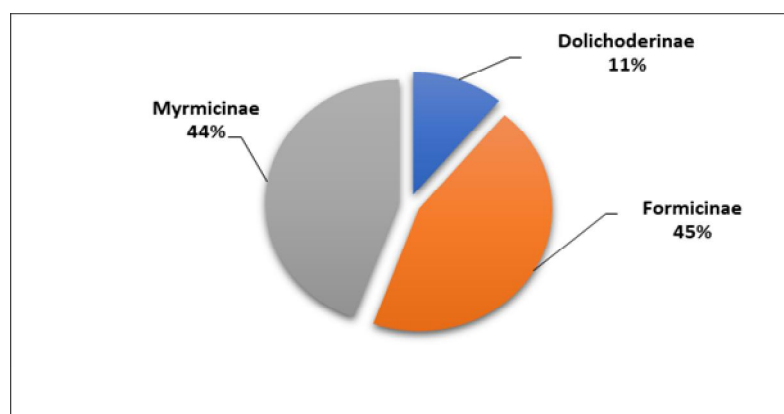
Ecological indices of composition, statistical analysis and soil analyses were used to exploit and to interpret the results obtained.

### **Results**

#### **The inventory of the myrmecofauna**

##### **Total Richness**

The sampling allowed us to identify 09 species of Formicidae divided into 03 subfamilies: Dolichoderinae, Myrmicinae, Formicinae, the last two of which are the most abundant (44.44%) by the presence of 04 specific species for each (Fig. 2).



**Figure 2.** The subfamilies of Formicidae recorded in the different study sites.

The table (1) below lists all the species of ants caught in the different areas of the five study sites.

**Table 1.** The overall list of ant species found in the five study sites.

Sub-family	Area	Forest environment			Agricultural Environment		Constantine Agricultural Environment		El Zemoul Lake			Oued Charef Dam	
	Species	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Path	Middle	Path	Middle	Edge	80 m	200 m	Edge	Agricultural Environment
Dolichiderinae	<i>Tapinoma nigerrimum</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-
Formicinae	<i>Camponotus sp</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cataglyphis viatica</i>	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+
	<i>Cataglyphis bicolor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	<i>Cataglyphis albicans</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Myrmicinae	<i>Messor barbarus</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
	<i>Messor capitatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+
	<i>Messor minor</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Monomorium sp</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

The subfamily of Formicinae consists of the following species: *Camponotus sp*, *Cataglyphis viatica* (Fabricius, 1787), *Cataglyphis bicolor* (Fabricius, 1793), *Cataglyphis albicans* (Roger, 1859) and that of Myrmicinae contains *Messor barbarus* (Linné, 1767), *Messor capitatus* (Latreille, 1798), *Messor minor* (André, 1881), *Monomorium sp*, on the other hand, Dolichoderinae subfamily manifests by the presence of one species *Tapinoma nigerrimum* (Nylander, 1856), we note that the forest environment is the richest in species, with 05 species: *Camponotus Sp*, *Cataglyphis viatica*, *Messor capitatus*, *Messor minor*, *Monomorium sp* followed by the agricultural environment which contains the species *Cataglyphis viatica*, *Messor barbarus*, *Messor capitatus*, *Cataglyphis albicans*, however, the aquatic environment either of the lake or the dam is represented by the presence of *Tapinoma nigerrimum* as a specific species, however, the *Cataglyphis bicolor* species is present only at the lake.

