

UFR Sciences & Techniques de la Côte Basque
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Licence professionnelle Espaces Naturels
Option Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités

Etude du potentiel alimentaire disponible pour les limicoles en halte migratoire sur la Réserve Naturelle du Marais d'Orx



Source : photomania.net

LATEULE, Pauline

Stage effectué du 22 février au 24 juin 2016
Réserve Naturelle Nationale du Marais d'Orx – 1005 Route du Marais 40530 LABENNE
sous la direction scientifique de Mr LAGARDE Florent



"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps M. Deyre et M.Dulau, respectivement vice-président et directeur du Syndicat Mixte de gestion des Milieux Naturels, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage de licence professionnelle au sein de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx.

Ensuite, je remercie particulièrement Mme Savary, directrice de la Réserve naturelle du Marais d'Orx, de m'avoir proposé le sujet de ce stage et de m'avoir accueilli dans la structure.

Merci à mon maitre de stage Florent Lagarde, garde naturaliste, qui m'a encadré et guidé tout au long de ce stage ainsi qu'à tout le personnel de la réserve pour leur gentillesse et leur disponibilité durant ces quatre mois. Merci donc à Mlle Christelle Lavigne, Mlle. Ludmilla Betbeder, Mme Raphaëlle Debats, M. Romain Datcharry, M. Sébastien Mirail et M. Yohann Montané.

J'adresse également mes remerciements à Emmanuel Caillot, chargé de mission scientifique à Réserves Naturelles de France, pour son aide et ses connaissances à propos du sujet.

Enfin, merci au personnel de l'UFR Sciences et techniques de la Côte Basque pour son accueil dans ses laboratoires.

Sommaire

Introduction	1
I) Présentation de la réserve.....	2
1- Localisation et présentation générale	2
2- Hydrologie	4
3- Historique	4
4- Patrimoine naturel	5
4.1 La flore.....	5
4.2 La faune.....	6
5- Statut et gestion du site	8
II) Matériels et Méthodes	8
1- Objectifs et hypothèses	8
2- La macrofaune benthique	9
3- Protocole d'échantillonnage	9
3.1 Méthode des transects.....	10
3.2 Tri et identification	11
3.3 Matériel nécessaire au protocole	11
4- Traitement statistique des données	12
4.1 Richesse taxonomique.....	12
4.2 Indice de Shannon-Weaver.....	12
4.3 Abondance relative et abondance moyenne	13
4.4 Densité au m ²	13
4.5 Analyses statistiques.....	13
III) Résultats	14
1- Richesse taxonomique	15
2- Indice de Shannon	16
3- Abondance moyenne et abondance relative	17
3.1 Abondance moyenne	17
3.2 Abondance relative	17
4- Densité au m ²	18
4.1 Relation entre densité au m ² et exposition au vent.....	19
4.2 Relation entre densité au m ² et profondeur de vase	20
4.3 Relation entre densité au m ² et profondeur d'eau.....	21
IV) Discussion	22
V) Perspectives et amélioration du protocole	23
Conclusion	24
Bibliographie	25
Annexes.....	27

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la Réserve Naturelle Nationale du Marais d'Orx	2
Figure 2: Cartographie des secteurs géographiques de la Réserve	3
Figure 3: Exemples d'oiseaux présents sur le site. (a) Avocette élégante (b) Spatule blanche	6
Figure 4: Photographie de deux Cistudes d'Europe.....	7
Figure 5: Cartographie des stations d'échantillonnage sur le Marais barrage.	10
Figure 6: Plan d'échantillonnage.....	10
Figure 7: Matériel utilisé lors du protocole (a) Carottier (b) Loupe binoculaire, guide de détermination, pinces et piluliers.....	11
Figure 8: Diagramme en barres de la richesse taxonomique en fonction des stations	15
Figure 9: Diagramme en barres de l'indice de Shannon en fonction des stations	16
Figure 10: Diagramme en barres de l'abondance moyenne en fonction des stations.....	17
Figure 11: Diagramme en barres empilées de l'abondance relative des classes en fonction des stations.....	17
Figure 12: Diagramme en barres empilées de la densité en fonction des stations	18
Figure 13: Graphiques représentant la densité des taxons en fonction de l'exposition des vasières au vent.....	19
Figure 14: Graphique représentant la densité en fonction de la profondeur de vase.....	20
Figure 15 : Nuage de points représentant la densité au m ² en fonction de la profondeur d'eau	21

Introduction

La migration de longue distance, un des événements le plus coûteux énergétiquement du monde animal, est bien développée chez de nombreuses espèces de *Charadiidae* et *Scolopacidae*. Certains limicoles, comme le Bécasseau maubèche (*Calidris canutus*) de la sous-espèce *canutus*, peuvent parcourir jusqu' à plus de 9000 km. L'importance des sites de halte pour les oiseaux migrateurs a été documenté à de nombreuses reprises et montre bien l'intérêt de la protection de ces milieux (Skagen 2006, Mehlman et al. 2005, Shimazaki et al. 2004). Ces derniers offrent des zones de repos et d'alimentation qui sont indispensables au bon déroulement des migrations, sans quoi, certains paramètres démographiques comme la survie des jeunes et des adultes seraient affectés. Baker et al. (2004) et Morisson (2006) ont mis en avant que les Bécasseaux maubèches n'ayant pas pris assez de masse durant la migration ou ayant fait face à des conditions météorologiques difficiles, voient leur survie diminuer. Lorsque les sites de halte sont limités, la perte de l'un d'entre eux peut potentiellement avoir un impact dévastateur sur les populations d'oiseaux migrateurs (Baker et al. 2004).

La Réserve Naturelle du Marais d'Orx est connue pour être un site d'hivernage d'importance nationale, voir mondiale pour certaines espèces et notamment pour les anatidés. Cependant, elle accueille également de nombreux limicoles en halte migratoire durant le printemps et l'automne. Ainsi, durant ce printemps 2016, environ 3000 limicoles ont été enregistrés en simultanée le 04 mai. Etant donné que les données de comptage n'ont pas été traitées, il est difficile d'estimer un nombre total de limicoles qui utilise la Réserve Naturelle. Cependant, on peut modestement penser qu'entre 5000 et 10 000 individus utilisent la Réserve Naturelle du Marais d'Orx en halte migratoire (Lagarde, commentaire personnel). Les espèces les plus représentées sont le Bécasseau variable (*Calidris alpina*), le Grand gravelot (*Charadrius hiaticula*), le Chevalier gambette (*Tringa totanus*), le Chevalier aboyeur (*Tringa nebularia*) ainsi que la Barge à queue noire (*Limosa limosa*). D'autres espèces comme le Bécasseau cocorli (*Calidris ferruginea*), le Bécasseau maubèche, le Bécasseau sanderling (*Calidris alba*), le Courlis corlieux (*Numenius phaeopus*) ou encore le Pluvier argenté (*Pluvialis squatarola*) sont observés annuellement mais en effectifs réduits. Cette présence est une réponse au changement de gestion des niveaux d'eau qui a permis l'exondation de vasières, habitat d'alimentation de premier choix pour ces oiseaux.

En 2008, 11% des oiseaux migrateurs des milieux humides ont été classés sur la liste rouge de L'UICN au niveau mondial. A noter également qu'entre 1960 et 1990, 50% des milieux humides du pays ont disparu. Du fait de ces constats alarmants et de l'augmentation des effectifs sur le site, les limicoles présentent un fort enjeu de conservation pour les gestionnaires. Les distributions des espèces de limicoles étant fortement liées à celles de leur nourriture, (Le Mao et Ponsero, 2011) il va donc être important d'approfondir les connaissances des habitats de vasière.

I) Présentation de la réserve

1- Localisation et présentation générale

La Réserve Naturelle du Marais d'Orx est une zone humide protégée située au sud-ouest du département des Landes, à 15 kilomètres au nord de Bayonne. Cette propriété du Conservatoire du Littoral s'étend sur les communes de Labenne, d'Orx, de Saint-André de Seignanx et de Benesse-Maremne. Localisée au pied des Pyrénées et juste en retrait de l'océan Atlantique, elle se caractérise par une longueur de 3,5km et une largeur de 1,5km pour une superficie de 774 hectares.

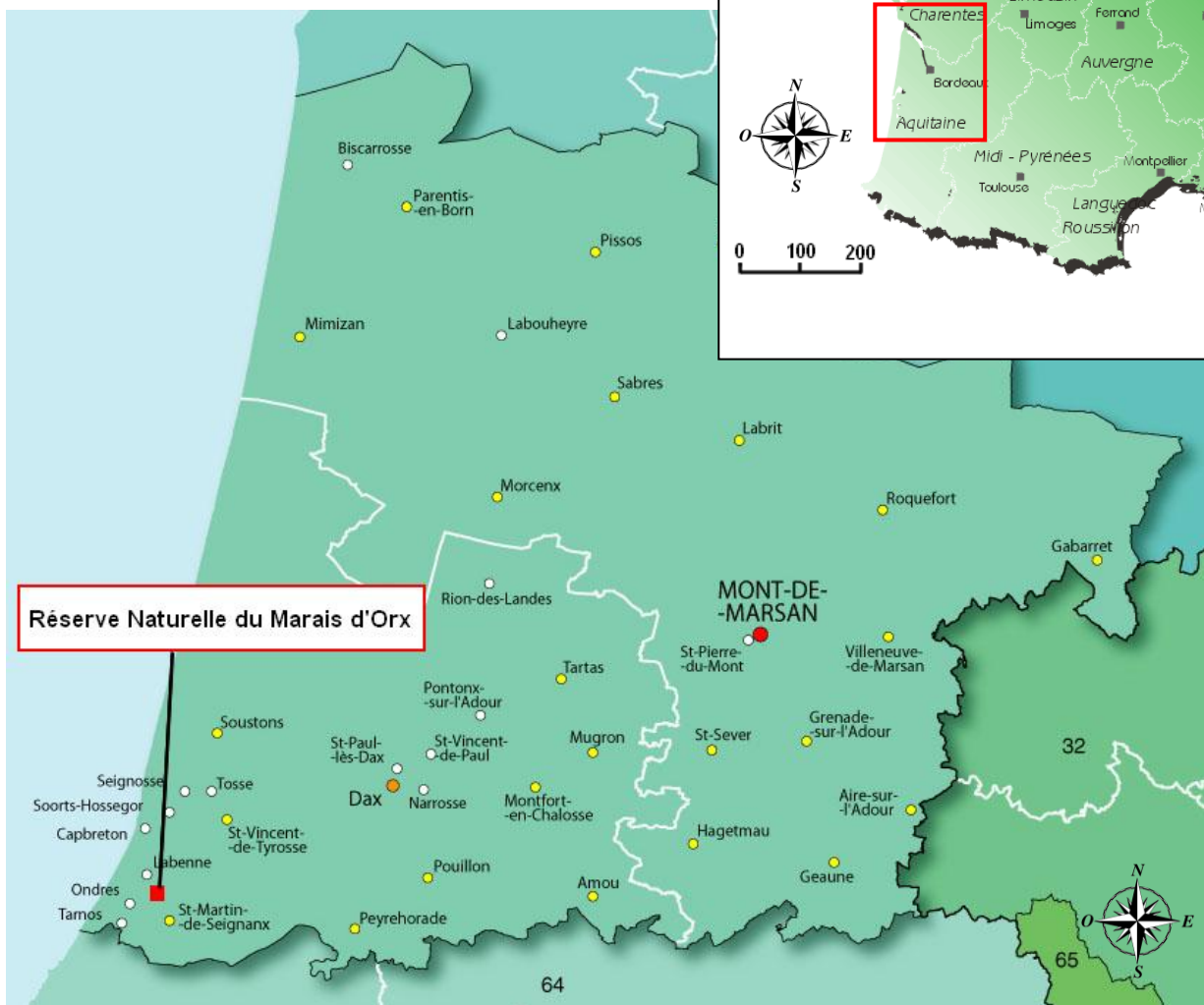


Figure 1: Localisation de la Réserve Naturelle Nationale du Marais d'Orx. (Source : <http://www.aquitaineonline.com/>)

Le Marais d'Orx est probablement issu de l'ancien lit de l'Adour et de la formation du cordon dunaire landais. Actuellement, il se compose de plusieurs casiers ceinturés par des digues et des canaux (Cf Figure 2: Cartographie des secteurs géographiques de la Réserve).

