

Etude de la tolérance au froid d'un insecte exotique, *Cotesia Typhae*

RÉSUMÉ

Les insectes parasito ides sont des candidats intéressants pour lutter contre les ravageurs de culture. *Cotesia typhae*, une petite guêpe originaire du Kenya, est hautement spécialisée sur la chenille de *Sesamia nonagrioides*, qui cause des dégâts importants dans les cultures de ma is, il serait alors intéressant d'utiliser ce parasito ide pour éliminer ces chenilles. Cependant, l'introduction d'une espèce exotique peut causer des problèmes d'invasion biologique ou au contraire ne pas fonctionner à cause de la différence de climat. L'étude vise donc à mesurer la tolérance aux températures froides de *C. typhae*. Les résultats montrent que la chenille meurt peu de temps après la sortie des larves de parasito ide, mais dans certains cas, l'hôte met en œuvre une défense immunitaire efficace contre le parasito ide et poursuit ainsi son développement en chrysalide. En condition de laboratoire, ce cycle s'effectue sans problème à une température de 27 C. Des expériences ont été menées pour soumettre des chenilles parasitées   différentes températures et durées post-parasitisme dans le but d'étudier l'impact des températures froides sur le développement, la survie et la reproduction de *C. typhae*. Il a été observé que le succès du parasitisme dépend de la température et que le temps d'exposition à la température à un effet significatif sur le taux de survie des parasito ides.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2
ANALYSE ET RÉPONSE AUX QUESTIONS BIOLOGIQUES	2
• Question biologique n�1	2
• Représentation des données appropriées	2
• Modèle et conditions d'application du test	3
• Hypothèses H0 et H1	4
• Statistique de test et sa loi sous H0	4
• Décision statistique et interprétation biologique	5
• Question biologique n�2	6
• Représentation des données	6
• Modèle et conditions d'application du test	7
• Formulation H0 et H1	8
• Statistique de test et sa loi sous H0	8
• Forme de la zone de rejet	8
• Choix de la règle de décision et calcul des seuils de la zone de rejet	9
• Interprétation biologique	9
• Représentation de la distribution sous H0	9
CONCLUSION ET DISCUSSION	10
ANNEXES	11

INTRODUCTION

Afin d'étudier si l'utilisation de *C. typhae* dans la lutte biologique contre *S. nonagrioides* est réalisable, une expérience a été réalisée pour étudier en particulier l'impact des températures froides sur le développement, la survie et la reproduction du parasitoïde. Pour cela trois lots ont été formés : un lot témoin de chenilles qui n'ont pas été parasitées (manip T), un lot de chenilles parasitées à l'âge de 28 jours puis exposées pendant 14 jours aux différentes températures et retour à 27°C ensuite (manip L) et un lot de chenilles également parasitées à 28 jours mais exposées pendant 50 jours aux différentes températures (manip C).

Dans chaque lot, des populations équilibrées ont été formées et chacune placée à une certaine température pendant la période d'exposition, les températures testées sont les suivantes : 5, 10, 15, 20 et 27°C.

Différentes variables ont été mesurées sur les chenilles : le devenir final des chenilles (production de parasitoïdes, formation de chrysalide ou mort sans produire de parasitoïdes), la durée entre le parasitisme et le devenir final et dans le cas de l'obtention de cocons de parasitoïdes : le nombre de larves qui ont émergé mais pas donné de cocon, le nombre de cocons qui n'ont pas donné d'adultes, le nombre d'adultes mâles et femelles qui ont émergés ainsi que la durée du développement nymphal (de la formation du cocon à l'émergence de l'adulte).

Deux réplicats ont été réalisés (A et B) ce qui permet d'augmenter la puissance pour détecter une différence significative entre les populations. Notre objectif est alors d'exploiter les données que l'on a afin de répondre à différentes questions biologiques.

ANALYSE ET RÉPONSE AUX QUESTIONS BIOLOGIQUES

Question biologique n°1 :

L'étude de l'impact des températures froides sur le développement, la survie et la reproduction de *C. typhae* permettrait de déterminer si l'utilisation de cette espèce de parasitoïde originaire du Kenya pour éliminer le ravageur qu'est la chenille *Sesamia nonagrioides* est envisageable dans un climat plus froid.

