

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 103 (2024)

Artikel: Établissement d'indicateurs de l'évolution de la biodiversité urbaine dans le canton de Vaud : adaptation de la méthode Syrph the Net (Diptera, Syrphidae)
Autor: Pétremand, Gaël / Castella, Emmanuel / Fisler, Lisa / Patthey, Patrick
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061940>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Etablissement d'indicateurs de l'évolution de la biodiversité urbaine dans le canton de Vaud: adaptation de la méthode *Syrph the Net* (Diptera, Syrphidae)

Gaël PÉTREMAND^{1,*}, Emmanuel CASTELLA², Lisa FISLER³, Patrick PATTHEY⁴

PÉTREMAND G., CASTELLA E., FISLER L., PATTHEY P., 2024. Etablissement d'indicateurs de l'évolution de la biodiversité urbaine dans le canton de Vaud: adaptation de la méthode *Syrph the Net* (Diptera, Syrphidae). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 103: 15-37.

Résumé

Pour répondre aux enjeux actuels de préservation et d'enrayement du déclin de la biodiversité, le canton de Vaud s'est doté d'un Plan d'action Biodiversité. Dans ce cadre, la faisabilité de la mise en place d'un monitoring de la biodiversité des milieux urbains a été évaluée et testée sur le terrain. Ce monitoring doit documenter l'évolution à long terme de la biodiversité.

Il est basé sur une adaptation de l'outil de diagnostic écologique *Syrph the Net* (StN). L'outil StN évalue la proportion d'espèces de Syrphidés effectivement observées par rapport aux espèces attendues selon les habitats présents. Plusieurs indicateurs ont été utilisés: (i) des indicateurs globaux de qualité écologique de l'ensemble des habitats présents à l'échelle du canton; (ii) des indicateurs par domaine d'action qui donnent une indication sur l'état et l'évolution d'habitats promus par les politiques d'aménagement de la nature en ville. Ces indicateurs ont été subdivisés pour évaluer la qualité de la biodiversité par rapport à l'état «actuel» (habitats effectivement observés) ainsi que par rapport à l'état «souhaité» dans les années à venir (habitats exigés ou recommandés).

Les indicateurs calculés à partir des captures réalisées de 2021 à 2023 à l'aide de pièges Malaise sur 38 sites représentatifs de la zone urbaine montrent qu'actuellement la majorité des espèces attendues dans l'espace urbain cantonal sont effectivement présentes, la qualité écologique à l'échelle cantonale (diversité gamma) est donc bonne. Toutefois, seul un petit nombre d'espèces ont été trouvées sur les sites considérés individuellement, indiquant une faible qualité écologique à l'échelle locale (diversité alpha). Ce résultat contrasté pourrait s'expliquer par un déficit de qualité et/ou de connectivité des habitats au sein de l'espace urbain vaudois ne permettant pas aux espèces effectivement présentes de coloniser et occuper tous les sites.

¹ Corcelettes 15, 1422 Grandson,

² Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique, Section des Sciences de la Terre et de l'Environnement et Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, Boulevard Carl-Vogt 66, 1205 Genève, emmanuel.castella@unige.ch

³ info fauna, Avenue Bellevaux 51, 2000 Neuchâtel, lisa.fisler@infofauna.ch

⁴ Direction générale de l'environnement (DGE), Division Biodiversité et Paysage, av. Valmont 30b, 1014 Lausanne, patrick.patthey@vd.ch

* Correspondance: gael.petremand@arvensis-naturalistes.ch

Cette étude préliminaire montre que l'adaptation de l'outil de diagnostic StN permet de monitorer et de dresser un état initial de la biodiversité urbaine vaudoise. Les données récoltées ont également amélioré les connaissances sur l'utilisation des habitats urbains par les Syrphidés.

Mots-clés: biodiversité, monitoring, Suisse, syrphes, nature en ville.

PÉTREMANT G., CASTELLA E., FISLER L., PATTHEY P., 2024. Establishment of indicators of the evolution of urban biodiversity in Canton Vaud: adaptation of the *Syrph the Net* method (Diptera, Syrphidae). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 103:15-37.

Abstract

To address the current challenges of preserving and halting the decline in biodiversity, the canton of Vaud has drawn up a Biodiversity Action Plan. As part of it, the feasibility of introducing biodiversity monitoring in urban environments was assessed and tested in the field. This monitoring should document the long-term evolution of biodiversity.

It is based on an adaptation of the *Syrph the Net* (StN) ecological diagnostic tool. The StN tool assesses the proportion of Syrphidae species observed compared with the expected species according to the habitats present. Several indicators were used: (i) global indicators of the ecological quality of all the habitats present at the scale of the canton; (ii) indicators by field of action that provide an indication of the state and changes for habitats designated by urban environment development policies. These indicators were subdivided to assess the quality of biodiversity in relation to its current state (habitats currently observed) as well as in relation to a “target” state, desired in the years to come (required or recommended habitats).

The indicators calculated based on samplings made from 2021 to 2023 using Malaise traps at 38 sites representative of the urban area showed that most of the species expected in the cantonal urban area were currently present, so the ecological quality at the cantonal level (gamma diversity) was considered good. However, only a small number of species were found at individual sites, indicating a poor ecological quality at the local scale (alpha diversity). These mixed results could be explained by a deficit of habitat quality and/or connectivity within the cantonal urban area, which prevents the species actually present from colonizing and occupying all potential sites.

This preliminary study shows that adapting the StN diagnostic tool makes it possible to monitor and assess the state of urban biodiversity in the canton of Vaud. The data collected also improved our knowledge on how Syrphidae use urban habitats.

Keywords: biodiversity, hoverflies, monitoring, Switzerland, urban nature.

INTRODUCTION

Le canton de Vaud est tenu de mettre en place des monitorings afin de documenter l'évolution à long terme de la biodiversité sur son territoire (DGE 2019; LPrPNP, art. 7 et 49). Ce monitoring concerne non seulement les biotopes d'importance nationale et les espèces prioritaires mais également la zone urbaine pour laquelle de nombreuses mesures sont mises en place pour favoriser directement ou indirectement sa biodiversité. Le milieu urbain, qui héberge une importante diversité d'habitats et microhabitats, échappe pour l'instant aux méthodes d'inventaire standardisées des groupes d'espèces prioritaires usuellement étudiés dans le cadre des monitorings.

Les Diptères Syrphidés, un important groupe de pollinisateurs au stade adulte (DOYLE *et al.* 2020), colonisent autant les milieux boisés, les milieux herbacés, les zones cultivées et urbanisées, que les zones humides. Les régimes alimentaires spécifiques des larves couvrent trois maillons de la chaîne alimentaire: herbivores, carnivores et décomposeurs (saprophages). Au

sein des espèces saprophages, les larves de nombreuses espèces sont dites saproxyliques et dépendent de la présence de bois en décomposition (vieux arbres, bois mort).

Rares sont les études approfondies sur les Syrphidés en contexte urbain en Europe. Les principaux travaux ont été menés depuis les années 1980 avec notamment celui de BAŃKOWSKA (1981) en Pologne où la syrphidofaune de la ville de Varsovie et de sa région Mazovia a été largement investiguée. Cette étude met en lumière qu'environ 90% des espèces récoltées (66 sur 73) ont été répertoriées dans les parcs par rapport à l'ensemble des structures urbaines étudiées. Les parcs urbains comportent en effet une grande diversité d'habitats, de structures végétales et de ressources pour la syrphidofaune. La disponibilité de ces ressources, souvent sur plusieurs dizaines d'années, crée une stabilité dans le paysage urbain et permet un maintien durable des espèces. Plus récemment, des études ont investigué la variation des assemblages d'espèces suivant un gradient ville-campagne (BATES *et al.* 2011, VERBOVEN *et al.* 2014, LUDER *et al.* 2018, PERSSON *et al.* 2020). L'augmentation du degré d'urbanisation semble favoriser les espèces aphidiphages et eurytopes ainsi que les espèces forestières et ubiquistes. Les espèces partiellement synanthropiques sont nombreuses et abondantes en zone urbaine: *Eristalis tenax*, *Syrpitta pipiens*, *Eumerus strigatus* ou encore *Episyrphus balteatus*. Plus généralement, l'augmentation du degré d'urbanisation a tendance, dans des habitats similaires, à faire baisser la richesse globale des assemblages de syrphes (BATES *et al.* 2011, PERSSON *et al.* 2020), ainsi que le cortège des espèces non migratrices (LUDER *et al.* 2018). Les syrphes ont été également échantillonnés en contexte urbain sur les toitures végétalisées, comme à Hambourg (MECKE 1996) ou à Genève (PASSASEO *et al.* 2020, PASSASEO *et al.* 2021). Les résultats de ces deux études démontrent l'hostilité des conditions climatiques (vent, sécheresse, températures élevées) pour les syrphes sur ces structures. A contrario, une vaste étude sur les assemblages de syrphes présents dans les parcs et les fermes urbaines genevoises (HEINIGER *et al.* 2024) montre l'importante diversité d'espèces hébergées par ces îlots de verdure urbains ainsi que les différences fonctionnelles et de composition des communautés de syrphes entre les parcs et les fermes urbaines. Finalement, deux études se sont penchées plus spécifiquement sur les espèces présentes dans les jardins urbains ou suburbains (OWEN 1981, ROCHA *et al.* 2018). ROCHA *et al.* (2018) démontrent que les assemblages de syrphes se diversifient avec l'accroissement de l'abondance et de la diversité des ressources florales à disposition, justifiant ainsi des mesures d'incitation pour l'augmentation des surfaces fleuries dans les jardins urbains.

Ces différentes études fournissent de bonnes indications sur les caractéristiques biologiques et écologiques des espèces associées au milieu urbain. Le constat général est que celui-ci est colonisé par les espèces les plus opportunistes et généralistes, l'urbanisation réduisant la diversité des ressources alimentaires, la diversité des microhabitats et leur connectivité. Il est notable que les espèces forestières sont plus favorisées que les espèces prairiales et ce, grâce à la présence importante d'arbres dans les parcs et les rues des villes. Pour les espèces saproxyliques, les vieux arbres, parfois centenaires, présents dans les parcs, peuvent constituer un habitat refuge précieux (PÉTREMANT *et al.* 2022) compte tenu de leur diminution dans les milieux ruraux et forestiers.

