

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 100 (2021)

Artikel: Dix-sept années (1994-2010) de suivi des Diptères Syrphidés dans la réserve naturelle des Grangettes (Vaud, Suisse)
Autor: Pétremand, Gaël / Goeldlin de Tiefenau, Pierre / Speight, Martin C.D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-953540>

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: 12.01.2026

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

Dix-sept années (1994-2010) de suivi des Diptères Syrphidés dans la réserve naturelle des Grangettes (Vaud, Suisse)

Gaël PÉTREMAND^{1,2}, Pierre GOELDLIN DE TIEFENAU³, Martin C.D. SPEIGHT⁴,
Emmanuel CASTELLA^{1*}

PÉTREMAND G., GOELDLIN DE TIEFENAU P., SPEIGHT M.C.D. & CASTELLA E., 2021. 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: 119-140.

Résumé

Des échantillonnages de Diptères Syrphidae ont été effectués de 1994 à 2010 dans la réserve naturelle des Grangettes (VD), un site Ramsar d'importance internationale. Trois jeux de données sont utilisés: (i) un suivi printanier régulier par pièges Malaise sur série temporelle longue (17 ans), (ii) deux années (1995, 2008) d'échantillonnages plus longs couvrant la période de vol annuel, également par pièges Malaise, (iii) des captures de chasse à vue au filet entomologique. L'analyse vise à décrire les changements temporels des assemblages de syrphes et à établir un diagnostic écologique des habitats avec la méthode *Syrph the Net*. Au total, 137 espèces de Syrphidae ont été inventoriées entre 1994 et 2010. Parmi elles, 32 espèces sont rares en Suisse et considérées comme menacées. La plupart d'entre elles sont des espèces forestières ou liées aux milieux humides. Une dizaine d'espèces saproxyliques rares témoignent de la valeur biologique des boisements du site. Les résultats de l'analyse ne montrent pas de changements temporels radicaux bien que les espèces des sols saturés en eau soient en déclin sur la série temporelle étudiée. L'analyse *Syrph the Net* montre une bonne intégrité écologique des différents habitats évalués. Un déficit d'espèces dont les larves vivent dans des eaux oligotrophes ou ayant des larves phytophages est toutefois observé. Les résultats fournissent un état de référence des peuplements syrphidologiques de la réserve, afin de permettre des comparaisons pour des études futures. Ces données montrent également l'importance biologique de ce site à l'échelle de la Suisse et de l'Europe, ce dernier jouant un rôle important de refuge pour de nombreuses espèces menacées.

Mots-clés: changements temporels, intégrité écologique, inventaire entomologique, *Syrph the Net*, traits biologiques, zone alluviale.

¹ Département F.A. Forel des Sciences de l'Environnement et de l'Eau & Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève. Boulevard Carl-Vogt 66, CH-1205 Genève, Suisse.

² Av. Tissot 12, 1006 Lausanne, Suisse. gael.petremand@arvensis-naturalistes.ch

³ Rue de la Gare 1C, 1807 Blonay, Suisse. pierre.goeldlin@bluewin.ch

⁴ Department of Zoology, Trinity College, Dublin 2, Irlande. speightm@gmail.com

* Auteur pour correspondance: emmanuel.castella@unige.ch

PÉTREMAND G., GOELDLIN DE TIEFENAU P., SPEIGHT M.C.D. & CASTELLA E., 2021. Seventeen years (1994-2010) of syrphid (Diptera: Syrphidae) surveys in the Grangettes nature reserve (Vaud, Switzerland). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 100: 119-140.

Abstract

Surveys of Syrphidae (Diptera) were carried out from 1994 to 2010 in the Grangettes nature reserve (Vaud, Switzerland), a Ramsar site of international importance. Three datasets were gathered: (i) a short Spring survey repeated each year with Malaise traps, (ii) two longer surveys carried out in 1995 and 2008 with Malaise traps, (iii) occasional hand net collections. The analysis of these datasets presented here aims at describing temporal changes in the syrphid assemblages and at providing an assessment of the integrity of the syrphid assemblages via the *Syrph the Net* method. A total of 137 syrphid species was gathered during the 17 years. Among them, 32 species, mostly forest or wetland species, could be regarded as rare and threatened in Switzerland. Some rare saproxylophagous species accounted for the good ecological status of the forest habitats. Analysis of the 1995-2008 series showed no major temporal changes, although species with larvae living in water-saturated soils declined over the study period. The integrity was considered as « good » for the habitats covered by the survey. A deficit was evidenced regarding species with larvae requiring oligotrophic water and with phytophagous larvae. The data provide a reference for future surveys and comparisons. They highlight the importance of the Grangettes reserve in providing refugia for syrphid species recognized as threatened in Switzerland and continental Europe.

Keywords: insect inventory, alluvial reserve, *Syrph the Net*, temporal changes, ecological integrity, biological traits.

INTRODUCTION

Depuis les années 1990, plusieurs groupes d'invertébrés ont été inventoriés dans la réserve des Grangettes et ce en particulier dans les milieux aquatiques (NACEUR 1993; NACEUR & DETHIER 1995; DELARZE 1996; GATTOLLIAT & SARTORI 1996; GATTOLLIAT 2000; NACEUR 2003). Plus récemment, trois groupes d'indicateurs ont été suivis: les Rhopalocères, les Orthoptères et les Odonates (GATTOLLIAT *et al.* 2015; SONNAY 2020). Une étude des coléoptères saproxyliques et des carabidés a également été entreprise (CHITTARO & SANCHEZ 2018). Ces études mettent en évidence la valeur biologique élevée des milieux forestiers, des étangs et des cariçaies de la réserve où de nombreuses espèces emblématiques et protégées en Suisse sont présentes. Toutefois, les milieux prairiaux hors de la zone humide ne paraissent pas montrer une richesse entomologique aussi élevée. C'est le cas en particulier des Rhopalocères, pour lesquels plusieurs espèces attendues n'ont pas été observées (GATTOLLIAT *et al.* 2015). Les espèces d'Orthoptères de prairies humides (paludéennes) sont bien représentées et incluent des espèces menacées en Suisse alors que les espèces pionnières liées aux milieux rudéraux et alluviaux sont peu nombreuses malgré la présence de deux espèces menacées (SONNAY 2020). La comparaison des assemblages d'espèces depuis l'inventaire de DELARZE (1996), ne montre pas d'évolution notable si ce n'est l'arrivée de quelques espèces méditerranéennes (SONNAY 2020).

De 1994 à 2010, la réserve naturelle des Grangettes a servi de cadre à un module pratique des masters en sciences naturelles de l'environnement des universités de Lausanne et Genève. Des données très précieuses ont ainsi été acquises de façon systématique (mêmes stations étudiées chaque année à une période similaire) concernant les Diptères Syrphidae de différents milieux sensibles d'une partie de la réserve tels qu'une parvocariçaie, une magnocariçaie et des forêts humides.

La famille des Syrphidés compte quelque 480 espèces répertoriées en Suisse (SPEIGHT *et al.* 2020a; FISLER & SPEIGHT 2020; PÉTREMAND *et al.* 2020a, 2021a; PLICHTA & FISLER 2021; POLLINI-PATRINIERI *et al.* 2021). Ces espèces possèdent des exigences écologiques très variées et en particulier des régimes alimentaires larvaires très diversifiés. Il existe notamment un cortège spécifique d'espèces liées aux milieux humides ainsi qu'aux différents peuplements forestiers présents dans la réserve des Grangettes. Les habitats des larves couvrent tous les types de milieux à l'exception des eaux courantes, des eaux salées et des milieux souterrains. Les informations écologiques et biologiques disponibles pour chaque espèce ont été regroupées et codées dans une base de données appelée *Syrph the Net* (*StN*, SPEIGHT *et al.* 2020a) et sont communément utilisées pour évaluer la qualité écologique des milieux naturels et établir des recommandations pour leur gestion (VANHAPPELGHEM *et al.* 2020; PÉTREMAND *et al.* 2020b; FISLER *et al.* 2021).

Cet article a deux objectifs principaux: (i) rendre disponible des données entomologiques acquises sur une durée relativement longue au sein d'un espace naturel protégé, et ce dans un contexte de questionnement global concernant les changements affectant les populations d'insectes (HALLMANN *et al.* 2017; WAGNER 2020; CROSSLEY *et al.* 2020; WIDMER *et al.* 2021), (ii) fournir des éléments d'analyse de ces données, focalisés sur deux aspects: la recherche de changements temporels dans les assemblages de syrphidés et l'évaluation de l'intégrité écologique des milieux échantillonnés via la base de données *StN* et la méthode qui lui est associée (SPEIGHT *et al.* 2017). La concordance de ces résultats avec les études antérieurement effectuées sur d'autres groupes d'insectes dans la réserve est également discutée. Comme décrit ci-après, l'échantillonnage n'ayant porté que sur une fraction de la surface totale de la réserve, les résultats ne sont applicables qu'à celle-ci.

MÉTHODES

La réserve des Grangettes et les habitats étudiés

La réserve naturelle des Grangettes est située à l'extrémité orientale du Léman à l'emplacement du delta du Rhône. Malgré la perte de la dynamique naturelle due à l'endiguement du fleuve, des plans d'eau, des roselières et d'autres types de zones humides ainsi que des forêts riveraines, subsistent sur ce site. Occupant près de 300 hectares, c'est l'une des plus grandes zones humides de plaine en Suisse. Le site est inscrit à l'Inventaire Fédéral des Sites d'Importance Nationale de Suisse depuis 1977 et comme site Ramsar depuis 1990.

La zone principalement étudiée se situe près du lieu-dit « La Mure » au nord-est de la Route des Saviez et à l'ouest du hameau des Grangettes. Cette zone ne représente qu'une partie de la réserve naturelle et n'inclut notamment pas toute la zone à l'ouest du Grand Canal (ex. Gros Brasset). Les habitats présents dans le périmètre de l'étude sont énumérés dans le tableau 1. Ils sont identifiés selon la nomenclature propre à la méthode *StN* et par leur correspondance dans la typologie suisse TypoCH (DELARZE *et al.* 2015).

