

Mathieu Flottard

Konstantin Ganz

Sixte Guillet de Chatellus

# LES EFFETS DE LA NICOTINE SUR LES FOURMIS

Nous nous intéressons dans cette étude à l'effet de la nicotine sur les fourmis et notamment sur leur alimentation, déplacement, et comportement face à l'imprévu. Pour ce faire, les effets ont été testés sur deux colonies de *Messor Barbarus* dont une consomme de la nicotine. Les expériences réalisées mettent surtout en évidence une baisse de la consommation d'eau et une augmentation des vitesses et vitesses angulaires chez les fourmis nicotinées.

# Sommaire

- ❑ Introduction (p1)
- ❑ Protocole général (p2)
- ❑ I-Effets de la nicotine sur l'alimentation (p2)
  - ❑ 1- Attraction à la nicotine (p2)
  - ❑ 2- Effet sur l'alimentation (p3)
  - ❑ 3- Effet sur la consommation d'eau (p4)
- ❑ II- Effet de la nicotine sur le déplacement des fourmis (p5)
  - ❑ 1- Méthode et matériel (p5)
  - ❑ 2- Résultats (p5)
  - ❑ 3- Discussion (p6)
- ❑ III-Effets de la nicotine sur le comportement des fourmis (p7)
  - ❑ 1- Réaction face à l'introduction d'un objet dans la fourmilière (p7)
  - ❑ 2- Organisation de la fourmilière pré/post nicotine (p8)
- ❑ Conclusion (p9)
- ❑ Bibliographie (p10)
- ❑ Lexique (p10)

## Introduction:

La plupart des plantes utilisent de nombreuses stratégies pour se défendre contre les herbivores. Ces stratégies reposent sur un mutualisme, souvent avec des insectes. On peut citer par exemple l'acacia corne de bœuf qui offre du nectar avec une enzyme inhibant la production d'enzyme permettant l'hydrolyse du saccharose aux fourmis (3). Cela crée vis à vis des fourmis une dépendance. Comme la fourmi ne peut plus produire de glucose, elle est dépendante de son nectar qui contient du glucose. Cette dépendance peut aussi être créée avec des molécules créant une dépendance, comme la nicotine présente dans le nectar des fleurs de tabac. C'est pourquoi il est intéressant de voir si la présence de nicotine dans certaines plantes pourrait influencer le comportement de certains insectes. Nous allons donc tester les effets de la nicotine sur une colonie de fourmis *Messor barbarus*, des fourmis granivores méditerranéennes. Nous nous sommes procurés ces deux colonies grâce à Paul Devienne, technicien zoologiste à l'université Paris 13. La nicotine est un alcaloïde issu de la plante de tabac. Elle agit sur le système nerveux, par inhalation, ingestion ou contact. Cette molécule possède de nombreux effets, comme celui d'imiter l'acétylcholine, un neurotransmetteur.

Quels sont les effets de la nicotine chez les fourmis ?

- Est-ce que la nicotine crée une dépendance chez cet insecte ?
- Est-ce qu'il y a des changements comportementaux et moteurs visibles ?

Nous commencerons par étudier l'impact de la nicotine sur l'alimentation des fourmis ainsi que sa potentielle addictivité, puis nous verrons quels sont les changements moteurs qu'elle peut causer, et enfin

nous parlerons des différences comportementales entre des fourmis nicotinées et des fourmis saines. Nous nous sommes inspirés d'une publication canadienne qui étudiait les effets de la nicotine sur une autre espèce de fourmis (1).

Nous avons utilisé cette espèce de fourmis car elles sont granivores donc simples à élever, de taille suffisante pour pouvoir les observer et manipuler facilement.

## Protocole général:

Deux fourmilières ont été élevées, une nicotinée avec une solution aqueuse de nicotine de concentration 1g/L, l'autre servant de fourmilière témoin. Nous avons choisi la concentration conseillée par la publication canadienne (1) pour nous permettre de comparer les deux études. Nous avons fait notre solution en diluant un e-liquide pour cigarette électronique concentré en nicotine à 20 mg/ml, composé de 50% de propylène glycérol et de glycérine végétale. Nous faisons l'hypothèse que ces deux molécules n'ont pas d'effet sur les fourmis puisque inhalées sans problème par l'homme.

Un centre d'étude canadien (1) a fait une étude similaire en 2014. Il utilisait une solution de nicotine pure coupée avec du lactose qu'il avait pu obtenir auprès d'un laboratoire. Il était pour nous impossible de manipuler de la nicotine pure pour des raisons de toxicité et de sécurité.

