

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche

Scientifique



Université Djillali Liabes Sidi Bel-Abbes

Faculté des Sciences de la nature et de La vie

Département des sciences de l'Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

OPTION : (BIOLOGIE DE LA CONSERVATION)

THEME

Détermination de la zone de la vie favorable et de tolérance de quelques insectes et microorganismes utilisés dans le cadre de la lutte biologique cas de la région de Télagh wilaya de Sidi Bel Abbes Algérie occidentale

Présenté Par :

*ACHOURI Ahlam.

*FERHAT Asma.

Encadré Par : Dr .BACHIR BOUIDJRA Salah Eddine.

Devant les jurys :

Dr FARAOUN Fatiha	MCA	Président (e)
Dr MHAMDIA Chafik	MCB	Examineur
Dr BACHIR BOUIDJRA Salah Eddine	MCA	Promoteur

Promo : 2019/2020

Dédicace

J'ai l'honneur de dédie ce modeste travail à mes parents qui m'avez dirigé et suivi pendant toute mes années d'étude.

Sans oublier ma gratitude a :

Mes sœurs : Nabila, Zineb et Ftima.

Mes frères : Amine, Zwawi et ses enfants (Mohamed et Iyade).

Sans oublier mon binôme : Ahlam.

Egalement je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chère, à tous ceux qui m'aiment et à tous ceux que j'aime.

Ferhat Asma

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à mes parents qui m'avez dirigé et suivi pendant toute mes années d'étude.

Sans oublier ma gratitude à :

Mes frères : Amine, Ali et Abd El Adzize.

Ma sœur : Tasnime Ritadje.

Sans oublier mon binôme : Asma.

Egalement je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chère, à tous ceux qui m'aiment et à tous ceux que j'aime.

Achouri Ahlam

Remerciement

A l'issue de ce travail, nous remercions avant tout DIEU, tout puissant, de nous avoir donné La Volonté, courage et patience pour terminer ce travail.

Nous tiendrons à exprimer nos sincères remerciements à Mr **BACHIR BOUIDJRA Salah Eddine**, notre promoteur, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin notre mémoire. Nous lui sommes très reconnaissantes pour sa bienveillance, ses précieux conseils, sa patience et sa disponibilité. Nous espérons qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude. Nous adressons nos sincères remerciements à madame **FARAOUN Fatiha**, notre président et notre examinateur Mr **MHAMDIA Chafik** Qui nous a fait l'honneur de présider notre jury, et c'est un honneur pour nous qu'il juge ce travail. Nous tiendrons également à remercier Dr **Mahroug S**, notre responsable du parcours, d'avoir accepté de juger ce travail. Nos remerciements s'adressent aussi à nos chers collègues de la conservation des forêts de Sidi Bel Abbas, conservation des forêts de Télagh d'avoir accepté de faire notre stage dans leur établissement. Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Dans ce travail nous avons réalisé le graphe des variations mensuelles durant treize ans de deux importants paramètres conditionnant la répartition et le développement des insectes ainsi que les champignons et les bactéries. Ces deux paramètres sont l'humidité et la température. Une fois ce graphe réalisé nous avons projeté les données climatiques (humidité et température) propre à chaque insecte et microorganisme étudié. Les résultats de cette étude se sont soldés par les constatations suivantes :

- L'introduction de la coccinelle dans le cadre de la lutte biologique contre les pucerons doit se faire le mois de décembre, mars et Novembre. Mais cet insecte aussi tolérer les conditions météorologiques des mois de Janvier, février, mars, Avril, Novembre et Décembre.

- Le Criquet pèlerin, (*Schistocerca gregaria*) : les larves de ce criquet ne supportent pas les conditions météorologiques qui règnent dans la région de Télagh tandis que les adultes sont plus tolérants et peuvent se développer durant le mois de Juillet.

- Le criquet migrateur (*Locusta migratoria*) : les larves de cette espèce peuvent se développer à l'aise durant les mois de juin, Aout et Octobre.

- la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) : ce ravageur ne présente pas une menace sérieuse contre le pin d'Alep de la région de télagh, mais dans ce travail nous n'avons pas pris en considération l'amplitude thermique qui représente un facteur important dans le cycle biologique de l'espèce.

- des spores d'*Entomophaga grylli* : Les zones de vie favorable de l'hôte (criquet) et du parasite (champignon) sont complètement différentes, et par conséquent la lutte biologique par l'utilisation de ce champignon contre le criquet *Schistocerca gregaria* dans la zone de Télagh ne peut pas se faire.

-*Bacillus Thuringiensis* : Nous avons constaté que la zone de vie favorable de cette bactérie appartient à la configuration climatique de Télagh (sont superposables). Ce qui revient à dire que les conditions climatiques qui règnent dans la région de la moyenne montagne de Télagh convient au développement de cette bactérie utilisée comme bio-insecticide contre les larves des lépidoptères en particulier le scolyte qui cause des dégâts importants dans la forêt, de Télagh. A l'exception du mois de janvier.

Mots clés : Télagh, zone favorable, zone de tolérance,

coccinelle, Schistocerca gregaria, Locusta migratoria, Thaumetopoea pityocampa, Entomophaga grylli, Bacillus Thuringiensis.

Summary:

In this work we made the graph of the monthly variations during thirteen years of two important parameters conditioning the distribution and the development of insects as well as fungi and bacteria. These two parameters are humidity and temperature. Once this graph was produced, we projected the climatic data (humidity and temperature) specific to each insect and microorganism studied. The results of this study led to the following findings:

- The introduction of the ladybug as part of the biological control of aphids must be done in December, March and November. But these insects also tolerate the weather conditions of the months of January, February, March, April, November and December.
- The Desert Locust, (*Schistocerca gregaria*): the larvae of this locust do not tolerate the meteorological conditions which reign in the Telagh region while the adults are more tolerant and can develop during the month of July.
- The migratory locust (*Locusta migratoria*): the larvae of this species can develop comfortably during the months of June, August and October.
- the processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*): this pest does not present a serious threat against the Aleppo pine of the Telagh region, but in this work we did not take into account the thermal amplitude which represents an important factor in the life cycle of the species.
- *Entomophaga grylli* spores: The zones of favorable life of the host (locust) and of the parasite (fungus) are completely different, and therefore the biological control by the use of this fungus against the locust *Schistocerca gregaria* in the Telagh area can not be done.
- Bacillus Thuringiensis*: We found that the favorable life zone of this bacterium belongs to the climatic configuration of Telagh (are superimposable). This amounts to saying that the climatic conditions which reign in the region of the middle mountain of Telagh are suitable for the development of this bacterium used as a bio-insecticide against the larvae of the Lepidoptera in particular the bark beetle which causes significant damage in the forest, Telagh. With the exception of January.

Key words: Telagh, favorable zone, tolerance zone,

Ladybug, *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria*, *Thaumetopoea pityocampa*, *Entomophaga grylli*, *Bacillus Thuringiensis*.

ملخص:

- في هذا العمل ، قمنا بعمل رسم بياني للتغيرات الشهرية خلال ثلاثة عشر عامًا من عاملين مهمين يشترطان توزيع وتطور الحشرات وكذلك الفطريات والبكتيريا. هاتان المعلمتان هما الرطوبة ودرجة الحرارة. بمجرد إنتاج هذا الرسم البياني ، قمنا بإسقاط البيانات المناخية (الرطوبة ودرجة الحرارة) الخاصة بكل حشرة وكائنات دقيقة تمت دراستها. أدت نتائج هذه الدراسة إلى النتائج التالية:
- إدخال الدعسوقة كجزء من مكافحة البيولوجية لحشرات المن يجب أن يتم في ديسمبر ومارس ونوفمبر. لكن هذه الحشرة تتحمل أيضًا الظروف الجوية لأشهر يناير وفبراير ومارس وأبريل ونوفمبر وديسمبر.
 - الجراد الصحراوي: لا تتحمل يرقات هذا الجراد ظروف الأرصاد الجوية السائدة في منطقة تلاغ بينما تكون الحشرات البالغة أكثر تحملاً ويمكن أن تتطور خلال شهر يوليو.
 - الجراد المهاجر : يمكن أن تنمو يرقات هذا النوع بشكل مريح خلال أشهر يونيو وأغسطس وأكتوبر.
 - كاتربيلر موكب الصنوبر: هذه الآفة لا تشكل تهديدا خطيرا لصنوبر حلب في منطقة تلاغ ، ولكن في هذا العمل لم نأخذ في الاعتبار السعة الحرارية التي تمثل عاملا مهما في دورة حياة الأنواع.
 - جراثيم آفات الهوام: تختلف مناطق الحياة الملائمة للعائل (الجراد) والطفيلي (الفطريات) تمامًا ، وبالتالي فإن مكافحة البيولوجية باستخدام هذه الفطريات ضد الجراد لا يمكن عمل في منطقة تلاغ.
 - عصوية ثورنجية: وجدنا أن منطقة الحياة الملائمة لهذه البكتيريا تنتمي إلى التكوين المناخي لتلاغ (قابلة للتركيب). هذا يرقى إلى القول بأن الظروف المناخية السائدة في منطقة الجبل الأوسط من تلاغ مناسبة لتطوير هذه البكتيريا المستخدمة كمبيد حشري بيولوجي ضد يرقات قشريات الأجنحة وخاصة خنفساء اللحاء التي تسبب أضرارًا كبيرة في الغابة ، تلاغ. ما عدا شهر يناير.
- الكلمات الأساسية: تلاغ ، منطقة مواتية ، منطقة تسامح ، الدعسوقة ، الجراد الصحراوي، الجراد المهاجر ، كاتربيلر موكب الصنوبر، عصوية ثورنجية ، جراثيم آفات الهوام.

Listes des figures

Les figures :

Figure 01 : Les aspects morphologiques des différentes espèces du genre <i>Thaumetopoea</i> ; (a) <i>T. pinivora</i> ; (b) <i>T. pityocampa</i> ; (c) <i>T. processionea</i> ; (d) <i>T. herculeana</i> ; (e) <i>T. solitaria</i> ;	05
Figure 02 : cycle biologique moyen de la processionnaire du pin (Jean-Claude Martin ; 2007)	06
Figure 03 : Différence de taille des adultes (1 = femelle et 2 = mâle) (Démolin ; 2007)	07
Figure 04 : Manchons de pontes de chenilles processionnaires du pin (Lequet, 2010)	08
Figure 05 : Les différents stades larvaires (Photo Démolin ; 2007)	09
Figure 06 : Nid d'hiver (Jean-Claude Martin ; 2007)	10
Figure 07 : Cycle biologique de <i>coccinellidae</i> (DocPlayer.fr)	19
Figure 08 : Cycle biologique du Criquet pèlerin (fao.org)	22
Figure 09 : <i>Bacillus thuringiensis</i> , spores (en clair) et cristaux (en foncé (Photo INRA)	26
Figure 10 : Carte de localisation de Khoudida (Bachir Boudjra, 2020)	29
Figure 11 : Délimitation des cantons du forêt domaniale de Khoudida (Bachir Boudjra, 2020)	30

Les photos :

Photo 01 : Accouplement des papillons de processionnaires du pin (Martin, Démolin G ;2005)	07
Photo 02 : Pontes avec jeunes chenilles (Jean-Claude Martin ;2007)	08
Photo 03 : Fin de la procession et début d'enfouissement (Jean-Claude Martin ; 2007)	11
Photo04 : Chrysalides mâle (à gauche) et femelle (à droite) extraites de leur cocon (F.REI ;2007)	12
Photo 05 : dégâts occasionnés (Jean-Claude Martin, DR)	14
Photo 06 : pulvérisation d'un produit à base de BtK. (Martin, 2005, photo Démolin G. en haut)	15
Photo 07 : pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008)	15

Photo 08: Prédation par les mésanges (MARTIN et PESME- GLEMIN, 2010).....	16
Photo 09: Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, Échenillage à la perche à droite (K3D Lyon Chenilles).....	16
Photo 10 : <i>Coccinellidae</i> (insecte-s.com).....	18
Photo 11: Criquet pèlerin (<i>Schistocerca gregaria</i> , wikipedia.fr).....	21
Photo 12: <i>Pinus halepensis</i> (jules.segura1.free.fr).....	31

Graphes :

Graphe(01) de la projection des données de température et d'humidité de la coccinelle sur le climat de la région de Télagh.....	36
Graphe(02) de la projection des données de température et d'humidité des criquets migrants (<i>Schistocerca gregaria</i>) et (<i>Locusta migratoria</i>) sur le climat de la région de Télagh.....	37
Graphe(03) de la projection des données de température et d'humidité de la chenille Processionnaire (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>) sur le climat de la région de Télagh...	38
Graphe(04) de la projection des données de température et d'humidité des spores d' <i>Entomophaga grylli</i> sur le climat de la région de Télagh.....	40
Graphe(05) de la projection des données de température et d'humidité de la bactérie <i>Bacillus Thuringiensis</i> sur le climat de la région de Télagh.....	41

Liste de tableaux

Tableau 01 : Station de Télagh altitude 857 m coordonnées 35.03 N et

0.56 O..... **34**

Liste des abréviations

(BtK) : *Bacillus thuringiensis kurstaki*

E. calopteni : *Entomophaga calopteni*

E. macleodii : *Entomophaga macleodii*

E. praxibuli : *Entomophaga praxibuli*

E. grylli : *Entomophaga grylli*

B. thuringiensis : *Bacillus thuringiensis*

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Btt : *Bacillus thuringiensis tenebrionis*.