Données, méthodes et périodes d'échantillonnage

Trois ensembles de données ont été utilisés:

- a) les données provenant de travaux pratiques organisés de 1994 à 2010 dans le cadre d'une formation post-bachelor ayant changé de nom au cours de la période d'étude: Diplôme en Sciences Naturelles de l'Environnement (DESNE), Diplôme Supérieur

Tableau 1. Milieux représentés dans la réserve des Grangettes selon la classification StN (SPEIGHT et al. 2020b) avec leur correspondance dans la typologie TypoCH (DELARZE et al. 2015). Les lignées grisées représentent les habitats principaux et les lignes non grisées les habitats supplémentaires *sensu* StN.

Milieux StN	Code StN	Code TypoCH	Milieux TypoCH
Grands carex	642	2.2.1.1	Magnocariçaie s.str.
Mare permanente	712w		
Berge de mare permanente	7462w		
Roselière	641	2.1.2	Roselières
Mare permanente	712w		
Berge de mare permanente	7462w		
Fossé de drainage	734w		
Bas-marais alcalin	611	2.2.3	Parvocariçaie neutro-basophile
Mare permanente	712w		
Berge de mare permanente	7462w		
Prairie humide eutrophique/ mésotrophique	231131	7.1.1	Endroit piétiné humide
Fossé de drainage	734o		
Déjections de ruminants	7131o		
Megaphorbiaie de basse altitude	211	5.1.3 5.1.5 2.3.3	Ourlet hygrophile de plaine Ourlet nitrophile mésophile Mégaphorbiaie marécageuse
Plan d'eau temporaire	713o		
<i>Alnus glutinosa</i> / <i>Fraxinus excelsior</i>	11324	6.1.4	Frênaie humide
Plan d'eau temporaire	713f		
Forêts galerie à <i>Salix alba</i> / <i>Populus</i>	1131	6.1.2	Saulaie blanche
Plan d'eau temporaire	713f		
Saulaie marécageuse	133	5.3.7	Saulaie buissonnante marécageuse

en Sciences Naturelles de l'Environnement (DESSNE), Master en Sciences Naturelles de l'Environnement (MESNE), puis Master Universitaire en Sciences de l'Environnement (MUSE). Sous les deux premières appellations, la formation était conjointe aux Universités de Lausanne et Genève, puis propre à cette dernière. Chaque année, des pièges d'interception étaient installés avant la réalisation de la semaine de travaux pratiques et échantillaient, dans les mêmes stations, les insectes volants pendant une période de deux à trois semaines, située la plupart du temps entre mi-mai et début juin. De 2008 à 2010 la période de capture a été plus précoce (tableau 2). Ces données permettent donc de disposer d'une chronique longitudinale de 17 années couvrant

une période printanière courte mais généralement considérée comme optimale pour la capture des syrphidés (SPEIGHT 2017).

- b) lors de deux années comprises dans la période précédente (1995 et 2008), à l'initiative de l'un d'entre nous (P. Goeldlin de Tiefenau, PG), les échantillonnages ont été effectués dans les mêmes stations mais sur une période beaucoup plus longue (tableau 2), permettant de couvrir la phénologie annuelle de vol des syrphidés. Les pièges Malaise ont été installés durant toute la période indiquée dans le tableau 2 et relevés toutes les deux à trois semaines.
- c) des captures occasionnelles au filet entomologique, effectuées par deux d'entre nous, PG et Martin C.D. Speight (MCDS), ainsi que de Ch. Ruedi (1997) ont permis de compléter la liste d'espèces de la réserve. La chasse à vue a été effectuée durant les années suivantes : 1994, 1995, 1996, 1997 et 2006 dans la zone couverte par les pièges Malaise ainsi que dans quelques autres sites de la réserve (p. ex. le long du Vieux-Rhône, étang du Cercle).

Des pièges Malaise (MALAISE 1937) ont été utilisés pour l'ensemble des échantillonnages, hors captures au filet. Ce piège d'interception passif permet de récolter tous les insectes volants. Les pièges ont été relevés toutes les 2 à 3 semaines environ. Les insectes ont été conservés dans de l'alcool à 70°.

Tableau 2. Calendrier d'échantillonnage des syrphidés de la réserve des Grangettes à l'aide de pièges d'interception de type Malaise (TPs : Travaux Pratiques des Grangettes, PG : Pierre Goeldlin de Tiefenau, MCDS : Martin C.D. Speight). 1 : abondances et richesses totales mesurées pendant les périodes des TPs pour les stations MC, PC, FH, FP et PP cumulées. 2 : La période de TPs 2009, plus précoce que les autres n'a pas été incorporées dans les analyses excepté dans le calcul de l'intégrité écologique.

Année	Période d'échantillonnage	Suivi	Déterminations	Abondance totale ¹	Richesse totale ¹
1994	1.vi.-14.vi	TPs, filet	PG	227	38
1995	24.v-9.xi (TPs : 24.v-7.vi)	TPs, filet & suivi annuel	PG	220	32
1996	23.v-4.vi	TPs, filet	PG	208	33
1997	1.v-28.v	TPs, filet	PG	108	26
1998	25.v-4.vi	TPs	PG	236	32
1999	19.v-9.vi	TPs	PG	464	37
2000	31.v-7.vi	TPs	PG	263	39
2001	31.v-13.vi	TPs	PG	71	23
2002	22.v-5.vi	TPs	PG	117	20
2003	15.v-4.vi	TPs	PG	320	32
2004	19.v-9.vi	TPs	PG	130	31
2005	18.v-8.vi	TPs	PG	219	33
2006	22.v-13.vi	TPs, filet	MCDS	291	50
2007	16.v-13.vi	TPs	PG	553	41
2008	14.iv.13.ix (TPs : 23.v-20.vi)	TPs & suivi annuel	PG	237	25
2009	9.iv-7.v	TPs	PG	44 ²	15 ²
2010	6.v-27.v	TPs	MCDS	42	21

Six stations ont été équipées d'un tel piège. Elles étaient considérées comme représentatives d'habitats caractéristiques de la réserve (figure 1, tableau 3). En raison de sa localisation et des conditions annuelles de hauteur d'eau dans le lac, l'échantillonnage de la station PR (pseudo-roselière) n'a pas été réalisé certaines années.

Les échantillons destinés aux travaux pratiques ont été triés sous loupe binoculaire par les étudiant.es suivant cette formation, mais l'ensemble des tris a été vérifié par l'enseignant responsable (PG ou MCDS). Les identifications spécifiques ont toutes été réalisées ou contrôlées par ces deux spécialistes.

Toutes les données collectées ont été synthétisées dans un tableau disponible en format Excel (Microsoft) dans les Annexes en ligne. La majeure partie du matériel traité est conservée dans les collections du Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique de l'Université de Genève et du Musée de Zoologie de Lausanne. D'autres spécimens, notamment des collectes au filet, sont conservés dans les collections de PG et de MCDS.

Analyse des données

Les mesures de richesses et de richesses raréfiées (calcul du nombre d'espèces pour une abondance donnée permettant de standardiser la comparaison d'échantillons contenant des nombres variés d'individus) ont été effectuées avec la librairie *vegan* (OKSANEN *et al.* 2020). Des Analyses Factorielles des Correspondances (AFC) ont été choisies pour décrire



Figure 1. Quatre stations étudiées aux Grangettes, équipées d'un piège Malaise. FH = Forêt humide, FP = Forêt à Prêles, PC = Parvocariçaie, PP = prairie.

Tableau 3. Les six stations étudiées dans la réserve des Grangettes avec les espèces végétales dominantes (1994-2010).

Stations	Coordonnées x (CH1903+ / LV95)	Coordonnées y (CH1903+ / LV95)	Espèces végétales dominantes
PC – Parvocariçaie	2'559'294	1'138'220	<i>Molinia caerulea</i> , <i>Schoenus ferrugineus</i> , <i>Schoenus nigricans</i>
MC – Magnocariçaie	2'559'259	1'138'273	<i>Carex elata</i> , <i>Carex paniculata</i> , <i>Phragmites australis</i>
PP - Prairie	2'558'505	1'138'351	<i>Cynosurus cristatus</i> , <i>Holcus lanatus</i> , <i>Plantago lanceolata</i>
PR – Pseudo-roselière	2'559'155	1'138'429	<i>Carex elata</i> , <i>Phragmites australis</i>
FP – Forêt à préles	2'558'789	1'138'435	<i>Alnus glutinosa</i> , <i>Equisetum hyemale</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Quercus robur</i>
FH – Forêt humide	2'559'352	1'138'266	<i>Alnus glutinosa</i> , <i>Carex elata</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Populus nigra</i> aggr., <i>Quercus robur</i>

la diversité de la composition des assemblages de syrphidés entre échantillons, stations et dates. Elles ont été complétées par des analyses inter-classes permettant de quantifier et de tester la significativité des différences entre stations ou dates (tests de Monte-Carlo). Les coordonnées factorielles des stations issues de ces AFC ont été analysées en relation avec les dates, afin de déceler d'éventuelles tendances temporelles significatives. Ces analyses ont été réalisées avec la librairie *ade4*, conformément aux pratiques développées par THIOULOUSE *et al.* (2018). L'identification d'espèces caractéristiques de groupes de stations a été menée avec la librairie *indicspecies* (DE CACERES & LEGENDRE 2009). Dans cette approche, la valeur indicatrice (VI_{ij}) d'une espèce *i* pour un groupe *j* d'échantillons est calculée par : $VI_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$, avec A_{ij} : l'abondance moyenne de l'espèce *i* dans le groupe *j* et B_{ij} : la fréquence relative de l'espèce *i* dans le groupe *j* (DUFRÈNE & LEGENDRE, 1997). Des tests de corrélation de Spearman ont été employés pour tester des corrélations linéaires et des tests du chi-carré pour comparer des distributions entre variables catégorielles (années et stations). Trois informations relatives aux espèces de syrphidés ont été extraites de la base de données *StN* afin de compléter les analyses taxonomiques : i) l'identification des espèces dont les larves sont associées à des microhabitats aquatiques ou très humides (associées aux catégories « plantes aquatiques », « sédiments submergés » et « sols saturés d'eau ») ; ii) l'identification des espèces dont les larves sont saproxylophages, c'est-à-dire associées principalement au bois mort ou à des faciès de sénescence sur de vieux arbres, iii) l'identification des espèces dont la durée de développement des phases pré-imaginales est longue (supérieure à un an). L'examen de l'abondance relative de ces groupes d'espèces au cours du temps est apparu pertinent vis-à-vis de l'assèchement potentiel des habitats dans un contexte de changements climatiques.