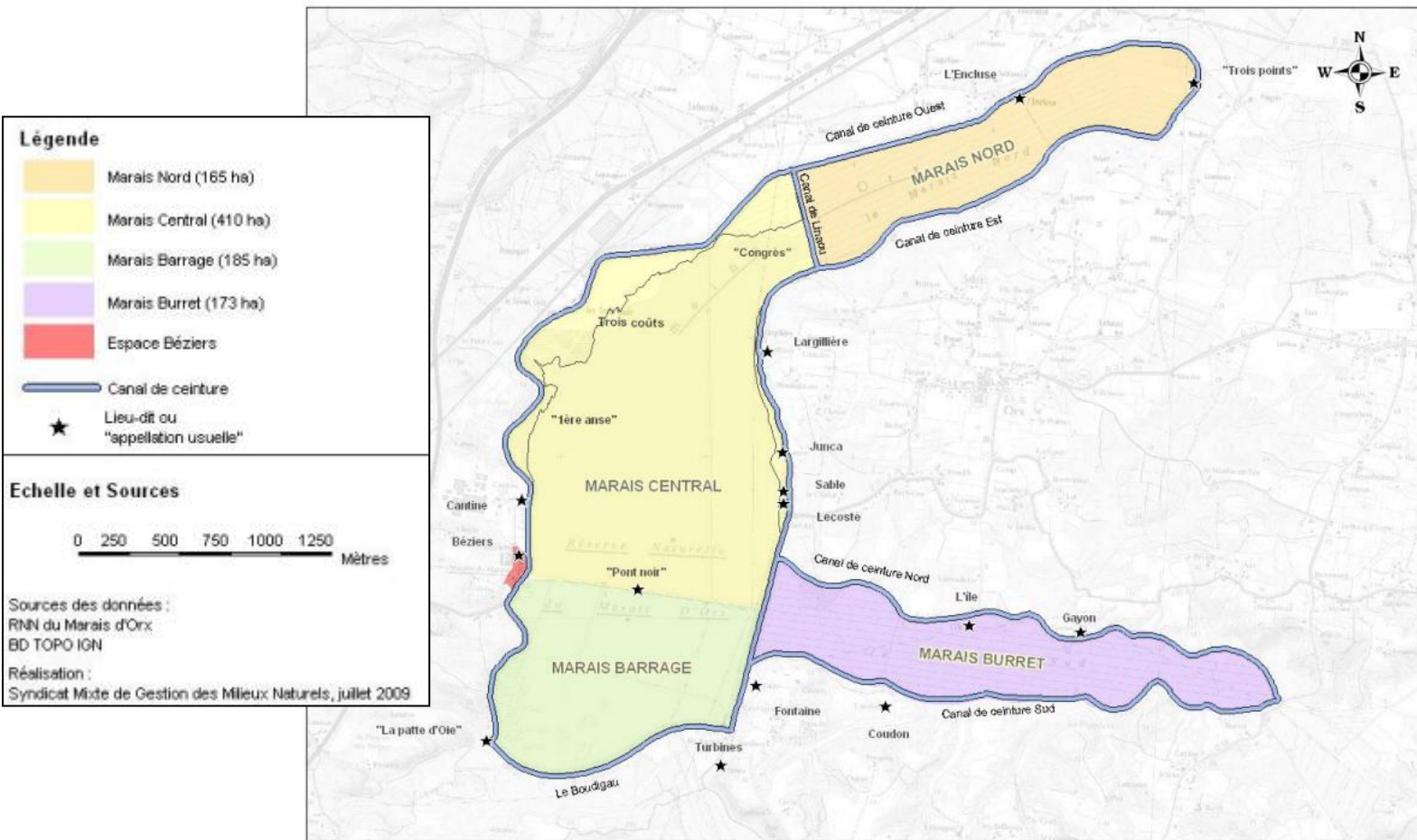


Figure 2: Cartographie des secteurs géographiques de la Réserve (Source : Plan de gestion 2015- 2019 de la RNN du Marais d'Orx)

Deux grands ensembles (Nord/Sud), appartenant au périmètre de la Réserve Naturelle, sont séparés par une route digue datant des années 1850 :

- Au Nord, deux casiers sont présents. Le Casier Nord est constitué de prairies de fauche et de prairies pâturées alors que le Casier Central constitue la plus grande zone en eau du site de par sa profondeur (1 mètre maximum) et sa superficie (300 ha).
- Au Sud, le marais barrage, qui est en permanence en eau, constitue une zone de découverte pour le public.

Le Conservatoire du Littoral est également propriétaire de certaines parcelles se situant hors du périmètre de la réserve :

- L'Espace Béziers, qui englobe la maison d'accueil, les espaces de stationnement ainsi que les locaux utilisés par les gestionnaires.
- Le Casier Burret dont le fonctionnement interfère avec les trois autres casiers classés en Réserve Naturelle. Initialement boisé (populiculture), ce dernier a été

réhabilité en marais. Il est constitué d'une partie en eau et d'une partie herbacée.

- Les Pompes Napoléon III, se situant au niveau du casier barrage.

2- Hydrologie

Les quatre casiers sont isolés hydrauliquement des eaux provenant du bassin versant par une digue. A l'extérieur de cette digue se trouve des canaux de ceinture permettant l'évacuation de ces eaux. Les canaux sont alimentés par les ruisseaux de Mourmaou au nord, le canal de Burret à l'Est et le canal de Moussehoun au sud. Il existe également de nombreux ruisselets qui se déversent dans le canal de ceinture, et plus précisément dans la partie nord-ouest de la réserve. L'unique exutoire de ce système est le canal du Boudigau qui rejoint ensuite l'océan Atlantique au niveau de Capbreton.

Des ouvrages hydrauliques ont pour but de faire communiquer les casiers et les canaux de ceinture, mais aussi les casiers entre eux. Les niveaux d'eau de ces derniers sont gérés par une station de pompage, elle-même gérée par les gestionnaires du site, à des fins de gestion de crue et de gestion écologique.

3- Historique

Le Marais d'Orx est une entité géologique dont la formation remonte à 3 millions d'années. A l'époque, un cordon dunaire s'est formé le long du littoral landais, empêchant les eaux de ruissellement de s'écouler dans la mer. Cette barrière a ainsi entraîné la formation de zones humides, c'est-à-dire d'étangs, de lacs et de marais.

Au moyen âge, les landes étaient considérées comme une vaste zone humide marécageuse.

En 1840, Napoléon III a ordonné l'assèchement de ce marécage afin de pouvoir y cultiver le maïs. Les premiers travaux ont donc commencé cette année-là.

Monsieur Lefebvre-Béziers, en 1850, a réussi à configurer le Marais tel qu'il est actuellement, c'est-à-dire avec ses canaux de ceinture et sa digue. Mais à partir de 1863, le fils de Napoléon III reprend le domaine. L'écoulement naturel de l'eau vers l'exutoire ne suffisait pas à faire assécher la totalité du marais, un système de pompage est construit. Le marais se métamorphose alors en polder accueillant l'agriculture.

En 1913, la famille Coyola est propriétaire du domaine pendant une cinquantaine d'années. L'agriculture intensive se développe et les moyens évoluent. C'est pourquoi, ils se dotent d'une station de pompage à énergie électrique.

En 1978, la société Bonduelle acquiert le site et oriente la culture du marais vers du maïs doux. Les rejets de l'usine se font sur les terres du Marais Central.

Par la suite, l'activité agricole devient de moins en moins rentable pour des raisons économiques (choc pétrolier, inflation de l'énergie). C'est alors que quelques années plus tard, en 1984, le dernier propriétaire du site cesse les pratiques agricoles et décide de laisser les eaux reconquérir les terres. La nature reprend petit à petit son cours et la zone humide du Marais d'Orx n'existe véritablement qu'à partir de cette date là. Du fait de sa biodiversité importante, elle a été classée en Zone Naturelle d'intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type II.

Entre 1984 et 1988, les casiers Sud et Nord sont rapidement reconquis par l'eau. Les rejets de l'usine se font alors directement dans l'eau.

Entre 1988 et 1989 a lieu la fermeture de la chasse sur le site. La capacité d'accueil pour les oiseaux migrateurs est alors véritablement révélée. En 1990, le Marais bénéficie du statut de Zone de protection spéciale et en 1991 de Zone d'Importance Communautaire pour les oiseaux (ZICO).

L'usine Bonduelle met ses rejets aux normes à partir de 1992 bien qu'ils continuent à être déversés dans la réserve et en 1995, 775 hectares sont classés en Réserve Naturelle.

En 1997, un troupeau de onze vaches de race « Highland-cattle » a été introduit sur le site dans le but d'entretenir les milieux herbacés. 25 vaches sont toujours présentes actuellement.

4- Patrimoine naturel

Le marais d'Orx offre une importante biodiversité de ses milieux de par sa faune et sa flore.

4.1 La flore

D'après les inventaires réalisés, 339 espèces végétales ont été recensées à ce jour. Parmi elles, il est intéressant d'aborder celles qui présentent une valeur patrimoniale et celles qui sont protégées car elles ont un grand intérêt sur le site.

Certaines plantes sont classées selon leur valeur patrimoniale. L'Hydrocharis des grenouilles (*Hydrocharis morsus-ranae*) présente une forte valeur patrimoniale. Sa rareté sur le site représente un enjeu important pour les gestionnaires. Le Souchet brun (*Cyperus fuscus*), le Rubanier simple (*Sparganium emersum*) et le Scirpe ovoïde (*Eleocharis ovata*) présentent des points communs, tels que leur localisation au niveau des vasières et leur appartenance à la liste rouge de l'IUCN. Ces trois plantes ont néanmoins une valeur patrimoniale moins forte que l'Hydrocharis.

D'autres plantes présentent un intérêt de par leur statut de protection. Par exemple, L'Agrostide de Castille (*Agrostis capillaris* subsp. *Castellana*) et le Lotier grêle (*Lotus angustissimus*) sont protégés au niveau de l'Aquitaine et au niveau des Landes, le Polystic des marais (*Thelypteris palustris*) est protégé.

Cependant, d'autres espèces ne sont pas bénéfiques au bon fonctionnement du site. Ces espèces, dites envahissantes, colonisent le milieu et tendent à défavoriser la diversification de la flore. C'est le cas notamment de la Jussie rampante (*Ludwigia peploides*) et de la Jussie à grande feuille (*Ludwigia grandiflora*). Des moyens de lutte sont mis en œuvre afin de limiter l'expansion de ces plantes envahissantes.

4.2 La faune

Grace à la diversité des milieux qu'elle offre, la Réserve Naturelle du Marais d'Orx accueille un nombre important d'espèces animales.

• L'avifaune

La plus grande partie de la faune du Marais d'Orx est constituée d'oiseaux. La Réserve bénéficie d'une situation géographique privilégiée puisqu'elle se situe sur l'axe principal Ouest européen de migration des oiseaux. Elle constitue alors leur première pause après le passage des Pyrénées, ou dans l'autre sens, la dernière escale avant de franchir les montagnes.

Ainsi, de nombreuses espèces y sont présentes, puisque depuis la création de la Réserve naturelle, 247 espèces ont été inventoriées dont 137 classées Non Nicheuses (Hivernantes, Migratrices, Rares, Estivantes, Occasionnelles...) et 110 classées Nicheuses.

Il est important de noter la présence de la spatule blanche, devenue espèce emblématique du Marais d'Orx. Le site est connu comme étant le lieu de la première reproduction de cette espèce en Aquitaine.

En hivernage, la réserve naturelle est importante pour les anatidés qui la fréquentent car il s'agit à la fois d'une zone de dortoir et d'une zone de reproduction, selon les espèces d'anatidés considérées. En effet, le canard souchet (*Anas clypeata*), la Sarcelle d'hiver (*Anas crecca*) et le Canard Chipecu (*Anas strepera*) s'y reproduisent. L'Oie cendrée (*Anser anser*) quant à elle l'utilise tant en hivernage qu'en halte migratoire.

Les limicoles représentent également une grande partie des oiseaux migrateurs présents à cette même période. Certaines espèces connaissent une augmentation ces dernières années comme l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*) et l'Avocette élégante (*Recurvirostra avosetta*) les fluctuations d'effectifs pouvant également être expliquées par les aléas météorologiques.

En plus des oiseaux cités précédemment, d'autres y sont présents en quantité plus ou moins importante et à différentes périodes de l'année, tels que les rapaces, les échassiers et les passereaux.

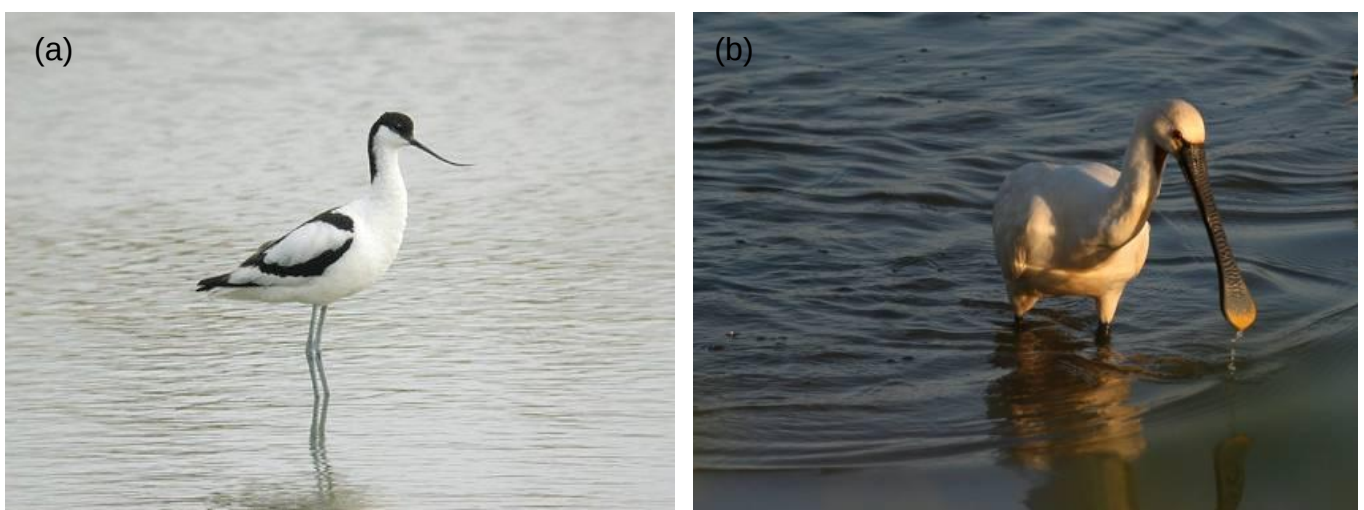


Figure 3: Exemples d'oiseaux présents sur le site. (a) Avocette élégante (b) Spatule blanche
(Sources:(a) www.vigienature.mnhn.fr (b) www.reserve-naturelle-marais-orx.fr)

• Les mammifères

Parmi les mammifères inventoriés, on peut noter la présence du Vison d'Europe, qui constitue l'une des espèces de mammifères carnivores des plus menacées au niveau mondial, d'après l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). Le campagnol amphibie référencé « vulnérable » au niveau mondial par l'IUCN a, comme le Vison d'Europe, son importance en termes de conservation sur le site. Il est important de noter la présence avérée de la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*) depuis 2016, grâce à un suivi par pièges photos.

