Page de garde (sans en-tete) ni pied-de-page à insérer avant (section 1)

Insérer le logo de l’université Paris-Saclay en haut à gauche

Insérer le titre du mémoire bibliographique (style Titre) qui devra être centré en largeur, et centré (ou presque) dans la page en hauteur :

Nature chimique et impact écotoxicologique des insecticides néonicotinoïdes

Insérer plus bas les auteurs :

Auteurs : (Insérer >insertion automatique, créé par : ce seront les initiales qui apparaîtront par souci de confidentialité)

(on peut supprimé Créé par)

Enfin en bas et centré : année universitaire 2019-2020

Page suivante à créer par saut de section :

Elle contiendra la table des matières, la table des figures et la table des tableaux à créer ultérieurement

Insérer un saut de page puis :

Corps du texte :

Introduction (style titre 1 sans numéro)

Les insecticides néonicotinoïdes sont une famille de pesticides neurotoxiques, découverts à la fin des années 1980, largement utilisés dans l'agriculture. Cette famille regroupe plusieurs molécules à la structure chimique similaire à celle de la nicotine [1] (remplacer ici le [1] par un renvoi automatique du numéro de la référence 1, qui sera un hyperlien vers cette référence dans la bibliographie. Pour vous entrainer vous pourrez poursuivre pour les autres numéros cités) notamment : l'imidaclopride, le thiaclopride, le thiamethoxame, le nitenpyrame, l'acétamipride, la clothianidine et le dinotefurane. Leur action cible les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine (nAChR), provoquant la paralysie chez les insectes nuisibles ciblés. Utilisés sur de nombreux types de cultures, ils se révèlent très efficaces sur les populations cibles (pucerons, aleurodes, fulgores, certains lépidoptères et coléoptères). En 2018, l'imidaclopride, le thiaclopride et le thiamethoxame représentaient près de 40% des insecticides utilisés dans le monde [2].

Cependant, du fait de leur capacité de diffusion dans tous les milieux (eaux, plantes, sols) et de leur haute persistence, l'impact négatif des insecticides néonicotinoïdes a été mis en évidence sur des espèces non-ciblées. Le rôle important de l'utilisation de ces pesticides dans la chute des populations d'abeille a notamment été démontré, mais aussi les effets sur d'autres pollinisateurs invertébrés et vertébrés [3]. Ces observations ont conduit à une plus forte régulation de la part des autorités sanitaires [4] et a mené à l'interdiction en France de l'utilisation de certaines molécules sur certains types de cultures (insérer une note de bas de page : notament les cultures de betteraves). Néanmoins, les insecticides néonicotinoïdes restent mondialement très utilisés pour l'agriculture et les dérogations accordées aux interdictions en vigueur [5] font de ce sujet une question centrale hautement d'actualité.

Ce mémoire s'attache dans un premier temps à exposer la nature et les caractéristiques chimiques des insecticides néonicotinoïdes. L'exposé du mode d'action et de l'impact sur les populations d'insectes non-ciblées sera fait dans un second temps. Enfin, dans un objectif d'exhaustivité et d'analyse de travaux récent montrant le dynamisme de la recherche dans le domaine, la dernière partie traitera des effets directs et indirects de l'usage des néonicotinoïdes sur les populations d'oiseaux.

Structure chimique et propriétés physico-chimiques (style titre 1 portant le numéro I)

Les néonicotinoïdes tirent leur nom de la nicotine, produitee par les plants de tabac et dont l'énantiomère S est un insecticide naturel, dont la structure est homologue à celle des insecticides néonicotinoïdes synthétiques (Figure 1)(une fois la figure 3 insérée, ajouter ici un renvoi automatique vers la figure 3) .