Dans la plupart des cas, des approches ne dépendant pas fortement des abondances absolues échantillonnées ont été privilégiées (richesse raréfiée, prise en compte des abondances relatives comme dans les AFC), compte tenu des durées d'échantillonnage variables entre dates et du caractère très fluctuant des abondances mesurées par les pièges Malaise, en lien notamment avec la météorologie des périodes de piégeage.

Les calculs et représentations graphiques associés à cette partie des analyses ont été réalisés avec le logiciel R version 4.0.3 (R CORE TEAM 2020).

L'évaluation de l'intégrité écologique du site a été menée selon la méthode *StN* qui permet d'évaluer la qualité écologique des milieux échantillonnés (SPEIGHT *et al.* 2017) en confrontant une liste d'espèces prédites pour un site à la liste des espèces qui y sont observées. Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une base de données, en format Excel, où est codée l'association des espèces avec leurs habitats, leurs microhabitats larvaires, des traits écologiques et biologiques ainsi que des informations supplémentaires diverses comme par exemple des statuts de menace (SPEIGHT *et al.* 2020a). L'analyse a été réalisée dans R (R CORE TEAM 2020) à l'aide d'un script développé par Lisa Fisler (infofauna – CSCF).

La démarche consiste à prédire dans un premier temps une liste des espèces attendues pour le site des Grangettes en fonction (i) de la liste des espèces régionales (canton de Vaud) et (ii) des milieux présents. La liste de Syrphidae du canton de Vaud de PÉTREMAND *et al.* (2021b) a été utilisée en ne gardant que les espèces présentes dans la liste des espèces suisses de basse altitude « Lowland » de *StN* (SPEIGHT *et al.* 2020a). Les milieux présents sur le site sont listés dans le tableau 1 avec leur code *StN*. Certains milieux possèdent des habitats supplémentaires qui activent la prédiction d'espèces qui leur sont associées. Dans un deuxième temps, pour chaque milieu et pour le site dans son ensemble la liste des espèces prédites est confrontée à la liste des espèces observées. Le pourcentage des espèces prédites qui ont été observées constitue l'*intégrité écologique*. Elle peut être calculée à l'échelle du site entier, d'un habitat particulier, d'un microhabitat larvaire ou d'un trait écologique ou biologique (selon SPEIGHT *et al.* 2020a). L'*intégrité écologique* est qualifiée à partir d'une grille d'évaluation (tableau 4). Les espèces manquantes (prédites n'ayant pas été observées) sont analysées pour tenter de détecter l'origine de leur absence qui pourrait se traduire par un déficit écologique dans le milieu étudié. Le rapport entre le nombre d'espèces prédites effectivement observées et le nombre total d'espèces observées donne également un indice de qualité de la description du site en fonction des habitats choisis. Cet indice s'évalue de même à l'aide du tableau 4. Si l'indice de qualité de la description est jugé faible cela signifie qu'il y a une proportion trop élevée d'espèces inattendues (observées, non-prédites) et qu'il faut dès lors réviser la liste des habitats pris en considération. Les espèces inattendues peuvent à ce titre renseigner par exemple sur les habitats présents dans un périmètre s'étendant au-delà de la zone étudiée.

Pour cette analyse, nous avons considéré la totalité des espèces observées sur le site d'étude, c'est-à-dire d'après les trois ensembles de données décrits au chapitre précédent.

RÉSULTATS

Abondances et richesses spécifiques

Durant les 17 années d'échantillonnage et en incluant les années complètes 1995 et 2008, tous milieux confondus, ce sont 7785 individus appartenant à 104 espèces qui ont été collectés dans les pièges Malaise (tableau 5). *Neoascia tenur* représente à elle seule près de 30 % des captures. Trois espèces également associées aux milieux humides (*Helophilus pendulus*, *Neoascia meticulousa* et *Chalcosyrphus nemorum*) et une espèce forestière (*Xylota segnis*) représentent un deuxième tiers des effectifs. Les chasses à vue au filet entomologique ont permis d'inventorier

71 espèces dont 33 supplémentaires. La richesse totale observée dans la zone d'étude pendant la période 1994-2010 est donc de 137 espèces.

Durant les travaux pratiques, les richesses et les abondances varient fortement d'une année à l'autre (tableau 2). Les richesses cumulées des cinq pièges Malaise se situent entre 15 (année 2009) et 50 (année 2006) espèces et les abondances entre 42 (année 2010) et 553 (année 2007) individus. Sur des durées d'échantillonnages très courtes (2-3 semaines), il existe donc une très forte variabilité interannuelle.

Durant les années d'échantillonnage long en 1995 et 2008, ce sont respectivement 62 et 61 espèces qui ont été collectées sur la période commune à ces deux séries (24 mai – 14 septembre en 1995, 23 mai – 13 septembre en 2008) avec un effort d'échantillonnage similaire. En 2008, 20 % des espèces collectées n'avaient pas été observées en 1995 et 25 % des espèces collectées en 1995 n'ont pas été retrouvées en 2008. Ces proportions illustrent une variabilité interannuelle importante des assemblages syrphidologiques piégés. En 1995, trois fois plus de spécimens ont été collectés qu'en 2008 avec un effort d'échantillonnage similaire (2 582 contre 905 individus, respectivement). Ce résultat indique soit une grande variabilité interannuelle des effectifs, soit une diminution importante des effectifs au fil du temps qui sépare ces échantillonnages.

Espèces remarquables

Une liste des espèces emblématiques a été dressée (tableau 6) en prenant en compte un statut de fréquence rare à très rare en Suisse (MAIBACH *et al.* 1992 ; adapté pour les espèces non mentionnées dans cette liste). Cette liste comporte 32 espèces parmi lesquelles 27 sont considérées en Suisse comme « menacées » par SPEIGHT *et al.* (2020a). Presque deux tiers sont des espèces forestières (19 espèces) et parmi elles dix sont des espèces saproxyliques dépendantes de la présence d'arbres sénescents ou de bois mort. Certaines espèces très rares vivent principalement dans les forêts alluviales, c'est le cas par exemple de *Sphiximorpha subsessilis* (figure 2, à gauche) ou de *Xylota abiens*. Dix espèces sont étroitement associées aux milieux humides présents dans la réserve (parvocariçaie, magnocariçaie). Parmi elles, une espèce très rare en Suisse, *Microdon myrmicae*, vit en association avec une fourmi, *Myrmica scabrinodis*, qui niche dans les touradons formés par les lâches (*Carex* spp.) ou les amas de mousses (SPEIGHT & SOMMAGGIO 2010). Finalement trois espèces sont dépendantes des milieux prairiaux dont deux sont spé-

Tableau 4. Classes de pourcentage utilisées pour l'évaluation des intégrités et de la qualité de la description du site (selon VANHAPPELGHEM *et al.* 2020).

Classe	Intégrité / Qualité du modèle
[0-20%]	Très faible
[21-40%]	Faible
[41-50%]	Moyenne
[51-75%]	Bonne
[76-85%]	Très bonne
[86-100%]	Excellente

Tableau 5. Les différents échantillonnages de syrphidés dans la réserve des Grangettes avec les richesses et abondances observées.

Échantillonnages	Richesse	Richesse propre	Abondance
TPs 1994-2010 (printemps)	87	13	3972
1995 (mai-novembre)	65	6	2720
2008 (mai-septembre)	62	7	1093
Filet 1995-1996	71	33	-
Total	137		7785

Tableau 6. Espèces rares (R) à très rares (TR) en Suisse d'après MAIBACH et al. (1992 ; adapté pour les espèces non répertoriées dans cette liste) recensées dans la réserve des Grangettes (1994-2010). Statut de menace en Suisse et en Europe continentale (M=menacé, D=en déclin ; si les deux statuts sont indiqués l'espèce possède un statut intermédiaire) codés « 2 » et « 3 » dans SPEIGHT et al. (2020a) et catégories de milieux auxquelles les espèces sont associées préférentiellement (Hum = humides, Pr = prairiaux, F = forestiers, F-sap = espèce forestière saproxylique). En gras les espèces très rares et menacées en Suisse.

