

**Projet de recherche et communication scientifique :**  
**Stage d'été d'initiation à l'étude des relations plantes - insectes Peyresq 2008**  
**Rapport de Loïc DOHET**

**Introduction**

Il est de fait que les structures anatomiques et mécanismes biochimiques actuels présents chez les plantes et les insectes découlent d'une évolution, comme pour tout être vivant, à travers les temps géologiques. Le célèbre livre « L'origine des espèces » de Charles Darwin, publié en 1859, est le premier grand ouvrage qui non seulement traite d'une évolution possible des espèces avec le temps, mais surtout propose le moteur de la sélection naturelle à celle-ci. Bien que certains points restaient inexpliqués dans la théorie de Darwin – chose qu'il souligne lui-même –, comme les mécanismes de transmission des 'variabilités individuelles' à la descendance, cet ouvrage pose les fondements de la théorie actuelle de l'évolution.

Il est désormais tout aussi évident pour les scientifiques que ces mêmes structures et mécanismes découlent, entre fleurs entomogames et insectes pollinisateurs, d'une longue coévolution dont le résultat présent est observable. Selon Wikipédia francophone, Leigh Van Valen a modélisé les processus coévolutifs sous le nom de théorie de la reine rouge (1973) [citer le passage d'« Alice au pays des merveilles »], basée sur une probabilité constante d'extinction des espèces au cours des temps géologiques, et postulant que l'effort d'adaptation serait toujours à recommencer étant donnée la modification permanente de l'environnement des espèces (coévolution antagoniste, comme les conflits sexuels). Quant à eux, les travaux de Thierry Lodé sur les conflits sexuels (*La guerre des sexes chez les animaux, une histoire naturelle de la sexualité*, 2006) ont mis en évidence les processus de coévolution antagoniste. Wikipédia anglophone annonce de son côté que Sims Karl et Hillis Daniel, à travers la création de 'créatures virtuelles', ont utilisé des « algorithmes coévolutifs » (*Evolving virtual creatures*, 1994, et *Evolving 3D morphology and behavior by competition*, 1994).

Une des publications qui intéresse le plus notre présent travail est Gillon Y., 1986, *Coévolution cumulative et coévolution substitutive*, Acta Oecologica, Vol. 7, n°1, p.27-36. L'auteur postule l'existence de coévolutions substitutive et cumulative, la première étant associée à des mécanismes de remplacement (l'exemple présenté par l'auteur est celui du remplacement de facteurs toxiques d'un végétal dont les parties reproductrices se verraient attaquées par des insectes spermophages adaptés aux précédentes défenses) dans le cadre d'une relation de type parasitisme, et la seconde l'étant à un mutualisme : « Dans le cas de mutualisme l'évolution au bénéfice des deux partenaires peut être progressive car elle ne nécessite aucune discontinuité dans le temps. On peut donc parler de *coévolution cumulative* » – par opposition à la coévolution substitutive qui nécessiterait, toujours d'après l'auteur, une discontinuité temporelle, l'alternance des défenses important plus que leur toxicité relative. L'auteur parle d'ailleurs de lui-même du cas qui nous intéresse ici, à savoir la relation – bien entendu de type mutualiste – entre les fleurs entomogames et les pollinisateurs : « Les mécanismes de pollinisation entomogame chez la plante et de récolte du pollen chez l'insecte, en particulier chez les hyménoptères apoïdes, en fournissent les meilleurs exemples. La morphologie, la couleur, l'odeur des fleurs visitées par les abeilles sont étroitement associées à la morphologie (corbeilles des pattes postérieures), au comportement et aux capacités sensorielles (dont la gamme des longueurs d'onde visibles) de ces insectes. » Relevons au passage que « Cette coévolution cumulative mène à l'asservissement des partenaires lorsqu'ils entretiennent des relations réciproques exclusives », et donc à leur interspécificité.

## Objectifs

Dans cette optique de mise en évidence des processus de coévolution, notre expérimentation visait à qualifier et quantifier les relations entre les fleurs entomogames et leurs insectes pollinisateurs. En prenant en considération la publication précédemment citée de Gillon Y., nous allons tenter de vérifier ou infirmer 3 hypothèses reliées à la coévolution plantes entomogames – insectes :

- hypothèse 1 : les fleurs entomogames retardent leur fanaison lorsqu'elles ne sont pas visitées par des insectes,
- hypothèse 2 : les fleurs entomogames qui sont privées d'insectes pollinisateurs augmentent leur attractivité vis-à-vis de ces insectes,
- hypothèse 3 : les insectes pollinisateurs visitent les espèces de fleurs au hasard.

## Matériel et méthodes

### Localisation

Notre stage s'effectuait à Peyresq, petit village du Sud-est de la France proche de la frontière italienne, appartenant au département des Alpes-de-Haute-Provence, commune de Thorame-Haute. Il débutait le 30 juin 2008 pour se clôturer le 9 juillet 2008. Peyresq est situé à 1528 mètres d'altitude et connaît un climat de type méditerranéen, dont le diagramme ombrothermique (figure 1) se reconnaît au croisement caractéristique des courbes de températures et précipitations. Celui-ci met en évidence un été sec (saison où la courbe des précipitations passe sous la courbe des températures), correspondant à une période de stress hydrique pour les plantes (les précipitations ne compensent pas les pertes par évapotranspiration), et un hiver abondant en pluie ou neige.

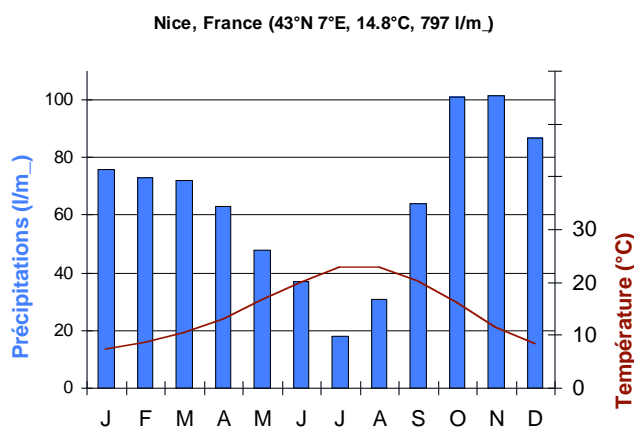


Figure 1 - Diagramme ombrothermique méditerranéen (Nice est à 100 km de Peyresq ; données provenant du site <http://www.ecoles.cfwb.be/icesquaregnon/climats/frclimtypes.html>)

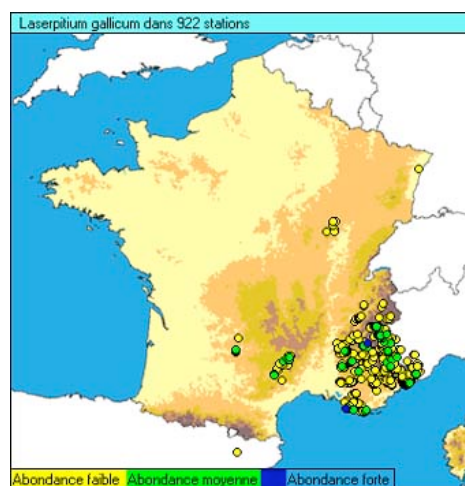


Figure 2 – Carte de l'abondance de *L. gallicum* (tirée du site À fleur de « Pau », 21/09/2008)



Figure 3 - Peyresq (Dohet Loïc, 30.06.2008)

### Plante étudiée

La plante étudiée est *Laserpitium gallicum* L., aussi appelée laser odorant ou laser de France. Elle appartient à la grande famille des Apiaceae (ombellifères), ordre des Apiales, et sa formule florale est  $\% / X K_5 C_5 A_5 \overline{G}_{(2)}^2 1^a$ . Elle fait partie du groupe des Astéridées épigynes (classification APG II, Angiosperm Phylogeny Group (2003)), dans les angiospermes dicotylédones. Elle est vivace, et pousse préférentiellement dans les éboulis, sur falaise et autres milieux pierreux, voire dans des prairies, sur calcaire compact, ce qui explique sa présence régulière le long des routes qui mènent à Peyresq et ses environs. D'après le site *L'herbier de Gabriel*, sa fréquence est assez commune. Le site *À fleur de « Pau »* donne une carte de répartition géographique (figure 2). Ce dernier site indique que cette plante possède des ombelles à 20-50 rayons, et que ses feuilles sont luisantes.

Je précise, avant d'entrer dans de plus amples détails, que mon travail s'axe sur l'anatomie florale de la plante étudiée et qu'un autre travail – celui de mon binôme, Devriendt Benjamin – sera centré sur les pièces buccales des insectes visiteurs.

*Un herbier numérique sur le Pays « Asses, Verdon, Vaire, Var »* (ou *Herbier A3V*) donne les caractéristiques suivantes de la plante. Avec une taille moyenne comprise entre 30 et 80 centimètres, sa répartition verticale varie de 100 à 2000 mètres d'altitude. Sa forme est érigée, et sa période de floraison s'étend de juin à juillet. Elle possède une tige sillonnée et disperse ses graines par anémochorie via des diakènes ailés. Ses fleurs sont de couleur blanche et de symétrie principalement actinomorphe, bien qu'on observe aussi des fleurs à légère symétrie zygomorphe sur la périphérie des petites ombelles (ombellules) par expansion des pétales orientés vers l'extérieur des grandes ombelles. Les pétales sont libres (exception chez les Astéridées), et les fleurs s'organisent en inflorescences de type ombelle composée – aussi appelé ombelle d'ombelles – (c'est une pseudanthie). Les feuilles sont composées, alternes, à nervation pennée réticulée, à pétiole engainant, et sont de forme elliptique, triangulaire-anguleuse ou lancéolée.