• Les reptiles et les amphibiens

Les reptiles sont représentés par 7 espèces sur le site et les amphibiens par 7 espèces également. Ils sont protégés soit au niveau de la France soit au niveau Européen. En ce qui concerne les reptiles, nous pouvons noter l'importante quantité de Cistudes d'Europe (*Emys orbicularis*) sur le site. Ailleurs, cette espèce est en voie de disparition en raison de la dégradation de son habitat. Au marais d'Orx, la préservation de la zone humide permet à l'espèce d'y vivre. En effet, le milieu est particulièrement propice à la conservation de la Cistude d'Europe.



Figure 4: Photographie de deux Cistudes d'Europe. (Source: <http://www.reserve-naturelle-marais-orx.fr>)

• Les insectes

Parmi les 38 odonates inventoriés sur la Réserve, deux d'entre elles présentent un intérêt patrimonial: la Cordulie à corps fin (*Oxygastra curtisii*) et l'Aeshne isocèle (*Aeshna isoceles*). L'Agrion de mercure (*Coenagrion mercuriale*) est une espèce de libellule importante également de par les différents statuts de protection qu'elle possède.

S'agissant des 41 espèces de papillons, le Petit mars changeant et le Marbré de Vert méritent une attention particulière.

Cinq espèces d'orthoptères parmi les 33 recensées ont un intérêt patrimonial : le Criquet des roseaux, le Criquet ensanglanté, la Decticelle d'Aquitaine, le Conocéphale des roseaux et le Grillon des marais.

• Les poissons

Les poissons sont présents dans le Casier Barrage, le Casier Central ainsi que dans les canaux de ceinture. Il existe 14 espèces dont la carpe commune qui est en surabondance et l'anguille qui présente un enjeu fort.

5- Statut et gestion du site

Le Syndicat Mixte de gestion des Milieux Naturels est, depuis 2004, le gestionnaire de la Réserve naturelle du Marais d'Orx. Il est venu succéder le Syndicat Mixte pour l'Aménagement et la Gestion du Marais d'Orx, créé en 1994.

La réserve est intégrée au réseau Natura 2000 au titre de la Directive « Habitats et Oiseaux » et bénéficie depuis 2011 du label de reconnaissance internationale RAMSAR. L'objectif étant de favoriser la conservation de la zone humide, ainsi que celle de sa flore et de sa faune.

Toutes les actions des Réserves Naturelles de France fonctionnent selon les 3 axes suivants : protéger, gérer et sensibiliser.

Afin de répondre aux objectifs fixés par le Syndicat Mixte de Gestion des Milieux Naturels, des documents ont été créés dans le but de planifier la gestion du site. Il s'agit du Plan de Gestion de la Réserve Nationale 2015-2019 et des Documents d'Objectifs des deux sites Natura 2000 associés au Marais d'Orx, c'est-à-dire l'un au titre de la Directive « Oiseaux » et l'autre au titre de la Directive « Habitats ».

II) Matériels et Méthodes

1- Objectifs et hypothèses

L'objectif de l'étude est de déterminer la ressource alimentaire des vasières disponible pour les limicoles sachant qu'avoir connaissance de ces milieux correspond à un enjeu du plan de gestion de la Réserve. Le site se situe dans un contexte très particulier de vasières en zone d'eau douce. Beaucoup de données sont disponibles en contexte estuarien (baie du mont saint michel, etc...) mais aucune donnée n'existe sur un système tel que le Marais d'Orx, car il n'existe que très peu de sites similaires à celui-là. D'où l'intérêt d'approfondir les connaissances concernant les vasières.

Afin de traiter ce sujet, un inventaire de la macrofaune d'eau douce a été réalisé au sein de quatre vasières du marais barrage (Cf figure 5: Cartographie des stations d'échantillonnage sur le Marais barrage). Les vasières ont par la suite été comparées entre elles, en termes de nourriture disponible. La comparaison a tenu compte de divers paramètres ayant ou non expliqué les différences de composition de ces milieux :

- **La profondeur de l'eau.** En effet, la profondeur d'eau d'une vasière conditionne l'accueil des limicoles. Un niveau d'eau trop élevé des vasières se traduit par une difficulté d'accès à la nourriture pour les oiseaux. Les limicoles tels que le Bécasseau variable et le Grand gravelot, ne peuvent pas s'y nourrir en raison de leurs courtes pattes. Les vasières découvertes, ou avec une faible lame d'eau, vont donc être choisies par ces oiseaux. La gestion des niveaux d'eau par la Réserve Naturelle va conditionner la profondeur d'eau des vasières et par conséquent, l'accès à la nourriture. La profondeur d'eau de chaque vasière a donc été relevée dans cette étude afin de se rendre compte si la macrofaune benthique diffère en fonction de la lame d'eau présente au dessus de la vase.

- **L'exposition des vasières au vent** (Emerson,1989). Par hypothèse, les vasières exposées à un vent d'Est contiennent davantage de nourriture pour les limicoles. En effet, ces vasières sont protégées du vent par des îles et îlots végétalisés. A l'inverse, celles exposées à un vent d'Ouest sont sujettes à des perturbations du milieu, car rien ne fait obstacle au vent. La macrofaune aurait plus de facilité à vivre dans des vasières exposées au vent d'Est, protégées du vent, car le milieu est plus stable pour les individus.
- **La profondeur de vase**. Par hypothèse, la quantité de nourriture augmente avec l'épaisseur de vase présente dans la vasière. En effet, la macrofaune d'eau douce a pour habitude de vivre dans des substrats de type vaseux. Donc par hypothèse, plus le milieu sera pourvu en vase, et plus les individus seront présents.

Ces paramètres vont alors être pris en compte dans la comparaison des vasières du Marais, et vont avoir un rôle dans la détermination du milieu le plus favorable à l'attractivité des limicoles.

2- La macrofaune benthique

La macrofaune benthique désigne l'ensemble des animaux vivant en eau douce, dont la taille est supérieure à 1 millimètre. Elle comprend les larves d'insectes, les crustacés, les vers et les mollusques. Dans notre cas, la macrofaune benthique se retrouve notamment dans les vasières du marais et constitue la principale alimentation des limicoles (Blaising, 2007). En effet, ce type d'habitat offre des ressources alimentaires essentielles pour les limicoles qui fréquentent le site en halte migratoire.

De nombreux facteurs influent sur la composition des communautés benthiques, tels que le type de substrat, la température, la profondeur (Ponsero et Sturbois,2012).

3- Protocole d'échantillonnage

Ce protocole est inspiré de celui de surveillance des habitats benthiques intertidaux, développé par Réserves Naturelles de France et l'Agence des aires marines protégées (Caillot et Hacquebart, 2014). Il est mis en place dans le but de répondre à l'enjeu « caractérisation, cartographie et suivi des milieux naturels et des habitats » énoncé dans le plan de gestion de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx (RNN du Marais d'Orx, 2014). Les objectifs de ce protocole sont les suivants :

- Etablir un inventaire de la macrofaune benthique présente dans les vasières du Marais barrage.
- Avoir connaissance du potentiel alimentaire disponible pour les limicoles.

Le protocole d'échantillonnage repose sur deux grandes étapes. La première correspond au prélèvement de la macrofaune benthique par l'utilisation de la méthode des transects. La seconde se fait en laboratoire et correspond au tri ainsi qu'à la détermination des taxons prélevés.

3.1 Méthode des transects

Quatre stations correspondant à quatre vasières du site sont échantillonnées. Chacune des vasières se situe à une extrémité du Marais Barrage afin d'avoir une bonne représentation de la vase contenue dans le marais. Les stations 1 et 2 sont protégées du vent arrivant de l'Est. A l'inverse, les stations 3 et 4 sont exposées à un vent d'Est.

Les stations ont été géo-référencées à l'aide d'un GPS afin de pouvoir les retrouver plus facilement.



Figure 5: Cartographie des stations d'échantillonnage sur le Marais barrage. (Source : www.google.fr/map/)

Sur chaque station, deux transects sont réalisés perpendiculairement à la berge, vers le centre du Marais barrage. Cela fait un total de 6 transects. Pour un transect, 3 prélèvements sont réalisés, à 20 mètres d'intervalle chacun. Les deux transects quant à eux sont espacés de 30 mètres. (Cf figure 6 ci-dessous)

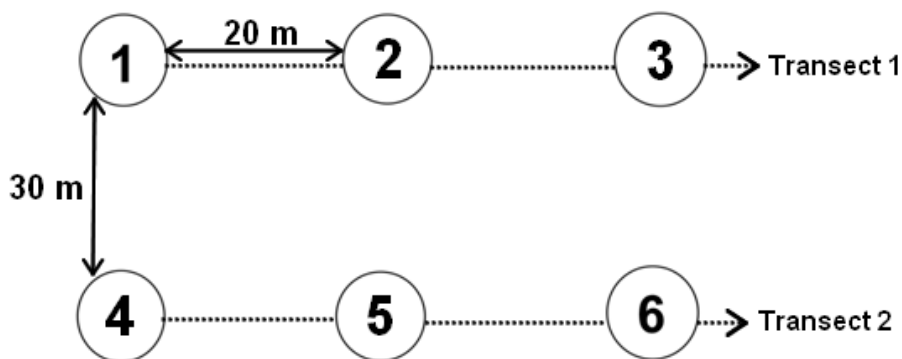


Figure 6: Plan d'échantillonnage

Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un carottier, et ont une surface de 0.02m² chacun (Desroy et al,2014). Le volume d'un prélèvement est alors de 0.0044 m³ soit 4400 cm³.

3.2 Tri et identification

Ces deux étapes sont réalisées en laboratoire. Dans un premier temps, les prélèvements sont tamisés un à un afin de séparer les taxa de la matière non vivante. Le reste de tamis pour chaque échantillon est ensuite mis dans de l'alcool à 70° afin que la macrofaune benthique puisse être conservée.

Le tri et l'identification se font sous loupe binoculaire. L'identification se fait à l'aide du guide de détermination d'Henri Tachet (Tachet, 2000) afin de déterminer le rang taxonomique le plus précis possible. Les individus sont également dénombrés.

3.3 Matériel nécessaire au protocole

Le matériel utilisé est référencé dans le tableau ci-dessous en fonction des étapes du protocole :

Etapes	Matériel
Equipement de terrain	GPS Wadders Marqueur, appareil photo, crayon à papier, fiche de terrain
Transects	Pots de prélèvements de 5L numérotés (x24) Un carottier de dimensions 150 mm de diamètre marqué à 25cm de profondeur Un mètre
Tri & identification	Colonne de 3 tamis de mailles 1,1mm 1,85mm et 6,3mm Pilluliers (x100) Une loupe binoculaire (grossissement x8 à x35) Une boîte de pétri Pincés Etiquettes d'identification Alcool à 70% (90° dilué) Bac de tri

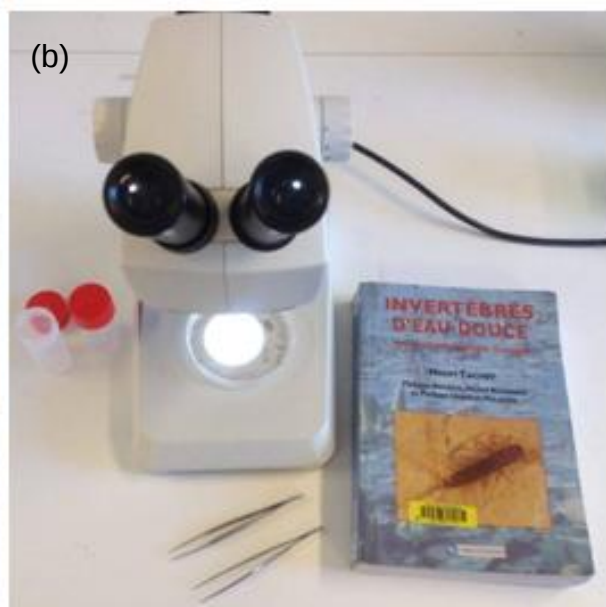
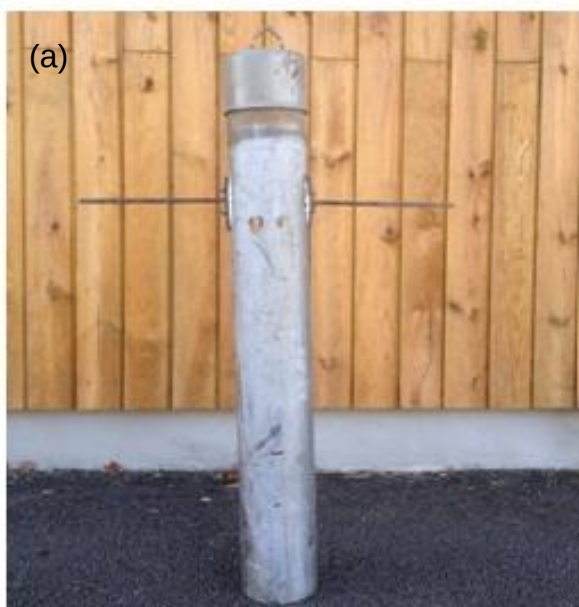


Figure 7: Matériel utilisé lors du protocole (a) Carottier (b) Loupe binoculaire, guide de détermination, pincettes et pilluliers. (Crédit photo : LATEULE.P)

4- Traitement statistique des données

Afin de comparer la composition des vasières entre elles, quatre paramètres ont été calculés puis comparés pour chaque station : la richesse taxonomique, l'abondance, la densité et l'indice de Shannon-Weaver.