Figure : Structure de la nicotine

D'un point de vue structurel, il est possible de classer les insecticides néonicotinoïdes en deux catégories : les composés cycliques d'un côté et les composés non-cycliques d'autre part. On peut représenter (insérer ici un renvoi automatique vers la figure 2) molécules de cette famille selon deux structures générales [1] } :



Figure : Structures générales des néonicotinoïdes

Tableau 1 à insérer *(fourni comme fichier image, mais choisir la catégorie Tableau dans la légende)*

Légende :

Groupements des différents néonicotinoïdes pour les composés cycliques (a-c) et non-cycliques (d-g)

Purs et à des températures et pressions usuelles, les insecticides néonicotinoïdes sont des solides, sous forme de poudres ou de cristaux incolores ou légèrement colorés (blanc, jaune pâle...). Leur densité est proche de 1,5 et leur point de fusion se situent tous au dela de 83°C [1].

Les propriétés physico-chimiques des espèces ayant un grand impact à la fois sur les mécanismes en jeu dans la toxicité des composés, leurs utilisations et leur impact sur les écosystèmes, ces données doivent être étudiées précisément. En particulier, le coefficient de partage eau/octanol :

Retaper ici par l’éditeur de formules, la formule mathématique fournie (equation 1) (ne pas l’insérer comme image)

permet de modéliser la lipophilie des composés étudiés et permet de comprendre leur mode d'action. Le tableau (insérer un renvoi vers le tableau 2 une fois créé ci-dessous ) des Kow présente le logarithme de ce coefficient. Une valeur de log Kow supérieure à zéro correspond à un composé très soluble dans les graisses (lipophiles). A l'inverse, log Kow < 0 met en évidence le caractère hydrophile du composé.

Insérer ici un tableau par conversion du texte ci-après en tableau

Menu Tableau > convertir texte en tableau

Ajouter une ligne d’en-têtes de colonnes : Composé puis log Kow

Et lui associer une légende en choisissant la catégorie tableau (numérotation automatique) :

Tableau des coefficients de partage eau/octanol

log Kow :

Imidaclopride : 0,57 (à 22°C)

Thiaclopride : 1,26 ( à 0°C)

Thiamethoxame : -0,13 (à 25°C)

Acétamipride : -0,64 (à 25°C)

Nitenpyrame : 0,8 (à 25°C)

Clothianidine : 0,7 (à 25°C)

Dinotefurane : 0,64 (à 25 °C)

Impact sur les populations non-ciblées (style titre 1 numéroté)

aucune résistance connue à ces produits chez les ravageurs cibles principalement en raison de leur développement récent. Leurs propriétés physico-chimiques leur confèrent d’une part de nombreux avantages par rapport à celle des générations précédentes et supposent des risques minimaux pour l’opérateur et consommateur [5] en font d’autre part des polluants à l’impact extrême sur les écosystèmes.

Leur relative hydrophilie, évoquée précédemment, et leur haute persistance (Tableau 3 ) constituent les clés de la compréhension de leurs effets écotoxicologiques. Une fois appliquée dans les sols, les néonicotinoïdes se répandent à la fois dans celui-ci, où ils passent dans la sève des espèces végétales et sont conduits dans toutes les parties de la place. Ce mécanisme est à l’origine de la contamination d’espèces pollinisatrices non-ciblées par l’insecticides, dont la source de nourriture est le nectar des fleurs [3].

Une fois ingérés par un organisme, les néonicotinoïdes constituent des xénobiotiques neurotoxiques dont l’action dans le cas des néonicotinoides de jouer le rôle d’agoniste du récepteur post-synaptique Acétylcholine (nAChR). Cela provoque la mort par paralysie de l’invertébré [7]. Ils imitent l’action des neurotransmetteurs du système nerveux central et périphérique pour avoir des effets létaux et sublétaux sur les organismes non ciblés comme par exemple les prédateurs d’insectes [5]. L’action agoniste produit une excitation continue des membranes neuronales produisant des décharges et conduisant l’inhibition de la transmission de l’influx nerveux pour obtenir une paralyse et à l’épuisement de l’énergie des cellules [5],[7].

Le tableau suivant sera inséré dans une page au format paysage.

Pour cela :

Insérer 2 sauts de section successifs.