La fourmilière artificielle est composée de deux compartiments reliés, un simulant l'espace souterrain de la fourmilière (1) et l'autre simulant l'extérieur (2).



Figure 1 : image de la fourmilière artificielle (30 cm de long)

## I-Effet de la nicotine sur l'alimentation

### 1- Attraction à la nicotine

Nous nous sommes intéressés à l'attraction spontanée à la nicotine chez des fourmis n'ayant jamais été en contact avec la nicotine et l'attraction à long terme à la nicotine chez des fourmis ayant consommé de la nicotine pendant trois mois.

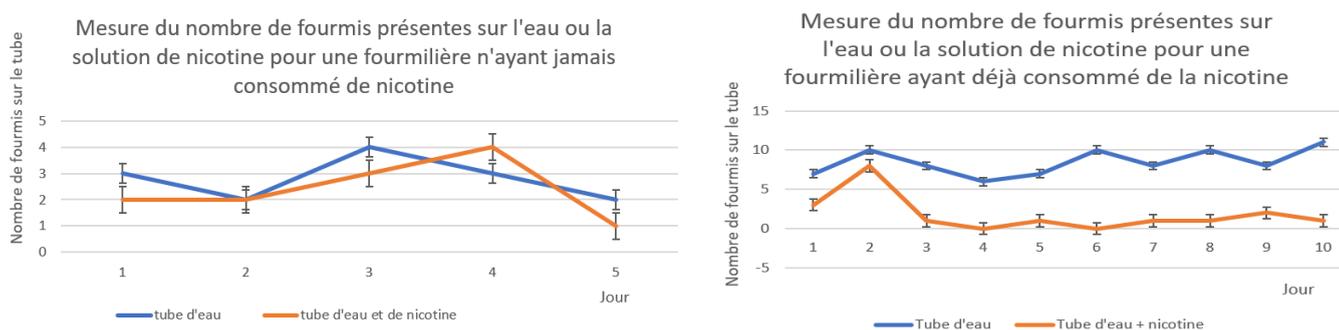
#### *Protocole*

Avant de commencer à donner de la nicotine à la fourmilière testée, nous lui avons donné un tube contenant de l'eau, et un deuxième tube contenant la solution de nicotine. Chaque jour pendant une

semaine, nous avons relevé à un moment précis de la journée le nombre de fourmis présentes sur chaque tube, pour voir si les fourmis étaient plus attirées par la solution de nicotine que par l'eau.

Après une semaine, nous avons enlevé le tube contenant l'eau seule, pour être sûrs que les fourmis consomment la nicotine et ainsi pouvoir réaliser nos autres expériences. Après 3 mois, nous l'avons remis. Les fourmis ont donc de nouveau eu le choix entre l'eau et l'eau nicotinée et nous avons pu relever à un moment précis de la journée le nombre de fourmis présentes sur chaque tube pendant 10 jours. Cela nous a permis de vérifier si la nicotine rend les fourmis addictes.

### Résultats



**Figure 2 : Mesure du nombre de fourmis présentes sur les tubes d'eau et de solution de nicotine pour une fourmilière ayant déjà consommé de la nicotine et pour une fourmilière n'en ayant jamais consommé**

Pour les fourmis n'ayant jamais consommé de nicotine : on observe qu'il n'y a pas de différence significative entre les 2 tubes. Il n'y aurait donc pas d'attraction spontanée à la nicotine, mais pas non plus de répulsion vis-à-vis de la nicotine.

Pour les fourmis ayant consommé de la nicotine : on observe qu'il y a plus de fourmis sur le tube d'eau que sur celui d'eau nicotinée. On en conclut que les fourmis sont repoussées par la nicotine après en avoir consommée. La nicotine aurait donc l'effet inverse de celui auquel on peut s'attendre, puisqu'au lieu de rendre les fourmis addictes, elle les dissuaderait de consommer de la nicotine.

## 2- Effet sur l'alimentation

### Protocole

Une coupelle contenant une masse connue de graines est disposée dans chacune des fourmilières : une dans la fourmilière témoin et une dans la fourmilière testée. Chaque semaine, la masse de graines restantes dans les coupelles est mesurée pour voir quelle quantité de graine est consommée par les deux fourmilières.