De plus, des statistiques descriptives ainsi que des analyses bivariées ont été effectuées.

4.1 Richesse taxonomique

La richesse taxonomique (notée S) permet d'estimer la diversité d'un écosystème. Elle est utilisée pour analyser la structure taxonomique d'un peuplement.

Elle correspond au nombre de taxons présents dans une zone d'échantillonnage. On parle de richesse taxonomique et pas de richesse spécifique car les individus n'ont pas pu être identifiés jusqu'au rang d'espèce.

Elle peut s'exprimer en richesse totale ou en richesse moyenne :

→ La richesse totale correspond au nombre total de taxons présents dans une station d'échantillonnage.

→ La richesse moyenne donne le nombre de taxons moyen présents dans les échantillons d'une station donnée.

4.2 Indice de Shannon-Weaver

L'indice de Shannon-Weaver, noté H', permet de mesurer la biodiversité et de quantifier son hétérogénéité pour chaque milieu étudié. Sa valeur varie entre 0 (faible diversité) et $\ln(S)$ (forte diversité). Il est de 0 lorsqu'un seul taxon est très largement dominant sur les autres au sein de la station ou lorsque la richesse taxonomique est faible. A l'inverse, il va prendre une forte valeur quand les taxons présents sont co-dominants.

Il se calcule grâce à la formule suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i)$$

i = une espèce du milieu d'étude

$p_i = n_i/N$ avec n_i correspondant au nombre d'individus de l'espèce i et N correspondant à l'effectif total (les individus de toutes les espèces). p_i représente donc l'abondance relative d'une espèce dans le milieu échantillonné.

4.3 Abondance relative et abondance moyenne

- L'abondance relative des taxons permet d'obtenir des informations sur la composition et la structure des populations pour chaque station d'échantillonnage.

Nous allons pouvoir comparer les abondances relatives des différents taxa au sein des quatre stations, en appliquant le calcul suivant :

$$\text{Abondance relative} = \frac{\text{Nombre total d'individus d'un taxon}}{\text{Nombre total d'individus de tous les taxons présents}}$$

Elle correspond en fait à la fréquence d'un taxon par rapport à tous les taxons présents, dans une surface donnée et s'exprime en pourcentages.

- L'abondance moyenne d'une station correspond à la moyenne des effectifs des échantillons de la station. Elle est exprimée en individus/station.

4.4 Densité au m²

La densité permet également de renseigner sur la composition des peuplements d'une station donnée. A la différence que les quatre stations vont être ici comparées à une seule et même échelle : le mètre carré.

La densité correspond au nombre total d'individus d'un taxon dans une station par rapport à la surface de la station.

4.5 Analyses statistiques

→ Sur Excel

Le recueil de données se fait à l'aide du logiciel Excel sous forme d'un tableau regroupant les données brutes et permettant de faire ensuite des statistiques descriptives.

→ Sur R

Le logiciel R permet ici d'effectuer des analyses statistiques bivariées.

Tests statistiques

- Test de Wilcoxon Mann et Withney : test non-paramétrique qui permet de comparer une variable quantitative et une variable qualitative ayant deux modalités. Il permet de conclure quant à la relation ou non entre les deux variables.
- Test de Krustal-Wallis : test non-paramétrique, proche du test précédent. Il étudie également la liaison entre une variable quantitative et une variable qualitative, à la différence que la qualitative a plus de deux modalités ici.

Régression linéaire

Elle se fait sur R mais peut également être réalisée grâce au logiciel Excel. La régression linéaire étudie la relation entre deux variables quantitatives continues et permet de faire des prévisions.

Le coefficient de corrélation de Pearson est associé à la régression linéaire. Plus il est proche de 1, plus la corrélation entre les deux variables est positive, et plus il est proche de -1, plus la corrélation est négative. Si le coefficient se rapproche de 0, alors la probabilité qu'il n'existe aucune liaison entre les deux variables est forte.

III) Résultats

Les prélèvements de la macrofaune benthique ont été réalisés entre fin mars et début avril, car c'est à cette période que les organismes sont actifs (état le plus stable), ce qui facilite la récolte des données.

L'échantillonnage s'est fait sur une période continue de quatre jours :

Mardi 29 Mars	Vendredi 1 Avril	Lundi 4 Avril	Mardi 5 Avril
Station 1	Station 2	Station 3	Station 4

Au total, 814 individus ont été dénombrés et se répartissent en 6 classes :

Classes	Effectif	Pourcentage	Pourcentages cumulés
Oligochètes	536	65,85%	65,80%
Diptères	265	32,56%	98,40%
Gastéropodes	7	0,86%	99,30%
Odonates	3	0,37%	99,60%
Achètes	2	0,25%	99,90%
Insectes	1	0,12%	100,00%

Tableau 1: Effectifs et pourcentages des différentes classes composant la macrofaune benthique des habitats de vasière sur la Réserve Naturelle du Marais d'Orx en 2016.

Parmi les 814 individus, 536 appartiennent à la classe des oligochètes et 265 à la classe des diptères. Les deux classes réunies représentent 98,4% de l'effectif total. Les autres classes sont présentes en quantité nettement inférieure.

1- Richesse taxonomique

Sur les 14 taxa dénombrés, 12 ont été identifiés jusqu'à la famille et 2 jusqu'au genre (Annexe I). Seulement trois taxons sont communs aux quatre stations : *F.Chironomidae*, *F.Enchrydridae* et *F.Tubificidae*. Certains taxa, au contraire, sont spécifiques d'une station. Par exemple, *F.Glossiphoniidae* est présent seulement dans la station 4 alors que *F.lumbriculidae* uniquement dans la station 1.

La richesse taxonomique totale et la richesse taxonomique moyenne ont été comparées entre les stations.

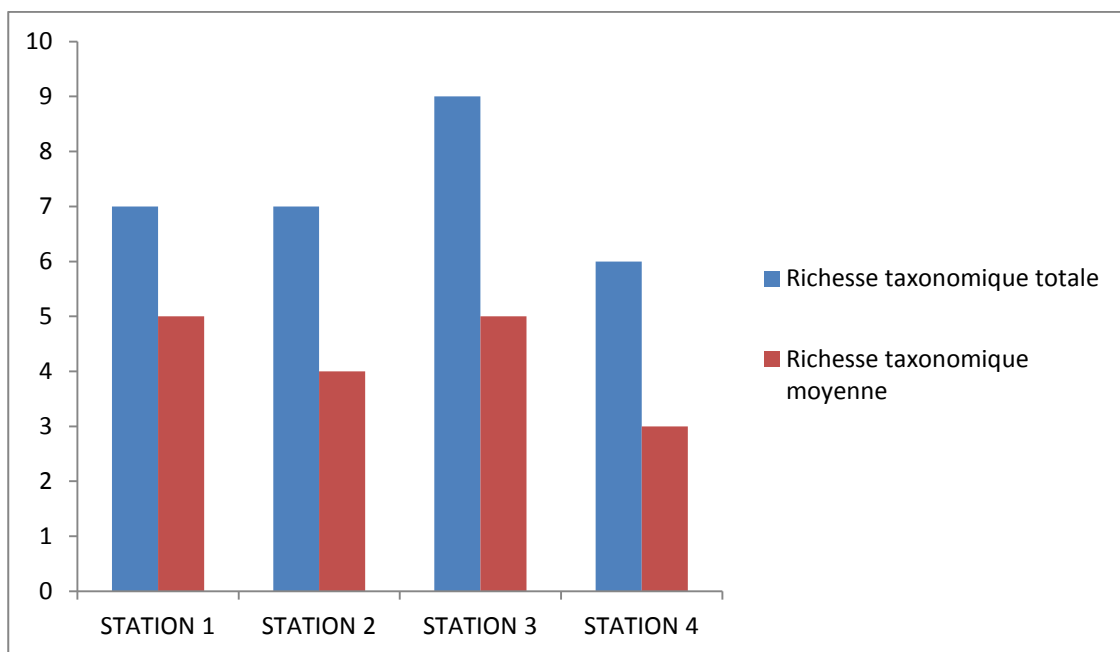


Figure 8: Diagramme en barres de la richesse taxonomique en fonction des stations d'échantillonnage

Pour la richesse taxonomique totale, la station 3 a la richesse taxonomique la plus élevée (9), suivie des stations 1 et 2 qui possèdent la même richesse taxonomique totale (7). La station 4 a la richesse la plus faible (6).

Pour la richesse taxonomique moyenne, les stations 1 et 3 possèdent les richesses les plus élevées (5), alors que la station 4 possède la plus faible (3).

Afin de voir si ces différences de richesse taxonomique observées sont significatives ou non, un test de Kruskal-Wallis a été effectué. Au vu des résultats de ce test (p -valeur = 0.01464 et p -valeur = 4.03×10^{-5} sont inférieures à 0.05), les différences entre les stations ont été prouvées statistiquement tant pour les richesses taxonomiques totales que moyennes (Annexe II).

2- Indice de Shannon

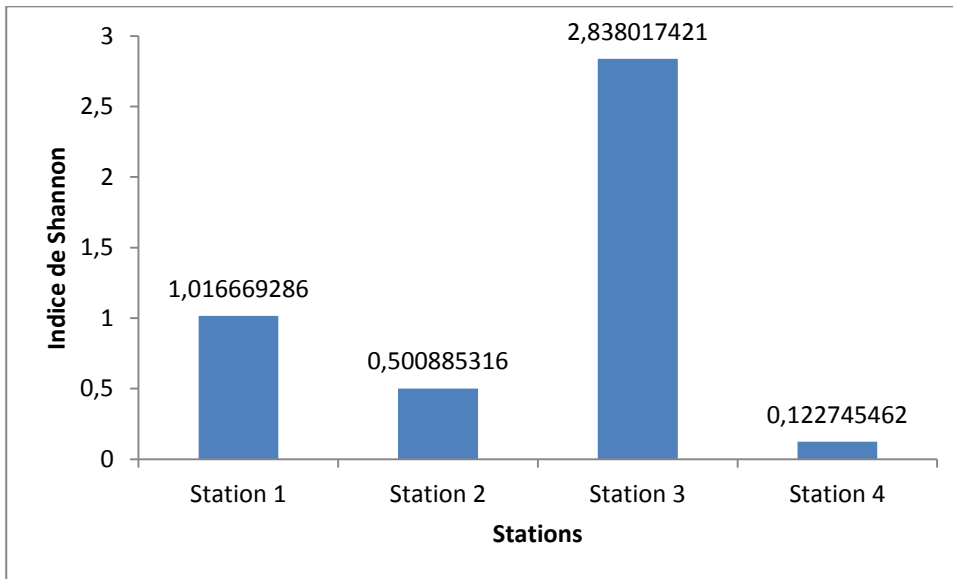


Figure 9: Diagramme en barres de l'indice de Shannon en fonction des stations d'échantillonnages

L'indice de Shannon montre des fluctuations d'une station à l'autre. Ces dernières ne possèdent donc pas la même composition qualitative et quantitative de leurs peuplements benthiques.

Comme pour la comparaison de la richesse taxonomique, les stations 3 et 4 se démarquent. En effet, la station 3 présente l'indice de Shannon le plus fort (2,83) ce qui signifie que la station a la plus grande diversité. A l'inverse, la station 4 a l'indice de Shannon le plus faible (0.12). Il est proche de 0 ce qui traduit une faible diversité pouvant s'expliquer par la faible richesse taxonomique du milieu (vu précédemment). Les stations 1 et 2 ont des indices de Shannon compris entre ceux des autres stations (respectivement 1.01 et 0.5).

Afin de voir si les différences de diversité entre les stations sont significatives, le test de Kruskal-Wallis est utilisé ($p\text{-valeur}=0.001<0.05$). Les résultats du test montrent que les différences observées sont prouvées statistiquement (Annexe II).