Bti : *Bacillus thuringiensis israelensis*.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction.....	01
Chapitre I : Généralités sur les espèces étudiées.....	04
1. la chenille processionnaire du pin d'Alep (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>)	04
1.1 Taxonomie	04
1.2. Cycle de développement.....	05
1.2.1. La phase aérienne.....	05
1.2.2. La phase souterraine.....	10
Incidence de facteurs écologiques.....	12
Dégâts de la chenille processionnaire du pin	13
La lutte contre la chenille processionnaire du pin.....	14
2. Les coccinelles (<i>coccinellidae</i>).....	18
2.1. Taxonomie	18
2.2. Cycle de développement	18
La lutte biologique avec les coccinelles.....	19
3. Criquet pèlerin (<i>Schistocerca gregaria</i>).....	20
3.1. Taxonomie.....	20
3.2. Cycle de développement.....	21
3.3. Dégâts de criquet pèlerin.....	22
4. <i>Entomophaga grylli</i>	23
4.1. Taxonomie.....	23
4.2. Utilisation d' <i>Emtomophaga grylli</i> en lutte biologique.....	24
5. <i>Bacillus thuringiensis</i>	25
5.1. Taxonomie.....	25
5.2. L'utilisation de le <i>Bacillus thuringiensis</i> (B.t.) en lutte biologique.....	26
Chapitre II : Présentation générale de la région d'étude.....	28
1. Présentation de la circonscription des forêts de Télagh.....	28
2. situation géographique.....	29
3. Situation administrative.....	29
4. Superficie et limites.....	29
5. Situation topographique.....	30

6. Climat.....	30
7. Milieu édaphique.....	31
8. La flore.....	31
9. La faune.....	32
Partie II : partie expérimental.....	34
Chapitre III : Matériel et méthodes.....	34
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	35
1. La projection des données de température et d'humidité de la coccinelle sur le graphe du climat de la région de Telagh.....	35
2. La projection des données de température et d'humidité des criquets migrateurs (<i>Schistocerca gregaria</i>) et (<i>Locusta migratoria</i>) sur le graphe du climat de la région de Télagh.....	36
3. La projection des données de température et d'humidité de la chenille processionnaire (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>) sur le graphe du climat de la région de Télagh.....	38
4. La projection des données de température et d'humidité des spores d' <i>Entomophaga grylli</i> sur le graphe du climat de la région de Télagh.....	39
5. La projection des données de température et d'humidité de la bactérie <i>Bacillus</i> Thuringiensis sur le graphe du climat de la région de Télagh.....	40
Conclusion.....	43
Référence bibliographique.....	45

Introduction

Introduction :

La forêt représente un élément intégral et principal du système de support de la vie de la planète, de l'environnement, réservoir génétique précieux et source de revenus appréciables. Dans ce contexte, elle doit être gérée et développée dans un but d'assurer la durabilité du bien-être social et économique. (ANONYME, 2009).

L'équilibre écologique, la protection de l'environnement, la désertification et le développement durable sont devenus des questions vitales, quand nous savons que la forêt a été considérée par l'homme comme une source inépuisable de bois. Ce milieu a été inconsidérément défriché par l'homme ce qui a entraîné des conséquences néfastes sur la perte de biodiversité et la destruction de l'équilibre des chaînes trophiques existantes.

A cette exploitation irrationnelle, s'ajoutent les nombreux problèmes posés à l'économie forestière du monde entier, par la très grande nocivité des insectes ravageurs. C'est pourquoi, la lutte contre les ravageurs des forêts passe par la connaissance de l'entomologie forestière, science à laquelle s'intéressent beaucoup de chercheurs actuellement, (DUMERLE, 1991 : ABGRALL & SOUTRENON, 1991).

La forêt algérienne abrite une diversité biologique significative plusieurs organismes (insectes, plantes, champignons...) interagissent directement ou indirectement avec les arbres vivants et constituent des éléments naturels et intégraux des écosystèmes (SEIGUE, 1985).

Les forêts de conifères, le pin d'Alep, le Thuya et le Cyprès connaissent depuis plusieurs années d'importants problèmes phytosanitaires. Il est évident que le facteur causal est le manque de sylviculture appropriée et le non-respect des méthodes de reboisement. Dans ce type de forêt, les insectes ravageurs constituent les principales sources de perturbation forestière, (KHOUS & GACHI, 1996).

Dans notre démarche méthodologique, nous allons réaliser une configuration spatiale du climat de la région de Télagh par la projection des données de la température et de l'humidité de treize

Introduction

ans consécutifs, une fois le climat représenté sur graphe en deux dimensions, nous allons projeter les données de l'humidité et de température relatives à quelques insectes, un champignon et une bactérie. Nous avons choisi parmi les insectes la coccinelle utilisée beaucoup dans le cadre de la lutte biologique ainsi que deux microorganismes *Bacillus Thuringiensis* et *Entomophaga Grylli*. Cette projection nous permettra ultérieurement de savoir si l'introduction de ces êtres vivants est possible ou pas. Dans le cas positif on doit aussi savoir les mois de cette intervention.

Partie
Bibliographique

Chapitre I : Généralité sur les espèces étudiées

I. la chenille processionnaire du pin d'Alep (*Thaumetopoea pityocampa*) :

1.1 Taxonomie :

<u>Règne</u>	Animalia
<u>Embranchement</u>	Arthropoda.
<u>Classe</u>	Insecta.
<u>Super-ordre</u>	Endopterygota.
<u>Ordre</u>	Lepidoptera.
<u>Famille</u>	<u>Notodontidae.</u>
<u>Sous-famille</u>	<i>Thaumetopoeinae.</i>
<u>Genre</u>	<i>Thaumetopoea.</i>

Nom binominal : *Thaumetopoea pityocampa*. (Denis & schiffermüller; 1775)

Synonymes : *Traumatocampa pityocampa*

La chenille processionnaire du pin à développement larvaire hivernal, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*camp*a = chenille, *pityo* = pin) et *thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto* = vénérer, *poea* = herbe). Le genre *Thaumetopoea* contient 9 espèces, qui peuvent localement coexister et qui sont parfois difficiles à distinguer. Toutefois, il existe certaines différences morphologiques (telles que l'intensité de la couleur des ailes) et biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion, qui peut avoir lieu au printemps pour *Thaumetopoea bonjeani*, *Thaumetopoea pinivora*, *Thaumetopoea processionea*, ou en fin d'été pour *Thaumetopoea pityocampa*, *Thaumetopoea wilkinsoni*. Le développement larvaire est donc printanier à estival pour les trois premières espèces, et hivernal pour les deux dernières. De récentes études ont été menées afin de caractériser l'évolution phylogénétique des différentes espèces et leurs caractéristiques cladistiques. (JULIE RIVIERE, 2011).

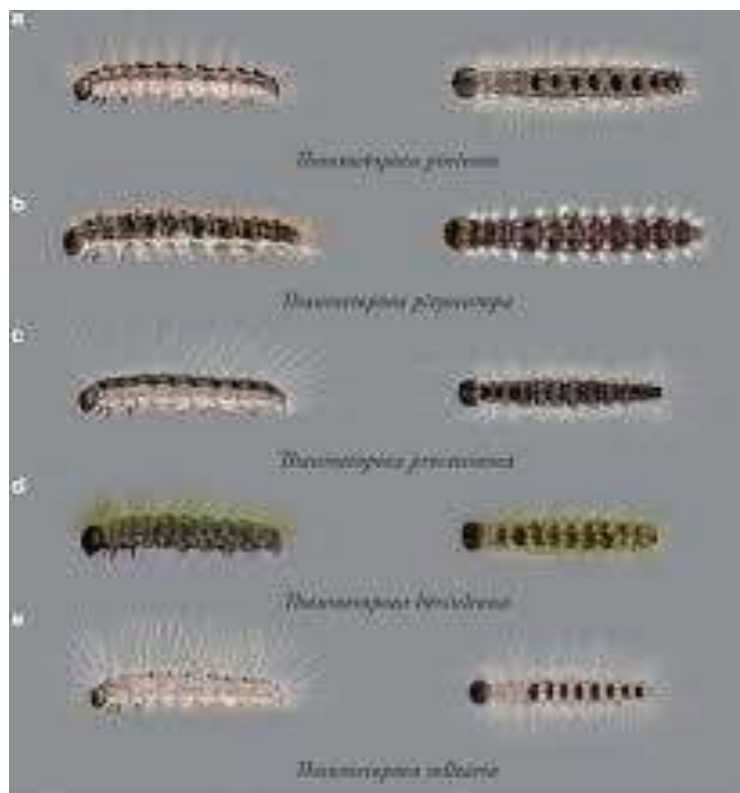


Figure 01 : Les aspects morphologiques des différentes espèces du genre *Thaumetopoea*; (a) *T. pinivora*; (b) *T. pityocampa*; (c) *T. processionea*; (d) *T. herculeana*; (e) *T. solitaria*;

Photo de : CARLOS GOMEZ DE AIZPU'RA ; (D) CREDIT : L. BERARDI (1986)

Cycle de développement :

Le cycle de développement de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* se divise en deux phases, une phase aérienne et une phase souterraine.

La phase aérienne :

Ce cycle est habituellement annuel, mais il peut se prolonger jusqu'à cinq ans Selon les conditions environnementales notamment la température et l'ensoleillement, donc l'altitude et la latitude, peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades. (JEAN-CLAUDE MARTIN, 2007)

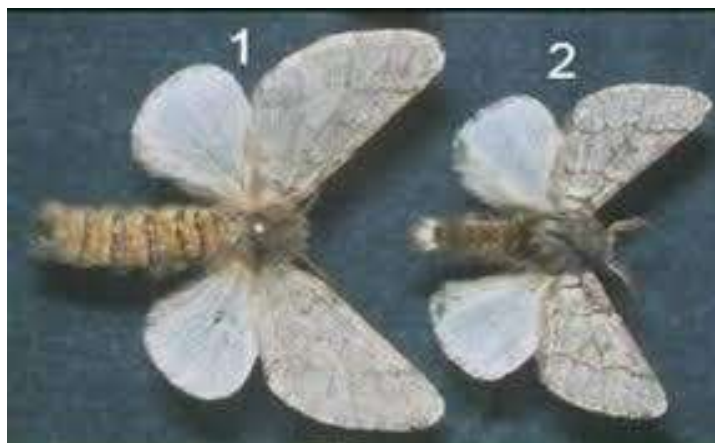


Figure 02 : cycle biologique moyen de la processionnaire du pin (Jean-Claude Martin ; 2007)

La phase aérienne dure cinq à huit mois et comprend plusieurs étapes, de l'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement précédent la nymphose.

Les adultes :

Les imagos sont des papillons nocturnes. L'apparition de ces derniers a lieu au cours des mois de juillet et août, en fin de journée. L'heure d'émergence semble varier en fonction de la pression atmosphérique journalière. Des crêtes sclérifiées situées sur leur tête permettent de trouer l'enveloppe de la chrysalide, et de faire une sortie. Les mâles apparaissent avant les femelles (environ une demi-heure). Généralement, la sex-ratio est équilibrée entre les mâles et les femelles. Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur gris-blanchâtre. Les mâles se distinguent néanmoins des femelles par leur taille plus petite.



**Figure 03 : Différence de taille des adultes (1 = femelle et 2 = mâle)
(Démolin ; 2007)**

A la sortie de terre, les papillons vont vers un lieu surélevé de type branchages ou cailloux pour déployer leurs ailes pendant quelques minutes. A la nuit tombée, l'activité des papillons commence. Les femelles cherchent une zone de repos. Quelques heures après, elles se placent dans une position « d'appel » en émettant une phéromone spécifique, le (Z)-13- hexadecen-11-ynyl appelé la « pityolure ».

Quant aux mâles, ils s'envolent à la recherche des femelles. Une fois la pityolure émise, les mâles trouvent rapidement les femelles, et l'accouplement peut avoir lieu. Il dure à peu près une heure. Ensuite, les deux papillons se séparent. Les mâles meurent quelques jours plus tard. (Photo 01)



**Photo 01 : Accouplement des papillons de processionnaires du pin (Martin,
Démolin G ; 2005)**

Les femelles vont se poser préférentiellement sur un pin et vont commencer à pondre autour de deux aiguilles, pendant une durée de trois ou quatre heures. La ponte forme un manchon dont la longueur est d'environ cinq centimètres contenant entre et œufs

protégés par des écailles de l'abdomen maternel. Les femelles meurent quelques temps après.



**Figure 04 : Manchons de pontes de chenilles processionnaires du pin
(Lequet, 2010)**

Les stades larvaires :

Quand la somme des températures moyennes journalières a atteint 780°C correspondant au cumul des températures moyennes des 30 à 45 jours après l'émergence des adultes, les chenilles L1 éclosent. (Photo 02). La période d'éclosion va de fin juillet à la fin de septembre.



Photo 02 : Pontes avec jeunes chenilles (Jean-Claude Martin ;2007)

Durant leur période larvaire, les processionnaires du pin vont passer par cinq stades nommés de L1 à L5. Ils sont différenciables selon trois critères (figure 05) :

- la quantité de soies (poils).
- la taille de la chenille (en longueur et en diamètre).
- la largeur de sa capsule céphalique.



Figure 05 : Les différents stades larvaires (Photo Démolin ; 2007)

Pendant toute cette phase de développement larvaire, les chenilles issues d'une même ponte vont rester groupées.

