



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

PFE Semestre 9 & 10

**Peut-on utiliser les odonates
comme bio-indicateur ?**



CHEVALIER Gary

2016 – 2017

**Directrice de recherche :
BOISNEAU Catherine**

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

2016 – 2017

**Directrice de recherche :
BOISNEAU Catherine**

CHEVALIER Gary

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt a des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnels, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique.
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche, nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

Je tiens à remercier madame Catherine BOISNEAU, directrice de recherche de ce projet de fin d'études, pour m'avoir aidée et conseillée pendant toute la réalisation de ce projet.

Je remercie également madame Pascale LE HALPER, responsable de la bibliothèque aménagement et environnement, pour m'avoir aidée dans mes recherches bibliographiques.

Sommaire

Avertissement	II
Formation par la recherche en génie de l'aménagement et de l'environnement	III
Remerciements	IV
Sommaire.....	1
Signification des sigles	2
I – Introduction	3
II – Recherche bibliographique	9
III – Les odonates comme bio-indicateur	10
IV – Perspectives des résultats	14
Bibliographie	A
Liste des figures.....	D
Table des matières	E

Signification des sigles

CEN : Conservatoire d'espaces naturels.

OPIE : Office Pour les Insectes et leur Environnement

RSO : Representative Spectrum of Odonate Species

I – Introduction

I.1 – Contexte

Le lit principal de la Loire, entre Les Ponts-de-Cé et Nantes, présente une incision très importante. Cette incision a pour origine l'aménagement, au début du 20^{ème} siècle, d'un chenal de navigation à l'aide d'épis et d'ouvrages de contrôles des bras secondaires, mais également du fait de l'extraction de matériaux dans le lit du fleuve au cours du 20^{ème} siècle (CEN Pays de la Loire, 2015).

L'abaissement de la ligne d'eau en étiage a atteint 3,5 m dans l'agglomération nantaise. Cette incision fragilise les quais, les ponts et les berges. De plus, elle a pour conséquence une déconnexion du lit principal avec ses bras secondaires, ses boires ainsi que ses zones humides adjacentes. Il en résulte une altération, voire une perte de certaines fonctions écologiques (CEN Pays de la Loire, 2015).

En effet, les connexions latérales (processus d'échanges entre une rivière et sa plaine inondable) sont reconnues comme les fonctionnalités les plus importantes de ces écosystèmes (Chovanec et al, 2005). A cause des pressions anthropiques, ces sites de biodiversités font partie des écosystèmes les plus menacés (Chovanec et al, 2005, Simaika et Samways, 2012).

L'« intermediate disturbance hypothesis » (Connell, 1978) (Figure 1) prédit une faible variété d'espèces dans des habitats exposés à des perturbations fréquentes, récentes ou de fortes intensités. Seules quelques espèces tolérantes peuvent survivre ou recoloniser ces habitats. D'un autre côté, une faible diversité d'espèce se produit également lorsque les habitats sont exposés à des perturbations rares, anciennes ou de faibles intensités. En effet, dans ces habitats, il y a une grande compétition entre les espèces afin de s'approprier les ressources.

La diversité des espèces est maximale lorsque des perturbations se produisent de façon modérée en intensité et en fréquence, car une grande variété d'espèces peut tolérer ces conditions, mais aucune d'entre elles ne peut dominer complètement la communauté.

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

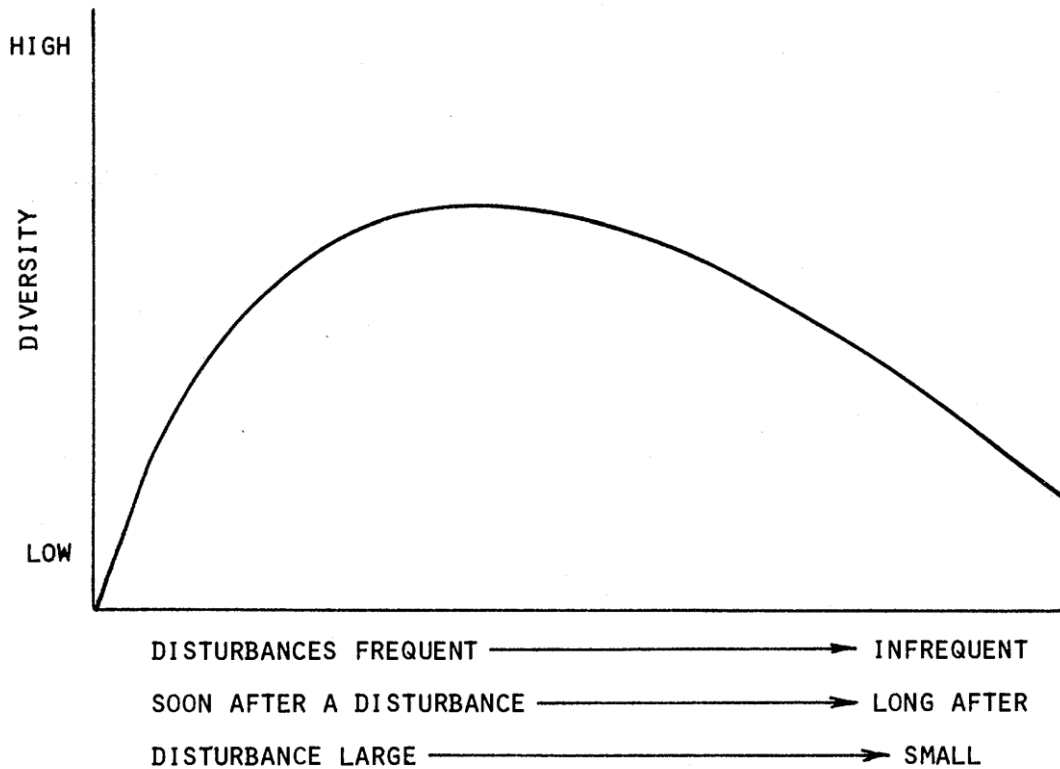


Figure 1: L'« intermediate disturbance hypothesis" (Connell, 1978)

