



HAL
open science

Développement des macroorganismes de biocontrôle en France

Marion Baratange, Johana Cardoso, Patrice A. Marchand

► **To cite this version:**

Marion Baratange, Johana Cardoso, Patrice A. Marchand. Développement des macroorganismes de biocontrôle en France. Innovations Agronomiques, 2024, 79, pp.523-549. 10.15454/1.4356775449089597E12 . hal-04617691

HAL Id: hal-04617691

<https://hal.inrae.fr/hal-04617691v1>

Submitted on 19 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Développement des macroorganismes de biocontrôle en France

Marion BARATANGE¹, Johana CARDOSO¹, Patrice A. MARCHAND¹

¹ Institut de l'Agriculture et de l'Alimentation Biologiques (ITAB), Pôle Intrants, 149 rue de Bercy, F-75012 Paris, France

Correspondance : patrice.marchand@itab.asso.fr

Résumé

L'utilisation des macroorganismes dans le but de protection des cultures est une des quatre composantes du Biocontrôle. Ces prédateurs ou parasitoïdes des bioagresseurs sont utilisés, par introduction ou conservation, dans les champs, les serres et les vergers afin de réduire l'impact des bioagresseurs, insectes suceurs, piqueurs ou phytophages sur les productions végétales. Depuis 2012, dans le cadre des dispositions prévues par les articles L. 258-1 et -2, R. 258-1 du code rural et de la pêche maritime, et du décret n° 2012-140 du 30 janvier 2012 l'introduction de ces macroorganismes non indigènes utiles aux végétaux est réglementée en France. Après une première étude de cette réglementation, nous analysons ici son impact sur l'évolution de ces macroorganismes non indigènes de façon plus systémique et complète, en utilisant toutes les réglementations nationales publiées, les listes d'organismes et les résultats de l'Anses. Après une première étude de cette réglementation et de son impact en 2018, nous analysons ici les macro-organismes impliqués, leur développement quant à leurs origines, cibles et applications dans leur utilité pour les plantes et la protection des cultures.

Mots-clés : Agents de Biocontrôle (ABC), macroorganismes, protection des cultures, réglementation nationale.

Abstract: Evolution of biocontrol macro-organisms in France

The use of macro-organisms for crop protection is one of the four pillars of Biocontrol. These predators or parasitoids of bioaggressors are used, by introduction or conservation, in fields, greenhouses and orchards in order to reduce the impact of bioaggressors, sucking, biting or phytophagous insects. However, plant protection is not the only usage of these macro-organisms, and the category was expanded to global usefulness for plants. Since 2012, under the provisions of Articles L. 258-1 and -2, R. 258-1 of the French Rural and Maritime fishing Code (CRPM), and Decree no. 2012-140 of January 30th 2012, the introduction of these non-indigenous macro-organisms has been regulated. Using all published national regulations, organisms lists and outcomes from ANSES, the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health Safety, we characterized these indigenous and non-indigenous macro-organisms allowed in a more systemic and complete way. After a first study of this regulation and its impact in 2019, we analyzed here the involved macro-organisms, their development regarding their origins, targets and uses in crop growth and protection.

Keywords: BioControl Agents (BCA), macro-organisms, crop protection, national regulation



1. Introduction

Dans notre objectif de décrire encore plus précisément l'ensemble des agents du Biocontrôle répartis en quatre piliers (Robin et al. 2023 ; Marchand 2023a) en fonction de la réglementation qui encadre leur usage, nous nous sommes intéressés aux substances et agents de Biocontrôle (BCA) (Robin & Marchand, 2019), puis plus récemment des macroorganismes, et en particulier les non indigènes (Robin & Marchand, 2020, Baratange et al., 2023), agents en dehors du règlement phytopharmaceutique CE n°1107/2009, qui constituent donc l'un des quatre piliers. Ces macroorganismes comprennent les vertébrés et certains invertébrés (Article L. 258-1 et -2). Ces macroorganismes sont administrés (Légifrance, 2023) par les Ministères compétents en charge de l'Agriculture (DGALN) et de l'Écologie (MTECT). Cette dernière législation prévoit d'ailleurs l'affichage complet des macroorganismes autorisés (Légifrance, 2023).

Ces macroorganismes utiles aux végétaux à des fins de contrôle biologique ou d'autres usages sont principalement les invertébrés, précisément les acariens, les insectes et les nématodes. Ces macroorganismes, notamment les prédateurs ou parasites, sont introduits dans un milieu pour lutter contre les bioagresseurs, des ravageurs des cultures. L'utilisation de ces macroorganismes est en légère majorité dédiée aux usages entomophages par rapport aux usages de parasitisme et ceci de deux façons : en introduction ou en augmentation. L'introduction d'une réglementation nationale, unique en Europe, est désormais en cours d'étude pour l'ensemble de l'UE (EU, 2021a) en conjonction avec d'autres règlements européens (EU, 2016 ; EU, 2020 ; EU, 2021b) avec des analogies dans certaines régions (Bigler, 2001 ; Barratt, 2017), pays (Italie, 2019 ; Pologne : Matyjaszczy, 2009 ou plus globalement (Olivia, 2022)). L'introduction de ces organismes sur le territoire français nécessite une réglementation fine avant d'être autorisés sur le marché. En effet, les risques sur la santé humaine, la santé animale et l'environnement sont aisément évalués et la conformité aux exigences européennes, en particulier le contrôle de ces organismes *versus* les espèces invasives, se doit d'être respecté. Prenons l'exemple de la coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis* Pallas, indigène au centre et à l'est de l'Asie. Elle a été introduite en Amérique et en Europe (en France à partir de années 1980) pour lutter contre diverses espèces de pucerons. Sa variabilité génétique et son développement rapide lui confèrent une grande capacité d'adaptation dans les divers milieux qu'elle colonise. Ainsi, elle a réussi à s'établir et à se disperser dans de nombreux pays, impactant autant la biodiversité, l'industrie des petits fruits et les humains (Lombaert et al., 2010). Cet exemple d'introduction de la coccinelle asiatique, devenue invasive et nuisible, montre les risques inhérents de la lutte biologique (Labrie, 2008 ; Muller, 2015). Les réglementations sur l'introduction d'organismes, qui sont majoritairement des espèces mais qui peuvent aussi être des souches, sont devenues depuis plus sévères (Légifrance, 2012 ; 2015). Les arrêtés promulgués par le Ministère de l'Agriculture (DGALN) font suite à des avis de l'Anses (Anses, 2022a ; 2022b), et désormais les conditions de dépôt des dossiers précisées (Anses, 2022c). Si l'avis de l'Anses conclut au caractère indigène de la souche dans le cas d'une demande d'autorisation, il n'y a pas lieu de statuer. Les avis négatifs de l'Anses ne donnent pas lieu à une autorisation (absence d'arrêté). De plus, les avis positifs ne conduisent pas forcément à un arrêté d'autorisation (ex : cas de *Iberorhizobius rondensis*). Enfin, l'avis du Ministère en charge de l'Agriculture (DGALN) complète ce dispositif d'évaluation, de validation et de publication individuelle, par des précisions sur la gestion de la publication de la liste des macro-organismes utiles aux végétaux autorisés pour l'introduction dans l'environnement en France (Légifrance, 2023).

L'objectif de ce travail est d'établir la liste la plus exhaustive possible des macroorganismes de biocontrôle en France, une mise à jour et une extension des travaux existants (Robin & Marchand, 2020) tant en nombre (493 entrées vs ~180 macroorganismes) qu'en détails, tout en regroupant, pour chacun d'entre eux, leurs caractéristiques, leur mode d'action, le ou les ravageurs ciblés, leur date de mise sur le marché en France, leur présence ou non en France ainsi que leur origine précise. Nous avons aussi analysé l'ensemble des arrêtés pour qualifier les territoires d'utilisation.



Cette étude cible toujours les organismes indigènes et non indigènes utilisés dans les départements de la France métropolitaine continentale, la Corse et les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM) dans le cadre du Biocontrôle, mais amplifie les analyses qui s'y rapportent.

2. Matériel et méthodes

2.1 Bases documentaires

Une base de données déjà établie, qui est un tableau Excel, réalisé par D.C. Robin lors d'une première étude réalisée en 2018 (Robin & Marchand, 2020) a constitué le point de départ. Cette base comprenait une liste des macroorganismes de biocontrôle utilisés en France depuis 2012, accompagnés de leur rôle écologique, de l'espèce qu'ils ciblent, de leur mode d'action, de leur origine, du type de culture dans lequel leur utilisation est envisageable, ainsi que la réglementation auquel il est soumis. Un premier travail de mise à jour des macroorganismes publiés depuis 2019 a été effectué en 2021 avec l'augmentation des caractéristiques connues des macroorganismes, puis une analyse plus poussée des caractéristiques familiales et l'intégration des nouveautés d'action, en particulier.

2.2 Bibliographie

Le point de départ a été la liste des macroorganismes décrite par nos soins en 2019 (Robin & Marchand, 2020). Les macroorganismes ont été recherchés par la consultation des avis de l'Anses et complétés par des recherches bibliographiques. La consultation des guides Index ACTA Biocontrôle depuis 2019 a partiellement permis de confirmer ces données. Pour mener à bien cette étude, la réalisation d'une base de données était nécessaire. Les bases entomologiques existantes et des compléments bibliographiques ont été utilisés, en particulier pour les dates de première utilisation.

D'autres recherches bibliographiques ont permis de compléter en partie les données manquantes. Cependant, la précision et l'exactitude des données varient, ce qui a contraint à réduire l'échelle de précision, principalement en ce qui concerne l'origine précise des macroorganismes (qui a été pour certains organismes compliquée à trouver), et leur date de première utilisation (difficulté due au manque de réglementation). Cela explique certaines modifications des figures, car certains macroorganismes ont vu leurs dates d'utilisation avancer ou reculer en fonction des résultats récents.

La consultation du registre des avis de l'Anses (Reynaud & Gautier, 2016 ; Anses, 2022b) a été maintenue depuis 2019. Ces données ont été rassemblées dans une plus grande base pour répondre aux hypothèses nouvelles et supplémentaires de cette étude. Le suivi de la réglementation les concernant a aussi été maintenue.

Les constantes de cette étude par rapport à la publication précédente sont : le nom scientifique, la classe, l'ordre et la famille qui ont été référencés. De même, quel type de lutte biologique a été utilisé et quand il a été utilisé, ainsi que le territoire d'origine du macroorganisme. La ou les familles de proies de ces macroorganismes auxiliaires ont également été répertoriées. Certains noms ont aussi été mis à jour, considérant les évolutions de leur nomenclature, les équivalents ou noms précédents ont été conservés. Enfin la récente publication (Légifrance, 2023) a permis une grande mise à jour.

La mise à jour de la liste des macroorganismes présents en France a pu être réalisée grâce aux outils suivants :

- Les index ACTA Biocontrôle 5^{ème} édition 2021 et 6^{ème} édition 2022 (Association de Coordination Technique Agricole), ont confirmé, pour ceux répertoriés, qu'ils sont commercialisés en France.
- Les avis de l'Anses (Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire, de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) (Anses, 2022a).



- Le site Centre for Agricultural Bioscience International (CABI) nous a donné accès à la taxonomie des macroorganismes, l'état d'introduction des espèces dans les pays, leurs cibles ainsi que le stade parasité de la cible par l'insecte (CABI, 2023).
- Le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) a confirmé la taxonomie des organismes (INPN, 2023), leur localisation et leur présence.
- La base de données *Fauna Europaeae* indique la présence du macroorganisme en France ou non (*Fauna Europaeae*, 2023).
- La liste de l'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes (OEPP) référence les cibles bioagresseurs, les origines des macroorganismes ainsi que la date de leur première utilisation dans les pays (EPPO, 2023).
- Les arrêtés publiés sur Légifrance (Légifrance, 2023).

3. Résultats

3.1 Les macroorganismes

3.1.1 Fonctions des macroorganismes

L'usage ultra-majoritaire de ces macroorganismes est toujours la lutte contre les insectes ravageurs des cultures et le remplacement des « insecticides », même si d'autres usages augmentent. Les modes d'actions principaux sont la prédation et le parasitisme, mais d'autres usages commencent à apparaître et certains macroorganismes possèdent les deux fonctions prédateurs (consommation) et parasitisme (ponte d'œufs).

3.1.2 Fonctions secondaires des macroorganismes

En dehors de ces usages/utilisations « insecticides », d'autres usages, comme la pollinisation, sont aussi maintenant décrits dans cette étude. Les insectes stériles dont la mise au point et l'utilisation remonte aux années 1950 et dont la première autorisation en France métropolitaine date de 2018 font leur apparition dans cette base mise à jour. L'utilisation de macroorganismes pour le contrôle des végétaux indésirables, donc des usages qualifiables d'« herbicides », est envisagée régulièrement, pas autorisés lors de notre étude précédente (Robin & Marchand, 2020), et continuellement en cours d'étude et de discussion.

