

# Rapport de stage individuel

4<sup>ème</sup> année

Abondance et composition des invertébrés  
dans des cours d'eau présentant des profils  
de température et d'intensité lumineuse  
contrastés, Islande

Hólar University  
Háskólinn á Hólum  
551 Sauðárkrókur  
Islande



Tuteur entreprise :

Stefán Óli Steingrímsson

Professor

Tuteur académique :

Michel Bacchi

Anaëlle Goubi

IMA

2020-2021

## ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussignée Anaëlle Goubi, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publié sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire. Signé par l'étudiante le 01/06/2021



# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont accompagnée pendant ce stage de 4<sup>ème</sup> année et aidée à aller le plus loin possible dans cette expérience.

J'adresse tout d'abord mes remerciements à M. Michel Bacchi, gérant chez Rive SARL et professeur associé à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours en Biologie des populations et écologie, pour avoir été le superviseur et tuteur académique de ce stage, ainsi que pour m'avoir guidée et aidée lors de l'identification de certains invertébrés.

Je tiens également à remercier tout particulièrement M. Stefán Óli Steingrímsson, Professeur au département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College et commanditaire de ce projet, pour avoir été mon tuteur entreprise, ainsi que pour m'avoir guidée dans la démarche à suivre, supervisée, conseillée et présentée à l'équipe travaillant au laboratoire de Verið.

Je remercie également M. Bjarni Kristófer Kristjánsson, professeur et chef du département aquaculture et biologie des poissons ; M. Joe Phillips, chercheur postdoctoral au département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College ; et M. Jóhann Finnur Sigurjónsson, technicien au département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College, pour m'avoir aidée lors de l'identification de certains invertébrés.

Je tiens à remercier Mme Rakel Þorbjörnsdóttir, technicienne au département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College ; et Mme Alessandra Schnider, doctorante au département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College, pour m'avoir fourni du matériel et épaulée lors de l'utilisation d'outils techniques.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe du département aquaculture et biologie des poissons à Hólar University College, pour m'avoir accueillie dans les locaux du laboratoire.

# TABLE DES MATIERES

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| REMERCIEMENTS .....                                                                                                                            | 3  |
| TABLE DES MATIERES .....                                                                                                                       | 4  |
| TABLE DES FIGURES.....                                                                                                                         | 5  |
| TABLE DES TABLEAUX.....                                                                                                                        | 5  |
| GLOSSAIRE.....                                                                                                                                 | 6  |
| SIGLES.....                                                                                                                                    | 7  |
| INTRODUCTION .....                                                                                                                             | 8  |
| I - Présentation de la structure d'accueil.....                                                                                                | 10 |
| II – Notions générales.....                                                                                                                    | 11 |
| 2.1) Le concept ECO-EVO-DEVO .....                                                                                                             | 12 |
| 2.2) La dérive des invertébrés .....                                                                                                           | 13 |
| 2.3) L'intensité lumineuse et la température de l'eau, deux paramètres influençant la distribution spatiale et temporelle des invertébrés..... | 14 |
| 2.4) Diversité des invertébrés dans les cours d'eau d'Islande .....                                                                            | 15 |
| III - Matériels et méthodes .....                                                                                                              | 16 |
| 3.1) Choix des lieux d'échantillonnage .....                                                                                                   | 16 |
| 3.2) Conditions d'échantillonnage des invertébrés .....                                                                                        | 16 |
| 3.3) Comptage et identification en laboratoire .....                                                                                           | 17 |
| 3.4) Analyses des données .....                                                                                                                | 19 |
| 3.5) Déroulé du stage .....                                                                                                                    | 19 |
| IV – Résultats.....                                                                                                                            | 21 |
| V - Discussion et conclusion .....                                                                                                             | 26 |
| VI – Retour sur expérience .....                                                                                                               | 28 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                                                                                                            | 28 |
| ANNEXES .....                                                                                                                                  | I  |