Cette hypothèse peut être appliquée aux rivières et à leur lit majeur. Dans ce cas, les perturbations représentent les connexions hydrologiques entre la rivière et sa plaine inondable. Une faible connexion empêche les échanges de matières, d'énergie et d'organismes entre les milieux, réduisant la diversité des habitats ainsi que la biodiversité (Ward et al, 1999).

Une connexion fréquente entre la rivière et sa plaine inondable permet de maintenir la dynamique hydromorphologique du chenal (migration, dépôt et érosion des sédiments) et une grande hétérogénéité d'habitats, avec une diversité de milieux lotique, semi-lotique et lentique lors des crues (Ward et al, 1999). Par exemple, au niveau du Danube, en Autriche, Ward et al (1999) ont montré que la biodiversité est beaucoup plus élevée dans une plaine inondable connectée (494 espèces) que dans une plaine déconnectée (149 espèces) (Figure 2).

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

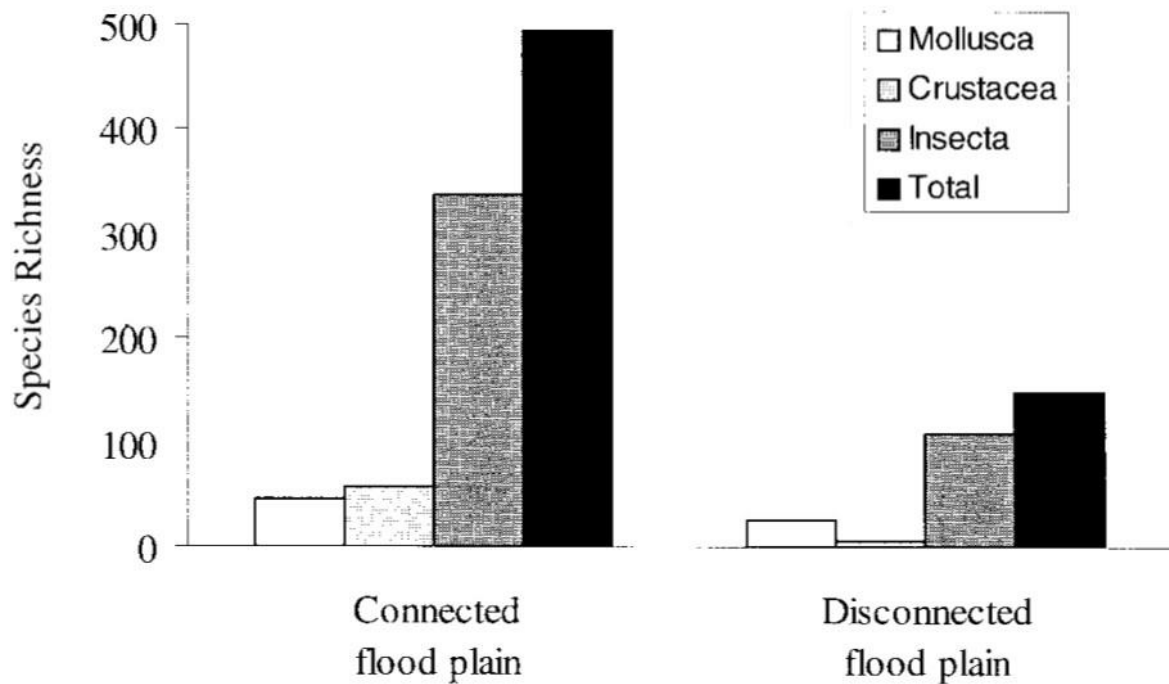


Figure 2: Nombre d'espèces dans la plaine inondable du Danube (Ward et al, 1999)

Ainsi, les connexions associées à la variabilité du régime hydrologique permettent un régime de perturbation modérée en intensité et en fréquence et des conditions optimales pour une plus grande biodiversité.

