

## Etude des cortèges Odonatologiques des milieux lentiques de Haute-Savoie



Mémoire de dominante d'approfondissement

Gestion des Milieux Naturels

Photographies de couverture : *Crocothemis erythraea*, Commune de Viry, (à gauche) et *Aeshna isocelas*, Commune d'Etrembières (à droite). Source : A.Couët.

## **Etude des cortèges Odonatologiques des milieux lentiques de Haute-Savoie**

Mémoire de dominante d'approfondissement

Gestion des Milieux Naturels

2015/2016

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVES

|   |  |
|---|--|
| AgroParisTech   | TRAVAUX D'ÉLÈVES   |
| TITRE : Étude des cortèges Odonatologiques des milieux lenticules de Haute-Savoie | Mots clés : Odonates, cortèges, gouilles, pièces d'eau uniques, diversité, espèces patrimoniales |
| AUTEUR(S) : Aurélie Couët   | Promotion : 2015-2016 (187)  |
| Caractéristiques : 1 Volume ; 73 Pages ; 28 Figures ; 12 Annexes ; bibliographie  |  |

|   |  |                                |
|---|--|--------------------------------|
| CADRE DU TRAVAIL  |  |                                |
| ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature, Haute-Savoie                 |  |                                |
| Nom du responsable : Marie Lamouille-Hébert   |  |                                |
| Fonction : Chargée de mission milieux aquatiques et biodiversité associée, Animatrice du réseau Eau départemental |  |                                |
| Nom du correspondant AgroParisTech : François Lebourgeois   |  |                                |
| <input type="checkbox"/> Spécialité : Gestion des milieux naturels  | <input type="checkbox"/> Stage fin d'études<br><br>Date de remise : 06/12/2016 | <input type="checkbox"/> Autre |

|  |
|--|
| SUITE À DONNER (réservé au Service des Etudes)     |
| <input type="checkbox"/> Consultable et diffusable |

## Résumé

La modification des écosystèmes par l'Homme menace la biodiversité et notamment les zones humides qui apparaissent comme les milieux les plus fragilisés. En France, le nombre de zones humides a diminué de 50% entre 1960 et 1990. Les Odonates sont particulièrement sensibles à la disparition des zones humides et certaines espèces sont même menacées par la modification de ces milieux. Elles servent alors d'indicateurs de la qualité des zones humides. La caractérisation des cortèges odonatologiques est un bon moyen d'associer les espèces et les milieux pour mieux les protéger. Un inventaire odonatologique des milieux lenticules de Haute-Savoie a été réalisé sur l'ensemble du département ainsi qu'un relevé de divers facteurs environnementaux tels le type de milieu, la variation du niveau de l'eau, l'habitat et l'altitude. Une classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis d'obtenir deux cortèges et une analyse plus fine des résultats a permis de relier ces cortèges au type de milieu et à l'altitude. Le premier cortège regroupe les espèces associées aux pièces d'eau uniques tandis que le deuxième regroupe des espèces associées aux gouilles. Un troisième cortège a été extrait du premier, il s'agit d'un cortège associé aux espèces des tourbières et lacs de haute altitude. Chacun de ces cortèges peut être ou non dominant sur un site. La plupart des sites où aucun cortège ne domine sont en général des sites d'assez faible richesse spécifique bien qu'aucune analyse statistique ne le prouve. Le lien entre cortège et type de milieu pourrait être utile pour orienter les perspectives de gestion conservatrice.

## Abstract

The loss of biodiversity has been revealed around the world and wetlands are particularly threatened. French wetlands decreased by 50% from 1960 to 1990. Dragonflies and Damselflies mate and grow in that kind of habitat and suffer from their modifications. Thus they are reliable biological indicators. The characterization of Dragonfly communities gives access to the link between species and habitats and allows protecting wetlands. A study was carried out to inventory Dragonflies in Haute-Savoie, France. Some environmental variables were collected like the kind of habitat, water level and altitude. A hierarchical clustering was used to determine Dragonfly assemblages. Two communities were first obtained, the first one was associated to non-fragmented water bodies like ponds and lakes whereas the second one was associated to very small water bodies like puddles. By studying the data, another community was defined and linked Dragonflies to altitude. Dragonfly assemblages were dominant on some sites whereas there were not any dominant Dragonfly assemblages on other sites. The last ones appeared to present a lower species number. The link between Dragonfly communities and the kind of habitat may be useful to define management and conservation measures.

## Remerciements

J'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce stage au sein de la FRAPNA Haute-Savoie.

Parmi elles, une première pensée à ma maîtresse de stage, Marie Lamouille-Hébert, sans qui je n'aurais pu réaliser le stage. Un grand merci pour sa disponibilité, son soutien, son aide, sa bonne humeur et la relecture d'une grande partie de mon rapport.

Un grand merci également à Adeline Rebourg pour m'avoir fourni des données supplémentaires grâce à ses prospections de terrain, pour son soutien, son aide et sa bonne humeur.

Je remercie aussi mon tuteur, François Lebourgeois pour ses conseils et pour avoir répondu rapidement à mes questions.

Merci à Sylvain Gaudin pour ses informations précieuses ainsi qu'à Marie-Pierre Etienne pour m'avoir aidée en statistiques.

Enfin, je souhaiterais remercier vivement les membres de la FRAPNA qui m'ont chaleureusement accueillie et intégrée au sein de leur équipe.

Tout plein de gratitude envers ma Maman qui m'a toujours soutenue et aidée tant qu'elle le pouvait quand j'en avais besoin. Merci aussi pour la relecture d'une grande partie du rapport.

## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Résumé .....   | 5  |
| Abstract .....   | 5  |
| Remerciements .....  | 6  |
| Liste des annexes .....  | 8  |
| Table des figures .....  | 9  |
| Table des tableaux .....   | 9  |
| Index des sigles .....   | 10 |
| Introduction .....   | 11 |
| 1 Contexte .....   | 13 |
| 1.1 Zone d'étude .....   | 13 |
| 1.2 Les odonates .....   | 16 |
| 2 Matériel et méthodes .....   | 17 |
| 2.1 Choix des sites à prospector .....   | 17 |
| 2.2 Relevés de terrain .....   | 19 |
| 2.3 Analyses statistiques des données .....                                      | 20 |
| 3 Résultats .....  | 22 |
| 3.1 Caractéristiques des sites étudiés .....                                     | 22 |
| 3.2 Variables permettant de discriminer les sites entre eux .....                | 24 |
| 3.3 Libellules observées .....   | 25 |
| 3.4 Détection des espèces .....  | 27 |
| 3.5 Identification des cortèges odonatologiques liés aux milieux lentiques ..... | 28 |
| 3.6 Caractérisation des cortèges odonatologiques obtenus .....                   | 30 |
| 3.7 Lien entre cortèges et type de milieu .....                                  | 32 |
| 3.8 Caractérisation des sites où le cortège 1 domine .....                       | 33 |
| 3.9 Caractérisation des sites où le cortège 2 domine .....                       | 34 |
| 3.10 Sites où aucun des deux cortèges ne dominant .....                          | 35 |
| 3.11 Lien entre diversité et Cortège .....                                       | 35 |
| 4 Discussion .....   | 37 |
| 4.1 Pertinences des cortèges et de leur milieu de prédilection .....             | 37 |
| 4.2 Intérêt de l'étude des cortèges .....  | 40 |
| 4.3 Cortèges, espèces et variables écologiques .....                             | 42 |
| 4.4 Critiques de l'étude .....   | 43 |
| Conclusion .....   | 44 |
| Bibliographie .....  | 46 |
| Sitographie .....  | 47 |
| Contacts .....   | 48 |
| Annexes .....  | 49 |

## Liste des annexes

|  |    |
|--|----|
| Annexe 1 : Contours du bassin genevois.....  | 49 |
| Annexe 2 : Descriptif des six premiers degrés de l'échelle de Beaufort.....  | 50 |
| Annexe 3 : Fiche Habitat issue du protocole STELI.....   | 50 |
| Annexe 4 : Liste des habitats odonatologiques de la SFO .....  | 52 |
| Annexe 5 : Liste des espèces observées .....   | 53 |
| Annexe 6 : Chiffrage des niveaux des variables qualitatives pour l'ACP.....  | 54 |
| Annexe 7: Caractérisation des sites à l'aide des différentes variables .....   | 55 |
| Annexe 8 : Présence/absence des espèces sur chaque site .....  | 57 |
| Annexe 9 : Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur chaque site.....  | 59 |
| Annexe 10 : P-value indiquée par l'Anova appliquée à chaque espèce du cortège 1 pour chacune des variables sélectionnées après l'ACP. Les effets de l'habitat terrestre et du niveau de l'eau sont testés uniquement dans le modèle à un facteur. Leur absence du modèle multiple est due à une corrélation forte avec le type de milieu. .... | 68 |
| Annexe 11: P-value indiquée par l'Anova appliquée à chaque espèce du cortège 2 pour chacune des variables sélectionnées après l'ACP. Les effets de l'habitat terrestre et du niveau de l'eau sont testés uniquement dans le modèle à un facteur. Leur absence du modèle multiple est due à une corrélation forte avec le type de milieu. ....  | 70 |
| Annexe 12 : Diversité et dominance des cortèges sur chaque site .....  | 72 |

## Table des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation du département de Haute-Savoie.....   | 13 |
| Figure 2 : Surface couverte par le SAGE du Bassin de l'Arve .....   | 14 |
| Figure 3 : Carte non exhaustive des zones humides de Haute-Savoie. ....   | 15 |
| Figure 4 : Femelle immature de <i>Leucorrhinia albifrons</i> .....  | 17 |
| Figure 5 : Répartition des espèces d'Odonates menacées ou quasi-menacées de France d'après la Liste rouge nationale (2016).....   | 17 |
| Figure 6 : Sites historiques et potentiels à <i>Sympetrum flaveolum</i> , <i>Lestes dryas</i> , <i>Lestes sponsa</i> , <i>Ceriagrion tenellum</i> , <i>Leucorrhinia albifrons</i> et <i>Coenagrion mercuriale</i> en Haute-Savoie. .... | 18 |
| Figure 7 : Répartition des 51 sites prospectés. ....  | 19 |
| Figure 8 : Capture d'un individu d' <i>O.brunneum</i> , Chaumont (Source : A.Couët). ....   | 20 |
| Figure 9 : Résultat de l'analyse en composantes principales réalisée sur les sites prospectés : projection des variables sur les axes de dimensions 1 et 2. ....  | 24 |
| Figure 10 : Résultat de l'analyse en composantes principales réalisée sur les sites prospectés : projection des sites sur les axes de dimensions 1 et 2. ....   | 25 |
| Figure 11: Abondance des espèces rencontrées. ....  | 26 |
| Figure 12 : Fréquence des espèces rencontrées (nombre de sites sur lesquels les espèces ont été observées).....   | 26 |
| Figure 13: Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur le site « ODO106 ». ....   | 27 |
| Figure 14 : Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur le site « ODO17 ». ....   | 28 |
| Figure 15 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique réalisée sur 24 espèces. ....   | 29 |
| Figure 16 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique appliquée aux 19 espèces les plus représentatives du jeu de données. ....   | 29 |
| Figure 17 : Évolution de l'inertie en fonction du nombre de classes retenues. ....  | 30 |
| Figure 18 : Répartition des données de présence/absence d' <i>A.juncea</i> , <i>C.erythraea</i> et <i>A.isoceles</i> en fonction de l'altitude. ....  | 31 |
| Figure 19 : Répartition des données de présence/absence de <i>P.pennipes</i> en fonction de l'altitude. ....  | 32 |
| Figure 20 : Boxplot présentant le numéro de cortège en fonction du type de milieu. ....   | 33 |
| Figure 21: Étang sur lequel le cortège 1 est dominant, Menthonnex-en-Bornes, paysage boisé et agricole (Source : A.Couët).....  | 33 |
| Figure 22 : Mares sur lesquelles le cortège 1 est dominant (Source : A.Couët).....  | 34 |
| Figure 23 : Milieux stagnants d'altitude sur lesquels le cortège 1 est dominant (Source : A.Couët)....  | 34 |
| Figure 24 : Site prairial de gouilles sur lequel le cortège 2 domine, Chaumont (Source : A.Couët). ...  | 35 |
| Figure 25 : Nombre d'espèces médian lorsqu'aucun cortège ne domine (modalité 0), le cortège 1 domine (modalité 1) ou le cortège 2 domine (modalité 2). ....   | 36 |
| Figure 26 : Surface des sites en fonction de la dominance d'un cortège (1 : dominance du cortège 1 ; 2 : dominance du cortège 2 ; 0 : aucun cortège ne domine). ....  | 36 |
| Figure 27 : <i>S.fusca</i> , espèce typique des pièces d'eau uniques, Viry (source : A.Couët). ....   | 37 |
| Figure 28 : <i>O.coerulescens</i> (à gauche) et <i>O.brunneum</i> (à droite), Les Ollières (source : A.Couët).....  | 38 |

## Table des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Tableau présentant le nombre de sites bénéficiant d'un statut de protection. ....                                | 16 |
| Tableau 2 : Tableau présentant la superficie totale de sites bénéficiant d'un statut de protection en km <sup>2</sup> . .... | 16 |
| Tableau 3 : Répartition des sites en fonction des différentes variables. ....  | 23 |
| Tableau 4 : Coefficients de corrélation de Pearson pour les variables évoquées ci-dessus.....                                | 24 |
| Tableau 5 : Répartition des observations de chaque espèce du cortège <sup>o</sup> 1 en fonction du type de milieu.....       | 30 |
| Tableau 6 : Répartition des observations de chaque espèce du cortège <sup>o</sup> 2 en fonction du type de milieu.....       | 32 |

## **Index des sigles**

ACP : Analyse en Composante Principale

APPB : Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope

ASTER : Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie

CSCF : Centre Suisse de cartographie de la Faune

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

FRAPNA : Fédération Rhône-Alpes d Protection de la Nature

GRPLS : Groupe de Recherche et de Protection des Libellules « Sympetrum »

LPO : Ligue de Protection des Oiseaux

SM3A : Syndicat Mixte de l'Aménagement de l'Arve et de ses Abords

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

STELI : Suivi Temporel des Libellules

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

## Introduction

Une infinité d'écosystèmes peuplent notre Terre, tous différents les uns des autres, et en perpétuelle dynamique (Aufroy & Rovillé, 2008). Les écosystèmes sont fragiles et ont été drastiquement modifiés par l'Homme ces cinquante dernières années (Millenium Ecosystem Assessment, 2007). Ces modifications sont beaucoup plus rapides que celles dues aux phénomènes naturels tels les éruptions volcaniques, tempêtes et changements climatiques passés.

Les zones humides font partie des écosystèmes les plus menacés (SNPN, 1994). Pourtant, elles jouent un rôle primordial dans les activités humaines que sont l'agriculture, la ressource en eau, l'épuration de l'eau, l'atténuation des crues et le soutien d'étiage (eaufrance, 2015). Depuis 1900, 64 % des zones humides dans le monde ont disparu. L'Europe suit cette même tendance de régression. La France a, quant à elle, perdu 50 % de sa surface en zones humides entre 1960 et 1990. De 1990 à 2010, un ralentissement de cette régression a été observé notamment grâce au renforcement des mesures de protection et de gestion (eaufrance, 2015). Les principales menaces qui pèsent sur ces écosystèmes sont l'urbanisation, l'intensification de l'agriculture et de l'aquaculture, la déprise agricole, le boisement, l'aménagement des cours d'eau, le prélèvement d'eau, l'extraction de matériaux et l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes (eaufrance, 2015).

La disparition des zones humides porte atteinte aux nombreuses espèces végétales et animales inféodées à de tels milieux. Parmi elles, les Odonates sont particulièrement vulnérables. En effet, leur développement larvaire se déroule entièrement dans l'eau. Une attention particulière devrait donc être portée à cet ordre d'insectes et notamment aux espèces les plus menacées. De plus, les Odonates sont des espèces bio-indicatrices : leur diversité atteste de la richesse en espèces animales et végétales du milieu (Deliry, 1996). Les Odonates se placent en haut de la chaîne alimentaire, au stade imaginal comme au stade larvaire, et sont donc particulièrement sensibles à la présence de consommateurs primaires et de végétaux bien développés dans leur milieu (Deliry, 1996).

Cependant, toutes les espèces ne réagissent pas de la même manière aux modifications de leur habitat. En effet, certaines sont ubiquistes comme *Ischnura elegans* présente sur un large spectre d'habitats (Deliry, 1996) tandis que d'autres sont spécialisées pour un type d'habitat en particulier. C'est le cas de *Somatochlora arctica* présente exclusivement dans les gouilles à sphaignes des hautes tourbières acides.

En plus de leur caractère bio-indicateur, les Odonates sont des espèces relativement faciles à étudier comparé à d'autres ordres d'insectes car potentiellement identifiables à vue en ce qui concerne les imagos. Le nombre d'espèces d'Odonates en France métropolitaine, qui est de 96 (UICN, 2016), est assez restreint comparé au nombre d'espèces de Coléoptères qui atteint le nombre de 9600 (OPIE, 2016) ou même au nombre d'espèces de Lépidoptères Rhopalocères (ordre également largement étudié) qui est de 257 (UICN, 2012).

Afin de protéger les Odonates les plus vulnérables et d'améliorer leur connaissance, des atlas, listes rouges et plans d'actions en faveur des espèces de cet ordre ainsi qu'une protection réglementaire sont mis en place à différentes échelles (mondiale, européenne, nationale, régionale). Ces documents ont pour objectif de hiérarchiser les espèces en fonction de leur statut, de leur vulnérabilité et de l'état actuel des connaissances les concernant afin d'acquérir de nouvelles données, d'établir des stratégies d'action de protection pour le maintien ou l'amélioration de leur état de conservation et de leurs habitats. Un nombre d'espèces non négligeable apparaît ainsi dans les listes, plans d'action et dans la réglementation. De tels outils permettent également de déterminer les régions géographiques à plus forts enjeux.

La méthodologie d'établissement des listes rouges est peu applicable à l'échelle départementale. En effet, plus on restreint le territoire d'étude, plus la capacité de dispersion des espèces est grande. Les effectifs fluctuent donc de manière plus importante d'une année à l'autre aboutissant à une perte de pertinence des résultats (UICN France, 2011). C'est pourquoi, il est alors possible d'élaborer des atlas

et listes d'alerte. Le département de la Loire a, par exemple, lancé la création de l'atlas des Libellules de la Loire sur la période 2011-2016.

Dans cette optique, un projet d'actualisation des connaissances sur la répartition des Odonates est développé en Haute-Savoie par la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature (FRAPNA74) sur la période 2016-2019. L'objectif de ce projet est de remettre à jour la synthèse cartographique des Odonates de Haute-Savoie réalisée par Bernard Bal (APEGE-GRPLS) en 2000. En 2016, sept espèces sont particulièrement prospectées pour cette actualisation dont *Coenagrion mercuriale* qui fait l'objet d'une étude lancée en 2015. Ces sept espèces (*Coenagrion mercuriale*, *Lestes dryas*, *Lestes sponsa*, *Leucorrhinia albifrons*, *Sympetrum flaveolum* et *Ceriagrion tenellum*, *Cordulegaster bidentata*) font partie des espèces prioritaires du bassin genevois (Livre rouge des insectes du bassin genevois, 2009), territoire qui regroupe une partie de la Haute-Savoie, le canton de Genève, le pays de Gex et le district de Nyon (Annexe 1). Excepté le Cordulégastré bidenté qui colonise les eaux courantes et *Coenagrion mercuriale* et *Ceriagrion tenellum* qui peuvent se retrouver à la fois sur des milieux lotiques et lentiques, les taxons prioritaires affectionnent essentiellement les eaux stagnantes telles que les mares, étangs, milieux d'eau temporaires, prairies, tourbières et roselières.

Ainsi les eaux stagnantes (étangs, mares, lacs, gouilles) correspondent aux milieux majoritairement prospectés en 2016. Il est alors possible de caractériser les cortèges odonatologiques, c'est-à-dire des ensembles d'espèces qui se retrouvent régulièrement dans un même grand type de milieu (Grand & Boudot, 2006), liés aux eaux stagnantes. En effet, les milieux d'eau stagnante ne présentent pas tous les mêmes caractéristiques environnementales et n'attirent donc pas tous les mêmes espèces. Comme évoqué ci-dessus, certaines espèces sont spécialisées dans un type d'habitat tandis que d'autres sont ubiquistes. La présence d'eau en permanence ou de manière temporaire est un critère de sélection de milieu par les Odonates : *Sympetrum flaveolum*, *Lestes dryas* et *Lestes sponsa*, par exemple, privilégient les milieux d'eau temporaires (Deliry, 2008). Cela permet d'éviter la compétition pour la ressource alimentaire et la prédation par les poissons (Deliry, 2008). Les caractéristiques du milieu sont donc importantes à prendre en compte dans l'étude des cortèges. La répartition des Odonates dépend également des éléments présents dans le paysage : par exemple, certaines espèces sont inféodées aux tourbières et marais telle *Aeshna juncea* (Grand & Boudot, 2006) alors que d'autres sont attachées à la présence de boisement et craignent toute modification paysagère comme *Macromia splendens* (Grand & Boudot, 2006).

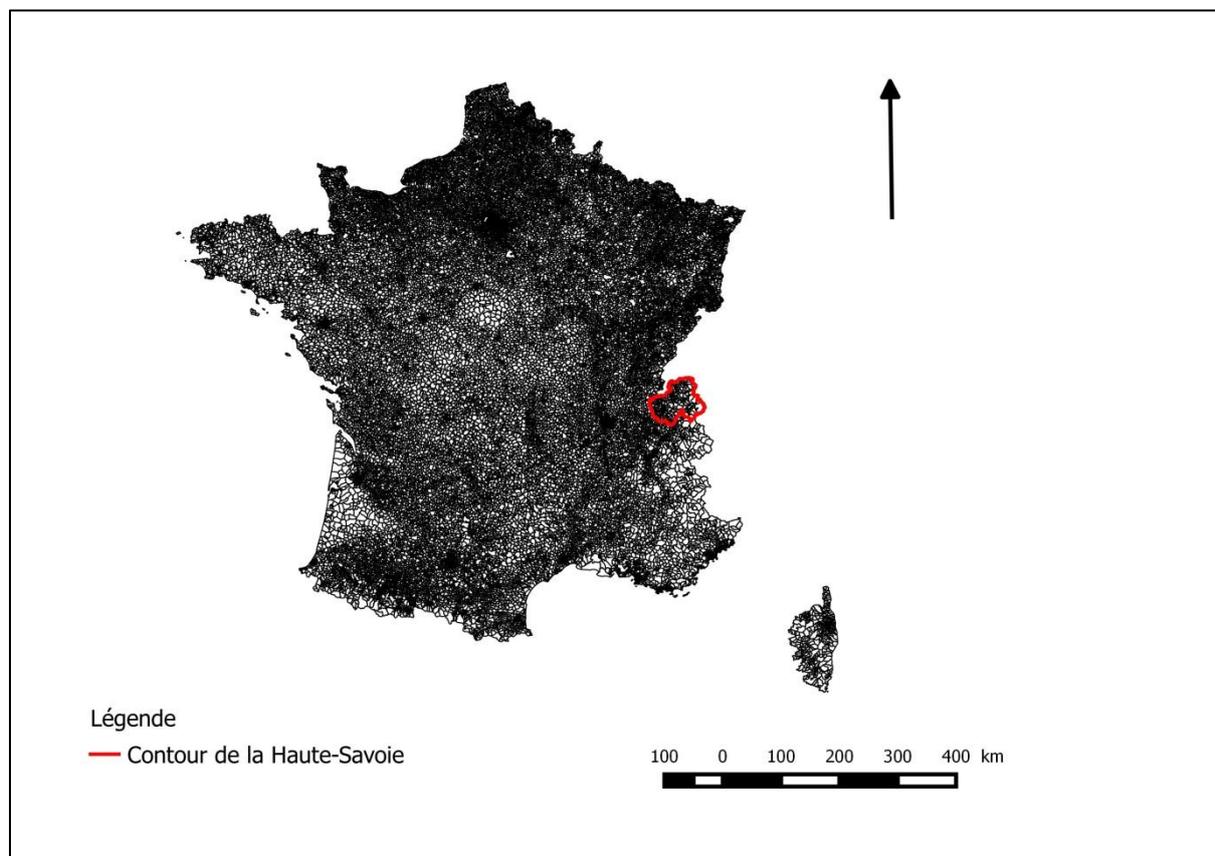
L'étude des cortèges odonatologiques a souvent été réalisée selon les dires d'experts plus que par le biais d'une démarche scientifique rigoureuse (Schindler & al., 2003 ; Hofmann & Mason, 2005 dans Balzan, 2012). De plus, les cortèges odonatologiques ne sont pas fixés : ils diffèrent selon la latitude, l'altitude et la période de vol des imagos (Grand & Boudot, 2006). Cependant, leur étude permet de caractériser des habitats et donc d'apporter des outils de gestion adaptés pour leur conservation (Chovanec & al., 2015). Le présent rapport a pour objectif d'étudier les différents cortèges odonatologiques qui peuplent les eaux stagnantes de Haute-Savoie et de les associer à certains facteurs écologiques.

# 1 Contexte

## 1.1 Zone d'étude

### 1.1.1 Caractéristiques générales de la zone d'étude

La Haute-Savoie, d'une superficie de 4 387,8 km<sup>2</sup> (<http://www.insee.fr/>), constitue l'un des douze départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes et se situe à l'extrémité nord-est de la région (figure 1).



**Figure 1 : Localisation du département de Haute-Savoie.**

Sources : Cartes de France et du département : <http://www.infosig.net/les-donnees-sig/donnees-sig-gratuites>

Il s'agit d'un département montagnard d'une altitude moyenne de 1160 mètres (synagri). Il est composé de trois grandes régions naturelles : l'Avant-Pays représenté par des chaînons calcaires et des plateaux molassiques ou morainiques d'altitude moyenne ; les Pré-Alpes d'une altitude moyenne de 1200 mètres et les Grandes Alpes formées de chaînes cristallines des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc (<http://haute-savoie.over-blog.fr/>).

Le climat se traduit par des hivers froids et neigeux ainsi que des étés doux et orageux (École Sainte Geneviève, 2012). Les précipitations sont élevées : de 900 à 1 200 millimètres annuels sur l'avant-pays et de 1 800 à 1 900 mm à partir de 1 500 mètres d'altitude (<http://haute-savoie.over-blog.fr/>).

### **1.1.2 Le paysage en Haute-Savoie**

#### Paysage agricole

Sur les 515 000 exploitations françaises (Insee, 2010), 3 120 se trouvent en Haute-Savoie ce qui représente 0,6% du territoire national (Chambre d'agriculture Savoie Mont-Blanc). Le territoire agricole couvre 1 777 km<sup>2</sup> soit un tiers de la superficie du département (<http://www.haute-savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Agriculture/Agriculture-en-Haute-Savoie/Caracteristiques-du-departement>). Cette part de l'agriculture est importante aux vues des fortes contraintes naturelles. En effet, le climat montagnard allonge la durée d'hivernage des animaux d'élevage et limite le choix des cultures. Les terrains en pente, quant à eux, empêchent la mécanisation, entraînent un surcoût pour des constructions adaptées et enfin, diminuent l'accessibilité des véhicules pour les collectes (Chambre d'agriculture Savoie Mont-Blanc).

Les exploitations haut-savoyardes sont majoritairement tournées vers l'élevage avec une surface en herbe élevée. Les modes de production sont principalement extensifs (l'utilisation des intrants est faible) et les exploitations principalement familiales. Une telle agriculture permet de préserver des paysages ruraux (Chambre d'agriculture Savoie Mont-Blanc).

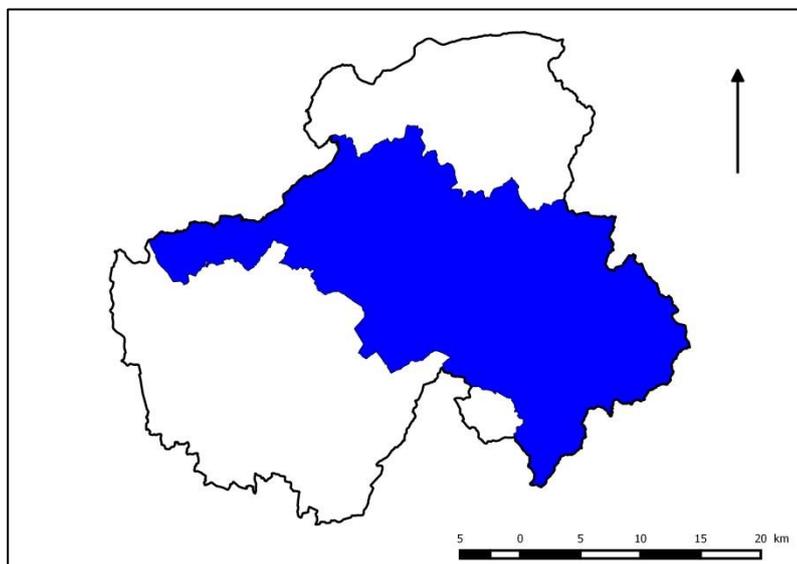
La production de lait de vache est dominante. Viennent ensuite les productions de viande bovine, les productions caprines puis ovines (Chambre d'agriculture Savoie Mont-Blanc).