3.1.3 Modes d'action principaux des macroorganismes

Sept modes d'action directs plus précis ont été déterminés à la lecture de la littérature, apportant plus de précision que notre étude précédente : Ponte d'œufs, Infection bactérienne, Aspiration du contenu, Consommation, Ponte d'œufs et Consommation, Pénétration, Infection bactérienne et Consommation. Un mode d'action indirect, l'insecte stérile, est désormais en vigueur avec 3 représentants. L'utilité aux végétaux s'est aussi récemment ouverte aux pollinisateurs non-indigènes.

3.1.4 Cibles

Pour ce qui est des cibles, outre leurs noms d'espèces, leurs stades ont été précisés depuis les œufs en passant par les larves et leurs stades (1 ou 2 seulement), les pupes, les nymphes et les chenilles jusqu'aux adultes.

3.1.5 Évolutions réglementaires

Depuis la réglementation française initiale sur les macroorganismes non indigènes, la seule évolution en cours est une préoccupation similaire de l'UE par rapport à l'introduction des macroorganismes non indigènes. Cette possible réglementation UE pourrait supplanter, remplacer ou étendre celle mise en place par la France. Le dépôt et l'examen des dossiers sont maintenant explicites (Anses, 2022c).



Le but était de maintenir et de mettre à jour la liste la plus exhaustive possible et historique des macroorganismes utilisés comme auxiliaires en France métropolitaine (hors Corse). Suite aux travaux initiaux (Robin & Marchand, 2020), l'Anses a publié depuis 2019 un certain nombre d'avis individuels, dont ceux dédiés aux macroorganismes non-indigènes. Ces avis concluent sur la probabilité d'établissement du macroorganisme dans l'environnement, la probabilité de dispersion du macroorganisme dans l'environnement, le risque potentiel pour la santé humaine et/ou animale, le risque potentiel pour la santé des végétaux, le risque potentiel pour l'environnement et la biodiversité et l'efficacité et bénéfices du macroorganisme et concluent finalement sur la demande d'introduction (Reynaud & Gautier, 2016).

Il est à noter que dans le cas particulier des insectes stériles (souche non indigène stérilisée), depuis l'introduction de macroorganismes auprès de l'Anses dans la lutte contre *Cydia pomonella*, deux nouvelles demandes contre *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitis capitata* ont été acceptées.

3.2 Analyse l'évolution de ces macroorganismes

3.2.1 Évolution quantitative

L'introduction des macroorganismes en France débute au XX^{ème} siècle. On observe une tendance générale : des années 1900 à 1960, l'introduction des macroorganismes est relativement stable avec une moyenne de 2,14 macroorganismes introduits par décennie sur le territoire français. Dans les années 1970, on observe une légère augmentation : 16 macroorganismes sont introduits dans cette décennie. Le nombre d'introduction s'envole dans les années 1980 et 1990, avec en moyenne 46,5 macroorganismes introduits dans l'environnement par décennie. Après ce pic d'introduction, dès les années 2000, le nombre moyen d'introduction de ces organismes chute à 11,5 par décennie (Figure 1). Les années 2020 ne donnent pas un résultat représentatif, la décennie venant de débuter, mais le nombre reste plus faible globalement et on assiste à un début de plateau (Figure 2). On note, de cette première figure, une très forte utilisation des macroorganismes à partir des années 1980, ainsi qu'une nette diminution d'utilisation des macroorganismes à partir des années 2000, même si un regain est observable dans la décennie 2020.

Le nombre total d'avis de l'Anses concernant ces macroorganismes publiés est actuellement de 87 incluant les renouvellements, mais tous ne concernent pas le territoire de la France métropolitaine continentale, ainsi on en trouve pour la Corse et les DROM. Le nombre moyen d'avis de l'Anses par an est donc d'environ 6-7 depuis 2012, ce qui est faible. Aucun avis Anses n'a été pointé depuis début 2022, mais il est à noter que bon nombre d'autorisations accordées depuis 2015 étaient arrivées à échéance et tombaient sous le coup du renouvellement. Les organismes correspondants ont été soit revalidés (Avis favorable + Arrêté), soit retirés de la liste temporairement (Avis Anses négatif ou pas d'Arrêté) sauf ceux revalidés par l'Avis du 25 février 2023 (Légifrance, 2023) ou les arrêtés parus récemment (BO, 2023 ; 2024a ; 2024b).

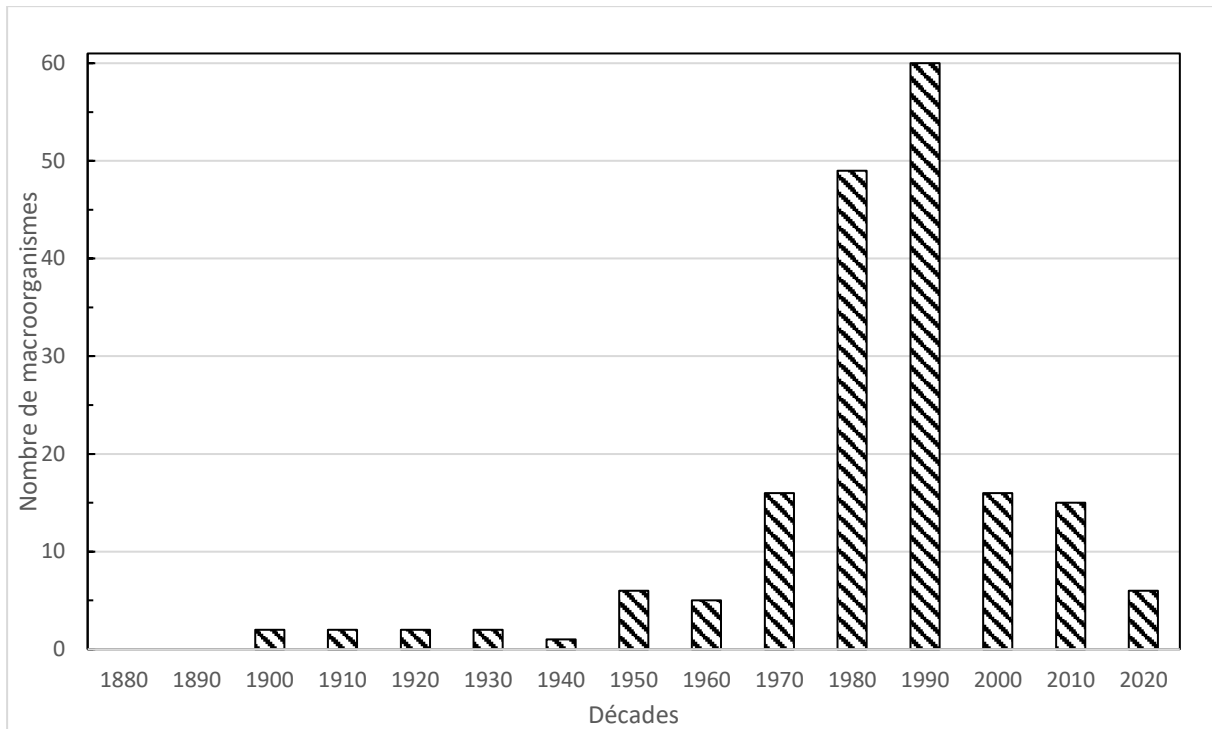


Figure 1 : Nombre de macroorganismes utilisés pour la première fois en France en fonction des décennies.

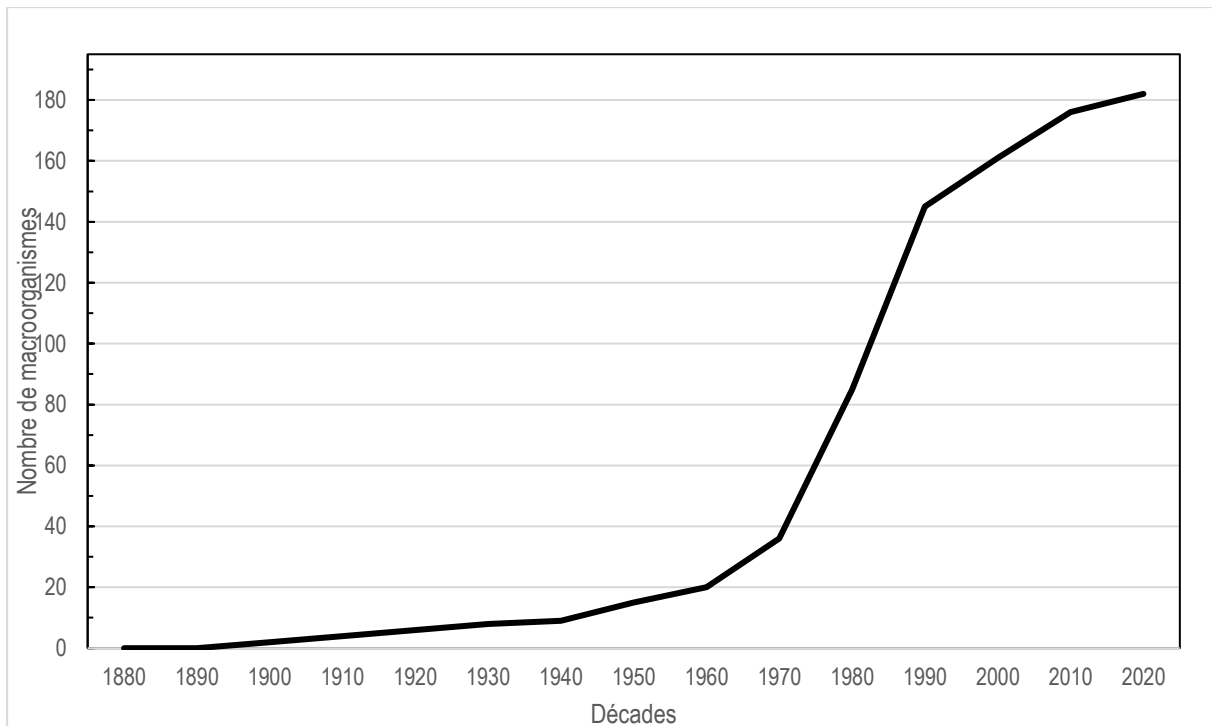


Figure 2 : Évolution cumulative du nombre de macroorganismes utilisés pour la première fois en France en fonction des décennies.

3.2.2 Évolution qualitative

Une classification plus fine des macroorganismes est possible selon l'activité exercée par ce dernier sur sa cible. En effet, ils peuvent parasiter, faire de la prédation, être introduits dans l'environnement en tant que pollinisateur des plantes à fleurs (Angiospermes et Gymnospermes) ou encore participer à la lutte contre les insectes ravageurs par lâcher systématique des mâles stériles. Les Figures 3 et 4 montrent le



nombre de macroorganismes parasites, prédateurs, pollinisateurs et insectes stériles introduits dans l'environnement en France au cours du temps et cumulés. La tendance générale du graphique suit la même tendance que la Figure 1, présentée précédemment. Ce graphique nous apporte l'information, qu'en moyenne, les prédateurs sont légèrement plus introduits que les parasites, les pollinisateurs et les insectes stériles. En effet, environ 8,6 parasites ont été introduits par décennie depuis 1900, tandis qu'environ 8,7 prédateurs ont été introduits par décennie depuis 1900. Dans les années 2010, la tendance semble s'inverser avec l'introduction d'autant de prédateurs que de parasites (8). La différence globale reste cependant faible (environ 10%).

Les pollinisateurs, quant à eux, sont très faiblement introduits (Nb = 4) : 2 pollinisateurs introduits dans les années 1980, 1 dans les années 1990 et 1 dans les années 2010.

L'exploitation des insectes stériles (Boyer, 2012) correspondant à la TIS (Technique de l'Insecte Stérile) débute seulement depuis les années 2010 (Laroche, 2017) et est désormais prise en compte dans nos tableaux et graphiques.

Il est à noter que certains macroorganismes possèdent deux fonctions prédateurs (consommation) et parasitisme (ponte d'œufs) ; ils sont donc comptés deux fois dans les actions des Figures 3 et 4. En effet, de nombreuses espèces parasites se nourrissent de l'hôte ce qui peut être mortel. Sur 106 espèces de macroorganismes parasites, 44 (41%) sont impliquées dans prédation.