### Résultats

Nous avons effectué les mesures uniquement pour la première semaine. En effet, pour les 2 fourmilières, la masse de graines pesée après une semaine était supérieure à la masse de graines initiales. Pour comprendre, nous avons laissé, dans les fourmilières, les coupelles préalablement vidées pendant une

semaine. Les fourmis ajoutaient dans la coupelle des graines mises en réserve dans le nid auquel on ne pouvait pas accéder ce qui explique la prise de poids. Le résultat est le même pour les 2 colonies.

### Discussion

Il est donc impossible de mesurer la quantité de nourriture consommée, car nous obtenons des résultats aberrants. Cela est dû à l'organisation de la fourmilière et aux réserves faites au préalable par les fourmis, réserves que nous ne pouvions pas retirer.

### 3- Effet sur la consommation d'eau

#### Protocole

Dans chaque fourmilière, est introduit un tube d'eau de masse connue (eau + nicotine pour la fourmilière testée). Chaque semaine, la masse du tube est mesurée pour voir quelle masse d'eau a été consommée.

#### Résultats

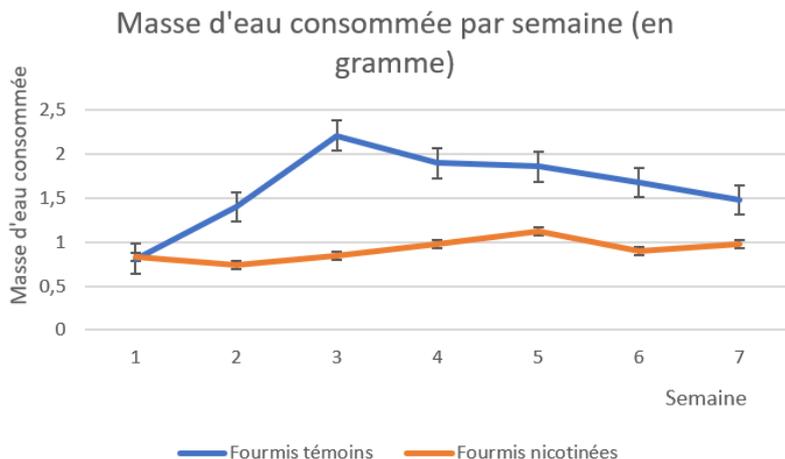


Figure 3 : Masse d'eau consommée par semaine (en gramme) chez les fourmis nicotinées et les fourmis témoins.

Masse d'eau moyenne consommée en une semaine par les fourmis témoins : 1,62g

Masse d'eau moyenne consommée en une semaine par les fourmis nicotinées : 0,91g

On observe que la quantité d'eau consommée en une semaine est plus importante pour les fourmis témoins que pour les fourmis nicotinées. En comparant la moyenne des masses d'eau consommées par semaine, on remarque que les fourmis témoins consomment 1,8 fois plus d'eau que les fourmis nicotinées.

#### Discussion des résultats

Cette expérience montre que les fourmis nicotinées consomment moins d'eau que les fourmis non nicotinées. Il y a néanmoins un paramètre que nous n'avons pas pu prendre en compte : nous ne sommes

pas sûrs qu'il y ait le même nombre de fourmis dans les deux fourmilières. Pour retirer cette incertitude, il aurait fallu compter le nombre de fourmis et ramener la consommation d'eau à l'individu.

## II-Effets de la nicotine sur le déplacement des fourmis

### 1- Méthode et matériel

#### a) Expérience préliminaire

L'expérience initiale consiste à étudier la possibilité d'imposer une trajectoire la plus directe possible aux fourmis nicotinées ou non. Pour cela, un appât sucré (miel et/ou confiture) est déposé au bout de la trajectoire (voir figure 5). Les premiers essais ont montré que les fourmis ne suivent pas la trajectoire voulue. Pour la suite, nous avons donc laissé la trajectoire libre aux fourmis sans mettre l'appât.

#### b) Expérience

L'expérience consiste à étudier l'effet de la nicotine sur leur vitesse de déplacement et sur leur vitesse angulaire. L'étude de la vitesse angulaire est intéressante car elle permet de voir si la nicotine agit sur leur orientation en modifiant l'angle de leurs trajectoires.