3- Abondance moyenne et abondance relative

3.1 Abondance moyenne

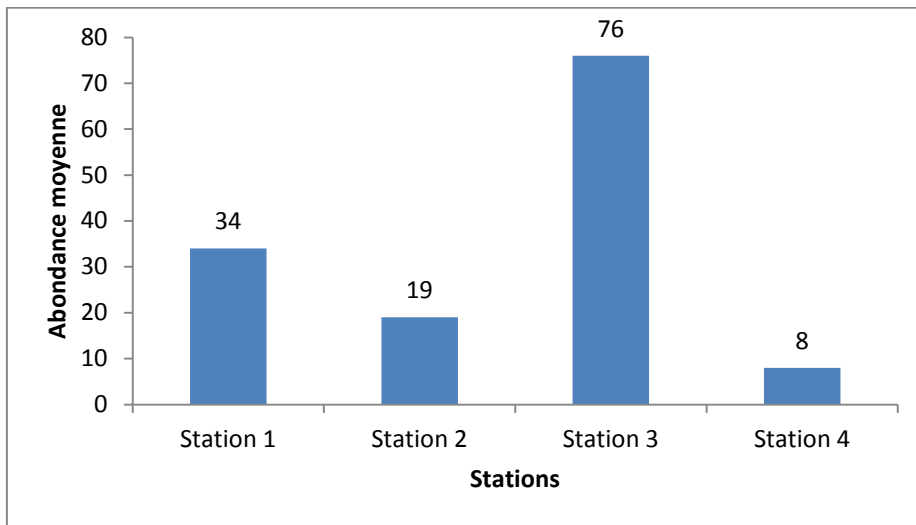


Figure 10: Diagramme en barres de l'abondance moyenne en fonction des stations

En ce qui concerne l'abondance moyenne des individus par station, la station 3 a la plus forte abondance (76 individus par échantillon en moyenne). A l'inverse, la station 4 se démarque par sa très faible abondance moyenne qui est de 8 individus seulement par échantillon. Une différence considérable est donc relevée entre ces deux stations. Les stations 1 et 2 se situent entre les deux, avec des abondances moyennes respectives de 34 individus/échantillon et 19 individus/échantillon.

3.2 Abondance relative

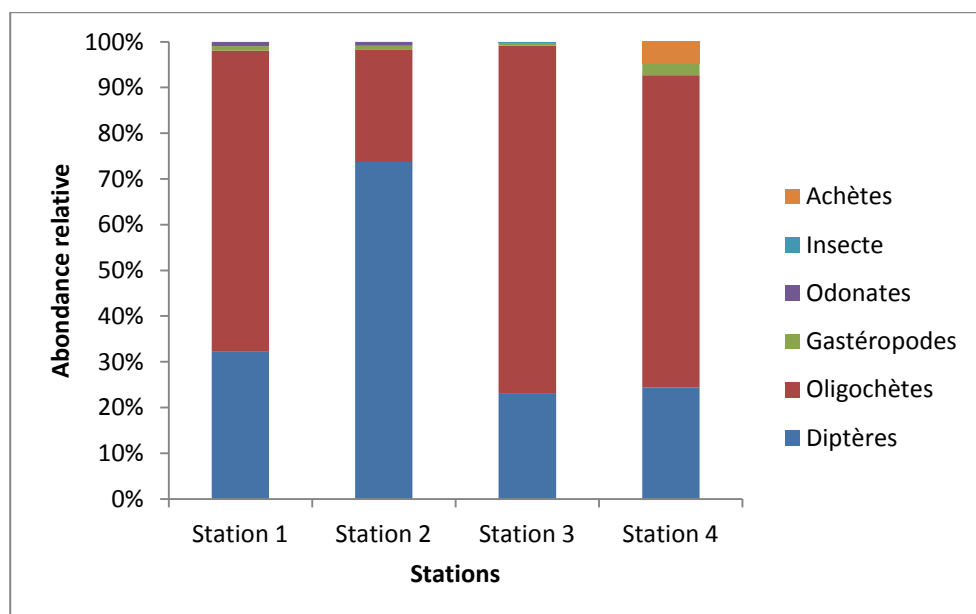


Figure 11: Diagramme en barres empilées de l'abondance relative des classes en fonction des stations

L'analyse de l'abondance relative par classe montre une majorité d'oligochètes, suivie par les diptères qui sont abondants également. En effet, les oligochètes correspondent à la classe la plus abondante au niveau des stations 1, 3 et 4 avec respectivement 65.85%, 75.99% et 68.29%. En revanche, au niveau de la station 2, il s'agit de la classe des diptères, qui est largement dominante sur les oligochètes (73.68%). Les autres classes (gastéropodes, insectes, achètes) ne sont que très peu abondantes en raison de leurs faibles effectifs dans chaque station.

Un test de Krustal-Wallis a permis de prouver que ces différences d'abondances relatives des classes sont significatives ($p\text{-valeur}=0.018<0.05$). (Annexe II)

En ce qui concerne les taxons, trois familles sont à retenir du fait de leur forte abondance. La famille *Tubificidae*, appartenant à la classe des oligochètes, est la plus abondante au niveau des stations 1,3 et 4 avec respectivement 48.78%, 70.93% et 53.66%. (Annexe III) Elle est présente dans la station 2 mais ne représente pas le taxon le plus abondant. En effet, il s'agit de la famille *Chironomidae*, appartenant aux diptères, qui a l'inverse est nettement moins abondante dans les stations 1, 3 et 4. La troisième famille la plus représentée correspond à une autre famille de vers : *F.Enchydridae*.

Les autres taxons sont beaucoup moins abondants du fait de leur rareté. De plus, ils ne sont jamais présents dans les quatre stations.

4- Densité au m²

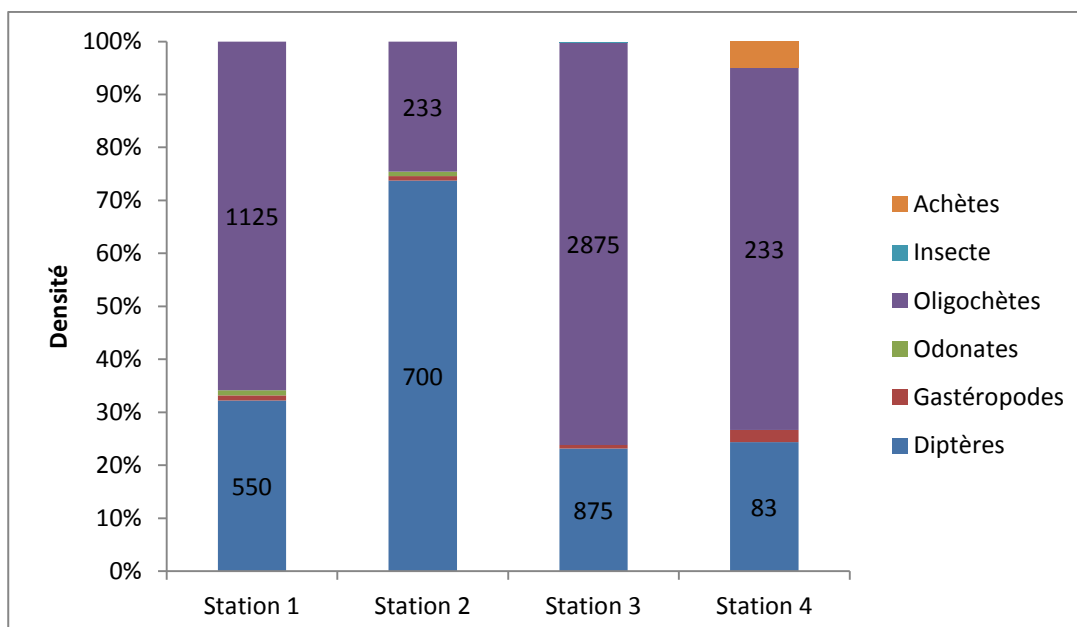


Figure 12: Diagramme en barres empilées de la densité au m² en fonction des stations

En ce qui concerne la densité de chaque classe au mètre carré, les mêmes résultats que pour l'abondance relative sont observés. En d'autres termes, les oligochètes et les diptères ont des densités nettement plus importantes que les autres classes. Les

densités d'oligochètes dominant au niveau des stations 1, 3 et 4 avec respectivement 1125, 2875 et 233 individus au m². Les diptères ont des densités élevées dans la station 2 avec 700 individus au m².

Après avoir réalisé un test de Krustal-Wallis, il convient de conclure que les différences de densités entre les stations sont significatives. (p-valeur=0.0063 <0.05)(Annexe II)

Au niveau des taxons, ils sont présents en densités différentes en fonction des vasières où ils se trouvent (Annexe IV).

Par hypothèse, l'exposition des vasières au vent, la profondeur de vase ainsi que la profondeur de l'eau vont alors permettre ou non d'expliquer ces différences de densités entre les zones d'échantillonnage.

4.1 Relation entre densité au m² et exposition au vent

L'hypothèse selon laquelle l'exposition au vent pourrait influencer la densité des taxons dans les vasières a été testée.

Les graphiques ci-dessous permettent de visualiser les densités des taxons en fonction des vasières exposées à l'Ouest et de celles exposées à l'Est (directions du vent majoritaires sur le site):

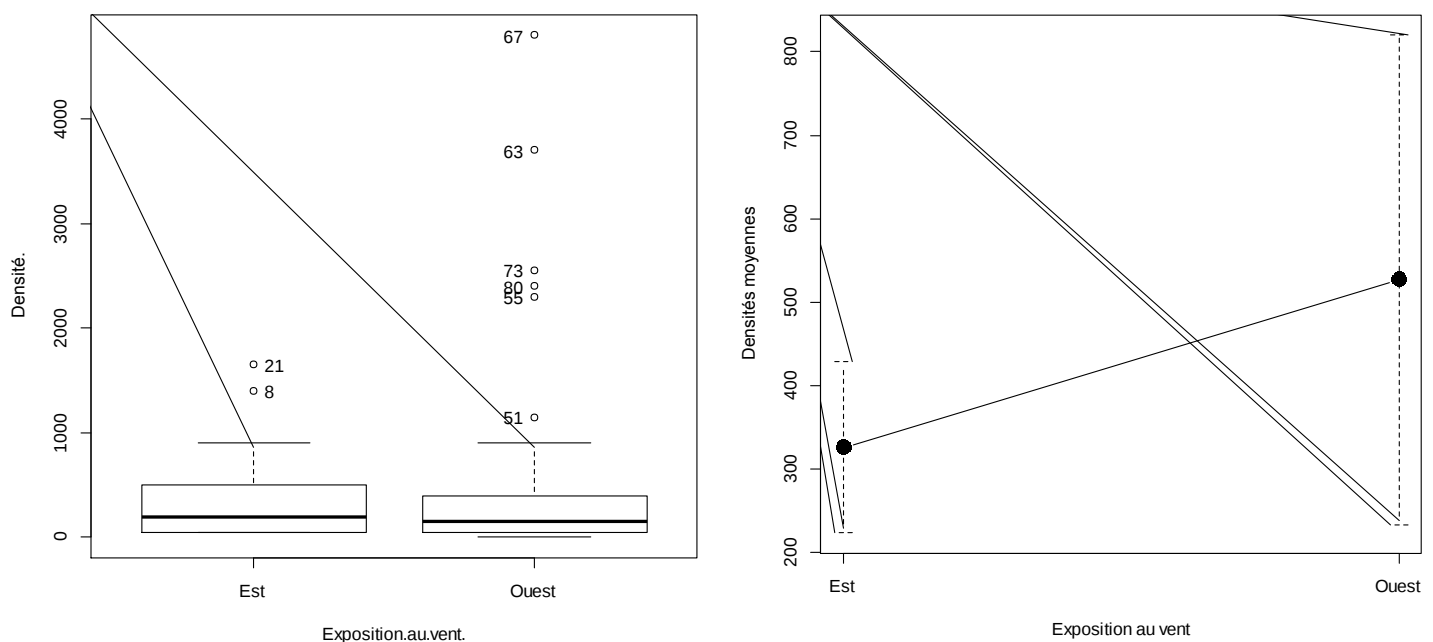


Figure 13: Graphiques représentant la densité des taxons en fonction de l'exposition des vasières au vent

D'après ces deux graphiques, les densités des taxons sont plus importantes sur les vasières exposées à un vent d'Ouest que sur celles exposées à un vent d'Est. La station 3 pourrait éventuellement avoir des densités d'individus plus importantes en raison de son

exposition à un vent d'Ouest, en comparaison aux stations 1 et 2 qui sont exposées à un vent d'Est.

Un test de Wilcoxon-Mann-Withney est utilisé afin de voir si les différences observées graphiquement sont significatives (Annexe V). Le test ne permet pas de prouver qu'il existe une relation entre les deux variables. ($p\text{-valeur}=0.4558>0.05$)

L'exposition des vasières au vent influence très légèrement la densité des peuplements, mais pas suffisamment pour être mise en évidence par un test statistique.

4.2 Relation entre densité au m² et profondeur de vase

Ici il s'agit de voir si la profondeur de vase peut influencer ou non la densité des peuplements dans les vasières.

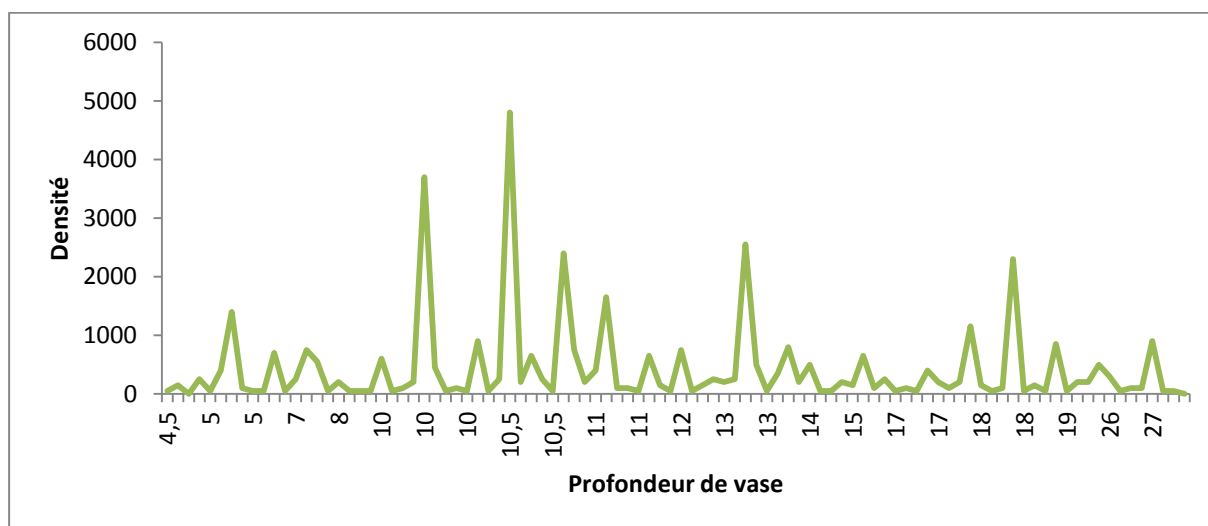


Figure 14: Graphique représentant la densité en fonction de la profondeur de vase

D'après le graphique représentant la densité en fonction de la profondeur de vase, il semblerait que la densité est plus importante lorsque l'épaisseur de la vase est aux alentours de 10,5. Il est cependant difficile de voir graphiquement s'il existe une liaison ou non entre les deux variables.