## TABLE DES FIGURES

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Localisation de la structure d'accueil, (Maps, Anaëlle Goubi, Veridehf.is). ....                                                                                      | 10 |
| Figure 2 : Organigramme de l'Université de Hólar accentué sur le département Aquaculture et Biologie des poissons, (A. Goubi). ....                                              | 11 |
| Figure 3 : Schéma du concept ECO-EVO-DEVO, (Skúlason et al., 2019). ....                                                                                                         | 12 |
| Figure 4 : Schéma simplifié de la dérive des invertébrés, (Naman et al., 2016). ....                                                                                             | 13 |
| Figure 5 : Modèle conceptuel des facteurs biotiques et abiotiques pouvant influencer la nature et la composition de la dérive des invertébrés, (Brittain & Eikeland, 1988). .... | 13 |
| Figure 6 : Nombre d'invertébrés en fonction de la présence ou l'absence de lumière, (Bishop, 1969). ....                                                                         | 14 |
| Figure 7 : Groupes et nombre d'espèces d'invertébrés d'Islande, (Ministry for the Environment & The Icelandic Institute of Natural History, 2001). ....                          | 15 |
| Figure 8 : Composition des invertébrés dans les échantillons benthiques, (Kreiling et al., 2020). ....                                                                           | 15 |
| Figure 9 : Localisation des points d'échantillonnage, (A.Goubi). ....                                                                                                            | 16 |
| Figure 10 : Matériel utilisé lors du tri en laboratoire, (A. Goubi). ....                                                                                                        | 18 |
| Figure 11 : Diagramme de Gantt du déroulé du stage ....                                                                                                                          | 20 |
| Figure 12 : Composition des échantillons de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées en fonction du jour et de la nuit ....                                 | 21 |
| Figure 13 : Densité de dérive et Taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées en fonction du jour et de la nuit. ....                                   | 22 |
| Figure 14 : Influence de l'intensité lumineuse sur la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées. ....                        | 22 |
| Figure 15 : Comparaison de l'évolution de l'intensité lumineuse des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00. ....                           | 23 |
| Figure 16 : Influence de la température de l'eau sur la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées. ....                      | 23 |
| Figure 17 : Comparaison de l'évolution de la température de l'eau des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00. ....                         | 23 |
| Figure 18 : Influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons pour les différentes rivières étudiées. ....                                                            | 24 |
| Figure 19 : Influence de la vitesse du courant sur la densité de dérive et le taux de dérive pour les différentes rivières étudiées. ....                                        | 24 |
| Figure 20 : Comparaison de l'évolution de la température de l'air des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00 ....                          | 25 |
| Figure 21 : Température de l'eau en fonction de la température de l'air pour les différents sites étudiés. ....                                                                  | 25 |
| Figure 22 : Température de l'eau et de l'air en fonction de l'intensité lumineuse pour les différents sites étudiés. ....                                                        | 26 |
| Figure 23 : Schéma du River Continuum Concept, (Vannote et al., 1980) ....                                                                                                       | 27 |

## TABLE DES TABLEAUX

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Niveau de détermination systématiques pour le tri des invertébrés .... | 18 |
| Tableau 2 : Liste et durée des tâches effectuées durant le stage ....              | 20 |

# GLOSSAIRE

**Activité nycthémérale** : Ensemble des actions effectuées par un organisme en 24h (jour et nuit)

**Aquaculture** : Culture d'espèces aquatiques (végétales et animales)

**Autochtone** : Organisme originaire de l'endroit où il habite

**Aval** : Dans le sens du courant, partie vers laquelle descend un cours d'eau

**Capacité de charge** : nombre maximal ou optimal d'un organisme qu'un milieu donné peut tolérer sans effet négatif sur l'environnement ou l'organisme

**Cercle polaire arctique** : Limite sud au-delà de laquelle il existe au moins une journée où le soleil ne se lève pas et ne se couche pas

**Compétition interspécifique** : Concurrence entre différentes espèces pour une même ressource

**Diapause** : Vie ralentie d'un organisme, programmée génétiquement

**Diversité spécifique** : Nombre d'espèces différentes dans un espace donné et leur répartition

**Dorsale** : Chaîne de montagnes sous-marines formées par l'éloignement de deux plaques tectoniques

**Echolocation** : Localisation par le son ou ondes sonores

**Ecosystème** : Organismes vivants en interactions avec leur milieu environnant et d'autres organismes

**Émergence** : Passage d'un organisme de la vie aquatique à la vie terrestre ou aérienne (Larousse, 2021)

**Énergie primaire** : Énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation (Dictionnaire Environnement, 2021)

**Environnement** : Ensemble des éléments vivants ou non vivants qui entourent un individu et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins (Larousse, 2021)

**Fécondité** : Aptitude d'un être vivant à se reproduire (Larousse, 2021)

**Invertébré** : Organisme ne comprenant pas de colonne vertébrale (Larousse, 2021)

**Juvénile** : Jeune organisme

**Nymphe** : Forme prise par certains insectes juste avant leur éclosion sous la forme adulte (Larousse, 2021)

**Photopériode** : Durée de jour ou d'éclairement

**Physiologie** : Étude des tissus et des organes des êtres vivants (Larousse, 2021)

**Population** : Ensemble des individus d'une même espèce trouvés dans une station donnée (Larousse, 2021)

**Processus écologique** : Mécanisme qui évolue dans un écosystème et qui lie les organismes et leur environnement (production, décomposition, perturbations, ...) (Dictionnaire Environnement, 2021)

**Quiescence** : Vie ralentie d'un organisme, généralement induite par des conditions extérieures défavorables (Larousse, 2021)

**Ressource renouvelable interne en eau douce** : flux moyen annuel à long terme des cours d'eau et le renouvellement des eaux souterraines généré par des précipitations endogènes d'un pays donné (United Nations Water, 2017)

**Richesse spécifique** : Nombre d'espèces différentes dans un espace donné

**Salmonidé** : Organisme appartenant à la famille des saumons, truites, ...

**Sélection naturelle/évolutive** : Choix opéré par la nature, résultant simplement de l'influence du milieu, au sein d'une espèce animale ou végétale, des individus qui assureront la reproduction de cette espèce de façon préférentielle ou exclusive (Larousse, 2021)