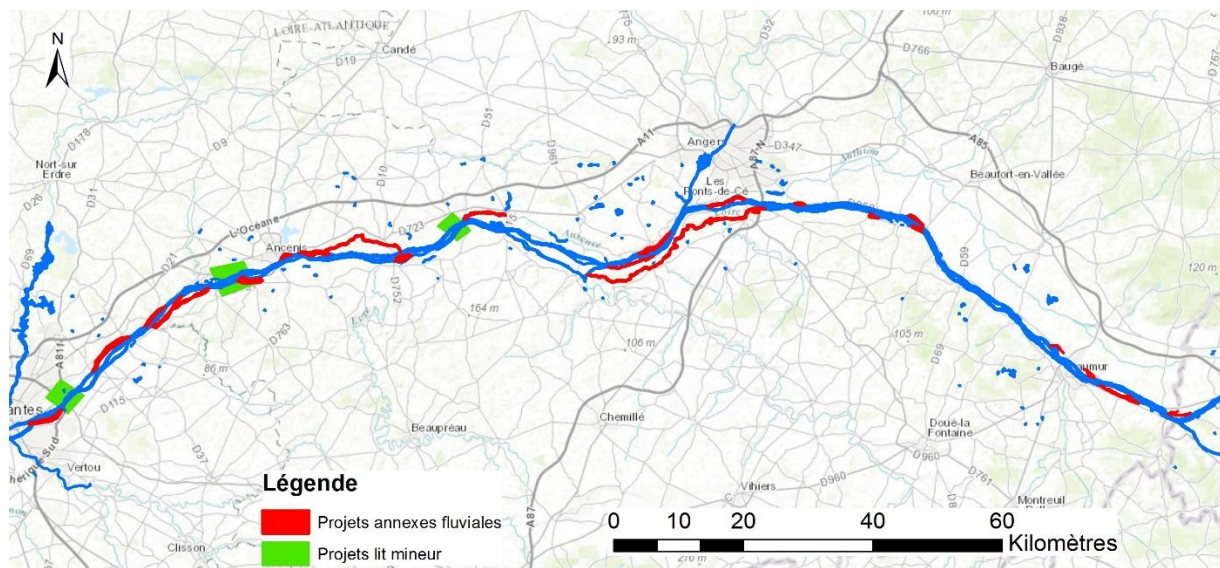
1.2 – Problématique

Pour augmenter la hauteur de la ligne d'eau à l'étiage et reconnecter les bras secondaires de la Loire, un grand programme de restauration du lit et des annexes a récemment vu le jour : le contrat pour la Loire et ses annexes de Nantes à Montsoreau. Ce programme a pour objectifs principaux (CEN Pays de la Loire, 2015) :

- Le rééquilibrage longitudinal et latéral du fleuve, en réduisant la pente de la ligne d'eau et du fond et en agrandissant l'espace de mobilité.
- L'amélioration de la connexion des annexes hydrauliques et des bras secondaires par des travaux de restauration, suivis d'éventuels travaux d'entretien.

Les travaux pour la restauration de la connexion des annexes hydrauliques se feront par des retraits de bouchons sableux, d'arrachage des végétaux envahissants, de gestion des ouvrages et par l'effacement ou rabaissement des gués (CEN Pays de la Loire, 2015). 25 annexes hydrauliques sont concernées par ces travaux de restauration (Figure 3).

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?



Le contrat pour la Loire et ses annexes prévoit des suivis et des évaluations des travaux de restauration. Des indicateurs biologiques du bon fonctionnement des milieux reconnectés serviront à l'évaluation du programme (CEN Pays de la Loire, 2015). Les indicateurs biologiques sont des organismes qui, lorsqu'ils sont présents, renseignent certaines caractéristiques écologiques de l'environnement qui les entoure. Certaines espèces sont sténoèces et exigent des conditions très spécifiques en matière d'habitat (Lebrasseur, 2013).

Ainsi, les commanditaires du programme de restauration ont émis les demandes suivantes (comm. pers. C. Boisneau) :

- 1 : La mise en place de protocoles de suivi intégrateurs.
- 2 : La quantification des gains des actions du contrat sur les fonctionnalités écologiques sur une échelle large, en tenant compte des trajectoires présentes et à venir des habitats et des espèces.
- 3 : La quantification des gains des actions en termes de fonctionnement morpho-sédimentaire.
- 4 : Le développement de la connaissance concernant l'écologie des gomphes (Odonates)

Les gomphidés sont une famille d'insectes appartenant à l'ordre des odonates (libellules). Le bassin de la Loire présente un intérêt odonatologique majeur, notamment pour deux espèces protégées de Gomphidés : *Gomphus flavipes* et *Ophiogomphus cecilia* (Dijkstra, 2006) (Figure 4). Ces deux espèces sont relativement communes au niveau de la Loire mais sont très peu présentes ailleurs en France (Figure 5).

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

De nos jours, les inventaires des Odonates pour le suivi des milieux aquatiques en France se font essentiellement sur les adultes et les exuvies (Pont et Mathieu, 2011 ; Lebrasseur, 2013 ; Robert et al, 2015). Les suivis odonatologiques se font très rarement sur les larves pour des raisons financières et techniques.