Espèces	Abondance	Fréquence en Suisse	Statut de menace				Milieux associés
			Suisse		Europe cont.		
			M	D	M	D	
<i>Anasimyia contracta</i> Claussen & Torp, 1980	20	R	x			x	Hum
<i>Brachyopa insensilis</i> Collin, 1939	1	TR		x		x	F-sap
<i>Brachyopa pilosa</i> Collin, 1939	2	TR	x	x		x	F-sap
<i>Brachypalpus laphriformis</i> (Fallen), 1816	9	R	x			x	F-sap
<i>Caliprobola speciosa</i> (Rossi), 1790	10	R	x	x		x	F-sap
<i>Cheilosia albipila</i> Meigen, 1838	1	TR	x			x	F
<i>Cheilosia carbonaria</i> Egger, 1860	1	R	x	x		x	F
<i>Chrysogaster rondanii</i> Maibach & Goeldlin, 1995	1	TR	x		x		F
<i>Chrysotoxum verralli</i> Collin, 1940	12	R	x			x	Pr
<i>Criorhina asilica</i> (Fallen), 1816	2	R	x			x	F-sap
<i>Didea intermedia</i> Loew, 1854	1	R		x			F
<i>Melanogaster hirtella</i> (Loew), 1843	6	R	x	x			Hum
<i>Microdon analis</i> (Macquart), 1842	31	R		x		x	F
<i>Microdon myrmicae</i> Schönrogge et al, 2002	53	TR	x		x	x	Hum
<i>Orthonevra brevicornis</i> Loew, 1843	4	R	x			x	Hum
<i>Orthonevra geniculata</i> (Meigen), 1830	1	R	x			x	Hum
<i>Parhelophilus frutetorum</i> (Fabricius), 1775	170	R	x			x	Hum
<i>Parhelophilus versicolor</i> (Fabricius), 1794	9	R	x				Hum
<i>Platycheirus discimanus</i> (Loew), 1871	1	TR	x	x		x	F
<i>Pyrophaena rosarum</i> (Fabricius), 1787	3	R	x				Pr
<i>Rhingia borealis</i> Ringdahl, 1928	1	R		x		x	Hum
<i>Scaeva dignota</i> (Rondani, 1857)	1	TR	x				F
<i>Sericomyia superbiens</i> (Muller), 1776	1	R	x			x	Hum
<i>Sphaerophoria chongjini</i> Bankowska, 1964	5	TR	x			x	Pr
<i>Sphegina elegans</i> Schummel, 1843	1	R	x				F-sap
<i>Sphegina sphegina</i> (Zetterstedt), 1838	1	R	x		x		F
<i>Sphiximorpha subsessilis</i> (Illiger in Rossi), 1807	3	TR	x			x	F-sap
<i>Trichopsomyia flavitarsis</i> (Meigen), 1822	5	R	x			x	Hum
<i>Xanthogramma laetum</i> (Fabricius), 1794	30	TR	x			x	F
<i>Xylota abiens</i> Meigen, 1822	23	TR	x			x	F-sap
<i>Xylota tarda</i> Meigen, 1822	9	TR	x			x	F-sap
<i>Xylota xanthocnema</i> Collin, 1939	1	R		x			F-sap
Totaux	419	12	27	10	3	23	



Figure 2. Portraits de deux Syrphidés saproxyliques très rares en Suisse échantillonnés dans la réserve des Grangettes (1994 – 2010). À gauche: *Sphiximorpha subsessilis*, mâle. À droite: *Brachyopa insensilis*, mâle (Photos: Pascal Marti 2021).

cifiquement associées aux prairies humides: *Sphaerophoria chongjini* et *Pyrophaena rosarum*. Les Grangettes sont pour certaines espèces un des rares sites connus confirmant leur présence en Suisse. C'est le cas par exemple de *Brachyopa insensilis* (figure 2, à droite), *Brachyopa pilosa*, *Sphaerophoria chongjini* ou *Scaeva dignota*. La plupart de ces espèces emblématiques sont considérées comme « en déclin » en Europe continentale par SPEIGHT *et al.* (2020a). *Chrysogaster rondanii*, *Microdon myrmicae* et *Sphegina sphegina* y sont même considérées comme « menacées ». Des informations complémentaires sur la biologie et l'écologie des espèces mentionnées dans le tableau 6 peuvent être obtenues dans SPEIGHT *et al.* (2020a).

Variabilité entre stations

L'analyse des données longitudinales 1994-2010 et celle des données de comparaison des deux années 1995 et 2008 conduisent à la même image des différences de composition spécifiques entre stations (figure 3). Les assemblages de syrphes échantillonnés décrivent un gradient de changement d'espèces depuis les cariçaies (MC, PC) jusqu'aux forêts (FH, FP), les espèces récoltées dans la prairie (PP) occupant une position centrale dans ce gradient. Cette structure spatiale explique de façon significative (test de Monte-Carlo, $p = 0,001$), 18 % de la variabilité totale de la composition spécifique entre échantillons. Les espèces les plus caractéristiques des échantillons des cariçaies sont *Neoascia meticulosa* et *Microdon devius*, celles des forêts sont *Temnostoma vespiforme*, *Myathropa florea*, *Eristalis pertinax* et *Brachypalpoides lentus*. La prairie possède des espèces caractéristiques propres comme *Cheilosia albitarsis*, *Melanostoma mellinum*, *Eumerus funeralis*, *Eupeodes latifasciatus* et *Platycheirus clypeatus*, mais elle en partage également avec les cariçaies (*Neoascia tenur*, *Platycheirus fulviventrus*, *Platycheirus occultus*, *Sphaerophoria scripta*, *Microdon analis*), ainsi qu'avec les forêts (*Helophilus pendulus*, *Episyrphus balteatus*, *Meliscaeva auricollis*).

Les données longitudinales 1994-2010, regroupées en trois catégories de stations, montrent que ce sont les pièges forestiers qui ont produit les richesses observées et raréfiées les plus élevées (tableau 7).

Variabilité temporelle

La description des modifications temporelles des assemblages de Syrphidae a été menée séparément, d'une part sur les données obtenues de 1995 et 2008 qui couvrent une longue période

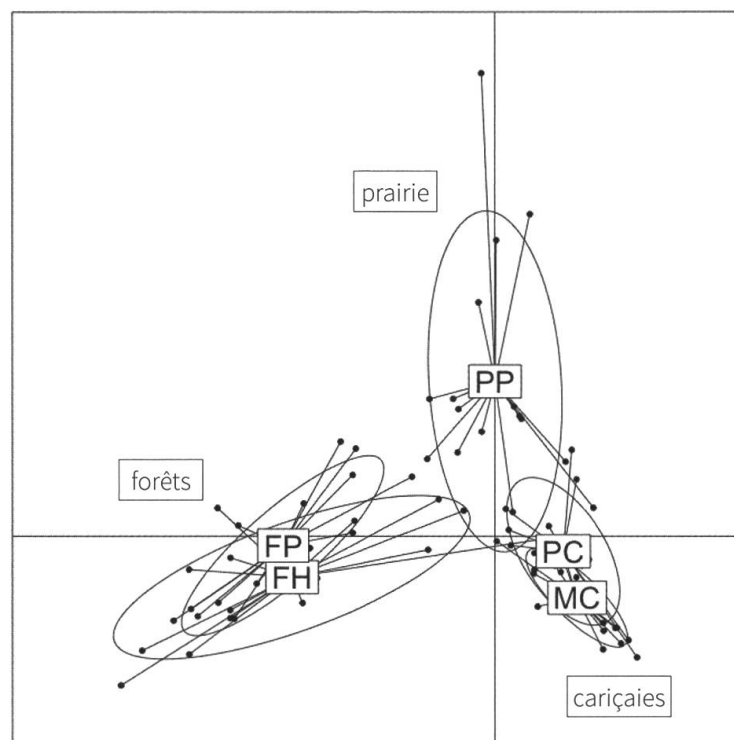


Figure 3. Ordination de 80 échantillons de Diptères Syrphidae prélevés au printemps dans cinq stations de la réserve des Grangettes de 1994 à 2010. Analyse Factorielle des Correspondances des abondances de 87 espèces de Syrphidae collectées durant les travaux pratiques. Chaque point est un échantillon appartenant à une station et une période de prélèvement. Les points appartenant à une même station sont résumés par une ellipse. Les axes horizontaux et verticaux expliquent respectivement 13 % et 8 % de la variabilité totale de la composition spécifique entre points. FH = forêt humide, FP = forêt à préle, MC = magnocariçaie, PC = parvocariçaie, PP = prairie.

de vol, d'autre part sur les données longitudinales 1994 – 2010 qui offrent une chronique temporelle « longue » mais pour une période de capture printanière relativement brève.

L'analyse du premier jeu de données qui combine 1995 et 2008 (figure 4A) révèle une structure spatiale identique à celle obtenue précédemment (figure 3). La variabilité de composition spécifique entre stations représente 66 % de la variabilité faunistique totale de façon significative (test de Monte-Carlo, $p = 0,006$). La variabilité entre stations est beaucoup plus importante que celle qui se manifeste entre les deux années (9 % de la variabilité) qui ne sont pas significatives (test de Monte-Carlo, $p = 0,54$). Par ailleurs, la diversité spécifique entre stations ne change pas entre les deux années (ANOVA entre années sur les dissimilarités entre stations, $F = 0,309$, $p = 0,59$). Si les richesses observées par station chutent pour quatre d'entre

Tableau 7. Richesse totale observée et richesse raréfiée pour 800 individus calculées pour le regroupement en trois catégories de milieux des 80 échantillons de Diptères Syrphidae prélevés au printemps dans cinq stations de la réserve des Grangettes de 1994 à 2010.

	Richesses totales observées	Richesses raréfiées pour 800 individus et leur intervalle de confiance à 95 %
Forêts	64	57,8 (53,6 – 62,0)
Prairie	56	55,2 (53,6 – 56,9)
Cariçaies	59	46,7 (41,5 – 51,8)

elles entre les deux années (la richesse de la station FH restant constante), la standardisation des richesses pour 40 individus ne montre aucune baisse significative pour ces stations. Seule la richesse raréfiée de la station FH augmente significativement entre 1995 et 2008 (figure 4B). L'examen des traits écologiques (figure 4C et 4D) montre une baisse significative entre les deux années des abondances relatives des espèces à larves associées aux plantes aquatiques (dans les cariçaies, test du Chi-carré, $\chi^2 = 10,58$, $p = 0,001$) et associées aux sols saturés d'eau (dans les forêts et les cariçaies, test du Chi-carré, $\chi^2 = 19,48$, $p = 0,0002$). Les deux autres traits biologiques analysés (espèces à larves saproxylophages et espèces à long développement larvaire) ne montrent pas de changements significatifs entre les deux années.