**Stéréo microscope** : loupe binoculaire

**Taxon** : groupe d'individus

**Voltinisme** : nombre de générations d'une espèce en une année

## SIGLES

**DCE** : Directive Cadre Européenne sur l'eau

**DEVO** : Développement

**DEVO-ECO** : Développement-Écologie

**DEVO-EVO** : Développement-Évolution

**ECO** : Écologie

**ECO-DEVO** : Écologie-Développement

**ECO-EVO** : Écologie-Evolution

**ECO-EVO-DEVO** : Écologie-Évolution-Développement

**EVO** : Évolution

**EVO-DEVO** : Évolution- Développement

**EVO-ECO** : Évolution-Écologie

# INTRODUCTION

Ressource naturelle essentielle à la vie, l'eau est un bien précieux fourni par la planète bleue. Composée à 70 % d'eau, la Terre ne dispose que de 3 % d'eau douce dont moins de 1 % directement exploitable par les êtres vivants (Morel, 2007). Dans un contexte de changement et de réchauffement climatique, la préservation de l'eau devient donc un enjeu planétaire.

L'Islande est un des pays du monde qui dispose de la plus grande ressource renouvelable interne en eau douce\* avec près de 532 000 m<sup>3</sup>/habitant/an en 2011 (Ólafsson, 2012), contre 3 100 m<sup>3</sup>/habitant/an en moyenne en France (Institut Français de l'éducation, 2016).

De plus, l'accès à l'eau est primordial en Islande puisque celle-ci fournit eau potable, chauffage, et électricité dans ce pays insulaire. En effet, 85 % de l'approvisionnement total en énergie primaire\* de ce pays nordique provient de sources renouvelables : 65 % de la géothermie (eau géothermale, vapeur géothermique, ...), 20 % de l'hydroélectricité et 15 % des énergies fossiles (Government of Iceland, 2020a). À titre d'exemple, l'électricité produite provient à 73 % de l'hydroélectricité et à 27 % de la géothermie (Government of Iceland, 2020a).

Ainsi, l'un des objectifs du gouvernement islandais est d'établir une gestion coordonnée de la ressource en eau afin d'assurer son utilisation durable en préservant sa qualité et ses écosystèmes (Government of Iceland, 2020b). En concordance avec cet objectif, l'Islande intègre en 2009, la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) afin de veiller au maintien de la qualité de l'eau et de lutter contre sa pollution (Umhverfis stofnun, 2021). À cette fin, de nombreux établissements islandais participent à cet objectif dont le département d'aquaculture\* et de biologie des poissons (Aquaculture and Fish Biology Department) à Holár University College.

En effet, ce département est un centre international de recherche, d'enseignement et de formation spécialisé dans les domaines de biologie aquatique, aquaculture et biologie des poissons. Un de ses principaux objectifs est de favoriser le développement professionnel de l'aquaculture dans un esprit de développement durable\*. Sa politique de recherche se concentre donc essentiellement sur la collecte de données, l'analyse critique et la diffusion de connaissances vers une échelle locale, nationale et/ou internationale. L'évolution et l'écologie des systèmes d'eau douce, en particulier la diversification en relation avec le comportement, la physiologie\* des poissons et l'écologie des habitats fluviaux et lacustres islandais sont les domaines de recherches principalement abordés.

À ce titre, en 2016, un projet de recherche mené par Stefán Óli Steingrímsson est lancé. Ce projet porte sur l'Activité nycthémerale\* de l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* : déterminants phénotypiques et écologiques. Afin de mieux cerner ce projet, il est nécessaire de définir quelques éléments.

Le sujet d'étude de cette recherche est l'omble chevalier. Ce taxon\* a été choisi pour de nombreuses raisons. Premièrement, il fait partie des 5 espèces\* de poissons autochtones\* des cours d'eau d'Islande (avec le saumon atlantique *Salmo salar*, la truite commune *Salmo trutta*, l'anguille d'Europe *Anguilla anguilla* et l'épinoche *Gasterosteus aculeatus*) (Dill, 1990). Deuxièmement, c'est le salmonidé\* qui a la plus grande répartition septentrionale (Steingrímsson, 2016). Troisièmement, il a tendance à se retirer des lacs chauds en Islande et est surpassé par la truite fario *Salmo trutta fario* dans les lacs chauds et eutrophes d'Europe (Steingrímsson, 2016). De plus, le fait qu'il soit natif d'Islande et qu'il ait une grande aire de répartition, garantit une certaine disponibilité de ces individus, en plus de les observer dans leurs milieux de prédilection et de minimiser les coûts liés au transport par exemple. Enfin, le fait qu'il soit relativement sensible à l'augmentation de la température de l'eau en fait une espèce modèle pour documenter un recul géographique ou un changement d'activité dû à la hausse des températures de l'eau.

Ce projet s'articule sur trois thématiques clés à savoir : l'activité nycthémérale de cette espèce, ses aspects phénotypiques et les relations et interactions écologiques de ce poisson dans l'environnement.