Dans la première page vide :

Tableau 3 à insérer (fourni comme image, mais choisir la catégorie Tableau dans la légende)

Légende :

Tableau des caractéristiques écotoxicologiques

Sélectionner l’ensemble de cette nouvelle page et choisir format paysage

Dans la page suivante restée verticale le texte reprend :

Les conséquences de l’utilisation de néonicotinoïdes sur des cultures sont majeurs. En dépit de leur efficacité sur les populations cibles (pucerons, aleurodes, fulgores, lépidoptères, coléoptères…), les populations non-ciblées sont très affectées par la persistance de ces substances et leur létalité importante. La contamination de leurs sources d’alimentation dans les parties aériennes de la plante est en cause. Les insectes polinisateurs, mais également d’autres insectes volants voires d’autres animaux sont ainsi fortement impacté. Le manque de sélectivité des insecticides néonicotinoïdes constitue un risque pour l’ensemble de l’écosystème et un danger pour la biodiversité. L’usage mondialisé de ces substances en fait en outre une menace à l’échelle mondiale.

L’usage de ces pesticides présente un impact catastrophique sur l’entomofaune (totalité insectes présent dans un milieu) et au-delà sur l’ensemble des peuplements animaux. Les pesticides présentent en général un spectre biocide étendu pour pouvoir lutter contre les déprédateurs, les affections phytopathogènes ou les plantes adventices mais ses effets impactent toute la zoocénose et au-delà de l’ensemble de l’écosystème [2].

Les pollinisateurs occupent une place cruciale parmi les diverses espèces clef qui structurent les biocœnoses continentales, mais il y a une forte baisse de cette biodiversité avec un impact dramatique sur ce peuplement [2].

Mais l’apparition des néonicotinoides est le principal responsable du déclin général des insectes et des ipso facto des oiseaux car la majorité sont des insectivores qui mangent des insectes qui ont été en contact avec ces substances. Donc, elles provoquent la mortalité de la totalité des insectes pollinisateurs des plantes à fleurs. Parmi les espèces d’Hyménoptères pollinisateurs majeurs, subissent en les effets collatéraux de ces derniers, malgré la législation en place [2].

Il existe des preuves expérimentales de la responsabilité de l’usage des insecticides néonicotinoïdes dans la mortalité des ruchers, notamment à propos de la population des abeilles mellifères : une large diminution de ces populations a été observée depuis deux décennies.

L’action neurotoxique des néonicotinoides provoque chez les ouvrières les troubles de l’orientation fatals à ces dernières qui ne retrouvent plus leur chemin vers leur ruche. Une exposition dépassant 1,35 ng d’imidaclopride chez une abeille provoque une perte d’orientation ou celle-ci voit régresser son aptitude à l’apprentissage. La DL50 (dose qui élimine 50% de la population) est d’environ 4 nanogrammes pour les abeilles.

En conséquence de cela, il y a en France une diminution des ruches de 2 millions en 1996 à 1074000 ruches en 2010, de plus une diminution de production de miel ou on passe de 32000 t à 8800 t. [2]. Il y a une corrélation de ce déclin avec l’augmentation de l’utilisation des néonicotinoides. D’autres espèces, comme le Diptères et le Lépidoptères Rhopalocères, qui jouent un rôle indispensable, car elles butinent de nombreuses plantes cultivées non exploitées par les abeilles.

Effets sur les oiseaux (Style Titre 1 numéroté)

Effets indirects sur les oiseaux insectivores (Style Titre 2 numéroté en faisant apparaitre les 2 niveaux hiérarchiques via Format numérotation)

Pour étudier l'impact de l'utilisation massive des insecticides néonicotinoïdes sur les population d'oiseaux insectivores, l'article de revue *Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations* (Hallmann et al.)[7] s'appuie sur deux programmes standardisés de surveillance à long terme dans l'ensemble des Pays-Bas, le Dutch Common Breeding Bird Monitoring Scheme pour étudier les populations d’oiseaux, et les mesures de la qualité des eaux de surface qui ont permis d’obtenir les concentrations d’imidaclopride. Le programme est en place aux Pays-Bas depuis 1984. Afin d’étudier la corrélation spatiale entre les concentrations moyennes de résidus d'imidaclopride sur la période 2003-2009 et les tendances des populations d'oiseaux sur la période 2003-2010.