L'analyse de la chronique temporelle « longue » (1994 – 2010) montre un effet temporel significatif avec 23 % de la variabilité de la composition spécifique associée aux différences entre années (test de Monte-Carlo, $p = 0,02$). Toutefois, l'examen de la trajectoire temporelle du changement global des 5 stations ne montre aucune tendance régulière au fil du temps (figure 5A), mais plutôt des fluctuations irrégulières. Dans cette analyse, un examen séparé des trajectoires temporelles des stations ne révèle une relation linéaire positive et significative que

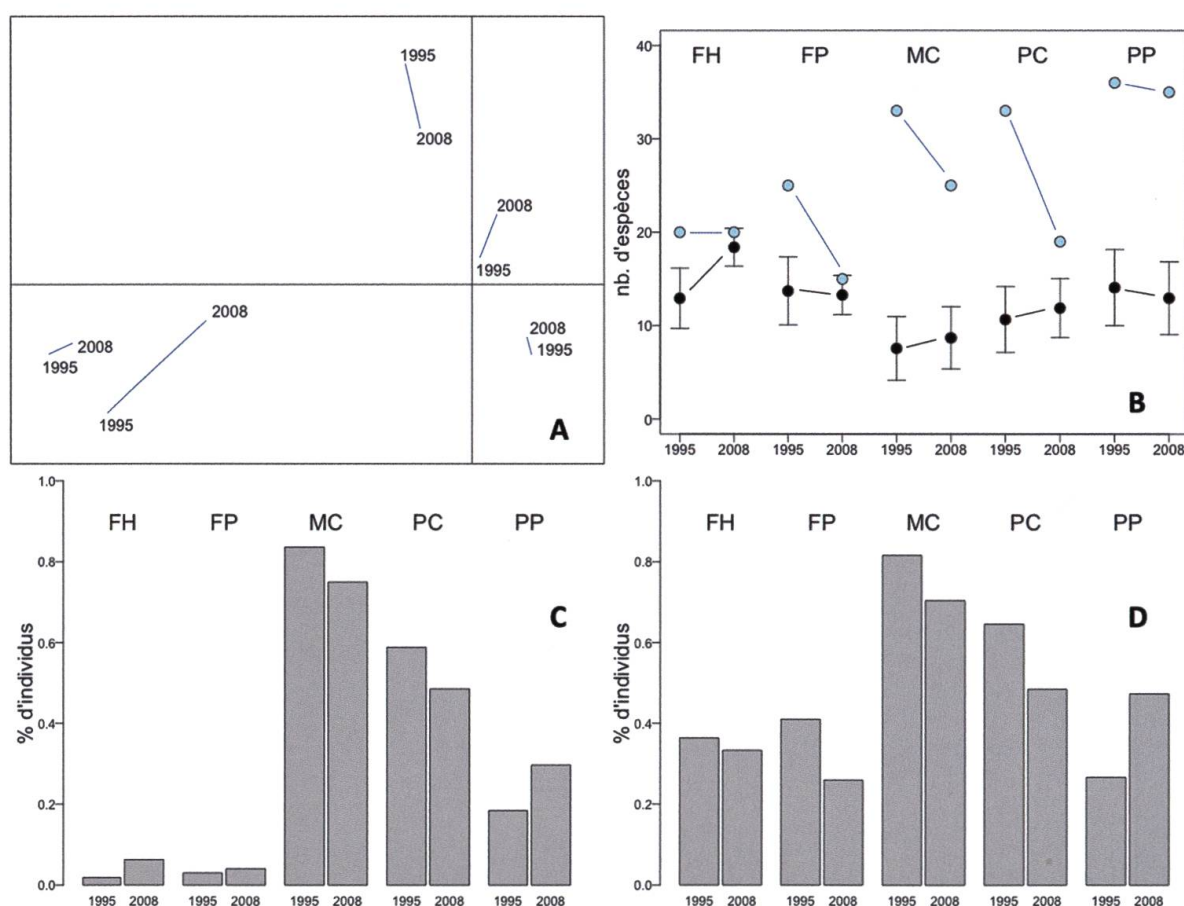


Figure 4. Comparaison des années 1995 et 2008 pour cinq stations de la réserve des Grangettes. A: ordination des cinq stations pour les deux années (Analyse Factorielle des Correspondance des abondances de 77 espèces (total de 1995 et 2008 cumulé) de Syrphidae (axe horizontal - 34 %, axe vertical - 18 % de la variabilité). B: Richesses totales observées (cercles bleus) et richesses raréfiées pour 40 individus (cercles noirs et leur intervalle de confiance à 95 %) pour les cinq stations. C et D: abondances relatives des individus appartenant à des espèces à larves associées aux plantes aquatiques (C) et aux sols saturés d'eau (D), selon la base de données StN. FH = forêt humide, FP = forêt à prêle, MC = magnocariçaie, PC = parvocariçaie, PP = prairie.

dans le cas de la station forestière FP (rho de Spearman = 0,56, $p = 0,03$) (figure 5B). Pour l'autre station forestière, FH, il ne s'agit que d'une tendance non significative au seuil 5 % (rho de Spearman = 0,48, $p = 0,06$). Les abondances relatives de trois espèces fréquentes dans les stations forestières, montrent des tendances contrastées au cours du temps : baisse d'*H. pendulus* (rho de Spearman = -0,51, $p = 0,048$) et *E. pertinax* (rho de Spearman = -0,46, $p = 0,07$), augmentation de *P. frutetorum* (rho de Spearman = 0,6, $p = 0,01$) (figure 5D à F). Ces trois espèces possèdent des larves aquatiques ou associées à des substrats gorgés d'eau. Comme dans la comparaison des années 1995 et 2008, l'abondance relative des espèces à larves associées à un sol gorgé d'eau décroît au cours du temps (rho de Spearman = -0,58, $p = 0,02$) (figure 5C). La richesse totale observée par année (rho de Spearman = 0,02, $p = 0,93$), la richesse raréfiée par année (rho de Spearman = 0,2, $p = 0,46$) et la diversité entre stations (rho de Spearman = -0,38, $p = 0,16$), ne montrent aucune tendance linéaire significative au cours du temps, de même que les autres traits biologiques investigués (espèces à larves aquatiques, espèces saproxylophages et espèces à long développement larvaire). Notons également que les abondances totales échantillonnées dans les cinq pièges, standardisées par jour de capture pour des périodes similaires chaque année, varient de 2 individus/jour en 2010 à 37,6 individus/jours en 2000 (médiane 14,5 individus/jours) et présentent une tendance déclinante au cours des années, mais non significative (rho de Spearman = -0,36, $p = 0,17$).

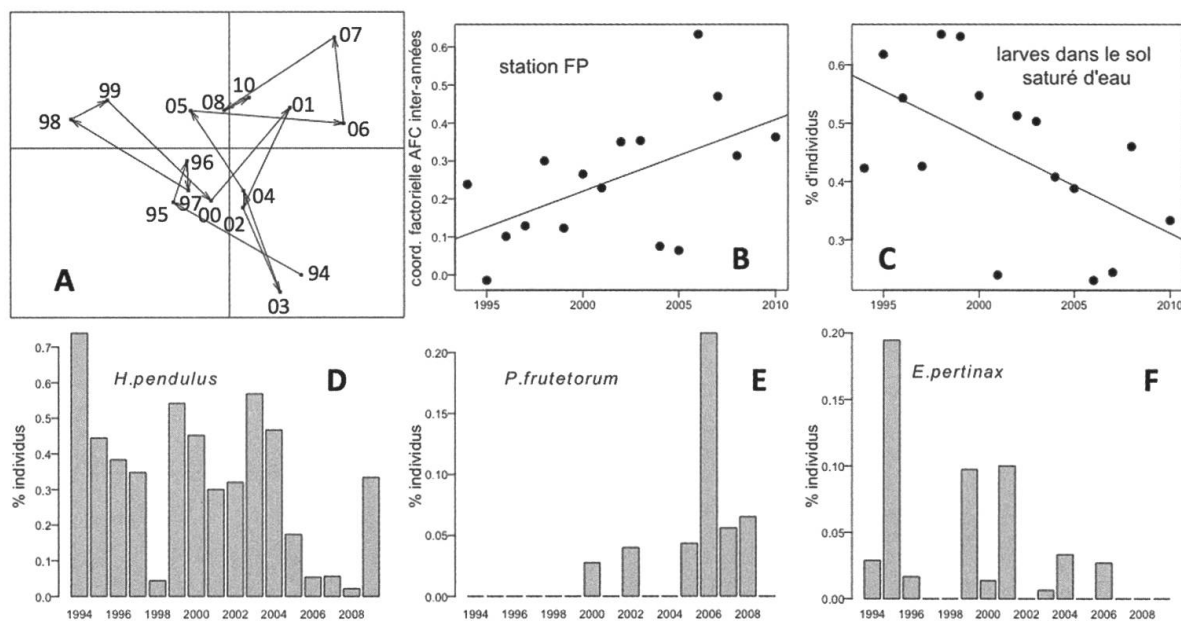


Figure 5. Analyse des données longitudinales 1994-2010 pour cinq stations de la réserve des Grangettes. A: ordination des 16 années d'échantillonnage par une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) inter-années de l'abondance de 87 espèces de Syrphidae (axe horizontal - 19 %, axe vertical - 15 % de la variabilité). B: variations des coordonnées factorielles des échantillons de la station forestière FP (extraites de l'AFC inter-années) en fonction des années. Ces coordonnées traduisent les variations globales de composition taxonomique entre années pour la station choisie. C: changements temporels de l'abondance relative des espèces à larves associées aux sols saturés d'eau selon la base de données StN. D, E, F: changements temporels de l'abondance relative de trois espèces parmi les captures des stations forestières (FH et FP). FP = forêt à prêle, FH = forêt humide, PP = prairie, PC = parvocariçaie, MC = magnocariçaie.

Analyse StN

Qualité de la description des habitats syrphidologiques

L'évaluation de l'intégrité écologique a été menée à partir de l'ensemble de la liste spécifique obtenue sur la période d'étude. Les habitats présents sur le site ainsi que la liste des espèces de basse altitude connues dans le canton de Vaud (PÉTREMAND *et al.* 2021b) conduisent à la prédiction de 130 espèces de syrphes pour les milieux sélectionnés dans la réserve des Grangettes. Parmi elles, 82 espèces ont été observées et 48 sont donc manquantes (tableau 8). Au total, 54 espèces ont été observées dans la réserve et n'ont pas été prédites. La qualité de la description des habitats, prenant en compte la proportion d'espèces inattendues par rapport aux espèces prédites, est de 60 % et peut être jugée comme « bonne ». Ce chiffre, qui n'est cependant pas optimal, est associé à la volonté de ne prendre en considération que les habitats principaux présents dans la zone restreinte couverte par les pièges (dans un rayon d'environ 200 m). Le fait d'avoir inclus dans l'analyse les espèces parfois récoltées au filet dans d'autres sites de la réserve ajoute une part d'espèces inattendues qui sont associées à des habitats absents de la zone couverte par les pièges. Les espèces inattendues renseignent principalement sur les milieux présents au-delà de la zone d'étude considérée. Dans le cadre de cette étude, une analyse détaillée de cette catégorie d'espèces n'a volontairement pas été réalisée, l'étude se focalisant exclusivement sur les habitats prioritaires étudiés dans la zone où les pièges ont été installés.