Pour cela, nous allons nous concentrer sur le succès du parasitisme et répondre à la question suivante : **Est-ce que la température a un effet sur le succès du parasitisme ?**

Représentation des données appropriées :

Pour cela nous étudions le devenir final des chenilles à différentes températures. Soit elles donnent des parasitoïdes (= succès du parasitisme), soit elles meurent sans donner de

parasitoïdes, soit elles se transforment en chrysalides (= échec du parasitisme également). On a ainsi regroupé les chenilles mortes et celles qui ont formé des chrysalides sous une seule nouvelle catégorie nommée “Pas de parasitoïdes” pour former une nouvelle colonne appelée “devenir final”.

On a ensuite pour chaque durée d’exposition (courte = 14 jours et longue = 50 jours) formé un tableau de contingence afin d’obtenir les effectifs pour chaque température et chaque devenir final.

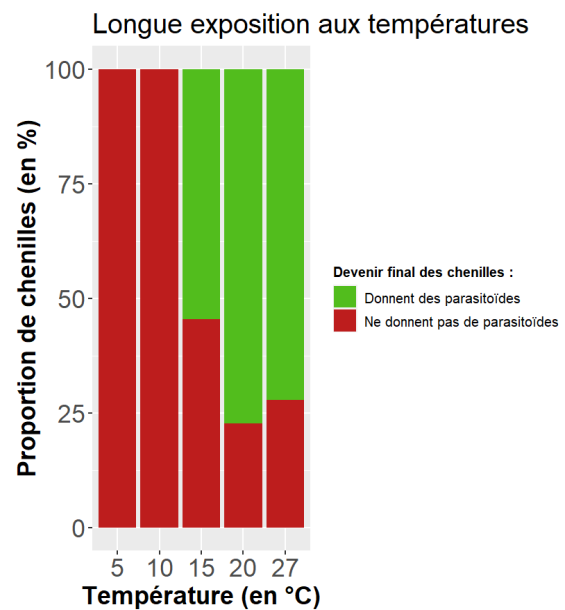
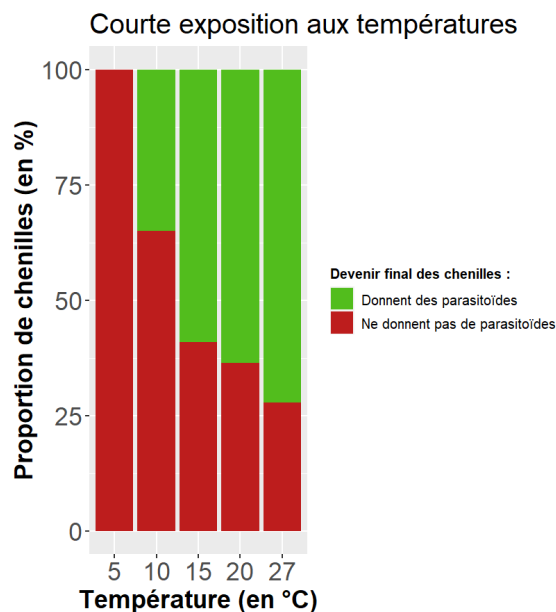
Effectifs chenilles courte durée d’exposition :

	5	10	15	20	27
parasitoïde	0	7	13	14	31
pas de parasitoïde	22	13	9	8	12

Effectifs chenilles longue durée d'exposition :

	5	10	15	20	27
parasitoïde	0	0	12	17	31
pas de parasitoïde	23	22	10	5	12

Il a ensuite fallu calculer la somme des effectifs pour chaque température afin de pouvoir calculer la proportion de chenilles qui ont donné des parasitoïdes ou non pour chaque population (une population = une température). Cela nous a permis de créer les graphiques suivants :



Pour les deux graphiques on remarque que la proportion de chenilles donnant des parasitoïdes diminue lorsque la température diminue et inversement la proportion de chenilles qui n’en donnent pas diminue lorsque la température augmente. Cela est particulièrement visible sur le graphique représentant les chenilles qui ont été exposées 14 jours aux différentes températures.

On se demande alors si l’exposition à des températures froides fait diminuer **significativement** la proportion de chenilles qui donneront des parasitoïdes et par conséquent le succès de parasitisme. Pour répondre à cette question nous allons procéder à des tests statistiques.

Modèle et conditions d'application du test :

On souhaite savoir si le devenir des chenilles dépend de la température à laquelle les chenilles ont été exposées, ce qui permet de tester si le succès du parasitisme dépend de la température. Cela revient à déterminer si le devenir suit la même loi de probabilité pour chaque population de chenilles (une population = une population de chenilles exposée à une certaine température). De plus, le devenir et la température d'exposition sont deux variables qualitatives. Ainsi nous allons réaliser un test du khi deux d'homogénéité. Nous réaliserons deux tests, un pour les chenilles exposées longtemps aux différentes températures (50 jours) et un pour celles qui ont été exposées pendant une courte période (14 jours).