Le schéma floral général des ombellifères montre la position des nectaires chez les ombellifères : ce sont des stylopodes, renflements à la base des styles surmontant les carpelles, qui synthétisent le nectar recherché par les insectes pollinisateurs. Il faut toutefois remarquer que certains insectes – dont les apidés – recherchent aussi le pollen sur les fleurs comme source de protéines. Selon Langenberger M. W. et Davis A.R. (2002), il y a dans chaque fleur deux glandes nectarifères à la base des stylopodes, ceux-ci étant situés à l'apex

de l'ovaire infère, qui sécrètent le nectar à travers la surface stomacale. Les ombelles – consistant en l'agrégation des fleurs – constituent autant de lieux d'atterrissage visibles de loin par les insectes, leur permettant d'accéder au nectar et au pollen. En effet le nectar ainsi formé est très accessible aux insectes visiteurs puisqu'il s'accumule à la face supérieure de la fleur, sur le réceptacle et le gynécée, formant ce qu'on appelle le disque nectarifère (voir figure 4), à portée de tout insecte. Cette grande disponibilité du nectar implique l'absence de nécessité de longue trompe, comme chez les papillons, ou de puissante musculature associée à une importante masse corporelle, comme chez les bourdons, alors que d'autres espèces de fleurs requièrent ces pièces buccales et aspects morphologiques spécifiquement. Cet accès aisé au nectar, corrélé à la symétrie globalement actinomorphe des fleurs, permet de comprendre le fait que les principaux pollinisateurs de la plante sont des insectes généralistes (ne butinent pas une fleur spécifique : consomment approximativement autant de chaque ressource accessible). Remarquons enfin que ce nectar ne peut pas s'accumuler indéfiniment, car la structure de la fleur chez les ombellifères ne le permet pas (contrairement aux fleurs en tube).

Globalement, l'état de floraison sur une ombelle est plus avancé en périphérie, ce qui suggère que les fleurs périphériques sont légèrement plus âgées. Selon Mangenot G., Encyclopædia Universalis, le décalage de maturité sexuelle, résultant de la protogynie de la fleur, rend difficile l'autopollinisation.



Figure 4 - Ombelle avec fleurs à nectaires luisant traduisant la probable présence de nectar (Dohet Loïc, 08.07.2008)



Figure 5 - Pied de *Laserpitium gallicum* étudié

## Expérimentation

L'expérimentation en elle-même s'étalait du 1 au 8 juillet. Elle consiste concrètement à choisir 6 inflorescences au même stade phénologique, et ensuite à isoler des butineurs trois de ces inflorescences, dites expérimentales. Les trois autres inflorescences, appelées témoins, restent inchangées au cours de cette manipulation. La comparaison ultérieure des stades phénologiques et de l'attractivité par rapport aux butineurs de ces deux groupes d'inflorescences doit nous permettre d'acquérir des éléments de réponse aux trois hypothèses mentionnées précédemment. Je vais maintenant détailler le processus de cette expérimentation dans les paragraphes qui suivent.

La veille du début de l'expérience, à savoir le 30 juin, nous avons examiné une petite dizaine de spécimens de *L. gallicum* à proximité du village, puis nous avons établi les différents stades phénologiques de celle-ci. Bien que le processus de floraison soit naturellement continu, il est de commodité d'établir ces stades afin de pouvoir définir l'avancement de la floraison à un moment donné et de tester les différences statistiques entre inflorescences choisies aux moments clés de l'expérience. On a utilisé le test de Chi<sup>2</sup> afin de mettre en évidence ces éventuelles différences statistiques entre ces inflorescences (les différents mesures et calculs sont en annexe).

Le 1<sup>er</sup> juillet, nous avons choisi un pied qui semblait en correcte santé et qui ne risquait pas d'être écrasé par la circulation routière ou piétiné par les piétons. Ensuite, nous avons défini à vue d'œil six ombelles dont les fleurs semblaient très proches phénologiquement entre chaque inflorescence, et sur une même inflorescence. Le choix de ces six inflorescences s'est aussi effectué dans le but d'avoir de mêmes expositions au soleil, au vent, et aux pluies, tout en étant directement à portée de vue pour nos observations ultérieures (dans le but de ne pas déranger la faune présente lors de celles-ci). A suivi l'emballage de trois des ombelles après tirage au sort de celles-ci. La méthode utilisée afin de déterminer les inflorescences témoins et expérimentales (emballées) est la suivante : numérotation des six ombelles, et tirage au sort (dans un chapeau) des six numéros qui se voyaient ainsi définis alternativement comme témoin ou expérimental (en commençant par une inflorescence témoin).

Après quoi nous avons vérifié statistiquement la proximité phénologique des fleurs des inflorescences témoins et expérimentales au moyen du test de Chi<sup>2</sup>. Nous avons donc pu emballer les trois inflorescences expérimentales dans du tulle, et ce au moyen de fils de fer s'appuyant sur les tiges de la plante (en essayant d'apporter le moins de modifications visuelles possible aux inflorescences non expérimentales) et d'agrafes. Nous avons aussi placé des étiquettes (jaunes en plastique) sur chaque inflorescence pour définir le numéro d'inflorescence et sa qualité de témoin ou expérimentale.

Le processus expérimental étant lancé, nous avons ramassé et tenté d'identifier une partie des insectes qui se posaient sur *L. gallicum*, en évitant d'effectuer cet échantillonnage intensif sur le pied choisi, et d'autant plus sur les ombelles témoins. Mais il est à considérer qu'étant donné la plante étudiée, sa symétrie florale globalement radiaire et sa grande accessibilité au nectar et au pollen, tant la diversité des groupes d'insectes que celle dans chaque groupe sont importantes. Logiquement, seule une part relative des butineurs a pu être capturée, identifiée et même observée sur le temps d'étude. Ce rapport (et en particulier celui de Devriendt B. axé sur les insectes) ne se veut donc pas exhaustif en termes de diversité d'insectes visiteurs, mais tente de refléter au mieux ce qui a été observé durant le stage.

La journée du 6 juillet, nous avons relevé un cycle nyctéméral des visites des insectes sur les inflorescences témoins (les expérimentales étant emballées et inaccessibles de ce fait). Cela consistait en un recensement des butineurs par tranches de 10 minutes par demi heure, et ce à partir d'une heure avant le levé du soleil (prévu à 5h55) jusque une heure suivant son couché (prévu à 22h20). Notre première observation a été effectuée à 5h du matin. Malheureusement, les observations n'ont pu aller à leur terme en fin de journée pour cause de pluies violentes et orage à partir de 17h. Nous avons donc effectué les observations normalement jusque 17h40 avant de nous mettre à l'abri. Un rapide passage à 21h entre deux coups de tonnerre a aussi été effectué. Parallèlement au décomptage des insectes visiteurs associé à leur identification –

nom d'espèce, ou de genre pour une espèce incertaine, ou de morphotype si l'espèce n'a pas été déterminée –, nous avons aussi relevé leurs heures de passage, le temps passé pour chacun d'eux et sur quelle inflorescence, l'éventuel déplacement vers une autre inflorescence, et de quelle façon ces insectes passaient de fleur en fleur (marche, vol).

Les inflorescences expérimentales ont été déballées le 8 juillet, marquant la fin des 8 jours d'expérimentation. Suite à ce déballage, nous avons recompté les différents stades phénologiques floraux des six ombelles concernées par l'expérience, et nous avons procédé à un nouveau test statistique de  $\chi^2$  afin de dégager l'éventuelle différence significative de ces stades entre inflorescences témoins et expérimentales (voir résultats). Ce décomptage devait permettre de tester l'affirmation de la première hypothèse, à savoir si la plante retarde la fanaison de ses fleurs non visitées.

En parallèle à ce décomptage des fleurs, a démarré l'observation minutieuse des visites par les insectes des six différentes inflorescences. Cette comptabilité devait permettre de mettre en évidence une tendance pour les butineurs à visiter préférentiellement, ou non, les fleurs fraîchement déballées et à y rester plus longtemps. Selon Josens G. (communication personnelle), ce phénomène d'attractivité supérieure des fleurs non visitées par les insectes pollinisateurs est assez éphémère étant donné l'épuisement rapidement du nectar jusqu'alors inaccessible, et ne devait donc s'étaler que sur l'une ou l'autre heure suivant le déballage des inflorescences expérimentales. Pour tester l'hypothèse 2, j'ai eu recours à un autre test statistique, le test de Student, afin de comparer les durées moyennes de butinage des insectes entre les séries expérimentale et témoin (a fortiori après déballage).