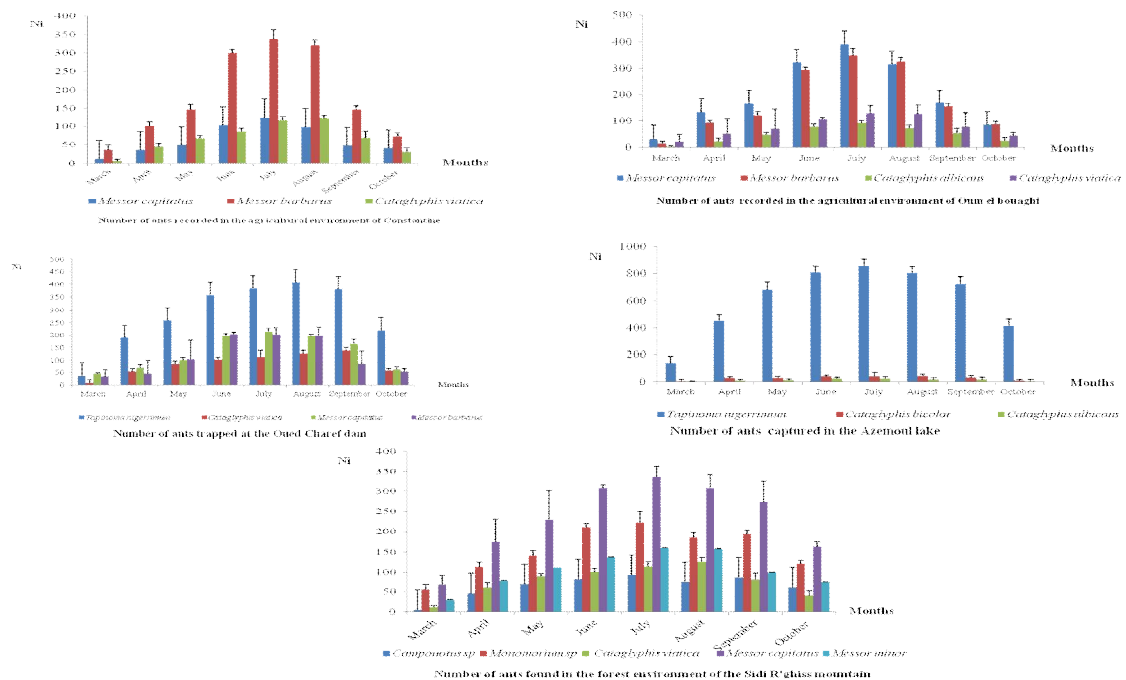
### The calculation of the relative abundance of individuals

Relative abundance (**RA %**) is a concept that allows the evaluation of a species (**ni**) about the totality of the confused animal populations (N) in a wildlife inventory (Faurie *et al.*, 1980)

**Table 2.** The relative abundance of ant individuals recorded in the five study sites.

Species	Relative abundance (RA%)				
	Forest environment OEB	Agricultural Environment OEB	Agricultural Environment Constantine	Oued charef Dam Souk Ahras	El Zemoul Lake O E B
<i>Camponotus sp</i>	8.3	*	*	*	*
<i>Cataglyphis bicolor</i>	*	*	*	*	4.35
<i>Cataglyphis viatica</i>	28.23	15.61	21.47	13.9	*
<i>Cataglyphis albicans</i>	*	9.88	*	*	2.16
<i>Messor minor</i>	13.57	*	*	*	*
<i>Messor capitatus</i>	29.95	39.36	20.31	21.35	*
<i>Messor barbarus</i>	*	35.13	58.2	18.87	*
<i>Monomorium sp</i>	19.92	*	*	*	*
<i>Tapinoma nigerrimum</i>	*	*	*	45.85	93.47

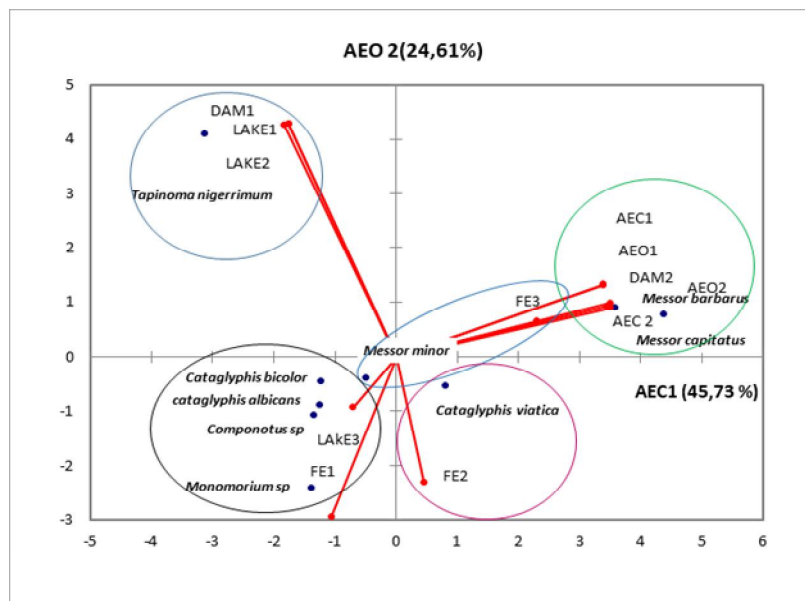
In the forest and agricultural site of Constantine *Messor capitatus* is the most abundant (29.95% -39.36%) by against at the level of the agricultural site of Oum El Bouaghi *messor barbarus* is the dominant one by a rate of 58.2%. However, in the two aquatic sites, *Tapinoma nigerrimum* is strongly dominant with a percentage of 93.47% (Tab.2). The interpretation of the number of individuals of ants recaptured in the different study sites during 08 months of work from March to October shows that abundance is high during the spring and summer seasons. (Fig. 3)