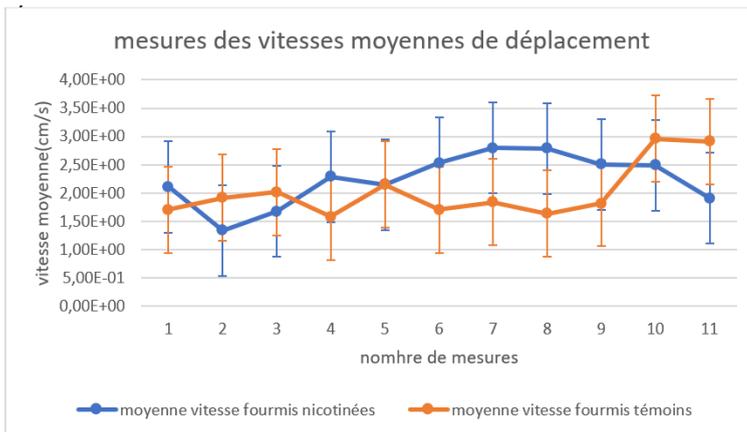
#### *Protocole*

1. Une fourmi est prélevée de la fourmilière puis déposée dans une boîte plastique avec une feuille A4 comme fond pour pouvoir visualiser sa trajectoire plus facilement.
2. La fourmi est filmée en continu pendant environ 1 minute avec un téléphone.
3. Une séquence de 20 secondes au cours de laquelle elle se déplace est sélectionnée de manière à étudier des trajectoires comparables.
4. La tête de la fourmi est pointée grâce au logiciel Tracker ; cela permet d'obtenir la vitesse et la vitesse angulaire instantanées.

### 2- Résultats

#### a) Vitesse maximale

La courbe obtenue représente la vitesse moyenne en fonction du nombre de mesures.



**Figure 4 : mesures des vitesses moyennes de déplacement**

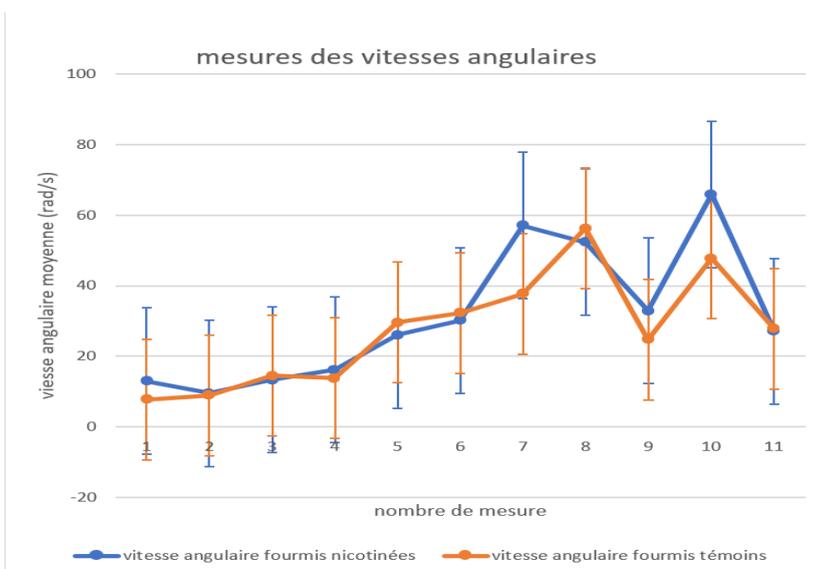
**Moyenne des vitesses moyennes chez les fourmis nicotinées : 2,24 cm/s**

**Moyenne des vitesses moyennes chez les fourmis témoins : 2,02 cm/s**

On observe que les vitesses moyennes des fourmis nicotinées sont supérieures. En comparant les moyennes des vitesses moyennes, on remarque que les fourmis nicotinées vont 1,1 fois plus rapidement que les fourmis témoins. Cette différence n'est pas négligeable ; cela représente sur 1 heure, une différence de distance de 7,2m en faveur des fourmis nicotinées.

**b) Vitesse angulaire**

La courbe obtenue représente la vitesse angulaire moyenne en fonction du nombre de mesures que nous avons fait.



**Figure 5 : mesures des vitesses angulaires**

**Moyenne des vitesses angulaires moyennes chez les fourmis nicotinées : 31,2 rad/s**

**Moyenne des vitesses angulaires moyennes chez les fourmis témoins : 27,4 rad/s**

On observe que les vitesses angulaires moyennes des fourmis nicotinées sont supérieures. En comparant les moyennes de vitesses angulaires moyennes, on remarque que les fourmis nicotinées ont une vitesse angulaire 1,15 fois supérieures à celles des fourmis témoins.