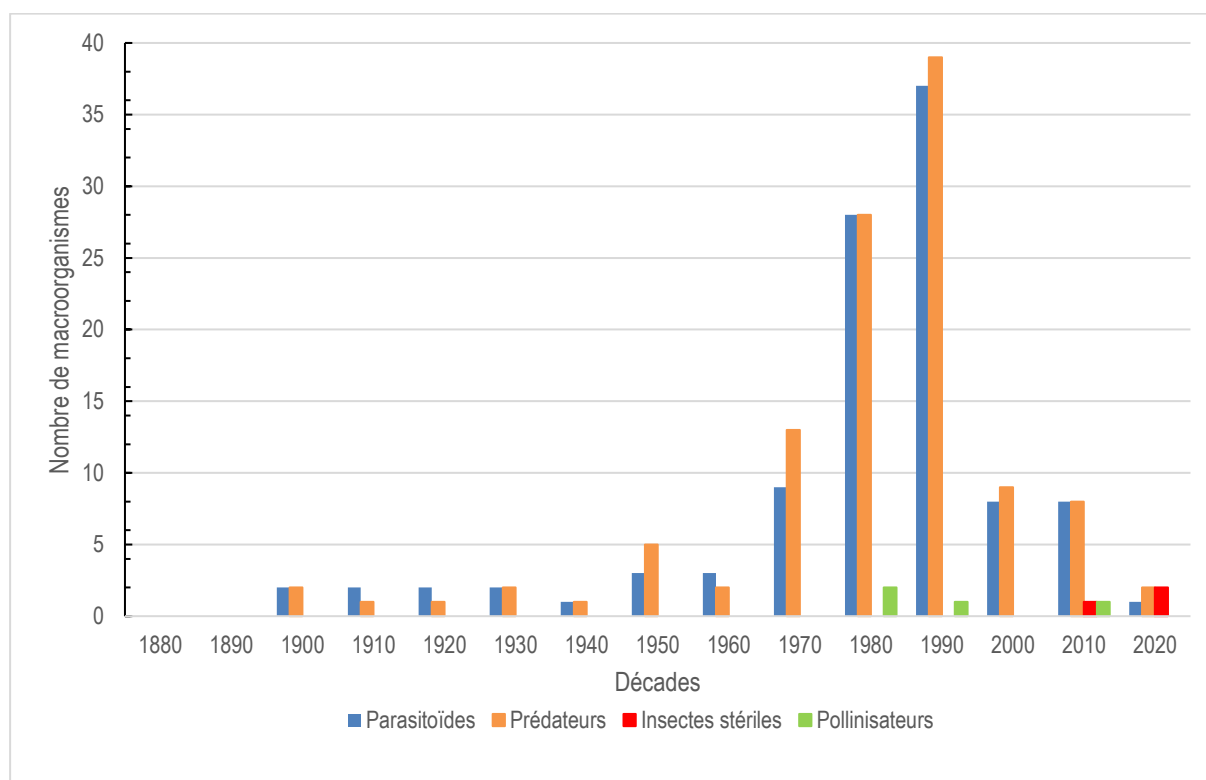


Figure 3 : Nombre de macroorganismes et leurs fonctions, parasites, prédateurs, insectes stériles et pollinisateurs, introduits dans les cultures en France au cours du temps.

Cette déclinaison est complétée par la figure cumulative (Figure 4) qui nous montre que l'intensification s'est opérée entre 1970 et 1990 pour les parasitoïdes et prédateurs tandis que la pollinisation organisée commençait à être développée, la technique de l'insecte stérile n'intervenant que dans les années 2010.

Clairement, la décennie 2020 tout juste commençante, sous-représentée dans les figures puisque correspondant à seulement trois années complètes (sur 10), est pourtant très active, et les récentes injonctions (Mamy et al., 2022) et incitations (Plan Ecophyto II+, publication de la liste (Légifrance, 2023)) pour développer et promouvoir ces macroorganismes, nous paraissent de nature à stimuler leur visibilité.



Parallèlement, la réduction effective des substances actives (Marchand, 2022, 2023b) est aussi un puissant levier pour stimuler les piliers du biocontrôle, et les MO en particulier.

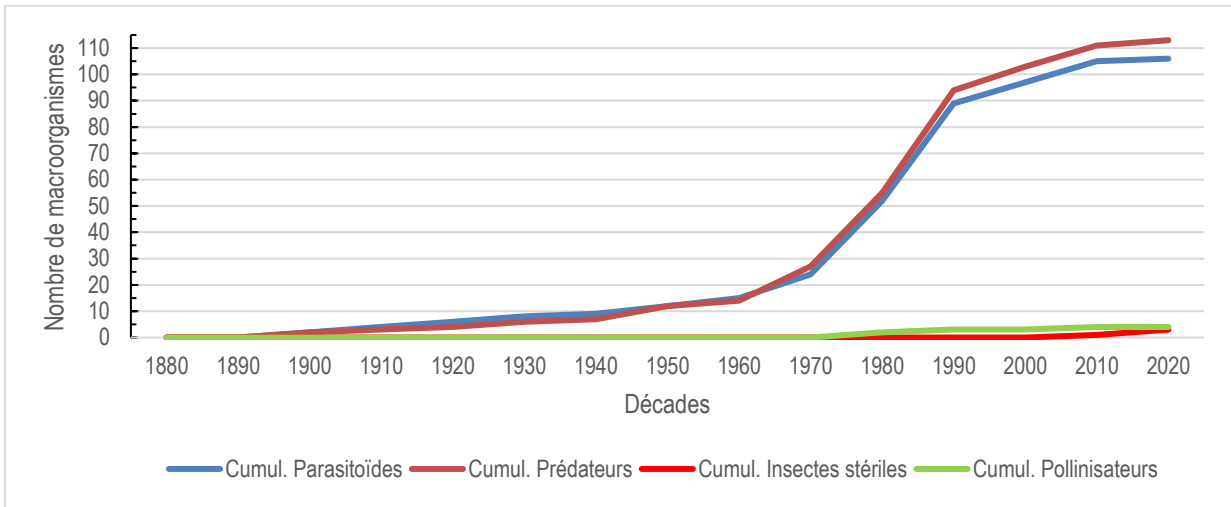


Figure 4 : Évolution de l'utilisation des macroorganismes et leurs fonctions (prédation/parasitisme/insecte stérile/pollinisateur) au cours du temps.

Au fur et à mesure du temps, parmi les 3 Classes concernées (Insecta, Nematoda et Arachnida), de plus en plus d'Ordres sont concernés (Figure 5). On notera la sur-représentation des insectes.

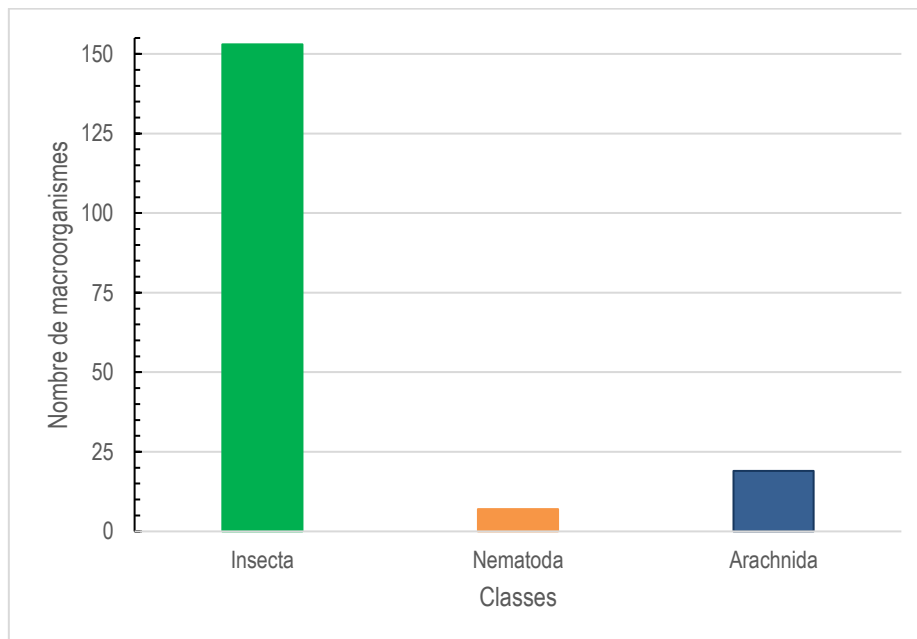


Figure 5 : Classes concernées par des macroorganismes.

On note donc aussi de très fortes disparités en interne tant en nombre de macroorganismes par Ordre qu'en nombre de macroorganismes par Familles par Ordre. Actuellement, 10 Ordres sont représentés (Figure 6) avec de très fortes disparités (de 1 à plus de 100).

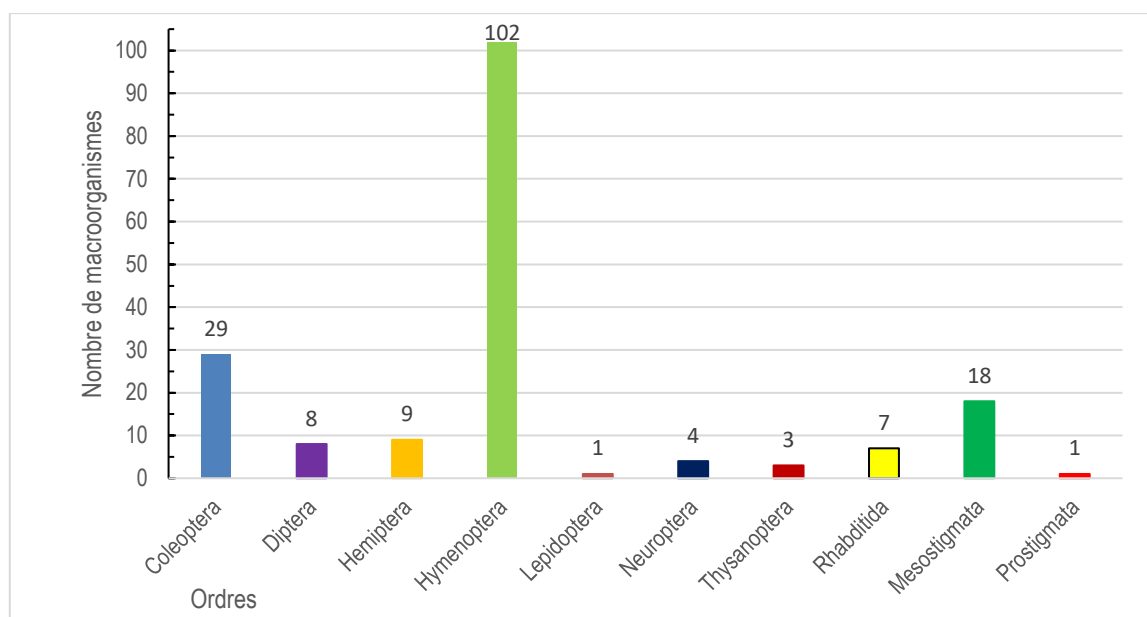


Figure 6 : Nombre de macroorganismes utilisés pour les Ordres concernés.

Les déclinaisons de ces Ordres en Familles sont exposées dans la Figure 7, on note aussi de très fortes disparités en interne tant en nombre de Famille par Ordre (de 1 à 17) qu'en nombre de macroorganismes par Famille. A noter, la Famille des Eupelmidae désormais vide suite à la mise à jour de 2023 (Légifrance, 2023).

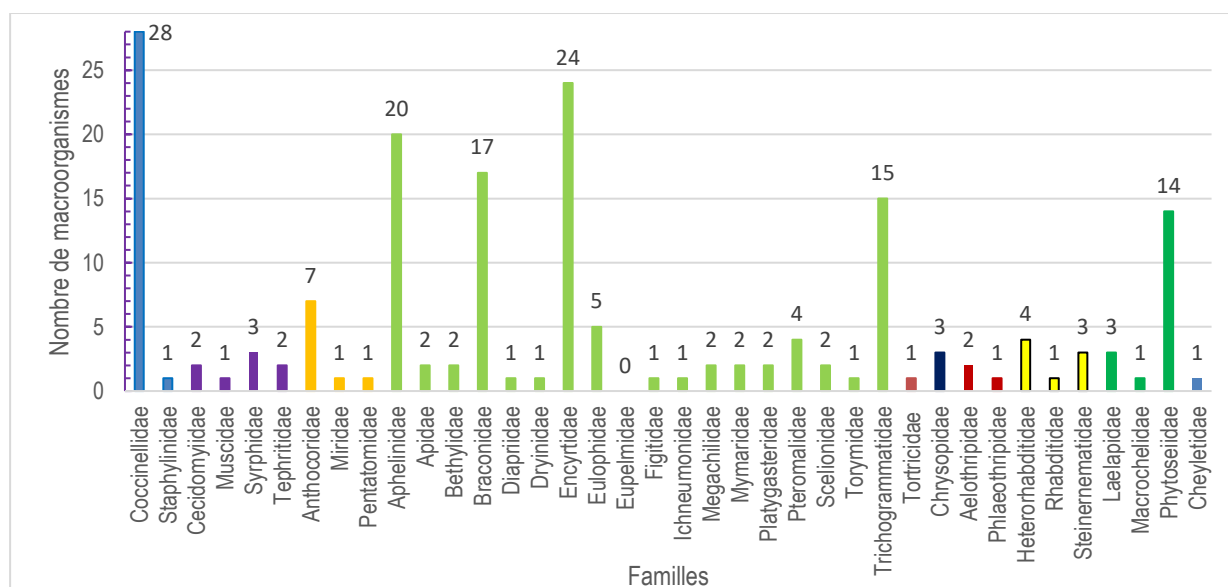


Figure 7 : Nombre de macroorganismes par Famille.

Les couleurs utilisées pour les Familles dans la Figure 7 sont identiques aux couleurs des Ordres auxquels elles appartiennent dans la Figure 6.

3.2.3 Évolution géographique

3.2.3.1. Origine

Il est nécessaire de noter que les macroorganismes ne possèdent en général pas une seule origine, ils sont majoritairement « multi-origines ». De plus, l'origine précise d'un macro-organisme n'est pas simple à trouver, les renseignements donnent la plupart du temps une aire géographique large. Par exemple,



l'origine « cosmopolite » indique que le macro-organisme provient d'une « large répartition géographique ». Nous n'avons pas accès à son origine précise.