#### Paysage forestier

La forêt occupe 37% du territoire de la Haute-Savoie avec 178 624 ha en 1998. Elle est détenue à 70% par des propriétaires privés tandis que 30% constitue de la forêt publique (communale ou appartenant à l'état) et est gérée par l'Office National des Forêts. L'Épicéa est l'essence majoritaire (un arbre sur deux est un Épicéa) du fait de l'altitude et d'un mode de sylviculture le favorisant. La Haute-Savoie est le premier producteur d'épicéas en France. Le Sapin pectiné et le Hêtre sont les autres essences dominantes. La forêt est majoritairement exploitée en futaie et produit essentiellement du bois d'œuvre (Conseil Général Haute-Savoie, 2005).

### **1.1.3 La ressource aquatique en Haute-Savoie**

L'ensemble des cours d'eau et bassins versants présents en Haute-Savoie font partie du Bassin Rhône-Méditerranée (puisque les cours d'eau concernés s'écoulent vers la Méditerranée) et sont donc soumis au SDAGE 2016-2021 (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) associé à ce bassin. Au sein du Bassin Rhône-Méditerranée, les ressources en eau sont abondantes comparées à l'ensemble des ressources hydriques de la France (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse, 2015).



**Figure 2 : Surface couverte par le SAGE du Bassin de l'Arve**

En effet, le réseau de cours d'eau y est dense, les plans d'eau, zones humides et masses d'eau souterraines y sont riches et variées et le département bénéficie de la présence de glaciers alpins. Toutefois, la ressource en eau n'est pas répartie de manière uniforme sur le Bassin, certains territoires bénéficiant de ressources plus abondantes que d'autres (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse, 2015).

Plus localement, la Haute-Savoie a mis en place un SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) sur le Bassin versant de l'Arve sur une superficie couvrant presque la moitié du département

(2 164 km<sup>2</sup>) (Syndicat Mixte de l'Aménagement de l'Arve et de ses Abords, 2012) comme l'indique la figure 2 après validation du document le 30 juin 2016.

La Haute-Savoie présente quatre bassins hydrographiques principaux regroupant au total 3 500 km de rivières (la longueur totale des rivières en France étant de 270 000 km d'après l'Agence de l'eau Seine-Normandie). Ces quatre bassins sont le Bassin versant de l'Arve, celui des Dranses, situé au nord et d'une superficie de 505 km<sup>2</sup>, le Bassin des Usses de 308 km<sup>2</sup> à l'ouest et le Bassin du Fier au sud qui englobe le sous-bassin du Lac d'Annecy avec une superficie de 1 358 km<sup>2</sup>. Les deux derniers bassins sont caractérisés par un niveau d'eau élevé au printemps (expliqué par la fonte des neiges) et des étiages en fin d'été et début d'automne (blog Haute-Savoie, 2008).

Les lacs de montagne, dont une partie du lac Léman et le lac d'Annecy, sont nombreux (84) et variés (blog Haute-Savoie, 2008) ainsi que les plans d'eau qui représentent 27 000 hectares (Fédération de la Haute-Savoie pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 1999).

Les zones humides de montagne telles que les tourbières de pente intraforestières, les marais de comblement de plans d'eau d'origine glaciaire, les mares ou lacs d'altitude oligotrophes, les suintements, sources ou combes à neige, les prairies humides marécageuses sont bien représentées en Haute-Savoie. Ces milieux sont soumis à la fermeture naturelle des milieux mais de manière moins intense qu'en plaine puisque l'évolution des milieux est plus lente en montagne. Toutefois, les zones humides de montagne ne sont pas épargnées par des actions humaines destructrices : gestion agricole inadéquate (piétinement des abords de points d'eau par les animaux d'élevage, pâturage anarchique) mais surtout aménagements touristiques tels que le drainage des secteurs humides des domaines skiables, la création de réservoirs pour la neige artificielle, le piétinement des rives des lacs, les captages pour l'alimentation des refuges, les rejets d'effluents non traités (ASTERS) et la création de circuits pour les activités nautiques sur certains plans d'eau, à l'origine de la disparition d'espèces comme ce fut le cas de *Leucorrhinia albifrons* dans le Haut-Giffre (Deliry, 2008).

Ainsi les milieux stagnants étudiés regroupent majoritairement des prairies humides, des étangs, mares et lacs ainsi que des marais, tourbières et parfois zones de sources qui malgré leur caractère lotique peuvent présenter des gouilles ou autres espaces d'eau stagnante. Les zones humides de Haute-Savoie sont représentées sur la figure 3.

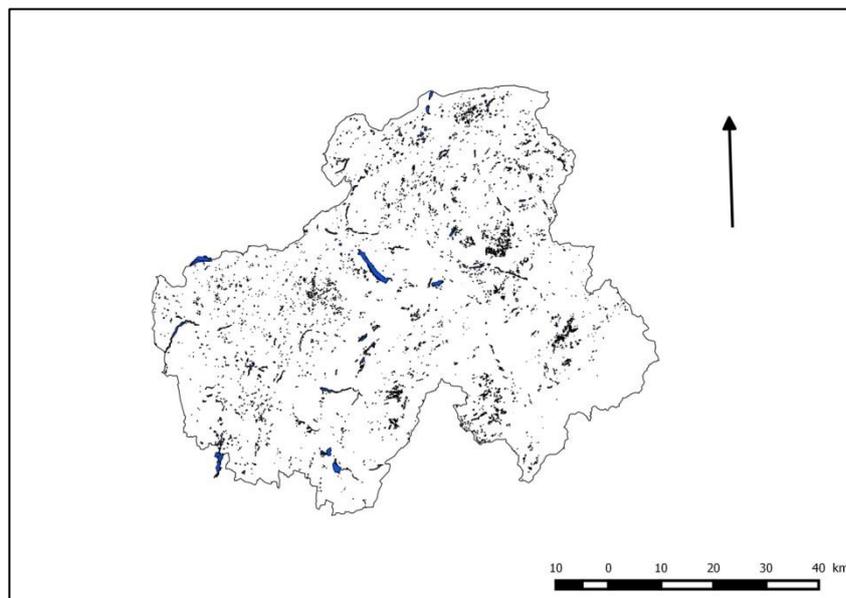


Figure 3 : Carte non exhaustive des zones humides de Haute-Savoie.

### 1.1.4 Outils de protection des espaces naturels de Haute-Savoie

De nombreux espaces hauts-savoyards, présentant une riche biodiversité, bénéficient d'un statut de protection (tableaux 1 et 2). Les espaces protégés constituent presque un quart du département (Conseil départemental de Haute-Savoie). La responsabilité de conservation des milieux et espèces sur le département est donc grande.

**Tableau 1 : Tableau présentant le nombre de sites bénéficiant d'un statut de protection.**

|   | France (métropole et outre-mer) | Rhône-Alpes | Haute-Savoie |
|---|---------------------------------|-------------|--------------|
| Directive Habitats Faune-Flore              | 1369 (métropole seulement)      | 129         | 25           |
| ZNIEFFs de types 1 et 2                     | 18 185 (terrestres)             | 434         | 294          |
| Réserves Naturelles                         | 341                             | 27          | 9            |
| Arrêté préfectoral de protection de biotope | 672                             | 112         | 39           |
| Parcs naturels régionaux                    | 51                              | 6           | 1            |

**Tableau 2 : Tableau présentant la superficie totale de sites bénéficiant d'un statut de protection en km<sup>2</sup>.**

|   | Rhône-Alpes | Haute-Savoie |
|---|-------------|--------------|
| Directive Habitats Faune-Flore              | 4250        | 850          |
| ZNIEFFs de types 1 et 2                     | 4082        | 511          |
| Réserves Naturelles                         | 630,66      | 212,28       |
| Arrêté préfectoral de protection de biotope | 369,85      | 73           |
| Parcs naturels régionaux                    | 851,5       | 255,48       |

## 1.2 Les odonates

### 1.2.1 Les premières données d'Odonatologie en Rhône-Alpes et en Haute-Savoie

C'est en 1789, à Lyon, qu'apparaissent les premières données sur les Odonates au travers de la publication de Charles Joseph de Villiers. Plus tard, l'entomologiste lyonnais, Eugène Foudras (1781-1859) réalise une collection de 121 individus appartenant à 47 espèces différentes.

Concernant la Haute-Savoie, une première liste d'une dizaine d'espèces du massif du Salève est établie par Pittard en 1899. Fin XIX<sup>ème</sup>/début XX<sup>ème</sup> siècle, des observations d'espèces banales mais également de *Coenagrion mercuriale* dans la Vallée de Chamonix sont relatées. Les techniques de recueil des données régionales se modernisent après la seconde guerre mondiale avec les travaux des universitaires lyonnais et grenoblois. Enfin, les prospections de Charles Degranges dès la fin des années 1950, permettent d'acquérir de nombreuses données en divers points de la région (Deliry, 2008).

Puis en 1986 est créé le Groupe *Sympetrum*. Il s'agit d'une association odonatologique régionale responsable de la collecte de nombreuses données jusqu'à aujourd'hui (Deliry, 2008). De nombreux autres organismes ou particuliers comme ASTERS (Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie) et la FRAPNA ont participé et participent toujours aujourd'hui à l'acquisition de données.

De plus, en 2016, une sous-branche départementale du Groupe *Sympetrum* s'est créée en Haute-Savoie sous la coordination de la FRAPNA Haute-Savoie : le Groupe Odonates 74 (GO74).

## 1.2.2 Les Odonates en Haute-Savoie

Sur les 96 espèces d'Odonates que compte la France, la région Rhône-Alpes en comprend 84 (Deliry, 2015). En Haute-Savoie, des données sur 65 espèces ont été récoltées. À celles-ci s'ajoutent huit espèces potentiellement présentes sur le département (Bal, 2000).

Parmi les espèces haut-savoyardes, quatre sont protégées par la réglementation française : *Leucorrhinia albifrons* (figure 4), *Ophiogomphus cecilia*, *Coenagrion mercuriale*, *Oxygastra curtisii*, 14 sont menacées ou quasi-menacées d'après la liste rouge française, sept font partie du Plan national d'action et huit du plan régional d'action sur les Odonates. Enfin, trois sont inscrites à la directive Habitats Faune Flore du réseau Natura 2000.



Figure 4 : Femelle immature de *Leucorrhinia albifrons* (source : Aurélie Couët).

La Haute-Savoie fait partie des départements de France comprenant le plus d'espèces menacées ou quasi-menacées (figure 5).

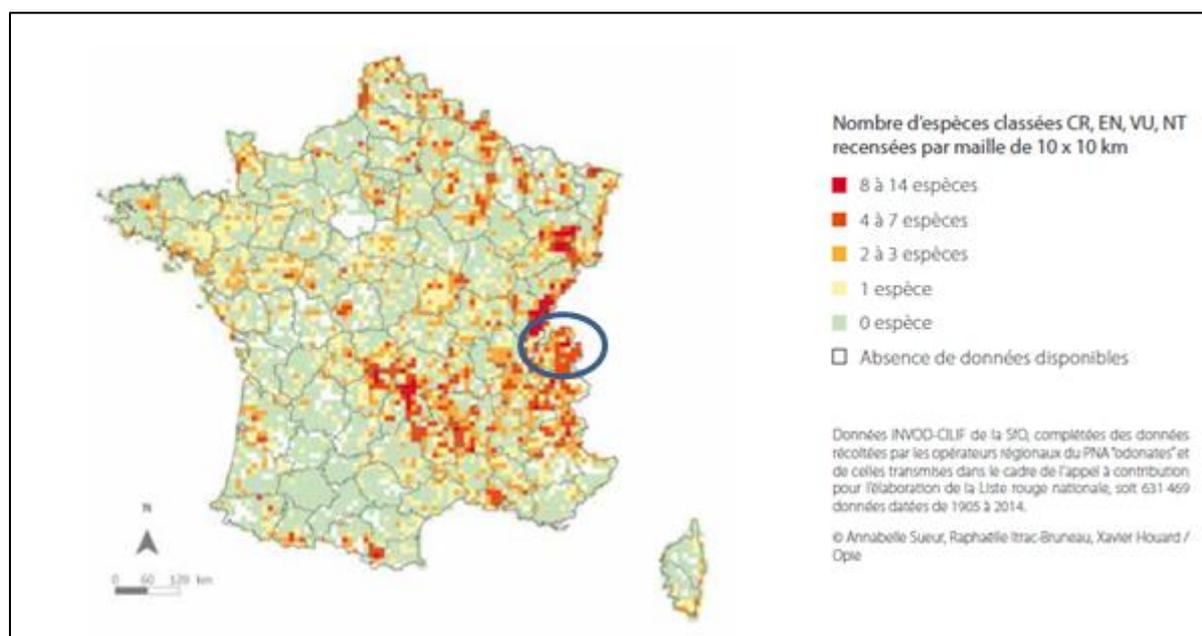


Figure 5 : Répartition des espèces d'Odonates menacées ou quasi-menacées de France d'après la Liste rouge nationale (2016).

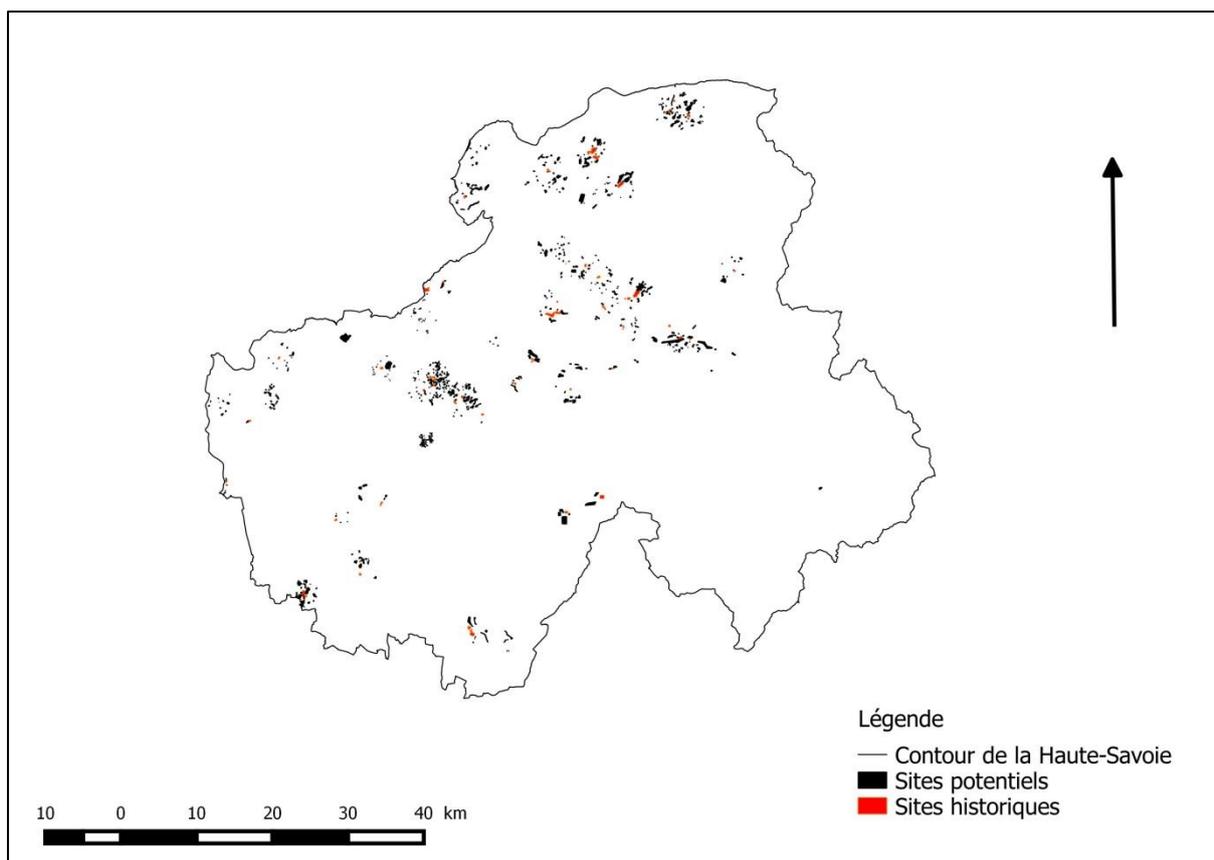
## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Choix des sites à prospecter

Les sites à prospecter en 2016 ont été définis en fonction des espèces cibles pour cette année et des données accessibles. En effet, les données issues des bases d'ASTERS, du GRPLS, de la LPO74, du CSCF et celles associée au protocole STELI ont permis d'identifier les sites de présence historique (entre 1900 et 2015) des six espèces cibles (*Cordulegaster bidentata* faisant l'objet d'une étude qui n'est pas traitée dans ce rapport). Ces « sites historiques » sont visualisés sur le logiciel Q-gis afin

d'être prospectés pendant la phase de terrain. La présence des espèces sur les sites historiques peut impliquer leur présence sur d'autres sites proches. En effet, certaines espèces nécessitent la présence de plusieurs sites favorables proches les uns des autres. Tel est le cas de *Coenagrion scitulum* qui a besoin d'un réseau suffisamment dense de mares et mardelles à différents stades d'évolution pour maintenir ses populations (Grand D. & Boudot J.-P., 2006). Ainsi de nouveaux sites de prospection sont définis autour des sites historiques. Ils sont appelés « sites potentiels » et correspondent à des zones humides proches des sites historiques. Pour cela, une couche cartographique répertoriant les zones humides du département, non exhaustive et actualisée en continu, est utilisée ([http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/612/JPV\\_zones\\_humides\\_74.map](http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/612/JPV_zones_humides_74.map)).

68 sites historiques et 889 potentiels sont ainsi cartographiés (figure 6).



**Figure 6 : Sites historiques et potentiels à *Sympetrum flaveolum*, *Lestes dryas*, *Lestes sponsa*, *Ceriatagrion tenellum*, *Leucorrhinia albifrons* et *Coenagrion mercuriale* en Haute-Savoie.**

Les sites à prospecter étant très nombreux, des priorités de prospection sont établies. Ainsi, les sites historiques dont la donnée a été récoltée entre 2000 et 2010 sont prioritaires. Les données récoltées avant 2000 sont, en effet, des données anciennes collectées sur des sites qui ont pu être transformés par les usages (construction d'aménagements...) ou qui se seraient boisés naturellement depuis le temps et peuvent donc ne plus être favorables aux espèces cibles. Les données récentes récoltées après 2010 concernent des sites pour lesquels il est probable que les espèces cibles y soient encore présentes. Si les espèces cibles sont observées sur le site historique lors d'un passage, on considère alors qu'elles peuvent être présentes sur les sites potentiels qui se trouvent autour du site historique. La présence des espèces cibles sur un site historique nous amène donc à prospecter de nouveaux sites : les sites potentiels les plus proches du site historique. Si jamais les espèces peuplent également les sites potentiels les plus proches, les prospections s'étendent alors sur les autres sites potentiels plus éloignés.

Il convient de noter que les prospections 2016 sur le département de la Haute-Savoie incluent des sites à suivre obligatoirement dans le cadre du STELI (Suivi Temporel des Libellules) ou bien parce qu'ils

correspondent à des sites prioritaires du bassin genevois. Ainsi, ils sont rajoutés aux sites historiques. Le nombre total de sites prospectés dans le cadre de l'étude est de 51 (figure 7).

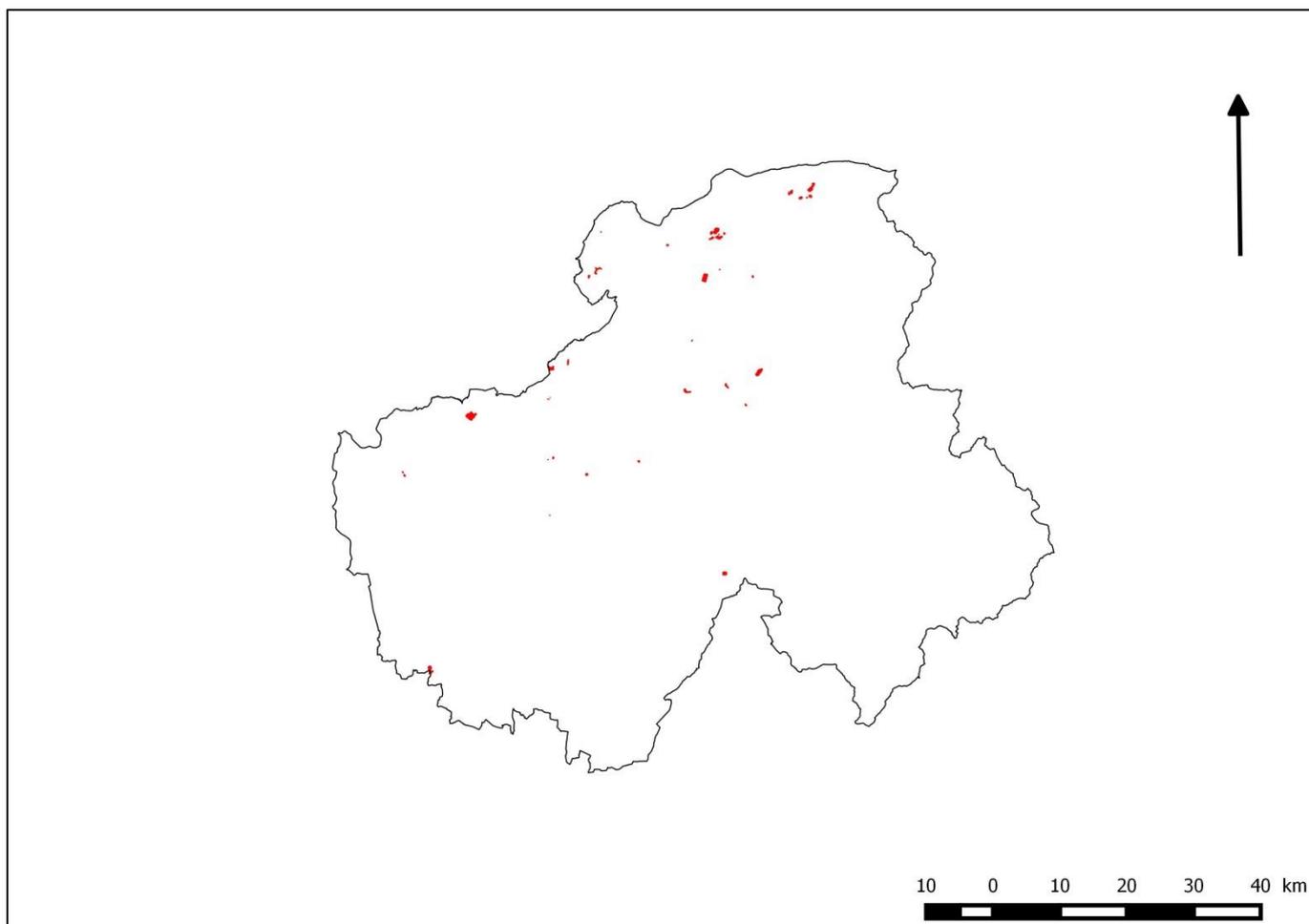


Figure 7 : Répartition des 51 sites prospectés.

## 2.2 Relevés de terrain

Les relevés de terrain ont été réalisés entre le 10 mai et le 17 août 2016 par trois observateurs différents (Marie Lamouille-Hébert, Adeline Rebourg et Aurélie Couët).

### *Fréquence de prospection*

Les sites sont prospectés au moins une fois chacun. Si l'espèce cible est présente sur le site lors d'un passage, le site n'est plus visité par la suite mais les sites potentiels des alentours le sont. Un site peut être visité au maximum six fois, limite au-delà de laquelle les espèces cibles sont considérées comme absentes ou non détectées sur ce site.

### *Conditions des relevés*

Les prospections s'effectuent par beau temps lorsque la météorologie favorise le vol des imagos. La température est généralement supérieure à 17°C.

### *Recherche des espèces*

Toutes les espèces d'Odonates sont répertoriées et comptabilisées. Les imagos sont recherchés sur l'ensemble du site. Leur identification peut être réalisée directement sur le terrain à la vue ou à la suite d'une capture avec un filet (figure 8). Les captures permettent une observation plus précise, l'utilisation d'une loupe botanique peut alors se révéler fort utile pour étudier les parties difficilement visibles à l'œil nu. La photographie peut également permettre l'identification au bureau. Les guides

d'identification utilisés sont le *Cahier d'identification des Libellules de France, Belgique, Luxembourg et Suisse* de Daniel Grand, Jean-Pierre Boudot et Guillaume Doucet (2014) et le *Guide des libellules de France et d'Europe* de K.-D.B. Dijkstra et R.Lewington (2007).

Une récolte des exuvies permet de compléter l'inventaire et de détecter l'émergence d'individus non rencontrés à l'état d'imago. Leur détermination se fait au bureau à l'aide d'une loupe binoculaire et de la *Clé de détermination des exuvies des Odonates de France* de Guillaume Doucet (2010).



**Figure 8 : Capture d'un individu d'*O.brunneum*, Chaumont (Source : A.Couët).**

#### *Paramètres relevés sur le terrain*

Pour chaque passage sur un site, le pourcentage de couverture nuageuse est indiqué selon les classes suivantes : [0-25%], [25-50%], [50-75%], [75-100%], l'intensité du vent est relevée avec pour modèle l'échelle de Beaufort jusqu'au degré 5 puisqu'au-delà, les libellules volent rarement (Annexe 2). La durée de prospection est également notée.

Lors de chaque premier passage sur les sites, l'accessibilité au site (exprimée en pourcentage d'espace pouvant être prospecté car facilement accessible) ainsi que des variables environnementales caractéristiques du site sont déterminées. Les variables environnementales sont au nombre de six et reflètent les variables utilisées dans le cadre du STELI (Annexes 3 et 4). Il s'agit :

- du type de milieu (gouilles qui correspondent à de petites surfaces d'eau telles que des flaques éparpillées sur un site ou pièces uniques qui correspondent à des surfaces d'eau plus grandes et souvent uniques sur un site),
- de la qualité de l'eau (absence de turbidité et eutrophisation, eutrophisation, turbidité, turbidité et eutrophisation),
- de la variation du niveau de l'eau (constant, un peu variable, très variable, assèchement périodique),
- de la présence de végétation aquatique (présence d'hélophytes, de végétation flottante ou de végétation submergée),
- de la végétalisation des rives (herbacées, ligneuses, ligneuses et herbacées)
- de l'habitat terrestre (milieu agricole, boisement, milieu ouvert non agricole, jeune boisement, agricole et boisement, urbain/espace vert).

## **2.3 Analyses statistiques des données**

### **2.3.1 Étude préalable des données**

#### *Caractérisation des sites*

Dans un premier temps, les sites sont caractérisés à l'aide d'une analyse en composante principale (ACP) réalisée avec le logiciel R studio. Les variables environnementales prises en compte pour caractériser un site sont celles évoquées ci-dessus en plus de l'altitude (indiquée par le site de la LPO) et de la surface en mètres carrés calculée avec le logiciel Q-gis. Les sites sur lesquels aucune espèce n'a été détectée ainsi que les sites sans eau sont retirés du jeu de données. Le nombre de sites analysés s'élève donc à 41.

Parmi les variables étudiées, cinq sont qualitatives (le type de milieu, la variation du niveau de l'eau, la qualité de l'eau, l'habitat et la végétalisation des rives). La présence de végétation aquatique est divisée en trois variables quantitatives :

- la présence d'hélophytes,
- la présence de végétation submergée
- la présence de végétation flottante.

Pour chacune de ces trois catégories : la valeur 0 est attribuée en cas d'absence et la valeur 1 en cas de présence. L'altitude et la surface sont quantitatives. Une valeur numérique est donnée à chaque modalité des variables qualitatives afin de rendre possible l'ACP (Annexes 6 et 7).

#### *Quantification des données sur les Odonates*

Afin de déterminer les fréquences et abondances de chacune des espèces contactées, des graphiques sont réalisés à l'aide d'un tableur. La fréquence représente alors le nombre de sites sur lesquels l'espèce a été observée au moins une fois tandis que l'abondance des espèces représente le nombre total d'individus de chaque espèce rencontrés au cours de la période de prospection sur l'ensemble des sites quel que soient le nombre de visites effectuées sur les sites.

Le logiciel ESTIMATES (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>) est utilisé afin d'obtenir différents estimateurs de la diversité en Odonates pour chaque visite et chaque site. Ces estimateurs permettent de déterminer un intervalle du nombre d'espèces potentiellement présentes sur le site. Les courbes de la biodiversité, donnée par les estimateurs et les observations, en fonction des visites (obtenues pour chaque site) permettent d'estimer si un site a bien été échantillonné : la présence d'une asymptote traduit un bon échantillonnage puisque le nombre d'espèces n'augmente plus ou presque plus (le nombre total d'espèces observées est alors atteint ou presque). Les estimateurs ont été obtenus uniquement pour les sites sur lesquels au moins trois passages ont été réalisés (on considère que les sites ayant eu deux visites ou moins ne sont pas échantillonnés de manière optimale). Les estimateurs retenus sont les suivants :

- **Chao1** de formule  $\hat{S}_{\text{chao1}} = D + f_1^2 / (2f_2)$  pour  $f_2 > 0$ .
- **Chao2** de formule  $\hat{S}_{\text{chao2}} = D + [(t-1)/t] * Q_1^2 / (2Q_2)$  pour  $Q_2 > 0$ .
- **Jackknife à l'ordre j** de formule  $\hat{S}_j = D + ((n-1) f_1) / n$
- **Bootstrap**
- **MM**

D est le nombre d'espèces différentes,  
 $f_1$  est le nombre d'espèces ayant une abondance de 1,  
 $f_2$  est le nombre d'espèces ayant une abondance de 2,  
t est le nombre d'échantillons,  
 $Q_1$  est le nombre d'espèces présentes dans un échantillon,  
n est le nombre d'individus de l'échantillon.