Intégrité écologique des habitats

L'intégrité écologique du site dans son ensemble est évaluée comme « bonne » (63 %) (tableau 8). Les différents habitats présents dans la réserve ont presque tous une intégrité écologique pouvant également être jugée « bonne », les valeurs se situant entre 51 et 75 % (figure 6). La roselière a toutefois une intégrité écologique légèrement plus faible (< 60%). Seule l'intégrité écologique de la frênaie humide est jugée comme « très bonne » avec une valeur supérieure à 75 %.

Espèces manquantes

Les traits analysés (figure 7) montrent que les espèces saproxyliques sont très bien représentées dans la réserve, les trois-quarts des espèces attendues sont bien présentes et seules cinq espèces sont absentes. Parmi elles, une seule espèce sensible, *Temnostoma apiforme*, est spécifiquement associée aux

Tableau 8. Qualité de la description des habitats du site et intégrité écologique globale. Calculs effectués à partir de l'ensemble des espèces de Syrphidés échantillonnées dans la réserve des Grangettes (1994-2010), d'après la méthode StN (SPEIGHT *et al.* 2017, VANAPPELGHEM *et al.* 2020).

Espèces prédites (EP)	130
Espèces observées (EO)	137
Espèces au rendez-vous (ER)	83
Espèces inattendues (EO-ER)	54
Espèces manquantes (EP-ER)	48
Qualité de la description (ER/EO)	60 % - Bonne
Intégrité écologique (ER/EP)	63 % - Bonne

forêts de zone alluviale. Les autres espèces se retrouvent dans diverses autres formations forestières telles que les hêtraies ou les chênaies. Ce sont en revanche les espèces microphages et phytophages qui sont le moins bien représentées. Chez les microphages manquent notamment des espèces très spécialisées comme *Helophilus hybridus* ou *Parhelophilus consimilis*, aujourd'hui plus fréquemment rencontrées dans les tourbières et marais de montagne. Chez les phytophages manquent certaines espèces d'*Eumerus* (associées aux plantes à bulbes) et de *Cheilosia* (associées à diverses parties des plantes herbacées). La préférence des espèces pour le niveau d'eutrophisation de l'eau, montre que, proportionnellement, beaucoup d'espèces d'eaux oligotrophes n'ont pas été recensées comparative-ment aux espèces d'eaux mésotrophes et eutrophes qui sont très bien représentées (figure 7).

L'analyse des différents microhabitats larvaires aquatiques et terrestres (figure 8) montre quelques points importants : (i) les microhabitats aquatiques ont de bonnes intégrités exceptée la boue humide/vase pour laquelle plus de la moitié des espèces sont manquantes, (ii) dans la zone racinaire les intégrités sont bonnes mêmes si six espèces associées au collet des plantes herbacées sont manquantes, (iii) dans la strate herbacée les espèces phytophages qui minent les feuilles et les tiges sont mal représentées et finalement (iv) les microhabitats liés aux arbres et particulièrement ceux hébergeant des espèces saproxyliques ont de très bonnes intégrités.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Intérêt syrphidologique de la réserve des Grangettes

Les 32 espèces de syrphidés recensées aux Grangettes et considérées comme rares en Suisse, mais aussi, pour certaines, comme « en déclin » voire « menacées » en Europe continentale, illustrent l'intérêt de ce site Ramsar pour la conservation de la biodiversité en Suisse et en Europe. La plupart de ces espèces rares sont associées aux forêts et deux d'entre elles (*Sphiximorpha subsessilis*, *Xylota abiens*) possèdent des larves saproxyliques et sont caractéristiques des forêts alluviales, bien qu'elles puissent se rencontrer dans d'autres types de forêts. Par ailleurs, dix des espèces rares sont associées à des milieux humides comme les cariçaies et deux autres aux prairies humides. Ces douze espèces témoignent de la valeur écologique des milieux humides présents dans la réserve qui permettent, grâce à leur étendue, de préserver des populations importantes d'espèces sensibles

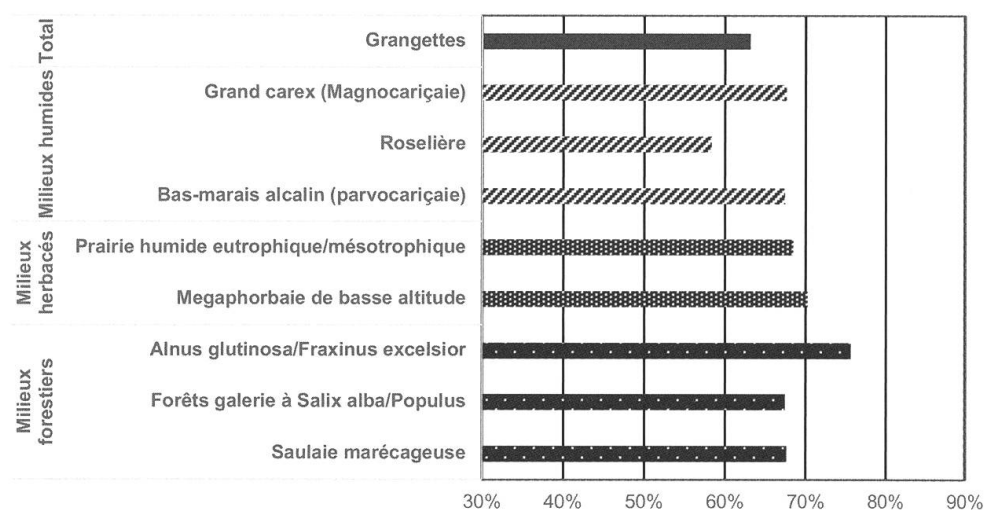


Figure 6. Intégrités écologiques des principaux habitats étudiés dans la réserve des Grangettes (1994-2010).

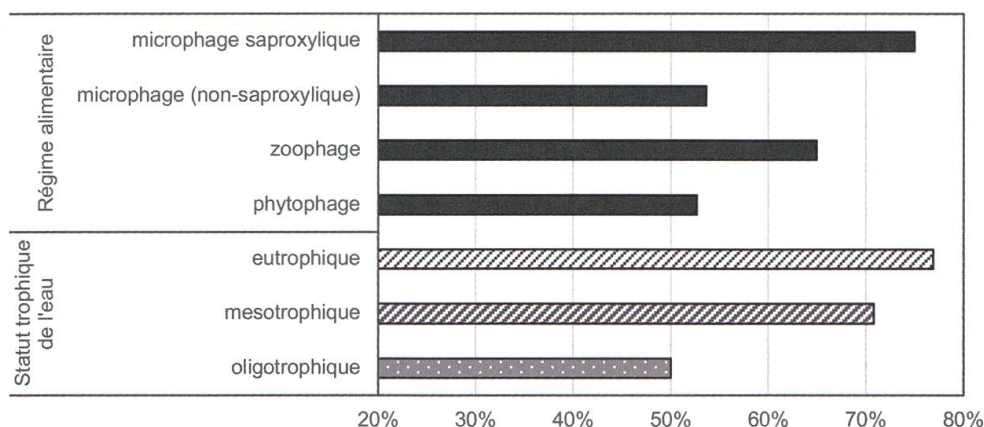


Figure 7. Représentation des régimes alimentaires larvaires et de la préférence larvaire pour le niveau trophique des eaux chez les espèces de syrphidés au rendez-vous (prédites et observées) dans la réserve des Grangettes, 1994-2010.

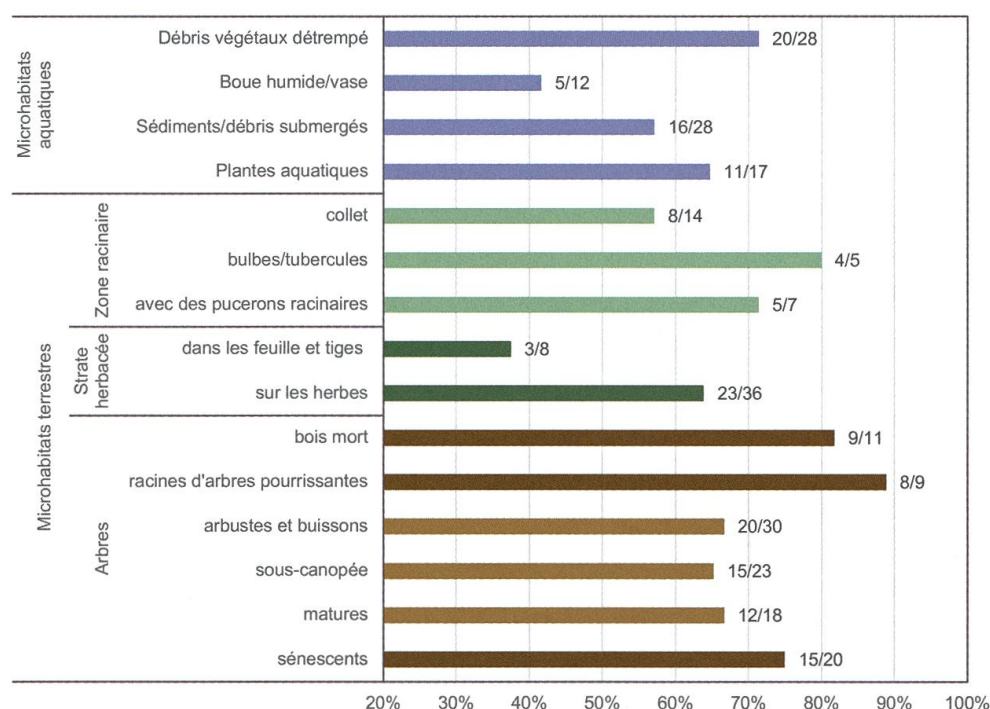


Figure 8. Intégrités écologiques pour une sélection de microhabitats larvaires des syrphidés échantillonnés dans la réserve des Grangettes (1994-2010).

telles qu'*Arctophila superbiens*, *Microdon myrmicae* ou *Orthonevra brevicornis* pour n'en citer que trois. Ce constat rejoint celui déjà émis pour d'autres groupes d'invertébrés tels que les libellules (GATTOLLIAT *et al.* 2015) ou les Orthoptères (SONNAY 2020). Les espèces représentées par un seul individu dans l'échantillonnage ne sont globalement pas des espèces fortement migratrices et ne sont très souvent capturées qu'en faible quantité, certaines espèces ayant par exemple des mœurs arboricoles, leur présence est dès lors difficile à détecter. Il est donc possible de considérer toutes ces espèces comme présentes dans la réserve dans ou au-delà de la zone d'étude.