La Figure 8 illustre les origines des macroorganismes introduits en France au cours du temps. On observe que les origines des macroorganismes sont fortement variables d'une décennie à l'autre. À partir des années 1980, les macroorganismes ayant pour origine l'Europe, l'Asie et/ou l'Afrique sont plus importants que ceux ayant une autre origine. Ces observations ne permettent pas de conclure qu'il y ait une origine majoritaire de macroorganismes introduits.

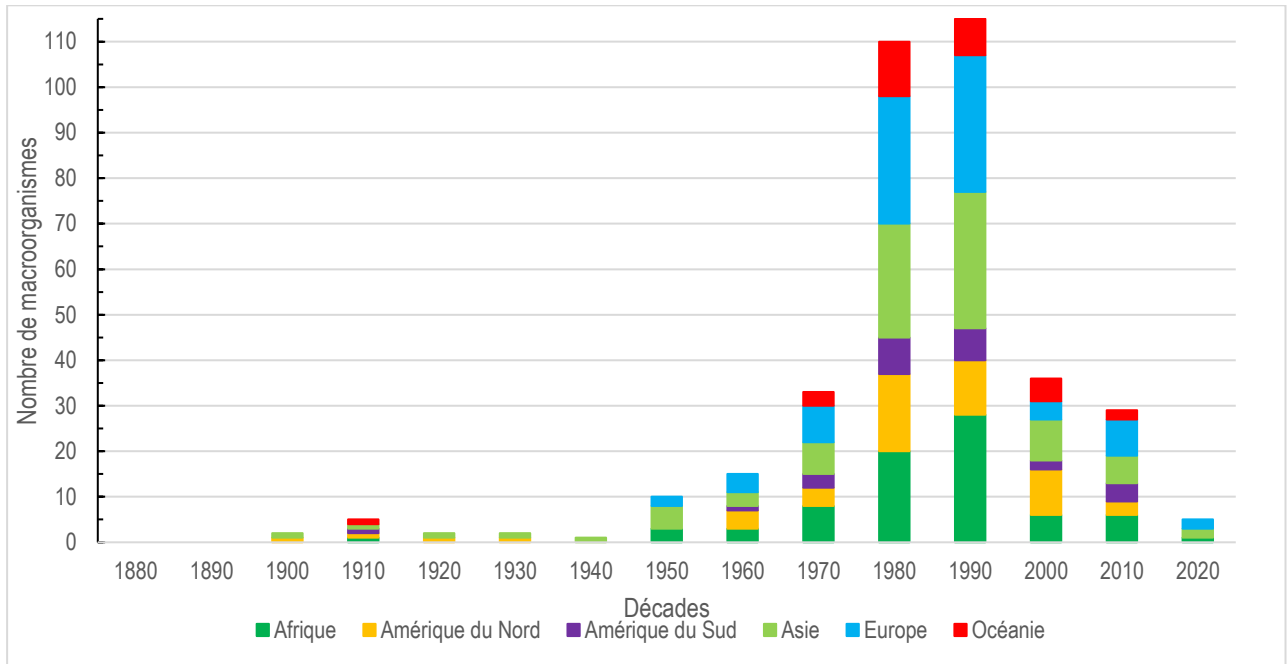


Figure 8 : Origine des macroorganismes introduits en France au cours du temps.

En ce qui concerne les origines par continent (Figure 8) les macroorganismes originaires d'Océanie et d'Amérique du Sud sont relativement peu nombreux (8% et 7%) et on observe qu'aucune origine spécifique ne l'emporte de façon significative même si la part de l'Asie, la plus représentée, correspond à 25%. De même, l'implémentation temporelle est comparable entre les macroorganismes des différents continents (Figure 9).

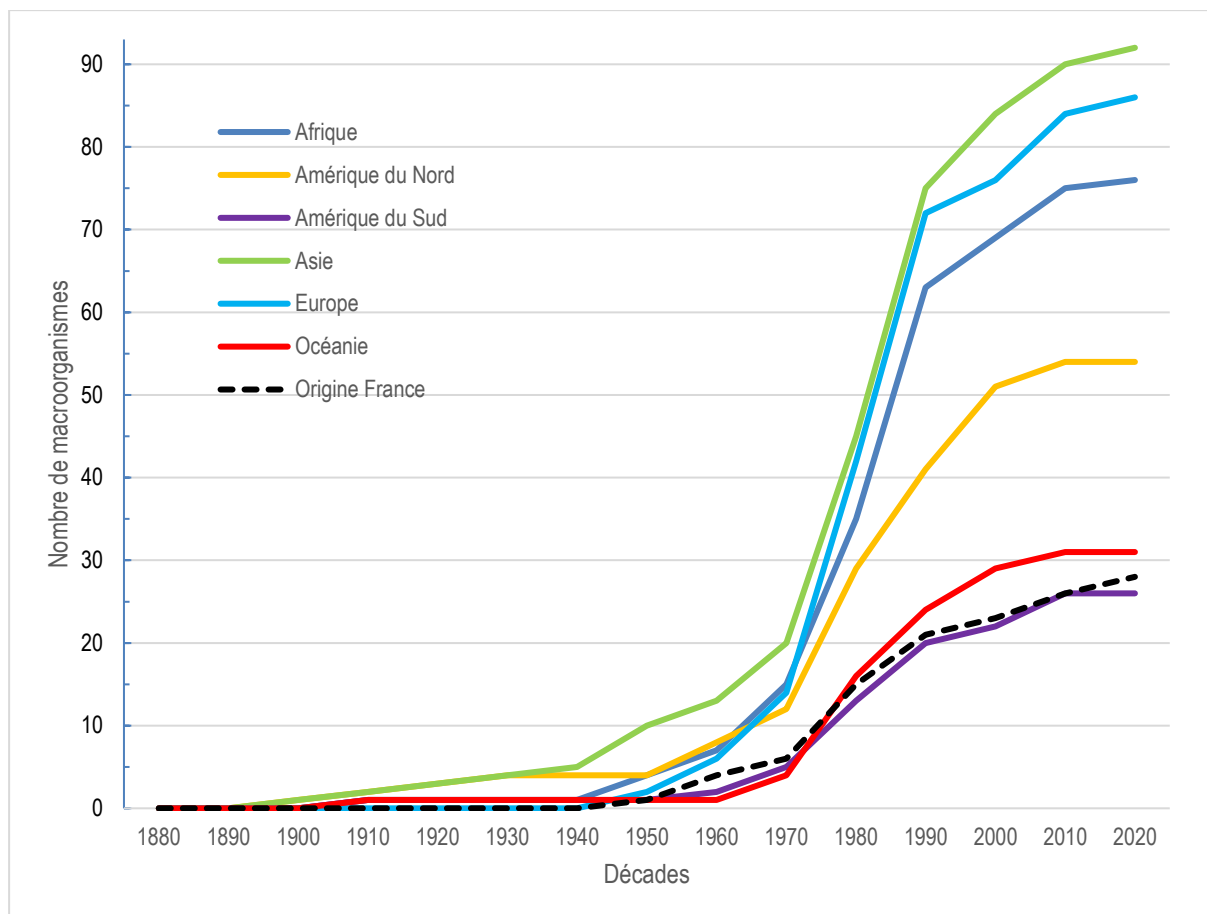


Figure 9 : Origine des macroorganismes utilisés en fonction du temps, données cumulées + origine France.

3.2.3.2. Destination des utilisations (par arrêtés)

Les arrêtés correspondant aux organismes non indigènes autorisent trois Territoires, la France métropolitaine continentale, la Corse et les DROM. Il ressort des analyses que les arrêtés concernent presque exclusivement la France métropolitaine, avec une répartition sensiblement similaire entre la France continentale et la Corse.

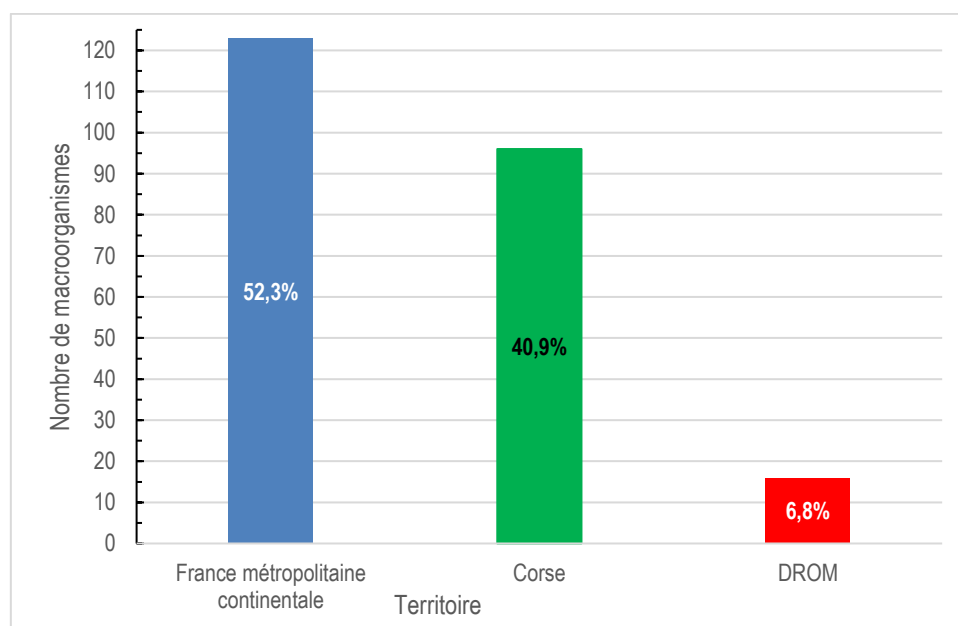


Figure 10 : Répartition des macroorganismes dans les arrêtés d'autorisation.



3.3 Données

Les listes des macroorganismes qui ont été référencés comme ayant été utilisés en France, même sur une courte durée, ont été construites à l'aide des diverses données collectées. Deux tableaux distincts ont été établis, correspondant aux deux origines différentes. Les macroorganismes non-indigènes qui ont été utilisés, exploités donc en introduction, ont été listés par organismes (espèces/souches) et origine dans le Tableau 1. Les macroorganismes indigènes, utilisés en augmentation contre des bioagresseurs ravageurs des cultures, et autorisés nouvellement depuis 2019 (Robin, 2020) ont été listés dans le Tableau 2.

Tableau 1 : Macroorganismes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Tableau 1a : Insectes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Tableau 1b : Arachnides non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Tableau 1c : Nématodes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Tableau 2 : Macroorganismes indigènes utilisés en France nouveaux depuis 2019.

Ces macroorganismes appartiennent à différentes familles, mais il convient de citer les plus représentées. Les familles de macroorganismes les plus utilisées sont décrites dans le Tableau 3. Elles sont le reflet des résultats conjugués des efficacités, de la facilité de production, d'utilisation, et d'adoption par les utilisateurs. Des Familles ont été supprimées : Hemerobiidae, Phasmarhabditidae, Rhizophagidae et d'autres rajoutées : Rhabditidae, Scelionidae, Tortricidae, Tephritidae. L'importance des familles par ordre et le nombre de macroorganisme par famille est détaillé dans les Figures 6 et 7.

Tableau 3 : Familles des macroorganismes les plus utilisés en France (mise à jour).

En parallèle des macroorganismes auxiliaires utilisés en Biocontrôle, les bioagresseurs ciblés dans la lutte biologique appartiennent à différentes familles ; il convient de citer les plus représentées afin de comprendre quelles sont les familles les plus combattues, soit parce qu'elles sont faciles à combattre par cette méthode, ou que leur intérêt soit autre, en particulier l'absence de résidus de produits phytopharmaceutiques dans cette protection des cultures (Charon, 2019).

Les Ordres de ravageurs les plus ciblés par les agents de lutte biologique (ennemis naturels) sont les Coléoptères, les Lépidoptères, les Diptères, les Thysanoptères et les Hémiptères détaillés dans le Tableau 4 et la Figure 11. Le nombre de macroorganismes (Super-familles) impliqués contre les différentes cibles sont décrites dans la Figure 12. Les Familles correspondantes sont répertoriées dans le Tableau 6.

Tableau 4 : Ordres des ravageurs les plus ciblés en France (mise à jour).

Tableau 6 : Familles des ravageurs les plus ciblés en France (mise à jour).