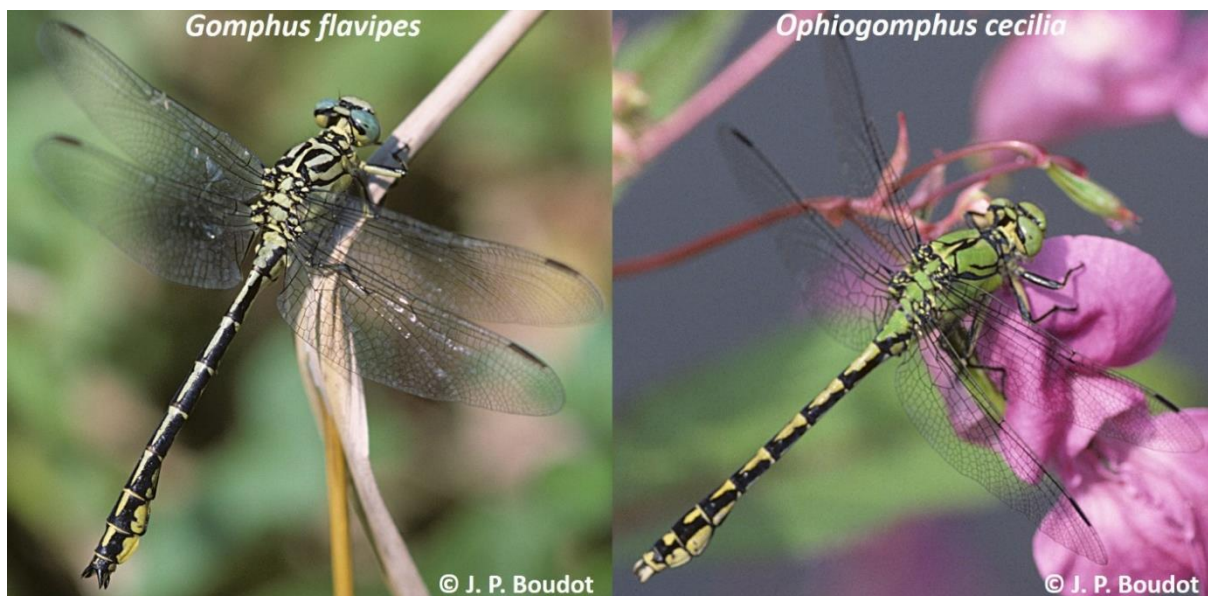


Figure 4: Photographie de *Gomphus flavipes* et de *Ophiogomphus cecilia* (Source : OPIE)

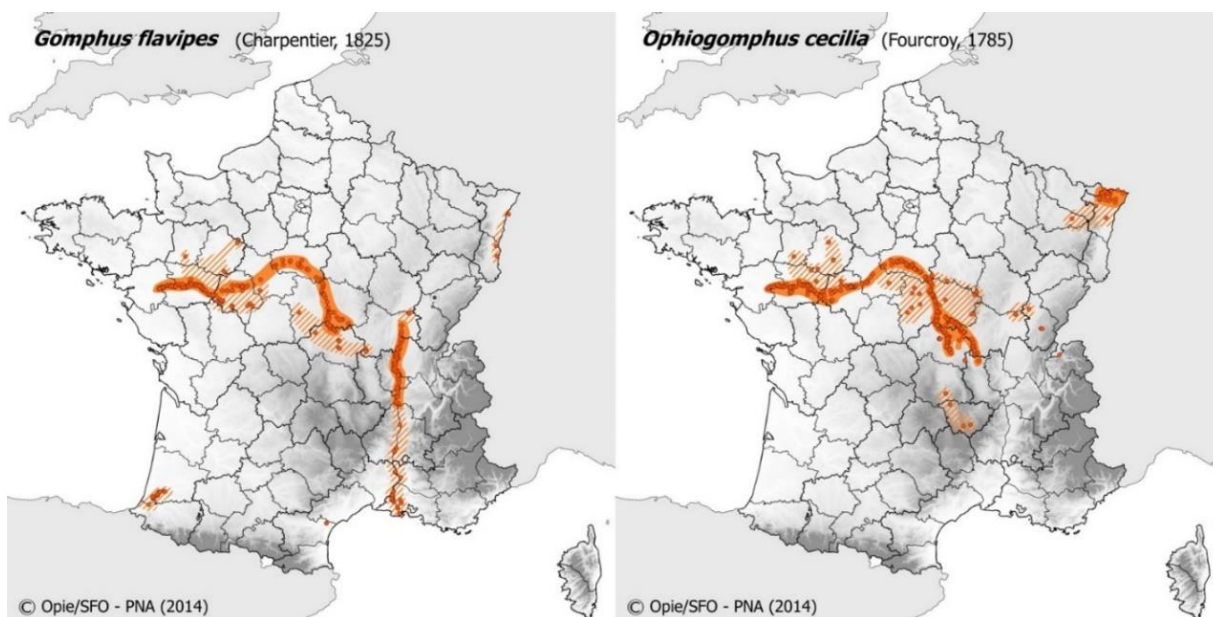


Figure 5: Localisation de *Gomphus flavipes* et *Ophiogomphus cecilia* en France (Source : OPIE)

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

I.3 – Objectifs

Les commanditaires souhaitent utiliser les odonates pour évaluer l'efficacité des mesures de restaurations. Ainsi, l'objectif principal de ce rapport est de savoir s'il est possible d'utiliser les odonates comme indicateurs biologiques du fonctionnement de la connectivité dans une plaine alluviale. L'objectif est également de chercher s'ils peuvent indiquer une dynamique sédimentaire (arrivée, départ, dépôt, érosion...) dans le lit principal et/ou les milieux reconnectés, et s'ils peuvent indiquer tout autre type de paramètres (dynamiques hydrologiques, qualité des habitats, efficacité de travaux de restauration, etc...).

Étant donné que les gomphidae sont très présents dans la Loire, les recherches s'effectueront plus spécifiquement sur cette famille et sur sa capacité à être utilisée comme indicateurs biologiques à elle seule.

Un second objectif est de savoir, dans le cas où les odonates ne peuvent pas être utilisés comme bio-indicateurs, quels sont les autres groupes de macro-invertébrés pouvant être utilisés pour le suivi du programme de restauration.