### **2.3.2 Construction d'une classification ascendante hiérarchique**

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) est réalisée afin de regrouper entre elles les espèces les plus proches du fait de leur fréquentation des sites. Un tableau de données de présence/absence a pour cela été généré (Annexe 8) et importé dans le logiciel R-studio. Une matrice de distance est alors créée par le logiciel. La CAH traite d'abord les espèces les plus semblables. Les espèces sont ainsi

agrégées par ordre de ressemblance décroissant. La méthode utilisée est celle de Ward. Il s'agit de la méthode la plus commune. Elle consiste pour, chaque itération, à regrouper les classes dont l'agrégation fait perdre le moins d'inertie inter-classe.

Deux espèces ont été retirées du jeu de données (*Calopteryx virgo* et *Calopteryx sp.*) car il s'agit d'espèces strictement inféodées à des milieux d'eau courante même si elles ont été contactées sur les sites. Cela peut-être dû à l'erratisme ou la présence de ruisselet sur le site en plus d'eau stagnante.

### **2.3.3 Caractérisation des cortèges**

Afin de caractériser les groupes d'espèces ou cortèges obtenus avec la CAH, des tests statistiques sont effectués sur les espèces. L'utilisation d'un modèle logistique permet de mettre en évidence l'effet de certaines variables sur la présence des différents taxons. Ce modèle suit une loi binomiale et permet d'obtenir la probabilité de présence,  $p$ , d'une espèce selon la formule suivante :

$$Y = \text{logit}(p) = \ln(p / (1-p)) = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + c x_3 + d x_4 + \dots$$

où  $a$  est la constante du modèle,  $x_1, x_2, x_3, \dots$  sont les variables explicatives avec  $x_1$  variable qualitative,  $x_2, x_3$ , variables quantitatives et  $b_1, b_2, c, d$  sont les coefficients associés aux variables explicatives.

Toutefois, le nombre de données étant trop faible, les estimations liées à chaque facteur ne sont pas fiables. Ainsi la probabilité de présence n'a pas pu être obtenue. L'effet significatif ou non des variables se base donc sur les résultats de l'anova. Dans le cas des variables quantitatives, cette dernière teste si le coefficient associé à la variable considérée est égal à 0. Dans le cas des variables qualitatives, l'anova teste si une modalité est ou non différente des autres. Lorsque la variable est testée seule, on parlera de modèle simple et lorsque la variable est testée dans un même modèle que les autres variables, on parlera de modèle multiple. Pour le modèle multiple, l'hypothèse  $H_0$  que teste l'anova est la suivante :  $b_1 = b_2 = c = d$ . Pour le modèle simple testant l'effet de la variable  $x_1$  par exemple, l'hypothèse testée, dans ce cas, est  $b_1 = b_2$ . Pour que l'effet d'une variable soit significatif, il faut une  $p$ -value  $\leq 0,05$  ce qui signifie que  $H_0$  est rejetée.

Les tests statistiques ne sont effectués que sur 39 sites. Les deux sites présentant à la fois des gouilles et des pièces d'eau uniques sont retirés.

### **2.3.4 Lien entre diversité et cortège**

Un dernier modèle de régression linéaire simple suivant une loi normale a été utilisé afin de tester le lien entre dominance d'un cortège sur un site et la diversité en espèces observée sur ce site.

La diversité s'obtient de la manière suivante :

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

où  $a$  est la constante du modèle,  $x_1$  représente la variable « dominance d'un cortège »,  $b_1$  est le coefficient associé à la modalité « le cortège 1 domine »,  $b_2$  est le coefficient associé à la modalité « le cortège 2 domine » et enfin  $b_3$  est le coefficient associé à la modalité « aucun cortège ne domine ».

L'hypothèse testée est la suivante :  $a = b_1 = b_2 = b_3$ . On rejette cette hypothèse quand la  $p$ -value est inférieure à 0,05.

## **3 Résultats**

### **3.1 Caractéristiques des sites étudiés**

Le nombre de sites retenus est de 41. Parmi ces 41 sites, 18 présentent des gouilles et 21 correspondent à des pièces d'eau uniques. Deux présentent à la fois des gouilles et une ou des pièces d'eau uniques.

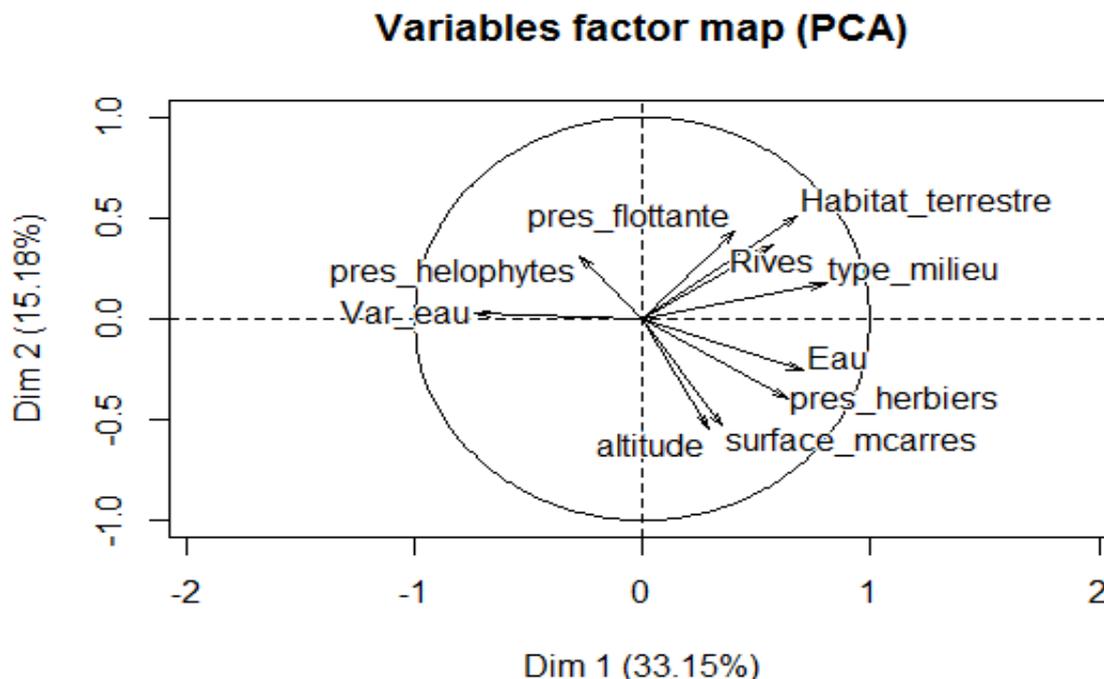
18 sites présentent un niveau d'eau globalement constant et 18 un niveau d'eau non constant. 20 sites sont eutrophisés et/ou troubles tandis que 18 sont ni eutrophisés ni troubles. En ce qui concerne la végétation aquatique, la plupart des sites présente des hélophytes (35) tandis que onze présentent des herbiers et quatorze présentent une végétation flottante. Concernant la végétalisation des rives, 21 sites ont des rives uniquement herbacées et 19 sites ont des rives à la fois ligneuses et herbacées. 27 sites sont situés en milieu ouvert tandis que 11 sites sont boisés (tableau 3).

Enfin, les sites sont situés entre 363 et 1400 mètres d'altitude et ont une surface comprise entre 698 et 385 674 m<sup>2</sup>.

**Tableau 3 : Répartition des sites en fonction des différentes variables et de leurs modalités.**

| Variable                 | Niveau de la variable                    | Nombre de sites |
|--------------------------|--|-----------------|
| Niveau de l'eau          | Globalement constant                     | 18              |
|                          | Un peu variable                          | 2               |
|                          | Très variable                            | 7               |
|                          | Assèchement périodique                   | 9               |
|                          | Inconnu                                  | 5               |
| Qualité de l'eau         | Eutrophisation                           | 3               |
|                          | Turbidité                                | 6               |
|                          | Eutrophisation et turbidité              | 11              |
|                          | Absence d'eutrophisation et de turbidité | 18              |
|                          | Inconnu                                  | 3               |
| Végétation               | Présence d'herbiers                      | 11              |
|                          | Présence d'hélophytes                    | 35              |
|                          | Présence de végétation flottante         | 14              |
| Végétalisation des rives | Rives herbacées                          | 21              |
|                          | Rives herbacées et ligneuses             | 19              |
|                          | Rives ligneuses                          | 1               |
| Habitat terrestre        | Ouvert non agricole                      | 17              |
|                          | Ouvert agricole                          | 10              |
|                          | Jeune boisement                          | 1               |
|                          | Agricole et boisement                    | 1               |
|                          | Boisement                                | 11              |
|                          | Urbain                                   | 1               |

### 3.2 Variables permettant de discriminer les sites entre eux



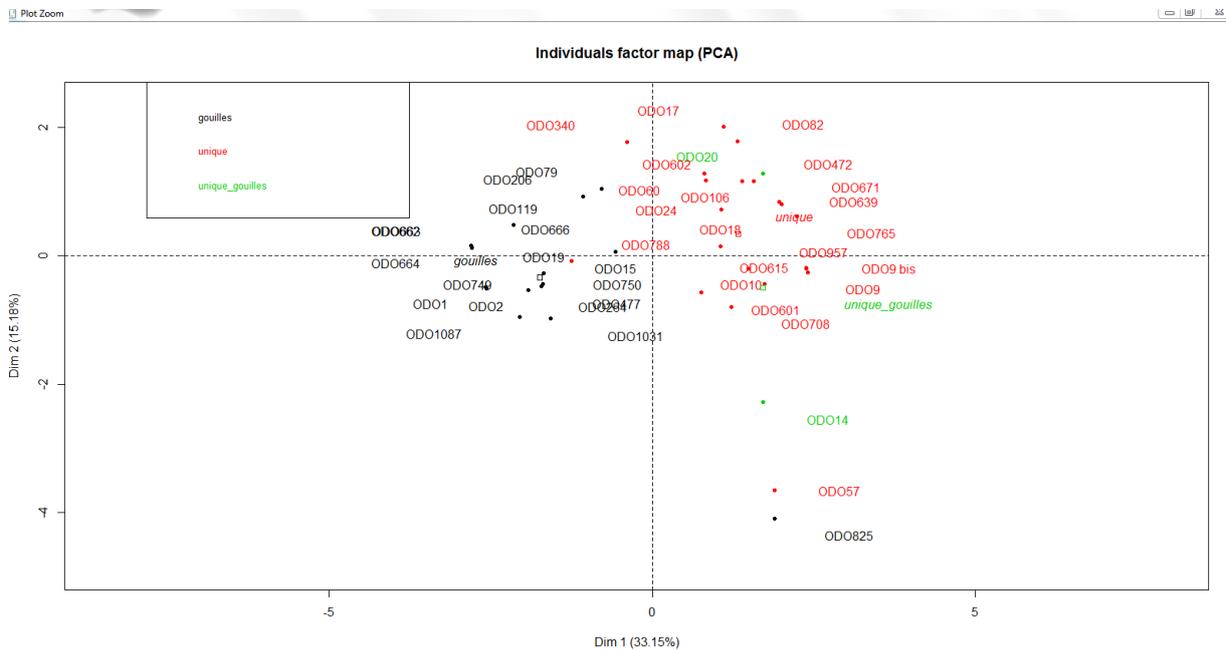
**Figure 9 : Résultat de l'analyse en composantes principales réalisée sur les sites prospectés : projection des variables sur les axes de dimensions 1 et 2.**

L'analyse en composantes principales a permis d'isoler certaines variables ayant davantage d'influence que les autres sur la répartition des sites (figure 1). Les deux premiers axes expliquent 48,33% de l'inertie. L'axe de dimension 1 est hautement corrélé aux variables « type de milieu » (coefficient de corrélation  $r=0,80$ ), « qualité de l'eau » ( $r=0,70$ ), « habitat terrestre » ( $r=0,68$ ) et anti-corrélé à la variable « Variation du niveau de l'eau » ( $r=-0,74$ ). Ainsi les quatre variables évoquées sont corrélées entre elles. Les coefficients de corrélation de Pearson confirment ce résultat (tableau 4). En effet, le lien entre l'habitat terrestre et le type de milieu s'explique par le fait que la plupart des gouilles se retrouve en milieu ouvert et que les milieux fermés correspondent à des pièces d'eau uniques (sur les onze sites boisés du jeu de données, dix correspondent à des pièces d'eau uniques). Le lien entre le type de milieu et la variation du niveau de l'eau s'explique par le fait que les gouilles ont plus tendance à s'assécher que les pièces d'eau uniques (sur les 18 gouilles du jeu de données, 12 présentent un niveau d'eau très variable voir un assèchement périodique tandis que trois ont un niveau d'eau constant et pour les trois sites restants, le niveau d'eau n'est pas connu). De même, il est logique de trouver un lien entre l'habitat terrestre et le niveau de l'eau qui est davantage constant en zone boisée. Il est également logique de retrouver une corrélation entre milieu terrestre et qualité de l'eau : les milieux ouverts non agricoles au nombre de 17 ne sont ni eutrophisés ni troubles pour dix d'entre eux. Les deux corrélations restantes (entre « type de milieu » et « qualité de l'eau » et « qualité de l'eau » et « niveau de l'eau ») sont moins évidentes mais non aberrantes. L'axe de dimension 2 est anti-corrélé à l'altitude ( $r=-0,54$ ) et à la surface des sites ( $-0,53$ ). Le coefficient de corrélation de Pearson est de 0,38 entre ces deux dernières variables.

**Tableau 4 : Coefficients de corrélation de Pearson pour les variables évoquées ci-dessus.**

|                              | Habitat terrestre | Variation du niveau de l'eau | Qualité de l'eau | Type de milieu |
|------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------|----------------|
| Habitat terrestre            |                   |                              |                  |                |
| Variation du niveau de l'eau | -0,45             |                              |                  |                |
| Qualité de l'eau             | 0,33              | -0,43                        |                  |                |
| Type de milieu               | 0,71              | -0,6                         | 0,45             |                |

La projection des sites met en évidence une séparation de ces derniers en fonction du type de milieu (figure 10). En effet, les sites situés dans la partie gauche du cadran correspondent majoritairement à des gouilles tandis que ceux situés dans la partie droite correspondent à des pièces d'eau uniques. L'effet de l'altitude apparaît quelque peu puisque, sur les 14 sites dont l'altitude est supérieure à 900 mètres, onze sont situés dans la partie basse de la projection et seulement trois dans la partie haute.



**Figure 10 : Résultat de l'analyse en composantes principales réalisée sur les sites prospectés : projection des sites sur les axes de dimensions 1 et 2.**

Conclusion partielle : Les sept variables intervenant le plus pour expliquer la répartition des sites sont donc le type de milieu, l'altitude, la qualité de l'eau, l'habitat terrestre, le niveau de l'eau, la présence d'hélophytes et la surface du site. La variable « surface du site » ne sera pas testée, par la suite, dans le modèle logistique, car elle ne permet pas de caractériser des cortèges.

### 3.3 Libellules observées

Durant la période de prospection, 44 espèces d'Odonates et 3 531 individus ont été contactés (Annexe 5). Certaines espèces rencontrées sont des espèces de milieux lotiques comme les *Calopteryx* qui ont donc été retirés de la liste des espèces pour les analyses statistiques. Des espèces comme *Coenagrion mercuriale* et *Cordulegaster boltonii* ont été conservées car rencontrées dans des milieux à la fois lotiques et lentiques (présence de gouilles et de ruisselets sur un même site).

Certaines espèces sont rencontrées sur de nombreux sites comme *Anax imperator* avec une abondance pourtant pas des plus élevées. D'autres sont à la fois fréquentes et abondantes telles *Coenagrion puella*, *Ischnura elegans* et *Pyrrhosoma nymphula*. Certaines espèces ont très rarement été observées. C'est le cas de *Lestes dryas*, *Lestes sponsa* et *Leucorrhinia dubia* (figures 11 et 12).

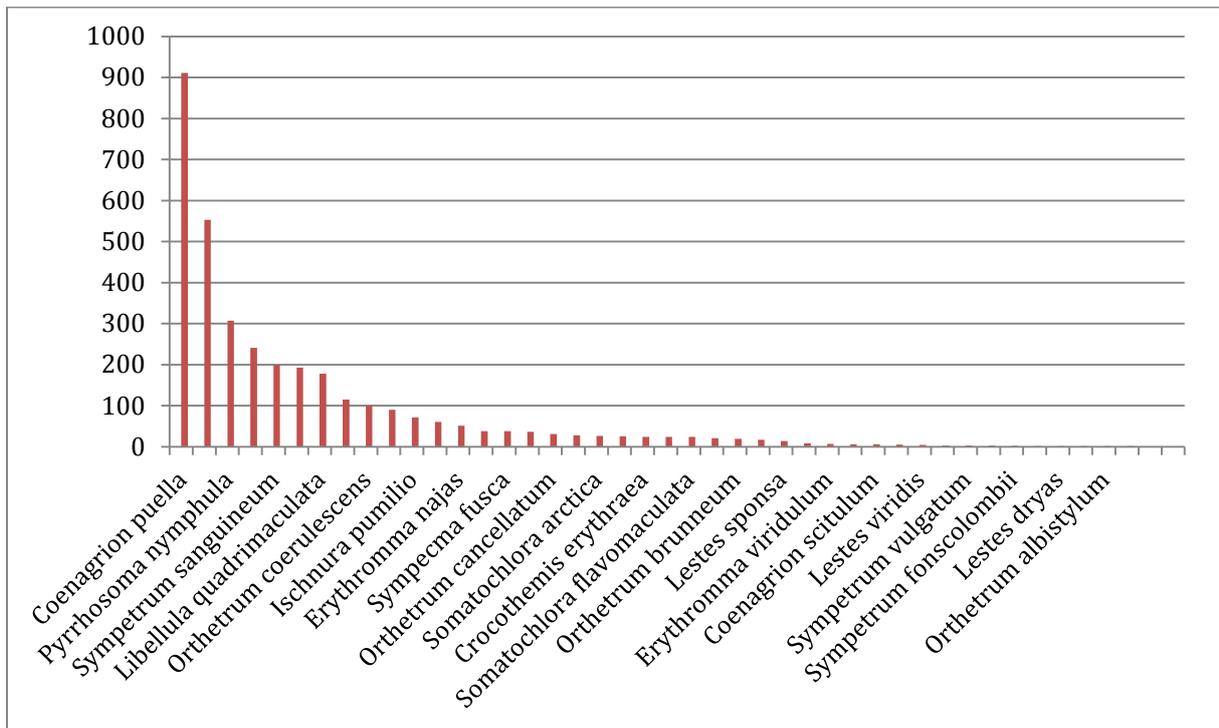


Figure 11: Abondance des espèces rencontrées.

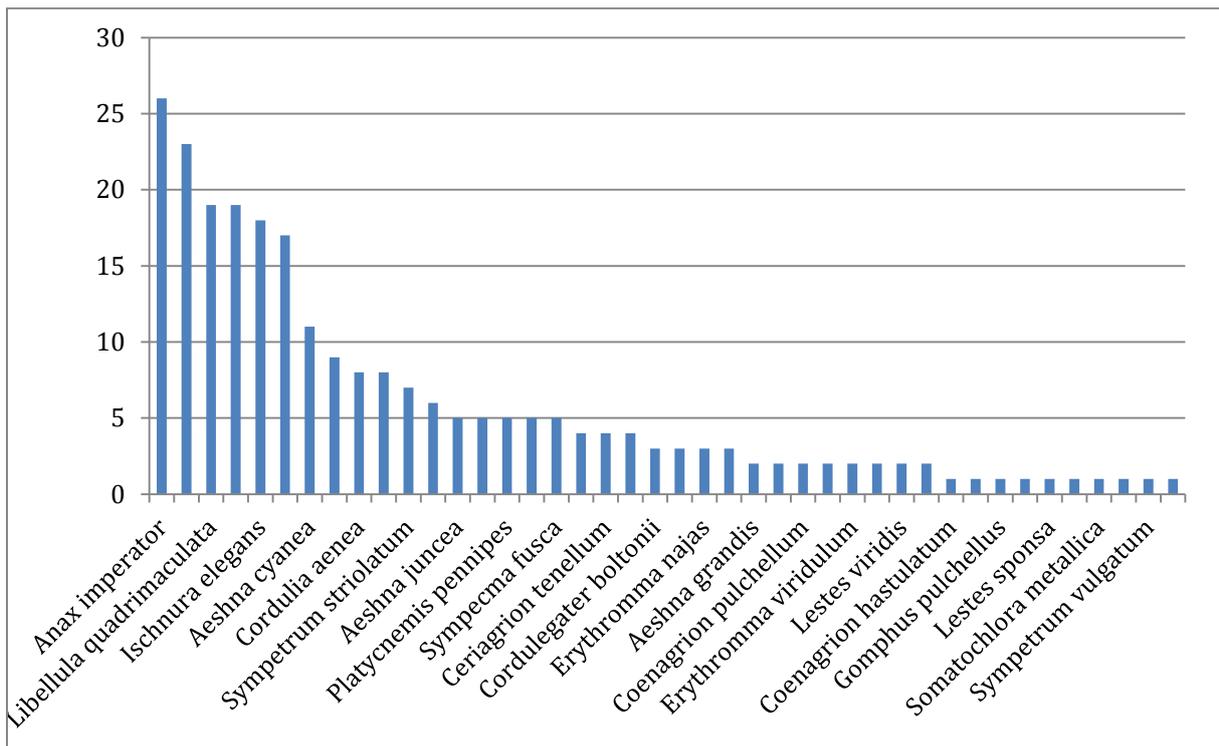


Figure 12 : Fréquence des espèces rencontrées (nombre de sites sur lesquels les espèces ont été observées).

### 3.4 Détection des espèces

Les estimations de la richesse spécifique en Odonates, obtenues sur chaque site à l'aide du logiciel Estimates (à l'exception des sites pour lesquels moins de trois passages ont été réalisés) ont permis de réaliser des graphiques (Annexe 9) montrant l'évolution de cette richesse spécifique en fonction du nombre de passages effectués. Au total, 13 graphiques présentent un plateau ce qui signifie que le nombre de passages sur ces sites a été suffisant pour permettre un bon échantillonnage des Odonates. C'est, par exemple, le cas du site « ODO106 » pour lequel six passages ont été effectués (figure 13).

Parmi les 13 sites dont les courbes atteignent un plateau, six correspondent à des pièces d'eau uniques, cinq à des gouilles et deux à des sites présentant à la fois des gouilles et une ou des pièces d'eau uniques.

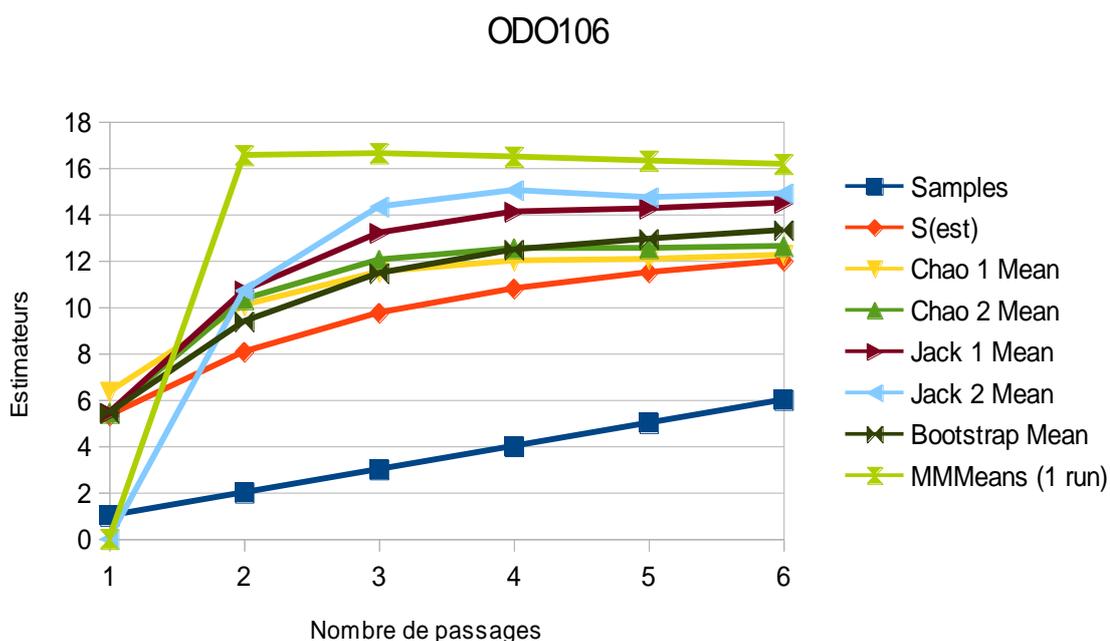


Figure 13: Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur le site « ODO106 ».

À l'inverse, six graphiques ne présentent pas de plateau ce qui signifie qu'un nombre de passages plus élevé permettrait d'échantillonner davantage d'espèces sur les sites correspondant à ces graphiques. C'est le cas du site « ODO17 » (figure 14). Parmi les six sites dont les courbes n'atteignent pas de plateau, quatre sont des pièces d'eau uniques et deux sont des gouilles.

Pour chaque site, plusieurs estimateurs du nombre d'espèces sont donnés. La majorité des estimateurs donnent un nombre d'espèces supérieur à celui réellement observé. Ainsi, il est fort probable que les sites présentent un nombre d'espèces plus élevé que celui relevé à l'issue des passages.

## ODO17

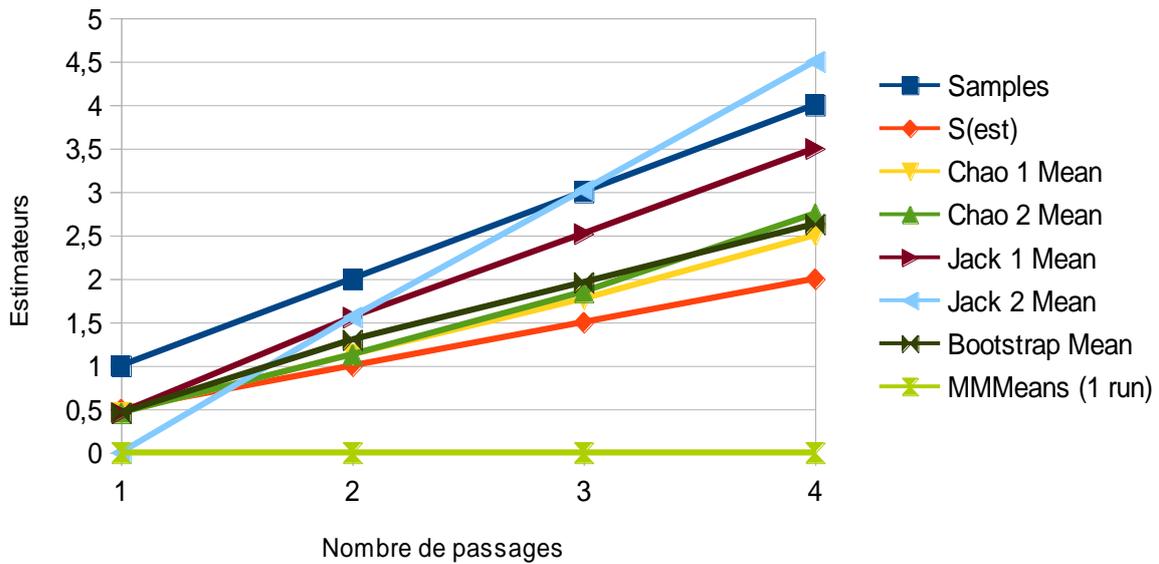


Figure 14 : Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur le site « ODO17 ».

### 3.5 Identification des cortèges odonatologiques liés aux milieux lentiques

Une première classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur 24 espèces seulement. En effet, les espèces les moins fréquentes, c'est-à-dire les espèces présentes sur moins de trois sites, au nombre de 18, sont considérées comme non représentatives et ont donc été retirées du jeu de données pour cette analyse. La représentation graphique (figure 15) indique deux groupes distincts, l'un constitué de cinq espèces (*A.imperator*, *C.puella*, *L.quadrifasciata*, *I.elegans* et *S.sanguineum*) et l'autre composé des autres espèces. Toutefois, ces deux groupes ne peuvent pas être considérés comme des cortèges puisque le premier groupe (celui constitué de cinq espèces) intègre en fait les espèces les plus fréquentes de notre jeu de données (figure 12). Il s'agit d'espèces ubiquistes, donc présentes sur un grand nombre de milieux différents.

Une deuxième CAH a été réalisée sans intégrer les cinq espèces les plus fréquentes évoquées ci-dessus (figure 16). Le nombre d'espèces que l'on conserve s'élève alors à 19. Cette fois, deux ou trois classes peuvent être retenues comme l'indique le graphique de l'inertie (figure 17). La première classe regroupe *C.aenea*, *E.najas*, *S.fusca*, *S.arctica*, *A.isoceles*, *C.erythraea*, *O.cancellatum*, *A.junceae*, *E.cyathigerum*, *A.cyanea* et *L.depressa*. La deuxième classe comprend uniquement *P.nymphula* et enfin la troisième classe est constituée de *S.striolatum*, *O.brunneum*, *O.coerulescens*, *C.tenellum*, *P.pennipes*, *C.boltonii* et *S.flavomaculata*.

Au vu de l'écologie des espèces, ces trois classes apparaissent assez pertinentes comme on le verra plus tard.