Chaque échantillon est issu d'une population exposée à une certaine température. On peut donc associer une loi de probabilité à chacun des échantillons :

$$P(X_i = a_j) = p_{ij}$$

où p_{ij} est la fréquence du devenir a_j dans la population i .

La condition nécessaire pour effectuer un test du khi deux d'homogénéité est que les effectifs théoriques soient supérieurs ou égaux à 5 dans chaque classe. On teste cela à l'aide de R.

Effectif théorique chenilles 14 jours :

```
> eff_theo_L <- chisq.test(tab_cont_L)$expected
> eff_theo_L
```

	5	10	15	20	27
parasitoide	11.08527	10.077519	11.08527	11.08527	21.66667
pas de parasitoide	10.91473	9.922481	10.91473	10.91473	21.33333

Effectif théorique chenilles 50 jours :

```
> eff_theo_C <- chisq.test(tab_cont_C)$expected
> eff_theo_C
```

	5	10	15	20	27
parasitoide	10.45455	10	10	10	19.54545
pas de parasitoide	12.54545	12	12	12	23.45455

On remarque que les effectifs théoriques sont tous supérieurs à 5, cette condition est donc validée et on peut effectuer le test.

Hypothèses H0 et H1 :

- **H0** : Les échantillons issus des différentes populations suivent tous la même loi de probabilité.
- **H1** : Il existe au moins un échantillon qui ne suit pas cette loi de probabilité.

Pour **H0**, cela implique que la fréquence de chaque devenir est la même dans chaque population et donc que la température n'a pas d'effet sur le succès du parasitisme. Pour l'**hypothèse alternative** cela signifierait que la température d'exposition des chenilles a un effet sur leur devenir et donc sur le succès du parasitisme.

Statistique de test et sa loi sous H0 :

On calcule la statistique de test du χ^2 grâce à R pour chaque durée d'exposition :

Durée d'exposition courte :

```
> chisq.test(tab_cont_L)

Pearson's Chi-squared test

data:  tab_cont_L
X-squared = 34.553, df = 4, p-value = 5.738e-07
```

Durée d'exposition longue :

```
> chisq.test(tab_cont_C)

Pearson's Chi-squared test

data:  tab_cont_C
X-squared = 59.524, df = 4, p-value = 3.653e-12
```

La statistique de test Z du χ^2 suit la loi du khi deux sous H0.

$$ddl = IJ - (I - 1) - (J - 1) - 1 = (I - 1)(J - 1)$$

avec I = le nombre de populations et J le nombre de devenir. Ainsi

$$ddl = (5 - 1)(2 - 1) = 4$$

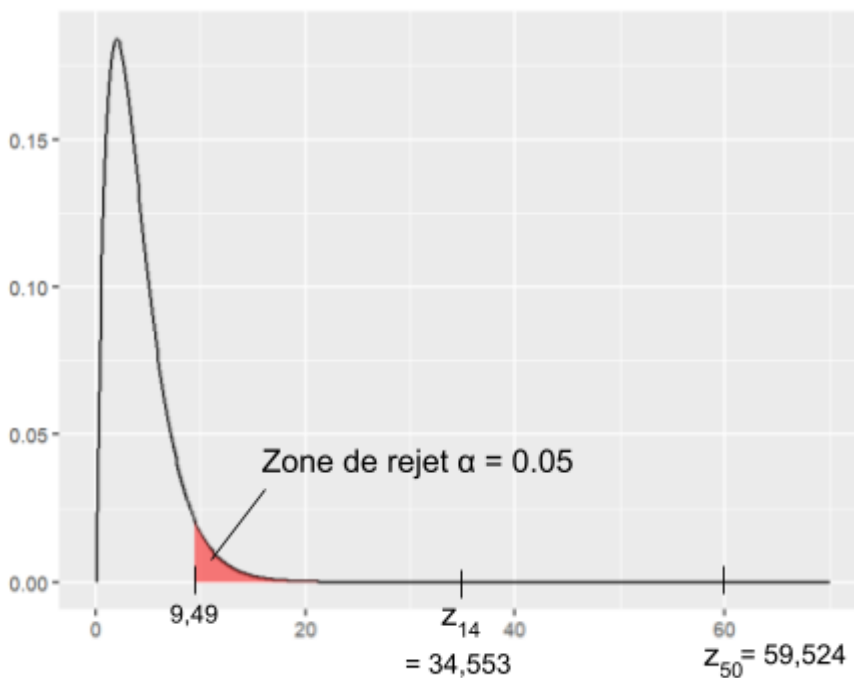
On choisit un risque α de 5% et on calcule le seuil α à l'aide de R :

```
> qchisq(0.95, df=4, lower.tail=TRUE)
[1] 9.487729
```

La zone de rejet est donc de la forme $[9,487729; +\infty[$

Il est alors possible de représenter la zone de rejet sur le graphique suivant avec les différentes statistiques obtenues via les tests :

Distribution de la statistique Z sous H0 :



z_{14} représente la statistique du test pour la courte exposition et z_{50} celle pour la longue exposition à la température.