### **3- Discussion**

L'étude canadienne (1) sur l'effet de la nicotine sur les fourmis *Myrmica sabuleti* montre que les fourmis nicotinées vont à une vitesse 1,2 fois plus rapide que les fourmis témoins. On retrouve donc ici un résultat cohérent avec l'étude. Tout de même, on peut voir que les deux écarts types associés à chaque série de mesure sont importants (0,804 pour les fourmis nicotinées et 0,762 pour les fourmis témoins) et se chevauchent. Il faudrait donc refaire l'expérience avec un nombre de mesures plus important afin de réduire les écarts types et de pouvoir valider cette tendance.

L'étude canadienne montre aussi que la vitesse angulaire des fourmis nicotinées est supérieure à celle des fourmis témoins. De même, on retrouve des résultats cohérents avec cette étude. Comme pour les vitesses moyennes, les écarts types sont importants (20,7 pour les fourmis nicotinées et 17,1 pour les fourmis témoins) et un nombre plus important de mesures s'impose. Cela laisse supposer que les fourmis nicotinées sont plus désorientées.

## **III-Effets de la nicotine sur le comportement des fourmis**

### **1- Réaction face à l'introduction d'un objet dans leur espace de vie**

Nous allons aussi nous intéresser à leur comportement lorsque l'on introduit un objet dans leur espace de vie, pour étudier leur vitesse de réaction, et le nombre de fourmis impliquées dans cette réaction.

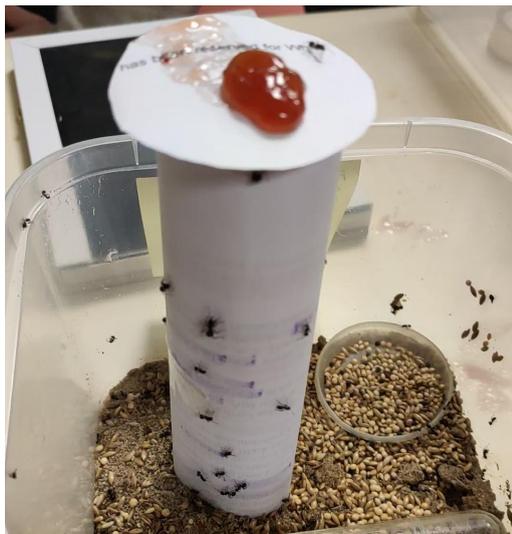
#### a) Protocole

Une tour de papier (21 cm de haut) a été introduite dans chacun des espaces extérieurs des fourmilières. On ajoute de la confiture tout en haut pour attirer les fourmis. Nous avons laissé la tour de papier pendant 5 minutes. Nous avons fait l'expérience 2 fois.

#### b) Résultats

On observe une grande différence entre les deux colonies : Il y avait environ 4 à 5 fourmis témoins à la fois sur la tour, contre 15 à 20 pour les fourmis nicotinées. Les fourmis nicotinées sont montées plus rapidement sur la tour et en plus grand nombre. Après avoir réitéré l'expérience 3 mois après, les résultats

étaient totalement opposés: une moyenne de 20 fourmis non-nicotinées sur la tour contre 6 pour les



nicotinées, sur 8 expériences.

Figure 6: réaction de la colonie nicotinée face à l'ajout de la tour de papier

### c) Discussion

On peut d'ores et déjà émettre l'hypothèse que la nicotine accentue la vitesse de réaction face à un évènement chez les fourmis, et leur dynamisme lors de celle-ci, peu de temps après avoir introduit la nicotine dans leur alimentation.

Or, les résultats quelques mois après penchent pour l'effet inverse: la nicotine diminuerait la vitesse de leur réponse à un stimulus.

L'étude canadienne soutient cette hypothèse, car les recherches ont montré que l'activité générale des fourmis nicotinées est augmentée.

### **2- Organisation de la fourmilière pré/post nicotine**

On regarde si l'organisation de la fourmilière, avec l'agencement des différents compartiments, a évolué après introduction de nicotine.

#### *Protocole*

On nourrit les fourmis avec de la nicotine pendant 3 mois et on observe les potentiels changements.

#### *Résultats*



Fourmis nicotinées



Fourmis témoins



Figure 7: réserves de graines pré (au dessus) et post nicotine (en dessous)

On observe une forte diminution de la taille des réserves dans la fourmilière des fourmis nicotinées, et au contraire une augmentation de la taille des réserves chez les fourmis témoins. Soit les fourmis nicotinées mangent moins et font moins de réserve, soit elles ont un comportement perturbé.