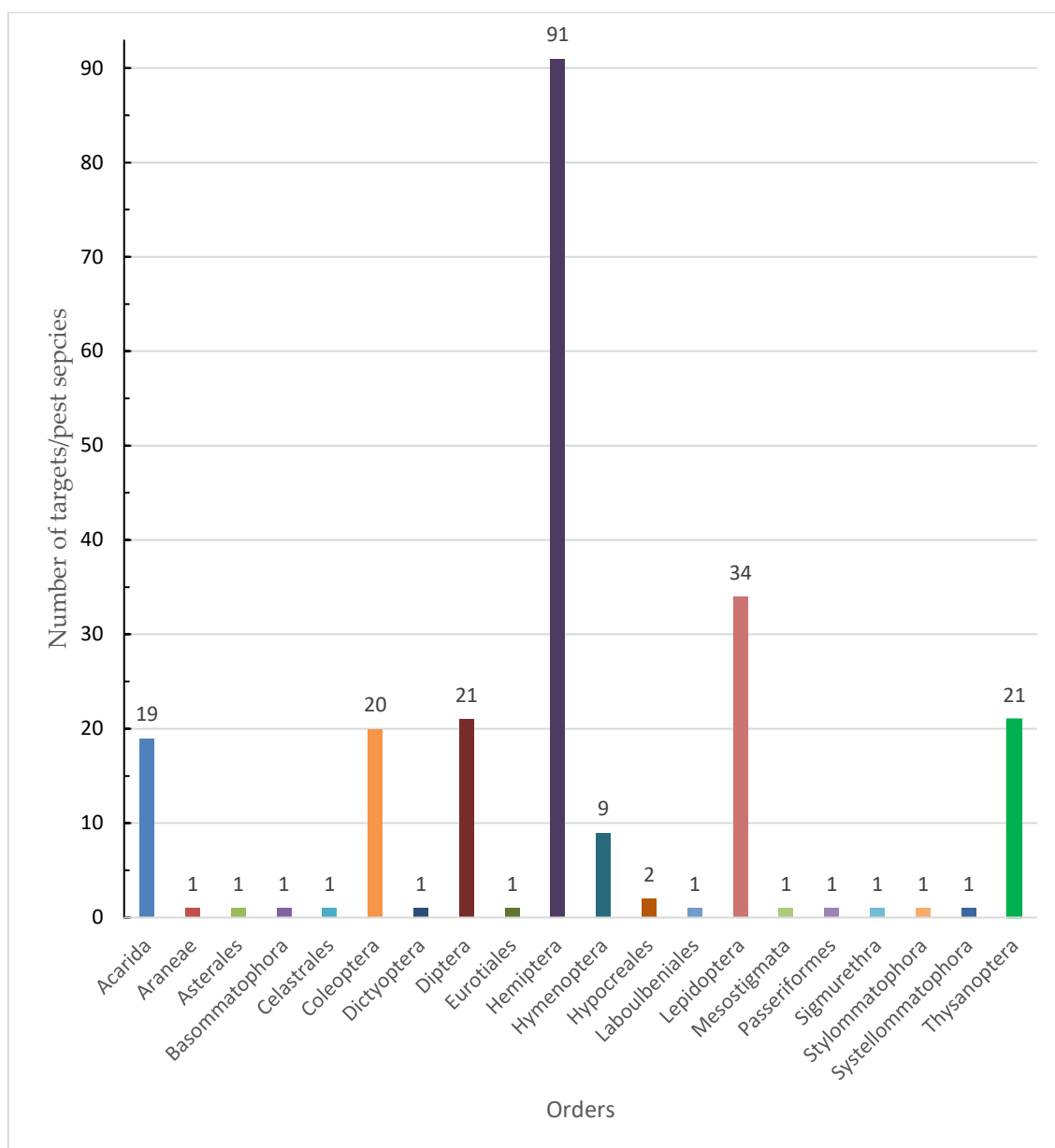


Figure 11 : Ordres des ravageurs les plus ciblés en France et quantités de ravageurs.

Il est remarquable, sur la Figure 11, que seuls six Ordres représentant 25% des commandes correspondent à environ 90% des cibles totales des macroorganismes.

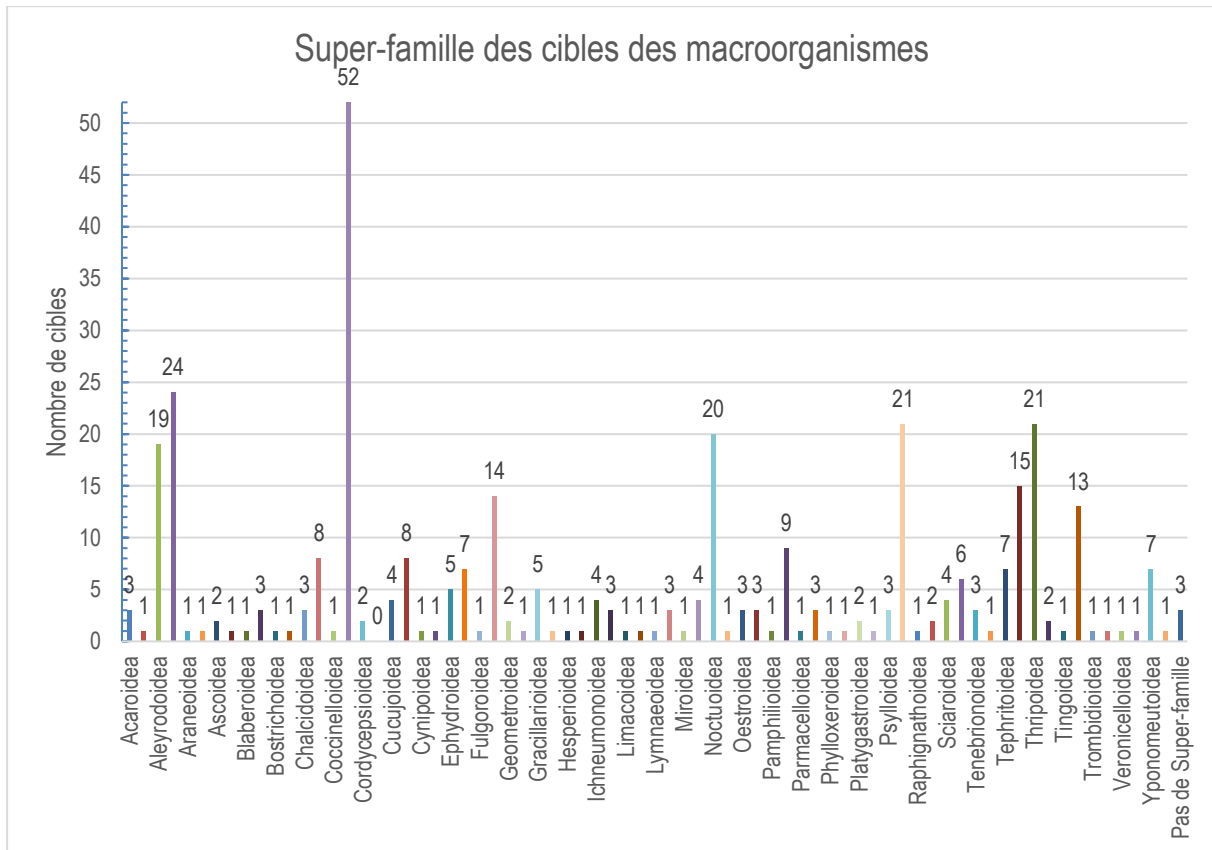


Figure 12 : Superfamilles des ravageurs les plus ciblés en France et quantités de ravageurs.

Les différentes cibles de macroorganismes impliquées dans les usages des plantes sont répertoriées dans la Figure 13, détaillant les Ordres, les Super-Familles et les Familles. Il est important de noter que pour le moment, aucun macroorganisme n'a été mis en place contre les nématodes/ravageurs. De même, il est remarquable, sur la Figure 12 et le Tableau 5, que seules neuf Super-familles représentant 12% des Ordres correspondent à environ 56% des cibles totales des macroorganismes. Là encore, il est remarquable, sur le Tableau 6, que seules quelques Familles (Nb =11) représentant moins de 10% des Super-familles sur la Figure 12 correspondent à environ 50% des cibles totales des macroorganismes.

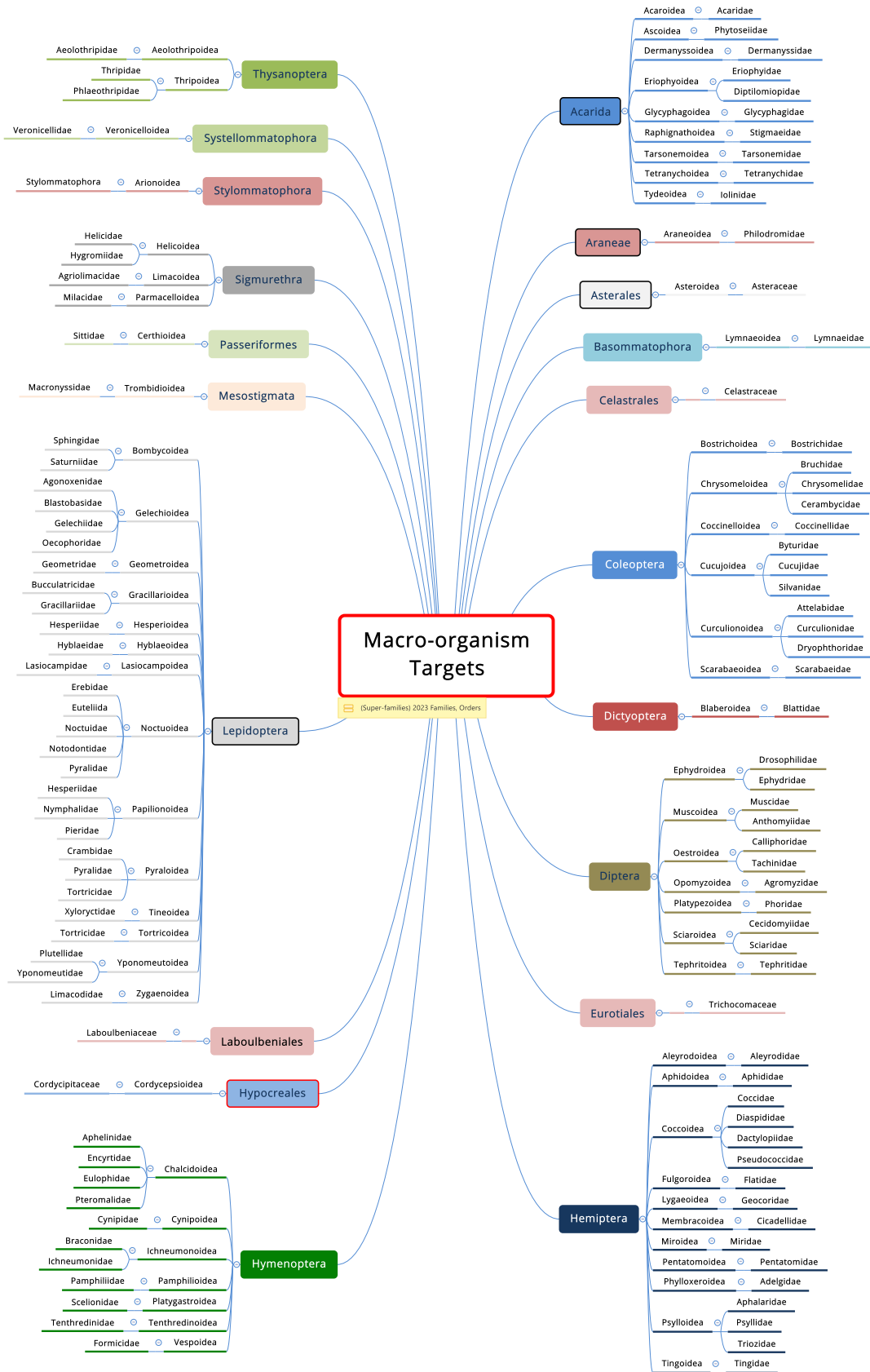


Figure 13 : Ordres, Super familles (quand elles existent) et Familles des ravageurs les plus ciblés en France.



Leur type d'action, plus que le mode d'action est précisé dans la Figure 14. Un certain nombre de macroorganismes possèdent deux fonctions prédateurs (consommation) et parasitisme (ponte d'œufs) ils sont donc comptés deux fois dans les actions.

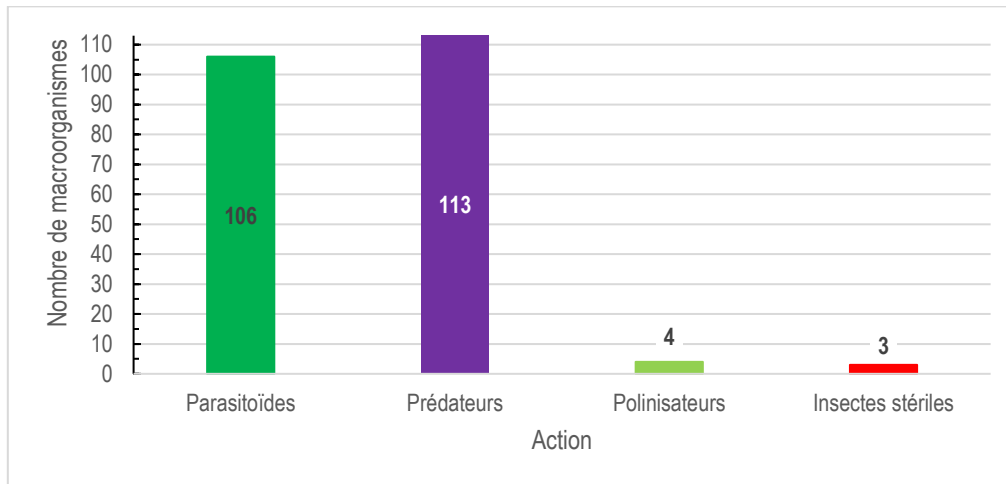


Figure 14 : Utilisation (actions) des macroorganismes (total).