Concernant le rythme nycthéméral, celui-ci est défini selon Larousse, 2021 comme « un rythme biologique de 24h environ, dépendant des variations extérieures telles que l'éclairement, la température etc. ». Les auteurs Reebs, 2002 et Kronfeld-Schor & Dayan, 2003, définissent quant à eux une activité nycthémérale comme « la façon dont les animaux partagent le cycle quotidien de 24 heures entre activité et repos ». Par conséquent, une activité nycthémérale peut être définie comme l'ensemble des actions menées par un organisme en 24 heures (activité et repos), rythmé par une période de jour et une période de nuit.

Le phénotype quant à lui est « l'ensemble des caractères observables, apparents, d'un organisme dûs aux facteurs héréditaires et aux modifications apportées par le milieu environnant » (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, 2012). Cela peut donc par exemple, faire allusion à la taille, à la morphologie, ou à la couleur d'un organisme.

Enfin l'écologie, cette dernière est définie comme « l'étude scientifique des interactions qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes » (Jelinski et al., 1992). Plus largement, elle peut signifier « l'étude des relations entre les organismes et leur environnement biologique et physique » (Sagoff, 2017).

Ainsi, les objectifs généraux du projet lancé par Steingrímsson, sont : (i) de décrire les modèles d'activité nycthémérale des juvéniles\* de l'omble chevalier, (ii) de tester plusieurs hypothèses sur la façon dont les facteurs phénotypiques et écologiques peuvent interagir avec les schémas journaliers des poissons vivant dans les cours d'eau, (iii) d'examiner comment ces schémas peuvent façonner la condition physique par la croissance et l'exposition aux prédateurs, et (iv) d'améliorer la gestion et la conservation locale de cet organisme (Steingrímsson, 2016).

Une des études de ce projet de recherche consiste à examiner la relation entre la température de l'eau, l'intensité lumineuse et l'activité nycthémérale de l'omble chevalier dans huit cours d'eau du nord de l'Islande. Au cours de cette étude, la disponibilité en nourriture pour l'omble chevalier sera également évaluée. Il a été démontré que la principale source de nourriture de l'omble chevalier est composée d'invertébrés\* (Gunnarsson & Steingrímsson, 2011). Par conséquent, des échantillons d'invertébrés ont été récoltés au sein de ces mêmes cours d'eau.

C'est dans le cadre de cette étude que s'inscrit mon stage au sein du département d'aquaculture et de biologie des poissons à l'Université de Hólar. Au regard de ce projet, la problématique suivante peut être émise : **Comment la luminosité et la température peuvent-elles affecter les invertébrés en termes de dérive, de diversité et d'abondance ?**

Pour y répondre, plusieurs hypothèses seront formulées : (i) Les invertébrés sont plus abondants lorsque la luminosité est faible, (ii) la composition en invertébrés est plus diversifiée lorsque la température de l'eau est plus élevée, (iii) la dérive des invertébrés est plus importante lorsque la température augmente. Mes missions en tant que stagiaire seront de (i) procéder au traitement des échantillons d'invertébrés, ce qui implique la quantification et l'identification de différents groupes d'invertébrés ; (ii) de saisir les données et de procéder à leurs analyses statistiques et écologiques, ce qui implique calculer la densité d'invertébrés et les taux de dérive (disponibilité des proies pour l'omble chevalier) en fonction de la température et de l'éclairement ; (iii) de rapporter les résultats dans un rapport final.

Ce présent rapport rendra compte du travail effectué lors de ce stage. Tout d'abord, la structure d'accueil dans lequel a été effectué le stage sera présentée, ensuite des notions propres au sujet d'étude seront abordées avec de nombreuses recherches bibliographiques. Dans un troisième temps, le déroulé de la mission ainsi que l'ensemble du matériel et des méthodes employées au cours de ce stage seront exposés. Subséquemment, l'analyse des données sera montrée. Enfin, un retour réflexif sur l'expérience et une analyse critique des résultats produits clôtureront ce rapport.

# I - Présentation de la structure d'accueil

La structure d'accueil dans lequel ce stage a été effectué est l'Université de Hólar (Háskólinn á Hólum) (Figure 1), située dans le nord de l'Islande et plus précisément dans la Région Nord-Ouest (Nordurland vestra). Le bâtiment principal de cette université est basé dans le village d'Hólar mais elle possède également un laboratoire nommé Verið. Dédié à la recherche sur les poissons, il est situé sur le port de Sauðárkrúkur (Figure 1). C'est dans ce dernier que l'intégralité de ce stage a été effectué.