Pour les Syrphidés, la ville représente donc un paysage relativement contrasté, favorisant d'une part les espèces aphidiphages généralistes à large amplitude écologique et jouant d'autre part un rôle de refuge pour des espèces saproxyliques menacées grâce à la présence d'arbres âgés. Dans le contexte vaudois, le milieu urbain possède un potentiel important de changement et d'amélioration des conditions biotiques dans les années à venir, notamment via l'établissement du « Plan Climat » cantonal et la mise en place de mesures d'entretien et de création d'habitats favorables à la biodiversité par les collectivités publiques et les initiatives citoyennes.

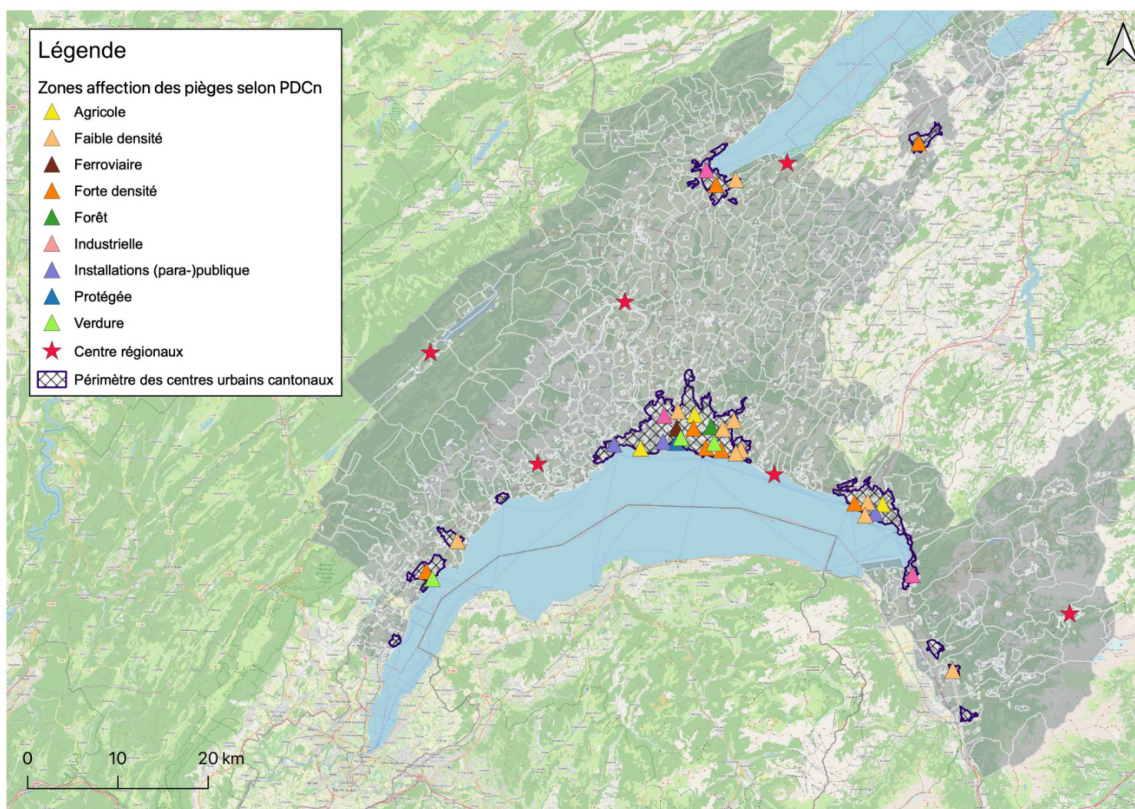


Figure 1. Emplacements des pièges au sein de la surface urbaine cantonale dans les centres cantonaux (en fonction de la zone d'affectation) et les centres régionaux.

Par ailleurs, le fait que plusieurs études attestent le rôle négatif de l'augmentation de l'urbanisation sur la richesse en espèces (VERBOVEN *et al.* 2014, PERSSON *et al.* 2020), suggère que les Syrphidés pourraient répondre positivement à une amélioration de la qualité et de la connectivité de la « nature en ville ». Les Syrphidés pourraient ainsi constituer un groupe privilégié pour remplir le rôle de « sentinelles de l'évolution de la biodiversité urbaine ». Ce constat combiné avec l'existence d'un outil de diagnostic écologique des milieux fondé sur ce groupe (*Syrph the Net*; SPEIGHT 2017), a conduit à l'élaboration du présent monitoring.

Syrph the Net (StN) est une base de données qui répertorie les caractéristiques écologiques des espèces européennes de Diptères Syrphidés, en particulier leurs préférences d'habitats (SPEIGHT *et al.* 2020a). Elle permet de réaliser des diagnostics écologiques de milieux naturels ou semi-naturels afin d'évaluer leur "état de santé", d'identifier des dysfonctionnements éventuels et de suivre leur évolution dans le temps, afin de fournir des éléments d'aide à la gestion (SPEIGHT & CASTELLA 2001, SPEIGHT 2017). D'autre part, le piégeage passif des adultes volants (pièges Malaise) permet d'échantillonner de manière standardisée les Syrphidés présents dans un site donné. En Suisse, cette méthode a déjà été appliquée récemment dans différents contextes (FISLER *et al.* 2021, KOCH *et al.* 2021, PÉTREMAND *et al.* 2021, PÉTREMAND *et al.* 2022) et son utilisation est largement répandue dans les réserves naturelles de France depuis une quinzaine d'années (SARTHOU & SARTHOU 2010, TISSOT *et al.* 2015, VANAPPELGHEM *et al.* 2020). Dans la base de données StN plusieurs habitats urbains tels que les parcs publics et les structures associées (pelouses, prairies, bandes fleuries, haies buissonnantes, arbres isolés, plans d'eau, jardins ornementaux, etc.) sont encodés.

A partir des connaissances actuelles de la syrphidofaune régionale, il est donc possible de confronter une liste d'espèces prédites, car associées potentiellement aux habitats présents,

à une liste d'espèces observées lors de campagnes d'échantillonnage. L'utilisation de la méthode nécessite toutefois l'existence préalable d'une liste régionale de référence fiable, ce qui est le cas pour le canton de Vaud pour lequel une liste cantonale a récemment été établie et mise à jour (PÉTREMAND *et al.* 2021c, PÉTREMAND & FISLER 2024).

La présente étude vise à évaluer s'il est possible d'utiliser, sinon d'adapter, l'outil de diagnostic écologique StN pour établir un ou des indicateurs d'évolution de la biodiversité dans les milieux urbains du canton de Vaud, en analysant les données collectées lors d'une phase initiale d'échantillonnage, étalée sur trois années. Après une description détaillée de la méthodologie adoptée, les premiers résultats obtenus sont présentés et discutés. Finalement, des indicateurs en cours d'élaboration ainsi que les éléments méthodologiques à améliorer sont proposés.

MÉTHODES

Périmètre d'étude

La zone urbaine considérée dans cette étude est constituée des agglomérations, villes, bourgs et villages tels que définis dans le Plan Directeur Cantonal (PDCn, 2016, www.vd.ch/pdcn). Ceux-ci sont regroupés et catégorisés en centres cantonaux (voir «périmètre des centres urbains cantonaux» dans la figure 1) et régionaux (tableau 1) selon l'importance de leur fonction économique ou sociale et accueillent plus de trois-quarts de la population vaudoise. Les centres locaux et à densifier, essentiellement des villages de petite taille, ont été exclus de cette étude, leur inclusion induisant un biais sur l'évaluation de la biodiversité «urbaine» à proprement parler avec la collecte potentielle d'espèces ou d'individus appartenant à des espèces issues des milieux périphériques au tissu urbain, en raison de la mobilité des syrphes adultes (200-500 m). L'intensité de l'urbanisation est variable à l'échelle d'un centre. Le périmètre des centres comprend différentes utilisations de l'espace (zones d'affectation) comme des quartiers construits, des centres-villes denses, des parcs publics ou encore des zones industrielles (tableau 2).

Méthode de piégeage

La méthode recommandée pour mettre en place l'outil de diagnostic écologique StN (SPEIGHT 2017) est le piège Malaise (MALAISE 1937). Dans cette étude, des pièges Malaise avec un toit blanc fournis par la firme britannique Watkins & Doncaster ont été utilisés (figure 2). Ce piège intercepte principalement l'entomofaune volante. Les flacons de piégeage sont remplis d'une solution d'alcool à 70% qui préserve les insectes ainsi que la souplesse de leurs tissus.

Au laboratoire, les échantillons sont triés pour en extraire les Diptères Syrphidés uniquement. Le travail de terrain et la détermination des Syrphidés ont été réalisés par Anouk Lettman, Eric Morard, Alain Maibach, Alain Reymond et Daniel Ston. Les identifications ont été vérifiées par Gaël Pétremand et Lisa Fisler.

Tableau 1. Catégorisation des centres urbains et nombre de pièges par centre. Pour les centres cantonaux, le nombre de pièges est proportionnel à la surface urbaine. Pour les centres régionaux, il est proportionnel au nombre de villes dans chaque région.

	Centres urbains	Principales villes concernées	Surface urbaine (ha)	Ratio sur 32 pièges	Nombre de pièges
Centres cantonaux	Lausanne-Morges	Lausanne - Renens - Pully - Prilly - Le Mont - Epalinges - Morges	7 000	17,74	18
	La Riviera	Vevey - Montreux - Villeneuve	2 400	6,08	6
	La Côte	Nyon - Gland - Rolle - Coppet	1 200	3,04	3
	Yverdon	Yverdon	1 100	2,79	3
	Chablais	Aigle - Bex - Ollon	480	1,22	1
	Payerne	Payerne	450	1,14	1
	Régions	Villes concernées	Nombre de villes	Ratio sur 6 pièges	Nombre de pièges
Centres régionaux	Jura	Saint-Cergue - Vallorbe - Le Sentier - Le Brassus - Sainte-Croix	5	1,03	1
	Plateau	Apples - Aubonne - Bière - Orbe - Chavornay - La Sarraz - Cossonay - Penthalaz - L'Isle - Echallens - Bercher - Estavayer - Moudon - Lucens - Oron - Palézieux	16	3,31	3
	Lavaux	Puidoux - Chexbres - Cully	3	0,62	1
	Préalpes	Leysin - Villards - Gryon / Barboleusaz - Château d'Oex - Les Diablerets	5	1,03	1
				Total	38



Figure 2. Piège Malaise installé dans le centre-ville d'Yverdon-les-bains en 2022 (Photo: Daniel Ston).