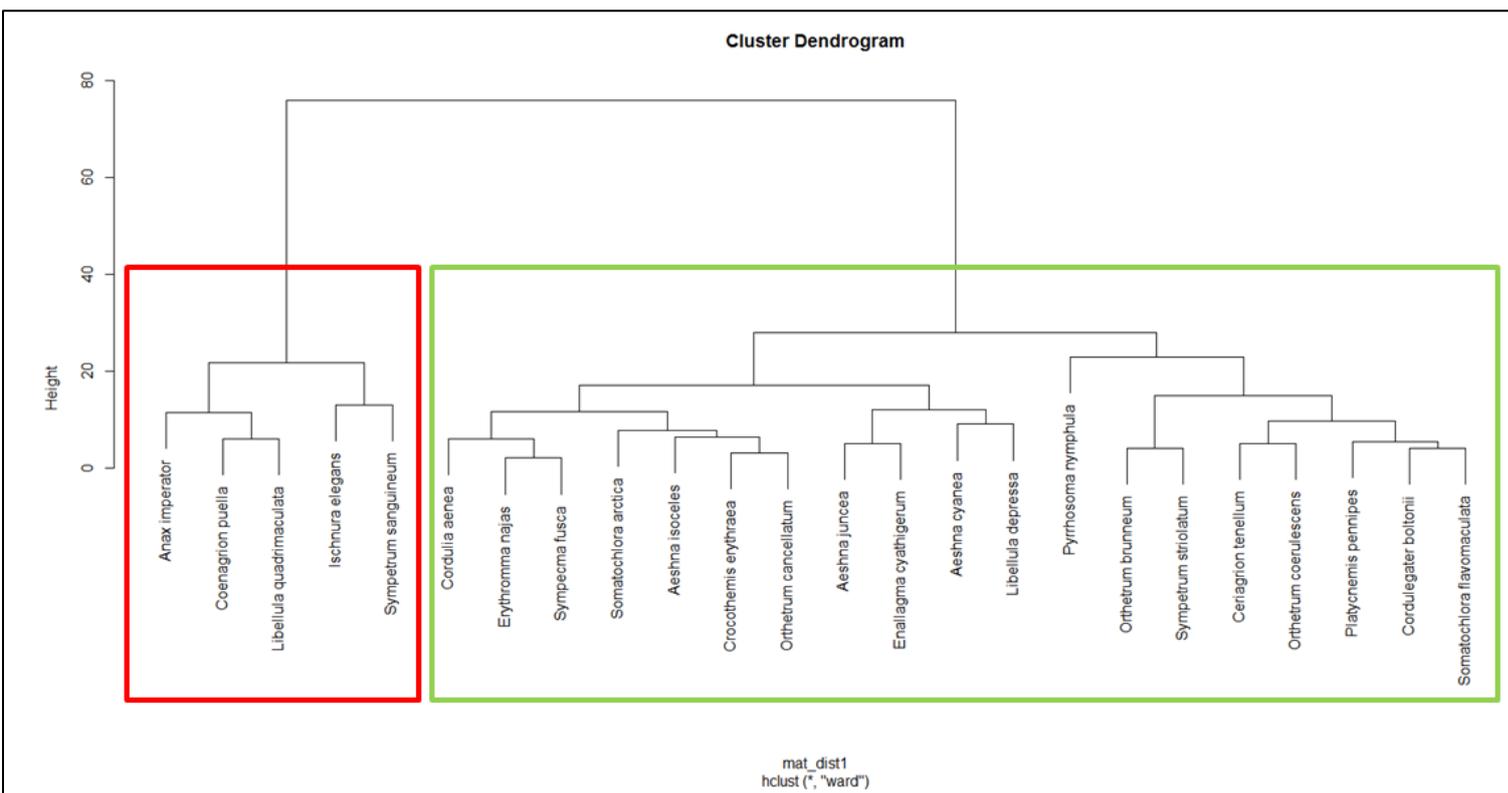


Figure 15 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique réalisée sur 24 espèces.

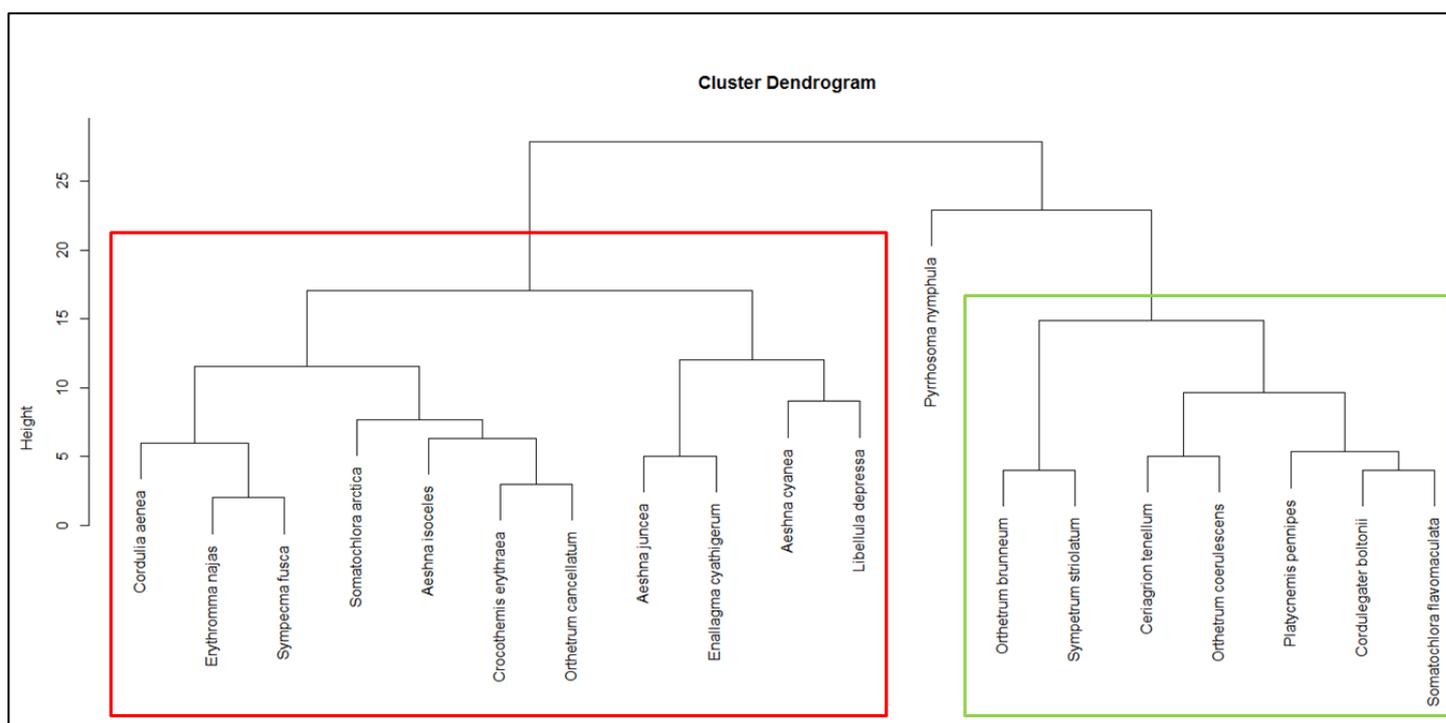
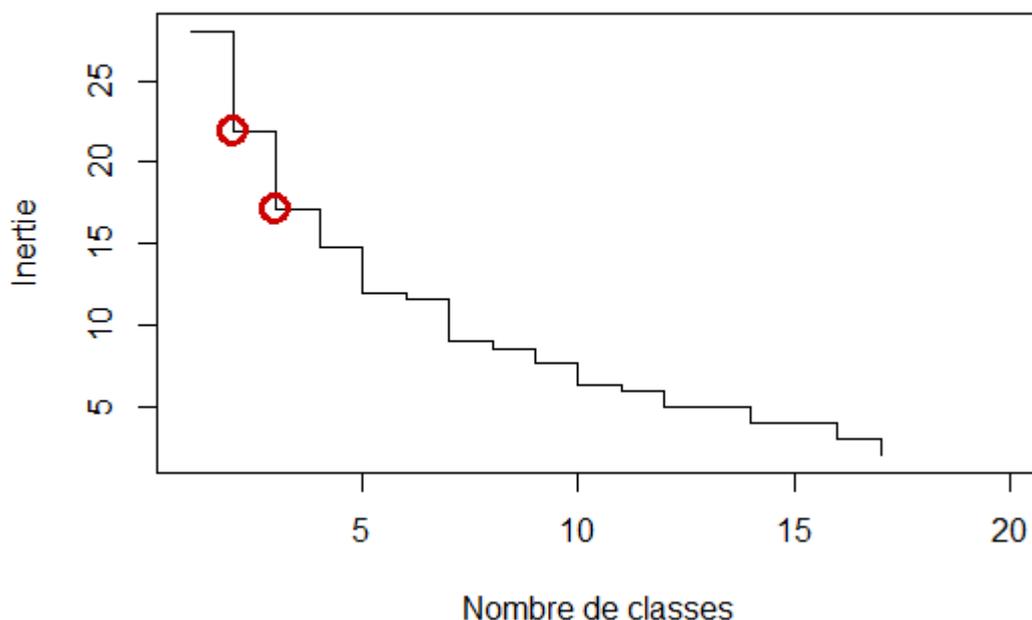


Figure 16 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique appliquée aux 19 espèces les plus représentatives du jeu de données.



**Figure 17 : Évolution de l'inertie en fonction du nombre de classes retenues.**

Les sauts d'inertie sont élevés pour un nombre de classes de 2 et 3. Il est donc pertinent de garder deux ou trois classes.

### 3.6 Caractérisation des cortèges odonatologiques obtenus

Cortège n°1 : *C.aenea*, *E.najas*, *S.fusca*, *S.arctica*, *A.isoceles*, *C.erythraea*, *O.cancellatum*, *A.juncea*, *E.cyathigerum*, *A.cyanea* et *L.depressa*

Onze espèces font partie de ce cortège. Sur un même site, six espèces de cette classe peuvent être présentes au maximum. Sur l'ensemble des sites, deux regroupent six des espèces du cortège et deux en regroupent cinq. Ces quatre sites correspondent à trois mares ouvertes et un milieu stagnant d'altitude. Tous sont des pièces d'eau uniques. Exceptée *S.arctica*, les espèces du cortège n°1 ont été rencontrées bien plus fréquemment sur des pièces d'eau uniques que sur des gouilles (tableau 5).

**Tableau 5 : Répartition des observations de chaque espèce du cortège n°1 en fonction du type de milieu.**

|                                | <i>C.aenea</i> | <i>S.fusca</i> | <i>E.najas</i> | <i>S.arctica</i> | <i>A.isoceles</i> | <i>C.erythraea</i> |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| gouilles                       | 0              | 0              | 0              | 3                | 0                 | 0                  |
| pièce d'eau unique             | 7              | 5              | 3              | 0                | 4                 | 3                  |
| gouilles et pièce d'eau unique | 0              | 0              | 0              | 0                | 0                 | 0                  |

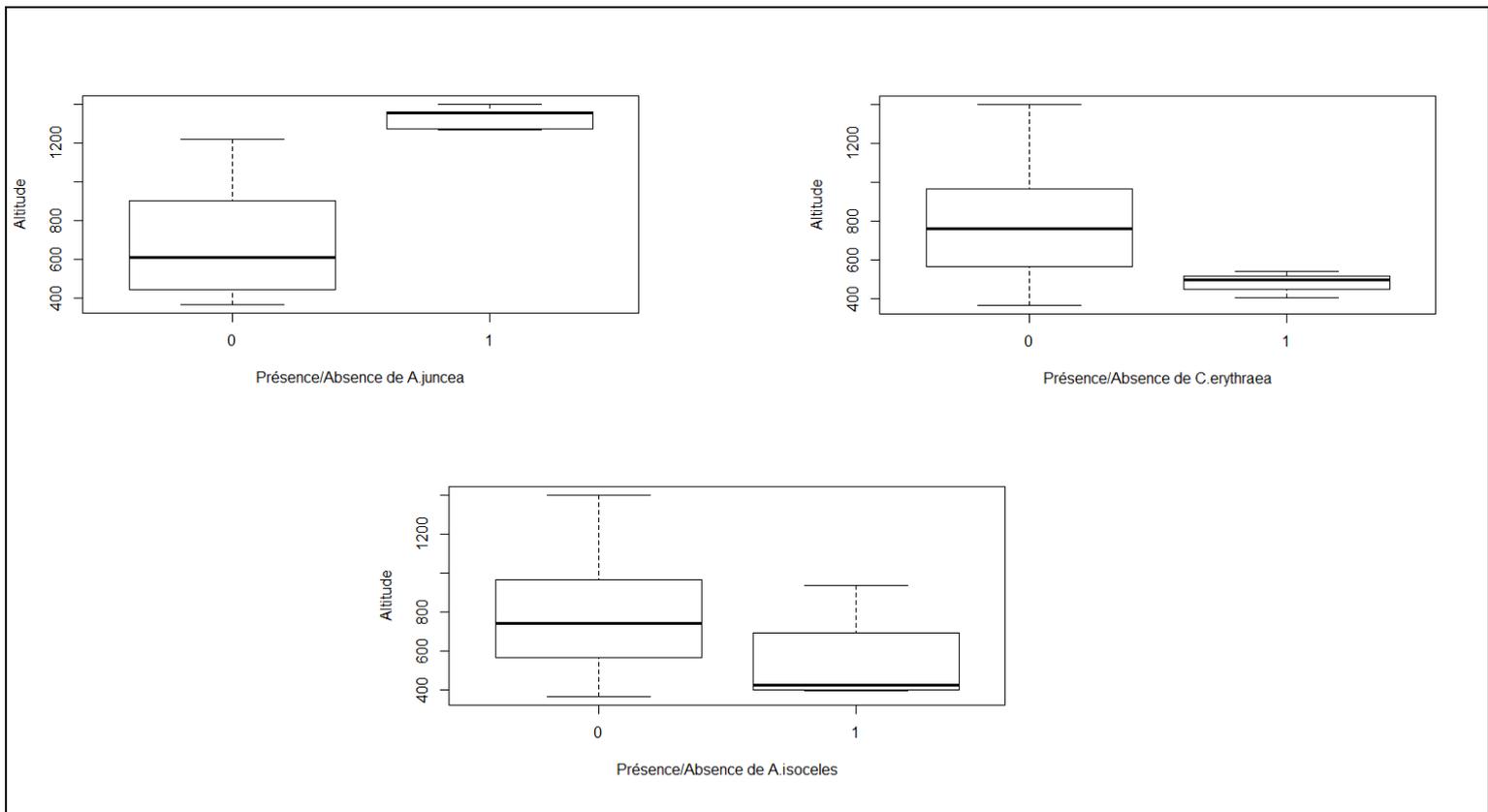
|                                | <i>O.cancellatum</i> | <i>A.juncea</i> | <i>E.cyathigerum</i> | <i>A.cyanea</i> | <i>L.depressa</i> |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-------------------|
| gouilles                       | 0                    | 1               | 0                    | 3               | 1                 |
| pièce d'eau unique             | 4                    | 4               | 6                    | 8               | 6                 |
| gouilles et pièce d'eau unique | 0                    | 0               | 0                    | 0               | 1                 |

Les résultats de l'Anova appliquée aux modèles logistiques et testant l'effet des variables environnementales sur la présence/absence des espèces sont présentés en Annexe 10.

Le type de milieu a un effet significatif sur la présence de neuf espèces sur les onze du cortège. Il s'agit de *C.aenea*, *S.fusca*, *E.najas*, *S.arctica*, *A.isoceles*, *C.erythraea*, *O.cancellatum*, *E.cyathigerum*

et de *L.depressa*. D'après le tableau 5, le milieu de prédilection de ces espèces correspond à des pièces d'eau uniques sauf pour *S.artica* qui affectionne des gouilles. *A.juncea* et *cyanea* ne sont pas significativement impactées par le type de milieu.

Trois espèces sont sensibles à l'altitude : *Aeshna isocetes* (p-value = 0,003926 \*\*), *Crocothemis erythraea* (p-value = 0,007804 \*\*) et *Aeshna juncea* (p-value = 1,168e-06 \*\*\*). Alors qu'*Aeshna juncea* préfère les sites d'altitude, les deux autres espèces affectionnent davantage les sites peu élevés en altitude (figure 18). Concernant *E.cyathigerum*, l'altitude testée comme seule variable apparaît significative pour expliquer la présence de l'espèce. Toutefois, dans le modèle multiple, l'effet de l'altitude n'est plus significatif. On en déduit donc que l'altitude apparaît significative dans le modèle à une seule variable du fait de l'existence de l'effet d'autres variables et que son effet seul n'est pas significatif.



**Figure 18 : Répartition des données de présence/absence d'*A.juncea*, *C.erythraea* et *A.isocetes* en fonction de l'altitude.**  
0 : Absence de l'espèce ; 1 : Présence de l'espèce.

La présence d'hélophytes a un effet significatif sur trois espèces (*Crocothemis erythraea*, p-value = 0,014874 \* ; *Enallagma cyathigerum*, p-value= 0,006045 \*\* ; *Libellula depressa*, p-value = 0,0363 \*). En effet, ces espèces sont davantage présentes sur des sites où les hélophytes sont absentes que les autres espèces. Toutefois, elles sont très présentes sur les sites avec hélophytes.

Enfin, le niveau de l'eau, dont l'effet n'a été testé que dans le modèle seul et non dans le modèle multiple du fait de sa corrélation avec le type de milieu, impacte deux espèces que sont *C.aenea* (p-value = 0,01016 \*) et *C.erythraea* (p-value = 0,04035 \*). Au vu des données, il est difficile de déterminer quel est le niveau d'eau qui convient le mieux à *C.aenea* ; en revanche, *C.erythraea* semble se développer essentiellement sur des sites pour lesquels le niveau d'eau n'est pas constant.

Conclusion partielle : Les espèces du cortège 1 affectionnent en priorité des milieux constitués de pièces d'eau uniques. Trois espèces font exception : *A.juncea* et *A.cyanea* qui ne se retrouvent, pas de

manière significative, sur des pièces d'eau uniques ; et *S.arctica* qui se retrouve, quant à elle, sur des gouilles.

Cortège n°2 : *O.brunneum*, *S. striolatum*, *O.coerulescens*, *C.tenellum*, *S.flavomaculata*, *P.pennipes*, *C.boltonii*

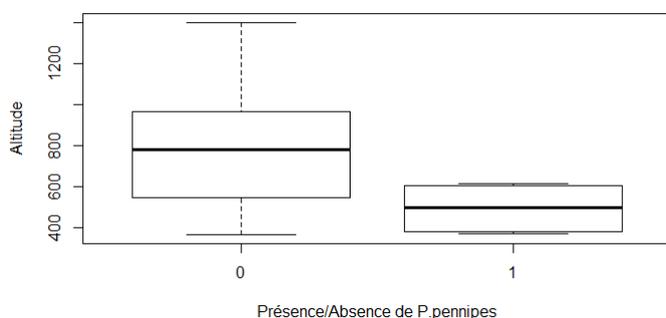
Ce cortège regroupe sept espèces. Les sites sur lesquels on retrouve au moins trois espèces du cortège 2 sont au nombre de cinq et correspondent à des gouilles. Les espèces de ce cortège ont été principalement rencontrées sur des gouilles (tableau 6).

**Tableau 6 : Répartition des observations de chaque espèce du cortège n°2 en fonction du type de milieu.**

|                    | C.tenellum | O.coerulescens | O.brunneum | S.striolatum | P.pennipes | S.flavomaculata | C.boltonii |
|--------------------|------------|----------------|------------|--------------|------------|-----------------|------------|
| gouilles           | 4          | 6              | 4          | 5            | 3          | 4               | 2          |
| pièce d'eau unique | 0          | 2              | 1          | 2            | 2          | 1               | 0          |

Toutefois, l'effet du type de milieu n'est significatif que sur deux espèces (*C.tenellum*, p-value = 0,04819 \* et *O.coerulescens*, p-value = 0,03898 \*) d'après les résultats de l'Anova présentée dans l'Annexe 11. Il est également significatif sur les sites où l'on retrouve au moins trois espèces du cortège 2.

Deux autres effets sont significatifs : celui, négatif (figure 19), de l'altitude sur *P.pennipes* (p-value = 0,04586 \*) et celui de la présence d'hélophytes sur *S.striolatum* (p-value=0,04979 \*). En effet, *S.striolatum* n'est pas présent que sur des sites avec hélophytes au contraire des autres espèces du cortège n°2. Il a été observé sur un site ne contenant pas d'hélophytes.



**Figure 19 : Répartition des données de présence/absence de *P.pennipes* en fonction de l'altitude.**

0 : Absence de l'espèce ; 1 : Présence de l'espèce.

**Conclusion partielle :** Les espèces du cortège 2 affectionnent en priorité des gouilles.

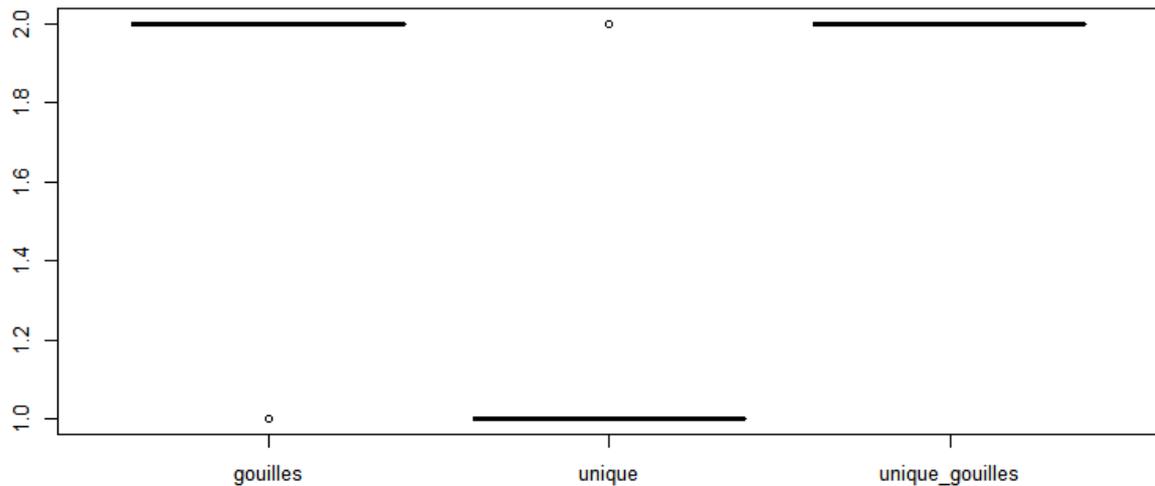
### 3.7 Lien entre cortèges et type de milieu

Sur chacun des sites, le nombre d'espèces de chaque cortège a été calculé ainsi que la proportion d'espèces de chaque cortège. Dès lors que la proportion d'un cortège est supérieure à celle de l'autre cortège, le cortège ayant la proportion la plus importante est considéré comme le cortège dominant. Ainsi, chaque site s'est vu attribuer un cortège dominant sauf lorsque les proportions des deux cortèges sont nulles ou égales (Annexe 12).

Le coefficient de corrélation de Pearson entre la dominance d'un cortège sur un site et le type de milieu est de 0,735316 lorsqu'on considère uniquement les sites pour lesquels un cortège dominant est associé soit pour 27 sites.

Le boxplot de la figure 20 associe les gouilles à la valeur 2 qui correspond au cortège n°2 (seule une gouille est associée au cortège 1 comme l'indique le point isolé) ; les pièces d'eau uniques à la valeur 1 qui correspond au cortège 1 (seule une pièce d'eau unique est associée au cortège 2 comme l'indique

le point isolé). Enfin, les sites présentant à la fois des gouilles et une pièce d'eau unique semblent favoriser les espèces du cortège 2.



**Figure 20 : Boxplot présentant le numéro de cortège en fonction du type de milieu.**  
Axe des ordonnées : 1 = cortège 1 ; 2 = cortège 2.

### 3.8 Caractérisation des sites où le cortège 1 domine

Les espèces du cortège 1 dominent sur 15 sites dont 14 correspondent à des pièces d'eau uniques et un à des gouilles. Il convient de noter que le site avec gouilles ne présente pas les mêmes caractéristiques que les gouilles décrites dans la partie suivante puisqu'il s'agit d'une tourbière d'altitude.

Les pièces d'eau uniques correspondent à des étangs (figure 21), des mares ouvertes ou fermées (figure 22), des milieux stagnants d'altitude (figure 23) et une carrière.

Ces pièces d'eau se retrouvent dans des paysages forestiers (six sites), agricoles (deux sites) ou d'alpage (quatre sites) principalement. Les deux derniers sites correspondent, pour l'un, à une carrière entourée de jeune boisement et, pour l'autre, à un paysage à la fois boisé et agricole.



**Figure 21: Étang sur lequel le cortège 1 est dominant, Menthonnex-en-Bornes, paysage boisé et agricole (Source : A.Couët).**



**Figure 22 : Mares sur lesquelles le cortège 1 est dominant (Source : A.Couët).**

À gauche : Viry, paysage agricole.

À droite : Messery, boisement.



**Figure 23 : Milieux stagnants d'altitude sur lesquels le cortège 1 est dominant (Source : A.Couët).**

À gauche : Lullin, alpage

À droite : La Clusaz, alpage

Conclusion partielle : Malgré une exception, les sites où le cortège 1 domine sont des pièces d'eau uniques majoritairement forestières ou agricoles.

### 3.9 Caractérisation des sites où le cortège 2 domine

Les espèces du cortège 2 dominent sur douze sites. Parmi ces douze sites, dix correspondent à des gouilles (ou gouilles et pièce d'eau unique). Parmi ces dix gouilles, sept se situent sur des prairies avec présence de roseaux, une sur une prairie sans roseau (figure 24) et deux dans des roselières. Huit sont des milieux ouverts non agricoles tandis que les deux autres correspondent pour l'un à un milieu agricole et pour l'autre à une clairière.



Figure 24 : Site prairial de gouilles sur lequel le cortège 2 domine, Chaumont (Source : A.Couët).

Deux sites correspondent à des pièces d'eau uniques. L'un présente pourtant des caractéristiques similaires aux milieux de gouilles puisque l'on y retrouve une prairie humide autour. De plus, il s'agit plutôt d'une zone de source avec élargissement d'où le fait que nous l'ayons considéré comme une pièce d'eau unique.

Concernant le deuxième site, la seule espèce du cortège 2 présente est *P.pennipes* or cette espèce est une espèce non inféodée aux gouilles d'après la littérature.

Conclusion partielle : Les sites où le cortège 2 domine sont surtout des gouilles situées en prairies non agricoles et caractérisées par la présence de roseaux (en plus ou moins petite quantité).

Il convient de noter que les sites sur lesquels le cortège 2 domine sont des sites de faible altitude (altitude inférieure à 900 mètres sauf pour un site) tandis que parmi les 15 sites sur lesquels le cortège 1 domine, dix ont une altitude supérieure à 900 mètres.

### 3.10 Sites où aucun des deux cortèges ne domine

On considère que lorsque les espèces des deux cortèges sont présentes dans la même proportion (ce qui correspond à la catégorie « les deux » de la colonne « Cortège dominant » de l'annexe 12), aucun cortège ne domine.

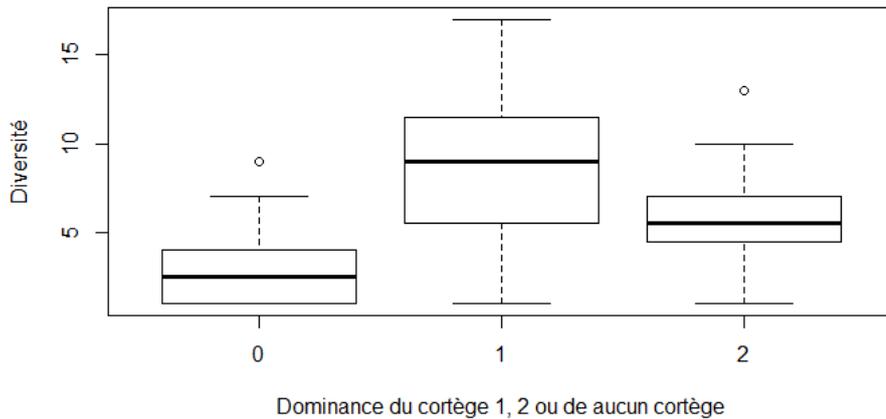
Parmi les 14 sites pour lesquels aucun cortège ne domine, onze sont des sites avec peu d'espèces (en général, seules quelques-unes des espèces les plus communes sont présentes).

### 3.11 Lien entre diversité et Cortège

La diversité en Odonates ou richesse spécifique des sites sur lesquels le cortège 1 est dominant a une valeur moyenne de 8,67.

La diversité des sites sur lesquels le cortège 2 est dominant a une valeur moyenne de 5,9.

La diversité des sites sur lesquels aucun cortège ne domine a une valeur moyenne de 3,36.