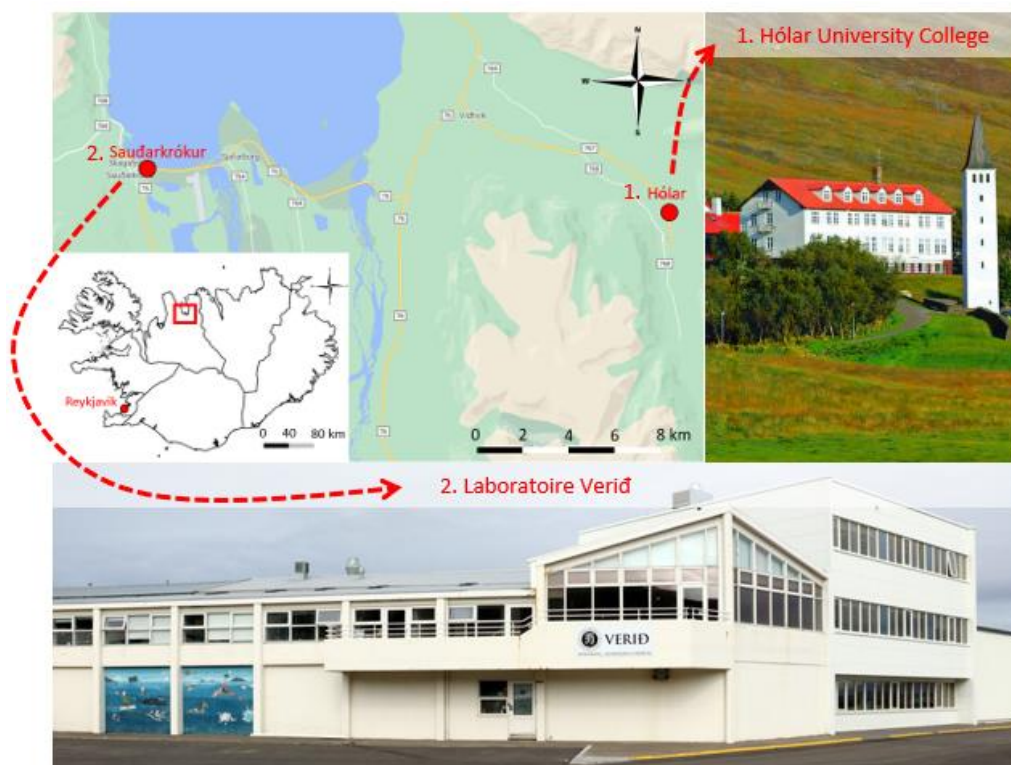


Figure 1 : Localisation de la structure d'accueil, (Maps, Anaëlle Goubi, Veridehf.is).

L'Université de Hólar, dirigé par Erla Björk Örnólfsdóttir, est composé de trois départements éducatifs (Département aquaculture et biologie des poissons, Département des sciences équine, Département du tourisme rural) et d'un département administratif. Il accueille environ 200 étudiants pour 50 encadrants dont 28 encadrants académiques (UArtic, 2021).

Concernant le Département d'aquaculture et de biologie des poissons, celui-ci est dirigé par Bjarni Kristófer Kristjánsson, soutenu par 7 personnels techniques et 8 personnels académiques. Le personnel académique collabore et encadre 3 chercheurs post-doctoraux en plus de 17 étudiants diplômés (Figure 2).

Comme dit précédemment en introduction, le département d'aquaculture et de biologie des poissons est un centre international de recherche, d'enseignement et de formation en biologie aquatique, aquaculture et biologie des poissons. Un de ses principaux objectifs est de favoriser le développement professionnel de l'aquaculture en favorisant l'aspect développement durable de la filière. Les recherches principalement effectuées dans ce département se concentrent essentiellement sur trois espèces de poissons : l'omble chevalier *Salvelinus alpinus*, l'épinoche *Gasterosteus aculeatus* et le saumon atlantique *Salmo salar*. Il s'agit principalement d'étudier leur évolution, physiologie, écologie, comportement dans les conditions naturelles ou dans des conditions d'aquaculture.