Au stade L1, les chenilles mesurent deux à trois millimètres et sont de couleur jaune. Leurs soies ornementales dorsales sont noires, tandis que leurs soies latérales sont blanches et plus longues. Leur capsule céphalique, noire, est déjà volumineuse et leur permet dès ce stade de s'attaquer à une nourriture solide et résistante. Les chenilles deviennent rousses à deuxième stade larvaire (stade L2). Le nombre de soies latérales augmente significativement. Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L3) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants, localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants. Au stade L5, les chenilles mesurent quatre à cinq centimètres. (MARTIN, 2005) A chaque changement de stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter.

La construction de « nid » commence dès la sortie des chenilles L1. Celles-ci tissent un entrelacement de soie très fin tout autour de la ponte aussi appelé « pré-nid » (DAJOZ,

1998). Elles commencent à se déplacer la nuit pour s'alimenter pouvant aussi changer de lieu de regroupement. Elles partent se nourrir en procession. Des fils de soies écrêtés depuis leur sortie du nid leur permettent de retrouver facilement celui-ci. Cette alimentation nocturne est réglée sur la période d'obscurité (BURJERON, 1972). Mais dans des cas exceptionnels, comme la surpopulation ou des températures nocturnes trop froides, l'alimentation peut se faire pendant la période diurne (BURJERON, 1972) Dès l'arrivée des premiers froids, la colonie commence la construction du nid d'hiver (figure 06) qui va permettre la survie du groupe (DEMOLIN, 1967).



Figure 06 : Nid d'hiver (Jean-Claude Martin ; 2007)

L'élaboration du nid d'hiver est très hiérarchisée (DEMOLIN, 1967) comprenant deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure. Aucun orifice de sortie n'est prévu, les chenilles doivent faire leur passage à travers les mailles du tissage. Le nid d'hiver est un radiateur thermique captant les rayons du proche infrarouge émis par le soleil. On peut noter une élévation de température de 1,5°C par heure d'insolation (DEMOLIN, 1969).

La phase souterraine :

La phase aérienne se termine par la procession de nymphose qui a lieu de février à mai, et peut durer jusqu'à six jours. La chenille de tête est une femelle (DEMOLIN, 1971). Elle se dirige vers un terrain qui est ensoleillé et meuble. Les chenilles de la procession se regroupent et l'enfouissement peut commencer (photo 03). Elles peuvent aller de 5 à

20 cm sous terre. Si les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies, les chenilles peuvent ressortir pour chercher une zone plus propice.



Photo 03 : Fin de la procession et début d'enfouissement (Jean-Claude Martin ; 2007)

La phase souterraine peut alors commencer. Elle peut durer de quelques jours à plusieurs mois de mars à juillet. Une fois sous terre, les chenilles tissent autour d'elles un cocon de nymphose et arrêtent leur développement. Dans les régions méditerranéennes, il reprend activement quelques semaines avant l'émergence des adultes. Quand les conditions sont défavorables, en cas de sols secs par exemple, la diapause peut être prolongée et peut durer jusqu'à cinq ans (MARKALAS, 1989). Cette variabilité est un problème important pour l'organisation de la lutte contre la processionnaire du pin. Une quinzaine de jours après l'enfouissement, les chenilles tissent des cocons individuels, dans lesquels elles se transforment en chrysalides (photo 04), c'est la nymphose.



Photo04 : Chrysalides mâle (à gauche) et femelle (à droite) extraites de leur cocon (F. REI ; 2007)

Quelques jours plus tard a lieu la diapause, arrêt de développement caractérisé par une diminution notable du métabolisme. Lors de cette période, les chrysalides peuvent résister à de fortes températures (jusqu'à 35 -40°C) sans altération. La durée de cette phase est variable. Le cycle de développement de la chenille processionnaire du pin est habituellement annuel : ainsi, la durée de la diapause « s'adapte » à celle du développement larvaire, pour que le cycle s'achève sur l'année. Par exemple, en altitude, où les hivers sont particulièrement rigoureux, la durée d'évolution larvaire est plus longue : la diapause sera alors plus courte pour respecter le cycle annuel. Toutefois, si les conditions environnementales sont particulièrement défavorables (température très élevée ou très basse, sol très sec...), la période de diapause peut se prolonger une à plusieurs années (parfois jusqu'à cinq ans) : on parle alors de diapause prolongée. Le taux de diapause prolongée, proche de zéro en région méditerranéenne où le climat est favorable au développement larvaire des chenilles, peut atteindre 100% dans les montagnes corses, en raison des conditions climatiques particulières dans cette zone. La diapause terminée, s'ensuit une reprise métabolique importante. L'adulte sera prêt à sortir de terre, une fois sa morphogenèse achevée, environ un mois plus tard (BATTISTI ET AL., 2005).

Incidence de facteurs écologiques :

De nombreux facteurs peuvent influencer le cycle de développement de *Thaumetopea pityocampa*.

Ensoleillement et photopériode :

La chenille processionnaire du pin n'est présente que dans les régions où la durée moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures. La photopériode joue également un rôle prépondérant dans le cycle de *Thaumetopoea-pityocampa*: en effet, les chenilles processionnaires s'alimentent la nuit, lorsque les températures sont basses, et se regroupent dans la journée pour digérer.

Température :

Les chenilles processionnaires du pin sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale.

Il existe cependant des seuils critiques de température à ne pas dépasser. En effet, une température excédant les 32°C peut causer la mort de nombreux individus ou faciliter l'installation de maladies épidémiques sur les œufs ou les larves. L'optimum de développement se situe entre 20 et 25°C, ce qui explique le développement hivernal de *Thaumetopoea pityocampa*. Lorsque la température moyenne mensuelle dépasse 25°C, les individus se regroupent en masse afin de ralentir la montée thermique de chaque individu : les adultes émergeront alors plus tardivement, pour assurer à leur descendance un optimum thermique vital. A l'inverse, plus l'été sera doux (altitude élevée ou latitude nordique par exemple) et plus les adultes pourront émerger précocement.

Le seuil critique inférieur, température basse à laquelle les chenilles meurent, est de -7°C pour un individu isolé, mais il est diminué à -16°C lorsque les chenilles sont regroupées, grâce à l'effet bénéfique du rassemblement des individus (effet de masse) (HOCH et AL., 2009). L'alimentation des chenilles dépend également de la température. Deux conditions sont en effet nécessaires : association d'une température supérieure à 9°C dans le nid durant le jour et d'une température de l'air supérieure à 0°C la nuit suivante (BATTISTI et al ; 2005). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, le taux de survie des chenilles diminue, car celles-ci ne sortent pas s'alimenter (BUFFO et al ; 2007).

Dégâts de la chenille processionnaire du pin :

La processionnaire du pin est connue pour être responsable de nuisances sanitaires sur les arbres. En effet, les chenilles se nourrissent des aiguilles de pins et de cèdres, et entraînent des défoliations qui se traduisent essentiellement par une fragilisation des

arbres et un ralentissement de leur croissance, sans entraîner pour autant leur mort. Toutefois, ils deviennent beaucoup plus sensibles aux attaques d'autres insectes xylophages ainsi qu'aux stress hydriques et thermiques (photo 05).



Photo 05 : dégâts occasionnés (Jean-Claude Martin, DR)

Les chenilles processionnaires du pin ne sont pas uniquement nuisibles pour la forêt. Des problèmes sanitaires, liés aux poils urticants, sont à signaler chez l'Homme et les animaux. Ils surviennent lorsque ces poils commencent à apparaître, dès le troisième stade larvaire. Les poils urticants sont libérés dans l'air dès que la chenille se sent menacée. Ces poils peuvent être transportés par le vent (Werno & Lamy, 1990). Une enquête épidémiologique menée sur la façade atlantique a montré que 70 % des contaminations avaient lieu en forêt (Ducombs *et al.* 1979).

La lutte contre la chenille processionnaire du pin :

Afin de contrôler les populations de chenilles processionnaires du pin, des traitements insecticides microbiologiques sont employés. Mais il existe bien d'autres solutions, comme le recours à une phéromone sexuelle, aux mésanges, ou encore la lutte mécanique.

La lutte biologique

- **Les traitements aériens à base de BtK :**

Les traitements insecticides microbiologiques à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (BtK) sont les plus employés contre la processionnaire du pin. La cible est la chenille qui ingère le produit présent à la surface des feuilles, ce qui provoque sa mort.

L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires (photo 06). Ce traitement est respectueux de l'environnement puisqu'il ne persiste que très peu après application et il a une spécificité d'action (lépidoptères).



Photo 06 : pulvérisation d'un produit à base de BtK. (Martin, 2005, photo Démolin G. en haut)

- **L'utilisation des phéromones sexuelles :**

La ptyolure, phéromone sexuelle émise par la femelle, peut être recréée artificiellement.

Cette phéromone de synthèse est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour un piégeage massif des mâles ou un suivi de population, « le monitoring ». Elle peut aussi être employée sans piège, pour la confusion sexuelle (Photo 07).



Photo 07 : pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008)

- **La prédation par les mésanges :**

Les mésanges sont des oiseaux sédentaires qui se nourrissent d'insectes, dont la processionnaire du pin (Photo 08). L'utilisation de cette interaction comme moyen de lutte se fait en facilitant l'implantation des mésanges par des nichoirs (Photo 09).



**Photo 08 : Prédation par les mésanges (MARTIN et PESME-
GLEMIN, 2010).**

La lutte mécanique ou échenillage :

Cette technique est utilisée sur de petites surfaces dans les parcs et jardins. Elle consiste à prélever les pontes, les pré-nids et les nids d'hiver à l'aide d'un sécateur ou d'un échenilloir (sécateur au bout d'un mât). Le tir au fusil est parfois utilisé. Les nids prélevés sont incinérés (Photo 09).



**Photo 09 : Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche,
Échenillage à la perche à droite (K3D Lyon Chenilles).**

La lutte sylvicole :

Cette technique consiste à augmenter la biodiversité des peuplements en implantant des feuillus au sein de peuplements de résineux, afin de limiter la propagation de l'insecte et de favoriser le développement de son cortège parasitaire ; (LEBLOND et al. 2010).

Cette méthode permet en effet de :

Réduire le nombre d'arbres hôtes et leur accessibilité aux papillons de *Thaumetopoea pityocampa*, par la mise en place d'une barrière physique et chimique. En effet, la plupart des insectes forestiers utilisant des signaux olfactifs pour repérer leurs hôtes, l'introduction d'arbres non- hôtes peut perturber les signaux de reconnaissance, voire être utilisée comme répulsif (MARTIN, 2005 ; LEBLOND et al. 2010).

Procurer aux ennemis naturels de la chenille processionnaire un environnement plus diversifié, avec d'éventuelles proies de substitution, des ressources alimentaires complémentaires et des sites de pontes potentiellement plus nombreux (par exemple sites de nidification dans les chênes pour les oiseaux insectivores tels que la Huppe) (MARTIN, 2005).

Lutte chimique :

Cette technique de lutte, très utilisée jusqu'au début des années 1990 (70 % des surfaces traitées en 1992/1993, Martin, 2005), est de moins en moins employée. En effet, les produits utilisés sont soumis à une réglementation stricte et doivent être homologués : les molécules actuellement autorisées sont le Diflubenzuron (famille des benzoyl-urées, analogue hormonal agréé pour les forêts de conifères, arbres et arbustes d'ornement) et la Bifenthrine (famille des pyréthrinoïdes, agréée pour les arbres et arbustes d'ornement), la Deltaméthrine (famille des pyréthrinoïdes) étant interdite depuis le 30 avril 2009. Ces substances sont vaporisées sur les arbres par voie aérienne ou terrestre en période hivernale (de novembre à mars), se fixent sur les feuilles et sont ingérées par les larves. Ainsi, les chenilles des stades L1 à L4 peuvent être touchées, et meurent la mue suivant l'ingestion. Les adultes, quant à eux, ne meurent pas, mais pondent des œufs qui n'éclosent pas (MARTIN, 2005).

2. Les coccinelles (*Coccinellidae*) :

Taxonomie :

<u>Règne</u> :	Animalia
<u>Enbranchement</u> :	Arthropoda
<u>Classe</u> :	Insecta
<u>Ordre</u> :	coleoptera
<u>Famille</u> :	<u>coccinellidae</u>
<u>Sous-famille</u>	<i>cucujoidea</i>
<u>Nom scientifique</u> :	<i>coccinellidae</i> (<u>Latreille, 1807</u>)
<u>Synonymes</u> :	coccinellidés

Les *Coccinellidae*, en français coccinellidés, sont une famille d'insectes de l'ordre des coléoptères, appelés aussi coccinelles, ou encore familièrement ou régionalement bêtes à bon Dieu ou pernettes, facilement identifiables à leurs élytres généralement colorées formant la carapace. Rouges ou jaunes à points noirs ; ses couleurs vives sont en fait une astuce contre les prédateurs, car dans la nature, ce genre de signal indique un danger (même si la coccinelle est complètement inoffensive pour l'homme). Pour se protéger, elles sont capables d'expulser par leurs pattes du sang orangé à l'odeur désagréable.

De forme ovale et avec une taille qui oscille entre 3,5 et 5,5mm, les coccinelles sont vraiment petites. Elles disposent aussi de 3 paires de pattes et d'une paire d'ailes destinées au vol, en plus des élytres leur servant de protection.