## Résultats

### Description des stades phénologiques :

- Stade A : bouton floral, pétales repliés sur eux-mêmes, extérieur rouge-rose à vert, intérieur vert, aucun organe reproducteur apparent ou très peu visibles et toujours vert clair, taille de l'ordre de 1,75-2,25 mm ;
- Stade B : pétales commencent à s'ouvrir et perdent leur coloration vert-rouge au profit du blanc, styles visibles vert clair (protogynie), filet des étamines devient visible mais est toujours au moins légèrement vert clair, taille de l'ordre de 2,50 mm ;



Figure 6 - Ombelle de fleurs au stade A  
(photo Dohet Loïc, 01.07.2008)



Figure 7 - Fleur au stade B  
(photo Dohet Loïc, 01.07.2008)

- Stade C : pétales presque complètement épanouis et blancs, gynécée vert à vert clair apparent (maturité sexuelle femelle, réception de pollen extérieur, favorise l'allofécondation), étamines émergent et perdent leurs dernières teintes vertes pour le blanc mais les anthères restent lisses (anthères non mures, sacs polliniques fermés), taille de l'ordre de 5,00 mm ;
- Stade D : pétales complètement épanouis et blancs, gynécée vert-jaune clair, étamines blanchâtres (tend légèrement vers le jaune aux anthères) et anthères granuleux (anthères mures, sacs polliniques ouverts et déchirés, pollen disséminé, correspond donc au stade d'émission du pollen et maturité sexuelle mâle), taille de l'ordre de 7,00 mm ;



Figure 8 - Fleur au stade C  
(photo Dohet Loïc, 01.07.2008)



Figure 9 - Fleur au stade D  
(photo Dohet Loïc, 01.07.2008)

- Stade E : fleur fanée, pétales en cours de fanaison (s'inclinent d'abord fortement vers le bas), flétrissement du gynécée, des étamines et des pétales, couleurs tendent vers le brun clair à foncé, les étamines sont régulièrement absentes (tombées), taille de l'ordre de 5,00 mm.



Figure 10 - Fleur au stade E précoce  
(Dohet Loïc, 02.07.2008)



Figure 11 - Fleur au stade E avancé  
(photo Dohet Loïc, 02.07.2008)

#### Remarque :

La phénologie s'applique bien à une fleur à chaque fois. On aura sur une même inflorescence un certain nombre de fleurs associé à chaque stade phénologique différent. Les tests statistiques effectués s'appliquent donc aux sommes des stades phénologiques présents sur l'ensemble des ombelles d'un même type (expérimentales ou témoins).

#### Inventaire des insectes visiteurs

Genre espèce / Nom de morpho-espèce	Famille (français)	Famille (latin)	Ordre	Description morpho- espèce
"Microlépidoptère" Indéterminé	Tortricide/ Crambide	Tortricidae/ Crambidae	Lépidoptères	Type tortricide/crambide gris- brun, ~15mm
"Mouchette X"	Empididés	Empididae	Diptères	Brachycère cycloraphe noir, ressemble à drosophile mais à antennes non conformes : 3ème article non ovale, pointu, abdomen gris-jaune, ~4mm
"Mouche Y"	Muscidés	Muscidae	Diptères	Mouche vert métallique, yeux légèrement rouges, ~12mm
"Muscidé 1"	Muscidés	Muscidae	Diptères	Anthomiin de taille moyenne, ailes noir-brun, corps noir-gris (à légèrement jaunâtre sur l'abdomen), ~8mm
<i>Sciara thomae</i>	Sciaridés	Sciaridae	Diptères	
"Sepsidé 1"	Sepsidés (?)	Sepsidae (?)	Diptères	
<i>Lasiopa villosa</i>	Stratiomyidés	Stratiomyidae	Diptères	
<i>Chrysotoxum elegans</i>	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	
<i>Eristalis arbustorum</i>	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	

<i>Melanostoma scalare aff. mellinum</i>	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	
<i>Syrphus nitidicollis</i>	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	
<i>Syrphus venustus</i>	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	
"Syrphidé 1"	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	Ailes à nervures marquées de brun, thorax à poils oranges, corps généralement noir, ~14mm (ressemble à une abeille)
"Mouche 5026"	Syrphidés	Syrphidae	Diptères	Mouche noire, à antennes en V, ~10mm
<i>Tabanus sudeticus</i>	Tabanidés	Tabanidae	Diptères	
<i>Alophora hemiptera</i>	Tachinidés	Tachinidae	Diptères	
"Tachinidé 1"	Tachinidés	Tachinidae	Diptères	Grande taille, ailes légèrement noirâtres, nombreux macrochètes, antennes longues et épaisses, corps noir et tâches grises, ~9mm
"Tachinidé 2"	Tachinidés	Tachinidae	Diptères	Petite taille, ailes noirâtres, corps gris-noir, ~4mm
"Tétanocéride 1"	Tétanocéridés	Sciomyzidae	Diptères	Mouchette, noire, ~2mm
<i>Andrena sp.</i>	Apidés	Apidae	Hyménoptères	
<i>Formica fusca</i>	Formicidés	Formicidae	Hyménoptères	
<i>Formica sanguinea</i>	Formicidés	Formicidae	Hyménoptères	
<i>Lasius niger</i>	Formicidés	Formicidae	Hyménoptères	
"Ichneumonide 1"	Ichneumonidés	Ichneumonidae	Hyménoptères	Ailes légèrement noires, antennes longues et recourbées, coude d'articulation thorax-abdomen, pattes noires +/- éclaircies vers l'extrémité, long abdomen rougeâtre, ~20mm
<i>Allantus cinctus</i>	Tenthredinidés	Tenthredinidae	Hyménoptères	
<i>Arge ochropus</i>	Tenthredinidés	Tenthredinidae	Hyménoptères	
<i>Polistes gallicus</i>	Vespidés	Vespidae	Hyménoptères	
<i>Leptura sanguinolenta</i>	Cerambycidés	Cerambycidae	Coléoptères	
<i>Leptura sp.</i>	Cerambycidés	Cerambycidae	Coléoptères	
<i>Leptura unipunctata</i>	Cerambycidés	Cerambycidae	Coléoptères	
<i>Molorchus minor</i>	Cerambycidés	Cerambycidae	Coléoptères	
<i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidés	Coccinellidae	Coléoptères	
"Coléoptère élatéride"	Élatéridés	Elateridae	Coléoptères	Vert foncé, ~6mm
"Méliéridé 1"	Méliéridés	?	Coléoptères	Corps oval, gris, ~4mm
<i>Cetonia carthami</i>	Scarabéidés	Scarabaeidae	Coléoptères	
<i>Clanoptilus parilis</i>	Téléphoridés	Cantharidae	Coléoptères	
"Clavicorne 1"	Indéterminée	Indéterminée	Coléoptères	Noir brillant, à corps légèrement allongé, ~4mm
"Hétéromère 5-5-4-tarses"	Indéterminée	Indéterminée	Coléoptères	Hétéromère 5-5-4-mère, jaune fluo, à antennes longues, ~8mm

### Comparaison avant emballage

Nous avons comparé les stades phénologiques des séries expérimentale et témoin juste avant de procéder à l'emballage de cette première au moyen d'un test statistique de  $\chi^2=0,063$ , avec 1 ddl (degré de liberté) et  $0,50 < p < 0,90$  (probabilité d'erreur en acceptant l'hypothèse nulle) ; la phénologie florale de la série expérimentale ne diffère donc pas significativement de celle de la série témoin. Ce test a été appliqué sans regroupement de stades phénologiques (seuls deux stades phénologiques étaient alors présents).

### Comparaison après déballage (Hypothèse 1)

Nous avons à nouveau comparé les stades phénologiques des séries expérimentale et témoin, mais cette fois immédiatement après avoir procédé au déballage des inflorescences



expérimentales, grâce au test statistique de  $\text{Chi}^2=3,90$ , avec 2 ddl (degré de liberté) et  $0,10 < p < 0,20$  (probabilité d'erreur en acceptant l'hypothèse nulle) ; la phénologie florale des deux séries ne diffèrent donc pas significativement. Ce test a été appliqué sans regroupement de stades phénologiques (seuls 3 stades phénologiques présents).

#### Comparaison des visites d'insectes après déballage (Hypothèse 2)

J'ai comparé les durées moyennes de visite des insectes butineurs en comptabilisant les fourmis sur les deux séries d'inflorescences, témoin et expérimentale. Le calcul suggère une durée moyenne de butinage plus courte sur les inflorescences expérimentales fraîchement déballées par rapport aux inflorescences témoins. Toutefois, un test de Student :  $t=0,32$ , 32 ddl et  $0,10 < p$ , ne révéla pas de différence significative de ces durées moyennes, et donc des attractivités respectives des inflorescences témoins et expérimentales.

J'ai ensuite comparé à nouveau les durées moyennes de visite des insectes butineurs, mais cette fois en ne comptabilisant pas les fourmis, sur les deux séries d'inflorescences. Le calcul montre cette fois une durée moyenne de butinage plus longue sur les inflorescences expérimentales fraîchement déballées, mais il n'y a toujours pas de différence significative d'après le test de Student :  $t=1,76$ , 7 ddl et  $0,05 < p < 0,10$ .

#### Comparaison des panoplies d'insectes (Hypothèse 3)

J'ai effectué un test de comparaison des panoplies de butineurs entre *Vicia cracca* – étudiée par le groupe de Hanoteau A. et Laitat K. – et *L. gallicum*. Il visait à mettre en évidence des éventuelles différences de diversité d'insectes pollinisateurs pour deux espèces végétales différentes, en prenant en compte leurs nombres respectifs de visites (visite = arrivée de l'insecte sur l'inflorescence dans le but de butiner, jusqu'à son départ). Ce test avait donc pour but de tester l'hypothèse suivant laquelle les insectes visitent les espèces de fleurs au hasard.