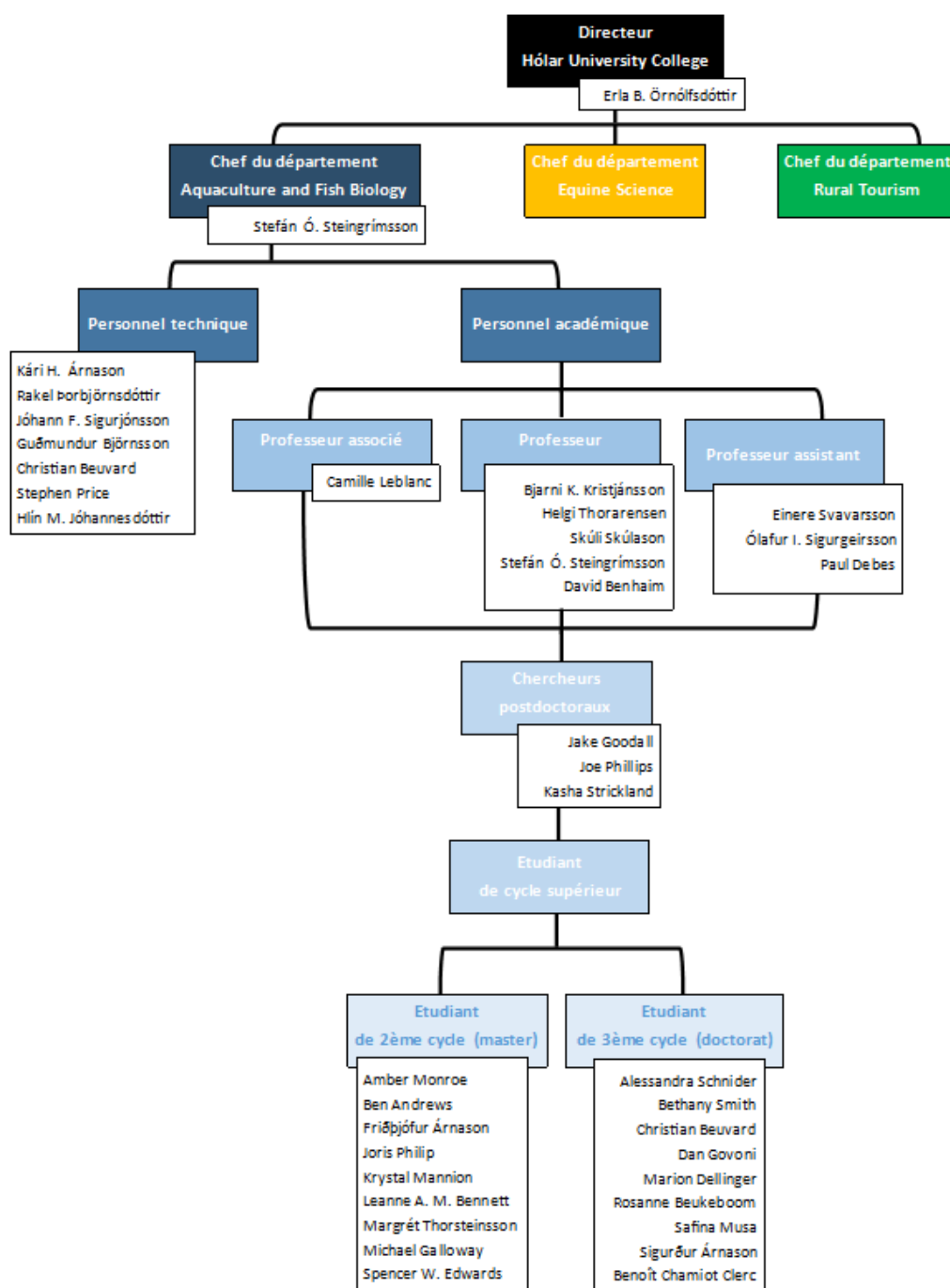


Figure 2 : Organigramme de l'Université de Hólar accentué sur le département Aquaculture et Biologie des poissons, (A. Goubi).

## II – Notions générales

Le projet : Activité nyctémérale de l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* : déterminants phénotypiques et écologiques, lancé en 2016 par Steingrímsson, fait appel au concept Écologie-Évolution-Développement (ECO-EVO-DEVO). Comme précédemment indiqué, ce projet a vocation à comprendre comment des facteurs phénotypiques et écologiques peuvent interagir avec l'activité nyctémérale des ombles chevaliers et influencer sur leur développement (condition physique, croissance, exposition aux prédateurs, ...).

Dans son ouvrage *De l'origine des espèces* publié en 1859, Darwin apporte les prémices de réponse à cette question. Celui-ci affirme que les individus d'une même espèce diffèrent les uns des autres, que la quantité de nourriture disponible dans l'environnement\* limite la reproduction des individus d'une même espèce et que seuls les plus adaptés peuvent persister et se reproduire, en plus de transmettre leurs attributs à la prochaine génération. Ainsi, Darwin prône que l'environnement peut façonner les traits d'un individu et favoriser la sélection et la reproduction de ce dernier, par rapport à d'autres individus d'une même population\*.

## 2.1) Le concept ECO-EVO-DEVO

Le concept ECO-EVO-DEVO (Figure 3) s'appuie sur les réflexions darwiniennes. Les auteurs (Skúlason et al., 2019) stipulent dans leur ouvrage *A way forward with eco evo devo : an extended theory of resource polymorphism with postglacial fishes as model systems* que ce concept peut être défini par « Des interactions entre les conditions écologiques (ECO), la sélection évolutive (EVO) et le développement d'un individu (DEVO) qui s'influencent mutuellement ».

Dans ce modèle, Écologie-Évolution (ECO-EVO) signifie que l'environnement influence l'évolution des populations par sélection naturelle\*, en retour Évolution-Écologie (EVO-ECO) indique que les changements phénotypiques octroyés influencent les processus écologiques\* dans un écosystème.

En ce qui concerne le modèle Évolution-Développement (EVO-DEVO), celui-ci signifie que la sélection naturelle permet de transmettre les caractères héréditaires à une nouvelle génération. En réponse Développement-Évolution (DEVO-EVO) indique que les caractères hérités issus du développement influent sur la variabilité phénotypique.

Enfin, le modèle Développement-Écologie (DEVO-ECO) signifie que le développement des individus au sein d'une génération influence la réponse des populations vis-à-vis des écosystèmes\*, et des changements environnementaux. À l'inverse Écologie-Développement (ECO-DEVO) indiquent que l'environnement influe sur le développement individuel des organismes.

Pour résumer, le concept ECO-EVO-DEVO impliquerait que les propriétés de l'écosystème et de l'environnement modifient la dynamique des populations et vice-versa.