Photo 10 : *Coccinellidae* (insecte-s.com)

Cycle de développement :

La coccinelle a une espérance de vie de 2 ou 3 ans ; en captivité néanmoins, elle survit rarement plus d'un mois. Elle peut donner naissance, au cours de sa vie, à des milliers de larves.

La coccinelle passe par 4 stades de développement :

- L'**œuf** : après l'accouplement au printemps, la femelle dépose plus d'une centaine d'œufs de couleur jaune sur une feuille peuplée de pucerons.
- La **larve** : au bout de 4-7 jours, les œufs éclosent pour donner naissance à des larves de couleur bleue.
- La **nymph**e : après 3 semaines de développement, les larves se fixent sur la feuille, créant une enveloppe de fils de soie dans laquelle elles restent immobiles pendant une semaine.
- L'**adulte** : au bout de 8 jours, l'adulte sort de la phase de nymphose et se libère de cette « chrysalide ». D'abord jaune, elle acquiert sa couleur rouge caractéristique au bout de quelques heures.

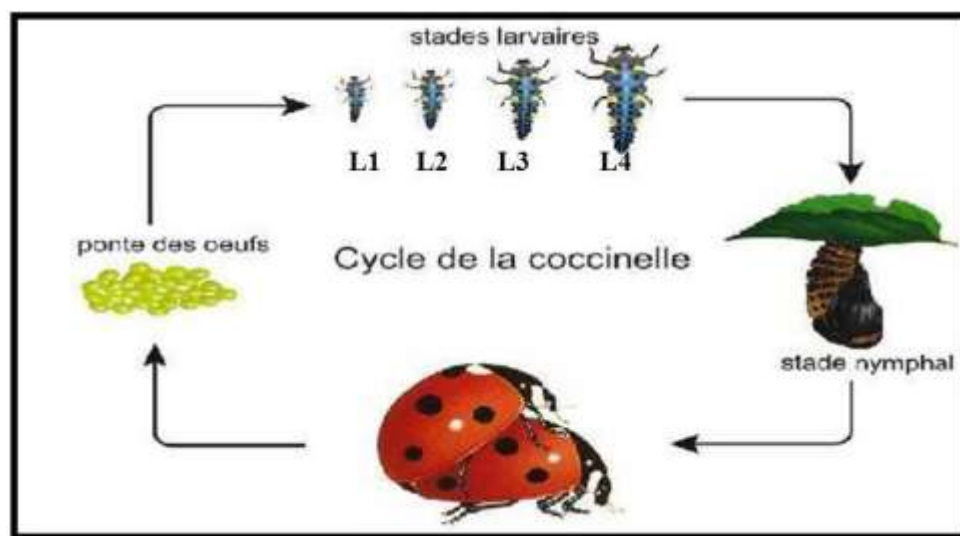


Figure 07 : Cycle biologique de *coccinellidae* (DocPlayer.fr)

La lutte biologique avec les coccinelles :

On distingue 2 types de coccinelles : les phytophages, qui ne sont représentées que par 2 espèces, et les prédatrices, beaucoup plus nombreuses, qui sont les auxiliaires du jardinier. Parmi elles, certaines espèces de coccinelles se nourrissent de champignons, d'acariens ou encore de cochenilles. Mais les consommatrices de pucerons sont les plus fréquentes (65%), elles sont appelées coccinelles aphidiphages. Certaines d'entre elles sont des prédateurs spécifiques à certaines espèces de pucerons, tandis que d'autres seront plus généralistes.

La coccinelle est un auxiliaire particulièrement intéressant pour la lutte biologique car elle s'adapte à la quantité de nourriture : plus les proies abondent, plus elle est vorace, plus le nombre d'œufs qu'elle pond est important.

De ce fait, son installation durable dans les jardins doit être visée, ainsi que la multiplication des espèces afin de couvrir une plus grande période d'activité sur un plus grand nombre de strates (herbacée, arbustes, arbres).

- Pour cela il est indispensable de cesser toute utilisation de produits chimiques auxquels la coccinelle est très sensible.
- Nombreuses sont celles qui se mettent à l'abri pour l'hiver au pied des haies, dans des tas de végétaux secs (tiges, feuilles, herbe), leurs abris doivent être conservés.
- Les adultes se nourrissant également de pollen et de nectar, installer des plantes à fleurs est un bon moyen pour les attirer.

3. Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) :

Taxonomie :

<u>Règne :</u>	Animalia
<u>Embranchement :</u>	Arthropoda
<u>Classe :</u>	Insecta
<u>Ordre :</u>	Orthoptera
<u>Famille :</u>	<i>Acrididea</i>
<u>Genre :</u>	<i>Schistocerca</i>
<u>Espèce :</u>	<i>gregaria</i>

Nom scientifique: *Schistocerca gregaria* (Forsskål, 1775)

Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forsskål, 1775), est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long, les mâles de 60 à 75 mm. Les antennes sont filiformes. Le pronotum est comprimé dans la prozone et son bord postérieur est anguleux. Le tubercule prosternal est arrondi, mince, à apex émoussé, légèrement incliné vers l'arrière. Les élytres comme les ailes sont longs, dépassant nettement l'extrémité abdominale et les genoux postérieurs. Les cerques mâles sont courts, rectangulaires et la plaque sous-génitale est incisée. La coloration du Criquet pèlerin est très variable, elle dépend de l'état phasaire et de la maturation sexuelle. Les yeux sont striés. Les élytres sont maculés de taches brunes. Les tibias postérieurs sont de la teinte générale du corps. Les ailes sont hyalines, rosâtres ou jaunâtres selon la phase et l'état de maturation sexuelle de l'individu.

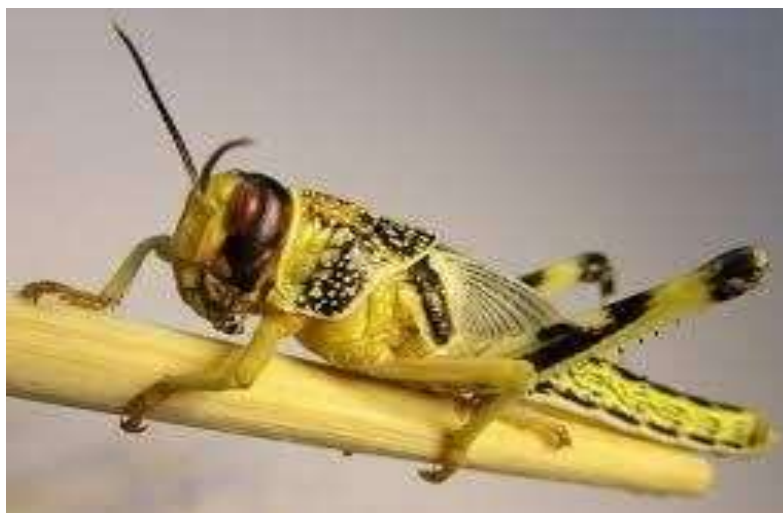


Photo 11 : Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, wikipedia.fr)

Cycle de développement :

Le Criquet pèlerin effectue 2 à 3 générations par an, avec un arrêt de développement facultatif à l'état imaginal (quiescence), qui lui permet de passer de longues périodes sèches. En fonction de la température, les œufs mettent de 11 à 60 jours pour se développer. Les larves grégaires passent par 5 stades mais certaines femelles solitaires et plus rarement les mâles, peuvent doubler le stade 3 (3 bis). Les grégaires effectuent leur développement larvaire en 25 à 50 jours et les solitaires en 30 à 90 jours. Après la mue imaginale, l'imago apparaît. La durée de la période pré-reproductive est très variable selon les conditions écologiques rencontrées. Elle peut durer de 15 jours en saison pluvieuse à 6 mois en saison sèche, période pendant laquelle l'insecte peut parcourir des distances considérables à la recherche de zones encore vertes. Les femelles pondent en moyenne 2 ou 3 fois (plus rarement 4) dans leur vie. La durée globale d'une génération de Criquet pèlerin, solitaire ou grégaire, varie de 2 à 6 mois (Duranton & Lecoq, 1990).

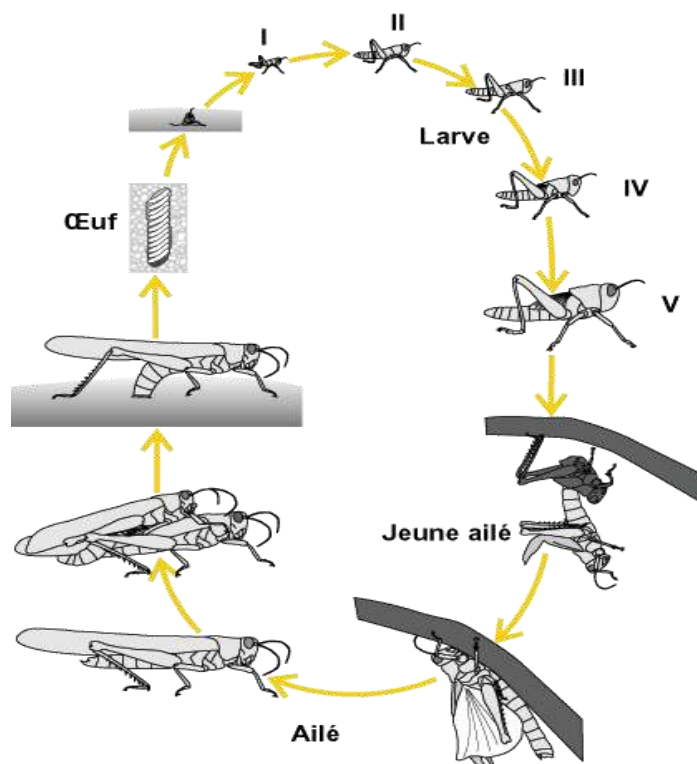


Figure 08 : Cycle biologique du Criquet pèlerin (fao.org)

Dégâts de criquet pèlerin :

Les dégâts causés par le criquet pèlerin peuvent être très importants car chaque adulte consomme chaque jour son propre poids de nourriture c'est-à-dire facilement 2 grammes.

Un simple calcul permet d'évaluer qu'un vol moyen de dix kilomètres carrés (10 km x 1 km) assez dense (200 insectes au mètre carré) peut dévorer en 100 jours 40.000 tonnes de matières végétales vertes.

La nourriture du criquet pèlerin se compose essentiellement de feuilles et de chaumes de graminées, voire même de jeunes infrutescences et des feuilles de toutes les espèces arbustives rencontrées (Acacia, Schouwia, Balanites, Capparis, Combretum, Baobabs, Fromagers, Manguiers, Palmiers...etc.

Le criquet pèlerin n'est pas un gourmet délicat et, dévore tout ce qu'il rencontre. Il lui arrive même de consommer certaines plantes riches en tannin telles que les eucalyptus et d'en crever.

Seule une plante n'est pas consommée, c'est le *Melia azedarach* dont les extraits sont acridifuges.

En ce qui concerne les plantes cultivées, toutes les graminées céréalières sont dévorées gloutonnement et après le passage des essaims il ne reste que les chaumes à moitié dévorés.

Les légumineuses cultivées (arachides, niébés.), les cucurbitacées, malvacées, solanées cultivées subissent le même sort, ainsi que toutes les cultures maraîchères (par A. MALLAMAIRE et J. ROY).

4. *Entomophaga grylli* :

Taxonomie :

Division Entomophthoromycota

Ordre Entomophthorales

Famille Entomophthoracées

Genre Entomophaga

Espèce *E. grylli*

Nom binomial : *Entomophaga grylli* (Fresenius)

E. calopteni ne produit que des spores au repos, qui sont disponibles pour infecter les sauterelles l'année suivante. *E. macleodii* et *E. praxibuli* produisent à la fois des spores au repos et des conidies asexuées. Un grand nombre de conidies sont produites dans des conditions humides et humides, et plusieurs cycles d'infection peuvent alors se produire en une seule saison. Après avoir atterri sur un hôte potentiel, une conidie produit un tube germinatif qui peut se développer à travers la cuticule dans l'hémocèle ; une fois sur place, il produit des protoplastes amiboïdes. Ce sont des cellules sans parois cellulaires et semblent échapper au système immunitaire de l'insecte. Ils se multiplient et tuent l'hôte. Chez certains membres du complexe d'espèces, ils développent des hyphes avec des parois cellulaires et se développent à travers la cuticule, produisant des conidiophores et des conidies infectieuses. Chez ces derniers et d'autres membres du complexe d'espèces, ils ont également un stade intermédiaire produisant des spores de repos avec des parois cellulaires.

Une fois que le cadavre de l'insecte est tombé au sol, les spores au repos hivernent dans le sol. Une partie d'entre eux germent au printemps, produisant d'autres spores qui sont éjectées de force du sol, se posant sur une végétation basse où elles entrent en contact avec des sauterelles. Ils pénètrent à travers la cuticule, prolifèrent et se développent rapidement, l'insecte infecté mourant en une semaine environ. À un stade avancé de la maladie, un individu infecté grimpe au sommet d'une plante et meurt avec ses membres agrippant la tige et sa tête pointant vers le haut. Certaines spores au repos restent dormantes dans le sol pendant deux ans ou plus. Des flambées épizootiques de maladie dans les populations de sauterelles en Amérique du Nord ont été attribuées à *E. grylli*, mais sont généralement localisées et sporadiques plutôt que généralisées. On leur attribue la fin de nombreuses épidémies d'espèces de sauterelles au cours des décennies.