Décision statistique et interprétation biologique :

On remarque que les valeurs des statistiques calculées pour les deux temps d'exposition sont dans la zone de rejet. De plus pour la courte exposition à la température p-valeur = $5,738 \times 10^{-7}$ et pour la longue exposition p-valeur = $3,653 \times 10^{-12}$ (calculées à l'aide de R, voir capture plus haut), ce qui est fortement inférieur à 0,05. On peut donc rejeter l'hypothèse H_0 et accepter l'hypothèse alternative H_1 avec une confiance de 95% dans les deux cas. Ce qui signifie qu'un échantillon ou plus ne suit pas la même loi de probabilité que les autres. Donc que le devenir final des chenilles dépend de la température.

D'un point de vue biologique, cela signifie que la proportion de chenilles qui ont données des parasitoïdes est significativement différente entre les populations exposées aux différentes températures et ce pour les deux durées d'exposition. On peut en conclure que le succès du parasitisme dépend de la température dès lors que les chenilles sont exposées 14 jours ou plus.

Question biologique n°2 :

Grâce à la question précédente, on sait maintenant que la température a un effet significatif sur le succès du parasitisme. Cependant on peut se demander si cette même température impacte aussi le taux de survie des parasitoïdes. A cela on ajoute aussi une autre variable expérimentale qui est la durée d'exposition à la température. Les chenilles, une fois parasitées, sont exposées durant une période de 14 jours ou de 50 jours à la température et cela pourrait avoir un impact sur la survie finale des parasitoïdes, cela signifierait que la température a un effet sur le développement des parasitoïdes. Par taux de survie on entendra le nombre de parasitoïdes adulte, mâles ou femelle, par rapport au nombre total d'individu sorti des chenilles soit la somme du nombre de larves et de cocon.

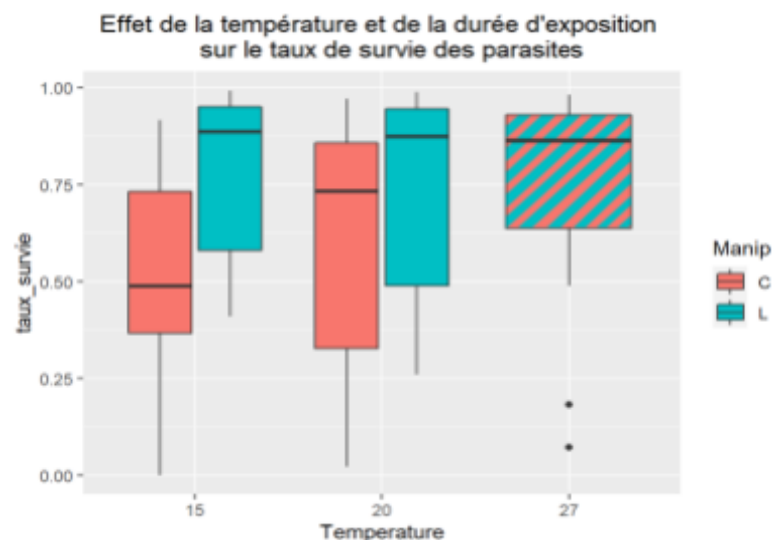
On se demande donc si la température et le temps d'exposition des chenilles ont une influence sur le taux de survie des parasitoïdes ?

Représentation des données :

Afin de pouvoir réaliser cette étude, il est tout d'abord nécessaire de calculer les données correspondant au taux de survie pour chaque chenille et pour cela on doit additionner le nombre de larves et de cocons pour avoir le nombre total de parasitoïdes pour chaque chenille et additionner le nombre d'adultes de chaque sexe pour avoir un nombre d'adultes obtenus. Nous avons ensuite observé la distribution de nos données pour savoir si elle suivait une loi normale et si elle était donc utilisable pour un test ANOVA à deux facteurs.