Le plus énigmatique des syrphidés rencontrés aux Grangettes est probablement *Xanthogramma laetum*. En 2010, plus de spécimens de cette espèce avaient été récoltés aux Grangettes par le passé que dans l'ensemble de la Suisse. Par la suite, un très grand nombre

de spécimens ont également été collectés dans les réserves de la Grande Cariçaie (FISLER *et al.* 2021). Malheureusement les informations disponibles sur la biologie larvaire de l'espèce demeurent confuses mais seraient très utiles. Les captures nombreuses aux Grangettes et à la Grande Cariçaie ne fournissent pas d'indications précises sur les habitats de cette espèce rare en Suisse et en Europe. Des investigations plus ciblées seraient nécessaires pour mieux comprendre sa biologie et les deux réserves précitées seraient des sites d'études de choix.

Quels changements temporels dans la zone d'étude ?

Les analyses menées ici ne font apparaître aucun effet temporel majeur durant la période échantillonnée. Ni les abondances, ni les richesses spécifiques, ni la composition des assemblages échantillonnés ne présentent de changement tendanciel significatif au cours du temps, rejoignant ainsi les constatations faites par SONNAY (2020) pour les Orthoptères des Grangettes. L'image est plutôt celle de fortes fluctuations interannuelles, un aspect classique dans le suivi temporel de peuplements d'insectes, qui rend leur analyse complexe (WIDMER *et al.* 2021). Au-delà de cet examen global, certains indices peuvent néanmoins être détectés à l'aide des informations écologiques disponibles sur les espèces. Ils sont conformes au diagnostic établi dans l'analyse de l'intégrité des habitats et microhabitats larvaires et mettent en avant une tendance à la baisse de la représentation d'espèces dont les larves sont associées aux microhabitats humides du sol ou des plantes aquatiques.

Intégrité écologique des habitats évaluée à l'aide des assemblages de syrphidés

Globalement les intégrités écologiques des milieux considérés peuvent être considérées comme bonnes selon la méthode *StV* et les seuils d'interprétation proposés par VANHAPPELGHEM *et al.* (2020). L'intégrité de la frênaie humide est même très bonne, témoignant du bon état écologique de ce milieu qui ne nécessite pas *a priori* de mesures de gestion particulières. L'analyse des caractéristiques écologiques larvaires montre : (i) l'excellente représentation des espèces à larves saproxyliques, (ii) un déficit en espèces dont les larves sont associées à des eaux oligotrophes. L'observation de nombreuses espèces saproxyliques attendues témoigne de la bonne disponibilité en habitats dendrolimniques dans la réserve et rejoint certaines des conclusions de CHITTARO & SANCHEZ (2016) sur le bon état de certains boisements pour les espèces saproxylophages. La faible représentation des espèces dont les larves ne tolèrent pas les eaux eutrophes semble témoigner d'un problème d'enrichissement des eaux dans cette zone de la réserve, associé probablement à la présence de terres agricoles et de zones industrielles en amont du site. La charge potentiellement élevée en nutriments des eaux pourrait notamment expliquer l'absence de certaines espèces attendues dont les larves y sont très sensibles, telles qu'*Anasimyia transfuga*, *Helophilus hybridus*, *Melanogaster aerea* ou *Eristalis picea*.

L'analyse des microhabitats larvaires montre également l'excellente disponibilité en structures liées au bois mort ou aux arbres sénescents (racines pourrissantes, coulées de sève, dendrotelmes, etc.). Un déficit en espèces à larves associées aux boues et vases humides est notable. Ce microhabitat peut être rapidement affecté par les changements climatiques lors d'assèchements importants des sols, un compartiment également affecté par l'eutrophisation des eaux. Cette analyse montre finalement un léger déficit d'espèces phytophages associées au collet, aux feuilles et aux tiges des plantes herbacées. Ce constat a également été fait sur la base de l'étude des Rhopalocères diurnes dans la réserve (GATTOLLIAT *et al.* 2015).

La syrphifaune des Grangettes comparée à celle d'autres réserves alluviales similaires

Bien qu'effectuées lors d'années différentes, les études des Grangettes peuvent être comparées à celles menées de façon relativement identique dans trois autres réserves naturelles alluviales situées dans la même région biogéographique et dans des contextes assez voisins : le Moulin de Vert au bord du Rhône (canton de Genève, PÉTREMAND *et al.* 2020b), le Delta de la Dranse dans le Léman (Haute-Savoie, SPEIGHT & CASTELLA 2011) et le Bout-du-Lac à l'extrémité sud du lac d'Annecy (Haute-Savoie, SPEIGHT & CASTELLA 2011) (tableau 9). Il est notable que la réserve des Grangettes montre des richesses totales et raréfiées en 1995 et en 2008 plus faibles que les trois autres sites, pour un effort d'échantillonnage similaire et une surface couverte par le dispositif d'échantillonnage équivalente voire inférieure. En revanche le nombre d'individus capturés est similaire aux réserves de la Dranse et du Bout-du-Lac. La réserve du Moulin de Vert apparaît comme ayant une richesse et une abondance presque deux fois supérieures à celles des Grangettes pour une surface étudiée équivalente. Le caractère très diversifié des habitats dans les autres réserves, où l'on trouve notamment encore des milieux secs caractéristiques des zones alluviales, peut en partie expliquer les différences observées du point de vue de la richesse spécifique. En dépit de ces différences de richesse spécifique, les intégrités écologiques évaluées par la méthode *StN* se révèlent extrêmement proches et atteignent même leur maximum aux Grangettes. Toutefois, l'échantillonnage d'autres zones au sein de la réserve naturelle des Grangettes, apporterait sans aucun doute de nouvelles espèces à la liste obtenue au cours des années d'étude considérées ici.

Considérations sur les méthodes d'échantillonnage

Les données mises à disposition dans cette étude peuvent avoir une portée méthodologique en montrant la complémentarité des deux méthodes d'échantillonnage utilisées dans la perspective de l'établissement d'un inventaire d'espèces de syrphidés. La chasse à vue au filet a permis d'inventorier environ un tiers d'espèces supplémentaires. Les pièges Malaise

Tableau 9. Comparaisons des richesses en syrphidés mesurées dans la réserve des Grangettes en 1995 et 2008, avec des mesures effectuées à des périodes annuelles comparables dans trois autres réserves alluviales d'altitudes proches. 1: la présente étude, 2: SPEIGHT & CASTELLA (2011), 3: PÉTREMAND *et al.* (2020b).

	Nb. de pièges Malaise	Périodes de capture	Altitude	Surfaces inventoriées (hectares)	Richesses et abondances observées	Richesses pour 600 individus et leur intervalle de confiance à 95 %	Intégrités écologiques (méthode <i>StN</i>) et leur source
Grangettes 1995	6	24.V – 19.VII	370 m	25	52 (1146)	43.5 (39-48)	63 % (bonne) ¹
Grangettes 2008	5	8.V – 19.VII			52 (649)	50.5 (48,3-52,8)	
Bout-du-Lac 2009	5	15.V – 17.VII	470 m	84.5	76 (873)	68.2 (63,6-72,8)	51 % (bonne) ²
Delta de la Dranse 2009	5	15.V – 17.VII	370 m	52	75 (1041)	63.4 (58,3-68,6)	60 % (bonne) ²
Moulin-de-Vert 2019	5	9.V – 17.VII	350 m	28	99 (1752)	71.7 (64,7-78,7)	59 % (bonne) ³

ont ainsi produit les deux tiers des espèces connues de la réserve dont la moitié a également été collectée au filet. Il est donc recommandé de coupler les deux méthodes dans l'analyse d'un site. Soulignons toutefois que le placement des pièges Malaise est un point d'importance. Leur positionnement perpendiculaire aux lignes de vol des insectes (haies, lisières, chemins, canaux) est un moyen de maximiser les captures dans un objectif d'inventaire. Un tel positionnement n'a pas été adopté dans l'étude des Grangettes et pourrait expliquer les différences observées avec les trois autres réserves naturelles où le choix d'un tel positionnement avait été privilégié. Ce constat rejoint d'ailleurs celui fait par MARITANO & SOMMAGGIO (2020), pour un inventaire des Syrphidae au Nord de l'Italie, qui montrent également la faible efficacité d'un piège Malaise en sous-bois en comparaison avec des sessions standardisées de chasse à vue au filet. Enfin, le niveau de fluctuation interannuel observé milite pour la nécessité d'effectuer des piégeages sur plusieurs années pour optimiser la fiabilité des résultats, comme cela a été suggéré par FISLER *et al.* (2021).

Grâce aux connaissances aujourd'hui disponibles sur la syrphifaune vaudoise (PÉTREMAND *et al.* 2021b), qui fournit une base solide pour la prédiction d'une liste d'espèce, l'effort d'échantillonnage déployé aux Grangettes, bien que surdimensionné, a permis d'évaluer de manière fiable la biodiversité potentiellement hébergée par les habitats échantillonnés par les pièges Malaise. Toutefois, le présent inventaire ne couvrant qu'une petite partie de la réserve, il ne permet ni d'évaluer les habitats qui n'étaient pas explicitement échantillonnés ici, ni de fournir un inventaire exhaustif des Syrphidés de la réserve des Grangettes. Afin de compléter l'inventaire de la réserve, il conviendrait d'effectuer des échantillonnages dans d'autres secteurs de celle-ci, ainsi que dans d'autres habitats tel que la roselière lacustre (*Phragmition*), les prairies à Molinie (*Molinion*), les prairies et friches marécageuses (*Calthion*, *Filipendulion*) ou encore les prairies sèches et la hêtraie.