Figure 4 à insérer

Légende :

Effet de l'imidaclopride sur les tendances des oiseaux aux Pays-Bas

Relation entre le taux intrinsèque annuel moyen d'augmentation de la population de 15 passereaux et les concentrations d'imidaclopride dans les eaux de surface néerlandaises. Chaque point représente le taux intrinsèque moyen d'augmentation d'une espèce sur toutes les parcelles de la même classe de concentration, alors que la taille du point est proportionnelle au nombre de combinaisons espèce-parcelle sur lesquelles la moyenne calculée est basée. La répartition en classes a été effectuée pour réduire le bruit de dispersion et faciliter l'interprétation visuelle. L'analyse réelle et la ligne de régression représentée, a été effectuée sur les données brutes. Les lignes pointillées délimitent l'intervalle de confiance à 95 %.

Le résultat est une baisse de 3.5% du taux intrinsèque annuel moyen d'augmentation de la population de 15 passereaux à partir d’un seuil de 20 nanogrammes par litre. Des analyses supplémentaires ont révélé que ce schéma spatial de déclin coincide avec l'introduction de l'imidaclopride en 1994. L’épuisement des ressources alimentaires, les insectes, est à l'origine des relations observées. Deux types de preuves semblent confirmer cette hypothèse. Tout d'abord, 9 des 15 espèces testées dans la présente étude sont exclusivement insectivores. Les 15 espèces nourrissent leurs jeunes (presque) exclusivement d'invertébrés, et la demande alimentaire est la plus élevée à cette période.

Des recherches récentes in situ impliquant les mêmes zones que la présente étude, ont révélé un fort déclin de la macrofaune d'insectes, y compris les espèces qui ont un stade larvaire dans l'eau, où les concentrations d'imidaclopride étaient élevées. Ces insectes constituent une source de nourriture importante pendant la saison de reproduction pour les espèces d'oiseaux qu’ils ont étudiées.

Cependant, comme les résultats sont corrélatifs, il n’est pas possible d’exclure que l’imidaclopride pourrait avoir un effet sur les tendances des populations d'oiseaux. L'épuisement des ressources alimentaires peut ne pas être la seule ou même la plus importante cause de déclin.

Toxicité directe (cas des Colibris) (Style titre 2 numéroté avec 2 niveaux)

Les colibris (famille des *Trochilidae*) constituent l'une des rares familles d'oiseaux nectarivores. Cette particularité fait d'eux des pollinisateurs centraux pour des espèces végétales des écosystèmes néotropicaux. De ce fait, leur poids très faible, leur haut métabolisme de base et leur comportement alimentaire les poussant à consommer de nombreuses fleurs potentiellement contaminées en font des victimes vulnérables à la pollution aux insecticides néonicotinoïdes, au regard des données écotoxicologiques (renvoi automatique vers le tableau 3).

Les mesures du poids corporel ont été utilisées pour détecter les effets métaboliques de l'exposition aux néonicotinoïdes chez les oiseaux des prairies, cependant, le poids corporel en tant qu'indicateur de l'équilibre énergétique chez les colibris présente de plus grands défis. Cette famille de petits animaux à la dépense énergétique extrême subit régulièrement des variations de poids relativement importantes tout au long de la journée, car ils se nourrissent, urinent et dépensent de l'énergie. Les colibris peuvent perdre jusqu'à 10% de leur masse pendant la nuit.