Dans un premier temps, ce projet présentera les méthodes qui ont été utilisées pour rechercher les articles scientifiques en lien avec la problématique de ce rapport. Ensuite, il exposera les résultats qui ont été obtenus, notamment quels sont les domaines où les odonates sont utilisés comme bio-indicateur et quels sont les taxons pouvant être utilisés pour indiquer une dynamique sédimentaire. Pour finir, ce rapport présentera comment utiliser les odonates pour le suivi des restaurations de la Loire.

II – Recherche bibliographique

La première étape dans la réalisation de ce projet a été de chercher dans la littérature scientifique les articles publiés dans des revues internationales ayant un lien avec l'utilisation des odonates comme indicateur biologique.

Dans un premier temps, la recherche a consisté à définir les mots clés à utiliser lors des recherches automatiques sur des sites de recherche. Les mots clés utilisés et relatifs à l'objectif de ce rapport ont été : odonata, indicator, gomphidae, dynamic sediment et habitat template.

Les portails Wiley online library®, Springer Link®, ScienceDirect® et Google Scholar® ont été utilisés pour effectuer les recherches automatiques des références reliées à la thématique de l'utilisation des odonates comme bio-indicateur. Le système « AND », « OR » a été utilisé pour réduire le nombre d'articles trouvés. Les mots clés sélectionnés pour la recherche ont été employés selon la chaîne de recherche suivante : TS (topic subject) = ((Odonata OR Gomphidae) AND (Indicator OR Dynamic sediment OR Habitat template)). Aucune période de recherche n'a été spécifiée.

Les articles trouvés à l'aide de ces mots clés ont été triés en fonction de leur titre et des informations contenues dans leur résumé. Les critères de sélection appliqués concernaient :

- L'apport d'informations sur l'écologie des Odonates et des Gomphidés.
- L'apport d'informations sur l'utilisation des Odonates et de Gomphidés en tant que bio-indicateur.
- L'apport d'informations sur les taxons utilisés pour indiquer une dynamique sédimentaire.
- La clarté de l'information et de la complexité/simplicité des résumés.

Les articles ainsi sélectionnés ont été téléchargés et lus entièrement. Après la lecture, un résumé des informations les plus intéressantes et importantes était effectué dans le but de les retrouver plus facilement après la recherche bibliographique. De plus, la bibliographie de chaque article était analysée afin de trouver d'autres documents pouvant être utilisés pour répondre aux objectifs de ce rapport. Cette étape a permis de retenir 31 articles/rapports scientifiques à partir desquels l'analyse a été réalisée.

Une recherche manuelle a été effectuée à la bibliothèque universitaire de Grandmont (Tours) afin de trouver des livres parus dans des éditions scientifiques ayant un lien avec les Odonates (aux stades larvaires et adultes). Un livre a été sélectionné et analysé complètement.

III – Les odonates comme bio-indicateur

III.1 – Avantages des odonates

Les macroinvertébrés peuvent être utilisés pour le suivi d'un écosystème lorsque leurs taxonomies, écologies et leurs réactions à la qualité des habitats sont bien connues (Simaika et Samways, 2012). Ainsi, un bon indicateur biologique (Simaika et Samways, 2012) :

- Indique facilement et rapidement l'état d'un environnement.
- Montre l'impact d'un changement environnemental.
- Constitue un groupe parapluie des autres taxons.

Les lectures ont montré que les odonates étaient énormément utilisés comme indicateurs biologiques dans le monde. En effet, ils respectent l'ensemble des conditions d'un bon bio-indicateur citées précédemment.

- **Taxonomie et écologie**

De nombreuses études effectuées sur les Odonates ont permis d'obtenir des connaissances avancées sur leurs écologies, leurs types d'habitats, leur taxonomie et sur les distributions géographiques de nombreuses espèces en Europe et en Amérique du Nord (Chovanec et Waringer, 2001 ; Golfieri et al, 2016). Par exemple, Dijkstra (2006) décrit dans son ouvrage « Field guide to the dragonflies of Britain and Europe » 170 espèces de libellules et de demoiselles de l'Arctique au Sahara, avec pour chaque espèce une description de leurs habitats et de leurs répartitions géographiques.

Les connaissances avancées sur l'écologie des odonates ont montré qu'ils avaient de grandes exigences en matière d'habitat (Golfieri et al, 2016). Notamment, les adultes vont privilégier les habitats où la probabilité de survie des larves est la plus grande (Silva et al, 2010). La plupart des larves vivent habituellement enterrées dans le sédiment ou cachées sur la végétation aquatique, augmentant leurs chances d'obtenir de la nourriture et de la protection contre les prédateurs (Silva et al, 2010). Les odonates vont ainsi être beaucoup influencés par certains paramètres tels que la végétation submergée, flottante, émergente et rivulaire qui vont conditionner l'existence d'habitat indispensable à la survie de la larve (Dijkstra, 2006 ; Hofmann et Mason, 2005 ; De Oliveira-Junior et al, 2015), la vitesse de l'eau (Dijkstra, 2006 ; Hofmann et Mason, 2005) et les caractéristiques du substrat (type et taille) (Juen et al, 2007 ; Hall et al, 2015 ; Hofmann et Mason, 2005).

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

- **Réactions aux changements de leur habitat**

Un des avantages des odonates à être utilisé comme bio-indicateur est qu'ils peuvent indiquer des dégradations sur les milieux terrestres et aquatiques (De Oliveira-Junior et al, 2015 ; Golfieri et al, 2016). En effet, les odonates ont un cycle de vie amphibiotique, ils vont dépendre des milieux aquatiques lorsqu'ils sont sous formes larvaires et des milieux terrestres lorsqu'ils sont adultes.