D'après les résultats généraux obtenus, il est possible d'émettre certaines recommandations de bonnes pratiques de gestion focalisées sur les Syrphidés, telles que: (i) maintenir les boisements actuels avec une part importante d'arbres âgés montrant des signes de sénescence avancée et veiller à leur pérennité à long terme, (ii) tendre à diminuer la charge en nutriments des eaux drainées à l'intérieur de la réserve par des mesures spécifiques, notamment auprès des exploitants agricoles, (iii) maintenir au mieux la diversité végétale des cariçaies et empêcher la croissance de la forêt au détriment de ces habitats sensibles.

Dans des cas de figure spécifiques, les Syrphidés pourraient être utilisés pour évaluer l'efficacité de mesures de gestion, en particulier dans les milieux humides sensibles étudiés dans cet article (magnocariçaie, parvocariçaie) mais également les roselières, les différentes prairies ou, à plus long terme, les forêts (FISLER & GANDER 2021).

Nous espérons que les données obtenues aux Grangettes il y a plus d'une décennie pourront servir d'éléments comparatifs à des études futures de ce site, mais aussi d'autres réserves naturelles du même type. Elles pourraient également faire l'objet d'autres types d'analyses comme leur mise en relation avec les paramètres météorologiques des périodes de capture, ainsi qu'avec l'hydrologie du lac, dont le niveau est abaissé lors des années bissextiles. Par ailleurs, les deux années de suivi annuel, 1995 et 2008, pourraient constituer des chroniques de référence pour une comparaison avec la phénologie actuelle des espèces et sa potentielle évolution.

REMERCIEMENTS

Nous dédions cet article à la mémoire du regretté Dr Jean-Louis Moret, conservateur au Jardin Botanique de Lausanne qui, avec constance, bienveillance et bonne humeur a encadré l'atelier botanique des « Travaux Pratiques des Grangettes ». Nous remercions M. Olivier Epars, gestionnaire de la réserve, qui a participé chaque année au montage des pièges, veillé sur eux et assuré leur relevé. Un nombre important, quoiqu'indéfini, d'étudiant.es en master des universités de Genève et Lausanne ont contribué à l'acquisition des données présentées ici, grâce à leur participation aux travaux pratiques qui leur offraient un contact avec les Diptères Syrphidae. Qu'ils et elles soient ici remercié.es. Notre gratitude va également à la Direction Générale de l'Environnement du canton de Vaud qui a délivré les autorisations de piégeage, ainsi qu'aux universités de Lausanne et Genève qui ont rendu ces Travaux Pratiques possibles. Nous remercions Anouk Athanasiades pour le relevé du matériel stocké dans les collections du Musée de Zoologie de Lausanne, ainsi que Jean-Luc Gattolliat et Lisa Fisler pour leurs précieux commentaires qui ont permis d'améliorer considérablement cet article. Finalement, merci à Pascal Marti pour ses magnifiques photographies de syrphes.

BIBLIOGRAPHIE

- CHITTARO Y. & SANCHEZ A., 2018. Etude des Coléoptères saproxyliques et Carabidés de la réserve des Grangettes (VD). Fondation des Grangettes, rapport interne, 18p.
- CROSSLEY M.S., MEIER A.R., BALDWIN E. M., BERRY L.L., CRENSHAW L.C., HARTMAN G.L., LAGOS-KUTZ D., NICHOLS D.H., PATEL K., VARRIANO S., SNYDER W.E. & MORAN M.D., 2020. No net insect abundance and diversity declines across US Long Term Ecological Research sites. *Nature Ecology & Evolution* 4: 1368-1376.
- DE CARERES M. & LEGENDRE P., 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90: 3566-3574.
- DELARZE R., 1996. Les Orthoptères des Grangettes (Noville, Vaud, CH) et leur distribution dans le site marécageux. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 84(1): 9-17.
- DELARZE R., GONSETH Y., EGGENBERG S. & VUST M., 2015. Guide des milieux naturels de Suisse, 3^e édition. Editions Rossolis, Bussigny, 440 p.
- DUFRENE M. & LEGENDRE P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- FISLER L. & SPEIGHT M. C. D., 2020. Quatre nouvelles espèces de Syrphidae (Diptera) pour la Suisse. *Entomo Helvetica* 13: 123-129.
- FISLER L. & GANDER A., 2021. Les syrphes comme indicateurs de la diversité fonctionnelle en forêt. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 172(6) : 380-383.
- FISLER L., GANDER A. & BAUDRAZ M., 2021. Méthode Syrph the Net dans la Grande Cariçaie. Rapport final 2017-2020. Association de la Grande Cariçaie, Cheseaux-Noréaz, 51 pp.
- GATTOLLIAT J.-L., 2000. Aménagement de canal de la Muraz. Suivi des populations de macroinvertébrés. Campagne 1999 et bilan 1995-1999. Fondation des Grangettes, rapport interne n° 29, 17 p.
- GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 1996. Influence des facteurs environnementaux sur les peuplements des macroinvertébrés des canaux des Grangettes (VD, Suisse). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 84(1): 49-64.
- GATTOLLIAT J.-L., PASCHE A., PELLET J. & SALAMIN HOFMANN C., 2015. L'entomofaune de la réserve naturelle des Grangettes (VD): suivi de trois groupes indicateurs. *Entomo Helvetica* 8: 13-27.
- 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.

- MAIBACH A., GOELDIN DE TIEFENAU P. & DIRICKX H. G., 1992. Liste faunistique des Syrphidae de Suisse (Diptera). *Miscellanea Faunistica Helvetiae* 1. Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel, 51 pp.
- MALAISE R., 1937. A new insect-trap. *Entomologisk tidskrift* 58: 148-160.
- MARITANO U. & SOMMAGGIO D., 2020. Hoverfly diversity in Mareschi alluvial alder forest (Piedmont, Italy), and “Syrph the Net” ecological analysis (Diptera: Syrphidae). *Fragmenta Entomologica* 52(1): 101-112.
- NACEUR N., 1993. Etude de la diversité faunistique des mares des Grangettes: description et recherche des facteurs déterminants. Travail de diplôme. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institut de Génie de l’Environnement, 33 pp.
- NACEUR N., 2003. Suivi des invertébrés dans les mares et étangs gérés par la Fondation des Grangettes. Résultats 1997-2000. Fondation des Grangettes, rapport interne n° 43, 32 pp.
- NACEUR N. & DETHIER M., 1995. Les Hétéroptères aquatiques de la région des Grangettes (VD, Suisse). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 83(4): 233-244.
- OKSANEN J., BLANCHET F.G., FRIENDLY M., KINDT R., LEGENDRE P., MCGLINN D., MINCHIN P.R., O’HARA R.B., SIMPSON G.L., SOLYMOS P., STEVENS M.H.H., SZOEC S. & WAGNER H., 2020. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5.7.
- PÉTREMAND G., SPEIGHT M. C. D. & CASTELLA E., 2020a. Deux nouveaux Diptères pour la Suisse (Syrphidae et Stratiomyidae), et compléments à la liste des Syrphidae du canton de Genève. *Entomo Helvetica* 13: 97-106.
- PÉTREMAND G., SPEIGHT M.C.D. & CASTELLA E., 2020b. Diagnostic écologique de la réserve naturelle du Moulin-de-Vert (2019). Projet basé sur l’utilisation des Diptères Syrphidae et l’outil « Syrph the Net ». Mandat OCAN, Genève, 49 pp, non-publié.
- PÉTREMAND G., FISLER L., SPEIGHT M. C. D. & CASTELLA E., 2021a. *Merodon gallicus* Vujić & Radenković 2012 et *Psilota atra* (Loew, 1817) en Suisse et quelques nouvelles mentions genevoises (Diptera: Syrphidae). *Entomo Helvetica* 14: 67-75.
- PÉTREMAND G., MAIBACH A., SPEIGHT M.C.D., GOELDIN DE TIEFENAU P. & CASTELLA E., 2021b. Une première liste des Diptères Syrphidés du canton de Vaud (Suisse). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 100: 257-274.
- PLICHTA M. M. & FISLER L., 2021. Erstefunde von *Callicera macquarti* Rindani, 1844 und *Callicera spinolae* Rondani, 1844 (Diptera: Syrphidae) für die Schweiz. *Entomo Helvetica* 14: 93-98.
- POLLINI-PALTRINIERI L., KOCH B. & FORINI-GIACALONE I., 2021. Tre nuove specie di Syrphidae (Diptera) segnalate in Svizzera. *Entomo Helvetica* 14: 159-163.
- 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/>
- SONNAY V., 2020. Inventaire des orthoptères du site marécageux des Grangettes (Noville). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 99: 107-117.
- SPEIGHT M.C.D. & CASTELLA E., 2011. Analyse des Syrphidae (Diptères) de deux réserves alluviales de Haute-Savoie, en relation avec l’évaluation et la gestion des sites. Mandat Réserves Naturelles de Haute-Savoie, 34 pp, non-publié.
- 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., 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 pp, Syrph the Net publications, Dublin.
- THIOULOUSE J., DRAY S., DUFOUR A., SIBERCHICOT A., JOMBART T. & PAVOINE S., 2018. Multivariate Analysis of Ecological Data with ade4. Springer, 329 p.
- 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.
- WAGNER D.L., 2020. Insect declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology* 65: 457- 480.
- WIDMER I., MÜHLETHALER R., BAUR B., GONSETH Y., GUNTERN J., KLAUS G., KNOP E., LACHAT T., MORETTI M., PAULI D., PELLISSIER L., SATTLER T. & ALTERMATT F., 2021. Diversité des insectes en Suisse: importance, tendances, actions possibles. *Swiss Academies Reports* 16(9). 107 p.