**Figure 3.** The number of ants counted at the different study sites.

## Statistical analysis

The use of Principal Component Analysis (PCA) shows that the genus *Messor* is associated with agricultural environments; however, *Tapinoma nigerrimum* is affected by the aquatic environment of either the lake or the dam. Thus, the genera *Camponotus* and *Monomorium* are related to the forest environment and that of *Cataglyphis* exists in the various selected environments. (Fig. 4)



**Figure 4.** Principal Component Analysis (PCA).

**AEC:** The agricultural environment of Constantine, 1: path, 2: middle; **Lake:** Lake of El Zemoul, 1: the edge, 2: at 80m, 3: at 200 m; **DAM:** The dam of Oued Charef, 1: The edge, 2: Agricultural environment; **AEO:** The agricultural environment of Oum El Bouaghi, 1: path, 2: middle; **FE:** Forest environment, 1: the foot of the mountain, 2: at 500 m higher, 3: 600 m higher.

## The soil analysis

Based on soil analyses of various study sites carried out in the regional laboratory - East - Oum El Bouaghi of the National Institute of Irrigation and Drainage Soils, it was obtained that each site has particular criteria characterizing an ecological factor that affects the distribution of different species of Formicidae.

The soil of the Oued Charef dam is alkaline (pH=8.27), low in organic matter (0.212%), unsalted (EC= 0.101 ds/cm) with a sandy texture and a total limestone content equal to 0.123%. That of the El Zemoul Lake is neutral to alkaline (pH = 7.31-8.21), entirely salty for

*Cataglyphis bicolor* and very salty for *Tapinoma nigerrimum* and salty for *Cataglyphis albicans*. It has a silty texture for genus *Cataglyphis* and fine silt for the genus *Tapinoma*; the rate of organic matter and total limestone is low successively at 0.52% and 0.6%.

The soil of Djebel Sidi R'ghiss is slightly alkaline (7.36-7.83), unsalted (EC = 0.25-0.37 ds/cm), with a weak rate of limestone (0.12-0.98%), it is low in organic matter for *Cataglyphis* and *Messor* and very poor for the genus *Camponotus* and *Monomorium*. Its texture is sandy-sand loamy for *Cataglyphis*, sandy-clay loamy for *Camponotus* and *Monomorium* and clayey for the different species of *Messor*. The agricultural site of Constantine has a slightly salty soil (EC=1.17 ds/cm) and a total limestone content equal to 1.55%. Its texture is sandy-clay loamy with an average rate of organic matter (2.75%) and a neutral pH. By against that of Oum El Bouaghi is an unsalty soil (EC=0.3 ds/cm), neutral to alkaline with a rate of limestone low and medium for organic matter. It has a texture varying from clayey to silty clayey.

## **Discussion**

Cagniant (1966), in his study on ants stands of the Atlas of Blida, found 39 species. However, in his preliminary list of forest ants of Algeria (1963–1966) which wrote in 1968, he mentioned the presence of 90 species in 30 stations of study. An inventory realized Djioua et Sadoudi-ali 2015 in 05 different ecosystems from Tizi Ouzou was defined by the presence of 15 species belong to 03 subfamilies. These results were more important than ours. So that, during our bioecological study of Formicidae in the five sites in the east of Algeria, a total richness of 09 species was observed that are less important and similar to those of Bouzekri *et al.*, 2015 who worked on the Djelfa ant stand, however, (Barech *et al.*, 2016) reported the existence of 24 species in the Lake of Chott El Hodna. The inventory of ants was realized frequently on Maroc. Bernard, 1945 in his work about Mamora Forest reported the existence of 55 species in which 43 were not described. Also,

Taheri *et al.*, 2014 were noted the presence of 40 species of ants at least classified on three subfamilies and 13 genera in the national park of Talssemtane. Cagniant in his actualized list of Maroc ants has noted the existence of 214 species grouped on 38 genera, in which 60% of Maroc ants were founded in Algeria-Tunisia and 30% in the Iberian Peninsula.