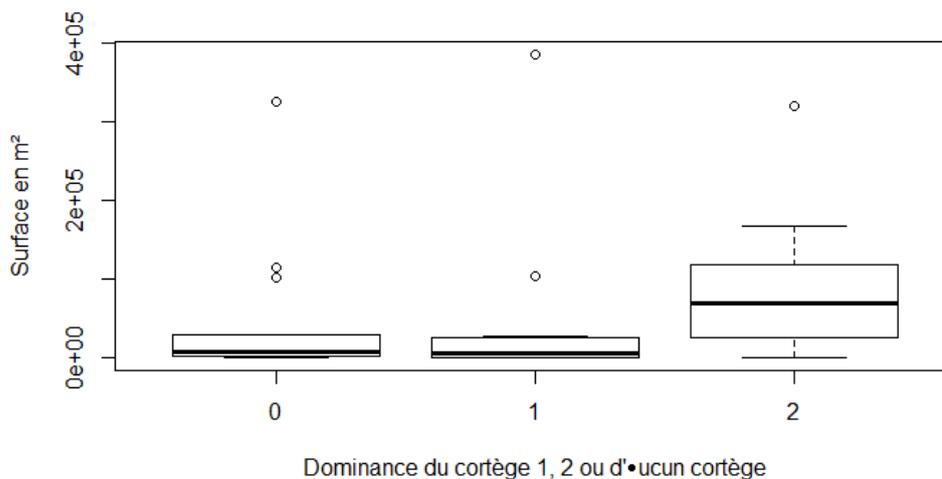


**Figure 25 : Nombre d'espèces médian lorsqu'aucun cortège ne domine (modalité 0), le cortège 1 domine (modalité 1) ou le cortège 2 domine (modalité 2).**

Le lien entre la diversité en espèces et la dominance d'un cortège est modélisé à l'aide d'un modèle de régression linéaire simple suivant une loi normale (car les données suivent une loi normale : test de Kolmogorov-Smirnov :  $D=0,1731$ ,  $p\text{-value}=0,182$ ). Les résultats indiquent une diversité significativement plus élevée pour les sites où le cortège 1 est dominant par rapport aux sites où le cortège 2 est dominant (estimate= 3,2143,  $p\text{-value}=0,0216^*$ ) et par rapport aux sites où aucun cortège ne domine (estimate=5,8571,  $p\text{-value}=5,65 \cdot 10^{-5}$  \*\*\*). Les diversités sur les sites où aucun cortège ne domine et sur les sites où le cortège 2 est dominant ne sont pas significativement différentes (estimate=2,6429,  $p\text{-value}=0,056164$ ). Ces résultats sont représentés sur la figure 25.

Ce lien entre diversité et dominance d'un cortège n'est pas biaisé par la taille des sites puisque la diversité des sites est très faiblement corrélée à leur surface (coefficient de Pearson=0,03970562).

La surface des sites est faiblement corrélée à la dominance d'un cortège sur ces sites (coefficient de Pearson=0,1751791) bien que la surface des sites avec gouilles paraisse plus élevée que celle des autres sites (figure 26).



**Figure 26 : Surface des sites en fonction de la dominance d'un cortège (1 : dominance du cortège 1 ; 2 : dominance du cortège 2 ; 0 : aucun cortège ne domine).**

## 4 Discussion

### 4.1 Pertinences des cortèges et de leur milieu de prédilection

#### Cortège n°1

On a pu mettre en évidence l'existence de deux cortèges odonatologiques sur les milieux lenticules de Haute-Savoie. Le premier cortège regroupe des espèces rencontrées majoritairement sur des pièces d'eau uniques. Ce premier résultat est en accord avec la littérature : à part pour *A.juncea* et *S.arctica*, on rencontre bien souvent les espèces du cortège 1 ensemble notamment sur les étangs et les lacs (Grand & al., 2014). Toutefois, beaucoup d'entre elles ne sont pas strictement inféodées aux pièces d'eau uniques. Seules *S.fusca* (figure 27) et *E.najas* sont connues pour coloniser seulement les pièces d'eau uniques (Deliry, 2008 ; Grand & al., 2014). Elles sont d'ailleurs très proches sur le graphique de la CAH. *E. cyathigerum*, *A.cyanea* et *C.aenea* sont des espèces que l'on peut également retrouver sur des tourbières (Grand & al., 2014 ; Deliry, 2008). *E. cyathigerum* et *A.cyanea* sont, en effet, ubiquistes tandis que *C.aenea* affectionne majoritairement les étangs en région Rhône-Alpes (Deliry, 2008). Ainsi, Chovanec & al. (2014) associent *C.aenea* aux pièces d'eau ouvertes et non aux milieux d'eau temporaires comme pourraient l'être les gouilles. *C.erythraea*, quant à elle, peut coloniser tout type de milieu stagnant (Deliry, 2008) et fait partie des cortèges pionniers et des eaux saumâtres (Balzan, 2012 ; Grand & al., 2014). Elle peut même se rencontrer sur des milieux lotiques à Malte (Balzan, 2012). *L.depressa* peut elle aussi faire partie des cortèges pionniers (Deliry, 2008 ; Grand & al., 2014) et ainsi coloniser des flaques et fossés (Deliry, 2008). Il est même arrivé de la rencontrer sur un marais tufeux dans le Dios (Rhône-Alpes) en présence d'*O.coerulescens* et *brunneum* (Deliry, 2008).

*A.isoceles* peut se retrouver sur des marais. *O.cancellatum* peut affectionner de nombreux milieux dont des tourbières et parfois des eaux courantes (Deliry, 2008).



**Figure 27 : *S.fusca*, espèce typique des pièces d'eau uniques, Viry (source : A.Couët).**

*A.juncea* peut se retrouver aussi bien sur des pièces d'eau uniques que sur des gouilles (Grand & Boudot, 2006) ce qui confirme l'effet non significatif du type de milieu sur la présence/absence de cette espèce. *S.arctica* se retrouve, quant à elle, sur des tourbières – les larves vivent dans des gouilles – (Grand & Boudot, 2006) ce qui confirme nos résultats. Ces deux espèces pourraient alors être séparées des autres espèces du cortège 1. De plus, ce sont des espèces d'altitude (Grand & al., 2014) au contraire des autres.

Le cortège 1 pourrait donc être fractionné en deux cortèges : l'un regroupant les espèces de pièces d'eau uniques de faible altitude (dont les espèces strictement inféodées à ce type de milieu, *S.fusca*, *E.najas* et dans une moindre mesure *A.isoceles* et celles dont le spectre de milieux est plus large, *E. cyathigerum*, *A.cyanea*, *C.aenea*, *C.erythraea*, *L.depressa* et *O.cancellatum*) que l'on nommerait le cortège 1 et l'autre regroupant les espèces des lacs et tourbières d'altitude (*A.juncea* et *S.arctica*) que l'on nommerait le cortège 1'. Cette séparation n'apparaît pas sur le graph de la CAH. Cela pourrait être dû à un manque de données et de sites prospectés.

Il convient de noter que toutes les espèces de ces cortèges ne seront pas forcément présentes en même temps sur un site. En effet, cela dépend de leur période de vol. Ainsi, il est fort probable de rencontrer

*S.arctica* et *A.juncea* ensemble au même moment puisque ces espèces volent toutes les deux de fin juin à août (Grand & Boudot, 2006). En revanche, les périodes de vol de *L.depressa* et *C.aenea* diffèrent de celles de *C.erythraea* bien qu'elles se chevauchent au mois de juin. Sur un site où les trois espèces sont présentes, il est fort probable de ne rencontrer que les deux premières au mois de mai et seulement *C.erythraea* au mois d'août. Les autres espèces du cortège ont une période de vol longue s'étendant de mai à août au minimum. Seule *S.fusca* est présente toute l'année à l'état d'imago sauf en juillet, période où les larves émergent.

### Cortège n°2

Le deuxième cortège regroupe des espèces majoritairement rencontrées sur des gouilles de faible altitude. Ces résultats sont, comme pour le cortège 1, assez en accord avec la littérature. En effet, les espèces de ce cortège sont des espèces que l'on peut retrouver ensemble sur une même localité. C'est, par exemple, le cas d'*O.brunneum* et d'*O.coerulescens* qui aiment les milieux avec peu d'eau et peuvent donc cohabiter comme l'indiquent Deliry (2014) et l'illustre la figure 28. Ces deux *Orthetrum* peuvent se retrouver en milieu lotique au niveau des potamons (Chovanec & al., 2014).



Figure 28 : *O.coerulescens* (à gauche) et *O.brunneum* (à droite), Les Ollières (source : A.Couët).

Toutefois, *O.brunneum* préfère des milieux aux berges dénudées ou rocheuses tandis qu'*O.coerulescens* privilégie les zones plus végétalisées (Deliry, 2008). Deliry (2008) précise qu'*Orthetrum coerulescens* cohabite avec *Cordulegaster boltonii* et *bidentata*, *C.tenellum*, *S.flavomaculata*, *O.brunneum* et *C.mercuriale*.

La CAH associe fortement *C.tenellum* et *O.coerulescens* car *C.tenellum* a toujours été rencontré en présence d'*O.coerulescens* pendant notre étude. Ce résultat est confirmé par la bibliographie (Deliry, 2008 ; Gander & Maibach, 2014).

Concernant les milieux, bien que *C.tenellum* et *O.brunneum* peuvent se retrouver sur des pièces d'eau unique (Grand & al., 2014), *O.brunneum* est une espèce pionnière (Deliry, 2008) qui affectionne donc des milieux type gouilles et *C.tenellum* colonise des eaux de faible profondeur (quelques centimètres) (Boudot & Kalkman, 2015 ; Corbet, 1956 ; Gander & Maibach, 2014 ; Heidemann & Seidenbusch, 2002 ; Strehler Perrin, 2004) permettant à l'eau de se réchauffer rapidement (Boudot & Kalkman, 2015). Il colonise surtout des gouilles en Rhône-Alpes (Deliry, 2008).

*S.flavomaculata* privilégie les marais et bas-marais, *O.coerulescens* préfère des habitats restreints et filets d'eau permanents et ensoleillés parfois de quelques dm<sup>2</sup> seulement. Ses larves vivent dans la vase ou la boue (Deliry, 2008).

Ces quatre espèces colonisent donc préférentiellement des milieux type gouilles. Pour ce qui est de *C.boltonii*, ce taxon colonise les rivières, ruisseaux, torrents et zones de sources. Ces cours d'eau

peuvent être intermittents car la larve supporte un assèchement temporaire (Deliry, 2008 ; Grand & al., 2014). Ainsi comme les zones de source peuvent s'accompagner de gouilles il n'est pas incohérent que *C.boltonii* fasse partie du cortège des gouilles.

De plus, *O.brunneum*, *coerulescens* et *C.tenellum* peuvent également coloniser des zones de sources, ruisseaux et petites rivières (Grand & al., 2014).

Il est assez surprenant de retrouver *P.pennipes* au sein du cortège n°2. En effet, cette espèce n'est pas spécialement inféodée aux zones de gouilles. Il s'agit d'une espèce qui, en Rhône-Alpes, préfère les étangs et pièces d'eau profonde favorisant une certaine fraîcheur de l'eau (Deliry, 2008) malgré son caractère ubiquiste (Grand & Boudot, 2006). Cette espèce peut se retrouver sur des milieux lotiques (Grand & Boudot, 2006). Malgré cette incohérence, *P.pennipes* affectionne les potamons de la même manière qu'*Orthetrum coerulescens* et *brunneum* (Chovanec & al., 2014).

Enfin, *S.striolatum* semble se développer à la fois sur les milieux type gouilles puisque c'est une espèce pionnière (Deliry, 2008 ; Grand & al., 2014) et sur des pièces d'eau uniques puisqu'il est associé au cortège des mares et celui des étangs et des lacs (Grand & al., 2014). L'espèce affectionne en fait tout type de milieux stagnants (Deliry, 2008). Chovanec & al. (2014) l'associent à *L.depressa* (également espèce pionnière) et *O.cancellatum* pour leur préférence pour des milieux constitués de rives faiblement végétalisées.

Afin de conserver un cortège d'espèces de gouilles cohérent, il serait donc pertinent de ne garder que les espèces suivantes : *O.brunneum*, *O.coerulescens*, *C.tenellum*, *S.flavomaculata* et *C.boltonii* et de retirer *S. striolatum* et *P.pennipes* tout en ayant conscience que la présence de *C.boltonii* sur des gouilles implique la présence d'une source ou d'un filet d'eau courant à proximité. L'espèce se reproduit en fait dans les eaux courantes et ne devrait pas faire partie du cortège des gouilles si l'étude se restreint aux habitats larvaires.

*O.brunneum*, *O.coerulescens*, *C.tenellum*, *S.flavomaculata* et *C.boltonii* ont des périodes de vol assez similaires (Grand & Boudot, 2006).

#### Les autres espèces du jeu de données

Les espèces les plus fréquentes du jeu de données, *A.imperator*, *C.puella*, *I.elegans*, *L.quadrifasciata* et *S.sanguineum* sont des espèces ubiquistes que l'on retrouve sur un très grand nombre de milieux (la plupart du temps stagnants mais parfois aussi en milieu lotique). Elles se rencontrent donc aussi bien sur des gouilles que sur des pièces d'eau uniques (Balzan, 2012 ; Grand & Boudot, 2006 ; Grand & al., 2014). Elles pourraient chacune faire partie des deux cortèges définis dans la présente étude.

Parmi les espèces non considérées dans les analyses de données du fait de leur trop faible fréquence, certaines sont inféodées, d'après la littérature, aux pièces d'eau uniques, d'autres se retrouvent sur les pièces d'eau uniques comme sur les gouilles. Certaines sont des espèces d'altitude comme *L.dubia* et *C.hastulatum*. Enfin, certaines espèces sont des espèces d'eaux courantes comme *C.mercuriale* et *C.virgo*. Ces dernières espèces se sont retrouvées dans notre jeu de données pourtant focalisés sur les milieux stagnants. En effet, certains individus de *C.virgo* étaient juste erratiques ou alors présents du fait de l'existence de filets d'eau courante à proximité du site ou même sur le site prospecté. Les espèces de milieu lotique et celles de milieu lentique peuvent donc partager un même espace vital comme vu ci-dessus avec *C.boltonii*. Cette cohabitation d'espèces a généralement lieu au niveau des suintements tufeux des bas-marais alcalins où l'on peut retrouver à la fois *Ceriagrion tenellum*, *Coenagrion mercuriale* et *Orthetrum coerulescens* (Deliry, 2008 ; Gander & al., 2014).

La CAH a isolé *P.nymphula* des deux autres groupes (cortèges 1 et 2). Cette espèce colonise, en effet, un large spectre d'habitats stagnants, aussi bien des gouilles que des pièces d'eau uniques. De plus, bien que non spécialement montagnarde, elle peut se retrouver assez haut en altitude, jusqu'à plus de 2000 mètres dans les Pyrénées (Grand & Boudot, 2006).

## 4.2 Intérêt de l'étude des cortèges

Même si une espèce peut faire partie de plusieurs cortèges ou bien que toutes les espèces d'un cortège ne sont pas forcément présentes (Grand & Boudot, 2006), l'étude des cortèges permet de caractériser un habitat, défini comme l'ensemble des ressources et conditions requises et accessibles aux individus d'une espèce en un endroit donné (Dennis & *al.*, 2003 et 2007 dans Balzan, 2012). Elle apporte ainsi des clés quant à la gestion et la conservation de milieux (Corbet, 1993 and 1999 dans Balzan, 2012). La qualité d'un habitat ne repose pas toujours sur la richesse spécifique de cet habitat. La présence d'une ou plusieurs espèces du cortège associé à un habitat indique parfois mieux l'état écologique de cet habitat (Chovanec & *al.*, 2014).

Cependant la richesse spécifique reste un outil nettement utilisé pour avoir une première vision de l'état des écosystèmes (Norpac, 2011).

Dans notre étude, les sites ayant la plus grande diversité correspondent à ceux où le cortège 1 domine. La corrélation entre la taille des sites et la dominance d'un cortège sur ces sites étant faible, ce phénomène n'est donc pas dû à la taille des pièces d'eau uniques qui ne sont pas plus grandes que les sites avec gouilles.

On pourrait alors penser que les sites où le cortège 1 est dominant sont les sites présentant le plus grand intérêt écologique. Toutefois, la présence de *Ceragrion tenellum*, espèce utilisée comme indicatrice de la qualité des habitats aquatiques pour les eaux stagnantes (Deliry, 2008) du fait de sa prédilection pour des milieux présentant une eau bien oxygénée et riche en végétation aquatique (Heidemann & Seidenbusch, 2002), sur certains sites avec gouilles, nous indique une bonne qualité de ces derniers. Ainsi, comme évoqué précédemment la diversité seule d'un site ne suffit pas à indiquer son état écologique. La conservation des sites où le cortège 1 est dominant est aussi valable que celle des sites où le cortège 2 domine. Cela dépend, en fait, du type de gestion le mieux approprié pour un site : dans certains cas, il peut être préférable de favoriser la diversité (auquel cas, on privilégiera les sites où le cortège 1 est dominant – c'est-à-dire les pièces d'eau uniques), dans d'autres, il est préférable de favoriser les espèces patrimoniales (auquel cas, on privilégiera les sites où le cortège 2 domine – c'est-à-dire les gouilles). On remarque néanmoins que les deux sites les plus riches en espèces, parmi ceux où le cortège 2 domine, abritent *C.tenellum*. Ils font aussi partie des six sites les plus riches de notre étude. Le premier site fait cependant parti des trois sites les plus grands de notre étude et comporte à la fois des gouilles au niveau d'un habitat appelé « Cratoneurion » et des mares. Le Cratoneurion est un habitat fragile, rare et donc à fort intérêt patrimonial. C'est un habitat classé « prioritaire » au niveau européen. Le site est classé comme arrêté préfectoral de protection de biotope (APPB), site Natura 2000, ZNIEFFs de type 1 et 2. Une gestion appropriée devrait permettre de maintenir ce lieu riche en biodiversité. Un contrôle de la végétation afin d'éviter la fermeture du milieu et le maintien d'une bonne qualité de l'eau sont des actions pertinentes de gestion ainsi que la limitation de la fréquentation touristique. La présence de panneaux indicateurs et de barrières empêchant les promeneurs d'accéder au cœur de la zone sont déjà en place. La présence de travaux jouxtant le site représente une menace de par la pollution qu'elle engendre.

Le deuxième site est une roselière de bas-marais alcalin également de grande importance écologique : il se situe sur un APPB, une zone Natura 2000 et des ZNIEFFs de type 1 et 2. De nombreuses espèces animales et végétales y sont recensées ainsi que quatre espèces végétales protégées aux niveaux national et régional (INPN, 2016).

Ces deux sites sont situés sur la commune d'Orcier. Deux autres sites où le cortège 2 domine sont présents sur la commune d'Orcier dont l'un qui accueille aussi *C.tenellum*. La commune d'Orcier a donc une grande responsabilité en matière de préservation de l'environnement et les corridors écologiques servant de connexion entre les différents sites odonatologiques devraient être préservés. Enfin, un autre site accueille *C.tenellum* avec seulement cinq autres espèces mais parmi lesquelles *Coenagrion mercuriale*, espèce protégée en France et également sensible à la qualité de l'eau (Bensetitti & *al.*, 2002) et à l'eutrophisation des milieux aquatiques (Dupont, 2010). Bien qu'associé aux eaux légèrement courantes, *C.mercuriale* peuple parfois des gouilles (Lamouille-Hébert, 2015).

Ainsi malgré une faible diversité, ce dernier site semble avoir une grande importance écologique, d'autant plus que *C.tenellum* et *C.mercuriale* ont des exigences importantes quant à la végétation aquatique qui doit être présente dans leur milieu (Grand & al., 2006 ; Lamouille-Hébert, 2015).

Concernant les sites où le cortège 1 domine, le site le plus riche en espèces correspond à une mare créée artificiellement en plein milieu de cultures agricoles (figure 22). Malgré la présence d'une activité agricole autour ainsi que le prélèvement d'eau entraînant un niveau variable de l'eau (la diversité spécifique a d'ailleurs diminué une fois le niveau de l'eau diminué mais cela pourrait aussi correspondre à la fin de la période de vol de certaines espèces), le site apparaît fonctionnel en terme écologique. On y retrouve des héliophytes et plantes flottantes. Les rives sont herbacées et ligneuses. L'eutrophisation et la turbidité y sont absentes. Ce site se situe sur des ZNIEFFs de type 1 et 2 et a été créé dans un but écologique. En terme d'habitat, une petite prairie ainsi que des bois sont présents dans les alentours. La présence d'une grande diversité d'odonates dans un milieu agricole s'oppose à certaines études (Balzan, 2012). Toutefois les sites prospectés dans le cadre de l'étude de Balzan manquent de macrophytes et ont une petite taille. D'autres études appuient alors l'importance de la création de pièces d'eau artificielles pour le maintien de certaines espèces d'Odonates (Clark et Samways, 1996 ; Samways, 1989). La présence de *Coenagrion scitulum*, espèce déterminante ZNIEFF en Rhône-Alpes, sur le site atteste de son intérêt patrimonial.

Le deuxième site le plus riche en espèces concerne deux mares situées dans une prairie de fauche entourée de forêt. Les rives sont herbacées, le niveau d'eau est variable au cours de l'année et tout comme le site précédent, le milieu aquatique est peuplé d'hydrophytes et de végétation flottante. Encore une fois il s'agit d'une ZNIEFF qui abrite *C.scitulum*.

La qualité des deux sites évoqués juste ci-dessus n'est pas connue mais leur diversité est grande et ils accueillent une espèce patrimoniale. La conservation de ces espaces apparaît donc importante.

Parmi les sites altitudinaux (à partir de plus de 900 mètres d'altitude), les sites ayant la plus grande diversité sont des sites situés entre 900 et 1000 mètres d'altitude et abritant majoritairement des espèces du cortège 1. Les trois autres sites situés à plus de 1000 mètres d'altitude accueillent moins d'espèces mais des espèces typiques du milieu montagnard et qui correspondent à celles du cortège 1'. En effet, la diversité odonatologique diminue avec l'altitude (Grand & al., 2006). Parmi les trois sites situés à plus de 1000 mètres d'altitude, la diversité de deux sites (ODO957 et ODO825) est à peu près similaire (les deux sites regroupent chacun deux espèces boréo-alpines : *A.juncea* dans les deux cas et *Coenagrion hastulatum* pour le premier site et *S.arctica* pour le deuxième) alors que celle du troisième site (ODO57) est plus faible et ne présente qu'une seule espèce montagnarde (*A.juncea*). Cette observation coïncide avec le développement envahissant d'une plante aquatique qui, selon la population locale, appauvrit la biodiversité.

Les sites les moins riches en espèces d'Odonates (deux espèces ou moins) correspondent majoritairement aux sites sans cortège dominant. Parmi eux, certains sites sont des sites qui s'assèchent en été et qui ont donc été visités deux fois seulement. L'un correspond à un site très ombragé où la végétation (roseaux essentiellement) est haute et dense ce qui n'est pas propice aux Odonates (Painter, 1998 dans Balzan, 2012) et entraînent des difficultés de prospection. Un autre site est localisé en plein milieu d'une prairie de fauche entourée de cultures et l'espace humide est très restreint. Ce site apparaît peu favorable à l'établissement d'une diversité en Odonates durable malgré sa classification en ZNIEFF de types 1 et 2. Enfin, pour le dernier site, l'absence de cortège odonatologique pourrait être due au fait que la roselière soit sèche et que les gouilles d'eau qui l'entourent sont toutes petites.

Parmi les sites avec le cortège 1 dominant, deux ont une diversité très faible. L'un est situé au niveau d'une carrière et présente une eau très trouble. De plus, il s'agit d'un site difficilement accessible et prospecté uniquement deux fois. L'autre est une mare très ombragée.

Parmi les sites avec le cortège 2 dominant, un possède une diversité très faible. Il s'agit d'un marais de plaine qui s'assèche en été.

Parmi les sites où aucun cortège ne domine, seuls deux sites présentent à la fois les deux cortèges (les autres ne présentent aucune espèce des cortèges définis). Le premier site est assez spécial car il s'agit d'une pièce d'eau unique envahie par une végétation assez dense et qui s'assèche en été pour laisser la place à des gouilles et une espèce pionnière : *Ischnura pumilio*. Le deuxième site correspond à deux étangs qui à leur extrémité se rétrécissent pour donner de petites pièces d'eau type gouilles.

La présence de deux cortèges sur un même site est donc possible. En effet, soit les deux types de milieu sont présents (gouilles et pièce d'eau unique) sur un même site, soit cela est dû au fait que certaines espèces peuvent être présentes dans plusieurs cortèges à la fois tel *O.cancellatum* (comme vu ci-dessus) qui fait partie du cortège des pièces d'eau unique mais peut toutefois coloniser des gouilles.

### 4.3 Cortèges, espèces et variables écologiques

La plupart du temps, les cortèges sont associés à des grands types de milieux - mares, tourbières, étangs, lacs... (Grand & al., 2014) ; eaux ouvertes, eaux temporaires, potamons... (Chovanec & al., 2014) - ou bien à certaines caractéristiques d'un habitat comme la présence de plantes aquatiques (Clark & al., 1996 ; Stewart & al., 1998 ; Schindler & al., 2003, Samways & al., 2004 ; Hofmann & Mason, 2005 dans Balzan, 2012) ou la structure de la végétation du site (Corbet, 1999 dans Balzan, 2012).

Cependant, certaines études ont pu associer des cortèges odonatologiques avec une description précise et presque complète des habitats. Tel est le cas de l'étude réalisée par Doucet en 2007 qui s'attache à décrire précisément les habitats associés aux cortèges des tourbières de Haute-Saône. Ainsi, de nombreux paramètres sont évalués tels l'altitude, la surface de l'habitat, les profondeurs moyenne et maximale, le pH, la conductivité, la surface d'eau libre sur l'habitat, l'abondance des poissons, la présence d'arbres sur les berges, la distance au boisement et l'ensoleillement.

Les cortèges obtenus dans notre étude sont définis par rapport au type de milieu et à l'altitude. Aucune autre caractéristique de l'habitat ne s'est révélée pertinente pour expliquer les cortèges obtenus sur notre jeu de données. Pourtant, les cortèges de gouilles pourraient être fractionnés en davantage de cortèges ainsi que les cortèges de pièces d'eau unique. Par exemple, les gouilles qui s'assèchent en été accueillent des espèces différentes de celles qui restent en eau toute l'année : *Lestes dryas* et *Sympetrum flaveolum* sont des spécialistes des eaux temporaires (Grand & al., 2006 ; Heidemann & al., 2002).

Concernant nos résultats, le niveau d'eau a une influence significative sur *C.erythraea*. Bien que l'espèce puisse se développer partout et qu'il n'y ait pas de mention d'une sensibilité du taxon au niveau de l'eau dans la littérature, Grand & Boudot (2006) précisent tout de même la faculté des larves à survivre lors d'un bref assèchement de leur habitat. Même si les résultats statistiques de notre étude n'indiquent pas d'autres espèces sensibles au niveau de l'eau, certaines espèces pourraient l'être et former avec *C.erythraea* un nouveau cortège d'espèces de pièces d'eau uniques dont le niveau d'eau est variable au cours de l'année.

La présence de végétation est un facteur impactant la présence de certains cortèges odonatologiques comme mentionné ci-dessus. Notre étude indique un lien plutôt négatif entre la présence de certaines espèces (*C.erythraea*, *E.cyathigerum*, *L.depressa* et *S. striolatum*) et la présence d'hélophytes. Ces résultats sont en accord avec la littérature en ce qui concerne *L.depressa*, qui d'après Chovanec & al. (2014), appartient au cortège d'espèces affectionnant les sites aux rives faiblement végétalisées. De plus, *L.depressa* est une espèce pionnière qui voit ses populations décroître lorsque la végétation du milieu se développe (Grand & al., 2006). En ce qui concerne *C.erythraea*, cette espèce est également pionnière (Grand & al., 2006), la présence d'hélophytes pourrait donc ne pas être essentielle à sa présence. Toutefois, Chovanec & al. (2014) indiquent que *C.erythraea* préfère des milieux peuplés par des roseaux et plantes submergées. La sensibilité de *C.erythraea* à la présence d'hélophytes pourrait dépendre des régions et conditions accessibles à l'espèce selon sa localité. En ce qui concerne *E.cyathigerum*, Grand & Boudot (2006) n'indiquent pas de sensibilité aux hélophytes. Enfin, *S.striolatum* peuple des milieux aux rives faiblement végétalisées d'après Chovanec & al. (2014).

Nos résultats indiquent que *P.pennipes*, *A.isoceles* et *C.erythraea* préfèrent une faible altitude, résultat en accord avec la littérature.

La variable « habitat » n'a été significative pour certaines espèces que dans les modèles avec la variable seule (et non testée dans le modèle multiple du fait de sa corrélation avec le type de milieu). Il n'est donc pas possible de connaître le véritable effet de l'habitat.

Certaines espèces pourraient toutefois être sensibles à cette variable. Par exemple, *A.isoceles* colonise des milieux semi-boisés comme les clairières (Grand & al., 2006) ou endroits abritant des ligneux (Chovanec & al., 2014). C'est aussi le cas de *Chalcolestes viridis* (Grand & al., 2006).

#### 4.4 Critiques de l'étude

Un certain manque de données du fait d'un nombre de sites prospectés trop faible intervient comme limite de notre étude. Le nombre de visites n'est pas équitablement réparti entre les sites et donc parfois insuffisant. Ainsi le nombre d'espèces répertoriées sur les sites n'est pas toujours optimal. Certaines visites de sites ont eu lieu tardivement dans la saison (à partir de juin) et des espèces précoces ont donc pu être ratées. Le nombre de visites n'a donc pas pu être suffisant pour un inventaire exhaustif. Certaines visites, au contraire, ont, elles, été réalisées dès le début de la période de terrain mais n'ont pas été poursuivies plus tard. Enfin la période de terrain a eu lieu de mai à août 2016 alors que la période de vol des Odonates s'étend d'avril à septembre. Les analyses réalisées avec le logiciel Estimates soulignent bien ce phénomène puisque seulement 13 sites présentent un échantillonnage assez exhaustif. Il convient de noter que les taux d'échantillonnage assez exhaustifs et non exhaustifs sont assez similaires entre pièces d'eau uniques et gouilles. Il n'y aurait donc pas un milieu mieux échantillonné que l'autre.