Les conditions d'utilisation du test de  $\text{Chi}^2$  ont bien été remplies grâce divers regroupements, et à chaque fois ont été effectués en décomptant ou non les fourmis. Les panoplies de butineurs, dont les visitent classées par ordres d'insectes, sur *L. gallicum* et *Vicia cracca*, ont été comparées par un test de  $\text{Chi}^2=6,28$  à  $45,03$  (suivant le regroupement), avec 1 ddl et  $p < 0,01$  (ou  $0,01 < p < 0,02$  pour un des regroupements) ; les ensembles d'insectes (résultant des regroupements) diffèrent très significativement (sauf un regroupement qui n'a pas rempli les conditions d'utilisation de  $\text{Chi}^2$ ).

### **Discussion et conclusions**

Nous avons observé ce qui est vraisemblablement un esclavagisme des *Formica fusca* par *Formica sanguinea*. En effet, les ouvrières du sous-genre *Raptiformica* – dont *F. sanguinea* – dérobent les cocons de *Serviformica* – dont *F. fusca* – pour en obtenir des esclaves (Berland, 1981), grâce à un raid sur une colonie de *F. fusca*. L'imprégnation des esclaves *F. fusca* par l'odeur des esclavagistes *F. sanguinea* permet leur reconnaissance réciproque, et donc leur tolérance mutuelle sur le pied de *L. gallicum* étudié notamment, sans compétition.

D'après Josens G. (communication personnelle), cette présence importante de fourmis est à l'origine de la répulsion de beaucoup d'insectes, suite à des attaques des fourmis à leur égard (compétition dure pour le nectar). En effet, nous avons constaté à plusieurs reprises la fuite d'insectes, notamment des diptères, après avoir croisé le chemin d'une fourmi sur une ombelle, et parfois même en ayant à peine eu le temps de toucher une des fleurs.

Je développe ci-dessous quelques idées qui permettent de mieux comprendre les implications des fourmis sur la plante, et qui expliquent pourquoi nous avons effectué les tests aussi en ne reprenant pas les fourmis.

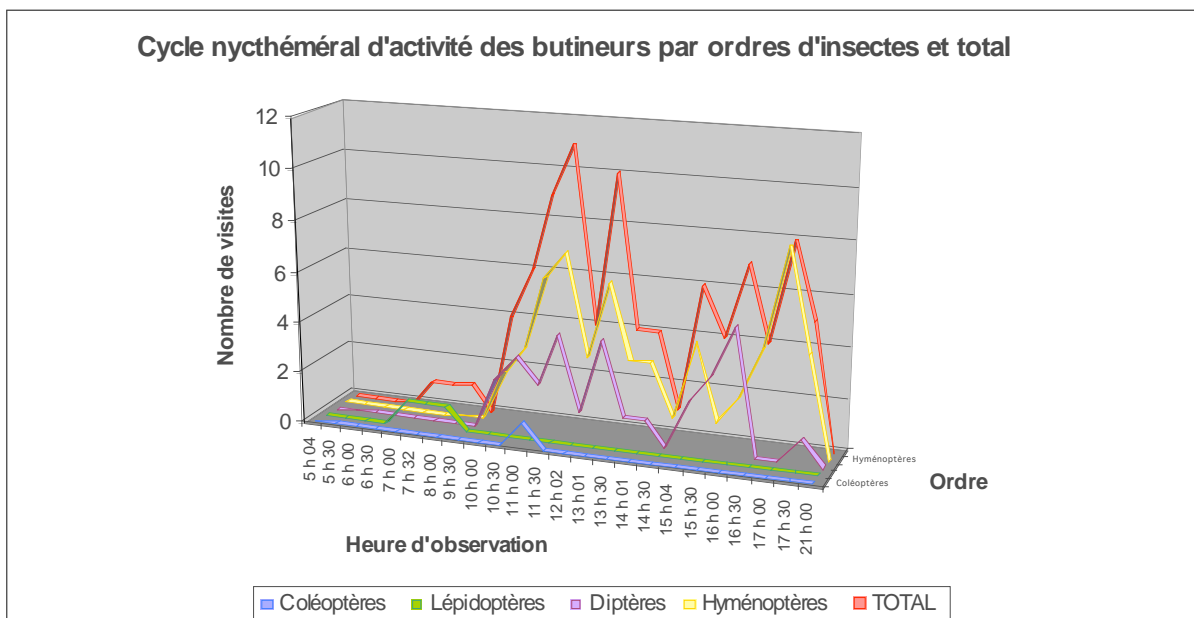
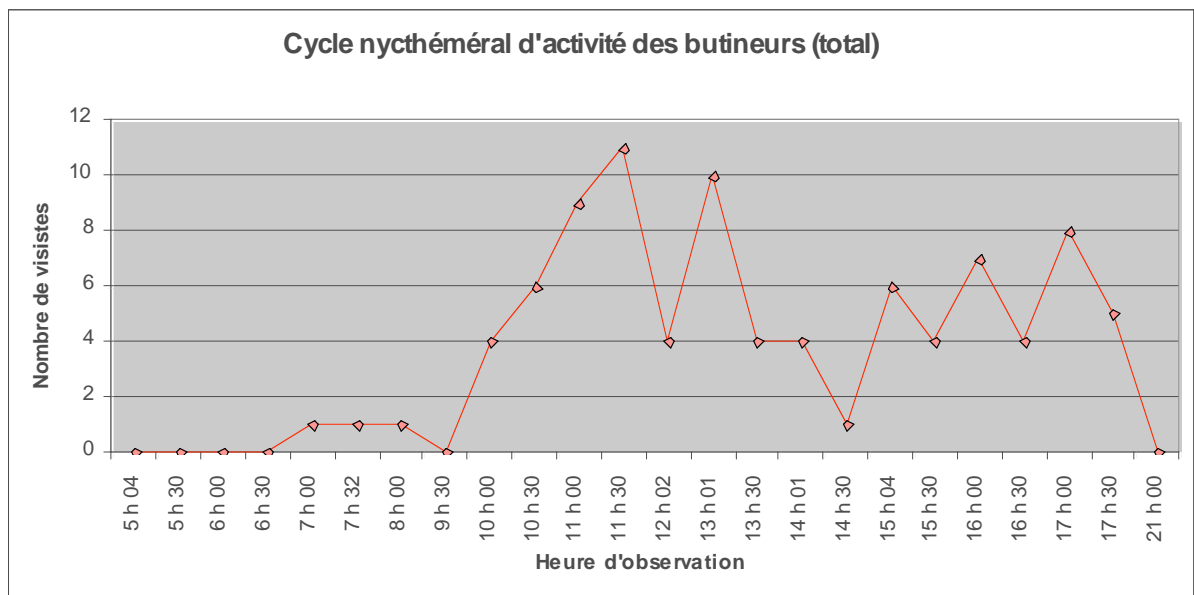
La présence de fourmis implique plusieurs conséquences potentielles. La première résulte du fait que les fourmis chassent les insectes qu'elles ne reconnaissent pas comme faisant partie de leur colonie (ce qui concerne donc aussi les fourmis d'autres colonies). Cet aspect a deux résultats potentiels qui nous intéressent dans le cadre de la pollinisation. Le premier est

visiblement négatif pour la plante dans l'optique de disséminer son pollen par l'entremise des divers butineurs : les insectes visiteurs semblent avoir moins de possibilités de butiner les fleurs puisqu'ils peuvent être rapidement chassés de l'inflorescence, parfois sans même avoir pu accéder à une fleur. D'un autre côté, le fait que ces pollinisateurs quittent plus rapidement la plante peut avoir des effets positifs pour elle dans le sens où ils pourraient accéder à l'une ou l'autre fleur avant d'être chassés, et donc transporter d'autant plus rapidement le pollen des fleurs vers une autre plante (avec ou sans fourmis) ; ceci aurait donc pour effet final une dissémination accélérée du pollen. Ces deux possibilités jouent probablement un rôle dans l'efficacité de pollinisation de plantes à fleurs où des fourmis se retrouvent. Ces possibilités offrent un champ d'étude intéressant pour de futures recherches dans ce domaine.