De nombreuses espèces d'odonates sont sténoèces. Ils vont être très sensibles aux altérations de leur habitat causées par les activités humaines (destruction de la végétation rivulaire, régulation des débits, etc...) et vont réagir rapidement par des changements en abondance dans un premier temps et ensuite par la disparition d'espèces et l'apparition de nouvelles (Schmidt, 1985 ; De Ricqlès, 1988 ; Corbet, 1993 ; Bulánková, 1997 ; Chovanec et Waringer, 2001 ; Schindler et al, 2003 ; D'Amico et al, 2004 ; Silva et al, 2010 ; Chovanec et al, 2015 ; Golfieri et al, 2016).

Mais les odonates peuvent également indiquer rapidement si des mesures de restaurations ont été efficaces ou non. En effet, du fait du comportement migratoire des adultes, les odonates peuvent coloniser de nouveaux habitats et rétablir des populations très rapidement dans des environnements adéquats (Chovanec et Waringer, 2001 ; Silva et al, 2010).

- **Indication facile et rapide de l'état d'un environnement**

Un bon bio-indicateur doit indiquer facilement et rapidement l'état d'un environnement. Les odonates respectent parfaitement ce critère étant donné que le nombre d'espèces est relativement faible comparé à d'autres ordres de macro-invertébrés. Ce faible nombre d'espèces permet de les identifier et d'évaluer l'état d'un écosystème plus facilement et plus rapidement (Chovanec et Waringer, 2001 ; D'Amico et al, 2004 ; Golfieri et al, 2016). Cette qualité concerne plus particulièrement les adultes (Silva et al, 2010) car ils peuvent être capturés, analysés et identifiés directement sur le terrain (Chovanec et Waringer, 2001).

Du fait que les odonates ont une grande exigence en matière d'habitat, il y a une grande relation entre le type d'habitat et la présence de certaines espèces (Corbet, 1993 ; Chovanec et Waringer, 2001 ; Hall et al, 2015). Ainsi, la présence ou l'absence de certaines espèces informe immédiatement des caractéristiques d'un écosystème. Par exemple, Dijkstra (2006) affirme que presque tous les Platycnemididae et les Gomphidae fréquentent des eaux courantes tandis que les Coenagrionidae et les Libellulidae préfèrent les eaux stagnantes.

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

- **Espèce parapluie**

Les odonates sont utilisés comme bio-indicateur, car ce sont des espèces parapluie représentatif des zones de transition entre la terre et l'eau (zone humide, lit majeur, etc...) (Chovanec et Waringer, 2001). Ils sont idéals pour représenter les autres espèces des plaines inondables et des zones humides (Schindler et al, 2003 ; Chovanec et al, 2004).

Ainsi, les nombreux avantages des odonates leur permettent d'être utilisés comme indicateur biologique dans les cinq domaines suivants :

- Type, qualité et hétérogénéité des habitats (Corbet, 1993 ; Chovanec et Waringer, 2001 ; Schindler et al, 2003 ; Hofmann et Mason, 2005 ; Simaika et Samways, 2009 ; Silva et al, 2010 ; De Oliveira-Junior et al, 2015 ; Dutra et Marco, 2015 ; Ellis et Jones, 2016 ; Golfieri et al, 2016).
- Dynamique hydrologique, morphologique et connexion avec le chenal principal (Castella, 1987 ; Chovanec et Waringer, 2001 ; Schindler et al, 2003 ; Chovanec et al, 2004 ; Ellis et Jones, 2016 ; Golfieri et al, 2016).
- Santé et qualité du corridor et de l'écosystème (Chovanec et Waringer, 2001 ; D'Amico et al, 2004 ; Juen et al, 2007 ; Kalkman et al, 2008 ; Chovanec et al, 2015 ; Hall et al, 2015 ; Ellis et Jones, 2016 ; Golfieri et al, 2016).
- Qualité chimique (Corbet, 1993 ; Bulánková, 1997 ; Hofmann et Mason, 2005).
- Efficacité des mesures de restaurations et de conservations (Chovanec et al, 2004 ; Kalkman et al, 2008 ; Simaika et Samways, 2009 ; Dutra et Marco, 2015 ; Golfieri et al, 2016).

III.2 – Utilisation de l'ensemble des odonates

Schmidt (1985) a décrit un protocole abouti afin d'effectuer l'inventaire des espèces d'odonates présent sur un type d'habitat. Le résultat de cet inventaire donne le spectre représentatif des espèces d'odonates (« Representative Spectrum of Odonate Species » = **RSO**). Le RSO change en fonction du type d'habitat et de son degré de dégradation et c'est l'un des premiers outils qui utilise les odonates comme bio-indicateur. En effet, en comparant le RSO d'un milieu anthropisé avec un site de référence (sans perturbation anthropique), il est possible de mesurer le degré d'altération du milieu (Schmidt, 1985).

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

Corbet (1993) précisera également que les odonates peuvent être utilisés de manière fiable comme bio-indicateur, mais qu'il est préférable d'utiliser le RSO plutôt qu'une seule espèce. En faisant cela, la relation entre le type d'habitat et les odonates est plus forte (Corbet, 1993). Ainsi, la plupart des scientifiques utilisent l'ensemble des espèces d'odonates présent sur un site comme bio-indicateur de son statut écologique.