L'action prédatrice est donc majoritaire (50%) devant l'action parasite (47%), les actions plus récentes (dans l'autorisation) étant encore très minoritaires : pollinisateurs (2%) et insectes stériles (1%). Si les cibles sont diverses, les actions parfois doubles ou triples (action indirecte de pollinisation) sont majoritairement la consommation (62%) sur tous les stades et la ponte d'œufs (55%) confirmant la Figure 14. Les détails sont indiqués dans la Figure 15 et le Tableau 7. Les détails sont indiqués sur la Figure 14. Le cumul possible des modes d'action est un élément distinctif des macroorganismes par rapport à la protection classique des végétaux par les PPP, y compris les agents de biocontrôle (microorganismes, sémiocimiques et substances d'origine naturelle).

Tableau 7 : Actions des macroorganismes contre les ravageurs.

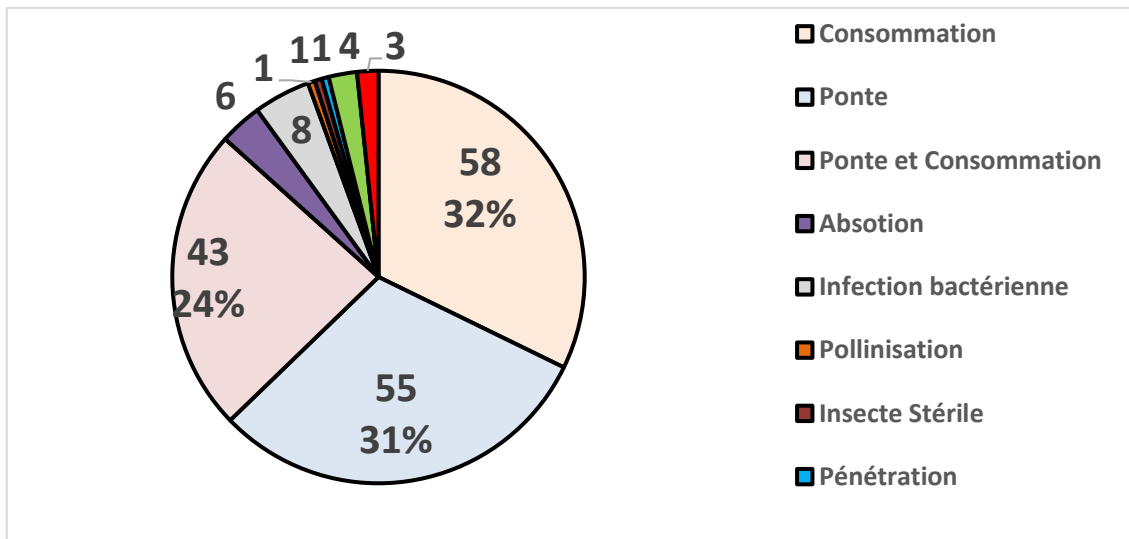


Figure 15 : Utilisation (actions) des macroorganismes (total, détail).

La caractérisation des stades des cibles est par contre plus difficile, car les données sont incomplètes et la spécialisation par stade peu existante, étudiée ou effective, que ce soit pour la consommation ou le parasitisme (Tableau 8).

Tableau 8 : Stades des cibles des macroorganismes.

4. Discussion



L'explosion des introductions et des utilisations des macroorganismes dans les années 1980 et 1990 est probablement due à un fort taux de réussite dans les années qui précèdent cette augmentation. En effet, les macroorganismes introduits ont probablement bien fonctionné sur les bioagresseurs des cultures et ont dû conférer une bonne protection aux cultures. De plus, on peut supposer qu'une pression associée au changement climatique et aux impacts environnementaux pesant sur l'agriculture, a pu favoriser la réduction de l'usage des produits phytosanitaires en les remplaçant par des auxiliaires : le biocontrôle est un allié de la transition agroécologique. Pour les Agent de Biocontrôle, cette voie de protection des cultures par mise en place de MO, quand l'efficacité est au rendez-vous, est aussi intéressante à mettre en place et à promouvoir pour d'autres bonnes raisons, notamment grâce à l'absence de résidus (Charon, 2019) dans les productions végétales, puisque ces résidus sont les principales préoccupations des consommateurs et des applicateurs.

L'observation de la chute du nombre d'introductions de macroorganismes non indigènes à partir des années 2000-2010, quant à elle, pourrait être liée à une réglementation plus stricte que les décennies précédentes. Cette dernière a été mise en place suite à certains incidents apparus lors de l'introduction d'agents de biocontrôle devenus invasifs. Comme la coccinelle asiatique mentionnée dans l'introduction, ou encore l'introduction de l'escargot *Euglandina rosea* en tant que prédateur de l'Escargot géant africain (*Achatina fulica*) ayant conduit à la disparition d'espèces de mollusques dans des îles de Polynésie française. On peut donc imaginer que moins d'autorisations d'entrée de macroorganismes sur le territoire français aient été admises depuis ces incidents. En effet, l'évaluation des demandes d'autorisations d'entrée sur le territoire de macroorganismes non indigènes utiles aux végétaux se fait en trois étapes : la réglementation, l'entrée sur le territoire en milieu confiné, puis l'introduction dans l'environnement. Malgré tout, on observe un regain d'intérêt dans la décennie 2020. En terme de marchés, les macroorganismes (233 M€) ne représentent qu'une petite part (15%) des 1.6 milliards d'euros (2023) de ventes du Biocontrôle, lui-même ne représentant qu'un dixième du marché de la protection des cultures. Cependant, cette catégorie est celle qui génère la plus forte expansion sur les 4 dernières années (+65%) (IBMA, 2023).

On peut également supposer que suite à un grand nombre d'introductions, les bioagresseurs des cultures sont bien maîtrisés par les macroorganismes introduits. Par conséquent, la nécessité d'en introduire d'autres diminue pour une même cible (travail d'acclimatation, dossier, promotion, concurrence...). Cependant, il faut souligner que chaque introduction de macroorganismes n'aboutit pas à l'établissement de ce dernier dans l'environnement ; par conséquent, certains macroorganismes doivent être réintroduits ou augmentés chaque année.

D'après l'observation faite concernant l'évolution de l'introduction des différents auxiliaires et montrant qu'en général les parasites étaient légèrement plus introduits que les prédateurs, on pourrait suggérer une meilleure efficacité du mode d'action des parasites sur les bioagresseurs (ponte d'œufs, infection bactérienne) par rapport aux prédateurs qui consomment leur cible ou aspire leur contenu (Grünig, 2020). Cependant, la tendance s'inverse avec des prédateurs de plus en plus introduits, ces derniers pourraient prouver une bonne efficacité et une moins grande spécificité des cibles. L'observation disparate des origines des macroorganismes introduits en France ne permet pas d'affirmer que l'introduction d'une origine précise est favorisée. Cependant, il est intéressant de noter qu'une plus grande proportion de macroorganismes ayant pour origine l'Europe, l'Asie et/ou l'Afrique sont introduits en France depuis 1970. Ces continents ayant des climats chauds, on peut imaginer que cela est dû à l'impact du réchauffement climatique. On peut également leur supposer une meilleure efficacité sur les bioagresseurs dans les cultures. Les macroorganismes présents en France métropolitaine ont été uniquement affichés dans la Figure 8.

4.1 Actions et cibles

La panoplie complète des actions individuelles mises en œuvre et des synergies potentielles sur les ravageurs des cultures est répertoriée dans la Figure 10, qui montre que ces actions sont potentiellement



additives. Dans les deux principales catégories d'actions génériques, prédation et parasitisme, on observe peu de spécialisation, y compris dans la dualité prédation **et** parasitisme, en fonction des stades ciblés du ravageur (Tableau 6, Figures 11 et 12), contrairement à la relative spécialisation de l'hôte comme vis-à-vis des espèces ciblées, visant à garantir l'efficacité et le respect de la réglementation (diffusion non intentionnelle).

4.2 Évolution des macroorganismes au niveau national

La lutte biologique via les macroorganismes, mise en place au début du XX^{ème} siècle, est une solution prometteuse de protection des plantes. L'évolution des macroorganismes en France n'est pas constante au cours du temps. La croissance jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle et le ralentissement au début du XXI^{ème} siècle d'introduction de macroorganismes, soulève des questions. A-t-on mis en œuvre rapidement les macroorganismes les plus efficaces et évidents ? Dans ce cas, les espoirs sur ce pilier du biocontrôle pourrait être revu à la baisse. Dans le cas contraire, la recherche est nécessaire et utile. Encore une fois, le nombre de demandes observé dans la décade 2020 est prometteur d'un redémarrage ou d'une accélération de l'usage des macroorganismes.

La France étant le premier pays agricole de l'Union Européenne ; il se doit d'assurer et de « montrer l'exemple » en termes d'impact environnemental et sanitaire dans le contrôle de ses cultures et productions agricoles suivant la Directive CE 128/2009 dite « SUD » (Vekemans, 2024). Elle est d'ailleurs en cours de révision pour conduire à un règlement dit « SUR » dans lequel les macroorganismes sont cités dans le paragraphe « biological control » comme des mesures de protection des cultures et hors du champ des pesticides et du règlement CE 1107/2009. Malheureusement, cette inflexion et l'harmonisation qui aurait pu être organisée pour les macroorganismes a été reporté *sine die*.

L'ultime question du renouvellement de ses autorisations se pose, puisque quelques autorisations sont arrivées à échéance quinquennale :

- Quid de la volonté des pétitionnaires de demander leur renouvellement et,
- Combien de renouvellements seront accordés, sachant qu'un renouvellement a déjà subi un avis Anses négatif ?

Une partie de ces réponses est contenue dans les publications récentes au JORF et sur liste publiée le site du Ministère en charge de l'Agriculture, et les macroorganismes publiés en février 2023 ont été considérés comme « renouvelés » dans nos tableaux et statistiques. Quelques autres ont été renouvelés depuis le 1^{er} juin 2023 et ont été inclus dans notre analyse (BO, 2023 ; BO, 2024a et b)).

5. Conclusion

Depuis 1980, le marché du biocontrôle gagne du terrain et a pour objectif 30% des parts du marché à l'horizon de 2030 et d'ici 2025 une réduction programmée de 50% de l'usage et de l'impact des produits phytosanitaires, sous-entendu « chimiques » (Green Deal, SUD puis SUR) suivi des objectifs 25% de surfaces agricoles utiles en Agriculture Biologique. Ces objectifs impliquent des efforts placés dans la recherche sur le dernier pilier du Biocontrôle (Robin, 2024) sur les cibles prioritaires ainsi que les macroorganismes utiles à leur contrôle. La réglementation ferme des macroorganismes non indigènes, en place actuellement, pourrait évoluer dans les années à venir dans le but de maximiser la protection contre les risques sanitaires et environnementaux lors des introductions. L'évolution dans ce domaine passe par le partage des connaissances sur les solutions de biocontrôle et l'éveil des consciences sur l'importance de la réduction de l'usage des produits phytosanitaires et leurs impacts sur l'homme et l'environnement.

La réglementation sur les macroorganismes, développée par la France et encore unique en Europe, a commencé à poser un cadre sur l'introduction et l'utilisation des macroorganismes non indigènes.



Cependant, cette réglementation a ses limites : elle n'encadre que les macroorganismes non indigènes et ne permet pas de connaître de façon exhaustive les macroorganismes indigènes utilisés, ni de mesurer leur importance respective, et encore moins d'avoir accès rapidement et facilement à l'ensemble des organismes utilisables tant que la liste n'est pas en ligne. Nous espérons pouvoir par cet inventaire apporter une information claire, mise à jour, et promouvoir les macroorganismes du 4^{ème} pilier du Biocontrôle.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCID des auteurs

Patrice Marchand <https://orcid.org/0000-0001-6006-1663>

Contributions des auteurs

Conceptualization : Patrice Marchand

Data curation : Marion BARATANGE, Johana CARDOSO

Formal Analysis : Marion BARATANGE, Johana CARDOSO

Funding acquisition: Patrice Marchand

Investigation : Marion BARATANGE, Johana CARDOSO

Methodology : Marion BARATANGE, Johana CARDOSO

Validation : Patrice Marchand

Writing – original draft: Johana CARDOSO, Marion BARATANGE, Patrice Marchand

Writing – review & editing: Patrice Marchand

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Bénédicte Gautier et Rémy Rossin pour leurs conseils, ainsi que Serge Kreiter pour ses réponses et éclaircissements, Rania Jabeur pour ses commentaires.

Déclaration de soutien financier

Ces travaux sur la réglementation concernant les macroorganismes ont été lancés et soutenus par le ministère de la Transition Écologique, via l'Agence Française de Biodiversité (XP-BC 2017-2019). Les recherches ultérieures ont été financées par la dotation de base CASDAR de l'Institut (2017-2022) et les plus récentes par le programme PNDAR (2022-2027).