Afin de voir si elles sont liées, une régression linéaire simple a été réalisée. Il existe en effet une très faible corrélation entre la profondeur de vase et la densité, mais la régression linéaire démontre que cette corrélation ne peut être prouvée statistiquement (Annexe VI). (Modèle de la régression non validé par l'analyse de ces résidus)

4.3 Relation entre densité au m² et profondeur d'eau

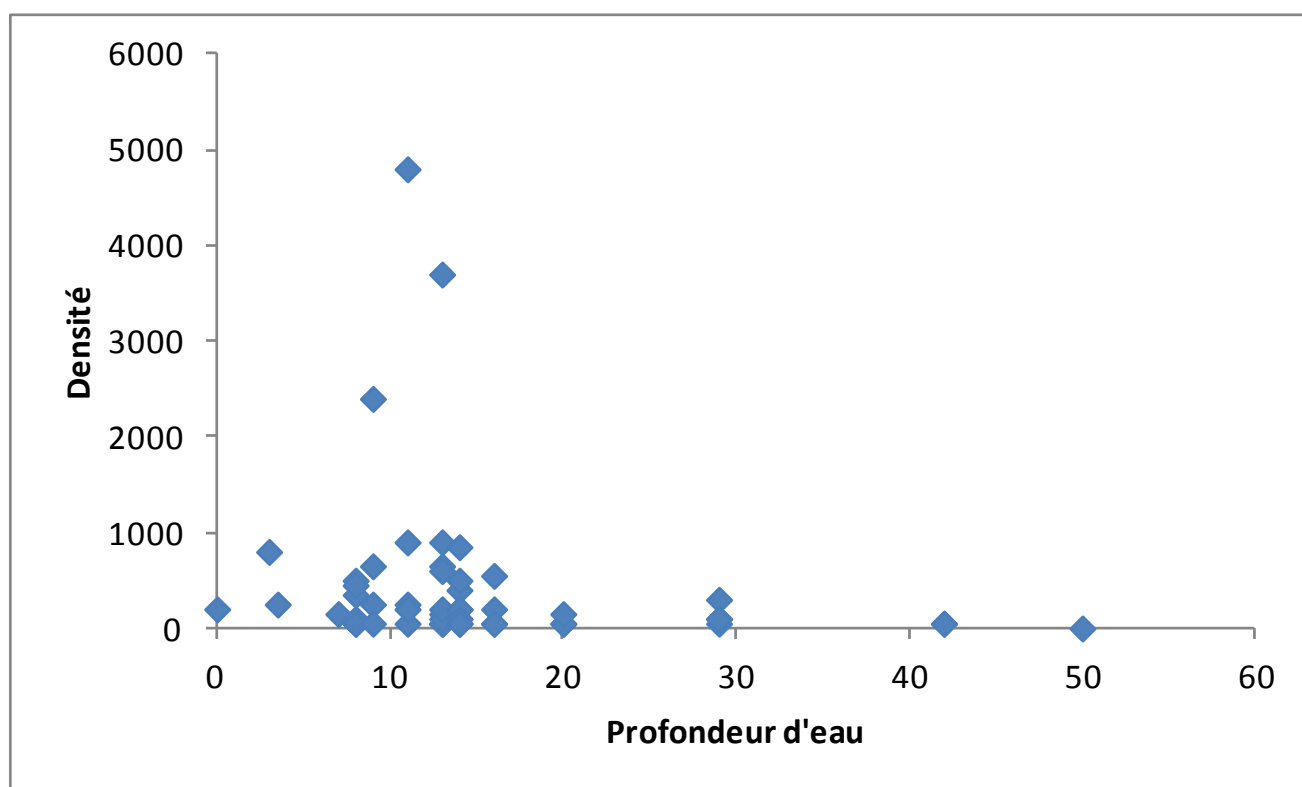


Figure 15 : Nuage de points représentant la densité au m² en fonction de la profondeur d'eau

D'après le nuage de points représentant la densité en fonction de la profondeur de l'eau, il semblerait que la densité est plus importante lorsque la profondeur d'eau est comprise entre 10 et 17 cm. Néanmoins, le graphique ne présente pas de forme particulière indiquant qu'il semble exister un lien linéaire entre les deux.

Une régression linéaire simple a alors été réalisée afin de voir s'il existe un lien. Il existe en effet une très faible corrélation entre la profondeur d'eau et la densité, mais la régression linéaire démontre que cette corrélation n'est pas assez forte pour être prouvée statistiquement (L'analyse des résidus ne permet pas de valider le modèle de la régression) (Annexe VII).

IV) Discussion

La comparaison des quatre vasières entre elles, selon plusieurs paramètres, a permis de mettre en évidence d'importantes différences (Annexe VIII).

- La station 3 se démarque des autres, de par sa richesse taxonomique et son abondance moyenne qui sont nettement plus élevées que pour les autres vasières. Elle possède le plus grand nombre d'individus avec les plus fortes quantités d'oligochètes, de diptères et de gastéropodes. Elle a également la plus grande diversité (indice de Shannon le plus élevé). Cette vasière ressort donc comme étant la plus intéressante en terme d'accueil des limicoles en halte migratoire. En mai, un mois après la réalisation des prélèvements, cette vasière était exondée et les limicoles étaient présents en importante quantité. Cette observation vient confirmer la richesse en nourriture trouvée dans la vasière.

Une partie de l'explication peut provenir du fait que cette vasière se trouve sur une partie du casier Barrage plus basse, les niveaux n'étant pas toujours assez bas pour permettre une exondation. Cette zone n'est donc pas accessible en tout temps pour les limicoles ayant des pattes assez courtes (Bécasseau variable, Grand gravelot, etc...). Elle subit donc une pression de prédation moindre en comparaison aux vasières 1 et 2. Cette diminution de la pression de prédation peut éventuellement expliquer, en partie la plus grande quantité d'individus. Par hypothèse, la période « hors d'eau » d'une vasière conditionnerait alors sa quantité de macrofaune benthique.

L'exposition des vasières au vent, bien qu'elle n'ait pas pu être prouvée statistiquement, peut en partie expliquer cette démarcation de la station 3.

Rappelons l'hypothèse de départ : Les vasières protégées du vent d'Est par la végétation contiennent davantage de nourriture pour les limicoles en comparaison aux vasières exposées à un vent d'Ouest. Hors, la vasière la plus dense en macrofaune est celle exposée à un vent d'Ouest. Cette constatation nous permet de formuler une hypothèse à savoir si le vent ne conditionne pas la répartition de la macrofaune benthique par l'apport de la ressource alimentaire. La matière organique ainsi que le zooplancton seraient alors poussés par le vent d'ouest vers la vasière 3, entraînant une plus forte concentration de nourriture pour la macrofaune benthique.

Pour conclure quant à la station 3, l'exposition à un vent d'Ouest ainsi qu'une prédation moins importante grâce au recouvrement plus long de la vasière pourraient expliquer le fait qu'elle soit plus riche en macrofaune benthique.

- Les stations 1 et 2 diffèrent en quantité mais se ressemblent dans leur composition des peuplements. En effet, la station 1 présente une plus forte abondance de ces taxons, et un indice de Shannon plus élevé. En revanche, elles ont toutes deux la même richesse taxonomique totale et présentent un intérêt pour les limicoles, bien que ce dernier apparaisse comme étant inférieur à celui de la station 3.

- La station 4, quant à elle, est très différente des trois autres vasières, elle ne possède que très peu d'individus et une faible diversité. Elle possède les paramètres les

plus bas et représente donc la vasière la moins intéressante pour les limicoles. Cet écart si important avec les autres stations d'échantillonnage peut hypothétiquement s'expliquer par la proximité de la station de pompage qui vient perturber le milieu. En effet, lorsqu'elles sont en marche, les pompes créent un mouvement de succion qui déstructure les vasières proches en emportant les vases légères, ne laissant alors que la vase argileuse dure dans le milieu considéré. Le substrat de la station 4 diffère de celui des autres stations, ce qui pourrait expliquer les faibles quantités et diversités des peuplements benthiques. Ces derniers vivraient, par hypothèse, davantage dans la vase molle que dans la vase dure.

- Au vu des observations réalisées, les limicoles viennent se nourrir en premier sur les stations 3 et 2, car elles sont exondées avant les autres vasières du site. Néanmoins, les vasières n'étant pas exondées en même temps, il est difficile d'affirmer que la majorité des limicoles viennent se nourrir dans la vasière 3, bien qu'elle soit la plus riche en nourriture.

V) Perspectives et amélioration du protocole

Réaliser un suivi de la macrofaune benthique lors des prochaines années pourrait être intéressant pour les gestionnaires du site. En effet, savoir si la quantité et diversité des peuplements benthiques changent ou restent identiques d'une vasière à l'autre et au cours du temps, permettrait sur le long terme d'améliorer la gestion de ces milieux ainsi que l'accueil de l'avifaune migratrice et notamment des limicoles.

Afin d'améliorer le protocole, il faudrait réaliser davantage de prélèvements (10 prélèvements par station si possible). Cela permettrait d'augmenter le nombre de données. Plus le jeu de données est conséquent, et plus les résultats obtenus sont fiables.

La station de pompage ayant probablement un impact sur la faible quantité d'individus présents dans la vasière, il serait intéressant de réaliser une cinquième station, éloignée des pompes, lors d'un futur échantillonnage. Exclure la perturbation causée par les pompes permettrait alors d'avoir le même effort d'échantillonnage que pour les trois autres stations ainsi que le même type de substrat. De plus, la quantité d'individus serait beaucoup plus importante, ce qui changerait sûrement l'interprétation des données. Néanmoins, conserver la station 4 garde quand même un intérêt puisque cela permettrait aux gestionnaires d'avoir une idée de l'impact des pompes sur l'accueil de l'avifaune.

Il serait également intéressant de s'intéresser à la biomasse et plus particulièrement à la masse sèche ainsi que la masse sèche libre. La pression de prédation, à savoir le nombre de proies capturées, est également un volet à explorer. Ces informations sont nécessaires à toutes les études en lien avec la consommation de l'avifaune et permettrait de comparer le site de la Réserve Naturelle du Marais d'Orx avec d'autres systèmes estuariens. Il sera alors plus facile de resituer le rôle de halte que joue la réserve naturelle en terme de conservation des limicoles.

Conclusion

Cette étude correspond au premier inventaire de la macrofaune benthique réalisé sur le Marais d'Orx. Elle a permis d'avoir une première connaissance des espèces présentes ainsi que du stock de nourriture disponible pour les limicoles. Elle s'insère donc dans un objectif d'amélioration des connaissances des milieux de vasières et de leur relation avec l'avifaune migratrice.

Les résultats obtenus mettent en évidence une vasière, qui est plus bénéfique pour les oiseaux que les autres en termes d'abondance et de quantité de macrofaune benthique. Cette zone de vasière est exposée à un vent provenant de l'Ouest, se situe à l'opposé du secteur des pompes et est juste en face du premier observatoire. Les gestionnaires du site vont donc pouvoir adapter leur gestion afin de préserver au mieux cette zone du Marais Barrage dans le but d'offrir aux limicoles un meilleur accueil.

Pour conclure, l'objectif principal de cette étude a bien été rempli puisque les gestionnaires ont désormais connaissance de la nourriture disponible pour les limicoles en halte migratoire. Toutefois, il serait intéressant d'effectuer un suivi temporel de la macrofaune benthique et d'étoffer le protocole afin d'améliorer les connaissances de ces milieux ainsi que leur utilisation par les limicoles sur la Réserve Naturelle du Marais d'Orx.