A survey of the ant fauna found in the vicinity of the K'sob dam (M'sila, Algeria) done by Barech *et al.*, 2018 led to the identification of 4483 ant specimens belonging to 16 species and 3 subfamilies (Formicinae, Myrmicinae and Dolichoderinae). Fifty-one species were recorded on French Polynesia by Thibault, 2014.

The interpretation of the number of individuals surveyed by the relative abundance index, which is considered as a tool to quantify the diversity and dominance of different Formicidae communities and to interpret it in value shows that some sites have been dominated by the presence of particular species, this is the case of two aquatic environments the dam of oued charef and the lake of El Zemoul, of which *Tapinoma nigerrimum* is the dominant species. The latter is in cohabitation with the genus *Cataglyphis* in the lake environment.

According to Cagniant, 1970 *Tapinoma nigerrimum* was distributed throughout Algeria, including the Saharan Atlas, in the humid pasture, very common in large Kabyl.

The low number of *Cataglyphis albicans* caught in the lake and the agricultural environment can be explained by the solitary behaviour of female workers in the search for nutritional resources Lebas *et al.*, 2016. Cagniant, 1968 cited that it was a species of steep slopes and unstable soils: screes, sandy. It showed its resistance to drought and high temperature (Cagniant, 1970).

It appears that *Cataglyphis bicolor* prefers heavy, clay and humid soils and near lakes, these results have been confirmed by the work of wehner *et al.*, 1994 and that of Cagniant, 2009 working on a salt lake of Oum Dba (northern Laâyoune) in Morocco and Heatwole, 1996 in Chott El Djerid in Tunisia.

According to Cagniant, 1970, this species has a varied hue; in the tellien Atlas, we found only the dark one.

The obtained result concerning the presence of *Cataglyphis viatica* in the sandy-sand loamy soils of the mountain of Sidi R'ghiss and silty clayey of the field was approved by the result of Wehner, 1983 who reported that this species prefers dry and hard soil in the steppe regions, and those of Cagniant, 1968 that she was found on the edge of the forest.

Cagniant, 1968 reported that species of the genus *Cataglyphis* are found in North Africa from the seaside to 2800 m at Hoggar and appeared to nest in open areas.

Regarding the genus *Messor*, it was noted that has existed in the agricultural environments of Oum El Bouaghi and Constantine this was explained by how workers supply food, they are exclusively granivores. Detrain *et al.*, 1999 pointed out that for this major predator of Gramineae in the annual meadows of the Mediterranean area, the maximum density and its distribution are under natural seed conditions

The agricultural area of Djebel Sidi R'ghiss includes this kind of *Messor* but the absence of species *Messor barbarus* and the presence of *Messor minor* were noted. These data were defined according to the information of Lebas *et al.*, 2016, who reported that *Messor barbarus* was not ascended to the high altitude while *Messor minor* can reach an altitude of 700 m. Cagniant, 1968 cited that *Messor Barbarus* is absent in forest while it abounds in the plains and plateau mainly of the constantinois and east Algerian, however, in 1969 he added that *Messor capitatus* is present in the forested and mountainous vicariates, in the paths and forest in 1500 m of altitude. The species *Monomorium sp* was only found in the first and second areas of the mountain of Sidi R'Ghiss where the soil is silty clayey at an altitude of less than or equal to 500 m. This was pointed out by Fisher et Bolton, 2016 who's proved that the latter occurs in almost all locations from harsh desert to rain forest and from the soil to the canopy of trees. Its nests are constructed in the ground, among the roots of plants, in leaf litter

and fallen twigs, in rotten wood and standing timber, which explains the presence of nests in soils and under the leaves of the trees of *cyprae* and pine that are the most vegetable of the mountain of Sidi R'Ghiss . The first area of Djebel Sidi R'Ghiss is home to the *Camponotus* *sp* species which is explained by the nature of the rocky soil where it installs its nest under the stones. During the sampling period, the number of individuals increased during the spring season for almost all species with favourable climatic conditions for breeding, egg foundation, foraging, and establishment of inter- and intra-specific relationships. For this reason, Bernard, 1945 and Cagniant, 1973 have shown that spring season is the best for ant sampling and harvesting. This study allowed us to learn about the stands of ants associated with different biotopes: forest, agricultural and aquatic environment of eastern Algeria. To properly discover the biodiversity of ants in eastern Algeria, it is necessary to continue and expand research to other territories of the other adjacent wilaya.