Références bibliographiques

- Anses. 2022a. Macroorganismes utiles aux végétaux <https://www.anses.fr/fr/content/macro-organismes-utiles-aux-v%C3%A9g%C3%A9taux> Accessibilité : (16 juin 2023).
- Anses. 2022b. Avis concernant les macroorganismes. <https://www.anses.fr/fr/content/liste-des-avis-macroorganismes> Accessibilité : (15 mai 2023).
- Anses. 2022c. Avis relatif à l'élaboration d'un guide précisant les éléments à renseigner dans le cadre des demandes d'autorisation d'introduction dans l'environnement de macroorganismes non indigènes utiles aux végétaux. <https://www.anses.fr/fr/system/files/PHYTO2021AUTO0134.pdf> Accessibilité : (16 juin 2023).
- Baratange M, Cardoso J, Marchand P A. 2023. Development of biocontrol macro-organisms in France. *Ecologies*. 4(2):ppp., accepté
- Barratt BIP, Moran VC, Bigler F et van Lenteren J-C. 2018. The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. *BioControl* 63:155–167. doi:10.1007/s10526-017-9831-y
- Boyer S. 2012. La technique de l'insecte stérile : une lutte ciblée sans insecticide. *Médecine Tropicale*, 72, 60-62.
- Bilger F. 2001. Safe use of invertebrate macro-organisms for biological control in the EPPO region. *EPPO Bulletin* 31(3):405–410. doi:10.1111/j.1365-2338.2001.tb01020.x
- BO 2023. Bulletin officiel du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire n°24. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/historique/annee-2023/semaine-24> Accessibilité : (16 juin 2023).
- BO 2024a. Bulletin officiel du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire n°12. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/historique/annee-2024/semaine-12> Accessibilité : (16 mai 2024).
- BO 2024b. Bulletin officiel du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire n°2. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/historique/annee-2024/semaine-2> Accessibilité : (16 mai 2024).
- CABI. 2023 <https://www.cabi.org/> Accessibilité : (16 juin 2023).
- Fauna Europeae. 2023 <https://fauna-eu.org/> Accessibilité : (16 juin 2023).
- IBMA. 2023. European Biocontrol Market Information. https://ibma-global.org/wp-content/uploads/2024/04/2023-IBMA-Member-Survey_Condensed-4.16.24-1.pdf Accessibilité : (29 mai 2024).
- INPN. 2023. Inventaire National du Patrimoine naturel. <https://inpn.mnhn.fr/accueil/donnees-referentiels> Accessibilité : (1^{er} mai 2024).
- Italie. 2019. Regolamento recante ulteriori modifiche dell'articolo 12 del decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357, concernente attuazione [...] Normativa nazionale Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana § 5.6.94 - D.P.R. 5 luglio 2019, n. 102.
- Labrie G. 2008. La coccinelle asiatique à l'assaut de la planète. *Antennae* 2008, 15(3):13-16.
- Laroche L. 2017 Optimiser la technique de l'insecte stérile chez les Glossines : étude du transfert de pyriproxifène du mâle stérile à la femelle en conditions expérimentales. Rapport. Master International en Entomologie : Écologie et Contrôle. pp.1-25
- Légifrance. 2012. Décret n° 2012-140 du 30 janvier 2012 relatif aux conditions d'autorisation d'entrée sur le territoire et d'introduction dans l'environnement de macroorganismes non indigènes utiles aux



végétaux, notamment dans le cadre de la lutte biologique. Journal officiel république française. N°0026 du 31 janvier 2012, p. 1803, texte n° 48.

Légifrance. 2015. Arrêté du 26 février 2015 établissant la liste des macroorganismes non indigènes utiles aux végétaux, notamment dans le cadre de la lutte biologique dispensés de demande d'autorisation d'entrée sur un territoire et d'introduction dans l'environnement. Journal officiel république française. N°0094 du 22 avril 2015, p. 7077, texte n° 34.

Légifrance. 2023. Avis aux opérateurs économiques relatif à la publication de la liste des macroorganismes utiles aux végétaux autorisés pour l'introduction dans l'environnement en France. Journal officiel république française. N°0048 du 25 février 2023, p. 169, texte n° 70.

Lombaert E, Guillemaud T, Cornuet J-M., Malausa T, Facon B et Estoup A. 2010. Bridgehead Effect in the Worldwide Invasion of the Biocontrol Harlequin Ladybird. PLoS ONE 5(3):e9743. doi: 10.1371/journal.pone.0009743.

Mamy L (coord.), Pesce S., (coord.) Sanchez W. (coord.), Amichot M., Artigas J., Aviron S., Barthélémy C., Beaudoin R., Bedos C., Bérard A., Berny P., Bertrand C., Bertrand C., Betoulle S., Bureau-Point E., Charles S., Chaumot A., Chauvel B., Coeurdassier M., Corio-Costet M.F., Coutellec M.A., Crouzet O., Doussan I., Faburé J., Fritsch C., Gallai N., Gonzalez P., Gouy V., Hedde M., Langlais A., Le Bellec F., Leboulanger C., Margoum C., Martin-Laurent F., Mongruel R., Morin S., Mougou C., Munaron D., Néliou S., Pelosi C., Rault M., Sabater S., Stachowski-Haberkorn S., Sucre E., Thomas M., Tournebize J. / Achard A.L., Le Gall M., Le Perchec S. / Delebarre E., Larras F./ Leenhardt S. (coord.) (2022). Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport d'ESCO, INRAE – Ifremer (France).

Marchand PA. 2022. Evolution of plant protection active substances in Europe: Disappearance of chemicals in favour of biocontrol agents. Environmental Science and Pollution Research, 30(1):1-7. doi: 10.1007/s11356-022-24057-7

Marchand PA. 2023a. Biocontrol Active Substances in Europe: A Slow Shift Towards Dominance. Chronicle of Bioresource Management, 7(1):21-23.

Marchand PA. 2023b. EU chemical plant protection products in 2023: current state and perspectives. Agrochemicals, 2(1):106-117. doi: 10.3390/agrochemicals1010008

Matyjaszczyk E. 2009. Placing biopesticides on the Polish market. Pestycydy/Pesticides, 1-4:89-97.

Muller S. 2015. La coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis*, une espèce introduite pour la lutte biologique, devenue invasive en Europe et en Amérique. MNHN. 4 p. [en ligne]. <https://www.cbd.int/invasive/doc/meetings/isaem-2015-01/BIOCONTROL/iasem-francebio-02-fr.pdf>

OEPP. 2023. Taxonomy explorer Database. <https://gd.eppo.int/taxonomy> Accessibilité : (1 mars. 2023).

Oliva CF, Chand R, Prudhomme J, Messori S, Torres G, Mumford J.D, Deme I, Quinlan M.M. 2022. International live insect trade: a survey of stakeholders. Scientific & Technical Review. 41(1):29-65. doi 10.20506/rst.41.1.3302.

Reynaud P, Gautier B. 2016. Evaluation and regulation of non-indigenous macro-organisms: experience in France. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 46 (2):259–262, doi: 10.1111/epp.12291

Robin DC, Marchand PA. 2019. Biocontrol active substances: evolution since the entry in vigour of Reg. 1107/2009. Pest Management Science 75(4):950-958. doi:10.1002/ps.5199

Robin DC, Marchand PA. 2020. Macroorganismes réglementés en France. Innovations Agronomiques, 79:425-39, doi 10.15454/gtk0-6y86

Robin DC, Merlet L, Marchand PA. 2023. Regulatory aspects of the Biocontrol. in Biocontrol of plant disease, Recent advance and prospects in Plant Protection, Ecosystems and environment, Environments,



natural or anthropogenic pressures, ISTE-Wiley Ed., Chapter 1: 1-17, ISBN 9781789450989 doi: 10.1002/9781394188277.ch1

Robin DC, Merlet L, Marchand PA. 2024. Aspects réglementaires du biocontrôle, in *Le biocontrôle des maladies végétales, Avancées récentes et perspectives en matière de protection des plantes, pressions, naturelles ou anthropiques*, ISTE-Wiley Ed., ISBN 9781789480986, pp. 1-28. doi : 10.51926/ISTE.9098.ch1

UE. 2016. Règlement (UE) 2016/429 du Parlement Européen et du Conseil du 9 mars 2016 relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale. Journal officiel de l'Union européenne L 84/1

UE. 2020. Règlement délégué (UE) 2020/692 de la Commission du 30 janvier 2020 complétant le règlement (UE) 2016/429 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les règles applicables à l'entrée dans l'Union d'envois de certains animaux, produits germinaux et produits d'origine animale, ainsi qu'aux mouvements et à la manipulation de ces envois après leur entrée dans l'Union. Journal officiel de l'Union européenne L 174/379

UE. 2021a. Use of biological control agents (macro-organisms) against plant pests - Policy debate (4 mars 2021). Accessibilité : (15 mai 2023). https://www.parlament.gv.at/PAKT/EU/XXVII/EU/05/26/EU_52680/imfname_11048480.pdf

UE. 2021b. Décision (UE) 2021/1102 du Conseil du 28 juin 2021 invitant la Commission à soumettre une étude sur la situation et les options de l'Union en ce qui concerne l'introduction, l'évaluation, la production, la mise sur le marché et l'utilisation d'agents de lutte biologique invertébrés sur le territoire de l'Union, et une proposition, le cas échéant, pour tenir compte des résultats de l'étude. Journal officiel de l'Union européenne L 238/81

Vekemans M-C, Marchand PA. 2024. The European pesticides Harmonised Risk Indicator 1: A clarification about its displayed rendering. *European Journal of Risk Regulation*, 15(1), 153-178. doi: 10.1017/err.2023.47 2024.



Tableau 1 : Macroorganismes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Tableau 1a : Insectes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Espèce	Usages	Date de 1 ^{ère} utilisation	Origine
<i>Acerophagus maculipennis</i>	Pr, Pa	1980	Paléarctique
<i>Adalia bipunctata</i>	Pr	1985	Europe, Afrique du Nord, Nord de l'Asie, Moyen-Orient
<i>Allotropa burelli</i>	Pr, Pa	1945	Japon
<i>Anagyrus fusciventris</i>	Pa	1990	Australie
<i>Anagyrus vladimiri</i> (formerly <i>pseudococci</i>)	Pr, Pa	1988	Europe
<i>Anthocoris nemoralis</i>	Pr	1975	Europe
<i>Aphelinus abdominalis</i>	Pa	1992	Europe
<i>Aphidius colemani</i>	Pr, Pa	1992	Afrique du Nord, Moyen-Orient, Inde
<i>Aphidius ervi</i>	Pa	1995	Écozone paléarctique - Europe
<i>Aphidius matricariae</i>	Pa	1995	Écozone Holarctique
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Pr	1985	Europe Centrale
<i>Aphytis lepidosaphes</i>	Pr, Pa	1956	Chine
<i>Aphytis melinus</i>	Pr, Pa	1962	Inde, Pakistan
<i>Bactrocera dorsalis</i> (sterilised strain)	S	2021	Asie du Sud-Est
<i>Bombus terrestris</i>	Po	1991	Europe
<i>Bracon brevicornis</i>	Pa	1980	Cosmopolite
<i>Cephalonomia tarsalis</i>	Pr, Pa	2016	Zone intertropicale
<i>Ceratitis capitata</i> (sterile MO)	S	2020	Afrique tropicale
<i>Chilocorus nigritus</i>	Pr	1985	Asie du Sud
<i>Chrysoperla carnea</i>	Pr	1987	Europe, Afrique du Nord et Moyen-Orient
<i>Chrysoperla lucasina</i>	Pr	1994	Europe
<i>Coccidoxenoides perminutus</i>	Pa	2009	Régions circumtropicales et subtropicales
<i>Coccophagus gurneyi</i>	Pa	1985	Australie
<i>Coccophagus scutellaris</i>	Pr, Pa	1986	Mexique et Argentine
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Pr	1908	Australie
<i>Cydia pomonella</i> (sterile MO)	S	2018	Asie
<i>Dacnusa sibirica</i>	Pa	1981	Europe et Asie
<i>Dalotia coriaria</i>	Pr	2007	USA
<i>Delphastus catalinae</i>	Pr	1993	Néarctique / Néotropical
<i>Delphastus pusillus</i>	Pr	1993	Amérique
<i>Diachasmimorpha tryoni</i>	Pa	1994	USA
<i>Diglyphus isaea</i>	Pr, Pa	1984	Europe
<i>Diversinervus elegans</i>	Pa	1979	Érythrée
<i>Encarsia citrina</i>	Pa	1984	Europe
<i>Encarsia elongata</i>	Pr, Pa	1989	Europe
<i>Encarsia formosa</i>	Pr, Pa	1930	Amérique centrale, sud du Néartique
<i>Encyrtus infelix</i>	Pa	1992	Région Afrotropicale
<i>Ephedrus cerasicola</i>	Pa	1999	Europe
<i>Episyrphus balteatus</i>	Pr	1995	Europe et Afrique du Nord
<i>Eretmocerus eremicus</i>	Pa	1994	Amérique du Nord, Sud du Néarctique
<i>Eretmocerus mundus</i>	Pa	1996	Europe
<i>Eupeodes corollae</i>	Pr	1981	Espagne
<i>Exochomus quadripustulatus</i>	Pr	1975	Europe, Afrique du Nord, Moyen-Orient, Asie du Nord
<i>Feltiella acarisuga</i>	Pr, Pa	1995	Europe et Asie
<i>Fopius arisanus</i>	Pa	1953	Hawaii
<i>Franklinothrips vespiformis</i>	Pr	1990	Asie
<i>Ganaspis cf. brasiliensis</i> G1 (GT and GS6 strains)	Pr, Pa	2019	Amérique du Sud
<i>Gyranusoidea litura</i>	Pa	1990	Afrique
<i>Habrobracon hebetor</i>	Pa	2000	Inde
<i>Holepyris sylvanidis</i>	Pr, Pa	2010	Europe