Nombre et emplacements des sites

Le nombre et l'emplacement des pièges ont été tirés au sort de façon être représentatifs des centres régionaux et cantonaux en couvrant environ 10% de leur surface et de façon à les répartir proportionnellement à leur distribution spatiale et à leur zone d'affectation (tableaux 1 et 2, figure 1).

Un piège Malaise possède un rayon d'action communément considéré entre 300 et 500 m (VANAPPELGHEM *et al.* 2020). Évalué comme plus restreint en milieu bâti, un rayon d'action moyen de 350 m (entre 200 et 500 m) a été défini de manière arbitraire et couvre ainsi une surface théorique de 38 hectares. Ainsi la pose de 38 pièges a été nécessaire pour les centres cantonaux (32) et régionaux (6) (tableau 1).

Les centres cantonaux ont été regroupés selon leur position géographique dans les catégories suivantes: Lausanne-Morges, la Côte (Nyon, Gland, Coppet), la Riviera (Vevey, Montreux, Villeneuve), le Chablais (Bex, Aigle, Ollon), Yverdon, Payerne (tableau 1). L'importance de l'échantillonnage au sein de ces centres cantonaux a été évaluée proportionnellement à l'étendue de leur surface sur la base de 32 pièges nécessaires (tableau 1). Pour les centres régionaux, les villes ont été dans un premier temps regroupées en fonction de la région biogéographique à laquelle elles appartiennent (Jura, Plateau, Lavaux, Préalpes). La répartition des six pièges a ensuite été faite proportionnellement au nombre de villes au sein de chaque région (tableau 1).

Pour les centres cantonaux, un nombre de pièges a été attribué à chaque zone d'affectation du territoire (selon le PDCn de 2016) proportionnellement à leur surface respective à l'échelle des centres cantonaux (tableau 2). Certaines zones d'affectation ont été regroupées, cette étude ne nécessitant pas une subdivision aussi fine que celle appliquée dans le PDCn. Les centres régionaux étant plus homogènes en terme d'affectation et généralement trop petits pour placer plusieurs pièges, les zones d'affectation n'ont pas été prises en compte et un seul piège a été attribué par centre. Les zones d'affectation «autres» représentant de trop petites surfaces d'un seul tenant (empêchant une bonne représentativité de cette catégorie par un seul piège), un point a été tiré aléatoirement sur l'ensemble de la surface urbaine cantonale pour compensation.

Les emplacements approximatifs des pièges ont été tirés aléatoirement dans la couche des zones d'affectation des centres cantonaux, à l'aide de la fonction «Points aléatoires à l'intérieur des polygones» du logiciel QGIS. Les points remplissent petit à petit les catégories de centre et d'affectation. Des points sont tirés jusqu'à ce que toutes les catégories soient remplies. Par souci d'homogénéité de la répartition géographique des points à l'intérieur des centres urbains, quelques points ont été retirés au sort. En l'absence de points dans la région ouest lausannoise en direction de Morges, un point a été tiré une nouvelle fois au sort dans cette zone afin de combler ce déficit.

Les sites d'installation des pièges doivent répondre à certaines exigences: (i) être situé à plus de 200 m au minimum de la bordure externe du périmètre urbain du centre; (ii) être distant d'au minimum 700 m (deux fois le rayon moyen de 350 m) d'un autre piège; (iii) permettre l'échantillonnage de la zone d'affectation cible sur une surface minimale de 4 ha. Si l'une des conditions ci-dessus n'est pas remplie, le site n'est pas pris en considération et le point tiré à nouveau. Si le point tiré au sort se situe en bordure de la zone d'affectation concernée, il peut être recentré au sein de cette même zone.

A partir des emplacements approximatifs définis précédemment, une zone tampon d'un rayon de 100 m a été tracée au sein de laquelle l'emplacement idéal du piège a été déterminé

sur le terrain. Le piège doit être installé au sein d'une surface herbacée, si possible au niveau de lignes de vol que les insectes ont tendance à longer comme les structures linéaires naturelles ou anthropiques (haie, mur, barrière, cordon boisé, etc.). Le flacon collecteur du piège doit être dirigé vers le sud et avec un minimum d'ombrage.

Pour les centres urbains régionaux, une localité a été tirée au sort dans chaque région pour chaque piège. Un emplacement a été trouvé au centre de chaque localité sélectionnée, au minimum à 200 m à l'intérieur de la limite extérieure de la zone urbaine, dans la mesure du possible. La figure 1 montre la répartition géographique finale des pièges dans les centres cantonaux en fonction des zones d'affectation et dans les centres régionaux.

Tableau 2. Répartition des pièges au sein des zones d'affectation de centres urbains cantonaux selon le Plan Directeur Cantonal (2016). Le nombre de pièges attribué est proportionnel au pourcentage de la surface urbaine couverte.

¹ Le domaine public (DP) est majoritairement composé de surfaces bétonnées (routes, rues, trottoir, places, etc.) et est réparti de manière homogène autour et au sein des autres zones d'affectation, il n'a donc pas été jugé pertinent de l'inclure ici.

² La zone intermédiaire est une zone indéfinie mais composée à plus de 90% de zone agricole – réserve de zone constructible.

³ Ce piège a été réattribué aléatoirement à la zone de verdure pour des raisons pratiques d'échantillonnage.

Types de zones d'affectation	% de la surface des centres cantonaux (hors DP ¹)	Ratio pour N=32 pièges	Nbr de pièges
Zone d'habitation de faible et de très faible densité	31%	9,80	10
Zone d'habitation de forte et de très forte densité	23%	7,46	7
Zone industrielle et d'activités artisanales	10%	3,17	3
Zone d'installations (para-)publiques	9%	2,97	3
Zone agricole, viticole, et intermédiaire ²	10%	3,15	3
Zone de verdure, sport et loisirs	6%	1,87	2
Aire forestière	4%	1,31	1
Zone ferroviaire	3%	0,85	1
Autres (divers) ³	3%	0,98	1
Zone protégée (naturelle, viticole, agricole)	1%	0,45	1
Totaux	100%	32	32

Durée, saisonnalité

L'outil de diagnostic StN est basé sur un échantillonnage de toute la saison d'activité des syrphes, soit plusieurs mois, l'installation de deux pièges par habitat étant conseillée (SPEIGHT 2017).

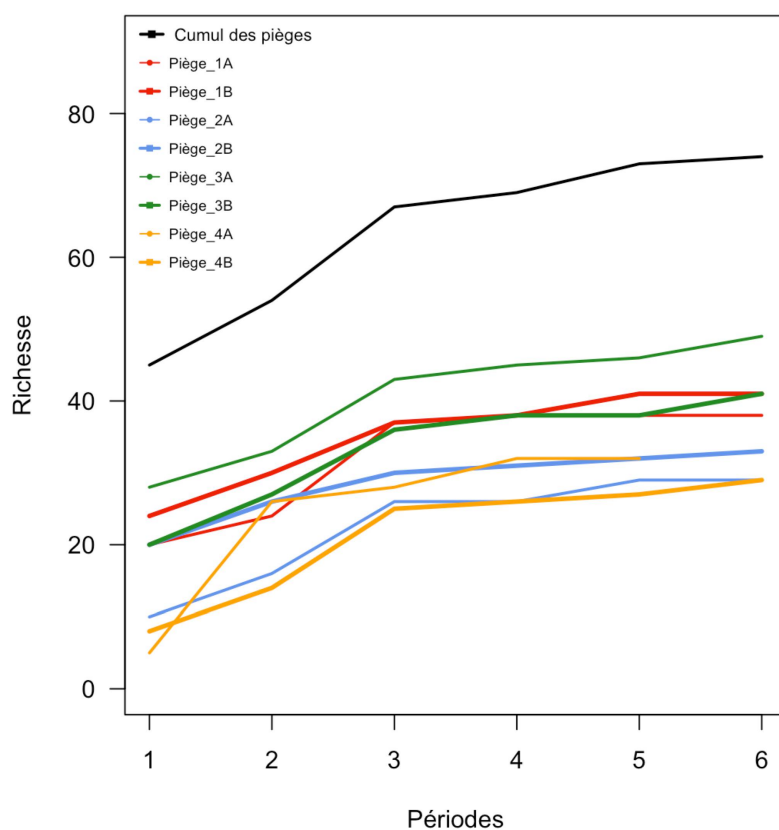


Figure 3. Courbes d'accumulation dans le temps de la richesse spécifique en Syrphidés pour huit pièges Malaise urbains de l'étude genevoise de HEINIGER *et al.* (2024) représentés individuellement (lignes de couleur) et cumulés (ligne noire). Une période = 15 jours d'échantillonnage; la période 1 a commencé le 18 mai 2017 et la période 6 s'est terminée le 10 août 2017.

Les coûts de la mise en place d'un tel suivi n'étant pas envisageables à l'échelle d'un canton, nous avons cherché à réduire l'intensité des captures tout en maximisant les chances de recenser un maximum d'espèces d'écologies différentes à même de représenter au mieux les différents habitats urbains, et ce afin d'obtenir un indicateur d'état et d'évolution et non une liste complète des espèces présentes dans chaque site.

Afin de choisir une période d'échantillonnage réduite mais représentative, et pour limiter le nombre d'insectes prélevés, des courbes d'accumulation de la richesse spécifique par piège ont été produites à partir des données de quatre sites (huit pièges) du centre-ville de Genève (HEINIGER *et al.* 2024). Ces courbes (figure 3) montrent, pour la quasi-totalité des pièges, une nette augmentation de la richesse jusqu'à la fin du mois de juin (période 3) où elle atteint un plateau. En moyenne, par piège, la richesse considérant seulement trois périodes (une période = deux semaines) d'échantillonnage est inférieure de 13% (écart-type = 6,9%) à la richesse totale sur les six périodes étudiées. Ce constat a permis de définir qu'un échantillonnage de six semaines était suffisant pour obtenir un inventaire représentatif avec un effort minimal. L'exploitation de ces données a également permis de mesurer l'augmentation de la richesse échantillonnée par le passage d'un à deux pièges par site, deux pièges étant habituellement recommandés par la méthode StN pour l'étude d'un site (SPEIGHT 2017). Cette augmentation est en moyenne par site de 22% (écart-type = 4%) en ne considérant que les trois premières périodes d'échantillonnage et de 20% (écart-type = 2,4%) sur l'ensemble des six périodes. Ces valeurs ont été considérées comme ne justifiant pas la pose de deux pièges dans chaque site dans une optique d'optimisation du dispositif d'échantillonnage. Avec un seul piège par site dans les quatre sites genevois étudiés et à l'issue des trois premières périodes de capture, on atteint en moyenne par piège 70% (écart-type = 7,9%) de la richesse totale mesurée avec deux pièges et six périodes par site, ce qui paraît raisonnable pour obtenir une image représentative des espèces présentes dans chacun des sites.