IV – Perspectives des résultats

Le présent rapport ne présente que la première phase de ce projet de fin d'études. La prochaine étape sera de développer les résultats obtenus. Dans un premier temps, l'objectif sera de présenter les études où les odonates ont été utilisés comme bio-indicateur dans les domaines suivants :

- Type, qualité et hétérogénéité des habitats.
- Dynamique hydrologique, morphologique et connexion avec le chenal principal.
- Santé et qualité du corridor et de l'écosystème.
- Qualité chimique.
- Efficacité des mesures de restaurations et de conservations.

Ensuite, l'objectif sera de présenter les capacités bio-indicatrices des gomphidés. Il semble en effet que ce sont des espèces sensibles et caractéristiques des milieux lotiques. Leur absence peut montrer une dégradation des milieux. Enfin, le dernier objectif sera de présenter quels sont les macro-invertébrés utiliser pour indiquer une dynamique sédimentaire. Il semblerait que l'ensemble des communautés de macro-invertébrés doit être utilisé. Cependant, certaines familles (dont des familles d'odonates) sont plus sensibles que les autres aux processus d'érosions ou de sédimentations.

L'étape finale sera de discuter de quelle façon il est possible d'utiliser les odonates pour évaluer l'efficacité des mesures restaurations qui vont être effectuées sur la Loire. Étant donné que les odonates peuvent indiquer le degré de connexion d'une annexe hydraulique avec le chenal principal, ils peuvent répondre aux objectifs du contrat pour la Loire et ses annexes de Nantes à Montsoreau.

Bibliographie

- Bulánková E., 1997. Dragonflies (Odonata) as bioindicators of environment quality. *Biologia* 52: 177 – 180.
- Castella E., 1987. Larval Odonata distribution as a describer of fluvial ecosystems: The Rhône and the Ain rivers, France. *Advances in Odonatology* 3: 23 – 40.
- Chovanec A., Waringer J., 2001. Ecological integrity of river-floodplain systems – Assessment by dragonfly surveys (Insecta: Odonata). *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 493 – 507.
- Chovanec A., Waringer J., Raab R., Laister G., 2004. Lateral connectivity of a fragmented large river system: assessment on a macroscale by dragonfly surveys (Insecta: Odonata). *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems* 14: 163 – 178.
- Chovanec A., Waringer J., Straif M., Graf W., Reckendorfer W., Waringer-Löschenkohl A., Waidbacher H., Schultz H., 2005. The Floodplain Index – a new approach for assessing the ecological status of river/ floodplain-systems according to the EU Water Framework Directive. *Large Rivers* 15: 169 – 185.
- Chovanec A., Schindler M., Waringer J., Wimmer R., 2015. The dragonfly association index (Insecta: Odonata) – A tool for the type-specific assessment of lowland rivers. *River research and applications* 31: 627 – 638.
- Connel J. H., 1978. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs, high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science* 199: 1302 – 1310
- CEN Pays de la Loire, 2015. *Contrat pour la Loire et ses Annexes 2015-2020* [en ligne]. Disponible sur http://www.cenpaysdelaloire.fr/sites/default/files/fichiers/contrat_pour_la_loire_et_ses_annexes_2015_2020.pdf (consulté le 23/10/2016). 16 pages.
- Corbet P. S., 1993. Are Odonata useful as bioindicators? *Libellula* 12: 91 – 102.
- D'Amico F., Darblade S., Avignon S., Blanc-Manel S., Ormerod S., J., 2004. Odonates as indicators of shallow lake restoration by liming: comparing adult and larval responses. *Restoration Ecology* 12: 439 – 446.

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

De Oliveira-Junior J. M. B., Shimano Y., Alan Gardner T., Huches R. M., De Marco Júnior P., Juen L., 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology* 40: 733 – 744.

De Ricqlès, A., 1988. Les Odonates de Dordogne et leur intérêt comme indicateurs de l'évolution des milieux à moyen terme. *Rev. Ecol. (Terre Vie)* 43 : 177 – 194.

Dijkstra K. D. B., 2006. *Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe*. British Wildlife Publishing, Grande-Bretagne. 320 pages.

Dutra S., De Marco P., 2015. Bionomic differences in odonates and influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. *Ecological Indicators* 49: 132 – 142.

Ellis L. E., Jones N. E., 2016. A test of the serial discontinuity concept: longitudinal trends of benthic invertebrates in regulated and natural rivers of northern Canada. *River Research and Applications* 32: 462 – 472.

Golfieri B., Hardersen S., Maiolini B., Surian N., 2016. Odonates as indicators of the ecological integrity of the river corridor: Development and application of the Odonate River Index (ORI) in northern Italy. *Ecological indicators* 61: 234 – 247.

Hall A. M., Mccauley S. J., Fortin M., 2015. Recreational boating, landscape configuration, and local habitat structure as drivers of Odonate community composition in an island setting. *Insect Conservation and Diversity* 8: 31 – 42.

Hofmann T. A., Mason C. F., 2005. Habitat characteristics and the distribution of Odonata in a lowland river catchment in eastern England. *Hydrobiologia* 539: 137 – 147.

Juen L., Cabette H. S. R., De Marco Jr. P., 2007. Odonate assemblage structure in relation to basin and aquatic habitat structure in Pantanal wetlands. *Hydrobiologia* 579: 125 – 134.