### **Acknowledgement**

My warm thanks to my husband Mr Ounis Brahim for valuable advice and his help to the achievement of this work.

### **References**

Barech, G., Khaldi, M., Boujelal, F. Z., & Espadaler, X.2018 El ksob en Algerie: nouvelle citation pour *Aphaenogaster rupestris* forel, 1909 (hymenoptera: formicidae).

Barech, G., Khaldi, M., Ziane S., Zedam A., Doumandji, S., Sharaf, M and Espadaler, X., A. 2016. first checklist and diversity of ants Hymenoptera: Formicidae of the saline dry lake Chott El Hodna in Algeria, à Ramsar Conservation Wetland. *African Entomology*, 24 : 143-152. doi : 10.4001/003.024.0143.

Barech, G., Rebbas, K and Khaldi, M. 2015. Doumandji, S. ; Espadaler, X., Redécouverte de la fourmi d'Argentine *Linepithema humile* Hymenoptera: Formicidae en Algérie: un fléau qui peut menacer la biodiversité. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa S.E.A.*, 56 : 269-272.

Barech, G. 2014. Contribution à la connaissance des fourmis du Nord de l'Algérie et de la steppe: Taxonomie, bio-écologie et comportement trophique Cas de *Messor medioruber*. Doctoral thesis, École Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Algiers, Algérie.

Barech, G., Khaldi, M., Doumandji, S and Espadaler, X. 2011. One more country in the worldwide spread of the woolly ant: *Tetramorium lanuginosum* in Algeria Hymenoptera: Formicidae. *Myrmecological News*, 14, 97-98.

Beattie, A. J. 1985. The evolutionary ecology of ant-plant mutualisms. Cambridge University Press.

Beattie, A., Hughes, L. 2002. Ant-plant interactions. Plant-animal interactions: an evolutionary approach, 211-36.

Bernard, F. 1983. Les fourmis et leur milieu en France *m@ Wediterran@ Weenne*. Paris: Lechevalier.

Bernard, F. 1945. Notes sur l'écologie des fourmis en forêt de Mamora Maroc.

Bernard, F. 1951. Super-famille des Formicoidea. *Traité de Zoologie*, 102, 997-1104.

Bouzekri, M., Daoudi-Hacini, S., Cagniant, H and Doumandji, S. E. 2015. Étude comparative des associations plantes-fourmis dans une région steppique cas de la région de djelfa, Algérie. *Libanaise Science Journal*, 161, 69.

Cagniant, H. 1970a. Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt 1<sup>ère</sup> partie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 105, 405-430.

Cagniant, H. 1970b. Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt Deuxième partie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 106, 28-40.

Cagniant, H., 1973. Les Peuplements de fourmis des forêts algériennes : Ecologie, biocénose, essai biologique Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar.

Cagniant, H. 1968. Liste préliminaire de fourmis forestières d'Algérie. –Résultats obtenus de 1963 à 1966. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, *104*, 1-10.

Cagniant, H. 1966. Note sur le peuplement en fourmis d'une montagne de la région d'Alger, l'Atlas de Blida.

Cagniant, H. 1969. Nouvelle description de *Leptothorax spinosus* Forel. Représentation des trois castes et notes biologiques [Hym. Formicidae Myrmicinae]. *Bulletin de la Société entomologique de France*, *747*, 201-208.

Detrain, C., Deneubourg, J. L.; Pasteels, J. M and Pasteels, J. M. 1999. Information processing in social insects. *Springer Science & Business Media*.

Djioua, O., Sadoudi-ali ahmed, D. 2015. The stands of ants Hymenoptera, Formicidae in some forest and agricultural areas of Kabylia. *International Journal of Zoological Research*, *5*: 15-26.

Faurie, C. ; Ferra, C and Medori, P. 1980. Ecologie.eds. Baillièrè JB.

Fisher, B. L.; and Bolton, B. 2016. Ants of Africa and Madagascar: a guide to the genera. *Univ of California Press*.

Heatwole, H. 1996. Ant assemblages at their dry limits: the northern Atacama Desert, Peru, and the Chott El Djerid, Tunisia. *Journal of Arid Environments*, *334*, 449-456.

Hölldobler, B., Wilson, E. O., Ros, J. 1996. Viaje a las hormigas: una historia de exploración científica. Crítica Grijalbo Mondadori.