Tableau 3. Périodes d'échantillonnage (par semaine) pour les classes d'altitude des sites échantillonnés. Une semaine « tampon » (T) est introduite avant et après chaque période de six semaines.

Mois	Avril				Mai				Juin				Juillet			
Semaines	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
300-600 m				T	Relevé				T							
600 - 900 m					T	Relevé				T						
900 - 1200 m								T	Relevé				T			

Tableau 4. Les cinq notes de qualité écologique basée sur le calcul d'intégrité de la méthode *Syrph the Net*. Sur l'intervalle standard de 0-100%, un facteur de correction a été appliqué en estimant que la méthode utilisée ne permet d'échantillonner que 70% de la richesse totale.

Intégrité écologique/ Qualité du modèle	Note de qualité écologique
[0-14%]	Très mauvais
]14-28%]	Mauvaise
]28-42%]	Moyenne
]42-56%]	Bonne
]56-70%]	Très bonne










Tableau 5. Indicateurs d'intégrités écologiques calculés pour la phase initiale du monitoring de la biodiversité urbaine du canton de Vaud.

Catégories	Indicateurs	Représentativité (IE gamma) au niveau cantonal «VD»	ETAT ACTUEL Moyenne des IE alpha «ACT»	ETAT SOUHAITE Moyenne des IE alpha «SOU»
Indicateurs globaux	Peuplement (toutes les espèces)	60%		-
	Espèces menacées en Suisse selon SPEIGHT <i>et al.</i> (2020)	33%		-
Indicateurs par domaine d'action	Prairies fleuries	81%		
	Haies, arbustes de sous-étage	88%		

Etant donné la variation du climat et de l'altitude entre les différents sites d'échantillonnage, la période de suivi a été adaptée selon trois classes d'altitude (tableau 3). Une semaine tampon a été introduite pour s'adapter aux variations inter-annuelles de phénologie de la végétation ou prendre éventuellement en compte les particularités microclimatiques de certains sites. Chaque campagne d'échantillonnage a débuté sur la base de repères phénologiques à basse altitude (300-600 m).

Ces repères sont: floraison de l'ail des ours (*Allium ursinum*) à basse altitude (env. 400 m), floraison des aubépines (*Crataegus* spp.) et des marronniers (*Aesculus hippocastanum*) à environ 550 m d'altitude. La période d'échantillonnage a ainsi débuté en 2021 entre le 27 avril et le 5 mai, en 2022 entre le 26 et le 28 avril et en 2023 entre le 27 avril et le 3 mai.

Afin de limiter l'influence des variations climatiques interannuelles qui influencent positivement ou négativement les populations de certaines espèces et notamment celles qui possèdent un long développement larvaire (1 à 2 ans), le suivi a été réalisé durant trois années successives. Chaque année un tiers des sites a été échantillonné. Une répartition semi-dirigée des sites pour chacune des trois années d'échantillonnage a donc été effectuée dans le but d'obtenir une bonne représentativité des zones d'affectation, de la distribution spatiale et des types de centres durant chacune des trois années (2021, 2022, 2023).

Définition des indicateurs d'état et d'évolution de la biodiversité urbaine

L'élaboration d'indicateurs vise à qualifier l'état de la biodiversité urbaine à l'échelle du canton à une période donnée, ainsi que celle de son évolution dans le temps.

L'intégrité écologique (IE) est utilisée comme base de calcul des différents indicateurs qui vont suivre. L'IE est la proportion d'espèces prédites par StN (SPEIGHT *et al.* 2020a) ayant effectivement été échantillonnées sur le terrain. Elle peut se calculer pour un habitat ou pour un ensemble d'habitats (intégrité d'un site).

La liste des espèces du canton de Vaud a été utilisée comme référence pour le pool d'espèces régionales (PÉTREMAND *et al.* 2021c, PÉTREMAND & FISLER 2024) et la liste des habitats est basée sur un relevé des habitats dans un rayon d'environ 100 m autour de chaque piège (dans la mesure de l'accessibilité des surfaces), selon la catégorisation des habitats de la méthode StN (SPEIGHT *et al.* 2020b). Le rayon du relevé des habitats est volontairement moindre que le rayon d'action considéré pour un piège (350 m). Ce choix a été effectué sur la base de deux éléments: (i) les habitats échantillonnés de façon représentative par les pièges sont les habitats les plus proches, ceux étant éloignés ne l'étant que partiellement, certaines espèces étant peu mobiles, (ii) un relevé des habitats dans un rayon de 350 m, soit 38 ha au lieu de 3,1 ha, est techniquement inenvisageable étant donné l'inaccessibilité des surfaces dans un rayon aussi grand et aurait représenté un effort disproportionné.

Les valeurs d'IE sont converties en **une note de qualité**, composée de cinq classes avec des intervalles de 20% établies arbitrairement. Comme vu précédemment, notre échantillonnage ne permettant d'inventorier théoriquement sur chaque site qu'environ 70% de la faune présente, le maximum théorique de l'IE (100%) a donc été décalé à 70% et les intervalles modifiés en fonction (cf. tableau 4).

Le traitement des données a été effectué au moyen des logiciels R (Version 4.4.1 – © 2004-2023, R CORE TEAM 2020) et Excel® (Microsoft®, version 14.0.0). Toutes les informations relatives aux espèces et aux habitats contenues dans ce rapport pour la construction des indicateurs proviennent de la base de données StN (SPEIGHT *et al.* 2020a) et de son «Contenu et glossaire» (SPEIGHT *et al.* 2020b).

En préambule au calcul des indicateurs, il est possible d'utiliser un **indice de qualité du dispositif** (SPEIGHT 2017). Le calcul de cet indice est basé sur le pourcentage d'espèces observées et effectivement prédites par rapport au total des espèces observées. Il est évalué selon les seuils du tableau 4. Ce pourcentage permet d'évaluer la qualité de la description des sites, c'est-à-dire la « confiance » pouvant être accordée à l'intégrité mesurée ensuite.

Les indicateurs basés sur l'IE visent à refléter et à évaluer les principales actions du Plan d'action Biodiversité et du Plan Climat du canton de Vaud. Ils permettent le suivi des changements plus spécifiques dans la biodiversité urbaine, en particulier à la suite d'une amélioration des habitats dictée par les politiques d'aménagement dans les années à venir.

Ces indicateurs visent d'une part à refléter l'intégrité écologique par rapport aux habitats effectivement présents autour des pièges, c'est-à-dire **la situation actuelle (ACT)**, et d'autre part, à calculer une intégrité dans une situation virtuelle, en simulant la mise en œuvre, dans tous les sites pouvant les accueillir, de mesures (en l'occurrence la création d'habitats spécifiques) selon les recommandations d'action des différentes politiques sectorielles. Il s'agit donc d'évaluer le gain, ou son absence, dans une **situation souhaitée à l'avenir (SOU)**. Ce dernier indicateur est donc plus adapté pour mesurer l'évolution de la qualité de la biodiversité urbaine en général ou pour une mesure spécifique en regard des objectifs de promotion de la biodiversité. Les indicateurs ACT et SOU sont calculés avec la moyenne des IEs de chaque site, que nous appellerons ici « IEs alpha » pour faire référence en écologie au concept de diversité alpha (richesse d'un site). La représentativité des espèces est calculée sur l'ensemble des sites cumulés à l'échelle cantonale, nous l'appellerons ici « l'IE gamma » pour faire référence au concept de diversité gamma (richesse spécifique à l'échelle du territoire d'étude, ici le canton, estimée par le cumul de l'ensemble des sites).

Les indicateurs ont été subdivisés en deux catégories: les indicateurs globaux visant à refléter l'état général de la biodiversité et des indicateurs par domaine d'action, qui visent à donner une information plus précise relativement à des mesures spécifiques prises pour la création d'habitats spécifiques.

Indicateurs globaux, tous domaines d'action confondus

- **Intégrité du peuplement:** le calcul de cet indicateur est basé sur la moyenne (et son écart-type) des IEs alpha pour l'ensemble des habitats recensés dans chaque site; seul l'état actuel (ACT) de l'indicateur est présenté ici.
- **Intégrité des espèces menacées:** le calcul de cet indicateur est basé sur la moyenne (et son écart-type) de la représentativité (IEs alpha) des espèces considérées comme « menacées » par SPEIGHT et al. (2020a; codée avec un « 2 » ou un « 3 » dans la catégorie « menacée » pour la Suisse); seul l'état actuel (ACT) de l'indicateur est présenté ici.

Pour ces deux indicateurs, il sera pertinent de calculer l'état souhaité (SOU) lorsque plus d'habitats dans les domaines d'action seront disponibles à la suite de la prochaine mise à jour de la base de données StN. Ces indicateurs sont accompagnés de la représentativité des espèces à l'échelle du canton (IE gamma).

Indicateurs par domaine d'action

- **Prairies fleuries extensives avec refuge non fauché – StN habitat 5582 (5581):** l'indicateur ACT est la moyenne (et son écart-type) des IEs alpha de cet habitat dans les sites où il est présent avec (5582, n=2 sites) ou sans refuge non fauché (5581, n=15 sites). L'indicateur SOU représente la moyenne (et son écart-type) des IEs alpha de l'habitat 5582 (Prairie fleurie avec refuge – habitat souhaité) dans tous les sites étudiés – c'est-à-dire ceux où il est déjà présent et ceux où il serait attendu (n=33 sites).