Les différents estimateurs de la diversité sont bien souvent supérieurs à la diversité observée sur le terrain. Cette différence correspond sûrement aux espèces non détectées du fait de conditions environnementales et/ou météorologiques mauvaises ou bien simplement du fait de l'expérimentation de l'observateur.

Les conditions météorologiques ont été assez mauvaises cette année. Certaines espèces pourraient alors avoir émergé plus tard que d'habitude. Tel pourrait être le cas de *Lestes dryas* et *sponsa* qui ont été observés tardivement dans la saison par rapport à leur période vol.

Les visites de sites n'ont pas toujours eu lieu lors de conditions optimales. Par exemple, certaines visites ont été effectuées alors que la nébulosité ou le vent étaient assez élevés. La durée de prospection change d'une visite à l'autre en fonction du nombre d'espèces et a également pu intervenir dans la détection des espèces.

Enfin, l'accessibilité au site est un des facteurs contraignant la prospection.

Le choix des sites n'a malheureusement pas été réalisé en fonction des variables environnementales choisies. Ainsi le nombre de sites prospectés en altitude n'a pas été suffisant pour caractériser les cortèges d'altitude. Une meilleure répartition des sites en ce qui concerne la variation du niveau de l'eau aurait également pu être faite. Concernant la végétalisation des rives, la plupart des sites présentaient des rives herbacées ou herbacées et ligneuses. Aucun site ne présentait de rive non végétalisée. La prise en compte des ligneux aurait pu être plus importante pour différencier une rive herbacée d'une rive herbacée et ligneuse en exprimant, par exemple, le taux de ligneux. De même, concernant la végétation aquatique, la plupart des sites étaient des sites avec héliophytes, l'absence d'héliophytes n'a donc pas bien été représentée dans notre jeu de données.

La qualité de l'eau a, quant à elle, été difficile à juger sur le terrain et a donc pu être source d'erreur.

La notion de type de milieu a été difficile à cadrer en ce qui concerne les gouilles. En effet, la présence de gouilles sur un site est parfois due à la présence d'une source ou d'un filet d'eau type ruisseau sans

courant véritablement visible. Certains sites se composaient donc à la fois d'eau stagnante et d'eau courante.

Un relevé d'exuvies plus cadré aurait alors pu être établi afin de différencier les habitats larvaires des milieux utilisés par les adultes.

En effet, nous n'avons pas conservé l'information indiquant la provenance (exuvie ou imago) des données de présence des espèces. Ainsi, nous ne savons pas si les espèces rencontrées sont ou non autochtones ce qui peut avoir une influence sur la définition des cortèges. Une espèce en un endroit donné peut être là pour s'accoupler, se nourrir ou par simple erratisme. Dans le premier cas, sa présence permet de déterminer des habitats larvaires, dans un deuxième cas, elle permet de déterminer des habitats de maturation et dans le dernier cas, il s'agit d'un corridor écologique. L'habitat larvaire permet le succès de reproduction de l'œuf à l'émergence, le deuxième permet aux imagos de devenir aptes à se reproduire et permet donc également le succès de reproduction. Son étude est alors importante comme l'indiquent Corbet (1999 dans Balzan, 2012) et Dolny & al. (2014).

Une dernière critique concerne l'étude du lien entre diversité spécifique et cortège qui s'est faite sans prendre en compte le nombre de visites. Cela pourrait alors avoir biaisé les résultats obtenus.

## Conclusion

Trois cortèges odonatologiques ont été déterminés au cours de cette étude : les espèces de pièces d'eau uniques, les espèces d'altitude et les espèces de gouilles. Ces cortèges sont propres à la Haute-Savoie et peuvent être modifiés quelques peu lorsqu'on les associe à un autre département ou même à une autre région du monde (*A.juncea* colonise des milieux non montagnards dans le nord de l'Angleterre, il en est de même pour *C.hastulatum* dans le nord de l'Europe).

Ces cortèges ne sont pas figés, d'autres espèces pourraient y être associées. De plus, toutes les espèces d'un cortège ne sont pas forcément présentes sur un même site. Les Odonates ont des préférences pour un milieu mais également pour d'autres conditions biologiques et chimiques (pH, niveau de l'eau...).

Certaines espèces d'un même cortège peuvent être présentes sur un même site mais à des périodes différentes de l'année.

La présence de plusieurs cortèges sur les milieux lenticules de Haute-Savoie atteste d'une certaine diversité odonatologique sur le département que l'on se doit de préserver et qui va de pair avec le grand nombre de milieux aquatiques présents en Haute-Savoie et la grande diversité d'espèces (le département abrite 68% des espèces françaises). Le fait que les milieux lotiques n'aient pas été intégrés à notre étude ainsi que le manque de données attestent d'une diversité encore plus grande.

Une gestion adaptée devrait donc être réfléchie. Les espèces du cortège de pièces d'eau uniques pourraient être davantage sensibles à la prédation par les poissons que les espèces de gouilles. Elles pourraient être également sensibles à la végétalisation des berges alors que les espèces de gouilles ne le seraient pas (les gouilles de notre étude s'insèrent en effet dans des prairies, la végétation y est donc généralement présente). Les espèces de gouilles seraient, elles, plus sensibles au réchauffement climatique puisque les gouilles sont généralement moins profondes que les pièces d'eau uniques, en tout cas, dans le cadre de notre étude.

On a vu que certains sites présentaient un cortège dominant tandis que d'autres n'en présentaient pas. Les sites ne présentant aucun cortège dominant étaient moins diversifiés que ceux qui présentaient les deux.

Le lien entre biodiversité et activité humaine n'a pas été déterminé mais certains cas ont été abordés avec le cas d'un sites agricole diversifié et présentant un cortège dominant et le cas d'un site en pleine prairie de fauche entouré de cultures ne présentant pas de cortège dominant et très peu d'espèces.

Le lien entre diversité, bon état écologique et présence d'un cortège dominant a également été abordé mais non étudié précisément.

Le lien entre la présence des espèces les plus fréquentes de notre jeu de données et la présence d'un cortège n'a pas non plus été étudié.

Enfin, une dernière question n'a pas été soulevée : celle de comprendre les interactions entre différents cortèges afin de savoir si une cohabitation entre plusieurs cortèges, même si elle est possible, n'engendrerait pas des problèmes de compétition pour les ressources alimentaires, l'espace de reproduction et les éléments servant d'affût.

Notre étude a néanmoins permis de déterminer l'existence de cortèges, d'apporter des éléments de gestion et de soulever de nouvelles questions.

## Bibliographie

- Bal Bernard, 2000. Odonates de Haute-Savoie – Synthèse cartographique. Groupe Sympetrum.
- Balzan M.V., 2012 – Association of dragonflies (Odonata) to habitat variables within the Maltese Islands : A spatio-temporal approach. *Journal of Insect Science*. Volume 12. Issue 87.
- Barbarin J.-P., 2004 – *Les odonates des tourbières du nord-est cantalien*. Rapport de stage, Université Blaise Pascal Clermont II, Parc Naturel Régional des Volcans d’Auvergne.
- Bensetitti F. & Gaudillat V., 2002 – « Cahiers d’habitats » Natura 2000. Connaissances et gestion des habitats et des espèces d’intérêt communautaire. Tome 7 – Espèces animales. MEDD/MAAPAR/MNHN. Édition La Documentation française, Paris. 353 pages.
- Boudot & Kalkman (eds), 2015 – *Atlas of the European, dragonflies and damselflies*. KNNV publishing, the Netherlands. 381 pages.
- Carron G. & Wermeille E., 2009 - *Livre rouge des insectes du bassin genevois – Papillons de jour, Libellules, Orthoptères – Risques d’extinctions – Espèces prioritaires*. Etat de Genève, Direction Générale de la Nature et du Paysage. 50 pages.
- Chovanec A., Schindler M., Waringer J. & Wimmer R., 2014 – *The dragonfly association index (insecta: Odonata) – A tool for the type specific assessment of lowland rivers*. River research and applications. Volume 31. Pages 627-638.
- Corbet, 1956 – *The life-histories of two summer species of dragonfly (Odonata: Coenagriidae)*. Department of Zoology, University of Cambridge. Pages 403-418.
- Deliry C., 2008 – *Atlas illustré des libellules de la région Rhône-Alpes*. Dir du Groupe Sympetrum et Muséum d’Histoire Naturelle de Grenoble, Biotope, Mèze, (Collection Parthénope). 408 pages.
- Deliry C. & le GRPLS, 2014. *Liste rouge des Odonates de la région Rhône-Alpes*. Histoires Naturelles n°25. 35 pages.
- Deliry C., 2015. Plan régional d’actions en faveur des Odonates de Rhônes-Alpes. Groupe Sympetrum.
- Dijkstra K.-D.B., 2007 – *Guide des libellules de France et d’Europe*. Les guides du naturaliste, Delachaux et Niestlé, Paris. 320 pages.
- Dolny A., Harabis F., Mizicova H., 2014 – *Home Range, Movement and Distribution Patterns of the Threatened Dragonfly Sympetrum depressiusculum (Odonata: Libellulidae): A Thousand Times Greater Territory to Protect?* PLoS ONE. Volume 9. Issue 7.
- Doucet G., 2007 – *Les Odonates des tourbières de Haute-Saône (70) : Recherche des différents cortèges et caractérisation des habitats larvaires. Exemple de la leucorrhine à gros thorax, Leucorrhinia pectoralis (Chapentier, 1825). Quelle méthode pour un suivi en routine de ces milieux ?* Espace Naturel Comtois O.P.I.E. Franche-Comte, 61 pages + Annexes.
- Doucet G., 2010 – *Clé de détermination des exuvies des Odonates de France*. Société française d’odonatologie, Bois d’Arcy. 64 pages.
- Dufay L., Gigot G., Kirchner F., Meyer S., 2016. *La liste rouges des espèces menacées en France – Libellules de France métropolitaine*. UICN & Muséum National d’Histoire Naturelle. 12 pages.

Dupont P., 2010 – Plan national d’actions en faveur des odonates. Office pour les insectes et leur environnement/Société Française d’Odonatologie – Ministère de l’Écologie, de l’Énergie, du Développement durable et de la Mer. 170 pages.

Gander & Maibach, 2014 – *Fiches de protection espèces – Libellules – Ceriagrion tenellum. Groupe de travail pour la conservation des Libellules de Suisse*. CSCF info fauna, Neuchâtel et Office fédéral de l’environnement, Berne. 5 pages.

Grand D., Boudot J-P, Doucet G., 2014 – *Cahier d’identification des libellules de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*, Biotope, Mèze, (collection Cahier d’identification) 136 pages.

Grand D. & Boudot J.-P., 2006 – *Les libellules de France, Belgique et Luxembourg*. Biotope, Mèze, (Collection Parthénope). 480 pages.

Heidemann H. & Seidenbusch R., 2002 – *Larves et exuvies des libellules de France et d’Allemagne (sauf de Corse)*. Société française d’odonatologie, Bois d’Arcy. 416 pages.

Lamouille-Hébert M., 2015 – L’Agrion de Mercure en Haute-Savoie – 2015-2019 - Rapport intermédiaire 2015. FRAPNA Haute-Savoie. 38 pages.

Rousset R., 2015 – *Des étangs de loisirs plus favorables à la biodiversité*. Les Cahiers techniques, Conservatoire d’Espaces Naturels Rhône-Alpes. 36 pages.

Strehler Perrin C., Gander A., Clerc C., Antoniazza M. & Le Nédic C 2004 – *Journal des Grèves, Zoom sur les espèces prioritaires*. Bulletin d’information sur la gestion de la Grande Caricaie, n°55. 8 pages.

UICN France, 2011 – *Guide pratique pour la réalisation de listes rouges régionales des espèces menacées* - Méthodologie de l’UICN & démarche d’élaboration. Paris, France.

Wendler A. & Nüb J.-H., 1997 – *Libellules – Guide d’identification des libellules de France, d’Europe septentrionale et centrale*. Société française d’odonatologie, Bois d’Arcy. 130 pages.

## Sitographie

Atlas des Libellules de la Loire. Consulté le 22/04/2016.

<http://www.sympetrum.fr/thematiques/files/atlas42.html>

Deliry Cyrille, 1996 – Étude des libellules pour la gestion des milieux humides et aménagements spécifiques – Conférence FRAPNA-38. Consulté le 21/04/2016.

<http://www.sympetrum.fr/obs/deliry1996.pdf>

Eaufrance, 2015 – Les zones humides. Consulté le 20/04/2016.

<http://www.zones-humides.eaufrance.fr/>

INPN, 2016

<https://inpn.mnhn.fr/zone/znief/820031782>

Millenium Ecosystem Assessment, 2007. Consulté le 20/04/2016.

<http://www.unpei.org/sites/default/files/PDF/ecosystems-economicanalysis/MEA-A-Toolkit.pdf>

OPIE, 2016 – Nombre d’insectes dans le monde. Consulté le 21/04/2016.

<http://www.insectes.org/opie/nombre-insectes-monde.html>

Renan Aufray et Manuelle Rovillé, 2008 – Les écosystèmes. Consulté le 20/04/2016.

[http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv\\_chapA&zoom\\_id=zoom\\_a1\\_3](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA&zoom_id=zoom_a1_3)

SFO & OPIE, 2012 – Agir pour les Odonates – L’essentiel du Plan national d’actions 2011-2015. Consulté le 21/04/2016.

[http://odonates.pnaopie.fr/wp-content/uploads/2013/04/OPIE\\_PNA\\_ODONATE\\_BD.pdf](http://odonates.pnaopie.fr/wp-content/uploads/2013/04/OPIE_PNA_ODONATE_BD.pdf)

SNPN, 1994 – Zones humides Infos. Consulté le 20/04/2016.

[http://snpn.com/IMG/pdf/ZHI\\_5.pdf](http://snpn.com/IMG/pdf/ZHI_5.pdf)

UICN, 2012 – La liste rouge des espèces menacées en France – Papillons de jour de France métropolitaine. Consulté le 21/04/2016.

[http://www.lepinet.fr/documents/telecharger/Dossier\\_presse\\_Liste\\_rouge\\_Papillons\\_de\\_jour\\_de\\_metrople.pdf](http://www.lepinet.fr/documents/telecharger/Dossier_presse_Liste_rouge_Papillons_de_jour_de_metrople.pdf)

## **Contacts**

**Marie-Pierre Etienne** – Enseignante-chercheuse, UFR Mathématiques.

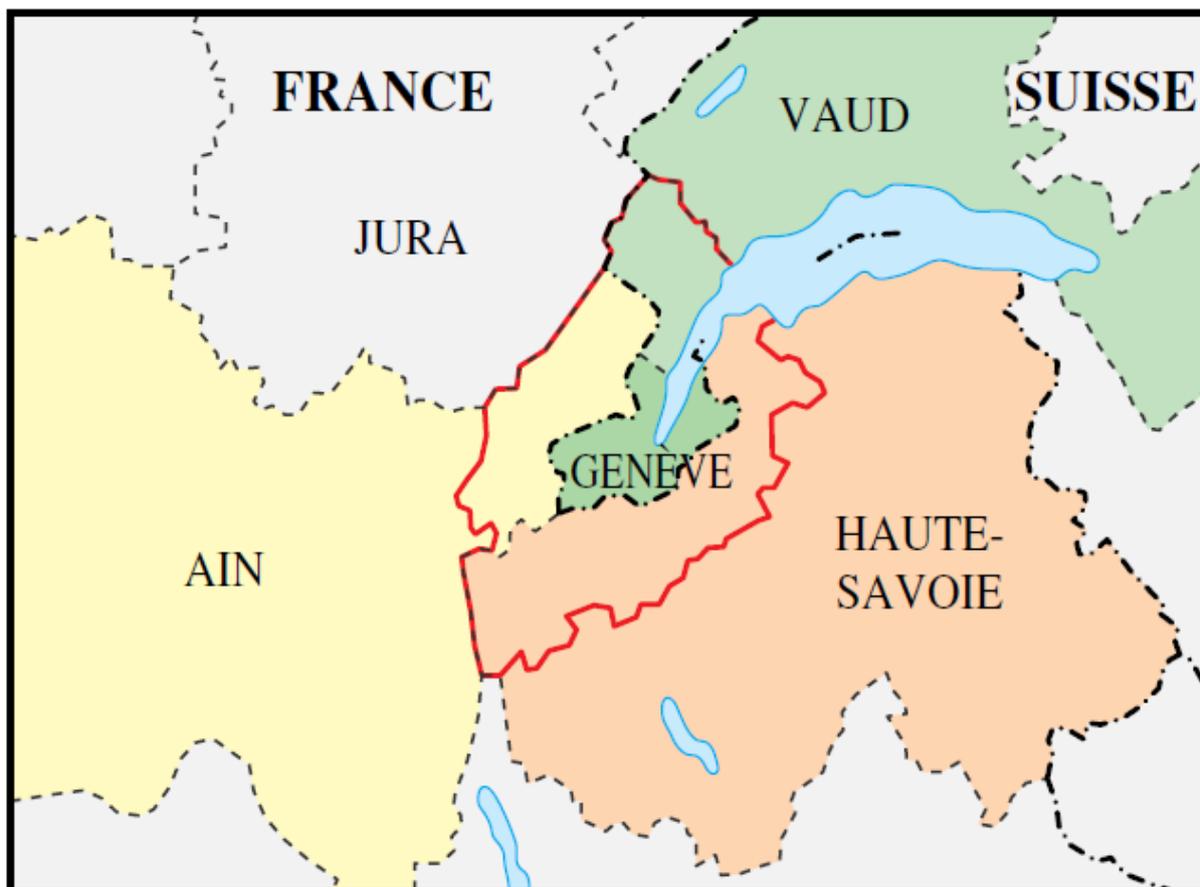
Agroparistech  
16 rue Claude Bernard  
F-75231 Paris Cedex 05

Tél : 01 44 08 86 82

[marie.etienne@agroparistech.fr](mailto:marie.etienne@agroparistech.fr)

## Annexes

### Annexe 1 : Contours du bassin genevois



(Extrait de l'Atlas du bassin genevois réalisé par Domange M., De Hédouville J., Granier C., Hugon S., Pauli P. & al., 1994).

## Annexe 2 : Descriptif des six premiers degrés de l'échelle de Beaufort

| Degré Beaufort | Terme descriptif  | Vitesse moyenne en nœuds | Vitesse moyenne en Km/h | Observations en mer  | Observations sur terre   |
|----------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| 0              | Calme             | < 1                      | < 1                     | La mer est comme un miroir.  | On ne sent pas de vent, la fumée d'élève verticalement.  |
| 1              | Très légère brise | de 1 à 3                 | de 1 à 5                | Quelques rides en écailles de poisson, mais sans aucune écume.   | On sent très peu le vent, sa direction est relevée par la fumée qu'il entraîne, mais non par les girouettes.   |
| 2              | Légère brise      | de 4 à 6                 | de 6 à 11               | Vaguelettes courtes aux crêtes d'apparence vitreuse, ne déferlant pas.                                   | Le vent est perçu au visage, les feuilles frémissent, les girouettes tournent.   |
| 3              | Petite brise      | de 7 à 10                | de 12 à 19              | Très petites vagues (environ 60 cm de haut), les crêtes commencent à déferler, les moutons apparaissent. | Les drapeaux légers se déploient, les feuilles et les rameaux sont sans cesse agités.  |
| 4              | Jolie brise       | de 11 à 16               | de 20 à 28              | Petites vagues s'allongent, moutons nombreux.  | Le vent soulève la poussière, les feuilles et les morceaux de papier, il agite les petites branches ; les cheveux sont dérangés, les vêtements claquent. |
| 5              | Bonne brise       | de 17 à 21               | de 29 à 38              | Vagues modérées (2 m de haut), nettement allongées ; beaucoup de moutons ; embruns.                      | Les yeux sont gênés par les matières dans l'air ; les arbustes en feuilles commencent à se balancer ; des vaguelettes se forment sur les plans d'eau.    |

(Source : Centre Ressources, Sciences et Multimédia)

## Annexe 3 : Fiche Habitat issue du protocole STELI

| Eau  | Variation du niveau de l'eau                             | Courant        |
|--|--|----------------|
| Phénomène d'eutrophisation (présence d'algue filamenteuse) | Assèchement périodique                                   | Eau stagnante  |
| Turbidité (eau trouble)                                    | Niveau de l'eau très variable au cours de l'année        | Courant lent   |
| Eutrophisation et turbidité                                | Niveau de l'eau globalement constant au cours de l'année | Courant rapide |
| Absence d'eutrophisation et de turbidité                   | Inconnu  |                |

| Végétation aquatique                               | Rives                                      |
|--|--|
| Présence d'herbiers (végétation submergée)         | Rive nues                                  |
| Présence de végétations flottantes                 | Rives avec végétation herbacée             |
| Présence d'hélophytes (appareil végétatif aérien)  | Rives avec végétation ligneuse             |
| Présence d'herbiers et de végétations flottantes   | Rives avec végétation herbacée et ligneuse |
| Présence d'herbiers et d'hélophytes                |  |
| Présence de végétations flottantes et d'hélophytes |  |
| Absence totale de végétation aquatique             |  |

|  |
|--|
| Habitat terrestre  |
| Boisement feuillus   |
| Boisement conifères  |
| Boisement mixte  |
| Buissons, haies ou jeune boisement < 5m de hauteur                     |
| Milieu ouvert non agricole (landes, steppe, ...)                       |
| Sol minéral sans végétation (banc de sable, dune blanche, sol rocheux) |
| Urbain ; Espace vert   |
| Milieu agricole – prairie de fauche ou cultivée                        |
| Milieu agricole – grande culture                                       |
| Milieu agricole – verger, vignes, maraichers                           |
| Milieu agricole – élevage  |
| Milieu agricole – autre  |

(Source : Anne-Laure Gourmand et Cédric Vanappelghem, 2012)

## Annexe 4 : Liste des habitats odonotologiques de la SFO

| Codes | Types   | Précisions et commentaires   |
|-------|---|--|
| 00    | Milieux indéterminés                            | Absence d'information, collections, bibliographie, etc.  |
| 01    | Zones des sources                               | Petits bassins et écoulements (permanents) des sources ; parfois présence de sphaignes ; souvent ombragés.   |
| 02    | Ruisselets/ruisseaux fermés                     | Eaux vives et fraîches de 0,5 à 4 à 5 m de large situées en milieux fermés (sous-bois, forêts, taillis, etc.). Parfois coulant sur des pentes abruptes. Assèchement estival possible (mais présence de vasques, flaques et micro-mares).   |
| 23    | Ruisselets/ruisseaux ouverts                    | Eaux vives et fraîches de 0,5 à 4 à 5 m de large situées en milieux ouverts (champs, prairies, etc.). Présence d'Hélophytes et parfois d'Hydrophytes.  |
| 03    | Rivières à eaux vives                           | Milieu de 5 à 25 m de large. Secteurs à courant vif (rapides). Bien ensoleillées avec les rives plus ou moins ombragées.   |
| 24    | Rivières à eaux calmes                          | Milieu de 5 à 25 m de large. Secteurs calmes du cours d'eau (moulins, barrages naturels, etc.). Bien ensoleillées avec les rives plus ou moins ombragées.  |
| 04    | Grands cours d'eau vifs                         | Parties vives des fleuves et des grandes rivières (de plus de 25 m de large).  |
| 05    | Grands cours d'eau calmes                       | Parties calmes des fleuves et des grandes rivières (de plus de 25 m de large). Bras morts, lônes (en communication périodique avec le cours d'eau).  |
| 06    | Canaux navigables                               | Milieu artificiel entretenu pour la navigation fluviale.   |
| 07    | Fossés alimentés                                | Canaux d'irrigation (débit moyen), puits artésiens, etc.   |
| 08    | Suintements                                     | Résurgences de débit insignifiant mais permanent ; Suintements de digues d'étangs, etc. Généralement bien ensoleillés.   |
| 09    | Milieux temporaires                             | Stagnants en général, assèchement estival ; petits étangs, mares, fossés, etc.   |
| 10    | Mares ouvertes                                  | Bien ensoleillées et permanentes : mares, abreuvoirs, lavoirs, lavognes anciennes (non entretenues), etc.  |
| 11    | Mares fermées                                   | Milieu forestiers très ombragés (et permanents).   |
| 12    | Milieux saumâtres                               | Marais littoraux et continentaux saumâtres de plus de 0,5 mg/l de NaCl, bien ensoleillés, eaux permanentes ou assèchement estival : lagunes, marais salants, prés salés, bassins piscicoles, marais à salicornes, etc.                     |
| 13    | Milieu artificiels                              | Récents en général et peu colonisés par la végétation aquatique : gravières, sablières, ballastières, lavognes entretenues, étangs collinaires, etc..  |
| 14    | Etangs « naturels » ouverts (annexes comprises) | Milieu bien ensoleillés (peu de végétation arbustive littorale). Végétation aquatique et sub-aquatique typique. Situés jusqu'à 300 m d'altitude. Secteurs d'alimentation, d'évacuation et annexes (mares et fossés) compris si nécessaire. |
| 15    | Etangs « naturels » fermés (annexes comprises)  | Milieu fortement boisés (forestiers), rives ombragées. Situés jusqu'à 300 m d'altitude. Secteurs d'alimentation, d'évacuation et annexes (mares et fossés) compris si nécessaire.  |
| 16    | Marais de plaine                                | Etangs marécageux (- de 50% d'eau libre), marais (biotopes diversifiés), canaux stagnants, effluents, fossés, tourbières plates alcalines de plaine (jusqu'à 300m).  |
| 17    | Tourbières acides de plaine                     | Tourbières à sphaignes (bombées) avec gouilles, fosses d'exploitation, effluents, fossés, etc. Moins de 300 m d'altitude.  |
| 18    | Tourbières acides d'altitude                    | Tourbières à sphaignes (bombées) avec gouilles, fosses d'exploitation, effluents, fossés, etc. Situées entre 300 m et 2500 m.  |
| 19    | Milieu stagnants d'altitude                     | Etangs, marais, petits lacs situés entre 300 et 2500 m d'altitude. Parfois avec des secteurs (queues) présentant des formations particulières (radeaux tourbeux, ...)  |
| 20    | Lacs et grands réservoirs                       | Grande surface d'eau libre de basse ou moyenne altitude (jusqu'à 1000 m en général), retenues EDF, etc. (queues et rives « naturelles »).  |
| 21    | Rivières d'altitude                             | Eaux courantes vives en général, situées entre 300 et 2500 m d'altitude.   |
| 22    | Rivières méditerranéennes                       | Eaux courantes à débit intermittent en période estivale (vasques, mares).  |
| 25    | Milieu aquatiques cultivés                      | Rizières, cressonnières en exploitation, etc.  |
| 26    | Milieu aquatiques divers                        | Ce code peut être utilisé lorsque l'observateur n'arrive pas à attribuer un habitat larvaire précis à une espèce observée.   |
| 27    | Bassins lagunaires                              | Bassins d'effluents routiers, de décantation (stations d'épuration, etc.),   |
| 28    | Milieu de loisirs                               | Pièces d'eau aménagées pour les loisirs et sports nautiques, etc.  |
| 29    | Prairies humides                                | Milieu humides, mouillères, etc. (à proximité ou non de milieux aquatiques)  |
| 30    | Milieu terrestres                               | Non aquatiques : bois, champs, landes, friches, chemins, etc.  |

(Source : SFO, 2001)

## Annexe 5 : Liste des espèces observées

Aeshna cyanea  
Aeshna grandis  
Aeshna isoceles  
Aeshna juncea  
Anax imperator  
Anax parthenope  
Calopteryx sp.  
Calopteryx virgo  
Ceriagrion tenellum  
Coenagrion hastulatum  
Coenagrion mercuriale  
Coenagrion puella  
Coenagrion pulchellum  
Coenagrion scitulum  
Cordulegater boltonii  
Cordulia aenea  
Crocothemis erythraea  
Enallagma cyathigerum  
Erythromma najas  
Erythromma viridulum  
Gomphus pulchellus  
Ischnura elegans  
Ischnura pumilio  
Lestes dryas  
Lestes sponsa  
Lestes viridis  
Leucorrhinia dubia  
Libellula depressa  
Libellula fulva  
Libellula quadrimaculata  
Orthetrum albistylum  
Orthetrum brunneum  
Orthetrum cancellatum  
Orthetrum coerulescens  
Platycnemis pennipes  
Pyrrhosoma nymphula  
Somatochlora arctica  
Somatochlora flavomaculata  
Somatochlora metallica  
Sympecma fusca  
Sympetrum fonscolombii  
Sympetrum sanguineum  
Sympetrum striolatum  
Sympetrum vulgatum