Le tableau de contingence des données brutes utilisées montre qu'elle sont bien équilibrées :

	C	L
15	11	12
20	16	10
27	21	0



En effet le "0" pour la condition L-27°C est dû au fait que cette condition est exactement similaire à C-27°C et qu'elles ont donc été cumulées pour plus de clarté d'où la valeur doublée en C-27°C. D'après le Boxplot obtenu, on peut observer que le taux de survie semble

diminuer avec la température mais seulement en condition de longue exposition (manip C). La médiane entre les différentes températures est la même pour le lot L mais varie davantage au sein du lot C.

Modèle et conditions d'application du test :

On souhaite savoir si la température (notée alpha) et la durée d'exposition à la température (notée beta), qui sont deux variables qualitatives, ont un impact sur le taux de survie des parasitoïdes jusqu'à l'état adulte qui est une variable quantitative continue. On fait cela sur l'ensemble des chenilles qui génèrent des parasitoïdes (notre population). Cela correspond donc à un test d'anova à deux facteurs où l'on regarde l'impact successivement d'alpha et de beta sur le taux de survie puis l'interaction entre les deux facteurs (teta).

On suit le modèle linéaire suivant:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_{ij} + \epsilon_{ijk}, \quad \epsilon_{ijk} \text{ iid } \mathcal{N}(0; \sigma^2)$$
$$\sum_i \alpha_i = 0, \quad \sum_j \beta_j = 0, \quad \sum_i \theta_{ij} = \sum_j \theta_{ij} = 0.$$

μ est la moyenne générale, $\alpha(i)$ l'écart à la moyenne pour les individus à la température i , $\beta(j)$ l'écart à la moyenne pour les individus exposés pendant la durée j , θ_{ij} l'effet d'interaction entre alpha et beta pour tout couple ij et epsilon sont les résidus pour ijk .

Les prérequis sont que les résidus epsilon suivent une distribution normale, soient homoscédastique et indépendants. On ne saura cela que lorsque l'on étudiera graphiquement les résidus obtenus lors de la création du modèle linéaire.

Formulation H0 et H1 :

Pour le facteur alpha :

H0 : tous les alpha (i) sont égaux et valent 0, il n'y a pas d'effet du facteur.

H1 : au moins un alpha (i) est différent de 0, il y a un effet du facteur.

Pour le facteur bêta :

H0 : tous les bêta (j) sont égaux et valent 0, il n'y a pas d'effet du facteur.

H1 : au moins un bêta (j) est différent de 0, il y a un effet du facteur.

Pour l'effet d'interaction teta :

H0 : tous les teta (ij) sont égaux et valent 0, il n'y a pas d'effet d'interaction.

H1 : au moins un teta (ij) est différent de 0, il y a un effet d'interaction.

Statistique de test et sa loi sous H0 :

On observe sous H0 la statistique de test F qui suit une loi de Fisher.

pour le facteur alpha

pour le facteur bêta

pour l'effet d'interaction teta

$$F = \frac{\frac{SSA}{ddl_A}}{\frac{SSR}{ddl_R}} \sim \mathcal{F}_{ddl_A, ddl_R}^{ddl_A}$$

$$F = \frac{\frac{SSB}{ddl_B}}{\frac{SSR}{ddl_R}} \sim \mathcal{F}_{ddl_B, ddl_R}^{ddl_B}$$

$$F = \frac{\frac{SSI}{ddl_I}}{\frac{SSR}{ddl_R}} \sim \mathcal{F}_{ddl_I, ddl_R}^{ddl_I}$$

d'après R :

ddlA=2

ddlB=1

ddlI=1

ddlR=65

Choix de la règle de décision et calcul des seuils de la zone de rejet :

α est le risque et il est fixé usuellement à 5% soit 0,05. D'après R et la fonction qf (0.95,ddl1,ddl2), les seuils des zones de rejet sont respectivement pour alpha, beta et teta :

```
> qf(0.95,2,65)
[1] 3.138142
```

```
> qf(0.95,1,65)
[1] 3.98856
```

```
> qf(0.95,1,65)
[1] 3.98856
```

Forme de la zone de rejet :

On rejette H0 pour les grande valeur de F avec pour limite le quantil d'ordre 1- α de la loi de fisher correspondante. On obtient les zones de rejet de alpha, beta et teta suivantes :

[3,138142; + ∞ [pour alpha / [3,98856; + ∞ [pour beta / [3,98856; + ∞ [pour teta.