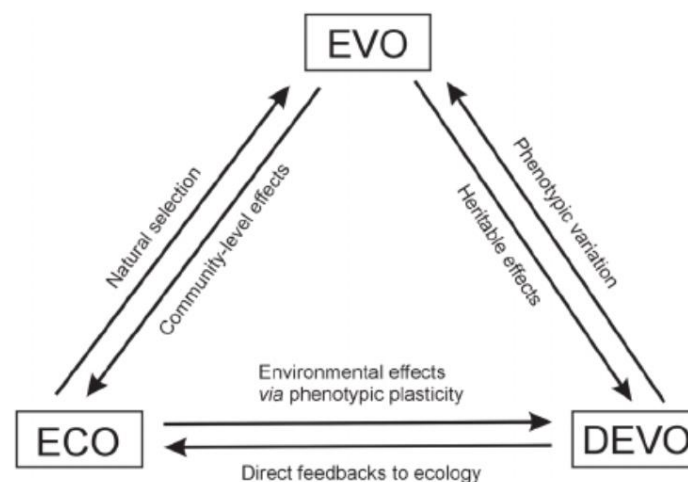


Figure 3 : Schéma du concept ECO-EVO-DEVO, (Skúlason et al., 2019).

Or, la dynamique des populations correspond à l'étude de l'évolution des populations (taille, âge, sexe, morphologie, ...) au cours du temps et des causes souvent écologiques et environnementales de ces évolutions. Un moyen d'étudier cette dynamique des populations est de se concentrer sur l'activité nyctémérale (définie plus haut) puisque celle-ci permettrait de déterminer la santé des individus vis-à-vis de la prise de nourriture, des coûts énergétiques et du risque de prédation. Cette approche aiderait à comprendre comment des organismes exploitent et partagent les habitats et les ressources dans le temps et l'espace (Steingrímsson, 2016).

## 2.2) La dérive des invertébrés

Un moyen d'étudier l'activité nycthémérale de l'omble chevalier est d'évaluer l'abondance et la composition de la source en nourriture c'est-à-dire : les invertébrés. En effet, l'activité des poissons peut avoir une dépendance considérable vis-à-vis de la disponibilité en invertébrés puisque leur développement (croissance, abondance, survie, schémas de déplacement) est intimement lié à leur capacité à se nourrir et à la disponibilité de leurs proies (Naman et al., 2016). Or, nombre de salmonidés tels que les ombles chevaliers se nourrissent principalement de la « dérive des invertébrés », c'est-à-dire au sens large du terme, le transport vers l'aval\* d'organismes aquatiques dans le courant (Naman et al., 2016). Celle-ci constitue un facteur déterminant de la capacité productive des habitats à soutenir les populations de poissons (Naman et al., 2016). Celle-ci peut être décomposée en trois phases (Figure 4):

- Phase 1 : Départ d'un organisme décroché de son substrat et entraînement dans la colonne d'eau.
- Phase 2 : Transport hydraulique de l'organisme vers l'aval.
- Phase 3 : Fin du déplacement de l'organisme (colonisation de substrat, prédation, émergence\*, recherche de nourriture, ...).

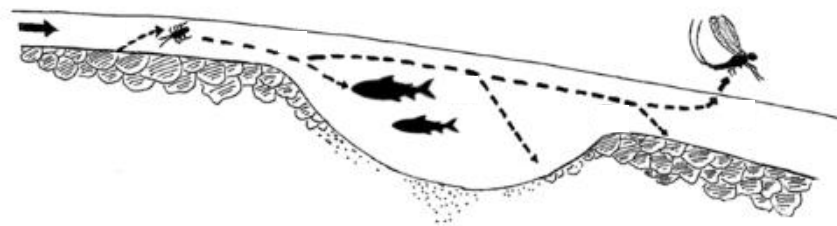


Figure 4 : Schéma simplifié de la dérive des invertébrés, (Naman et al., 2016).

Il existe différents types de dérive des invertébrés qui peuvent être réparties en deux catégories : la dérive passive et la dérive active (Naman et al., 2016).

La dérive passive est le transport accidentel de l'invertébré, celui-ci est tout simplement happé par le courant lorsque ce dernier est trop fort ou constitue un stress hydraulique trop important.

La dérive active est le transport délibéré de l'invertébré, celui-ci décide de quitter son substrat volontairement (migration) pour des raisons diverses (prédations, reproduction, recherche de nourriture, recherche d'un habitat favorable ou à l'inverse, éviter un habitat défavorable, ...).

Cette dérive active ainsi que la distribution spatiale et temporelle des invertébrés, peuvent être largement influencées par des facteurs environnementaux et écologiques (Figure 5). Dans cette étude, la luminosité et la température seront les deux paramètres analysés. Ces deux paramètres jouent un rôle majeur dans l'écologie et l'évolution des insectes aquatiques (Naman et al., 2016; Brittain & Eikeland, 1988; Ward & Stanford, 1982). Toutefois, la vitesse du courant et le débit sont souvent considérés comme les principaux facteurs de dérive, avec une augmentation de la dérive lorsque la vitesse de courant augmente (Brittain & Eikeland, 1988).