Dans l'étude présentée ici, *Neonicotinoid pesticides exert metabolic effects on avian pollinators* [3] publiée en 2021, des techniques de respirométrie ont été appliquées et prédisent que l'exposition à l'imidaclopride induirait une diminution dose-dépendante de la dépense énergétique et, par la suite, du comportement d'alimentation et de vol. L’essai comportemental a simulé une volière oscillante comme celle qu'un colibri rencontrerait lors de sa recherche de nourriture dans la nature. Ils ont utilisé le rapport hétérophiles/lymphocytes comme biomarqueur de la suppression de la réponse immunitaire humorale induite par le stress, en raison de ses avantages en tant que technique peu coûteuse, à faible volume d'échantillon et relativement peu sensible au temps pour mesurer le stress chez les oiseaux. Selon les auteurs de l'étude, les oiseaux présenteraient une augmentation des ratios hétérophiles/lymphocytes, un résultat qui a été observé chez les vertébrés exposés aux néonicotinoïdes. Ils ont également effectué des tests d'activité cholinestérasique pour vérifier les effets d'une exposition sublétale à court terme à l'imidaclopride sur le système cholinergique des colibris. Les données concernant les réponses du système cholinergique aux néonicotinoïdes sont équivoques, les réponses étant spécifiques à la dose, au taxon, au tissu et au composé. Enfin, le recueil des fluides cloacaux après l'administration de la dose pour quantifier le taux d'élimination de l'imidaclopride non métabolisé permet de mieux comprendre les niveaux d'exposition subis par les colibris sauvages.



Figure

Dépense énergétique des colibris à gorge rubis 2 h après administration de 0 micro g (trouver les caractères grecs pour mettre micro en grec) à 2,5 micro g (idem) par g de masse corporelle d’imidaclopride. Les oiseaux du groupe témoin ont augmenté leur dépense énergétique de 1 % ± 7 % en moyenne les jours suivant le dosage avec la solution témoin, tandis que les oiseaux des groupes à 1,0 μg ; 2,0 μg ; 2,5 μg par g de masse corporelle ont réduit leur dépense énergétique les jours de dosage de 6 % ±5 %, 10% ± 3\% et 25% ± 11% en moyenne respectivement. Bande de confiance de 95% (bande grise).

L'étude met en évidence les effets d'une exposition à court terme (3 jours) à une gamme de concentrations d'imidaclopride pertinentes pour l'environnement (0,2 à 2,5 μg par g de masse corporelle) sur des colibris à gorge rubis capturés dans la nature. Dans les 2 heures suivant l'exposition, La dépense énergétique moyenne normalisée mesurée par respirométrie a suivi une courbe dose-réponse où la dépense énergétique moyenne a diminué jusqu'à 25 % ± 11 % dans le groupe à forte dose dans les 2 heures suivant le dosage. Il n'y a pas eu d'effets significatifs sur le comportement dans la période de 4 à 6 heures après le dosage. Aucun effet significatif n'a été observé sur le comportement de recherche de nourriture mesuré dans les 2 à 4 heures suivantes. Les tissus prélevés 24 heures après la dernière dose ont été analysées, sans effet significatif sur la réponse immunitaire ou l'activité cholinestérasique, bien que cela puisse être lié à la petite taille de l’échantillon. Les colibris excrètent rapidement l'imidaclopride (demi-vie d'élimination de 2,1 ± 0,1 heure par rapport aux autres espèces d'oiseaux. Les colibris ont des besoins énergétiques élevés et stockent relativement peu d'énergie, en particulier pendant les saisons de migration et de reproduction. Par conséquent, les modifications de leur métabolisme suite aux expositions à l'imidaclopride observées ici pourraient avoir des conséquences importantes sur la survie des colibris.

Insérer la Figure 4

Légende  automatique (juste Figure + numéro ) puis ajouter sous forme de cadre de texte à insérer, la légende complète :

Modèle d'excrétion de l'imidaclopride dans le fluide cloacal de colibris à gorge rubis exposés à (A) 0,2 μg ; (B) 1,0 μg; (C) 2,0 μg; (D) 2,5 μg par g de masse corporelle. Les intervalles de confiance à 95% pour les modèles d'excrétion sont indiqués par les pointillés. Les échantillons ont été regroupés par point temporel sur l'ensemble des jours d'administration par individu.

A la lumière de ces informations, en addition des nombreuses études sur les invertébrés, les auteurs de l'étude soulignent la nécessité de réglementer l'utilisation des néonicotinoïdes sur la base de données probantes, compte tenu du nombre croissant de recherches démontrant leurs effets sur les vertébrés.