Utilisation d'*Etmophaga grylli* en lutte biologique :

Dans l'ouest du Canada et l'ouest des États-Unis, on estime que les sauterelles causent plus de 400 millions de dollars de dommages économiques chaque année aux cultures et aux parcours. De 1986 à 1992, un programme intégré de lutte antiparasitaire a été lancé par le Département de l'agriculture des États-Unis et le Service d'inspection sanitaire des animaux et des végétaux pour tenter de contrôler le nombre de sauterelles sans utiliser de grandes quantités d'insecticide. L'inclusion du complexe *E. grylli* dans le programme a été étudiée. Un inconvénient de son utilisation est que le champignon ne peut pas être produit en masse et son efficacité dépend des conditions météorologiques (plus de sauterelles sont infectées dans des conditions chaudes et humides).

Les tentatives de lutte contre les sauterelles avec ce champignon ont été largement inefficaces ; les insectes peuvent être infectés avec succès en leur injectant le pathogène, mais l'introduction de pathotypes nord-américains en Australie et vice versa n'a pas permis d'établir des infections à long terme. L'agent pathogène a un potentiel de lutte biologique contre les sauterelles, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires.

5. *Bacillus thuringiensis* :

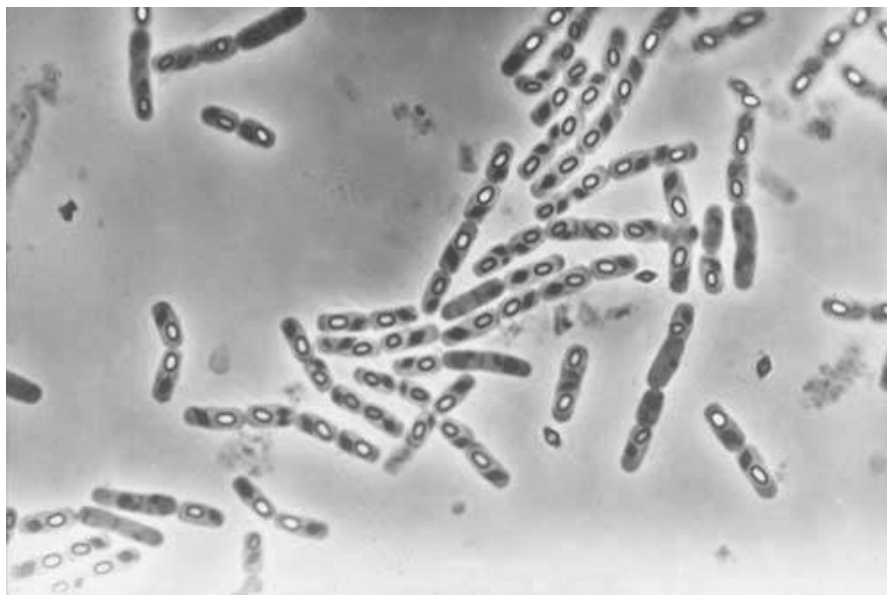
Taxonomie :

<u>Règne</u> :	Bacteria
<u>Embranchement</u> :	Firmicutes
<u>Classe</u> :	Bacilli
<u>Ordre</u> :	Bacillales
<u>Famille</u> :	<u>Bacillaceae</u>
<u>Genre</u> :	<i>Bacillus</i>

Espèce : *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915)

Bacillus thuringiensis (*B. thuringiensis*) est une bactérie aérobie Gram positif en forme de bâtonnet. Elle se caractérise par la production d'un cristal protéique lors de sa sporulation. Durant sa phase végétative (active), *B. thuringiensis* a une longueur de 5 µm et une largeur de 1 µm et est pourvue de flagelles. *B. thuringiensis* est une bactérie ubiquitaire, ce qui signifie que l'on peut la retrouver un peu partout dans la nature ; que ce soit dans le sol, sur le feuillage, dans l'eau et même dans l'air. Elle fait partie du groupe *Bacillus cereus* qui comprend six espèces dont *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus pseudomycoides* et *Bacillus weihenstephanensis*. C'est d'ailleurs par son inclusion parasporale sous la forme d'un cristal protéique que l'on distingue formellement *B. thuringiensis* de *Bacillus cereus* (Glare et O'Callaghan 2000). Ce cristal protéique, essentiellement composé de delta-endotoxines, regroupe les protéines Cry et les protéines Cyt. Ces protéines représentent environ 20 % de la composition en protéines de la bactérie lors de la sporulation (Aronson 2002). Ces protéines, notamment les protéines Cry, possèdent une action cytotoxique spécifique contre certains insectes nuisibles, dont les coléoptères (coccinelles), les lépidoptères (papillons) et les diptères (mouches). On retient trois applications majeures concernant cette bactérie. D'abord, la bactérie sert à contrôler les insectes défoliants en foresterie. Elle est également utilisée pour le contrôle des insectes vecteurs de maladies microbiennes. Finalement, on s'en sert pour fabriquer certaines plantes transgéniques résistantes à plusieurs espèces d'insectes. *B. thuringiensis* est le bio-insecticide le plus utilisé à travers le monde puisqu'il représente un moyen efficace et écologique pour contrer les insectes nuisibles. Le mode d'action des delta-endotoxines est bien connu. Ainsi, lors de l'ingestion des cristaux protéiques par l'insecte, ceux-ci sont solubilisés par le pH alcalin de son intestin. Par la suite, les protéines Cry se lient aux récepteurs des cellules épithéliales de la membrane de l'intestin et forment des pores dans cette

dernière, ce qui conduit à la mort de l'insecte. On retrouve *B. thuringiensis* partout à travers le monde ce qui permet d'isoler un grand nombre de souches et de protéines Cry différentes pouvant avoir un intérêt scientifique et commercial pour ces trois grandes applications.



**Figure 09 : *Bacillus thuringiensis*, spores (en clair) et cristaux (en foncé)
(Photo INRA)**

L'utilisation de le *Bacillus thuringiensis* (B.t.) en lutte biologique :

Les vertus entomotoxiques de *Bacillus thuringiensis* ont suscité un intérêt agricole, sylvicole et commercial dès les années 1920 (avec des essais de lutte biologique conduits en Hongrie) et dans les années 1930 (en Yougoslavie) afin de contrôler des insectes (Lépidoptères notamment). Cet intérêt s'est renouvelé - de manière bien plus marquée - à la fin du XX^e siècle avec le développement du génie génétique et de l'agriculture biologique.

Les premières applications de *Bacillus thuringiensis* dans l'environnement dateraient de 1933.

Il a ensuite été utilisé dès les années 1950 dans les forêts, les champs et les vignobles. Jusqu'au milieu des années 1970, sa principale application était la lutte contre les lépidoptères défoliateurs dans les forêts et certains papillons parasites des grandes cultures, du maïs notamment (Lambert and Peferoen 1992).

Partie Bibliographique

En 1976, la découverte de deux sérotypes dits *israelensis* (« Bti ») et *tenebrionis* (Btt) a permis l'ouverture de nouveaux marchés, grâce à une action larvicide sur les moustiques, les simules et les coléoptères (Goldberg and Margalit, 1977; Krieg, Huger et al., 1983).

Aujourd'hui la bactérie *Bacillus thuringiensis* est l'insecticide le plus utilisé au monde en agriculture biologique.

Ce produit, lorsqu'il est d'origine naturelle, est autorisé en agriculture bio, sous forme de poudre.

La toxine *Bacillus thuringiensis* (Bt) est également utilisé dans des OGM (maïs Bt, Coton Bt, etc.) ce qui a permis de remplacer les insecticides chimiques dans une large gamme de cultures bien que des souches de ravageurs des cultures devenues résistantes au Bt commencent à poser problème.

Chapitre II : Présentation générale de la région d'étude

1. Présentation de la circonscription des forêts de Télagh :

Issue de la réorganisation de l'année 1997, la circonscription des forêts de Telagh s'étend sur les territoires des daïras de Telagh et Moulay Slissen. Elle est distante de 50 Km au sud du chef-lieu de la wilaya et couvre une superficie forestière de 47749 Ha. Elle est composée de 15 forêts domaniales de tailles variant de 213 Ha à 12200 Ha soit en totalité ou en partie suivant le découpage administratif. Elle est répartie en trois districts et huit triages.

Daïra de Telagh :

Le territoire forestier est constitué de deux districts :

- ❖ District de Telagh : regroupe la totalité du forêt de Khodida, la totalité de l'ex forêt communale de Refas en cours d'intégration, une partie du forêt de Touazizine, une partie du forêt de Zegla, une partie du forêt de Toumiet sud et une partie du forêt de Takrouma. Le territoire couvre une superficie globale de 32701 Ha dont 12101 Ha de forêts répartie en trois triages :
 - Triage de Telagh N° 06.
 - Triage de Dhaya N° 07.
 - Triage de Tamelaka N° 08.
- ❖ District de Teghalimet : constitué de la totalité du forêt de Bouyettas Sud, du forêt communal soumise du djebel de Teghalimet, la totalité du forêt de Toumiet Nord, la totalité du djebel el Kerroucha et El Koudiat el Hamra récemment intégrées dans le domaine national forestier à Mezaourou. Le territoire du district couvre une superficie globale de 35189 Ha dont 12235 Ha de forêts répartie en deux triages distincts :
 - Triage de Teghalimet N°04.
 - Tirage de Mezaourou N°05.

Daïra de Moulay Slissen :

Le territoire forestier est constitué d'un seul district :

- ❖ District de Moulay Slissen : le territoire regroupe la totalité du forêt de Moulay Slissen, une partie du forêt de Toumiet Sud, une partie du forêt de Toumiet Nord et une partie du forêt de Touazizine au Sud. Le territoire du district couvre une superficie de 36432 Ha dont 23413 Ha de forêts réparti en trois triages :
 - Triage de Moulay Slissen N°01.
 - Triage d'El Hoçaiba N°02.

- Triage d'Ain Tendamine N°03.

2. situation géographique :

La forêt de Khodida constitue la couverture végétale du Djebel dont elle porte le nom. La ville du Télagh lui fait limite de sa partie Ouest et longe dans la direction Est la route menant de Saida.

Elle est traversée par le chemin reliant Teghalimet à Merine. La partie Ouest du forêt se trouve inscrite dans un triangle fermé par les axes routiers Télagh, Teghalimet, Merine.