- **Arbustes (haies, arbustes de sous-étage) indigènes – StN habitat 554:** l'indicateur ACT est la moyenne (et son écart-type) des IEs alpha de cet habitat dans les sites où il est présent (554, n=18 sites). L'indicateur SOU calcule la moyenne (et son écart-type) des IEs alpha de l'habitat 554 dans tous les sites étudiés – c'est-à-dire ceux où il est déjà présent et ceux où il serait attendu (n=33 sites).

Pour ces deux indicateurs, cinq sites n'ont pas été considérés pour le calcul de l'indicateur SOU car majoritairement composés par de la zone d'affectation agricole, protégée, ou ferroviaire, au sein desquelles l'implantation de cet habitat est impossible ou dénuée d'intérêt. Ces indicateurs sont accompagnés de la représentativité des espèces à l'échelle du canton (IE gamma).

RÉSULTATS

Résultats généraux

Apports faunistiques

Pour l'ensemble de l'échantillonnage, 128 espèces de Diptères Syrphidés ont été recensées (annexe I), soit le tiers de la faune vaudoise connue à ce jour (PÉTREMAND *et al.* 2021c). Quatre espèces sont nouvelles pour la faune vaudoise: *Cheilosia caerulescens*, *Eumerus consimilis*, *Eumerus hungaricus* et *Psilota atra* (PÉTREMAND & FISLER 2024). L'observation d'*Eumerus consimilis* représente par ailleurs une première mention en Suisse (FISLER *et al.* 2023) et celle de *Psilota atra* la seconde seulement suite à sa découverte dans le canton de Genève par PÉTREMAND *et al.* (2021a). Dix-neuf espèces possèdent un statut d'espèce menacée en Suisse selon SPEIGHT *et al.* (2020a) et cinq, très rares, ne possèdent pas encore de statut car n'ayant été découvertes que récemment en Suisse (annexe I). Près de 20% des espèces peuvent donc être considérées comme «sensibles». Par ailleurs, deux espèces (*Paragus albifrons* et *Eumerus hungaricus*) sont considérées comme étant «EN - en danger» sur la liste rouge européenne, et trois espèces (*Microdon analis*, *Pipizella annulata* et *Pyrophaena granditarsa*) comme «NT - potentiellement menacées» (annexe I; VUJIC *et al.* 2022).

Richesse spécifique

La richesse moyenne sur l'ensemble des 38 sites est de 22,3 espèces par site. Le site le plus riche recense 49 espèces (Ollon) et le plus pauvre trois espèces (Payerne). Ce site n'a pas été pris en compte dans les analyses avec la méthode StN en raison de son emplacement inapproprié. La courbe d'accumulation des richesses par piège augmente continuellement lorsque l'ensemble des espèces observées est pris en compte, alors que pour les espèces observées et effectivement prédites par StN la courbe s'aplanit (figure 4). Un quart des espèces prédites (25/98) par le modèle StN n'ont été répertoriées que sur un seul site, un tiers (31/98) sur 2 à 5 sites et la part (43/98) restante sur 6 à 38 sites (figure 5). Trois espèces sont présentes sur tous ou la quasi-totalité des sites: *Eupeodes corollae* (38 sites), *Episyrphus balteatus* (37 sites) et *Sphaerophoria scripta* (36 sites).

Traits biologiques et écologiques des espèces urbaines

Les espèces zoophages dominent le cortège échantillonné, représentant environ 60% des espèces prédites observées. Ces espèces sont relativement bien représentées dans l'échantillonnage par rapport aux prédictions, à l'instar des espèces à larves phytophages (figure 6). Ce n'est pas le cas pour les espèces saprophages et particulièrement pour les espèces saproxyliques. Seules un tiers des espèces saproxyliques attendues sont présentes.

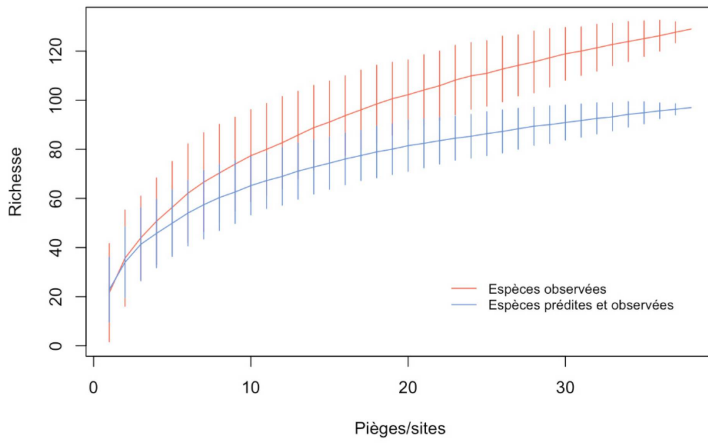


Figure 4. Courbes d'accumulation de la richesse spécifique en fonction de l'augmentation du nombre de pièges (écart-type indiqué par les barres verticales) pour l'ensemble des espèces observées et pour les espèces prédites et effectivement observées.

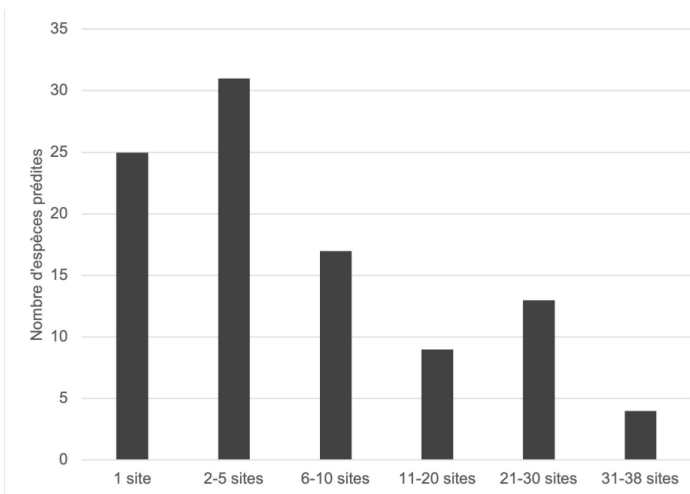


Figure 5. Nombre d'espèces prédites et effectivement observées par le modèle *Syrph the Net* en fonction du nombre de sites (en classes) où elles ont été observées.

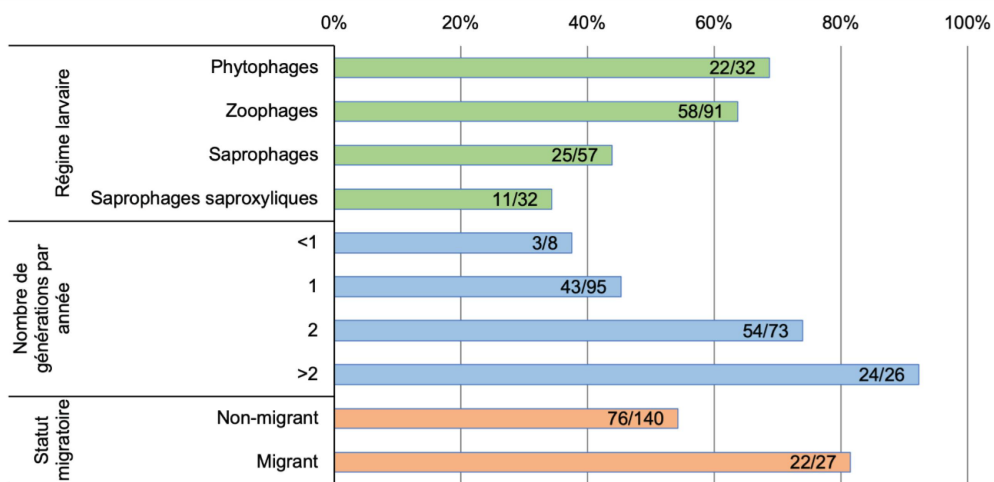


Figure 6. Intégrités des caractéristiques biologiques et écologiques (espèces prédites et effectivement observées) dans le modèle de prédiction avec les habitats urbains de l'étude. Les résultats des 38 sites sont assemblés.

La quasi-totalité des espèces prédites effectuant plus de deux générations par an ont été observées alors que moins de la moitié des espèces n'effectuant qu'une seule génération par an ou moins sont présentes. La part des espèces migratrices prédites et observées est considérablement plus élevée que la part des espèces non migratrices (figure 6).

Qualité du modèle de prédiction StN

La valeur de qualité du dispositif pour l'ensemble des sites est de 75% et est ainsi considérée comme «très bonne». Cette valeur signifie que plus des trois-quarts des espèces observées peuvent être prédites par les habitats utilisés dans le modèle. La moyenne de cette même valeur calculée individuellement par site est très bonne aussi (66%, écart-type = 15%). Sur les 128 espèces observées, seules 32 espèces sont inattendues. Ces espèces inattendues ont en majorité été recensées par un (23 espèces) ou deux individus (4 espèces) seulement. Les deux espèces inattendues les plus fréquentes, *Platycheirus angustatus* et *Merodon armipes*, sont présentes dans respectivement cinq et six sites. L'observation des autres espèces inattendues peut s'expliquer par la capture accidentelle d'individus erratiques qui proviennent d'habitats situés en périphérie des habitats identifiés sur les sites.

Indicateurs globaux

Les deux indicateurs globaux (tous domaines d'action confondus) retenus sont présentés dans la figure 7. L'«intégrité du peuplement» est de 25% pour la moyenne des IEs alpha et est donc considérée comme mauvaise alors que l'IE gamma (ensemble des sites cumulés) est de 60% et donc très bonne.

La représentation des espèces «menacées» est en moyenne «très mauvaise» dans les sites (IEs alpha), avec une variabilité relativement importante. Elle est également mauvaise à l'échelle du canton (IE gamma, 33%). En d'autres termes, seulement un tiers des espèces menacées en Suisse (selon SPEIGHT *et al.* 2020a), attendues dans la zone urbaine vaudoise, ont été répertoriées.

Indicateurs par domaine d'action

Prairies fleuries

Pour ce domaine d'action, les prairies fleuries montrent une moyenne des IEs alpha (ACT) évaluée comme moyenne et une IE gamma à l'échelle cantonale (81%) jugée très bonne, signifiant qu'une grande majorité des espèces attendues dans cet habitat est présente sur l'ensemble des zones urbaines du canton. L'état de l'indicateur SOU est toutefois jugé mauvais et montre une marge importante de progression en termes d'implantation et de qualité des prairies fleuries (avec refuge), figure 8.