Conclusion (Style Titre 1 non numéroté)

Les insecticides néonicotinoïdes, aujourd'hui très utilisés dans l'agriculture pour le traitement des cultures pour lutter contre certaines espèces cibles contre lesquelles ils sont très efficaces, constituent une famille de composés à la nature chimique. Leur structure, homologues à celle de la nicotine, insecticide naturel, définissent leur neurotoxicité à l'égard de nombreux invertébrés, en ciblant les récepteurs nicotinique de l'acétylcholine et en provoquant la mort par paralysie. Les composés de cette famille ont notamment en commun une certaine hydrophilie, leur conférant un caractère systémique dans les sols, plantes et dans l'eau, mais aussi leurs haute persistance dans les écosystèmes sur lesquels ils sont utilisés.

Du fait de leurs effets biocides très peu spécifiques, leur impact écotoxicologique est très important, en particulier sur des espèces non-ciblées d'invertébrés pollinisatrices ou d'insectes volants. Le lien entre la chute des populations d'abeilles mélifères et l'usage à grande échelle de ces insecticides est clairement établi. En outre, d'autres espèces, commes les colibris, sont exposés aux insecticides néonicotinoïdes et leur impact direct est non-négligeable. Enfin, en destabilisant profondément les réseaux trophiques des écosystèmes, les néonicotinoïdes ont des effets dévastateurs sur l'ensemble de ceux-ci, en menaçant également les espèces prédatrices des insectes touchés.

Bibliographie  (Style titre 1 sans numéro)

Transformer la bibliographie en liste numérotée en créant un nouveau type de numérotation : [1] etc. pour remplacer la saisie manuelle [1], [2] etc. actuelle.

Pour au moins le premier élément de la bliographie, insérer un **signet** portant pour nom ref1 etc.

Ensuite, dans l’appel à cette référence bibliographique situé dans le corps du texte au début, insérer un **renvoi** du numéro de l’élément (qui sera automatiquement un hyperlien vers l’élément de la bibliographie correspondant.)

Enfin, transformer en hyperlien l’URL de la référence 4

[1] P. Jeschke, R. Nauen, M. Schindler, and A. Elbert. *Overview of the status and global strategy for neonicotinoids*. 59(7) :2897–2908. American Chemical Society.

[2] F. Ramade. Introduction à l’écologie de la conservation. Cachan : Lavoisier Tec&Doc edition. 2020. 697 p. ISBN 978-2-7430-2393-5

[3] S. G. English, N. I. Sandoval-Herrera, C. A. Bishop, M. Cartwright, F. Maisonneuve, J. E. Elliott, and K. C. Welch. *Neonicotinoid pesticides exert metabolic effects on avian pollinators.* 11(1) :2914. Numéro 1. Nature Publishing Group.

[4] F.Testud (2014). *Insecticides néonicotinoïdes.* EMC - Toxicologie-Pathologie. DOI : 10.1016/S1877-7856(13)62786-5. Disponible à l’adresse :

https://www.researchgate.net/publication/281447922\_Insecticides\_neonicotinoides

[5] Le Monde avec AFP. *Réintroduction temporaire des néonicotinoïdes : des députés autorisent sous conditions.* Le Monde. 24/09/2020. Disponible à l’adresse : <https://www.lemonde.fr/planete/article/2020/09/24/reintroduction-temporaire-des-neonicotinoides-des-deputes-donnent-un-premier-feu-vert-sous-conditions_6053379_3244.html>

[6] M. B. v. Lexmond, J. M. Bonmatin, D. Goulson, and D. A. Noome. Worldwide integrated assessment of the impact of systemic pesticides on biodiversity and ecosystems. 22(1) :1–154. Berlin : Springer.

[7] C. A. Hallmann, R. P. B. Foppen, C. A. M. van Turnhout, H. de Kroon, and E. Jongejans. *Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations.* 511(7509) :341–343.

[8] D. A. Ribeiro. Status of the neonicotinoids in the EU.