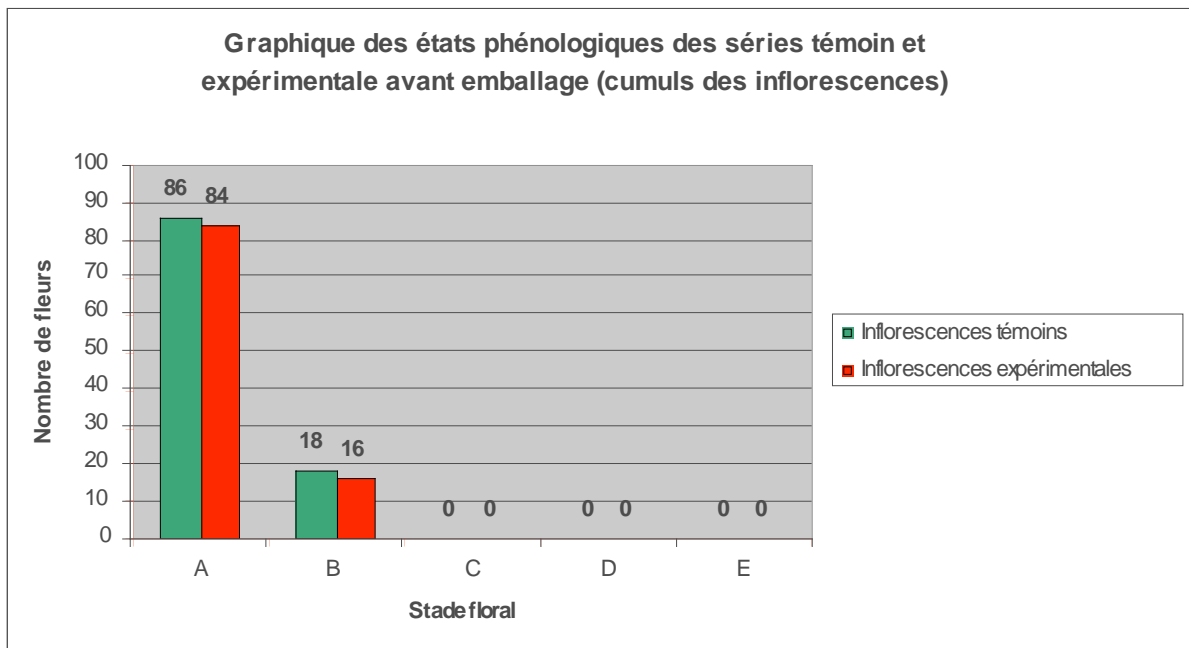
La seconde conséquence potentielle de la présence de fourmis sur notre plante semble montrer que les fourmis sont de mauvaises butineuses. Cette hypothèse provient du fait que la majorité des espèces de fourmis possède une glande métapleurale (Holldobler B & Engel-Siegal H, 1984). Aussi, d'après Beattie & al. 1986, cette glande sécrète des produits fortement antibiotiques et qui ont un pouvoir inhibiteur sur les spores et hyphes entomogènes, recouvrant le tégument de la fourmi. Ces sécrétions potentiellement délétères pour le pollen (pollenicides) iraient à l'encontre d'une pollinisation importante par les fourmis de *L. gallicum*. Cependant – et il pourrait s'agir d'un autre champ d'étude intéressant quant à cette plante et ses relations avec les fourmis –, il conviendrait de vérifier que ces glandes métapleurales, absentes chez quelques espèces de fourmis dans le monde (en particulier chez des mâles), sont présentes chez les fourmis relevées durant le stage sur *L. gallicum* (*Formica sanguinea*, *Formica fusca*, *Lasius niger*). Ensuite, si elles sont bien fonctionnelles, il faudrait encore s'assurer si *L. gallicum* ne possède pas des défenses contre l'effet de stérilisation des sécrétions métapleurales sur le pollen. Ces deux vérifications faites, nous pourrions alors conclure au fait que ces fourmis sont de mauvaises pollinisatrices de *L. gallicum*.

L'ensemble du paragraphe précédent, concernant l'effet pollenicide probable des sécrétions des fourmis, montre la possibilité que ces hyménoptères ne participent pas – du moins pas significativement – au transport du pollen. Ce qui explique pourquoi nous avons montré les résultats des divers tests en tenant compte des fourmis, ou justement en les écartant en les considérant comme non butineuses.

Les graphiques concernant le cycle nyctéméral des butineurs sur *L. gallicum* révèlent un pic d'activité vers la mi-journée (entre 11h et 13h). Le second graphique, dont la courbe rouge est équivalente au premier graphique, montre l'importance des visites des diptères, et particulièrement des hyménoptères ; mais ces dernières doivent être relativisées étant donné que 100% de ces visites étaient des fourmis (probablement non pollinisatrices). Peu de coléoptères ont été relevés durant le cycle sur les inflorescences témoins, mais nous devons remarquer qu'ils ont été nombreux sur les inflorescences qui ne concernaient pas notre expérience (bien entendu, nous n'avons repris et considéré dans nos tests que les visites qui impliquaient les inflorescences étudiées). Enfin, nous avons connu plusieurs visites d'un microlépidoptère nocturne lorsque la pénombre était toujours présente (aube).

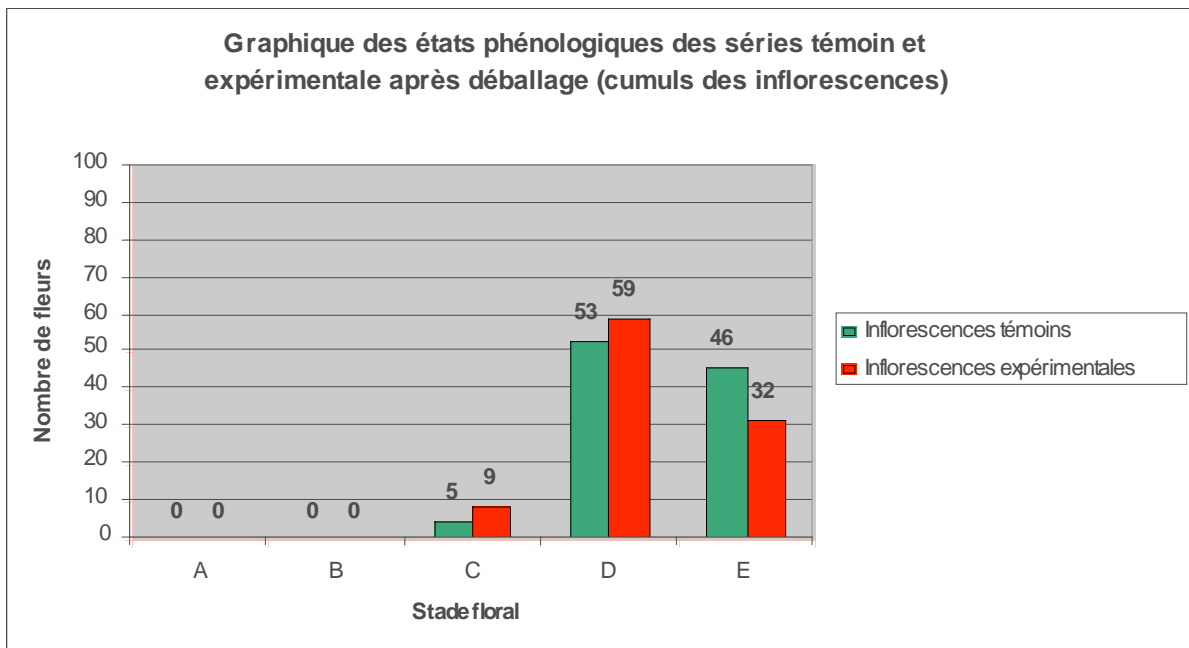


Le premier test de  $\chi^2$  a vérifié une absence de différence significative entre les phénologies florales des deux séries. De ce fait, il a permis de démarrer l'expérience en se basant sur une proximité phénologique florale entre les différentes séries. Nous avons donc procédé à l'emballage des ombelles désignées par le hasard comme expérimentales. Pour information, la série témoin reprend les inflorescences 2, 3 et 4, et la série expérimentale comprend les ombelles numérotées 1,5 et 6 dans notre processus expérimental.



Le second test est plus ambigu et appelle à quelques commentaires. Dans les deux calculs, la conclusion immédiate est la même. Cependant, on peut remarquer, et ce particulièrement dans le test avec regroupement des stades C et D, que l'on approche d'une différence significative (seuil des 5%), sans toutefois l'atteindre puisqu'une probabilité d'erreur comprise entre 5 et 20% n'est pas acceptable scientifiquement pour avancer une hypothèse.

Ces deux derniers tests tendent à montrer qu'il n'existe pas de différence significative de phénologie entre les séries expérimentale et témoin, mais que cette proximité reste relative. Ceci peut s'expliquer par la possibilité que les insectes n'aient pas – ou très peu – influencé la phénologie des ombelles, que ce soit par leur présence sur les inflorescences témoins, ou par leur absence chez les inflorescences expérimentales, chez qui la fanaison n'aurait pas – ou très peu – été retardée.



L'autopollinisation n'est pas une explication plausible à cette absence de différence significative, entre les phénologies florales des inflorescences expérimentales et témoins, chez *L. gallicum*, étant donné la protogynie et le décalage de maturités qui en découle.

Toutefois, de multiples éléments ont pu interférer avec les résultats de cette expérimentation. Tout d'abord, la possibilité d'une faille dans le dispositif utilisé pour tenir éloignés les insectes des fleurs expérimentales. En effet, nous avons constaté lors d'une journée de contrôle qu'une fourmi – retrouvée morte, n'ayant vraisemblablement pas réussi à ressortir, ou même à pénétrer complètement – s'était immiscée dans une des enveloppes par un minuscule interstice ; nous avons alors immédiatement procédé à la vérification des fermetures des enveloppes, et corrigé le défaut relevé. D'autre part, le fait que la plante utilisée dans l'expérience soit une ombellifère a introduit une difficulté à mettre en place le tulle enveloppant les inflorescences expérimentales, assurant l'étanchéité par rapport aux butineurs, tout en conservant plusieurs centimètres de distance entre cette enveloppe et les fleurs à tout endroit pour éviter l'accès aux fleurs par les insectes à longues pièces buccales (comme la trompe des papillons). Se rajoute à cette difficulté les facteurs visuels probables qu'apportent le tulle, blanc, le fil de fer, vert, et les étiquettes, jaunes. Cela remet en question l'attraction de la plante (positivement comme négativement), à grande distance pour le pied complet, mais aussi à courte distance pour les inflorescences (témoins et expérimentales). Un autre impact de l'artifice utilisé pour la séparation des fleurs et butineurs est aussi à prendre en compte : un effet de serre semble possible autour des ombelles expérimentales, étant enveloppées dans du tulle. Ce tulle peut jouer un rôle tampon quant aux variations extérieures (hygrométrie, températures, ... maintenues plus stables) ou à l'opposé les accentuer (hygrométrie élevée due à la rétention de la transpiration de la plante, température élevée due à l'effet de serre,...). Et ces effets peuvent contribuer à un avancement ou un retard de la fanaison. Enfin, les facteurs climatiques jouent aussi probablement un rôle (climat sec, chaud, humide, froid, à fortes précipitations, à averses, ...), pouvant favoriser la fanaison ou le maintien à un stade épanoui des fleurs en général.