Haies, arbustes de sous-étage

Pour l'habitat «haies, arbustes de sous-étage», les moyennes des IEs alpha actuelles (ACT) et souhaitées (SOU) sont «mauvaises». Toutefois, l'IE gamma à l'échelle cantonale (88%) est très bonne, montrant à nouveau que les espèces associées à cette structure sont présentes dans les zones urbaines cantonales considérées globalement (figure 8).

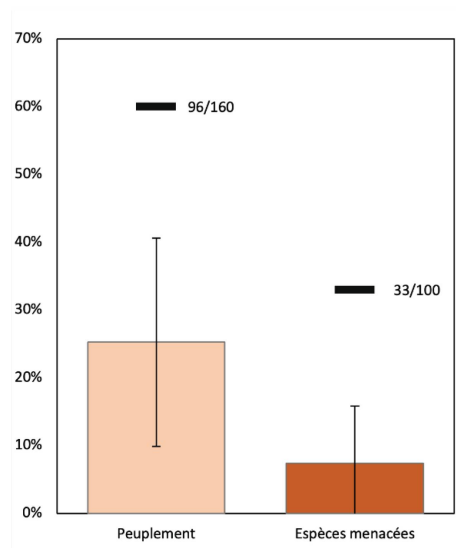


Figure 7. Indicateurs globaux pour le peuplement et les espèces menacées. Moyenne des intégrités des sites (avec écart-type) et représentativité des espèces pour l'ensemble du canton (traits noirs horizontaux) pour les indicateurs de peuplement et d'espèces menacées. Les couleurs des histogrammes correspondent à celles de la grille d'interprétation du tableau 4.

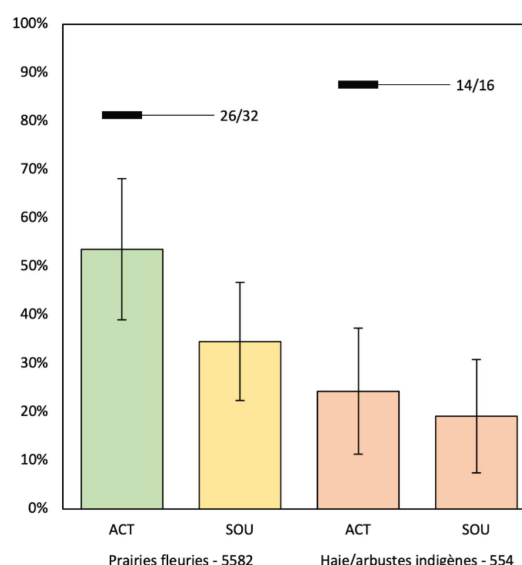


Figure 8. Indicateurs pour les domaines d'action «prairie fleurie» et «haie/arbustes indigènes». Moyenne (avec écart-type) des intégrités des sites avec une prairie fleurie (habitat 5581 et 5582) ou une haie/arbustes indigènes (habitat 554) (ACT), de tous les sites pouvant potentiellement accueillir une prairie fleurie avec refuge (5582) ou une haie/arbustes indigènes (554) (SOU) et représentativité des espèces pour l'ensemble du canton pour tous les sites cumulés (traits noirs horizontaux). Les couleurs des histogrammes correspondent à celles de la grille d'interprétation du tableau 4.

DISCUSSION

Faunistique et écologie des syrphes urbains

Cette étude pilote a permis d'améliorer les connaissances sur les syrphes qui fréquentent et se développent dans l'espace urbain vaudois. En Suisse, cette famille a jusqu'alors été inventoriée en contexte urbain dans les villes de Genève (HEINIGER *et al.* 2024) et Zurich (HENNIG & GAZOUL 2012), ainsi que dans quelques villes de Suisse alémanique (LUDER *et al.* 2018). Ces données amènent également de nouvelles connaissances faunistiques à l'échelle nationale (une nouvelle espèce) et cantonales (quatre nouvelles espèces). L'inventaire révèle la présence dans le tissu urbain de plusieurs espèces menacées en Suisse (SPEIGHT *et al.* 2020a) ainsi que de cinq espèces présentes sur la liste rouge européenne (VUJIC *et al.* 2022) dont deux sont considérées comme «en danger». Ces éléments permettent de mettre en valeur le rôle des zones urbaines dans la préservation de la biodiversité à l'échelle cantonale et nationale.

La courbe d'accumulation de la richesse des espèces prédites et observées atteint un plateau pour la durée d'étude (figure 4), indiquant que le dispositif mis en place permet un échantillonnage satisfaisant des espèces cibles. La courbe ne considérant que les espèces observées montre qu'il existe un potentiel d'accroissement de la richesse totale par ajout de nouveaux

sites d'échantillonnage pour les espèces qui visitent, au moins accidentellement, les zones urbaines.

L'analyse des traits biologiques des espèces observées indique que la syrphidofaune urbaine cantonale est principalement dominée par des espèces zoophages. Ces dernières ainsi que les espèces phytophages sont bien représentées par rapport aux prédictions, ce qui n'est pas le cas des espèces saprophages, montrant ainsi un probable déficit de microhabitats associés à des processus de décomposition de la matière organique et particulièrement à ceux associés aux arbres âgés (espèces saproxyliques). Les espèces à long développement larvaire (1 an ou plus) sont peu représentées dans le milieu urbain qui n'offre probablement pas assez d'habitats durables, exempts de perturbations périodiques. Ce sont souvent des espèces saproxyliques ayant des exigences écologiques élevées.

Interprétation et développement des indicateurs

Indicateurs globaux, tous domaines d'action confondus

Le calcul des indicateurs globaux (tableau 5) permet de qualifier l'état initial de la biodiversité dans la zone urbaine cantonale. La note est mauvaise lorsque l'on considère les IEs alpha moyennes des sites et ce, malgré une bonne représentativité des espèces (IE gamma) à l'échelle du canton. Pour les espèces menacées, la note est en moyenne très mauvaise sur les sites et la représentativité à l'échelle du canton est également mauvaise. Avec les politiques actuelles de promotion de la nature en ville, il est possible d'espérer une amélioration de ces indicateurs dans les années à venir, bien que la plupart des espèces menacées semblent très rares ou absentes des centres urbains. Il est à espérer que des populations soient encore présentes en périphérie, afin qu'une recolonisation des sites, qui deviendraient propices à leur développement à l'intérieur des zones urbaines, soit possible.

À l'avenir, il est envisagé de construire de nouveaux indicateurs pour qualifier l'évolution globale de la biodiversité urbaine cantonale:

- **Indicateur de sensibilité aux changements climatiques:** cet indicateur pourrait être envisagé pour évaluer l'impact des changements climatiques. Il devrait se baser sur l'identification des espèces thermophiles qui pourraient être favorisées par une augmentation des températures globales en ville, et des espèces cryophiles qui pourraient être préférentielles, par analogie aux indicateurs nationaux et cantonaux basés sur les oiseaux (Swiss Bird Index SBI® - Station ornithologique suisse [vogelwarte.ch]) et les papillons (FORUM BIODIVERSITÉ SUISSE 2022). Cet indicateur pourrait par exemple mesurer l'évolution du nombre de sites avec présence/absence de ces deux groupes d'espèces. Son développement dépend du codage des catégories correspondantes pour les espèces de Syrphidés de Suisse et des informations actuellement disponibles sur l'évolution de leur répartition en Suisse et en Europe.
- **Indicateur d'évolution de la biomasse des insectes:** dans le cadre des suivis avec des pièges Malaise, une mesure de la biomasse de chaque échantillon est préconisée pour obtenir une estimation de la quantité totale d'insectes actifs dans les environs du piège. Cette mesure permettra d'évaluer l'évolution de la biomasse en insectes ainsi que de la comparer avec d'autres types de milieux ou de régions où la même méthodologie est utilisée. Dans ce projet, la méthode utilisée par HALLMANN *et al.* (2017) a été appliquée. C'est la méthode qui est aujourd'hui communément préconisée en Europe lors de l'utilisation de pièges Malaise afin d'assurer une comparabilité des résultats à l'échelle internationale. Ces mesures pourront être utilisées à partir du moment où une seconde prise de mesures sera effectuée pour permettre une comparaison.

Indicateurs par domaine d'action

L'IE gamma pour les domaines d'action prairies fleuries et haies arbustives est excellente (tableau 5), signifiant qu'une grande majorité des espèces associées à ces habitats est déjà présente dans l'espace urbain cantonal. Toutefois, la moyenne des IEs alpha actuelles (ACT) est bonne pour les prairies fleuries et mauvaise pour les haies. L'état de l'indicateur souhaité (SOU) est mauvais pour ces deux habitats. Cela signifie qu'en moyenne ces habitats sont respectivement bien et mal occupés par les espèces associées lorsqu'ils sont déjà présents (seuls les sites en possédant ont été évalués pour ces deux habitats), mais actuellement mal occupés par les espèces associées à chacun de ces deux habitats lorsque tous les sites (ceux les ayant déjà comme ceux en étant dépourvus mais capables de les accueillir) sont considérés. Il existe donc un fort potentiel d'amélioration de la quantité et de la qualité de ces habitats en ville et ce particulièrement pour la strate arbustive. Les indicateurs pourraient permettre, selon toute vraisemblance, de suivre les effets des politiques urbaines actuelles «Plan d'action Biodiversité» et «Plan Climat».