Décision statistique par 2 méthodes :

```
Anova Table (Type II tests)

Response: taux_survie

              Sum Sq Df F value    Pr(>F)
as.factor(Temperature_exposition)  0.4071   2   2.6641 0.07726 .
as.factor(duree_temp)              0.4458   1   5.8353 0.01853 *
as.factor(Temperature_exposition):as.factor(duree_temp) 0.0855   1   1.1189 0.29407
Residuals                        4.9660  65
```

- Pour le facteur de la température d'exposition, $2.6641 < 3.1381$ et $0.07726 > 0.05$.
la valeur de la statistique de test est inférieur au seuil et la p-value supérieur à α donc on ne rejette pas H0.

- Pour le facteur de la durée d'exposition, $5.8353 > 3.98856$ et $0.01853 < 0.05$.
la valeur de la statistique de test est supérieur au seuil et la p-value inférieur à α on rejette donc H0.

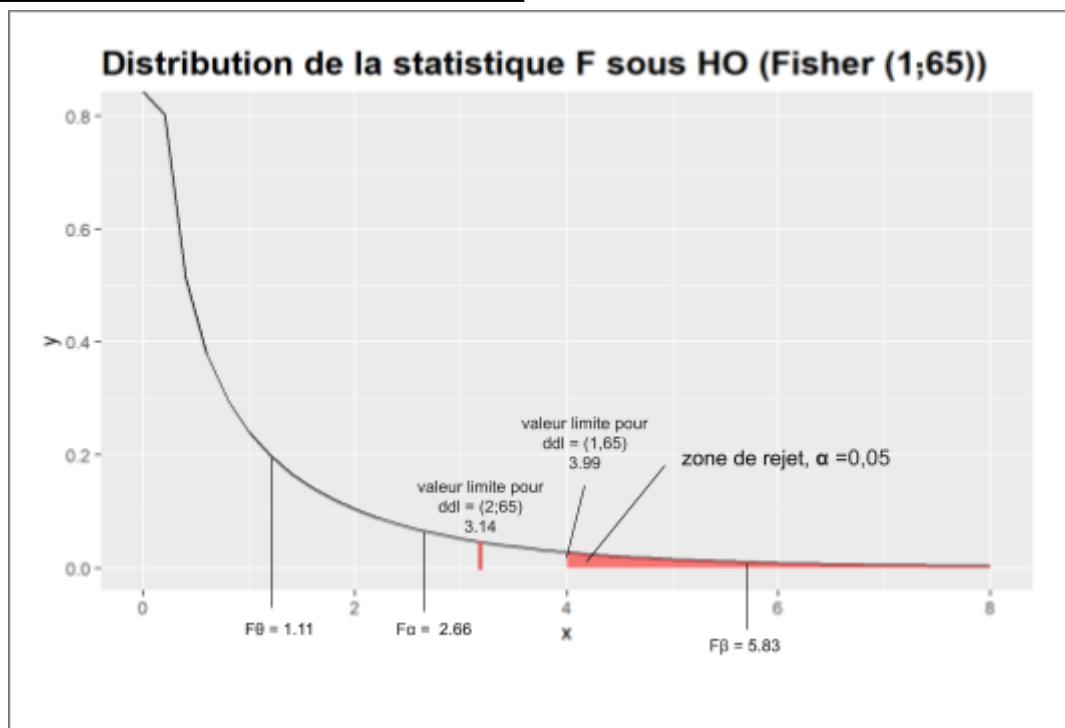
- Pour l'effet d'interaction entre les deux facteurs, $1.1189 < 3.8353$ et $0.29407 > 0.05$.

la valeur de la statistique de test est inférieure au seuil et la p-value supérieure à α on ne rejette donc pas H_0 .

Interprétation biologique :

Ce test anova à deux facteurs nous indique plusieurs choses. Premièrement, la température d'exposition ne semble pas avoir d'effet direct significatif sur le taux de survie des parasitoïdes. Deuxièmement, la durée d'exposition à la température froide semble avoir un impact significatif sur le taux de survie des parasitoïdes. Si la durée d'exposition à la température froide est longue alors le taux de survie diminue. Il ne semble cependant pas avoir d'effet d'interaction entre la température et la durée d'exposition à ces températures.

Représentation de la distribution sous H_0 :



CONCLUSION ET DISCUSSION

L'analyse statistique réalisée sur ce jeu de données nous a permis de conclure que la température à laquelle les chenilles sont exposées impacte la réussite du parasitisme. En effet, un plus grand nombre de chenilles parasitées généreront des parasitoïdes pour des températures plus chaudes et ce peu importe la durée d'exposition à ladite température. De plus, le test anova réalisée sur le taux de survie des parasitoïdes en fonction des températures et de la durée d'exposition semble montrer que c'est la durée d'exposition des chenilles à température froide qui définit la survie des parasitoïdes.