Kalkman V. J., Clausnitzer V., Dijkstra K. B., Orr A. G., Paulson D.R., van Tol J., 2008. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 351 – 363.

Lebrasseur J., 2013. *Note d'aide à la mise en place d'inventaires et de suivis odonates. Rapport GRETIA dans le cadre de la déclinaison régionale du Plan national d'actions en faveur des Odonates*. 19 pages.

Les services de l'état dans le département de Maine et Loire, 2015. *Contrat pour la Loire et des annexes de Nantes à Montsoreau (2015 – 2020) : visite de terrain du 2 septembre 2015 – La*

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

Varenne (49) [en ligne]. Disponible sur http://www.maine-et-loire.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_Presse_2sept2015.pdf (consulté le 23/10/2016). 6 pages.

OPIE. Plan national d'actions en faveur des Odonates [en ligne]. Disponible sur <http://odonates.pnaopie.fr/> (consulté le 13/11/2016).

Pont B., Mathieu M., 2011. *Protocole odonates – 2011*. 14 pages.

Robert S., Chantereau M., Payan P., 2015. *Suivi des populations de Gomphidés ligériens de la Réserve naturelle de Saint-Mesmin*. 34 pages

Schindler M., Fesl C., Chovanec A., 2003. Dragonfly associations (Insecta: Odonata) in relation to habitat variables: a multivariate approach. *Hydrobiologia* 497: 169 – 180.

Schmidt E., 1985. Habitat inventarization, characterization and bioindication by a “representative spectrum of Odonata species (RSO)”. *Odonatologica* 14: 127 – 133.

Silva D. D. P., De marco P., Resende D. C., 2010. Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. *Ecological indicators* 10: 744 -752.

Simaika J. P., Samways M. J., 2009. An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and conservation* 18: 1171 – 1185.

Simaika J. P., Samways M. J., 2012. Using dragonflies to monitor and prioritize lotique systems: A South African perspective. *Organisms diversity and evolution* 12: 251 – 259.

Ward J. V., Tockner K., Schiemer F., 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 125 – 139.

Liste des figures

FIGURE 1: L' « INTERMEDIATE DISTURBANCE HYPOTHESIS" (CONNEL, 1978).....	4
FIGURE 2: NOMBRE D'ESPECES DANS LA PLAINE INONDABLE DU DANUBE (WARD ET AL, 1999).....	5
FIGURE 3 : LOCALISATION DES SECTEURS CONCERNES PAR LES TRAVAUX DE RESTAURATION (LES SERVICES DE L'ETAT DANS LE DEPARTEMENT DE MAINE ET LOIRE, 2015)	6
FIGURE 4: PHOTOGRAPHIE DE GOMPHUS FLAVIPES ET DE OPHIOGOMPHUS CECILIA (SOURCE : OPIE)	7
FIGURE 5: LOCALISATION DE GOMPHUS FLAVIPES ET OPHIOGOMPHUS CECILIA EN FRANCE (SOURCE : OPIE)	7

Table des matières

Avertissement.....	II
Formation par la recherche en génie de l'aménagement et de l'environnement.....	III
Remerciements	IV
Sommaire.....	1
Signification des sigles	2
I – Introduction	3
I.1 – Contexte	3
I.2 – Problématique.....	5
I.3 – Objectifs	8
II – Recherche bibliographique	9
III – Les odonates comme bio-indicateur.....	10
III.1 – Avantages des odonates.....	10
III.2 – Utilisation de l'ensemble des odonates.....	12
IV – Perspectives des résultats	14
Bibliographie	A
Liste des figures.....	D
Table des matières	E

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires, Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage, Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directrice de recherche :
BOISNEAU Catherine

CHEVALIER Gary
Projet de Fin d'Études
DAE5 : 2016/2017

PFE Semestre 9 & 10

Peut-on utiliser les odonates comme bio-indicateur ?

Résumé : Le lit principal de la Loire, entre Les Ponts-de-Cé et Nantes, présente une incision très importante du fait de l'aménagement d'un chenal de navigation et de l'extraction de matériaux dans le lit du fleuve. Pour augmenter la hauteur de la ligne d'eau à l'étiage et reconnecter les bras secondaires de la Loire, un grand programme de restauration du lit et des annexes a récemment vu le jour : le contrat pour la Loire et ses annexes de Nantes à Montsoreau. Des indicateurs biologiques du bon fonctionnement des milieux reconnectés serviront à l'évaluation du programme. Les recherches dans la littérature scientifique ont montré que les Odonates peuvent être utilisés comme bio-indicateur pour (i) le type, la qualité et l'hétérogénéité des habitats, (ii) la dynamique hydrologique et morphologique et les connexions avec le chenal principal, (iii) la qualité du corridor et de l'écosystème, (iv) la qualité chimique et (v) l'efficacité des mesures de restaurations et de conservations. Certaines espèces de Gomphidés sont très sensibles aux variations de leurs habitats et vont être caractéristiques des milieux lotiques. Pour mesurer une dynamique sédimentaire dans le chenal, il est préférable d'utiliser l'ensemble des macro-invertébrés présents. Cependant, des familles de macro-invertébrés sont plus sensibles aux processus d'érosions et de sédimentations que d'autres. Les Odonates peuvent répondre aux objectifs du contrat pour la Loire et ses annexes et être utilisés comme indicateur biologique des milieux reconnectés.

Mots Clés : Odonates ; Bio-indicateur ; Gomphidae ; Habitat ; Loire