## Conclusion:

Ce tableau représente le bilan des effets de la nicotine sur la fourmilière par rapport à la fourmilière témoin.

	mobilité	orientation	consommation d'eau	addiction à court terme (pendant 1 semaine)	vitesse de réaction	addiction à long terme
Nicotine	+	-	-	pas d'addiction	+	pas d'addiction

+ : activation

- : inhibition

Figure 8: Bilan des effets de la nicotine sur les fourmis

On peut voir que la mobilité et la vitesse de réaction des fourmis sont augmentées tandis que leur orientation, consommation d'eau sont inhibées donc que la nicotine a bien des effets sur les fourmis. Tout de même, la nicotine ne crée pas d'addiction sur les fourmis à court terme. Contrairement aux abeilles (2) chez qui l'addiction de la nicotine dans le nectar de certaines fleurs crée une dépendance par rapport à leur couleur vers laquelle elles vont butiner.

Tout de même, certaines expériences peuvent encore être améliorées afin de démontrer des résultats. Par exemple, un nombre supérieur de mesures pour certaines expériences permettrait de réduire les écarts-types et donc de valider statistiquement l'effet de la nicotine. De plus, par manque de temps, certaines expériences non concluantes (comme celle de l'effet sur l'alimentation) n'ont pas pu être refaites.

- Une idée serait de donner des fruits ou insectes (l'espèce se nourrissant aussi de ces aliments) pour pouvoir mieux observer l'effet sur l'alimentation; cela nous est venu trop tard pour pouvoir être appliqué.
- Il serait aussi intéressant de confirmer si l'effet de la nicotine diminue avec le temps.
- Pour finir, si nous avions eu la possibilité d'obtenir de la nicotine pure, nous aurions pu utiliser une solution aqueuse versus eau pure. Dans notre cas, notre solution témoin aurait pu contenir de la glycérine et du propylène glycol s'il avait été possible de s'en procurer. Tout de même, l'effet de la glycérine et du propylène glycol ne paraissent pas avoir d'effet sur les fourmis comme cité dans la publication canadienne.

## Bibliographie:

1. Publication par le centre scientifique canadien: Some Physiological and Ethological Effects of Nicotine; Studies on the Ant *Myrmica sabuleti* as a Biological Model de 2014 :  
[https://web.archive.org/web/20190227132027id\\_/http://pdfs.semanticscholar.org/80f7/d55b0bbf4e31d9f1e0a43eb4377f3a83049b.pdf](https://web.archive.org/web/20190227132027id_/http://pdfs.semanticscholar.org/80f7/d55b0bbf4e31d9f1e0a43eb4377f3a83049b.pdf)
2. Publication de l'université Queen Mary à Londres sur les effets de la nicotine sur la productivité des abeilles de 2017: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-01980-1>
3. Article du monde sur le mutualisme entre les fourmis et l'acacia corne de boeuf de 2013:  
[https://www.lemonde.fr/passeurdesciences/article/2013/11/20/comment-un-arbre-mene-des-fourmis-a-l-esclavage\\_5998958\\_5470970.html](https://www.lemonde.fr/passeurdesciences/article/2013/11/20/comment-un-arbre-mene-des-fourmis-a-l-esclavage_5998958_5470970.html)

## Lexique:

Alcaloïde: Les alcaloïdes sont des molécules à bases azotées, le plus souvent hétérocycliques, très majoritairement d'origine végétale. Sous forme purifiée, ces molécules dévoilent très souvent une toxicité aiguë alors qu'à plus faibles doses, une activité pharmacologique apaisante, non sans effets d'accoutumance ou une toxicité chronique à long terme.

Propylène glycol: Le propylène glycol (PG) ou propane-1,2-diol, appelé aussi 1,2-dihydroxypropane ou méthyl glycol, est un diol de formule chimique  $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_2\text{OH}$  ayant de nombreux usages

industriels ou agro-pharmaceutiques car utilisé comme: émulsifiant, aérosol, nourriture pour les bovins.

Glycérine végétale: La glycérine ou glycérol est un alcool qui se présente sous la forme d'un liquide transparent, visqueux, incolore, inodore, non toxique et au goût sucré. C'est un sous-produit issu de la fermentation malolactique du vin.

Vitesse angulaire: La vitesse angulaire d'un objet est sa vitesse de rotation. Elle est exprimée en radians par seconde ou tours par seconde. La vitesse angulaire est principalement utilisée en mécanique et en électronique.

Mutualisme: Interactions entre 2 ou plusieurs espèces à bénéfice réciproque à long terme.

Saccharose: Diose de glucose et fructose utilisé par les plantes pour le transport des produits de la photosynthèse.