Dans le contexte d'une lutte biologique contre les chenilles ravageuses, *C. typhae* ne serait utilisable que dans des régions dans lesquelles les températures ne sont pas trop basses et il faudrait que ce soit uniquement durant de courtes périodes. Les températures trop basses limiteraient l'efficacité du parasitisme et la durée empêcherait alors les parasitoïdes de murer et donc de pouvoir former une lutte efficace contre les ravageurs en les tuant.

Pour poursuivre l'analyse des données, il serait intéressant de trouver à quelle température et à partir de quelle durée des problèmes de développement apparaissent chez le parasitoïde. De plus, la réalisation de tests complémentaires ou sur un plus grand jeu de données permettrait d'augmenter la puissance statistique et ainsi rendre les résultats obtenus plus robustes.

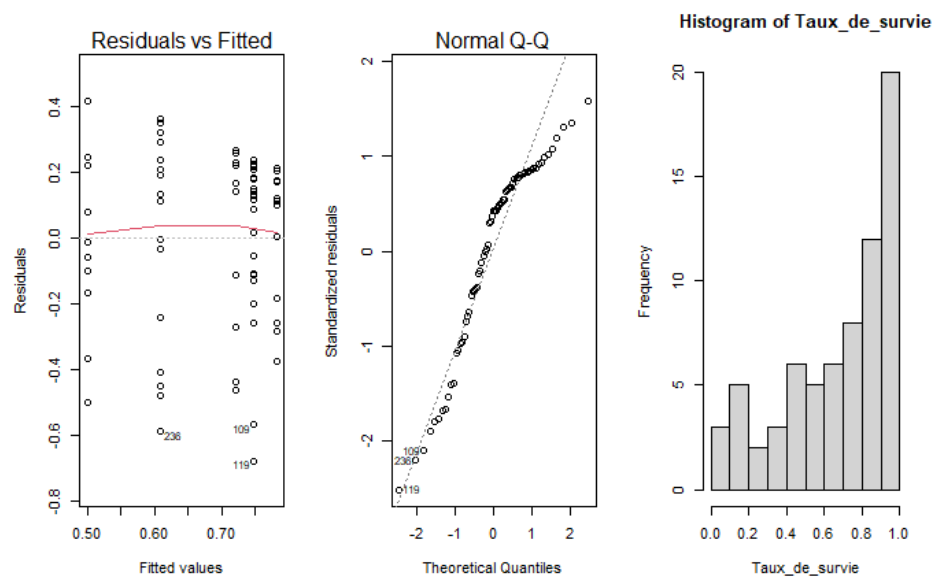
Cependant, pour la seconde question, dans l'anova à deux facteurs, les prérequis sont que les résidus suivent une distribution normale, soient homoscedastiques et indépendants. L'histogramme de distribution des données brut (annexe 1) montre qu'elles ne semblent pas suivre de loi normale. Le test ANOVA à été réalisé pour pouvoir ensuite observer la variance des résidus et la variation quantile-quantile. Cependant, ces résultats confirment la non normalité des données (annexe 1). Nous avons donc transformé le taux de survie de deux façons : à l'aide de la fonction logarithme ($\log()$) et via une transformation arcsin (racine carré). La transformation logarithmique semble éloigner davantage nos données de la loi normale et ne sera donc pas utilisée (annexe 3). La transformation par arcsin (racine carré) rapproche légèrement le jeu de données de la loi normale mais pas suffisamment pour que l'on sélectionne ces nouvelle données comme référence (annexe 2). En effet, ces

transformations brouillent la façon dont nous percevons ces données et il est donc plus clair d'utiliser les données brutes vu le peu d'impact qu'à la transformation.

Malgré le faite que nos donnée brutes ne suivent pas une loi normale, nous avons quand même réalisé et analysé les résultats de l'anova à deux facteurs car les tests non paramétriques que l'on devrait réaliser dans ce cas, comme le test de Kruskal-Wallis, ne nous ont pas été présenté en cours et ne sont par conséquent pas utilisables à notre niveau.