Jolivet, P.; Schnell, R. 1986. Les fourmis et les plantes: un exemple de coévolution No. 595.796 JOL. *Société nouvelle des éditions Boubée*.

Lebas, C., Galkowski, C., Blatrix, R and Wegnez, P., Fourmis d'Europe occidentale. Delachaux et Niestlé. 2016.

Taheri, A., Reyes, J. L and Bennis, N. 2014. Contribution a l'étude de la faune myrmecologique du Parc National de Talassemtane nord du Maroc: biodiversite, biogeographie et especes indicatrices. *Boletín de la SEA*, 54, 225-236.

Thibault. R. 2014. Les Fourmis de Polynésie française Hymenoptera, Formicidae *Bulletin de la Société entomologique de France*, 119 2, 145-176.

Wehner, R. 1983. Taxonomie, Funktionsmorphologie und Zoogeographie der saharischen Wüstenameise *Cataglyphis fortis* Forel 1902 stat. nov. *Senckenbergiana biol*, 64, 89-132.

Wehner, R., Wehner, S and Agosti, D. 1994. Patterns of biogeographic distribution of the North African desert ant, *Cataglyphis Foerster* 1850 Insecta: Hymenoptera: *Formicidae*. *Senck Biol*, 74, 163-191.



## EM INTERNATIONAL

C-101, Prakriti, Balewadi, Baner,  
Pune 411 045, Maharashtra, India  
☎ 91-20-46745119, 9326712297

Email: [rctrivedy@gmail.com](mailto:rctrivedy@gmail.com); [r\\_trivedy@bharatmail.co.in](mailto:r_trivedy@bharatmail.co.in)

Website: [www.envirobiotechjournals.com](http://www.envirobiotechjournals.com)

---

### INTERNATIONAL JOURNALS

<b>POLLUTION RESEARCH</b>	Quarterly	ISSN 0257 - 8050
<b>ASIAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY BIOTECHNOLOGY &amp; ENVIRONMENTAL SCIENCE</b>	(Quarterly)	ISSN # 0972 - 3005
<b>ECOLOGY, ENVIRONMENT AND CONSERVATION</b>	Quarterly ISSN	0971 - 765 X

---

Kenza Zaidi <sup>1,2</sup>, Hichem Khammar <sup>1,2</sup>,  
Ramzi Hadjab <sup>1,2</sup>, Menouar Saheb<sup>1,2\*</sup>,  
Sara Zaidi<sup>3</sup> and Merzoug Djemoui <sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Laboratory of Functional Ecology and Environment,

<sup>2</sup>Department of Life and Nature Sciences,

Faculty of Exact Sciences and Life and Nature, Sciences,  
University of "Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi,

1<sup>st</sup> November 1954 Streets, Oum El Bouaghi 04000. Algeria

<sup>3</sup>Department of Life and Nature Sciences,

Faculty of Exact Sciences and Life and Nature Sciences,  
University Center of Mila

Date: 18.10.2020

Ref.No. EEC-F-2866

Dear Authors,

The Editor thanks for your manuscript entitled –

- An Inventory of the Myrmecofauna at Five Semi-Arid Sites in Eastern of Algeria

Submitted for publication in –ECOLOGY, ENVIRONMENT AND CONSERVATION.

Pl. always quote Ref. No. EEC–F-2866, while doing any correspondence with us.

Editor is pleased to inform you that your paper is accepted for publication in ECOLOGY, ENVIRONMENT AND CONSERVATION, in 2021 (2) Issue.

Kindly note the journal has SCOPUS h index 11.0 and NAAS India impact rating 4.89 ([www.envirobiotechjournals.com](http://www.envirobiotechjournals.com)). The Journal is also in UGC-Care list of India. The Journal is in Master Journal List of ISI, Thomson Reuters, U.S.A.