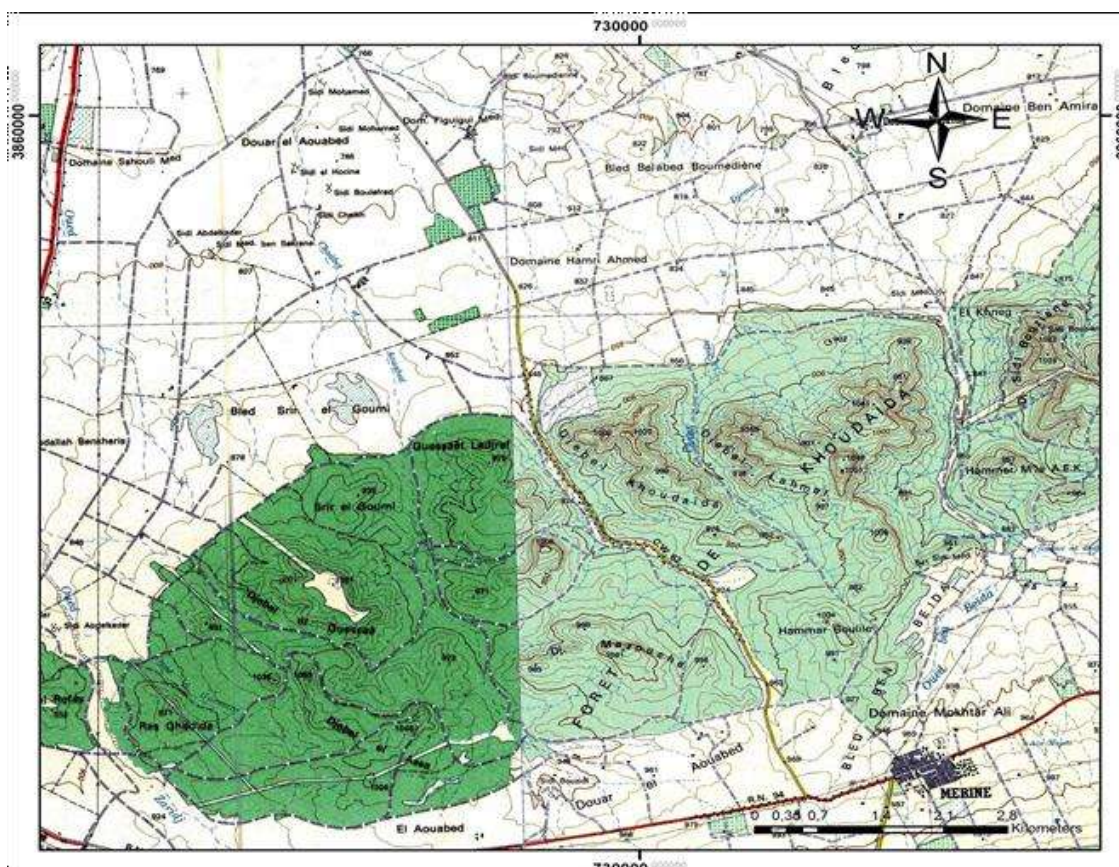


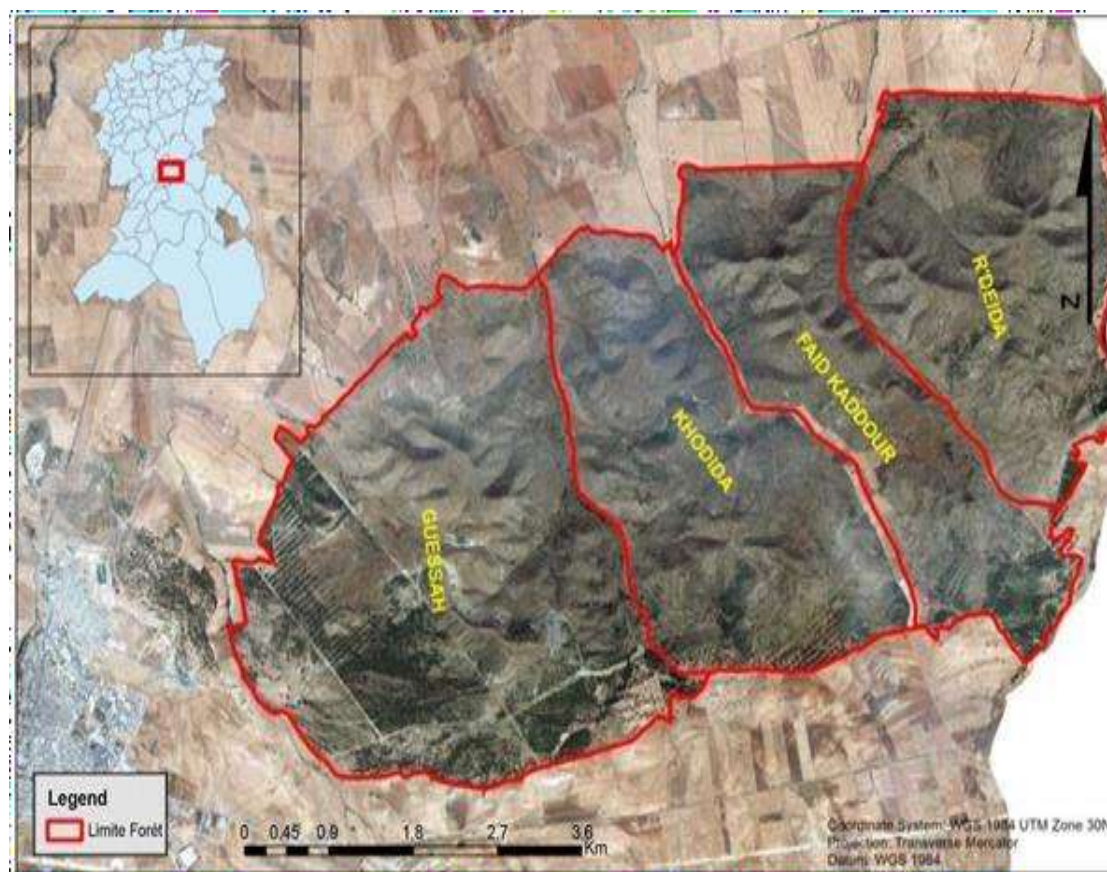
Figure 10 : Carte de localisation de Khoudida (Bachir Boudjra ; 2020)

3. Situation administrative :

La forêt de Khoudida appartient à la commune du Télagh, Daira de Télagh. Elle est gérée par la circonscription des forêts du Télagh, sous-direction des forêts de Sidi Bel Abbes.

4. Superficie et limites :

- Superficie : la forêt occupe une superficie de 4226 Ha, elle groupe deux cantons qui sépare l'axe Téghalimet, Merine :
 - Série I : Canton Guessaa= 2477 Ha.
 - Série II : Canton Faïd Kaddour à Zid el Moumen= 1749 Ha.



**Figure 11 : Délimitation des cantons de la forêt domaniale de Khoudida
(Bachir Boudjra ; 2020)**

- Limite : la forêt de Khoudida est limitée :
 - Au Nord par la commune de Téghalimet.
 - Au Sud par la commune de Merine.
 - À l'Ouest par la daïra de Télagh.
 - À l'Est par la forêt domaniale de Zid El Moumen.

5. Situation topographique :

L'alignement des sommets en direction sud-ouest et nord-est correspond aux djebels (El Guessaa-Khoudida et Redaida) en prolongement à l'est (El Remailia) l'ensemble est entrecoupé de Chabets en disposition parallèles et perpendiculaire à la ligne de crête. Le relief est de se fait accidenter, le point culminant de la forêt est de 1070 m correspond au sommet de djebel El Guessaa.

6. Climat :

D'après le coefficient pluviométrique d'Emberger, la forêt de Khoudida est sous l'influence du climat semi-aride avec deux sous étages :

- Le semi-aride froid : occupe presque la totalité du forêt.

Partie Bibliographique

- Le semi-aride frais : localisé dans quelques parties des versants nord-est des djebels Khodida et Redaida.

A/Température : M = 34 _ 36°c (juillet).

m = 0 _ 2°c (janvier).

B/Pluviométrie : varie entre 350 mm et 400 mm.

C/Vents dominants : sont de nord-ouest et du sud (Sirocco).

7.Milieu édaphique :

- ❖ Sol : les sols sont généralement brun-rougeâtre calcaires caractérisés par la présence de carbonate de calcium (Ca CO₃).

8.La flore :

- La végétation essentielle est constituée de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en association avec quelques essences secondaire : le chêne vert (*Quercus ilex*), thuya (*Callitris quadrivalvus*), genévrier oxycèdre (*junipérus oxycèdrerus*).
- Sous-bois Lentisque (*pistacia lentiscus*), Calicotome (*Calicotome spinosa*), Alfa (*Stipa*), Romarin (*Rosmarinus*).



Photo 12: *Pinus halepensis* (jules.segura1.free.fr)

9. La faune :

La forêt est fréquentée par un gibier pauvre en espèces.

Le sanglier et le chacal sont présents en toute saison dans la forêt. Ils occasionnent d'importants dégâts sur les terres de culture.

La perdrix et le lièvre se développent bien, ils font l'objet de prélèvement lors des campagnes de chasse.

La forêt est également fréquentée par la palombe, la caille, et autres oiseaux de passage.

Partie Expérimental

Chapitre III -Matériels et méthodes :

Les données météorologiques en l'occurrence les deux paramètres conditionnant le développement et la croissance des insectes, champignons et bactéries à savoir la température et l'humidité ont été collectés à partir d'un site de modélisation météorologique payante.

Dans ce travail qui nécessite des données sur la température et l'humidité relative de la zone d'étude et le vivant faisant partie de cette configuration.

Concernant les données par rapport à la région de Télagh, nous avons fait la moyenne des températures mensuelles de treize ans de 2007 à 2020.

La station de Télagh est située à 857 m au-dessus du niveau de la mer à 34.78 N et 0.57 O.

Tableau 01 : Station de Télagh altitude 857 m coordonnées 35.03 N et 0.56 O

moyenne	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020
T	13,71	14,71	18,35	21,21	25,54	30,64	32,71	32,5	28,85	25	19,78	16,64
H%	87,14	77,35	77,64	82,35	79,57	65,35	56,07	64,5	74,90	72,78	82	82,5

Pour la configuration du graphe météorologique nous avons utilisé en abscisses le paramètre humidité et en ordonnées le paramètre température. En croisant ces deux derniers nous obtiendrons la structure géométrique du climat pendant ces treize ans. Les données de l'années 2020 sont issues de la modélisation météorologique. Les numéros 1, 2, 3.....etc. Représentent les douze mois de l'année.

Après la réalisation du graphe émanant de la projection de la température et de l'humidité moyenne mensuelle, nous pourrons projeter les données de chaque insecte et microorganisme étudié

Chapitre IV : Résultats et discussion :

Comme nous pouvons le voir dans la l'ossature du graphe se situe dans un intervalle d'humidité au-delà de 60% et de température compris entre 10 et 32 degrés. L'élévation du taux d'humidité est due à l'élévation du massif forestier de Telagh.

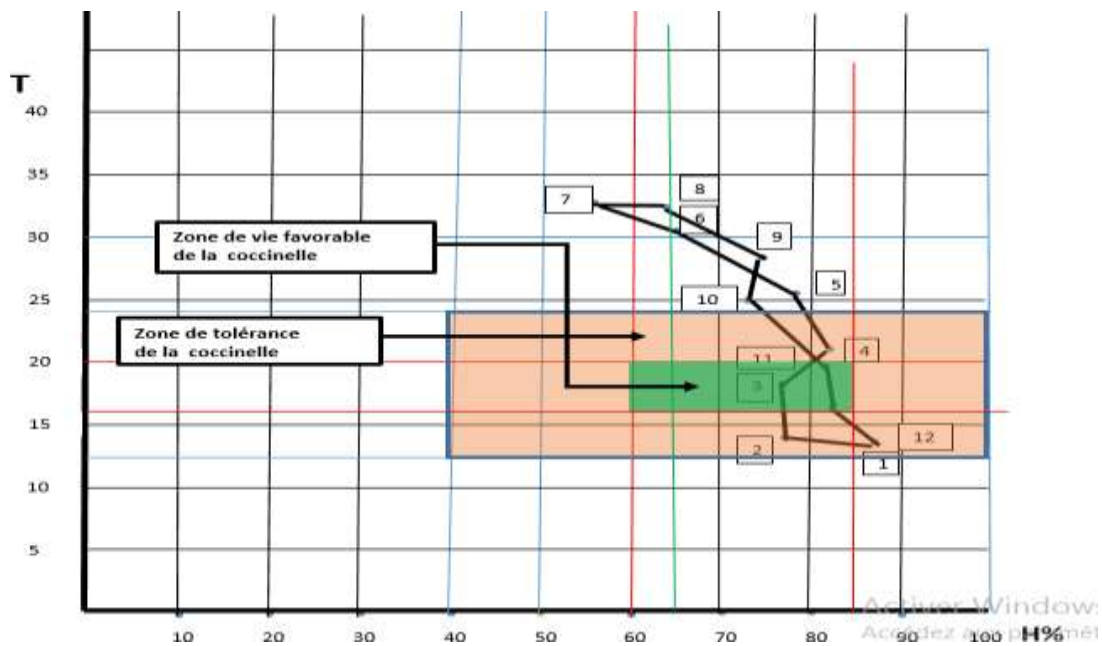
1.La projection des données de température et d'humidité de la coccinelle sur le graphe du climat de la région de Telagh. :

La coccinelle est un insecte de l'ordre des coléoptères, cet insecte est utilisé par l'homme dans le cadre de la lutte biologique comme insecticide naturel contre les pucerons.

L'activité biologique de Cet insecte est conditionnée par deux paramètres importants à savoir la température et l'humidité. Il est caractérisé par deux zones distinctes qui sont la zone de tolérance et la zone de vie favorable. La première se situe dans un intervalle de température de 12,5 degrés à 24 degrés et d'humidité de 40 % à 100 %. Cette zone dite de tolérance est large et offre à l'insecte une vie acceptable mais il peut souffrir surtout dans les limites. Au de là de 24 degrés et en dessous de 12,5 degrés de température et au-dessous de 40 % d'humidité la coccinelle meut.

Dans le graphe ci-dessous, représentant la projection des paramètres de température et d'humidité de l'activité biologique de l'insecte sur le graphe du climat de la région de Telagh, on voit bien que la zone de tolérance est représentée par les mois de Janvier, février, mars, Avril, Novembre et Décembre. La zone de vie favorable se situe dans l'intervalle de température de 16 degrés à 20 degré et d'humidité de 60 % à 85 %. Cette zone dite de vie favorable est restreinte et offre à l'insecte une vie optimale ou ce dernier se sont à l'aise et ne subit pas de stress. Au-delà de 20 degrés et en dessous de 16 degrés de température et au-dessous de 60 % et au-delà de 85 % d'humidité la coccinelle serait contrainte de s'adapter à cette nouvelle situation. La zone de vie favorable est représentée par le mois de décembre,

Mars et Novembre. Donc si on veut introduire la coccinelle dans le cadre de la lutte biologique contre les pucerons on doit obligatoirement faire cette opération durant les mois cités ci- dessus



Graph (01) de la projection des données de température et d'humidité de la coccinelle sur le Climat de la région de Télagh.

*Les numéros 1, 2, 3.....ect. Représentent les douze mois de l'année.

2- La projection des données de température et d'humidité des criquets migrants (*Schistocerca gregaria*) et (*Locusta migratoria*) sur le graphique du climat de la région de Télagh :

Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), est le ravageur majeur pour de nombreux pays d'Afrique, du Proche et Moyen-Orient. Depuis des siècles, les invasions se sont succédé à un rythme élevé. En superposant les données relatives à la température et l'humidité de deux espèces de criquets à savoir *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*, nous avons pu déceler trois zones distinctes.

- Zone d'Optimum de vie des larves du criquet (*Schistocerca gregaria*)

Elle se situe dans un intervalle de température compris entre 30,5 degrés et 39 degrés et d'humidité de 49 % à 54 %. Nous constatons que cette zone de vie favorable n'appartient pas à la configuration climatique de Télagh (ne sont pas superposables) sauf en mois de juillet. Ce qui revient à dire que les conditions climatiques qui règnent dans la région de la moyenne montagne de Télagh ne convient nullement au développement larvaire du *Schistocerca gregaria*.