ANNEXES

Annexe 1 : Test des résidus des données brut

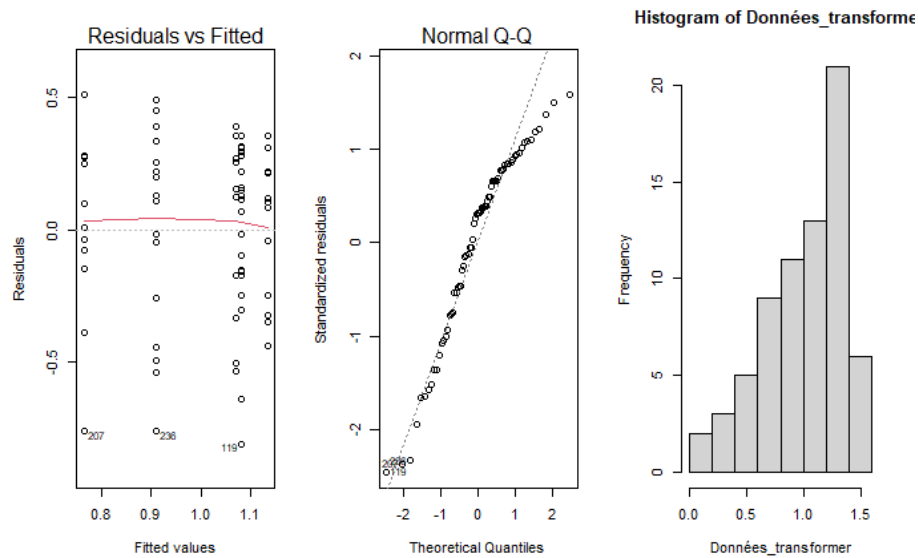


Anova Table (Type II tests)

Response: taux_survie

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
as.factor(Temperature_exposition)	0.4071	2	2.6641	0.07726 .
as.factor(duree_temp)	0.4458	1	5.8353	0.01853 *
as.factor(Temperature_exposition):as.factor(duree_temp)	0.0855	1	1.1189	0.29407
Residuals	4.9660	65		

Annexe 2 : Test des résidus des donnée transformer

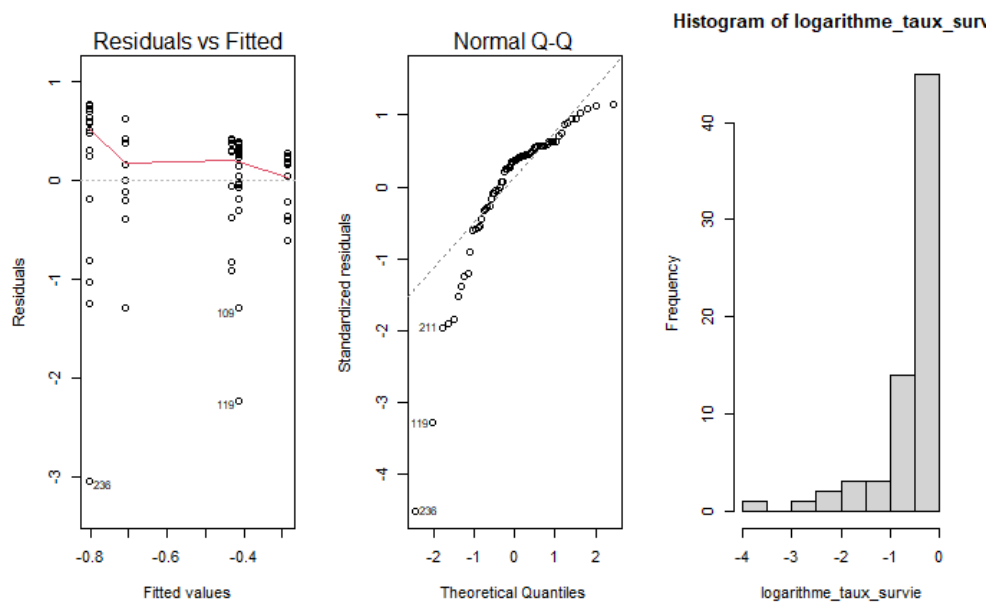


Anova Table (Type II tests)

Response: transfo

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
as.factor(Temperature_exposition)	0.6581	2	2.8574	0.06466 .
as.factor(duree_temp)	0.8088	1	7.0235	0.01009 *
as.factor(Temperature_exposition):as.factor(duree_temp)	0.1305	1	1.1331	0.29105
Residuals	7.4848	65		

Annexe 3 : Test des résidus des données transformées par log()



Anova Table (Type II tests)

Response: log_taux

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
as.factor(Temperature_exposition)	1.6152	2	1.6756	0.19530
as.factor(duree_temp)	1.8156	1	3.7672	0.05667 .
as.factor(Temperature_exposition):as.factor(duree_temp)	0.0080	1	0.0165	0.89808
Residuals	30.8450	64		