L'ajout de nouveaux indicateurs concernant d'autres domaines (patrimoine arboré, surfaces rudérales, milieux humides, ourlets herbacés et jardins urbains) est envisageable à court ou moyen terme. Ces indicateurs devraient en effet pouvoir être calculés, à condition que les connaissances sur les espèces associées à ces habitats en ville soient jugées suffisantes pour être intégrées dans la base de données StN. Quelques exemples de ces domaines d'action et des enjeux y relatifs pour leur intégration dans ce projet sont énumérés ci-dessous:

- **Patrimoine arboré:** des indicateurs pour ce domaine pourraient être calculés sur la base de l'IE des microhabitats larvaires «bois mort» et «arbres sénescents», ces derniers existant déjà dans la base de données au sein de divers habitats. Actuellement, seuls de rares sites possèdent un habitat incluant ces macrohabitats larvaires, il n'est donc pas justifié de calculer des intégrités par sites. Actuellement, l'IE gamma est faible pour ces deux microhabitats dans le canton avec 5 espèces observées sur les 12 prédites pour le bois mort et 9 (observées) sur 29 (prédites) pour les arbres sénescents.
- **Milieux aquatiques:** La mise en place de plans d'eau en zone urbaine et la renaturation des cours d'eau et de leur lit, devraient augmenter considérablement ces prochaines années. Actuellement, les habitats aquatiques sont peu nombreux en zone urbaine. Des catégories d'habitats non spécifiquement urbains actuellement présentes dans StN pourraient être utilisées afin d'évaluer l'intégrité et l'évolution de ces habitats, par exemple les «bords de ruisseau» ou les «bords de rivière».
- **Surfaces rudérales:** En ville, de plus en plus de surfaces rudérales sont mises en place au pied des arbres et sur les dépendances routières, ainsi que sur les toits des immeubles (toitures végétalisées). Cet habitat ne possède actuellement pas d'équivalent dans la base de données StN.
- **Jardins urbains:** La possibilité de l'introduction d'un indicateur pour suivre l'évolution de la biodiversité dans les jardins urbains privés ou partagés, notamment suite à l'application de la Charte des Jardins, va être évaluée à l'avenir. Aujourd'hui, cet habitat ne possède pas d'équivalent dans la base de données StN.

Relativement à certains domaines, plusieurs habitats vont être ajoutés dans la prochaine mise à jour de la base de données StN (SPEIGHT *et al.* in prep.) comprenant principalement: les «zones rudérales» (zones ferroviaires et friches urbaines), les «jardins potagers» ainsi qu'une nouvelle catégorie «haie favorable à la biodiversité», largement basée sur les recommandations de la fiche créée pour l'implantation de haies d'essences indigènes dans le canton de Vaud (DGE-BIODIV 2018). Cette dernière catégorie affinera l'habitat 554 (arbustes de sous-étage) utilisée ici pour prédire le cortège d'espèces associées aux haies d'arbustes indigènes.

Evolution et perspectives

Un élément essentiel dans ce projet est la prise en compte du caractère évolutif de la base de données StN qui, lors de ses mises à jour successives, est incrémentée grâce aux informations apportées par de nouvelles études et dans ce cas précis, des connaissances sur les espèces associées au milieu urbain. Les résultats obtenus dans cette étude compléteront le codage des espèces dans les habitats urbains de la nouvelle version de la base de données StN prévue en fin d'année 2024 (SPEIGHT *et al.* in prep.). Cette évolution de l'outil et notamment le codage de nouveaux habitats devraient conduire à une plus grande précision dans la prédiction du pool d'espèces pour le calcul des intégrités écologiques par domaine d'action. Les calculs effectués dans le présent travail pourront donc être reproduits et affinés rétroactivement lors des campagnes d'échantillonnage futures en fonction de la mise à jour de la base de données StN.

Les indicateurs présentés ici pourraient être complétés en intégrant d'autres indicateurs sur le rôle fonctionnel de certains groupes d'espèces au sein des habitats (prédation, décomposition de la matière organique). En effet, au-delà de l'intégrité des espèces saproxyliques, il serait possible de suivre les espèces zoophages par exemple qui peuvent participer à la régulation de certains ravageurs des plantes cultivées ou d'ornement.

L'indicateur des espèces menacées n'est pas construit sur la base d'une liste rouge mais selon une classification du degré de menace basée sur l'état des connaissances au niveau national relatif aux espèces et aux milieux auxquels elles sont associées (SPEIGHT *et al.* 2020a). Actuellement, à l'échelle nationale, plusieurs projets visent à améliorer les connaissances et à former des spécialistes (cours de formation, mise en ligne des cartes de répartition, fiches descriptives des espèces, clés pour l'identification des espèces), ce qui pourrait idéalement mener à l'élaboration d'une liste rouge ou d'une liste d'espèces emblématiques.

Finalement, les centres locaux et «à densifier» n'ont pas été pris en compte ici dans l'optique d'un échantillonnage de la syrphidofaune strictement urbaine, les Syrphidés adultes étant très mobiles et l'échantillonnage de ces petits centres induisant un biais au niveau de la collecte d'espèces se développant hors de la zone urbaine. Cependant, dans un but de monitoring des changements intervenant sur un cortège d'espèces avec un processus d'urbanisation ou de densification, certains centres «à densifier» pourraient être suivis à long terme. L'influence de la croissance de l'urbanisation pourrait dès lors être évaluée par rapport à un état de référence.

A l'avenir, une standardisation des classes de qualité (c'est-à-dire "bon", "moyen", "mauvais" etc.) usuellement utilisées par la méthode StN serait souhaitable afin d'affiner la détermination des limites des classes. Actuellement cette classification reste indicative, découlant d'un processus de classification simple et intuitif. L'adaptation du maximum théorique de la richesse à 70% découlant de l'analyse des données provenant de quatre sites genevois, pourrait être réévaluée sur la base de méthodes statistiques plus précises telles que des estimations de la richesse théorique à partir d'un effort d'échantillonnage donné. La notation de l'état écologique en cinq classes est également utilisée par la Confédération notamment dans le système modulaire gradué (SMG) pour évaluer et suivre l'état des cours d'eau (OFEV 1998). Cette notation a pour objectif d'évaluer si les objectifs légaux en termes de qualité sont atteints ou non, et de monitorer leur évolution dans le temps.

Le canton pourrait donc – par analogie au SMG – fixer par exemple un objectif d’atteinte de l’état « bon » pour tous les sites urbains et tout ou partie des domaines d’action, et mesurer l’atteinte des objectifs en suivant l’évolution de la proportion de sites de qualité « bonne » à « très bonne ». Cette démarche aurait ainsi l’avantage de résumer et simplifier la communication notamment envers le grand public.

CONCLUSION

L’adaptation de l’outil de diagnostic StN présentée dans cette étude, est une contribution au développement d’indicateurs de suivis à long terme de la biodiversité urbaine vaudoise et d’indicateurs pour les différents domaines d’action exigés ou recommandés par les outils et moyens de promotion de la biodiversité « Plan d’action Biodiversité » et/ou de l’adaptation au changement climatique « Plan Climat ».

Les résultats de ce premier état des lieux (2021-2023) montrent que la majorité des espèces attendues ont été trouvées dans l’un ou l’autre des sites échantillonnés sur l’ensemble du canton. Cependant, la qualité au niveau des sites individuels est majoritairement mauvaise, rarement bonne, autant par rapport aux habitats actuellement observés sur le terrain (état actuel) que par rapport aux habitats attendus ou recommandés par les différentes politiques sectorielles (état souhaité). Ce résultat pourrait s’expliquer par un manque de qualité et/ou de connectivité des habitats au sein de l’espace urbain vaudois.

Les mesures déjà prises ou celles qui seront prises ces prochaines années devraient augmenter la qualité et la quantité de surfaces favorables à la biodiversité tout en augmentant la connectivité afin de favoriser la colonisation de nouvelles surfaces par les Syrphidés, et par la même occasion, par d’autres groupes d’organismes. Les indicateurs relatifs aux prairies et aux haies ainsi qu’à certains indicateurs pressentis (surfaces rudérales, jardins privés, etc.) pourraient réagir positivement et rapidement aux mesures instaurées dans le tissu urbain. Une mise à jour des indicateurs est donc préconisée cinq ans après le premier état, ou au maximum dix ans, afin d’évaluer si les mesures ont déjà eu un effet positif mesurable.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s’adressent à toutes les communes et les propriétaires de parcelles ayant accueilli un ou plusieurs sites d’échantillonnage, leur collaboration ayant été très précieuse pour le bon déroulement des trois années de terrain. Un grand merci également à tous les mandataires ayant participé à ce projet: Anouk Lettman, Alain Maibach, Eric Morard, Alain Reymond et Daniel Ston. Merci également à Nicolas Nançoz (DGE-Biodiv) pour sa relecture du rapport initial et les informations transmises sur les mesures cantonales de promotion de la nature dans le tissu urbain. Finalement, nous tenions à exprimer notre reconnaissance à Martin C.D. Speight pour son oreille attentive et son insatiable soif d’améliorer le codage des informations relatives aux espèces et aux habitats dans la base de données *Syrph the Net*, ainsi qu’à Jean-Pierre Sarthou et un.e relecteur.trice anonyme pour les commentaires pertinents émis à propos de cette article.

RÉFÉRENCES

- BATES A. J., SADLER J. P., FAIRBRASS A. J., FALK S. J., HALE J. D. & MATTHEWS, T. J., 2011. Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PLoS ONE* 6(8): e23459.
- BANKOWSKA R., 1981. Hover flies (Diptera, Syrphidae) of Warsaw and Mazovia. *Memorabilia Zoologica* 35: 57-78.