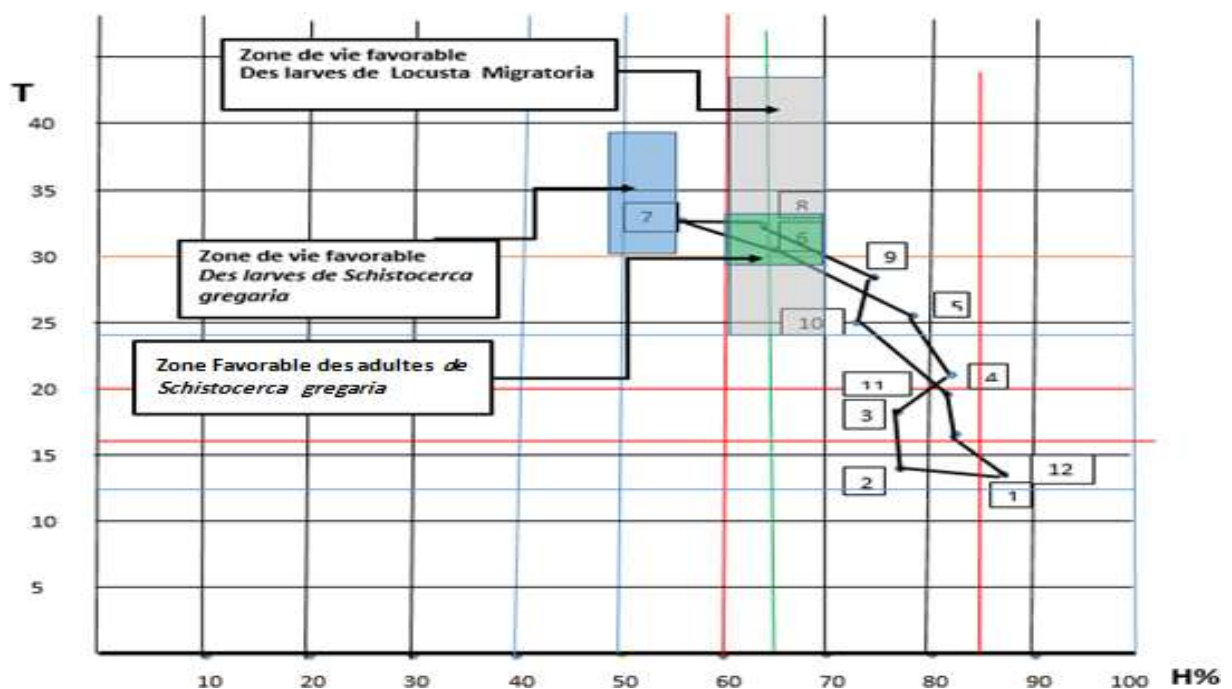
Partie Expérimental

- Zone de l'optimum de vie des criquets adultes (*Schistocerca gregaria*)

Elle se situe dans un intervalle de température compris entre 29 degrés et 33 degrés et d'humidité de 60 % à 70 %. Nous pouvons constater que la zone de vie favorable du criquet adulte *Schistocerca gregaria* est en partie superposable sur la configuration spatiale des données climatiques mensuelles de la région de Télagh. Deux mois sont concernés par cette superposition et sont les mois de Juin et Aout ce qui montre que cette espèce est thermophile.

- Zone d'Optimum de vie des larves du criquet **migrateur** (*Locusta migratoria*)

Elle se situe dans un intervalle de température compris entre 23,9 degrés et 43,3 degrés et d'humidité de 60 % à 70 %. Nous pouvons constater que la zone de vie favorable du criquet adulte *Schistocerca gregaria* est en partie superposable sur la configuration spatiale des données climatiques mensuelles de la région de Télagh. Comme chez les adultes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* trois mois sont concernés par cette superposition et sont le mois de juin, Aout et Octobre. Au-delà de ces limites les larves de ce criquet souffrent et meurent. Il est à signaler aussi qu'au-delà 43 degrés le criquet montre du gène à 50 degrés il devient paralysé et au de-là de 51 degrés il meurt.

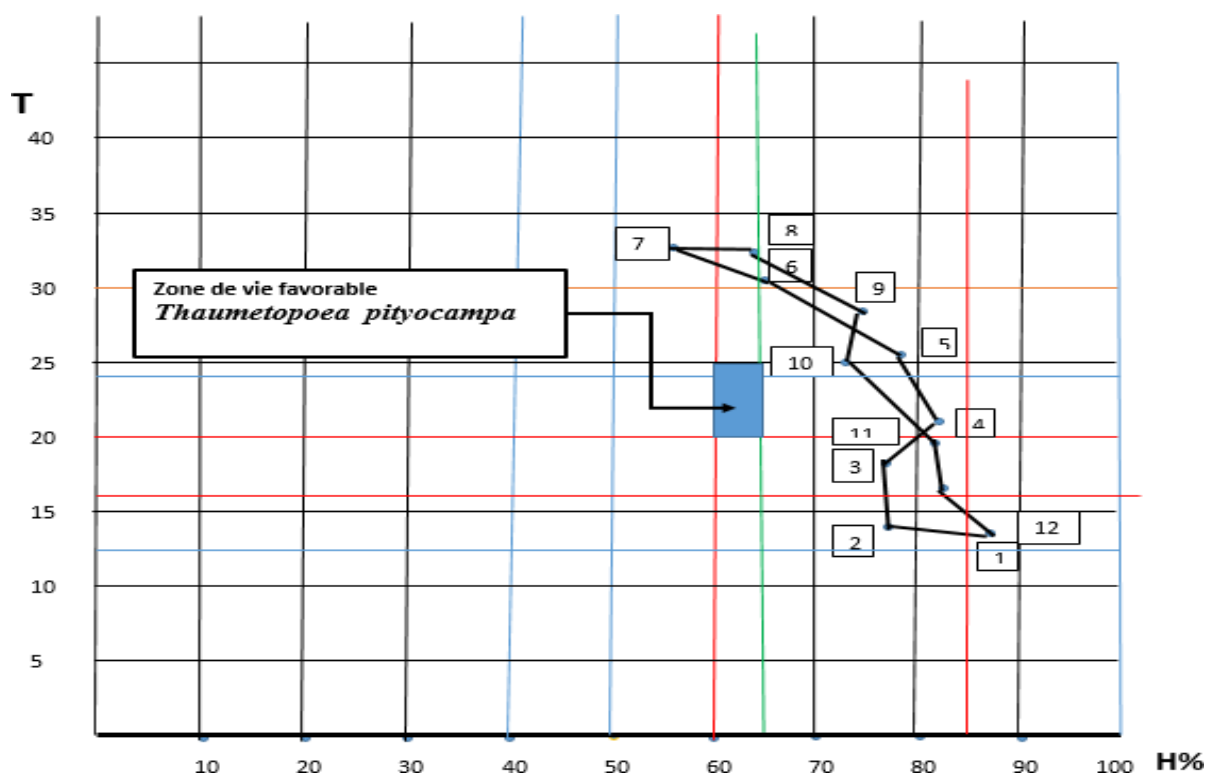


Graph (02) de la projection des données de température et d'humidité des criquets migrants (*Schistocerca gregaria*) et (*Locusta migratoria*) sur le climat de la région de Télagh.

*Les numéros 1, 2, 3.....ect. Représentent les douze mois de l'année.

3. La projection des données de température et d'humidité de la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) sur le graphe du climat de la région de Télagh :

La chenille processionnaire du pin peut être responsable de l'affaiblissement considérable de ce résineux. Appelée chenille défoliatrice du pin ou chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*), ce lépidoptère extrêmement urticant est un parasite dont on ne peut prévoir les assauts. La chenille processionnaire attaque les aiguilles des résineux comme le pin et bien d'autres conifères. Nous pouvons constater dans notre étude que la Zone de vie favorable de la chenille du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) caractérisée par un intervalle de température allant de 20 à 25 degrés et d'humidité allant de 60 à 64 % n'est pas superposable sur la configuration spatiale des données climatiques mensuelles de la région de Télagh, bien sûr, dans ce travail nous n'avons pas pris en considération l'amplitude thermique qui représente un facteur important dans le cycle biologique de l'espèce.



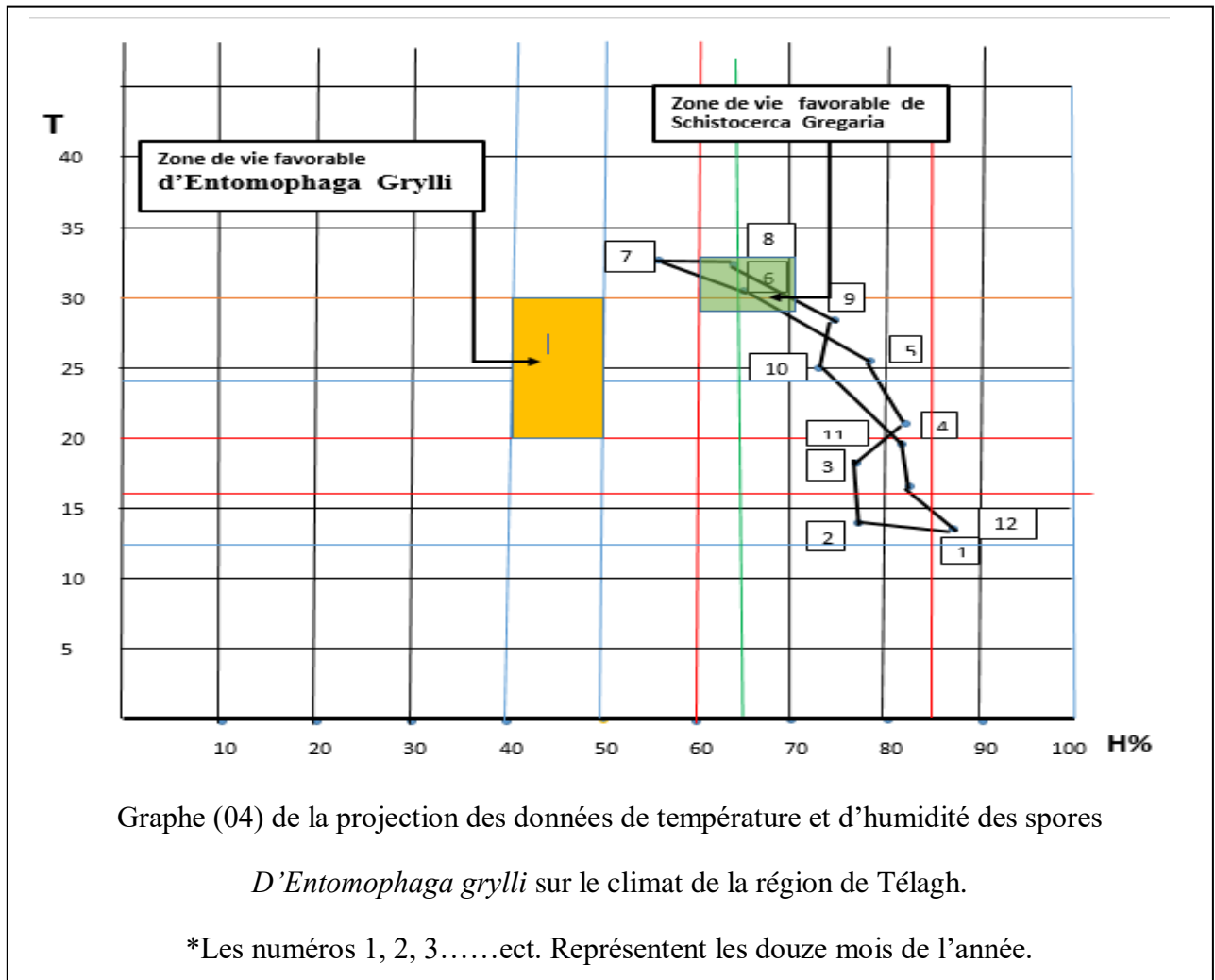
Graphe (03) de la projection des données de température et d'humidité de la chenille Processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) sur le climat de la région de Télagh.

*Les numéros 1, 2, 3.....ect. Représentent les douze mois de l'année.

4. La projection des données de température et d'humidité des spores d'*Entomophaga grylli* sur le graphe du climat de la région de Télagh :

Les acridiens tout comme les autres groupes d'insectes sont victimes d'ennemis naturels comprenant, outre les insectes eux-mêmes, des microorganismes tels que les bactéries, les virus, les sporozoaires et les champignons. Il est de plus en plus question de recourir à ces organismes naturels pour le contrôle des ravageurs des cultures dans une optique globale de lutte intégrée. Dans ce contexte, les champignons apparaissent comme les agents les plus potentiellement intéressants dans la lutte contre les criquets et les locustes compte tenu de certaines caractéristiques qui leur sont propres (Prior et Greathead, 1989). L'une des caractéristiques du champignon est qu'il ne se développe pas sur les milieux artificiels de culture. Il se comporte en effet comme un parasite obligatoire. En outre, les conditions d'infection artificielle des criquets et la survie des organes infectieux du champignon dans l'environnement sont loin d'être élucidées. Il est l'hôte de divers ennemis naturels parmi lesquels le champignon *Entomophaga grylli* lui cause d'importantes épizooties et est considéré comme le principal facteur de régulation naturelle de l'insecte.