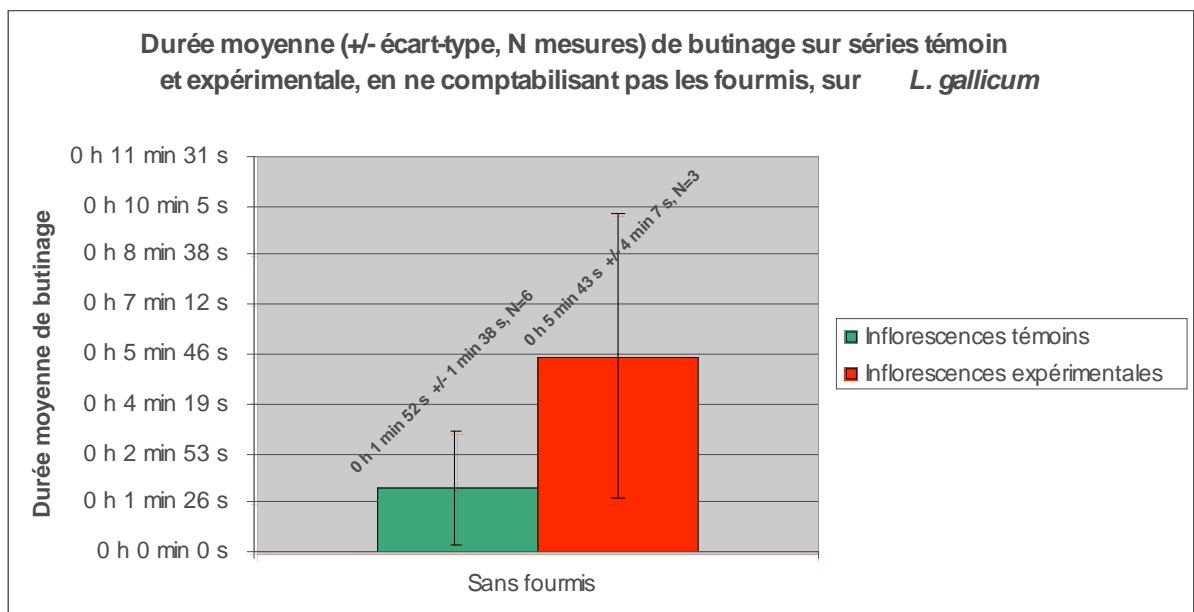
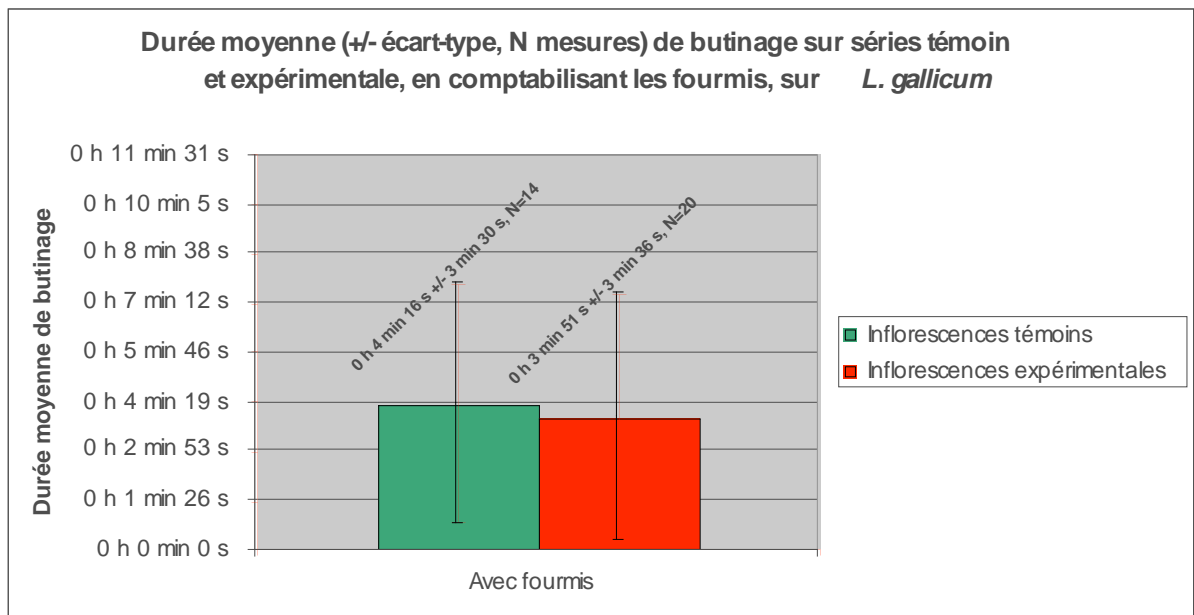
Tous ces facteurs sont à mettre en balance avant de conclure à l'infirmité de l'hypothèse 1, comme le suggèrent les deux tests de  $\chi^2$  effectués après le déballage. Il serait donc sage de réitérer l'expérience, éventuellement dans un autre lieu et à une autre période, avec cette plante, tout en essayant de minimiser d'avantage les éventuelles erreurs et actions des artifices utilisés.

Au déballage de la série expérimentale, nous avons remarqué le retour assez prompt des fourmis sur les ombelles dès lors disponibles : la première fourmi (*Formica sanguinea*) a été relevée à peine 30 minutes après le déballage, contre 1 heure 40 d'attente pour le premier diptère (*Melanostoma*).

Les tests concernant l'hypothèse 2, et particulièrement celui où les fourmis ont été comptabilisées, tendent à montrer une absence de différence significative d'attractivité entre les séries expérimentale et témoin d'inflorescences. Cela signifie que les fleurs qui ont été isolées de leurs butineurs pendant la durée de l'expérience n'ont pas modifié leur capacité d'attraction, ou de façon très faible, vis-à-vis de leurs pollinisateurs. Mais ici aussi plusieurs facteurs potentiellement interférents ont peut-être joué. Tout d'abord, nous pouvons constater que l'absence de différence significative en ne comptabilisant pas les fourmis est moins nette que lorsqu'elles sont prises en compte. Le fait d'être proche de la limite de significativité est déjà en soit un frein à tirer une conclusion probablement trop hâtive quant au résultat du test. D'autre part, la petite erreur expérimentale expliquée plus haut est à prendre en compte : le défaut dans l'enveloppe de tulle n'a pu que contribuer à cette absence de différence d'attractivité, puisque au moins une fourmi (observée) a pénétré dans l'enveloppe, du moins partiellement. Elle a donc peut-être accédé au nectar de ces fleurs emballées. Mais ce léger défaut dans le protocole expérimental ne peut à lui seul, à mon sens, expliquer le résultat du test. Les effets dont traite les précédents paragraphes ont pu interférer avec l'expérience. Mais un nouvel effet a très probablement joué : il s'agit de l'accumulation impossible de nectar sur la fleur. Étant donné que les fleurs expérimentales, préservées des insectes visiteurs, n'ont pas stocké indéfiniment le nectar qu'elles ont produit, le facteur nectar n'a pas ou peu contribué à l'attractivité de la fleur. D'autres types d'attractivité (couleurs, odeurs, ...) ont cependant peut-être été modifiés, mais d'après le test pas suffisamment que pour obtenir une différence significative de durée de visite (au vu des effectifs relevés).

Il serait sans doute intéressant de recommencer – en évitant attentivement les défauts expérimentaux – l'expérience en choisissant si possible un pied où aucune colonie de fourmis n'est établie pour tenter de mettre en évidence les effets de l'absence de fourmis sur les autres butineurs. Mais aussi le simple fait de recommencer sur le même pied l'expérience pourrait donner un autre résultat concernant ce test d'attractivité étant donné la proximité du seuil (relatif) de différence significative, le caractère aléatoire de nombre de facteurs (climat, mouvement d'un des membres de notre groupe, ...) qui ont pu jouer un rôle instantané sur la visite d'un butineur supplémentaire.

Même si visuellement, sur le graphique sans comptabilisation des fourmis, la différence des durées de visite entre les séries expérimentale et témoin au déballage semble importante, elle n'est pas statistiquement significative. Cela trouve son explication dans les faibles effectifs relevés, ce qui découle possiblement de la présence des fourmis qui ont chassé les autres insectes, et contribué aux faibles quantités et durées des visites.