- BLACKMORE L. M. & GOULSON D., 2014. Evaluating the effectiveness of wildflower seed mixes for boosting floral diversity and bumblebee and hoverfly abundance in urban areas. *Insect Conservation and Diversity* 7(5): 480-484.
- CLAUDE J., TISSOT B., MAZUEZ C., VIONNET G., SARTHOU J.-P. & CHANAL F., 2012. Diagnostic écologique des principaux habitats de la Réserve Naturelle Nationale du lac de Remoray (25) par la méthode “Syrph the Net”. Labergement-Sainte-Marie.
- DGE-BIODIV (DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT – DIVISION BIODIVERSITÉ ET PAYSAGE), 2018. Haie d'essences indigènes. Fiche C10. Version 2018. Disponible sur: https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/faune_nature/fichiers_pdf/B_o%20C3%A0_e_t_e_%20C3%A0_o_u_t_i_l_s_p_o_u_r_l_e_s_c_o_m_m_u_n_e_s/Fiche_C10_haies_essences_indigenes.pdf
- DGE (DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT), 2019. Plan d'Action Biodiversité 2019-2030. Canton de Vaud, 84 pp.
- DOYLE T., HAWKES W. L., MASSY R., POWNEY G. D., MENZ M. H. & WOTTON K. R., 2020. Pollination by hoverflies in the Anthropocene. *Proceedings of the Royal Society B* 287(1927): 20200508.
- FISLER L., GANDER A. & BAUDRAZ M., 2021. Méthode Syrph the Net dans la Grande Caricaie. Rapport final 2017-2020. Association de la Grande Caricaie, Cheseaux-Noréaz, 51 p.
- FISLER L., STON D., BISSCHOP J. & PÉTREMAND G., 2023. Premières mentions et confirmations de la présence d'espèces de Syrphidae (Diptera) en Suisse. *Entomo Helvetica* 16: 77-92.
- FORUM BIODIVERSITÉ SUISSE (éd.), 2022. Le Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) à 20 ans. Numéro spécial de HOTSPOT, n°46, 44 p.
- HALLMANN C.A., SORG M., JONGEJANS E., SIEPEL H., HOFLAND N., SCHWAN H., STENMANS W., MÜLLER A., SUMSER H., HÖRREN T., GOULSON D. & DE KROON H., 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 (10): e0185809.
- HEINIGER C., PÉTREMAND G. & ROCHEFORT S., 2024. Hoverfly (Diptera, Syrphidae) assemblages in urban farms compared to urban parks in the city of Geneva. *Basic and Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.11.008>.
- HENNIG E. & GHAZOUJ J., 2012. Pollinating Animals in the urban environment. *Urban Ecosystems* 15: 149-166.
- KOCH B., FORINI GIACALONE I. & POLLINI PATRINIERI L., 2021. I syrphidi quali bioindicatori per la valutazione degli habitat con il metodo Syrph the Net: tre casi studio in Cantone Ticino, Svizzera. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali* 109: 87-104.
- LUDER K., KNOP E. & MENZ M. H., 2018. Contrasting responses in community structure and phenology of migratory and non-migratory pollinators to urbanization. *Diversity and Distributions* 24(7): 919-927.
- MALAISE R., 1937. A new insect-trap. *Entomologisk tidskrift* 58: 148-160.
- MAIBACH A., GOELDLIN DE TIEFENAU P. & DIRICKX H.G., 1992. Liste faunistique des Syrphidae de Suisse (Diptera). Misc. Faun. Helvetiae, 1: 1 - 51. Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel.
- MECKE R., 1996. Die Fauna begrünter Dächer: ökologische Untersuchung verschiedener Dachflächen im Hamburger Stadtgebiet. Diploma dissertation. University of Hamburg
- OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT (OFEV), 1998. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse: Système modulaire gradué. Informations concernant la protection des eaux No 26, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.
- OWEN J., 1981. Trophic variety and abundance of hoverflies (Diptera, Syrphidae) in an English suburban garden. *Ecography* 4(3): 221-228.

- PASSASEO A., PÉTREMAND G., ROCHEFORT S. & CASTELLA E., 2020. Pollinator emerging from extensive green roofs: wild bees (Hymenoptera, Anthophila) and hoverflies (Diptera, Syrphidae) in Geneva (Switzerland). *Urban Ecosystems* 23(5): 1079-1086.
- PASSASEO A., ROCHEFORT S., PÉTREMAND G. & CASTELLA E., 2021. Pollinators on green roofs: Diversity and trait analysis of wild bees (Hymenoptera: Anthophila) and Hoverflies (Diptera: Syrphidae) in an urban area (Geneva, Switzerland). *Cities and the Environment (CATE)* 14(2): 1-20.
- PDCn, 2016. Plan directeur cantonal (PDCn) , www.vd.ch/pdcn
- PERSSON A. S., EKROOS J., OLSSON P. & SMITH H. G., 2020. Wild bees and hoverflies respond differently to urbanisation, human population density and urban form. *Landscape and Urban Planning* 204: 103901.
- PÉTREMAND G., FISLER L., SPEIGHT M. C. D. & CASTELLA E., 2021a. *Merodon gallicus* Vujčić & Radenković 2012 et *Psilota atra* (Loew, 1817) en Suisse et quelques nouvelles mentions genevoises (Diptera: Syrphidae). *Entomo Helvetica* 14: 67-75.
- PÉTREMAND G., GOELDIN DE TIEFENAU P., SPEIGHT M.C.D. & CASTELLA E., 2021b. Dix-sept années (1994-2010) de suivi des Diptères Syrphidés dans la réserve naturelle des Grangettes (Vaud, Suisse). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 100: 199-140.
- PÉTREMAND G., MAIBACH A., SPEIGHT M.C.D., GOELDIN DE TIEFENAU P. & CASTELLA E., 2021c. Une première liste des Diptères Syrphidés du canton de Vaud (Suisse). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 100: 257-274.
- PÉTREMAND G., BESSAT M., CASTELLA E. & SPEIGHT M. C. D., 2022. Genève sous la loupe: les syrphes du canton (Diptera, Syrphidae). Editions Faune Genève, Genève, 306 p.
- PÉTREMAND G. & FISLER L., 2024. Complément à la liste des Diptères Syrphidés du canton de Vaud. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 103: 109-116.
- R CORE TEAM, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- ROCHA E. A., SOUZA E. N., BLEAKLEY L. A., BURLEY C., MOTT J. L., RUE-GLUTTING G. & FELLOWES M. D., 2018. Influence of urbanisation and garden plants on the diversity and abundance of aphids and their ladybird and hoverfly predators. *European Journal of Entomology* 115: 140-149.
- SARTHOU V. & SARTHOU J.-P., 2010. Evaluation écologique d'écosystèmes forestiers de Réserves Naturelles de Haute-Savoie à l'aide des Diptères Syrphidés. Zone Natura 2000 Arve-Giffre, Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie, Réserve Naturelle des Aiguilles Rouges. Syrph the Net: The Database of European Syrphidae (Diptera) 62: 1-131.
- SPEIGHT M. C. D. & CASTELLA E., 2001. An approach to interpretation of lists of insects using digitised biological information about the species. *Journal of Insect Conservation* 5(2): 131-139.
- SPEIGHT M. C. D., 2017. The Syrph the Net database of European Syrphidae (Diptera): past, present and future. Syrph the Net: The Database of European Syrphidae (Diptera), 96.
- SPEIGHT M.C.D., ATHANASIADIS A., BESSAT M., DE CARVALHO A.-G., FAYE J.-D., FLEURY D., MONOD V., NICOLAS K., PASSASEO A., PÉTREMAND G., ROCHEFORT S. & CASTELLA E., 2019. Révision de la liste des Diptères Syrphidae du canton de Genève, incluant cinq espèces nouvelles pour la Suisse. *Entomo Helvetica* 12: 87-98.
- SPEIGHT M.C.D., CASTELLA E. & SARTHOU J.-P., 2020a. StN 2020. In: Syrph the Net on CD, Issue 12. SPEIGHT M.C.D., CASTELLA E., SARTHOU J.-P. & VANAPPELGHEM C. (Eds.) ISSN 1649-1917. Syrph the Net Publications, Dublin.
- SPEIGHT M.C.D., CASTELLA E. & SARTHOU V., 2020b. Base de Données StN: Contenu et Glossaire des termes 2020. Syrph the Net, the database of European Syrphidae (Diptera), Vol. 109, 110 p., Syrph the Net publications, Dublin.

- TISSOT B., CLAUDE J. & SPEIGHT M. C. D., 2015. Diagnostic écologique du secteur Reculet - Crêt-de-la-Neige par la méthode «Syrph the Net», Rapport d'étude pour la Communauté de Commune du Pays de Gex. Labergement Sainte Marie.
- VANAPPELGHEM C., VANDEWEGHE R., DEBAIVE N., CLAUDE J., DUSSAIX C., GARRIGUE J., GAUDET S., LANGLOIS D., MAILLET G., SARTHOU V., SARTHOU J.-P., SOISSONS A., SPEIGHT M. C.D., TISSOT B., TOP D., TOURDIAT S. & VALLET A., 2020. Guide technique de mise en œuvre d'une étude Syrph the Net. Retours d'expérience de l'Atelier du groupe inter-réseaux Syrphes. Cahier RNF n°8, Réserves naturelles de France, Dijon.
- VERBOVEN H. A., UYTENBROECK R., BRYN R. & HERMY M., 2014. Different responses of bees and hoverflies to land use in an urban–rural gradient show the importance of the nature of the rural land use. *Landscape and Urban Planning* 126: 31-41.
- VUJIĆ A., GILBERT F., FLINN G., ENGLEFIELD E., FERREIRA C.C., VARGA Z., EGGERT F., WOOLCOCK S., BÖHM M., MERGY R., SSYMANK A., VAN STEENIS W., ARACIL A., FÖLDESI R., GRKOVIĆ A., MAZANEK L., NEDELJKOVIĆ Z., PENNARDS G. W. A., PÉREZ C., RADENKOVIĆ S., RICARTE A., ROJO S., STÄHLS G., VAN DER ENT L.-J., VAN STEENIS J., BARKALOV A., CAMPOY A., JANKOVIĆ M., LIKOV L., LILLO I., MENGUAL X., MILIĆ D., MILIĆIĆ M., NIELSEN T., POPOV G., ROMIG T., ŠEBIĆ A., SPEIGHT M. C. D., TOT T., VAN ECK A., VESELIĆ S., ANDRIĆ A., BOWLES P., DE GROOT M., MARCOS-GARCÍA M. A., HADRAVA J., LAIR X., MALIĐŽAN S., NÈVE G., OBREHT VIDAKOVIĆ D., POPOV S., SMT J. T., VAN DE MEUTTER F., VELIĆKOVIĆ N. & VRBA J., 2022. Pollinators on the edge: our European hoverflies. The European Red List of Hoverflies. European Commission, Brussels, Belgium, 96 p.

ANNEXE

Annexe I

Liste des espèces de Diptères Syrphidés inventoriées dans 38 sites de la zone urbaine vaudoise de 2021 à 2023 avec: NB individus = nombre d'individus collectés au total dans les 38 sites; NB sites = nombre de sites où au minimum 1 individu de l'espèce est présent; « Méthode StN » montre les espèces P=prédites et IN=inattendues dans le modèle; Menace (CH) = espèces considérées comme menacées en Suisse (codée 2 ou 3) par SPEIGHT *et al.* (2020a), [NE=statut non évalué car espèce dont la présence en Suisse a été découverte récemment]; Liste rouge (EU) = statut des espèces dans la liste rouge des espèces européennes de VUJIĆ *et al.* (2022); "*" = nouvelle espèce pour la faune du canton de Vaud, "*" = nouvelle espèce pour la faune de Suisse.

A consulter sur <https://wp.unil.ch/svsn/publications/bulletins/>