Nous pouvons constater dans notre étude que la Zone de vie favorable de la vitalité des spores d'*Entomophaga grylli* caractérisée par un intervalle de température allant de 20 à 30 degrés et d'humidité allant de 40 à 50 % n'est en pas superposable sur la configuration spatiale des données climatiques mensuelles de la région de Télagh. Si nous superposons l'hôte qui est le criquet *Schistocerca gregaria* qu'en a déjà projeté dans le graphe (02). Et dont il se situe dans un intervalle de température compris entre 29 degrés et 33 degrés et d'humidité de 60 % à 70%. Sur le graphe numéro (04), nous pouvons voir que les zones de vie favorable de l'hôte (criquet) et du parasite (champignon) sont complètement différents, c'est-à-dire que la lutte biologique par l'utilisation du champignon d'*Entomophaga grylli* contre le criquet *Schistocerca gregaria* dans la zone de Télagh va être vouée à l'échec



5. La projection des données de température et d'humidité de la bactérie *Bacillus Thuringiensis* sur le graphe du climat de la région de Tèlagh :

Les surfaces forestières algériennes n'ont pas échappé à l'attaque de divers groupes de xylophages particulièrement les scolytes qui y trouvent un milieu favorable à leur évolution. Les populations de ces insectes sont conditionnées en général par le climat méditerranéen de tendance xérothermique et par le régime irrégulier des pluies (SALHI, 2000).

Les retombées économiques des dégâts sont très importantes. La diversité et l'abondance de certaines espèces entraînent le plus souvent le dépérissement des peuplements forestiers. Ces insectes interviennent, soit comme agresseurs primaires, soit le plus souvent comme agresseurs secondaires, aggravant ainsi l'état de peuplements déjà à capacités de réaction amoindries. Les scolytes des conifères ont une même aptitude à sélectionner l'arbre hôte.

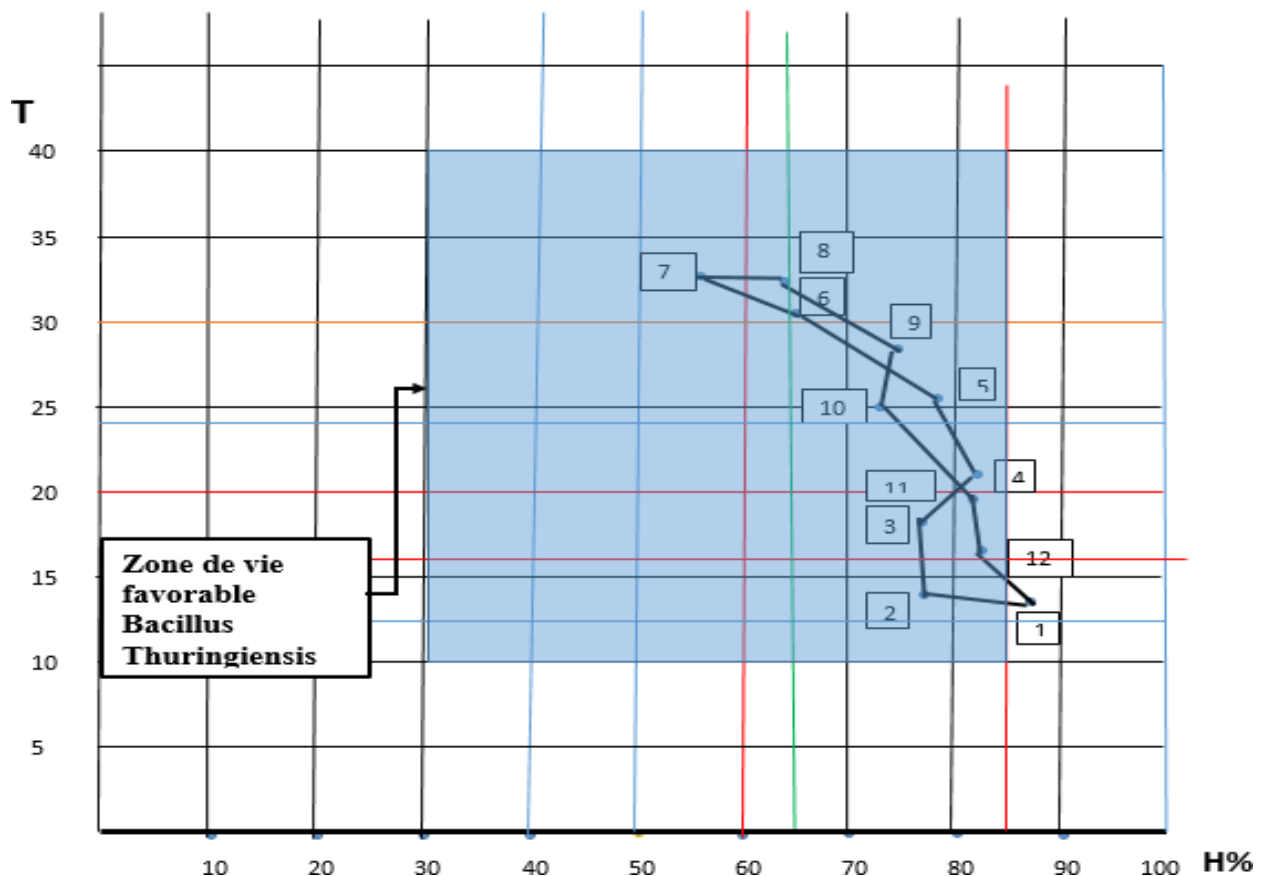
Ce processus est conditionné par la présence de constituants végétaux particuliers, terpènes, sesquiterpènes et alcools terpéniques qui exercent une action spécifique sur certaines

Partie Expérimental

espèces (CHARARAS, 1982). Le stress hydrique est dans la majorité des cas la cause de l'affaiblissement des arbres et se trouve donc presque toujours à l'origine des attaques des scolytes en général.

Les mécanismes des perturbations physiologiques induites par ce stress jouent un rôle important dans l'installation des scolytes (LIEUTIER et LEVIEUX, 1985)

La zone de vie favorable de *Bacillus Thuringiensis* se situe dans un intervalle de température compris entre 10 degrés et 40 degrés et d'humidité de 30 % à 85 %. Nous constatons que cette zone de vie favorable appartient à la configuration climatique de Télagh (sont superposables). Ce qui revient à dire que les conditions climatiques qui règnent dans la région de la moyenne montagne de Télagh convient au développement de cette bactérie utilisée comme bio-insecticide contre les larves des lépidoptères en particulier le scolyte qui cause des dégâts importants dans la forêt de Télagh. A l'exception du mois de janvier.



Graph (05) de la projection des données de température et d'humidité de la bactérie *Bacillus Thuringiensis* sur le climat de la région de Télagh.

*Les numéros 1, 2, 3.....ect. Représentent les douze mois de l'année.

Conclusion

Conclusion :

La forêt algérienne abrite une diversité biologique significative. Plusieurs organismes (insectes, plantes, champignons ...) interagissent directement ou indirectement avec les arbres vivants et constituent des éléments naturels et intégraux des écosystèmes. (SEIGUE, 1985).

L'environnement contrôle le cycle biologique de ces êtres vivants par le biais d'une multitude de facteurs.

A travers cette étude nous avons pu vérifier la compatibilité des données climatiques relatives à la coccinelle, *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria*, *Thaumetopoea pityocampa*, *d'Entomophaga grylli* et *Bacillus Thuringiensis* avec les données climatiques de la région de la moyenne montagne de Télagh. En effet dans le cadre de la lutte biologique il est nécessaire si non indispensable de connaître non seulement la température et l'humidité relative de l'air qui règnent dans cet écosystème de montagne mais aussi de connaître les zones de la vie favorable et la zone de tolérance qui caractérisent chaque être vivant que ce soit végétale ou animal. Bien sur ces deux intervalles sont issus de la combinaison de la température et de l'humidité dans des conditions expérimentales. La projection de ces données sur le graphe du climat de la région de Télagh nous a donné une idée claire sur la possibilité et l'efficacité de procéder à une lutte biologique.

Il est important de signaler le manque flagrant des données concernant les espèces d'insectes inféodés dans notre zone d'étude. En effet initialement nous voulions travailler sur le scolyte qui fait des ravages sur le pin d'Alep dans cette région, mais vu la carence si non l'absence des données expérimentaux sur cet insecte, nous l'avons écarté de cette contribution, cela dit cette constatation nous a ouvert les champs pour développer d'autres ébauches d'études à caractère expérimentale sur le scolyte.

Référence
Bibliographique

ANONYME, (2009). Statistiques agricoles 2009. Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural (MADR).

JULIERIVIERE., 2011 - les chenilles processionnaire du pin : évaluation des enjeux de santé animale, 15P.

JEAN-CLAUDE MARTIN., 2007 «la chenille processionnaire du pin », futura - sciences[Enlingne].<http://www.futurasciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie-chenille-processionnaire-pin-700/>.

MARTIN J.C., 2005-La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon. [en-ligne] [<http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/index.xsp>].

DAJOZ R., 1998, Les insectes et la forêt. ed. Lavoisier Tec&Doc. 594 p. Paris.

BURJERON A., 1972, Étude des facteurs responsables du rythme nyctéméral de la prise alimentaire des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Et des conséquences sur la virose cytoplasmique. Ann. Zool. -Écol. Anim. 4(3) : 353- 366.

DÉMOLIN G., 1967b, Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver -activité de tissage. C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. Pp 69- 77.

DÉMOLIN G., 1969a, Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. Ann. Sci. Forest. 26(1) :81-102.

DÉMOLIN G., 1969b, Bioecología de la processionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climáticos. Bol. Serv. Plagas Forest. 23 : 9-24.

DÉMOLIN G., 1969c-La processionnaire du pin. Note d'information sur la biologie et sur les techniques de lutte.

DÉMOLIN G., 1971, Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera) pendant la période des processions de nymphose –Répercussion sur l'efficacité des parasites. Ann. Zool. -Écol. Anim. Hors-série :33-56.

MARKALAS S. 1989. Influence of soil moisture on the mortality, fecundity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). J. Appl. Ent. 107 : 211- 215.

BATTISTI A., STASTNY M., NETHERER S., ROBINET C., SCHOPF A., ROQUES A., LARSSON S., 2005, Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecol. Applicat.*,15(6), 2084-2096(. consulté le 29 février 2016).

HOCH, G., TOFFOLO, E.P., NETHERER, S., BATTISTI, A., & SCHOPF, A., 2009-Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*,11, 313 -320.

BUFFO E., BATTISTI A., STASTNY M., LARSSON S., 2007, Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agr.For.Entomol.* [Online] 9(1), 65 -72. [[Http://onlinelibrary.wiley.com](http://onlinelibrary.wiley.com)].

LEBLOND A., MARTIN J.C., PROVENDIER D., GUTLEBEN C., ROBINET C., NAPOLEONE C., 2010-Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. *Enquête nationale –guide technique.* [en-ligne] Angers (Fr): Plante et Cité, 25p.[<http://www.prodinra.inra.fr>].

DURANTON, J.-F. & LECOQ, M., 1990. - Le Criquet pèlerin au Sahel. - Coll. : Acridologie opérationnelle, n° 6 - CILSS-DFPV / Ministère des Affaires Étrangères des Pays-Bas / CIRAD-GERDAT-Prifas : Niamey / La Haye / Montpellier. - 183 p

LAMBERT, B. AND M. PEFFEROEN (1992). "Insecticidal Promise of *Bacillus thuringiensis*." *Bioscience* 42(2) : 112-122.

GOLDBERG, L. J. AND J. MARGALIT (1977). "Bacterial Spore Demonstrating Rapid Larvicidal Activity against *Anopheles-Sergentii*, *Uranotaenia-Unguiculata*, *Culex- Univitattus*, *Aedes-Aegypti* and *Culex-Pipiens*." *Mosquito News* 37(3) : 355-361.

KRIEG, A., A. M. HUGER, ET AL. (1983). "*Bacillus thuringiensis* Var *Tenebrionis*, a New Pathotype Effective against Larvae of Coleoptera." *Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie-Journal of Applied Entomology* 96(5) : 500-508.

GLARE, T. R, O'CALLAGHAN, M. (2000) "*Bacillus thuringiensis* : Biology, ecology and safety" Chichester ; New York : John Wiley, U.S.A., pp. 2-80

ARONSON, A (2002). "Sporulation and delta-endotoxin synthesis by *Bacillus thuringiensis*." *Cellular and molecular life sciences : CMLS* 59(3) : 417-425.

A. MALLAMAIRE ET J.ROY,

Référence Bibliographique

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiqtXg7v_rAhUpYIUKHVwEAQwQFjADegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F39894351.pdf&usg=AOvVaw1a7K93obxrUSDmdn8GqTtp

LAMBERT, B. AND M. PEFEROEN (1992). "Insecticidal Promise of Bacil/us-Thuringiensis." Bioscience 42(2) : 112-122.

GOLDBERG, L. J. AND J. MARGALIT (1977). "Bacterial Spore Demonstrating Rapid Larvicidal Activity against Anopheles-Sergentii, Uranotaenia-Unguiculata, CulexUnivitattus, Aedes-Aegypti and Culex-Pipiens." Mosquito News 37(3) : 355-361.

KRIEG, A., A. M. HUGER, ET AL., (1983). "Bacil/us-Thuringiensis Var Tenebrionis, a New Pathotype Effective against Larvae of Coleoptera." Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie-Journal of Applied Entomology 96(5) : 500-508.

FAO– L'observatoire acridien pour le Criquet pèlerin

www.fao.org/news/global/locusts/locuhome.htm

LE POINT SUR LA SITUATION DU CIQUET PELERIN. *Fréquemment réactualisé par le groupe acridien de la FAO.*

FAO – CLCPRO. www.clcpro-empres.org.

La commission de lutte contre le criquet pèlerin dans la région occidentale.

www.meteoblue.com.

www.wikipedia.com.