<i>Leptomastidea abnormis</i>	Pa	1972	Europe
<i>Leptomastix dactylopii</i>	Pa	1992	Amérique du Sud, Néotropique
<i>Leptomastix epona</i>	Pa	1997	USA, Paléartique
<i>Macrolophus pygmaeus</i>	Pr	1990	Paléartique
<i>Mastrus ridens</i>	Pa	2017	Sud du Kazakhstan et du Nord-Ouest de la Chine
<i>Metaphycus flavus</i>	Pr, Pa	1959	Néartique
<i>Metaphycus helvolus</i>	Pr, Pa	1960	Afrique du Sud
<i>Metaphycus lounsburyi</i>	Pr, Pa	1979	Californie, Australie, Hawaii et Afrique du Sud
<i>Metaphycus stanleyi</i>	Pr, Pa	1997	Afrique
<i>Micromus angulatus</i>	Pr	2022	Europe
<i>Microterys nietneri</i>	Pa	1987	Asie du Sud-Est
<i>Muscidifurax raptorellus</i>	Pr, Pa	1987	Afrique, Amérique du Nord et Europe
<i>Ophyra aenescens</i>	Pr	2004	Amérique du Nord
<i>Orius laevigatus</i>	Pr	1991	Écozone Paléarctique
<i>Orius majusculus</i>	Pr	1991	Écozone Paléarctique
<i>Osmia bicornis</i>	Po	2010	Europe
<i>Osmia cornuta</i>	Po	1994	Péninsule ibérique Europe
<i>Praon volucre</i>	Pa	2012	<i>Paleartic ecozone</i>
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i>	Pr	1990	Écozone Paléartique
<i>Psytalia concolor</i>	Pr, Pa	1918	USA
<i>Psytalia fletcheri</i>	Pa	1994	Amérique du Nord
<i>Psytalia lounsburyi</i>	Pa	2008	Afrique
<i>Rhyzobius forestieri</i>	Pr	1985	Europe
<i>Rodolia cardinalis</i>	Pr	1897	Australie
<i>Scutellista caerulea</i>	Pr, Pa	1990	Afrique
<i>Sphaerophoria rueppellii</i>	Pr	1973	Europe - Pays méditerranéens
<i>Thripobius semiluteus</i>	Pr, Pa	1995	Nouvelle-Zélande
<i>Torymus sinensis</i>	Pr, Pa	2016	Chine
<i>Trichogramma achaeae</i>	Pa	2011	Inde, Russie, USA, Antilles
<i>Trichogramma brassicae</i>	Pa	1980	Europe
<i>Trichogramma cordubensis</i>	Pa	1985	Péninsule ibérique Europe
<i>Trichogramma dendrolimi</i>	Pa	1980	Asie, Europe et Océanie
<i>Trichogramma euproctidis</i>	Pa	1993	France
<i>Trichogramma evanescens</i>	Pr, Pa	1970	Europe
<i>Trichopria drosophilae</i>	Pa	2008	Asie du Sud-Est
<i>Trissolcus basalis</i>	Pa	1982	Australie
<i>Trissolcus japonicus</i>	Pa	2023	Asie de l'Est
<i>Xylocoris flavipes</i>	Pr	1973	USA

Légende (Pr : prédation, Pa : parasitisme, Po : pollinisation, S : insecte stérile)

**Tableau 1b** : Insectes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Espèce	Usages	Date de 1 ^{ère} utilisation	Origine
<i>Amblydromalus limonicus</i>	Pr	2013	Amérique du Nord, Centrale et du Sud, Nouvelle-Zélande, Australie
<i>Amblyseius andersoni</i>	Pr	1977	Régions paléarctique et néarctique
<i>Amblyseius swirskii</i>	Pr	1983	Est méditerranéen
<i>Androlaelaps casalis</i>	Pr	1968	Amérique du Nord
<i>Gaeolaelaps aculeifer</i>	Pr	1976	Amérique du Nord
<i>Iphiseius degenerans</i>	Pr	1999	Europe
<i>Neoseiulus barkeri</i>	Pr	1994	USA
<i>Neoseiulus californicus</i>	Pr	1981	Amérique du Nord
<i>Neoseiulus cucumeris</i>	Pr	1985	Cosmopolite
<i>Stratiolaelaps scimitus</i>	Pr	1994	Paléartique
<i>Typhlodromips montdorensis</i>	Pr	2003	Îles du Pacifique et régions occidentales de l'Australie continentale

Légende (Pr : prédation, Pa : parasitisme, Po : pollinisation, S : insecte stérile)

Tableau 1c : Insectes non-indigènes utilisés en France (mise à jour).

Espèce	Usages	Date de 1 ^{ère} utilisation	Origine
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Pa	1964	Europe Centrale et du Sud - Amérique du Nord
<i>Heterorhabditis downesi</i>	Pa	2001	Europe
<i>Heterorhabditis megidis</i>	Pa	1987	Europe
<i>Phasmarhabditis hermaphrodita</i>	Pa	2016	Europe et Afrique du Nord
<i>Steinernema carpocapsae</i>	Pa	1984	Europe
<i>Steinernema feltiae</i>	Pa	1984	Europe
<i>Steinernema kraussei</i>	Pa	2001	Europe, Amérique du Nord

Légende (Pr : prédation, Pa : parasitisme, Po : pollinisation, S : insecte stérile)

Tableau 2 : Macroorganismes indigènes utilisés en France nouveaux depuis 2019.

Espèce		
<i>Adalia bipunctata</i>	<i>Coccophagus scutellaris</i>	<i>Osmia cornuta</i>
<i>Adalia decempunctata</i>	<i>Diaeretiella rapae</i>	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i>
<i>Anatis ocellata</i>	<i>Encyrtus infelix</i>	<i>Rhyzobius lophantae</i>
<i>Anthocoris nemoralis</i>	<i>Euseius gallicus</i>	<i>Stethorus punctillum</i>
<i>Aphytis melinus</i>	<i>Exochomus laeviusculus</i>	<i>Trichogramma buesi</i>
<i>Bombus terrestris</i>	<i>Exochomus quadripustulatus</i>	<i>Trichogramma cacoeciae</i>
<i>Bracon brevicornis</i>	<i>Franklinothrips vespiformis</i>	<i>Trichogramma chilonis</i>
<i>Calvia quatuordecimguttata</i>	<i>Habrobracon hebetor</i>	<i>Trichogramma cordubensis</i>
<i>Ceratomegilla undecimnotata</i>	<i>Hippodamia variegata</i>	<i>Trichogramma euproctidis</i>
<i>Chilocorus bipustulatus</i>	<i>Leptomastidea abnormis</i>	<i>Trichogramma evanescens</i>
<i>Chilocorus renipustulatus</i>	<i>Macrolophus pygmeus</i>	<i>Trichogramma oleae</i>
<i>Chrysoperla carnea</i>	<i>Metaphycus flavus</i>	<i>Trichogramma pretiosum</i>
<i>Chrysoperla externa</i>	<i>Metaphycus helvolus</i>	<i>Trichogramma principium</i>
<i>Chrysoperla lucasina</i>	<i>Microterys nietneri</i>	<i>Trichogramma semblidis</i>
<i>Clitostethus arcuatus</i>	<i>Oenopia conglobata</i>	<i>Trichogramma sp</i>
<i>Coccinella septempunctata</i>	<i>Orius laevigatus</i>	<i>Xylocopa fenestrata</i>



Tableau 3 : Familles des macroorganismes les plus utilisés en France (mise à jour).

Famille	Genre	Famille	Genre
Aelothripidae	<i>Franklinothrips</i>	Megachilidae	<i>Osmia</i>
Anthocoridae	<i>Anthocoris, Orius, Xylocoris</i>	Miridae	<i>Macrolophus</i>
Aphelinidae	<i>Aphelinus, Aphytis, Cales, Coccobius, Coccophagus, Encarsia, Eretmocerus</i>	Muscidae	<i>Ophyra</i>
Apidae	<i>Bombus, Xylocopa</i>	Mymaridae	<i>Anagrus, Anaphes</i>
Bethylidae	<i>Cephalonomia, Holepyris</i>	Pentatomidae	<i>Podisus</i>
Braconidae	<i>Aphidius, Bracon, Cotesia, Dacnusa, Diachasmimorpha, Diaeretiella, Ephedrus, Fopius, Habrobracon, Lysiphlebus, Opius, Praon, Psytalia</i>	Phlaeothripidae	<i>Karnyothrips</i>
Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes, Feltiella</i>	Phytoseiidae	<i>Amblydromalus, Amblyseius, Euseius, Iphiseius, Metaseiulus, Neoseiulus, Phytoseiulus, Typhlodromips, Typhlodromus</i>
Cheyletidae	<i>Cheyletus</i>	Platygasteridae	<i>Allotropa, Amitus</i>
Chrysopidae	<i>Chrysoperla</i>	Pteromalidae	<i>Anisopteromalus, Lariophagus, Muscidifurax, Scutellista</i>
Coccinellidae	<i>Adalia, Anatis, Calvia, Ceratomegilla, Chilocorus, Clitostethus, Coccinella, Cryptolaemus, Delphastus, Exochomus, Harmonia, Hippodamia, Oenopia, Propylea, Rhyzobius, Rodolia, Scymnus, Serangium, Stethorus</i>	Rhabditidae	<i>Phasmarhabditis</i>
Diapriidae	<i>Trichopria</i>	Scelionidae	<i>Trissolcus</i>
Dryinidae	<i>Neodryinus</i>	Staphylinidae	<i>Dalotia</i>
Encyrtidae	<i>Acerophagus, Ageniaspis, Anagyrus, Coccidoxenoides, Comperiella, Diversinervus, Encyrtus, Gyranusoidea, Leptomastidea, Leptomastix, Methaphycus, Microterys, Oobius, Psyllaephagus, Tetracnemoidea</i>	Steinernematidae	<i>Steinernema</i>
Eulophidae	<i>Aprostocetus, Citrostichus, Diglyphus, Semielacher, Thripobius</i>	Syrphidae	<i>Episyrphus, Eupeodes, Sphaeophoria</i>
Figitidae	<i>Ganaspis</i>	Tephritidae	<i>Bactrocera, Ceratitis</i>
Heterorhabditidae	<i>Heterorhabditis, Micromus</i>	Tortricidae	<i>Cydia</i>
Ichneumonidae	<i>Mastrus</i>	Torymidae	<i>Torymus</i>
Laelapidae	<i>Androlaelaps, Gaeolaelaps, Stratiolaelaps</i>	Trichogrammatidae	<i>Trichogramma</i>
Macrochelidae	<i>Macrocheles</i>		

**Tableau 4** : Ordres des ravageurs les plus ciblés en France (mise à jour).

Ordres	
Acarida	Hemiptera
Coleoptera	Lepidoptera
Diptera	Thysanoptera

Tableau 5 : Super-Familles des ravageurs les plus ciblées en France (mise à jour).

Familles		
Aleyrodoidea	Gelechioidea	Tetranychoidae
Aphidoidea	Noctuoidea	Thripoidae
Coccoidea	Pyraloidea	Tortricoidae

Tableau 6 : Familles des ravageurs les plus ciblées en France (mise à jour).

Familles		
Aleyrodoidea	Diaspididae	Pyradidae
Aphidoidea	Gelechiidae	Tetranychidae
Coccidae	Noctuidae	Tripidae
Crambidae	Pseudococcoidea	Yponomeutidae

Tableau 7 : Actions des macroorganismes contre les ravageurs.

Action	Nombre	%
Consommation	58	32,22
Ponte d'œufs	55	30,56
Ponte d'œufs et Consommation	43	23,89
Infection bactérienne	6	3,33
Aspiration du contenu	8	4,44
Pénétration	1	0,56
Infection bactérienne et Consommation	1	0,56
Ponte d'œufs et Consommation, ou Aspiration du contenu	1	0,56
Pollinisation	4	2,22
Insecte stérile	3	1,67
Total	180	100
« Consommation »	111	62
« Ponte d'œufs »	99	55

**Tableau 8** : Stades des cibles des macroorganismes.

Stades	Nombre	%
Adultes	30	29,7
Tous	28	27,7
Œufs	26	25,7
Larves et Adultes	11	10,9
Pupes, Œufs, Larves	4	4
Larves et Pupés	2	2
Total	101	100



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue Innovations Agronomiques et son DOI, la date de publication.