## Annexe 6 : Chiffrage des niveaux des variables qualitatives pour l'ACP

| Variable qualitative     | Niveau de la variable                    | Valeur chiffrée donnée au niveau de la variable |
|--------------------------|--|---|
| Type de milieu           | Gouilles                                 | 1   |
|                          | Pièce d'eau unique                       | 2   |
|                          | Gouilles et pièce d'eau unique           | 3   |
| Qualité de l'eau         | Absence d'eutrophisation et de turbidité | 1   |
|                          | Eutrophisation                           | 2   |
|                          | Turbidité                                | 3   |
|                          | Eutrophisation et turbidité              | 4   |
| Niveau de l'eau          | Constant                                 | 1   |
|                          | Un peu variable                          | 2   |
|                          | Très variable                            | 3   |
|                          | Assèchement périodique                   | 4   |
| Végétalisation des rives | Rives herbacées                          | 1   |
|                          | Rives herbacées et ligneuses             | 2   |
|                          | Rives ligneuses                          | 3   |
| Habitats terrestres      | Ouvert non agricole                      | 1   |
|                          | Ouvert agricole                          | 2   |
|                          | Jeune boisement                          | 3   |
|                          | Agricole et boisement                    | 4   |
|                          | Boisement                                | 5   |
|                          | Urbain                                   | 6   |

### Annexe 7: Caractérisation des sites à l'aide des différentes variables

| site    | type_milieu | Eau | Var_eau | Rives | Habitat_terrestre | altitude | pres_helophytes | pres_herbiers | pres_flottante | surface_mcarres |
|---------|-------------|-----|---------|-------|-------------------|----------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| ODO14   | 3           | NA  | 1       | 1     | 1                 | 570      | 1               | 1             | 0              | 319958          |
| ODO825  | 1           | 4   | 1       | 2     | 1                 | 1400     | 1               | 1             | 0              | 385674          |
| ODO15   | 1           | 1   | 1       | 2     | 1                 | 575      | NA              | NA            | NA             | 67030           |
| ODO601  | 2           | 4   | 2       | 2     | 2                 | 1271     | 1               | 0             | 0              | 698             |
| ODO615  | 2           | 3   | 1       | 2     | 2                 | 1218     | 0               | 0             | 1              | 832             |
| ODO20   | 3           | 2   | 1       | 2     | 5                 | 605      | 1               | 0             | 0              | 74088           |
| ODO671  | 2           | 4   | 1       | 1     | 5                 | 440      | 1               | 1             | 1              | 4420            |
| ODO264  | 1           | NA  | 3       | 1     | 1                 | 645      | 1               | 0             | 0              | 28861           |
| ODO639  | 2           | 4   | 1       | 2     | 5                 | 392      | NA              | NA            | NA             | 103000          |
| ODO57   | 2           | 4   | 1       | 1     | 1                 | 1360     | 0               | 1             | 0              | 103870          |
| ODO788  | 2           | NA  | 4       | 1     | 2                 | 707      | 1               | 0             | 0              | 22000           |
| ODO477  | 1           | 2   | 3       | 1     | 2                 | 903      | 1               | 0             | 0              | 1080            |
| ODO60   | 2           | 2   | 1       | 1     | 5                 | 777      | 1               | 0             | 1              | 21280           |
| ODO206  | 1           | 1   | 1       | 1     | 2                 | 553      | 1               | 0             | 1              | 1195            |
| ODO17   | 2           | 1   | 1       | 3     | 5                 | 600      | 1               | 0             | 0              | 29069           |
| ODO957  | 2           | 1   | 1       | 2     | 2                 | 1353     | 1               | 1             | 1              | 3320            |
| ODO708  | 2           | 4   | 3       | 1     | 2                 | 493      | 0               | 1             | 1              | 1903            |
| ODO340  | 2           | 1   | 3       | 2     | 2                 | 540      | 1               | 0             | 1              | 1052            |
| ODO18   | 2           | 3   | 1       | 1     | 3                 | 606      | 0               | 0             | 1              | 1231            |
| ODO119  | 1           | 1   | 4       | 2     | 1                 | 583      | 1               | 0             | 0              | 2436            |
| ODO749  | 1           | 1   | NA      | 1     | 2                 | 980      | 1               | 0             | 0              | 1840            |
| ODO750  | 1           | 1   | NA      | 1     | 2                 | 980      | 1               | 0             | 0              | 1336            |
| ODO1087 | 1           | 1   | 3       | 1     | 1                 | 884      | 1               | 0             | 0              | 79240           |
| ODO1031 | 1           | 3   | 3       | 1     | 1                 | 901      | 1               | 0             | 0              | 20130           |
| ODO1    | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 848      | 1               | 0             | 0              | 6570            |
| ODO9    | 2           | 4   | 1       | 2     | 5                 | 963      | 1               | 1             | 0              | 19810           |

| site     | type_milieu | Eau | Var_eau | Rives | Habitat_terrestre | altitude | pres_helophytes | pres_herbiers | pres_flottante | surface_mcarres |
|----------|-------------|-----|---------|-------|-------------------|----------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| ODO9 bis | 2           | 4   | 1       | 2     | 5                 | 969      | 1               | 1             | 0              | 7364            |
| ODO10    | 2           | 4   | 1       | 2     | 5                 | 949      | 1               | 1             | 0              | 9914            |
| ODO2     | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 843      | 1               | 0             | 0              | 13740           |
| ODO472   | 2           | 3   | 1       | 2     | 4                 | 937      | 1               | 0             | 1              | 26333           |
| ODO602   | 2           | 1   | 1       | 2     | 5                 | 1265     | 1               | 0             | 1              | NA              |
| ODO24    | 2           | 4   | 1       | 2     | 1                 | 737      | 1               | 0             | 1              | 1037            |
| ODO79    | 1           | 3   | 3       | 2     | 1                 | 366      | 1               | 0             | 1              | 32450           |
| ODO82    | 2           | 3   | NA      | 2     | 5                 | 363      | 1               | 0             | 1              | 114225          |
| ODO662   | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 430      | 1               | 0             | 0              | 6760            |
| ODO663   | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 430      | 1               | 0             | 0              | 7883            |
| ODO664   | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 430      | 1               | 0             | 0              | 2159            |
| ODO666   | 1           | 1   | 4       | 1     | 1                 | 430      | 1               | 0             | 0              | 2820            |
| ODO765   | 2           | 4   | 4       | 2     | 6                 | 596      | 1               | 1             | 1              | 150602          |
| ODO106   | 2           | 1   | 2       | 2     | 5                 | 404      | 1               | 1             | 0              | 1660            |
| ODO19    | 1           | 1   | 1       | 1     | 1                 | 612      | 1               | 0             | 0              | 23770           |

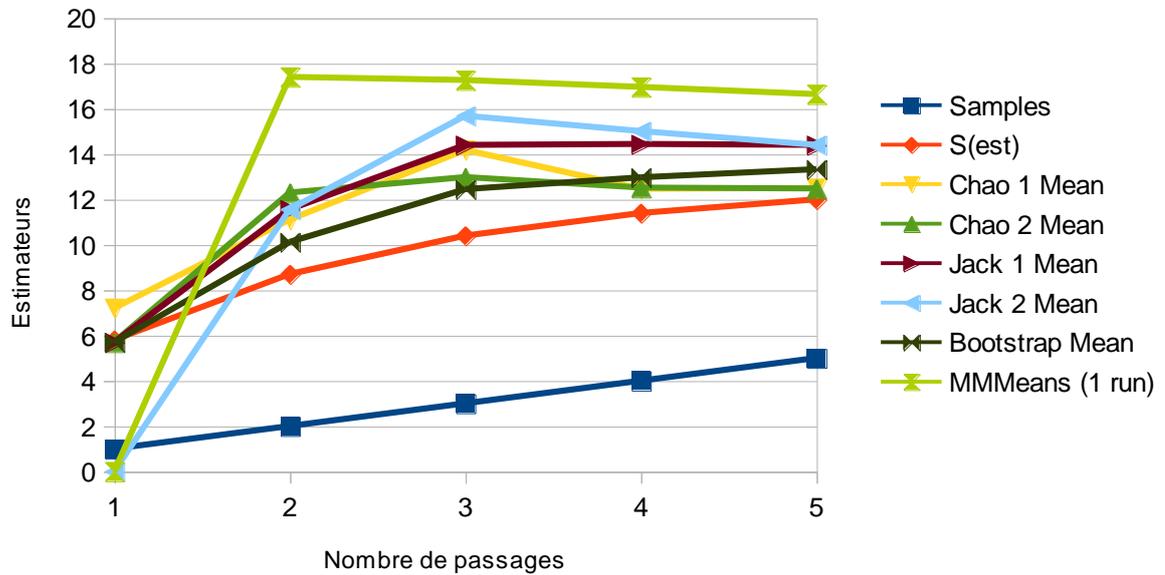
### Annexe 8 : Présence/absence des espèces sur chaque site

| Sites                    | 14 | 15 | 20 | 18 | 119 | 264 | 57 | 106 | 639 | 60 | 957 | 17 | 472 | 477 | 671 | 24 | 788 | 825 | 601 | 615 | 206 | 19 | 340 | 602 | 708 | 79 | 82 | 765 | 1087 | 749 | 750 | 1031 | 1 | 9 | 9bis | 10 | 2 | 663 | 664 | 666 | 662 |   |   |   |
|--------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|------|-----|-----|------|---|---|------|----|---|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| Aeshna cyanea            | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1  | 1  | 0   | 0    | 1   | 1   | 0    | 0 | 0 | 1    | 1  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   |   |   |   |
| Aeshna grandis           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 1    | 1  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Aeshna isoceles          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 0  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Aeshna juncea            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Anax imperator           | 1  | 1  | 1  | 0  | 1   | 0   | 1  | 1   | 1   | 1  | 1   | 0  | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1   | 1   | 0   | 1  | 0  | 1   | 1    | 0   | 1   | 1    | 1 | 0 | 1    | 1  | 1 | 0   | 1   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Anax parthenope          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 1   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Ceragrion tenellum       | 1  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 1 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Coenagrion hastulatum    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Coenagrion mercuriale    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 1 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Coenagrion puella        | 1  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 1  | 1   | 1   | 1  | 1   | 0  | 1   | 0   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1  | 1   | 0   | 1   | 0  | 1  | 1   | 1    | 1   | 0   | 1    | 1 | 1 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Coenagrion pulchellum    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 1 | 1    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Coenagrion scitulum      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 1  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Cordulegater boltonii    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 1   | 0   | 0 | 0 |   |
| Cordulia aenea           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 1 | 1    | 1  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Crocothemis erythraea    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Enallagma cyathigerum    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0  | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Erythromma najas         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 1 | 1 | 1    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Erythromma viridulum     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 1 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 |   |   |
| Gomphus pulchellus       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Ischnura elegans         | 1  | 0  | 1  | 1  | 0   | 1   | 0  | 1   | 1   | 1  | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 0   | 1  | 0  | 1   | 1    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 1    | 1  | 1 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Ischnura pumilio         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 1  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Lestes dryas             | 0  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 |   |
| Lestes sponsa            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 |
| Lestes viridis           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 1  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 |
| Leucorrhinia dubia       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 |
| Libellula depressa       | 1  | 0  | 0  | 1  | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1   | 0   | 1   | 0  | 1  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 |
| Libellula quadrimaculata | 1  | 0  | 1  | 0  | 0   | 0   | 1  | 1   | 0   | 1  | 1   | 0  | 1   | 0   | 1   | 0  | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1  | 1   | 0   | 1   | 0  | 1  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 1 | 0 | 1    | 1  | 1 | 0   | 0   | 1   | 0   | 0 | 0 |   |
| Libellula fulva          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 0 | 0 | 0    | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0 | 0 | 0 |