Bibliographie

- BAKER A.J., GONZALEZ P.M., PIERSMA T., NILES L.J., DE LIMA SERRANO DO NASCIMENTO I., ATKINSON P.W., CLARK N.A., MINTON D.T., PECK M.K. et GEERT A., 2004. Rapid population decline in red knots: fitness consequences of decreased refueling rates and late arrival in Delaware Bay. *The Royal Society*, **271** (1541), 875-882.
- BLAISING G. Déroutants migrants : les limicoles. Lorraine et histoires d'oiseaux.[www.oiseaux.net]. 2007 [réf. du 20/08/2007]. [1p.].
<http://www.oiseaux.net/dossiers/gilbert.blaising/les.limicoles.html>.
- CAILLOT E. et HACQUEBART P., 2012. *Phase test (2007 – 2010) du protocole de surveillance des « Habitats benthiques intertidaux »*. Bilan et perspectives. RNF-AAMP, France.103 p.
- DESROY N., GARCIA A., LE MAO P. et MIOSSEC L., 2014. *Protocole de suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidaux et intertidaux dans le cadre de la DCE*. AQUAREF, Façades Manche et Atlantique, France. 13p.
- EMERSON C.W., 1989. Wind stress limitation of benthic secondary production in shallow, soft-sediment communities. *Marine ecology progress series*, **53**, 65-77.
- KIRBY J.S., STATTERSFIELD A.J., BUTCHART S.H.M., EVANS M.I., GRIMMETT R.F.A., JONES V.R., O'SULLIVAN J., TUCKER G. et NEWTON I., 2008. Key conservation issues for migratory land- and waterbird species on the world's major flyways. *BirdLife International*, **18**, 49–73.
- LE MAO P. et PONSERO A., 2011. Estimation de la consommation de la macro-faune invertébrée benthique par les oiseaux d'eau en baie de Saint-Brieuc. *Revue d'écologie la Terre et la Vie*, **66** (4), 383-397.
- MEHLMAN D.W., MABEY S.E., EWERT D.N., DUNCAN C., ABEL B., CIMPRICH D., SUTTER R.D. et WOODREY M., 2005. Conserving stopover sites for forest-dwelling migratory landbirds. *The American Ornithologists'Union*, **122**(4), 1281-1290.
- PONSERO A. et STURBOIS A., 2012. *Les invertébrés, proies des limicoles. Manuel d'étude et de gestion des oiseaux et de leurs habitats en zones côtières*. Aestuaria, Baie de Somme. 775p.
- MORRISON R.I.G., 2006. Body transformations, condition, and survival in Red Knots *Calidris canutus* travelling to breed at Alert, *Ellesmere Island*, Canada. **94**(3), 607–618.

- RESERVE NATURELLE NATIONALE DU MARAIS D'ORX, 2014. *Plan de gestion 2015-2019*. Syndicat Mixte de gestion des milieux naturels landais, Orx, France. 236p.
- RIEM L. et VALERDI J. 2016. *Etude de la macrofaune benthique du lac d'Hossegor*. Institut des Milieux Aquatiques, Bayonne, France, 41p.
- SHIMAZAKI H., TAMURA M., et HIGUCHI H., 2004. Migration routes and important stopover sites of endangered oriental white storks (*Ciconia boyciana*) as revealed by satellite tracking. *National Institute of Polar Research*, **58**, 162–178.
- TACHET H., 2000. *Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie*. CNRS, France, 588p.

Annexes

Annexe I : Tableau des taxons présents au sein de la Réserve et présence en fonction des stations d'échantillonnage

Classe	Famille	Genre	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Achètes	F.Glossiphoniidae					X
Diptère	F. Chironomidae		X	X	X	X
	F. Chaoboridae		X	X	X	
	F. Ceratopogonidae			X	X	X
	F.Ephydriidae				X	
Gastéropode s	F. Physidae	G.Physa		X	X	X
		G.Physella	X			
Odonates	F. Aeshnidae		X	X		
Oligochètes	F. Enchytraeidae		X	X	X	X
	F. Tubificidae		X	X	X	X
	F.Lumbriculidae		X			
	F.Lumbricidae & F.Spargophilidae				X	
	Non déterminés				X	
Insecte	Non déterminé				X	

Annexe II : Résultats d'après le test non paramètre de Krustal-Wallis

Résultats pour la richesse taxonomique :

Test non paramétrique de Krustal-Wallis			
Variables	p-valeur	Seuil α	Conclusion
Richesse taxonomique totale Stations	0.01464	0.05	p-valeur < 0.05 Les différences observées sont significatives.
Richesse taxonomique moyenne Stations	4.038e-05	0.05	p-valeur < 0.05 Les différences observées sont significatives.

Résultats pour l'indice de Shannon :

Test non paramétrique de Krustal-Wallis			
Variables	p-valeur	Seuil α	Conclusion
Indice de Shannon Stations	0.001755	0.05	p-valeur < 0.05 Les différences observées sont significatives.

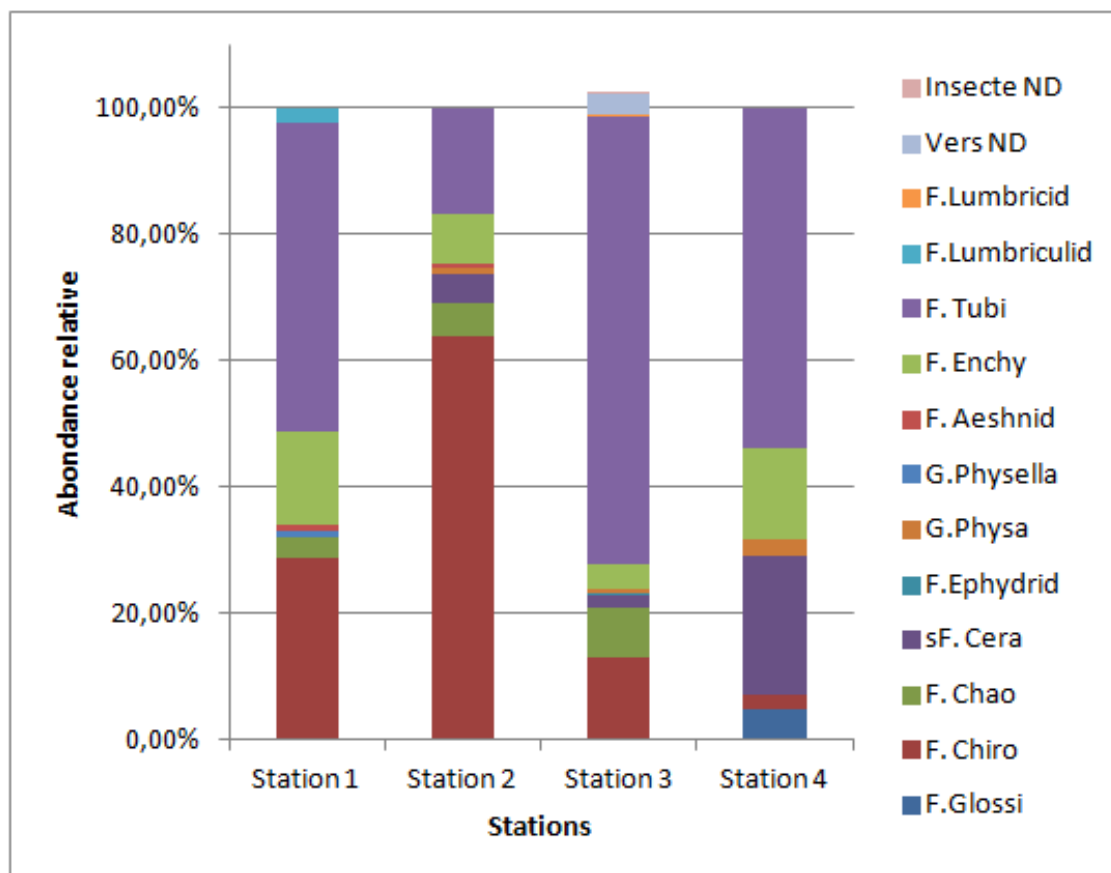
Résultats pour l'abondance relative :

Test non paramétrique de Krustal-Wallis			
Variables	p-valeur	Seuil α	Conclusion
Abondance relative des classes Stations	0.01892	0.05	p-valeur < 0.05 Les différences observées sont significatives.

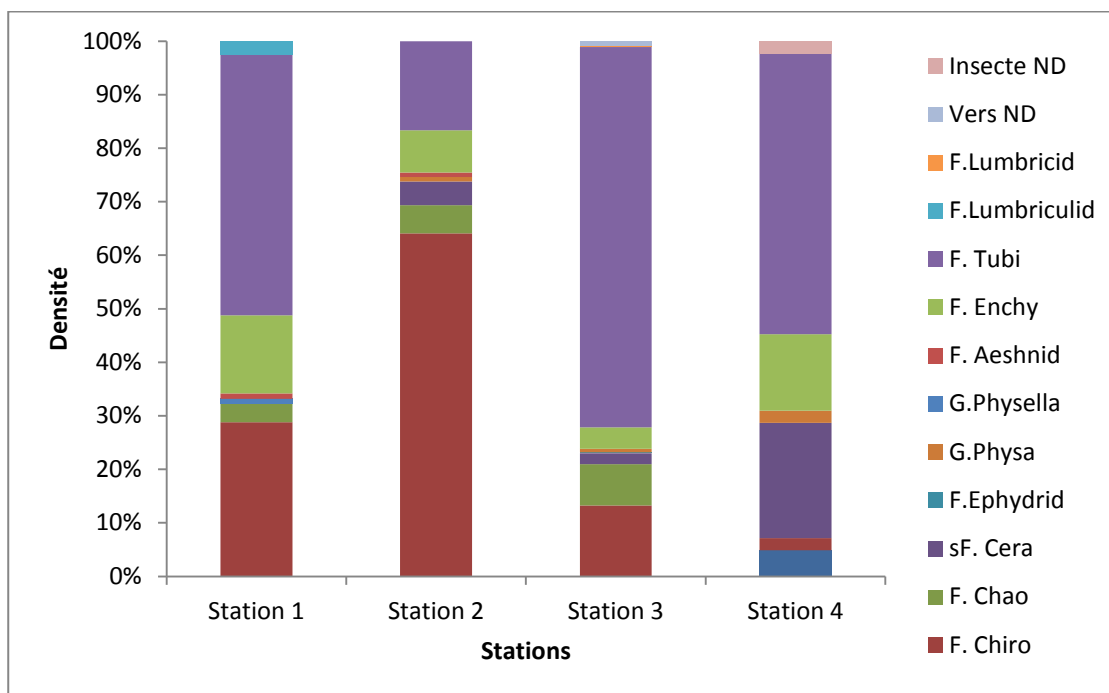
Résultats pour la densité au m² :

Test non paramétrique de Krustal-Wallis			
Variables	p-valeur	Seuil α	Conclusion
Densité au m ² Stations	0.006354	0.05	p-valeur < 0.05 Les différences observées sont significatives.

Annexe III : Abondance relative des différents taxons en fonction des stations d'échantillonnage



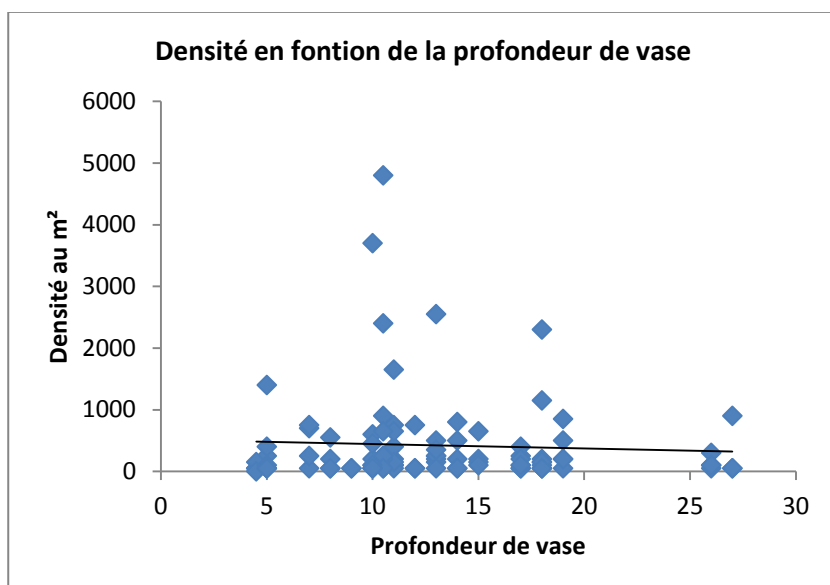
Annexe IV : Densité au m² des taxons en fonction des stations d'échantillonnage



Annexe V : Relation entre la densité au m² et l'exposition des vasières au vent

Test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney			
Variables	p-valeur	Seuil α	Conclusion
Densité au m ² Exposition au vent	0.4558	0.05	p-valeur > 0.05 Les variables ne sont pas liées.

Annexe VI : Résultats de la régression linéaire entre la densité au m² et la profondeur de vase



Le nuage de points ci-dessus ne présente pas de forme particulière indiquant qu'il semble exister un lien linéaire entre les deux.

- Coefficient de corrélation : 0,05524737. Il indique une faible corrélation positive entre la densité et la profondeur de vase.
- Coefficient de détermination : 0,00305227. Cela signifie que 0.03% de la variance de la Densité est expliquée par la profondeur de vase, soit une très faible proportion.
- Le modèle s'écrit : Densité = -7.352 x Profondeur de vase + 519.338
- Analyse des résidus : Le modèle peut être validé à condition que les résidus du modèle suivent une loi normale, soient compris entre -2 et 2, et soient indépendants et homoscédastiques. Si ces trois conditions sont remplies alors le modèle convient aux données et une relation existe entre les deux variables étudiées. Ici on a les résultats suivants concernant l'analyse des résidus :
 - Plusieurs résidus ne sont pas compris entre -2 et 2.
 - Les résidus ne suivent pas une loi normale. (Cf graphique Répartition des probabilités)
 - Ils semblent indépendants mais pas homoscédastiques. (graphique diagnostic des résidus)

Les trois critères ne sont pas satisfaits, par conséquent le modèle ne convient pas aux données. Il n'est donc pas possible de montrer qu'il existe un lien significatif entre la densité et la profondeur de vase.

• Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	519.338	193.551	2.683	0.00862 **

Profondeur.de.vase.	-7.352	13.704	-0.536	0.59291
---------------------	--------	--------	--------	---------

Residual standard error: 749.5 on 94 degrees of freedom

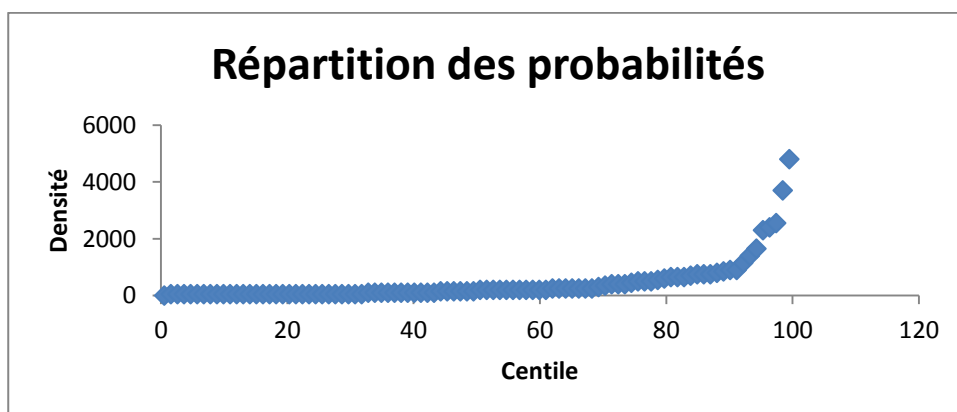
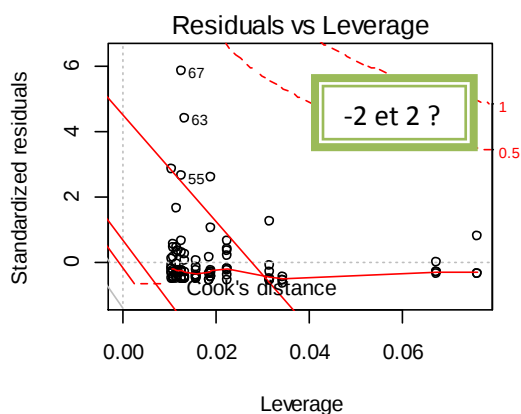
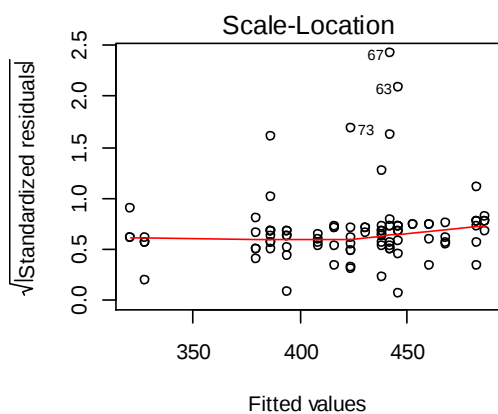
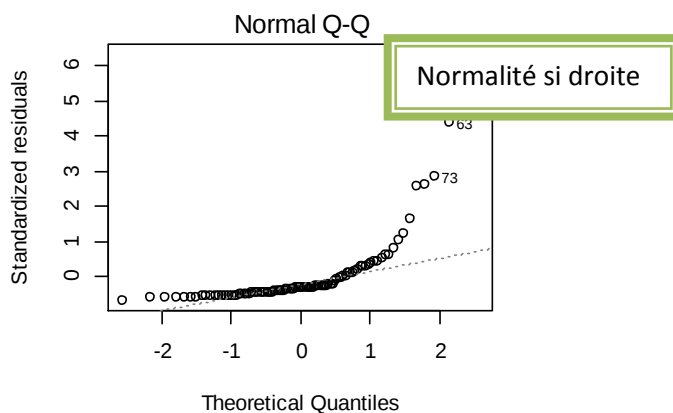
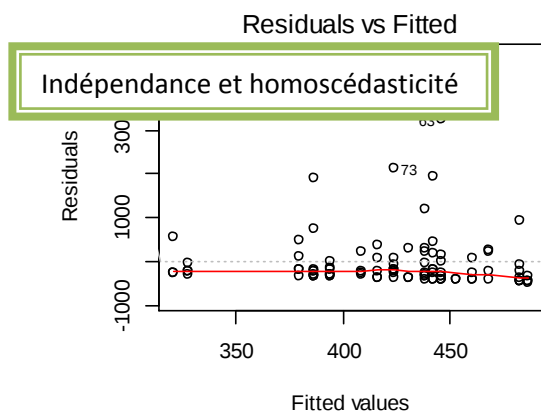
Multiple R-squared: 0.003052, Adjusted R-squared: -0.007554

• Analyse de la variance:

F-statistic: 0.2878 on 1 and 94 DF, p-value: 0.5929

- Diagnostic des résidus :

lm(Densité. ~ Profondeur.de.vase..cm.)



Il n'y a pas de droite sur le graphique donc les résidus ne suivent pas une loi normale.

Annexe VII : Résultats de la régression linéaire entre la densité au m² et la profondeur d'eau

- Coefficient de corrélation : 0,09606393 Il indique une faible corrélation positive entre la densité et la profondeur de l'eau.
- Coefficient de détermination : 0,00922828 Cela signifie que 0.09% de la variance de la Densité est expliquée par la profondeur de l'eau, soit une très faible proportion.
- Le modèle s'écrit : Densité = -7.412 x Profondeur d'eau + 493.139
- Analyse des résidus :
 - Plusieurs résidus ne sont pas compris entre -2 et 2.
 - Les résidus ne suivent pas une loi normale. (Cf graphique Répartition des probabilités)
 - Ils semblent indépendants mais pas homoscedastiques. (graphique diagnostic des résidus)

Les trois critères ci-dessus ne sont pas satisfaits, par conséquent le modèle ne convient pas aux données. Il n'est donc pas possible de montrer qu'il existe un lien significatif entre la densité et la profondeur de l'eau.

• Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) 493.139 106.214 4.643 1.11e-05 ***

Lame.d.eau..cm.. -7.412 7.922 -0.936 0.352

Residual standard error: 747.2 on 94 degrees of freedom

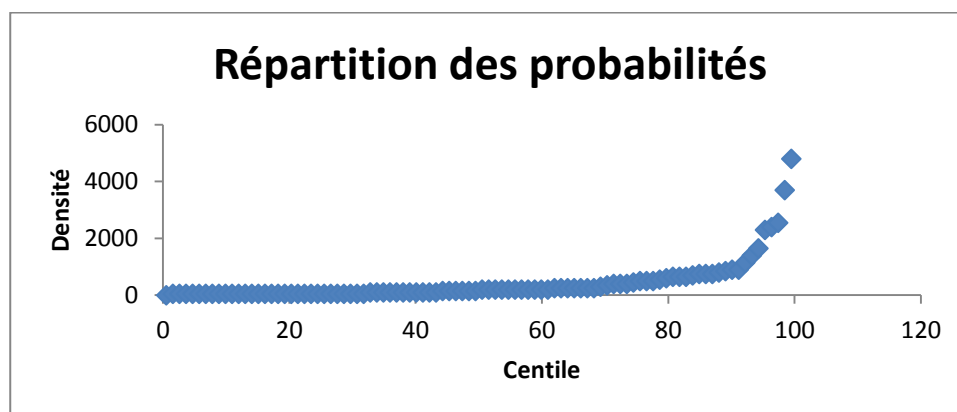
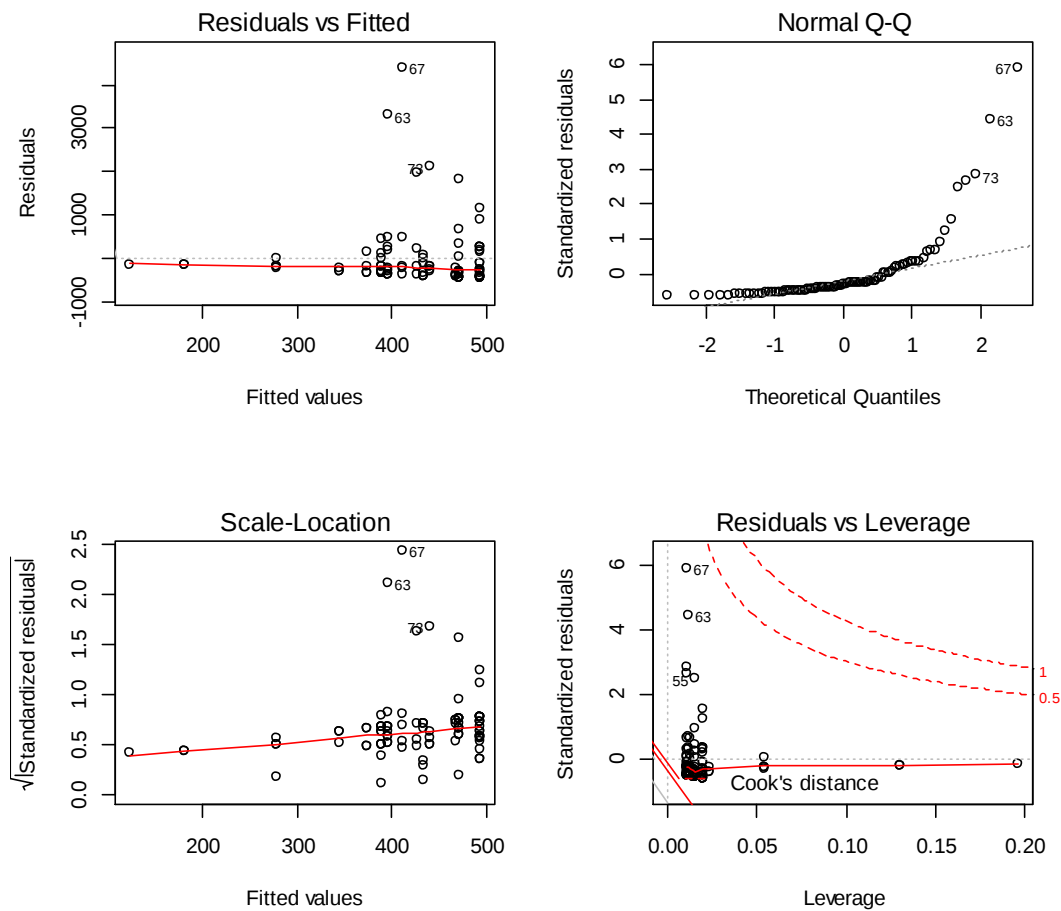
Multiple R-squared: 0.009228, Adjusted R-squared: -0.001312

• Analyse de la variance

F-statistic: 0.8755 on 1 and 94 DF, p-value: 0.3518

• Diagnostic des résidus:

lm(Densité. ~ Lame.d.eau..cm..)



Il n'y a pas de droite sur le graphique donc les résidus ne suivent pas une loi normale.

Annexe VIII : Tableau récapitulatif des différences entre les quatre stations

	STATION 1	STATION 2	STATION 3	STATION 4
Nombre total d'individus	205	114	454	41
Richesse taxonomique totale	7	7	9	6
Richesse taxonomique moyenne	5	4	5	3
Indice de Shannon	1,01666928	0,50088531	2,83801742	0,12274546
Abondance moyenne	34	19	76	8
Abondance relative	Oligochètes	Diptères	Oligochètes	Diptères
Densité au m ²	Oligochètes	Diptères	Oligochètes	Oligochètes
Densité m ² /Exposition au vent	Pas de lien			
Densité m ² /Profondeur de vase	Pas de lien			

Annexe IX : Calendrier du stage

Semaines	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
Bibliographie														
Collecte des données														
Tri et détermination														
Analyses statistiques														
Rédaction														

Résumé

Pour la première fois au Marais d'Orx, l'étude de la macrofaune benthique, nourriture principale des limicoles, a été réalisée. Cette étude a pour objectif de déterminer quelle vasière du Marais Barrage est la plus favorable à l'alimentation de ces oiseaux. La quantité et la diversité des individus ont fait l'objectif d'une comparaison entre les vasières. De plus, des paramètres ont été pris en compte et ont été testés statistiquement, tels que la profondeur de vase, la profondeur de l'eau et l'exposition au vent des vasières.

814 individus, répartis selon 6 classes ont été identifiés au sein des quatre vasières échantillonnées. Parmi les 6 classes, 14 taxons ont été comptés. Les oligochètes représentent la classe dominante (536 individus), suivie de la classe des diptères (235 individus). En effet, les deux classes réunies représentent 98.4% de l'effectif total et sont présentes dans les quatre stations. A l'inverse, les 4 classes restantes (gastéropodes, achètes, odonates, insectes) sont peu représentés puisqu'elles représentent 1.6% uniquement de l'effectif total des classes.

Des différences de nourriture ont ainsi été observées entre les vasières. Une des vasières a pu se démarquer des autres de par la quantité et la diversité de ces taxons. L'explication de cette répartition des taxons est à approfondir car certaines hypothèses n'ont pas pu être justifiées statistiquement. Néanmoins, grâce à cette étude, les gestionnaires ont un premier aperçu de la nourriture disponible pour les limicoles. Les études futures vont permettre d'affiner ces connaissances et contribueront donc à une gestion plus fine de ces milieux d'importance majeure pour la conservation des limicoles. Dans un contexte de disparition des zones humides et de changements climatiques, la connaissance et la préservation de ces habitats est une priorité internationale.

Mots-clés : Macrofaune benthique – Limicoles – Alimentation – Vasières - Inventaire – Marais Barrage – Gestion – Réserve Naturelle Nationale du Marais Orx