Thanking you & with regards

Yours Sincerely

Publisher

# Titre : Contribution à l'étude du peuplement des fourmis à l'Est

## Algérien.

### Résumé

Pour notre objectif c'est d'acquérir une meilleure connaissance des fourmis, une étude de la bioécologie du peuplement de cinq genres de Formicidae (*Tapinoma*, *Cataglyphis*, *Camponotus*, *Messor* et *Monomorium*) a été réalisé au niveau de trois wilayas de l'Est Algérien. La relation avec l'environnement extérieur, la structure biotique de la fourmilière, la recherche de nourriture et les relations intra et interspécifiques sont les éléments étudiés. Chaque espèce adopte un environnement spécifique déterminé par la nature du sol et la quantité des rayons lumineux transmis. *Messor capitatus* et *Tapinoma nigerrimum* installent leurs nids sous une canopée végétarienne, *Camponotus sylvaticus* et *Monomorium sp* se trouvent sous une canopée forestière cependant *Cataglyphis bicolor* préfère les zones ouvertes. La température a une influence plus forte et directe sur l'activité des fourmis, ce qui oblige un fourragement diurne et aux heures matinales et pendant le soir chez *Messor capitatus*, *Monomorium sp* and *Tapinoma nigerrimum*, durant toutes les heures de la journée chez *Cataglyphis bicolor*, par contre *Camponotus sylvaticus* son activité est nocturne. Le type de fourragement vers une source de nourriture préférée conduit les fourmis à développer deux stratégies d'orientation : la piste chimique à l'aide de phéromones, la mémoire topographique et céleste. Les fourmis comme tous les êtres vivants ont besoin des relations inter et intraspécifiques pour assurer leur existence et leur rôle écologique.

**Mots clé :** Formicidae, Est Algérien, environnement spécifique, relations inter et intraspécifiques

### Abstract

A study of the bioecology of five genera of Formicate (*Tapinoma*, *Cataglyphis*, *Camponotus*, *Messor* et *Monomorium*) was carried out at three wilaya of eastern Algeria. Their relationship with the external environment, the structure of the anthill, the search of food and the intra and interspecific relationships were studied. Each species adopts a specific environment determined by the nature of the soil and the amount of light transmitted. *Messor capitatus* et *Tapinoma nigerrimum* Set up their nests under a vegetarian canopy, *Camponotus sylvaticus* et *Monomorium sp* set it under a forest canopy, however *Cataglyphis bicolor* prefers open areas. Temperature has a stranger and direct influence on ant activity, which requires day times and early evening foraging for *Messor capitatus*, *Monomorium sp* and *Tapinoma nigerrimum*, and all times of the day for *cataglyphis*. However, *Camponotus sylvaticus* has a nocturnal activity. The type of foraging toward a favorite source of food leads ants to develop two strategies of orientation: the chemical trail using pheromones, topographic and celestial memory. Like all living beings, ants need inter and intra specific relationships to ensure their existence and ecological role.

**Keywords:** Ants, eastern Algeria, a specific environment, the intra and interspecific relationships

### المخلص

بغرض اكتساب معرفة أفضل بالنمل، تم إجراء دراسة البيئة الحيوية لخمس أجناس منها: *Tapinoma*، *Cataglyphis*، *Camponotus*، *Messor* و *Monomorium* بثلاث ولايات بشرق الجزائر حيث تمت دراسة علاقتها مع البيئة الخارجية، التركيب الحيوي لها، طريقة البحث عن الغذاء وكذلك العلاقات داخل وبين الأنواع المحددة. يتبنى كل نوع بيئة معينة تحددها طبيعة التربة وكمية الأشعة الضوئية المرسله بحيث *Messor capitatus* و *Tapinoma nigerrimum* يؤسسان عشهما تحت مظلة نباتية، اما *Camponotus sylvaticus* و *Monomorium sp* فيؤسسانه تحت مظلة غابية اما *Cataglyphis bicolor* يفضل المناطق المفتوحة. درجة الحرارة لها تأثير قوي ومباشر على نشاط النمل مما يتطلب البحث عن الطعام في النهار وفي ساعات الصباح وفي المساء بالنسبة لـ *Messor capitatus*، *Monomorium sp* و *Tapinoma nigerrimum* وفي جميع ساعات اليوم بالنسبة لـ *Cataglyphis bicolor*، بينما *Camponotus sylvaticus* فلها نشاط ليلي. يقود نوع البحث عن مصدر غذائي مفضل للنمل إلى تطوير استراتيجيتين للتوجه المسار الكيميائي باستخدام الفيرومونات، الذاكرة الطبوغرافية والسماوية. يحتاج النمل مثل جميع الكائنات الحية إلى علاقات مشتركة ومتعددة لضمان وجودها والقيام بدورها البيئي.

الكلمات المفتاحية: النمل، شرق الجزائر، بيئة معينة، العلاقات داخل وبين الانواع