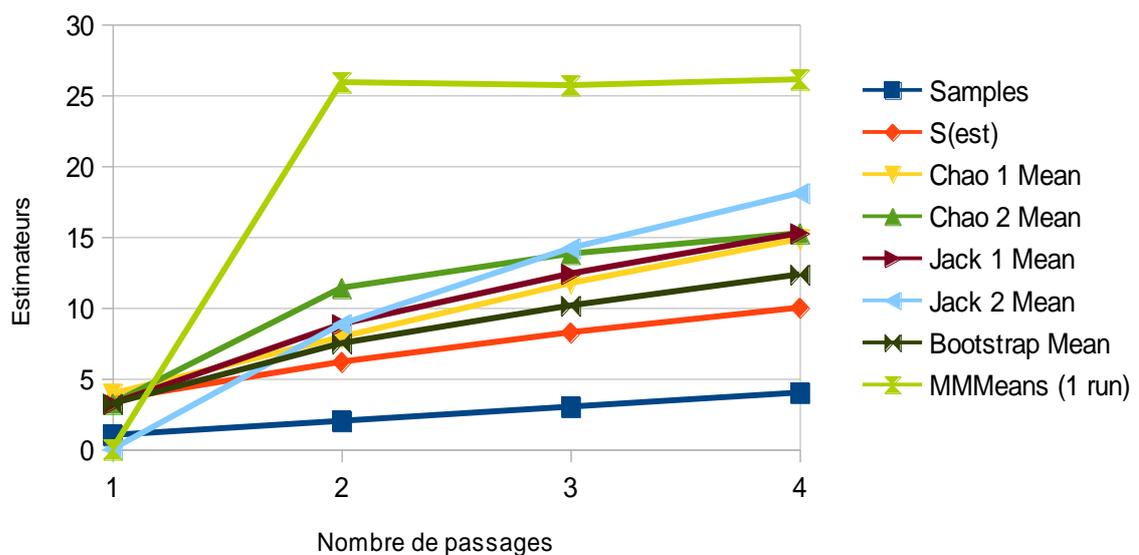


**Annexe 9 : Évolution de la diversité en Odonates en fonction du nombre de passages sur chaque site**

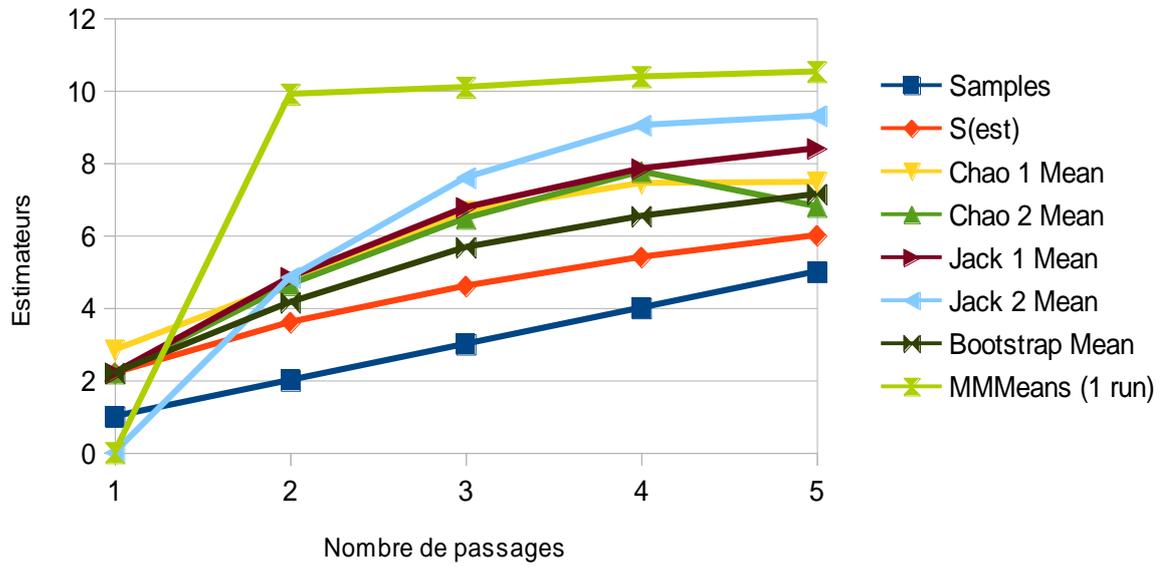
**ODO14**



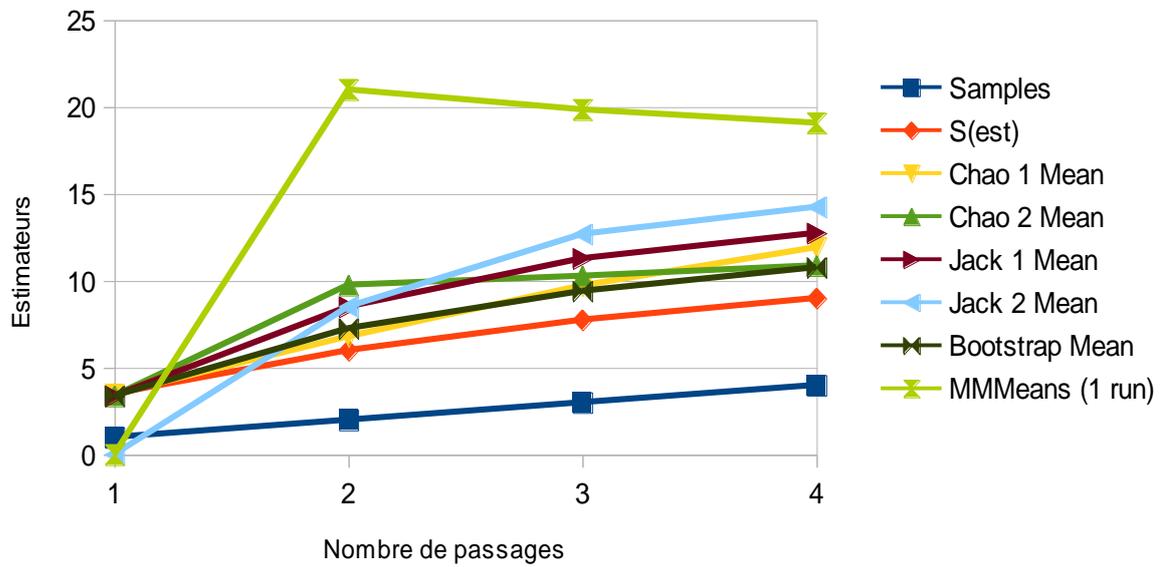
**ODO19**



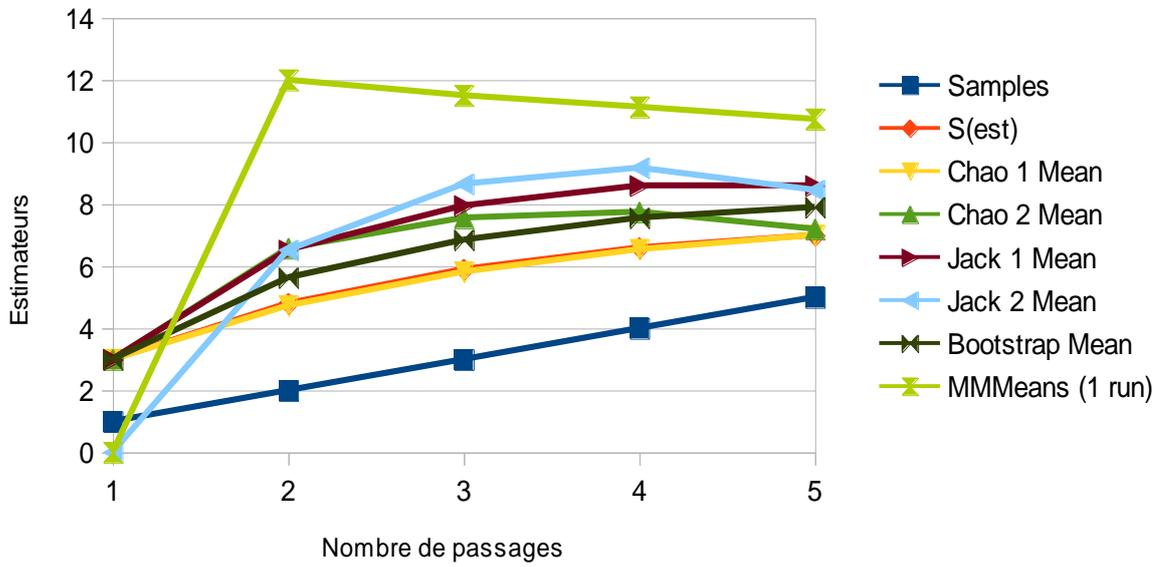
### ODO15



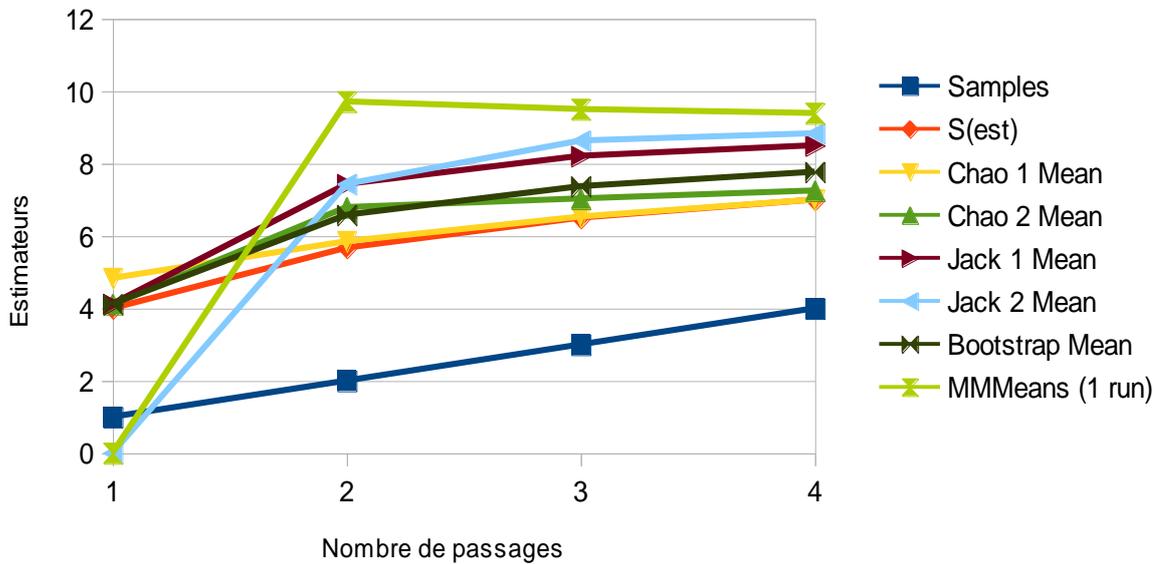
### ODO20



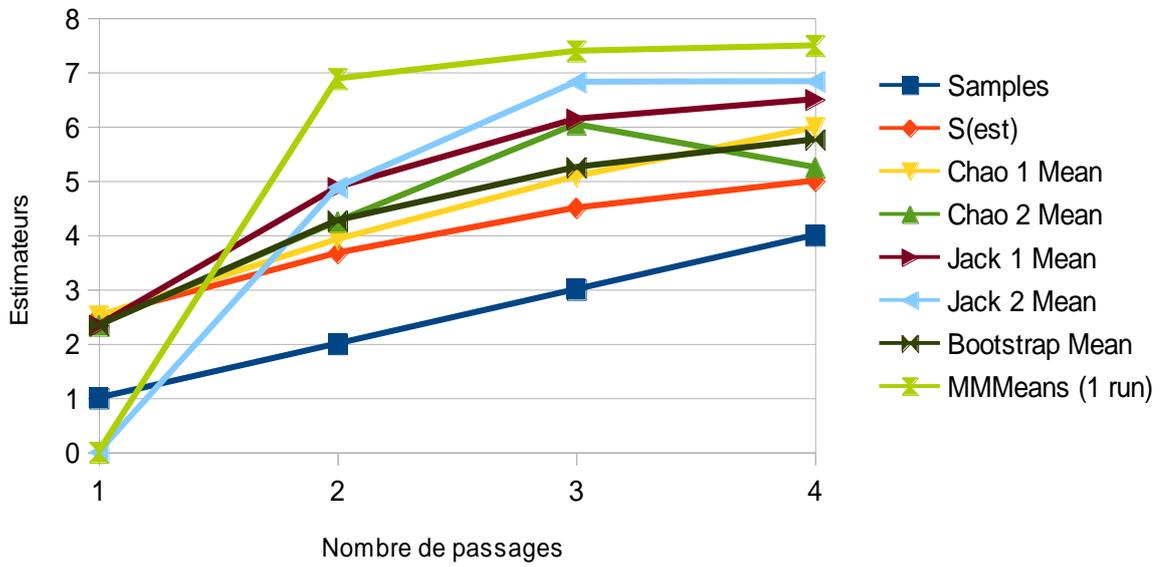
### ODO601



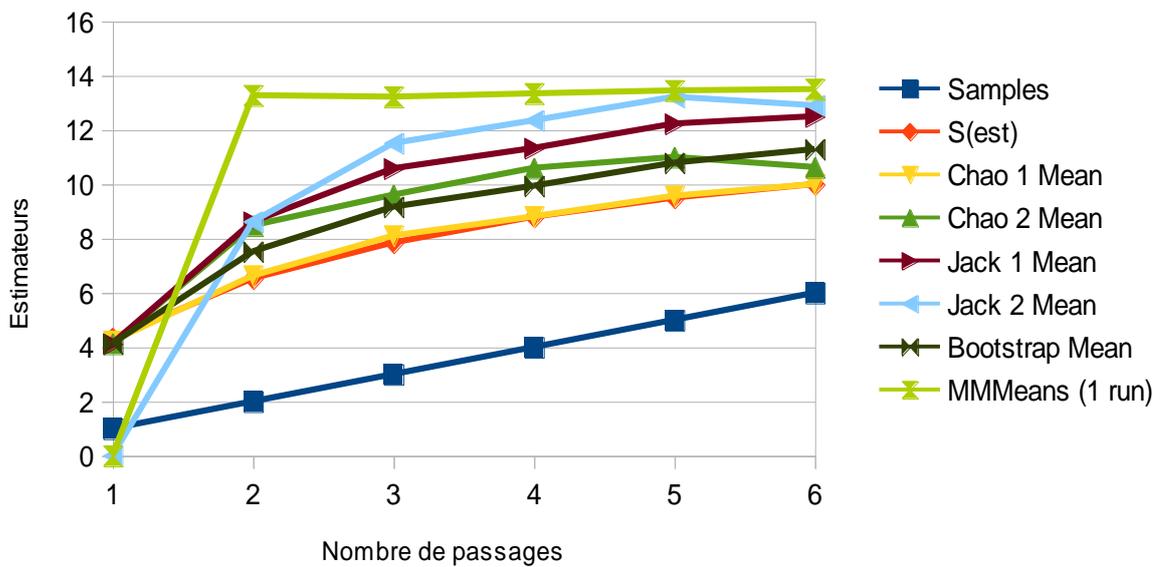
### ODO615



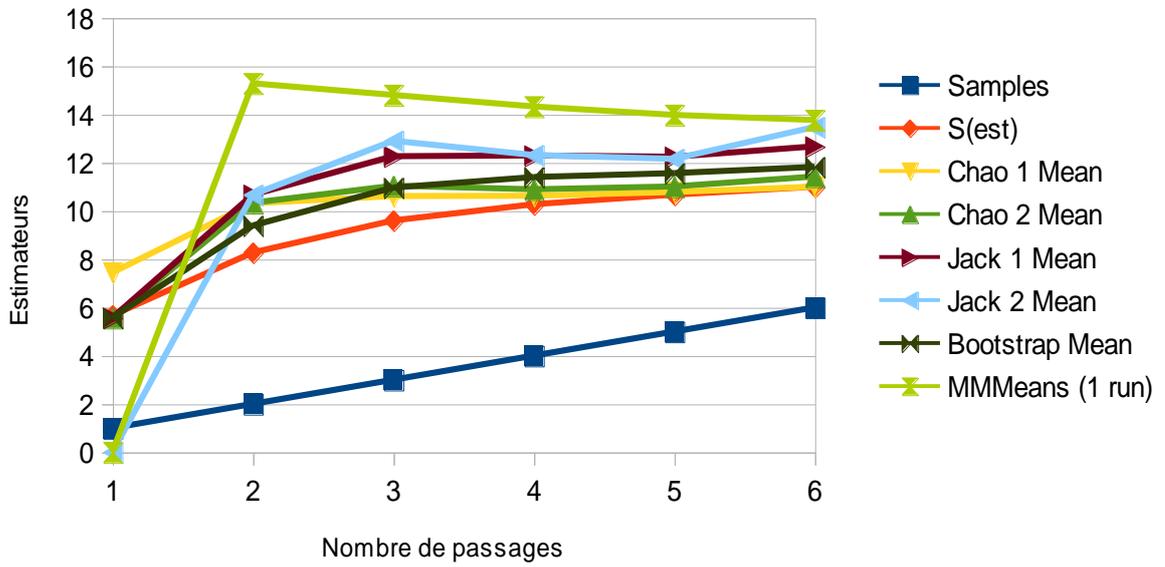
### ODO825



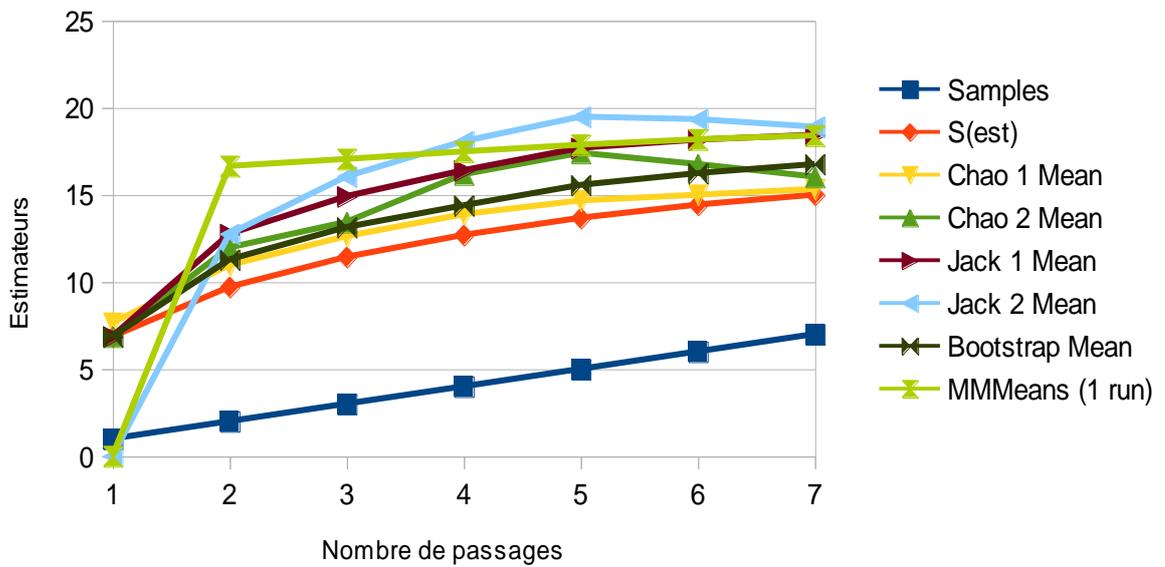
### ODO9



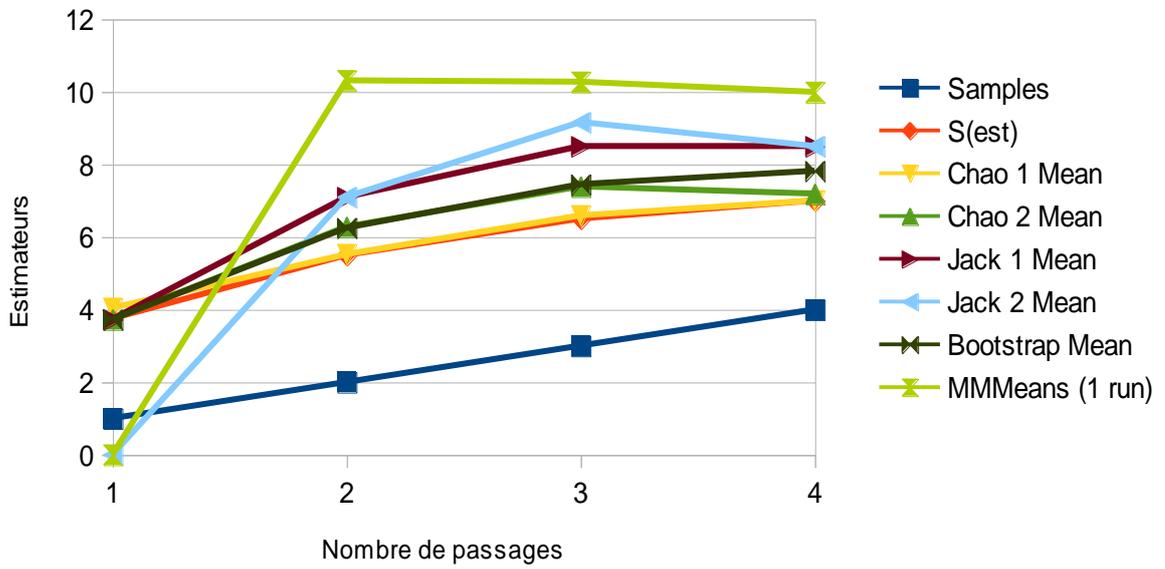
### ODO9bis



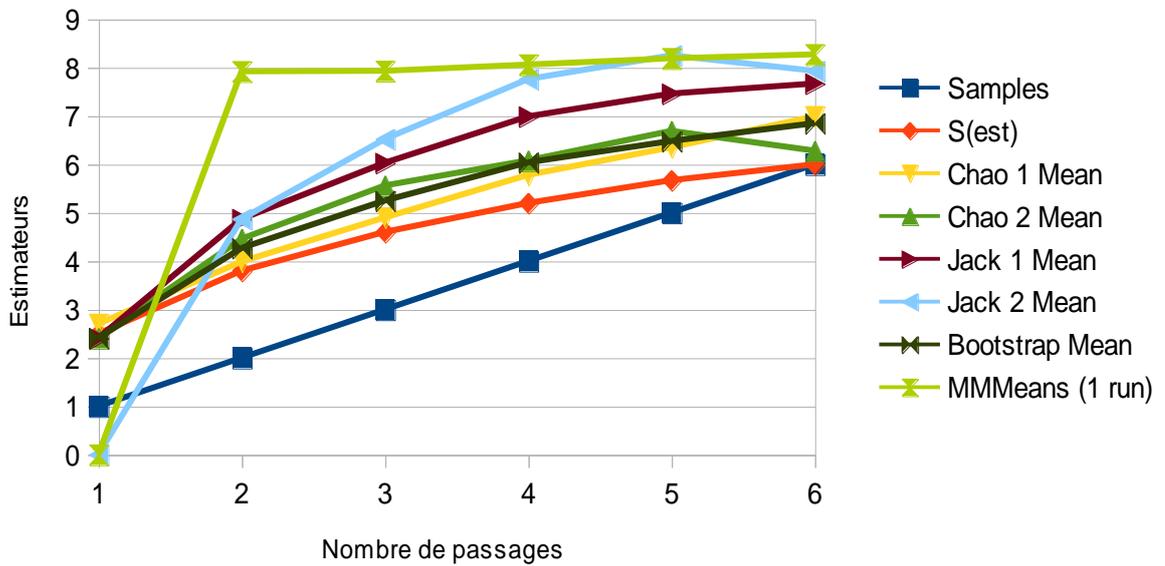
### ODO708



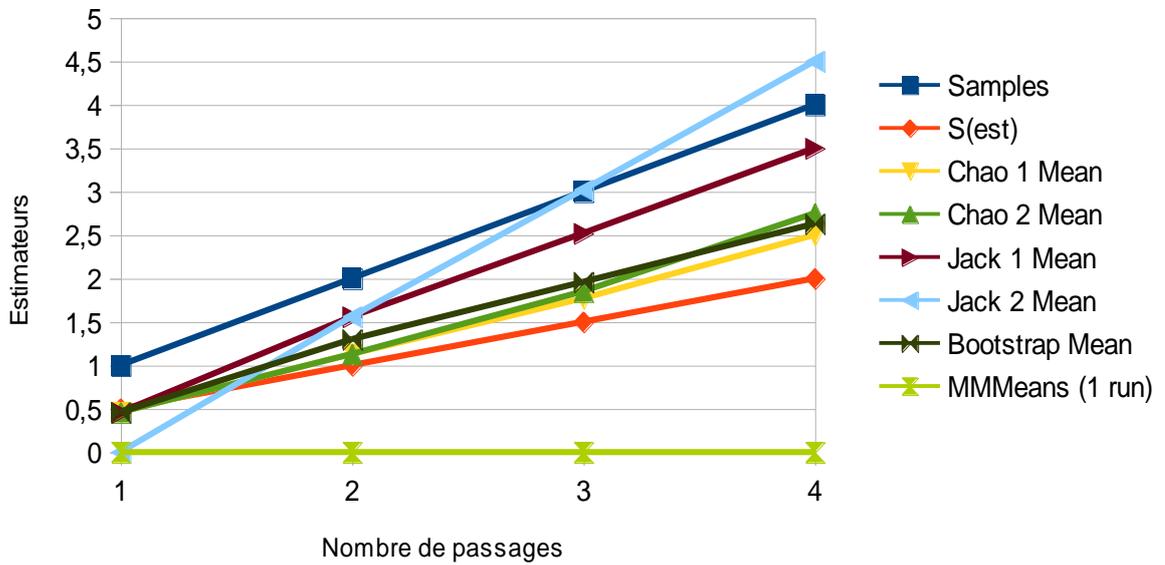
### ODO1031



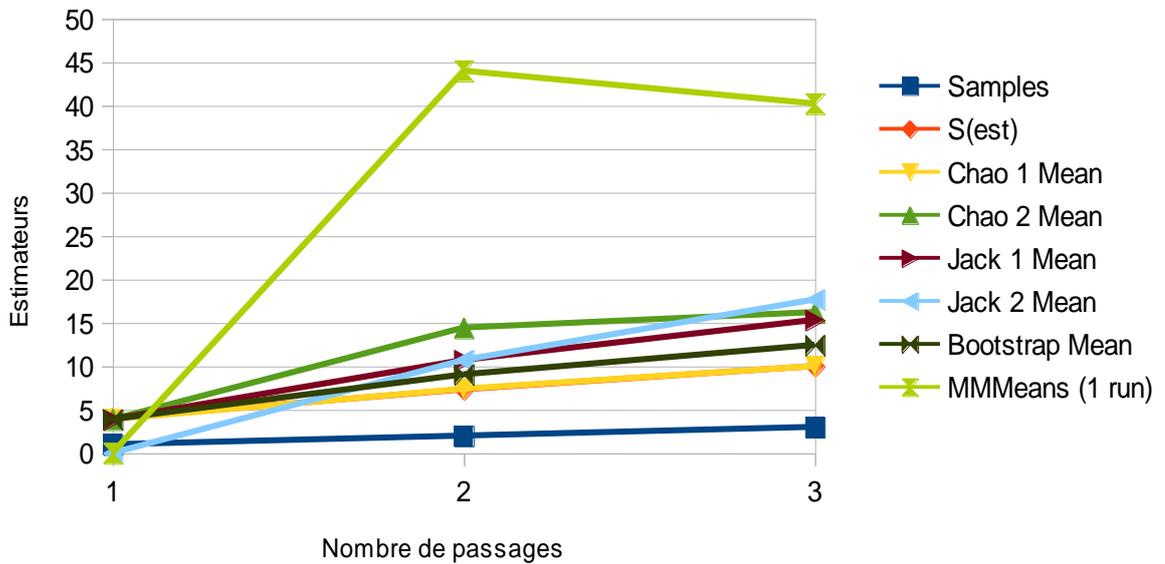
### ODO1



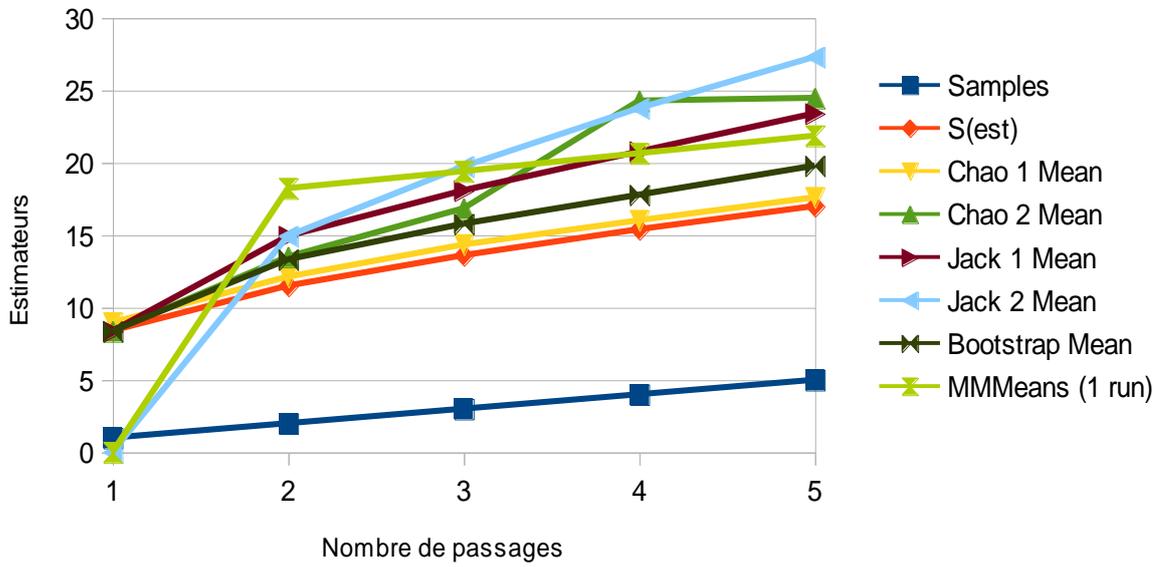
### ODO17



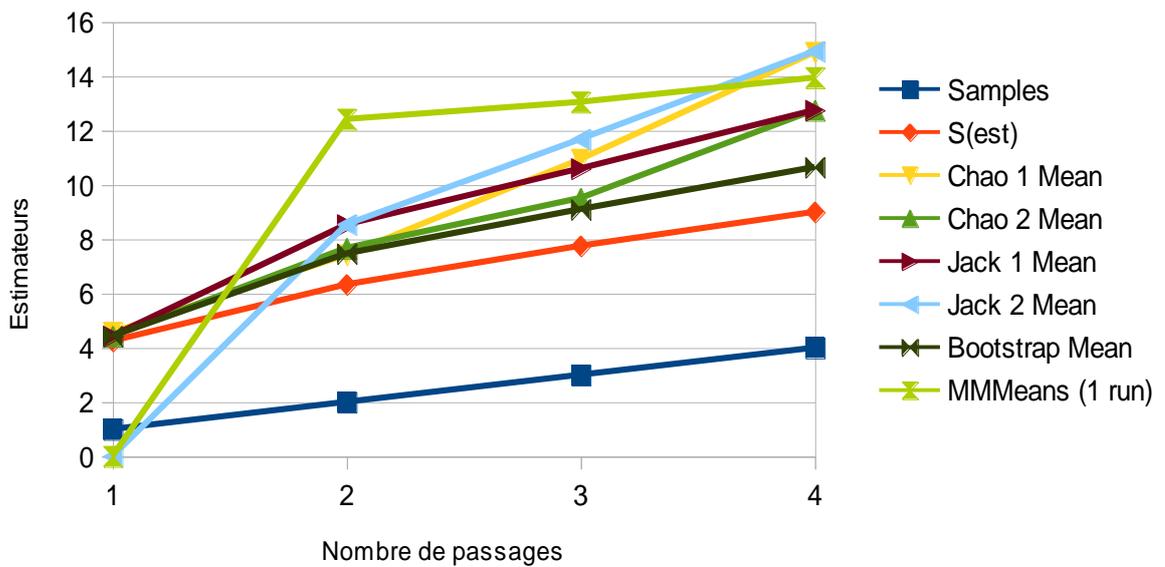
### ODO264



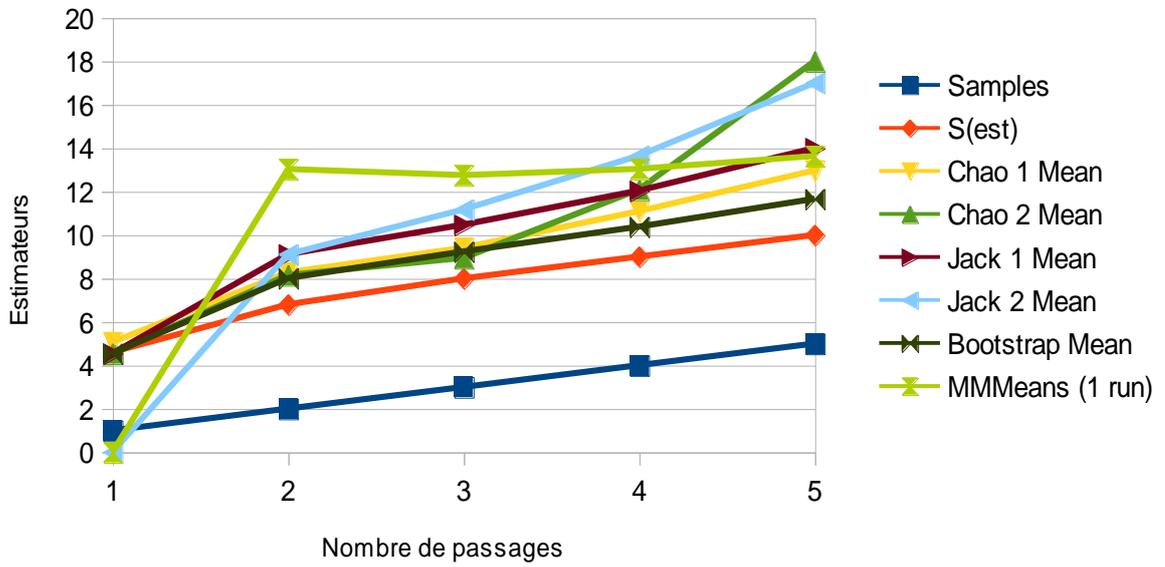
### ODO340



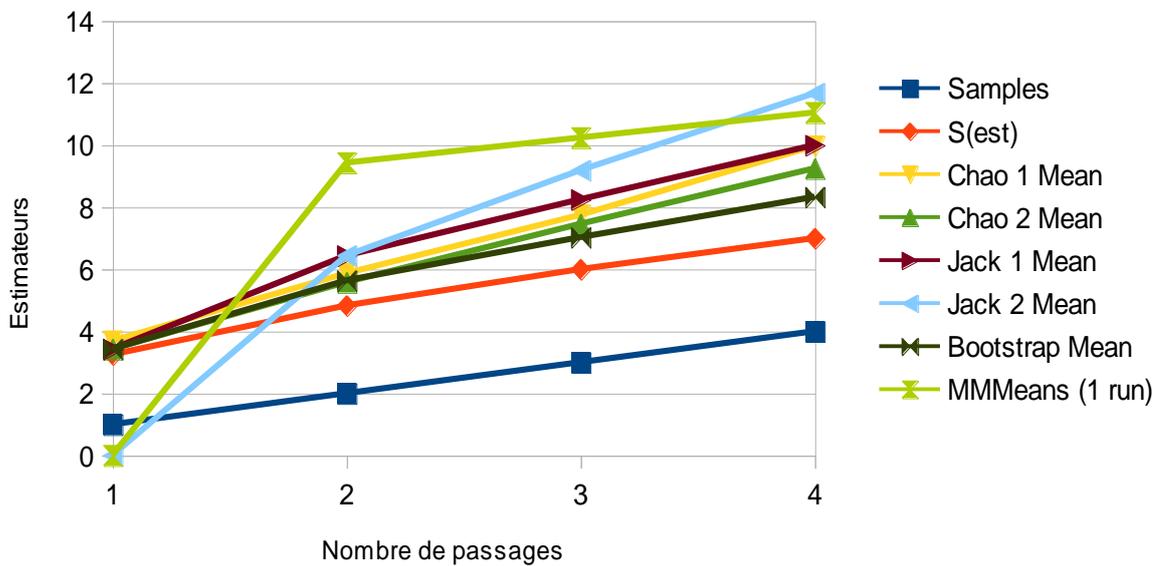
### ODO639



### ODO671



### ODO788



**Annexe 10 : P-value indiquée par l'Anova appliquée à chaque espèce du cortège 1 pour chacune des variables sélectionnées après l'ACP.** Les effets de l'habitat terrestre et du niveau de l'eau sont testés uniquement dans le modèle à un facteur. Leur absence du modèle multiple est due à une corrélation forte avec le type de milieu.

|             |                            | Type de milieu | Qualité de l'eau | Altitude    | Présence d'hélophytes | Habitat terrestre | Niveau de l'eau | Nombre de sites de présence |
|-------------|----------------------------|----------------|------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| C.aenea     | effet seul                 | 0,001871 **    | 0,1959           | 0,3497      | 0,8185                | 0,01499 *         | 0,01016 *       | 8                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,001783 **    | 0,649808         | 0,9145      | 0,417133              | \                 | \               |                             |
| S.fusca     | effet seul                 | 0,02532 *      | 0,1425           | 0,8191      | 0,4815                | 0,2396            | 0,2268          | 5                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,0250 *       | 0,4009           | 0,5104      | 0,8137                | \                 | \               |                             |
| E.najas     | effet seul                 | 0,04749 *      | 0,1273           | 0,2331      | 0,4106                | 0,199             | 0,2571          | 3                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,04785 *      | 0,3633           | 0,5039      | 0,11                  | \                 | \               |                             |
| S.arctica   | effet seul                 | 0,02636 *      | 0,8305           | 0,08072     | 0,4038                | 0,4381            | 0,2702          | 3                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,02565 *      | 0,18559          | 0,05916     | 0,99996               | \                 | \               |                             |
| A.isoceles  | effet seul                 | 0,02081 *      | 0,6546           | 0,09154     | 0,4038                | 0,04124 *         | 0,1268          | 4                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,04785 *      | 0,792482         | 0,003926 ** | 0,999984              | 0,08892           | \               |                             |
| C.erythraea | effet seul                 | 0,04749 *      | 0,7264           | 0,04358 *   | 0,2581                | 0,5344            | 0,04035 *       | 3                           |
|             | effet dans modèle multiple | 0,047846 *     | 0,41981          | 0,007804 ** | 0,014874 *            | \                 | \               |                             |

|               |                            | Type de milieu | Qualité de l'eau | Altitude      | Présence d'hélophytes | Habitat terrestre | Niveau de l'eau | Nombre de sites de présence |
|---------------|----------------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| O.cancellatum | effet seul                 | 0,02081 *      | 0,2494           | 0,2141        | 0,2581                | 0,4186            | 0,277           | 4                           |
|               | effet dans modèle multiple | 0,04785 *      | 0,6681           | 0,2425        | 0,2735                | \                 | \               |                             |
| A.juncea      | effet seul                 | 0,374          | 0,3203           | 4,016e-08 *** | 0,4959                | 0,9331            | 0,07344 .       | 5                           |
|               | effet dans modèle multiple | 0,3734         | 0,4069           | 1,168e-06 *** | 1                     | \                 | \               |                             |
| E.cyathigerum | effet seul                 | 0,01298 *      | 0,5644           | 0,01541 *     | 0,003844 **           | 0,02997 *         | 0,1651          | 6                           |
|               | effet dans modèle multiple | 0,012818 *     | 0,781886         | 0,069932      | 0,006045 **           | \                 | \               |                             |
| A.cyanea      | effet seul                 | 0,3619         | 0,2014           | 0,08658       | 0,2823                | 0,05663           | 0,1301          | 11                          |
|               | effet dans modèle multiple | 0,3571         | 0,3456           | 0,3039        | 0,8198                | \                 | \               |                             |
| L.depressa    | effet seul                 | 0,04955 *      | 0,1938           | 0,8942        | 0,007382 **           | 0,07522           | 0,07396 .       | 8                           |
|               | effet dans modèle multiple | 0,04968 *      | 0,461            | 0,529         | 0,0363 *              | \                 | \               |                             |

**Annexe 11: P-value indiquée par l'Anova appliquée à chaque espèce du cortège 2 pour chacune des variables sélectionnées après l'ACP.** Les effets de l'habitat terrestre et du niveau de l'eau sont testés uniquement dans le modèle à un facteur. Leur absence du modèle multiple est due à une corrélation forte avec le type de milieu.

|                |                            | Type de milieu | Qualité de l'eau | Altitude | Présence d'hélophytes | Habitat terrestre | Niveau de l'eau | Nombre de sites de présence |
|----------------|----------------------------|----------------|------------------|----------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| Cortège 2      | effet seul                 | 0,009514 **    | 0,1512           | 0,4041   | 0,3969                | 0,667             | 0,6092          | 5                           |
|                | effet dans modèle multiple | 0,02565 *      | 0,67206          | 0,96971  | 0,99994               | \                 | \               |                             |
| C.tenellum     | effet seul                 | 0,02636 *      | 0,2943           | 0,6087   | 0,4924                | 0,4564            | 0,5972          | 4                           |
|                | effet dans modèle multiple | 0,04819 *      | 0,82634          | 0,65045  | 0,99993               | \                 | \               |                             |
| O.brunneum     | effet seul                 | 0,2158         | 0,1468           | 0,4019   | 0,3242                | 0,6494            | 0,473           | 5                           |
|                | effet dans modèle multiple | 0,2112         | 0,2478           | 0,653    | 1                     | \                 | \               |                             |
| O.coerulescens | effet seul                 | 0,06301        | 0,6498           | 0,6249   | 0,2197                | 0,7549            | 0,7586          | 9                           |
|                | effet dans modèle multiple | 0,03898 *      | 0,7666           | 0,59096  | 0,41714               | \                 | \               |                             |
| S.striolatum   | effet seul                 | 0,1354         | 0,2019           | 0,1192   | 0,6321                | 0,2978            | 0,3987          | 7                           |
|                | effet dans modèle multiple | 0,2643         | 0,38782          | 0,17711  | 0,04979 *             | \                 | \               |                             |

|                 |                            | Type de milieu | Qualité de l'eau | Altitude  | Présence d'hélophytes | Habitat terrestre | Niveau de l'eau | Nombre de sites de présence |
|-----------------|----------------------------|----------------|------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| P.pennipes      | effet seul                 | 0,8708         | 0,6933           | 0,02655 * | 0,3969                | 0,2997            | 0,7966          | 5                           |
|                 | effet dans modèle multiple | 0,45107        | 0,66845          | 0,04586 * | 0,37341               | \                 | \               |                             |
| S.flavomaculata | effet seul                 | 0,2158         | 0,444            | 0,4348    | 0,3242                | 0,2533            | 0,2567          | 5                           |
|                 | effet dans modèle multiple | 0,2112         | 0,1752           | 0,2003    | 0,4035                | \                 | \               |                             |
| C.boltonii      | effet seul                 | 0,4566         | 0,7555           | 0,8497    | 0,3969                | 0,4564            | 0,5972          | 3                           |
|                 | effet dans modèle multiple | 0,4511         | 0,7336           | 0,7003    | 0,5195                | \                 | \               |                             |

**Annexe 12 : Diversité et dominance des cortèges sur chaque site**

| Sites  | Nombre d'espèces du cortège 1 | Nombre d'espèces du cortège 2 | Proportion d'espèces du cortège 1 | Proportion d'espèces du cortège 2 | Diversité totale | Cortège dominant | Type de milieu  |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| ODO14  | 2                             | 4                             | 0,15                              | 0,31                              | 13               | 2                | unique_gouilles |
| ODO15  | 0                             | 3                             | 0,00                              | 0,50                              | 6                | 2                | gouilles        |
| ODO20  | 0                             | 1                             | 0,00                              | 0,14                              | 7                | 2                | unique_gouilles |
| ODO18  | 1                             | 0                             | 0,50                              | 0,00                              | 2                | 1                | unique          |
| ODO119 | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 1                | aucun            | gouilles        |
| ODO264 | 1                             | 2                             | 0,20                              | 0,40                              | 5                | 2                | gouilles        |
| ODO57  | 2                             | 0                             | 0,40                              | 0,00                              | 5                | 1                | unique          |
| ODO106 | 3                             | 0                             | 0,33                              | 0,00                              | 9                | 1                | unique          |
| ODO639 | 2                             | 2                             | 0,22                              | 0,22                              | 9                | les deux         | unique          |
| ODO60  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 6                | aucun            | unique          |
| ODO957 | 3                             | 0                             | 0,43                              | 0,00                              | 7                | 1                | unique          |
| ODO17  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 2                | aucun            | unique          |
| ODO472 | 1                             | 0                             | 0,20                              | 0,00                              | 5                | 1                | unique          |
| ODO477 | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 2                | aucun            | gouilles        |
| ODO671 | 4                             | 0                             | 0,44                              | 0,00                              | 9                | 1                | unique          |
| ODO24  | 0                             | 2                             | 0,00                              | 0,40                              | 5                | 2                | unique          |
| ODO788 | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 7                | aucun            | unique          |
| ODO825 | 2                             | 0                             | 0,33                              | 0,00                              | 6                | 1                | gouilles        |
| ODO601 | 5                             | 0                             | 0,50                              | 0,00                              | 10               | 1                | unique          |
| ODO615 | 4                             | 0                             | 0,57                              | 0,00                              | 7                | 1                | unique          |
| ODO206 | 0                             | 3                             | 0,00                              | 1,00                              | 3                | 2                | gouilles        |
| ODO19  | 0                             | 6                             | 0,00                              | 0,60                              | 10               | 2                | gouilles        |
| ODO340 | 6                             | 2                             | 0,35                              | 0,12                              | 17               | 1                | unique          |

| Sites   | Nombre d'espèces du cortège 1 | Nombre d'espèces du cortège 2 | Proportion d'espèces du cortège 1 | Proportion d'espèces du cortège 2 | Diversité totale | Cortège dominant | Type de milieu |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| ODO602  | 1                             | 0                             | 1,00                              | 0,00                              | 1                | 1                | unique         |
| ODO708  | 6                             | 1                             | 0,38                              | 0,06                              | 16               | 1                | unique         |
| ODO79   | 1                             | 2                             | 0,20                              | 0,40                              | 5                | 2                | gouilles       |
| ODO82   | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 4                | aucun            | unique         |
| ODO765  | 0                             | 1                             | 0,00                              | 0,25                              | 4                | 2                | unique         |
| ODO1087 | 1                             | 1                             | 0,33                              | 0,33                              | 3                | les deux         | gouilles       |
| ODO749  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 4                | aucun            | gouilles       |
| ODO750  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 4                | aucun            | gouilles       |
| ODO1031 | 0                             | 2                             | 0,00                              | 0,29                              | 7                | 2                | gouilles       |
| ODO1    | 0                             | 4                             | 0,00                              | 0,67                              | 6                | 2                | gouilles       |
| ODO9    | 3                             | 1                             | 0,25                              | 0,08                              | 12               | 1                | unique         |
| ODO9bis | 4                             | 0                             | 0,31                              | 0,00                              | 13               | 1                | unique         |
| ODO10   | 5                             | 0                             | 0,45                              | 0,00                              | 11               | 1                | unique         |
| ODO2    | 0                             | 1                             | 0,00                              | 1,00                              | 1                | 2                | gouilles       |
| ODO663  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 2                | aucun            | gouilles       |
| ODO664  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 1                | aucun            | gouilles       |
| ODO666  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 1                | aucun            | gouilles       |
| ODO662  | 0                             | 0                             | 0,00                              | 0,00                              | 1                | aucun            | gouilles       |