Les tests de l'hypothèse 3, consistant en la comparaison des diversités de butineurs entre *L. gallicum* et *Vicia cracca*, tendent à montrer une différence très significative, tant en comptabilisant les fourmis qu'en ne le faisant pas. Je peux donc conclure que les panoplies de butineurs respectifs à *L. gallicum* et *Vicia cracca* sont suffisamment différentes que pour

expliquer le fait que spécifiquement certains ordres et familles d'insectes (lépidoptères, Apidae, Vespidae) ont été observées sur *Vicia cracca*, tandis que des insectes dits généralistes ont été relevés sur *L. gallicum*. De plus, je peux affirmer que l'hypothèse – suivant laquelle les insectes visitent les espèces de fleurs au hasard – est infirmée par ces tests résultants des observations et mesures effectuées durant le stage. Remarquons qu'il existe un risque d'erreur provenant du fait que  $\chi^2$  n'a pu être appliqué que sur des regroupements des visites des butineurs. Mais tous les regroupements possibles ont été effectués et ont donné la même réponse du test, celle-ci étant pour tous très significative.

Cette conclusion de visites choisies des fleurs par les insectes pollinisateurs est corroborée par Judd & al, 2002, selon lesquels les hyménoptères sont attirés par des couleurs comme le bleu, le jaune et le pourpre, et les papillons diurnes par le rouge et les couleurs vives. Ceci explique la très faible part de butineurs hyménoptères (autres que fourmis) et l'absence de papillons diurnes relevés sur *L. gallicum*, dont les fleurs sont blanches, et leur abondance sur *Vicia cracca*, dont les fleurs sont d'un mauve prononcé. Toujours d'après Judd & al 2002, les papillons nocturnes, les diptères et les coléoptères sont particulièrement attirés par le blanc et les couleurs pâles, comme les fleurs de *L. gallicum* – où ces insectes foisonnent –, et à l'opposé de *Vicia cracca* – où ils n'ont pas été relevés. Enfin, Judd & al 2002 avancent que les diptères sont particulièrement attirés par la symétrie actinomorphe des fleurs, ce qui est globalement vrai pour *L. gallicum*, contrairement à *Vicia cracca*.

Les nombreuses constatations suivantes vont dans le même sens que la conclusion. Les insectes sont attirés par l'aspect rayonnant des fleurs et inflorescences, ainsi que par la lumière transmise par la plante. En particulier, le gradient de rayonnement ultraviolet sur les pétales (voir figure 12) participe à ce rôle attracteur et d'orientation des insectes, ceux-ci ayant une vision décalée par rapport à l'homme vers le bleu et l'UV, d'après Jauzein Philippe, professeur à l'école AgroParisTech. Tous ces éléments sont particuliers à chaque espèce de fleur, et ces différences sont observables par les insectes (yeux composés à ommatidies, toutefois acuité visuelle  $\sim 1/100$  à  $1/1000$  de celle de l'homme ; Encyclopædia Universalis). En plus d'une vision adaptée à l'obscurité, les insectes nocturnes possèdent des antennes particulièrement développées qui leur permettent une meilleure sensibilité du sens olfactif (soies chémoréceptrices) (Encyclopædia Universalis). Ceci leur permet de mieux détecter les odeurs émises par les plantes. Ces odeurs permettent l'attraction et l'orientation des insectes jusqu'à elles. Et ces odeurs sont tout aussi particulières aux plantes que les rayonnements qui en proviennent. Toutes ces observations expliquent d'ailleurs qu'il existe, d'après Wikipédia francophone, une certaine spécificité du transport du pollen entre les fleurs entomogames de même espèce.

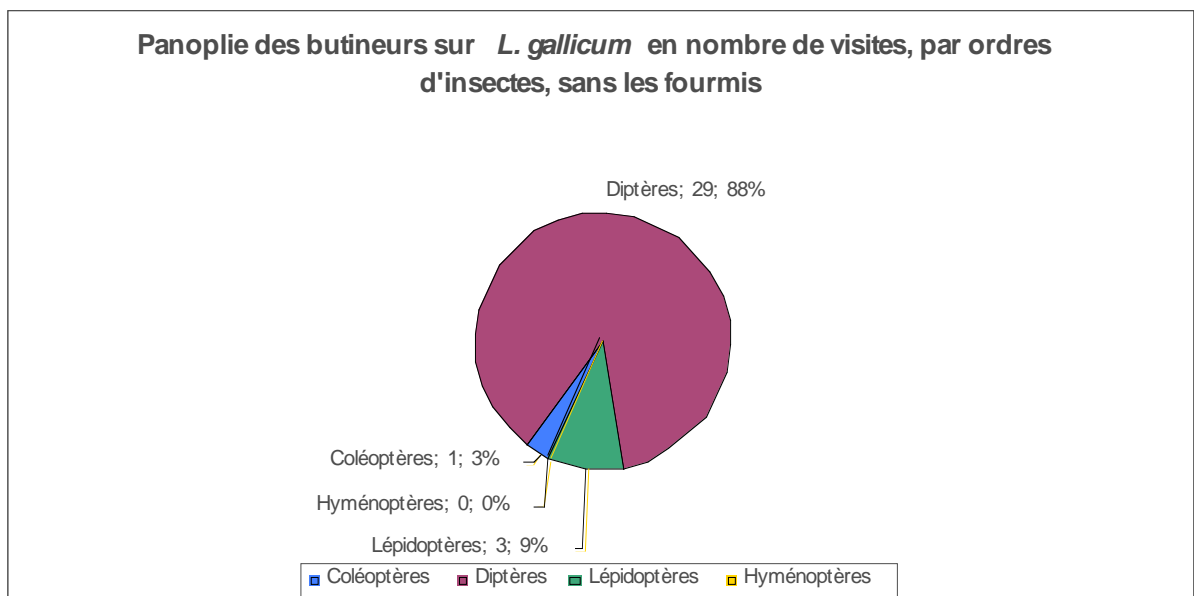
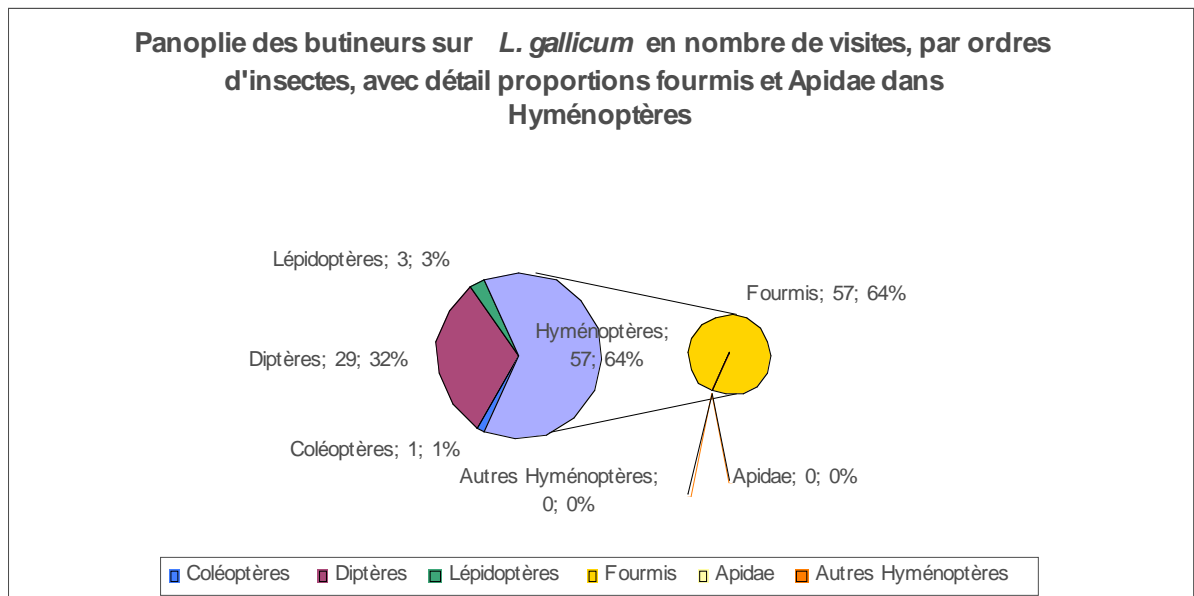
Remarquons enfin que pour les trois regroupements possibles, les résultats des tests sont plus significatifs lorsque l'on ne tient pas compte des fourmis.



Figure 12 – Gradient UV sur les pétales de fleurs (tiré de Raven P.H. & al, 2005, Figure 20-19b)

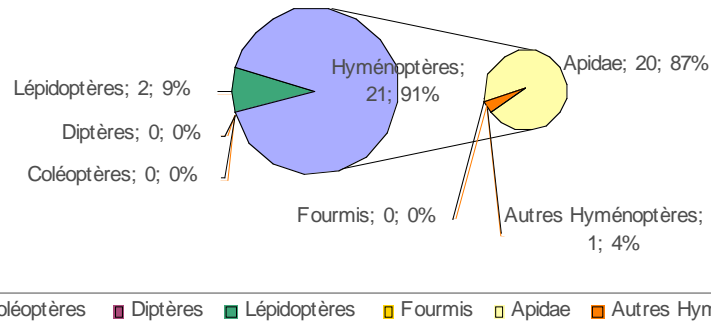
Les graphiques de panoplie de butineurs de *L. gallicum* permettent de se rendre compte de l'importance des visites des fourmis : même sans effet direct probable sur la pollinisation de la fleur (dissémination du pollen), elles ont pu contribuer à chasser des insectes des inflorescences du pied étudié, et donc participer à une modification de la dissémination du pollen de la plante (qui a pu être positive comme négative, comme expliqué plus haut, du point de vue de la plante). En ne comptabilisant pas les fourmis, on observe que les diptères et coléoptères représentent ensemble plus de 90% des visites, et 100% avec les lépidoptères.

Concernant *Vicia cracca*, le graphique montre que cette fois plus de 90% des visites sont représentées par les hyménoptères, et en l'occurrence quasi exclusivement des Apidés. Les Coléoptères et diptères n'ont effectué aucune visite, et regroupés avec les lépidoptères, ils représentent à peine 9% des visites.





**Panoplie des butineurs sur *Vicia cracca* en nombre de visites, par ordres d'insectes, avec détail proportions fourmis et Apidae dans Hyménoptères**



D'autres études à propos de la coévolution plante-insectes ont eu lieu durant le stage. Les plantes concernées sont *Vicia cracca* et *Carduus nigrescens*, respectivement attribuées aux équipes de Hanoteau A.-Laitat K. et Dery A.-Forfert N. Pour chacune de ces deux plantes, les hypothèses ont toutes trois été vérifiées. Par rapport à notre travail, cela signifie que les tests des hypothèses 1 et 2 ont donné cette fois des résultats très significatifs : différence phénologique au déballage entre séries expérimentale et témoin, et différence d'attractivité des fleurs expérimentales. Ces résultats contribuent à notre volonté de voir réitérer notre expérience, selon les modalités conseillées précédemment.

Je vais terminer ces analyses en insistant sur le fait que seules 6 inflorescences ont été étudiées durant le stage, sur un unique pied de *L. gallicum*. Bien que nous ayons pu nous rendre compte de l'intensité des relations que ces seules inflorescences impliquaient, les observations effectuées ne représentent qu'une faible fraction de ce qui se passait sur l'entièreté de la plante, ainsi que sur tous les pieds proches. Cette fraction se voulait aussi représentative que possible, mais ne reste qu'un cliché obtenu pendant ces quelques jours de stage de ce qui a pu se passer pour la fleur et sur la fleur. Le hasard du climat, des visites, des effets de notre présence à proximité de la plante – bien que volontairement aussi transparente que possible – montrent tant de facteurs d'interactions, avec la plante comme avec les insectes, qui ont pu jouer sur les observations relevées. Cet échantillon d'observation des interactions plante - insectes ne se veut donc pas exhaustif, et les conclusions qui précèdent ne doivent pas être trop hâtivement admises mais justement être la cible de nouveaux tests, et si possibles plus précis encore et prenant en compte les remarques formulées précédemment.

Même si les tests n'ont pas toujours donné les résultats auxquels on aurait pensé, ils ont tout du moins montré la réelle existence d'interactions entre les insectes et les fleurs entomogames qu'ils visitent, ainsi que la complexité de cette coévolution.

**Sources bibliographiques :**

*Cours et syllabus :*

- Dahdouh-Guebas F., 2008, *Botanique 2*.
- Josens G. & Meerts P., 2008, *Écologie générale*, Presses Universitaires de Bruxelles, Bruxelles, Vol. 1 (et, respectivement, Vol. 3), 114 pp. (respectivement 209 pp.).
- Meerts P., 2007, *Botanique 1*, Presses Universitaires de Bruxelles, Bruxelles, Seconde partie (Phylogénie et diversité des végétaux), 2-Embryophytes, 230 pp.
- Van Helden J., 2006, *Biologie et Société*, Presses Universitaires de Bruxelles, Bruxelles, Vol. 1, 106 pp.

#### Livres :

- Berland, L. 1981. les Hyménoptères in: La faune de la France (tome 7), Perrier, R. (éd.). Librairie Delagrave, Paris
- Perrier, R. La faune de la France. Librairie Delagrave, Paris
- Raven P.H., Evert R.F. & Eichhorn S.E., 2005, *Biology of Plants*, W.H. Freeman & Co, New York, 7<sup>th</sup> edition, 794 pp.

#### Publications scientifiques :

- Beattie A.J., Turnbull C.L., Hough T. & Knox B., 1986, *Antibiotic Production : A possible Function for the Metapleural Gland of Ants (Hymenoptera : Formicidae)*, Annals of the Entomological Society of America, Vol. 79, p. 448-450.
- Gillon Y., 1986, *Coévolution cumulative et coévolution substitutive*, Acta Œcologica, Vol. 7, n°1, p. 27-36.
- Holldobler B & Engel-Siegal H, 1984, *On the metapleural gland of ants*, Psyche, Vol. 91, p. 201-224.
- Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P.F, 2002, *Botanique systématique : Une perspective phylogénétique*, 1<sup>ère</sup> édition, De Boeck Université, 488 pp.
- Langenberger M. W. & Davis A.R., 2002, *Temporal changes in floral nectar production, reabsorption, and composition associated with dichogamy in annual caraway (Carum carvi; Apiaceae)*, American Journal of Botany, Vol. 89, p. 1588-1598.
- Peakall R., Beattie A.J. & James S.H., 1987, *Pseudocopulation of an orchid by male ants : a test of two hypotheses accounting for the rarity, of ant pollination*, Œcologia, Vol. 73, p. 522-524.

#### Sites internet :

- À fleur de « Pau » (<http://www.afleurdepau.com/>) 09-10/2008 :
  - o <http://www.afleurdepau.com/Flore/apiaceae/laserpitium-gallicum/x.htm>
- Centre régional de documentation pédagogique de Franche-Comté (<http://crdp.ac-besancon.fr/>) 09-10/2008 :
  - o [http://crdp2.ac-besancon.fr/flore/flore/Apiaceae/especes/laserpitium\\_gallicum.htm](http://crdp2.ac-besancon.fr/flore/flore/Apiaceae/especes/laserpitium_gallicum.htm)
- Encyclopædia Universalis (<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.ulb.ac.be/index.htm>) 09-10/2008 :
  - o Autogamie (<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.ulb.ac.be/article2.php?napp=88760&nref=T322003>)
  - o Insectes (<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.ulb.ac.be/article2.php?napp=7064&nref=C097051>)
  - o Ombellales (<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.ulb.ac.be/article2.php?napp=&nref=N131181>)
- FloreAlpes.com & RandonnéeBotanique.com (<http://www.floreAlpes.com/index.php>) 09-10/2008 :
  - o [http://www.floreAlpes.com/fiche\\_laserGallicum.php#](http://www.floreAlpes.com/fiche_laserGallicum.php#)
- Gaisma (<http://www.gaisma.com/en/>) 09-10/2008 :
  - o <http://www.gaisma.com/en/location/nice.html>
- Karl Sims (<http://www.karlsims.com/>) 09-10/2008 :
  - o <http://www.karlsims.com/evolved-virtual-creatures.html>
- L'herbier de Gabriel (<http://www.herbier.sesa-aude.com/>) 09-10/2008 :
  - o <http://www.herbier.sesa-aude.com/spip.php?article1210>
- Peyresq Foyer d'Humanisme (<http://www.peiresc.org/index.html>) 09-10/2008 :
  - o <http://www.peiresc.org/2006.Actes/06.annex.htm>
- Un herbier numérique sur le Pays « Asses, Verdon, Vaïre, Var » (<http://www.herbier-a3v.org/>) 09-10/2008 :
  - o *Vicia cracca* L. (<http://www.herbier-a3v.org/herbiernum/fiche.php?id=1007>)
  - o *Laserpitium gallicum* L. (<http://www.herbier-a3v.org/herbiernum/fiche.php?id=336>)
- Wikipedia English ([http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)) 09-10/2008 :
  - o Co-evolution (<http://en.wikipedia.org/wiki/Co-evolution>)
  - o Leigh Van Valen ([http://en.wikipedia.org/wiki/Leigh\\_Van\\_Valen](http://en.wikipedia.org/wiki/Leigh_Van_Valen))
  - o Pollination (<http://en.wikipedia.org/wiki/Pollination>)
- Wikipédia francophone (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>), 09-10/2008 :
  - o Astéridées (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ast%C3%A9rid%C3%A9es>)
  - o Charles Darwin ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Darwin](http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin))
  - o Classification APG II ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Classification\\_APG\\_II](http://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_APG_II))
  - o Coévolution (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Co%C3%A9volution>)
  - o Conflit sexuel ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Co-%C3%A9volution\\_antagoniste](http://fr.wikipedia.org/wiki/Co-%C3%A9volution_antagoniste))
  - o Diagramme ombrothermique ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme\\_ombrothermique#Diagramme\\_ombrothermique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_ombrothermique#Diagramme_ombrothermique))
  - o Entomogamie ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollinisation#L.27entomophilie\\_.28entomogamie.29](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollinisation#L.27entomophilie_.28entomogamie.29))
  - o Laserpitium (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Laserpitium>)
  - o Morphologie des lépidoptères ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Morphologie\\_des\\_l%C3%A9pidopt%C3%A8res#La\\_t.C3.AAte](http://fr.wikipedia.org/wiki/Morphologie_des_l%C3%A9pidopt%C3%A8res#La_t.C3.AAte))
  - o Peyresq (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Peyresq>)
  - o Théorie de la reine rouge ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie\\_de\\_la\\_reine\\_rouge](http://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_de_la_reine_rouge))
  - o Thierry Lodé ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Thierry\\_Lod%C3%A9](http://fr.wikipedia.org/wiki/Thierry_Lod%C3%A9))
  - o *Vicia cracca* ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Vicia\\_cracca](http://fr.wikipedia.org/wiki/Vicia_cracca))