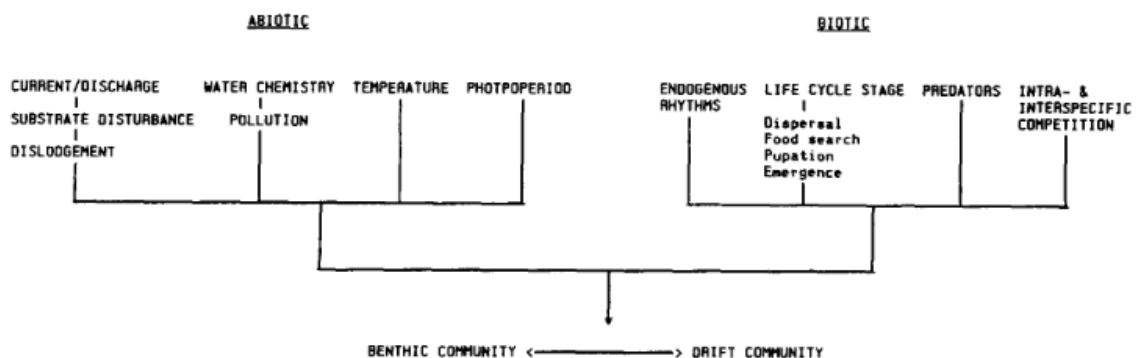


Figure 5 : Modèle conceptuel des facteurs biotiques et abiotiques pouvant influencer la nature et la composition de la dérive des invertébrés, (Brittain & Eikeland, 1988).

## 2.3) L'intensité lumineuse et la température de l'eau, deux paramètres influençant la distribution spatiale et temporelle des invertébrés

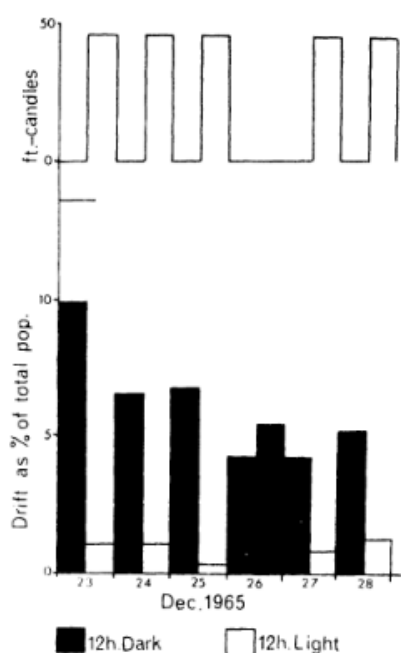


Figure 6 : Nombre d'invertébrés en fonction de la présence ou l'absence de lumière, (Bishop, 1969).

Le premier paramètre suivi, la luminosité, joue un rôle majeur dans la dérive des invertébrés. En effet, ceux-ci tendent à fortement se déplacer la nuit ou lorsqu'il y a une faible intensité lumineuse (Holt & Waters, 1967 ; Bishop, 1969) (Figure 6). Cette dérive active des invertébrés aquatiques influencée par la luminosité est probablement expliquée par un compromis entre la maximisation de l'apport énergétique liée à la recherche de nourriture et la minimisation de la mortalité liée au risque de prédation des poissons (Gilliam & Fraser, 1987 ; Lima & Dill, 1990). En effet, une étude menée par Diehl en 1988, montre que les poissons qui se nourrissent de dérive sont moins actifs et moins efficaces la nuit. D'autre part, une étude menée par Peckarsky en 1982, montre que les invertébrés aquatiques soumis à la prédation d'une grande variété de prédateurs ont développé des mécanismes de défense leur permettant ainsi d'éviter la prédation. Outre des moyens chimiques (mauvais goût de l'invertébré vis-à-vis de son prédateur), des moyens morphologiques (couleur de l'invertébré similaire à son substrat, construction d'abris ou d'enveloppe externe résistante aux morsures, ...) ou des moyens locomotifs (fuite), de nombreux invertébrés ont développé des mécanismes de défense comportementaux. Ces mécanismes comportementaux se basent principalement sur la capacité de l'organisme à détecter

efficacement les prédateurs afin de réagir rapidement et d'éviter ces derniers. Certains groupes détectent les prédateurs visuellement, d'autres sensoriellement (écholocalisation\*) ou encore chimiquement (stimuli chimiques produits par les prédateurs détectés chimiquement) (Peckarsky, 1982).

D'autre part, la luminosité influe également sur l'émergence des invertébrés, ce phénomène survient à partir d'une certaine photopériode\*, différente selon les espèces (Ward & Stanford, 1982).

Néanmoins, l'Islande se trouve au niveau du cercle polaire arctique\*. Or, dans cette région géographique, le soleil ne descend pas sous l'horizon pendant une certaine période de l'été. La réaction des invertébrés aquatiques à ces longues photopériodes pourrait donc être très différente. De plus, il est important de ne pas confondre l'intensité lumineuse qui est la quantité de lumière émise dans une direction et la photopériode qui est la durée d'exposition au jour ou d'éclairement.

Le deuxième indicateur étudié, la température de l'eau, joue un rôle majeur dans l'écologie et l'évolution des invertébrés aquatiques. C'est un paramètre qui varie énormément dans l'espace (profondeur, position sur le profil en long du cours d'eau, distance à la berge, ...) et dans le temps (saison, conditions météorologiques, ...). Par conséquent, ce paramètre affecte les invertébrés d'eau douce de multiples façons et de manière très diversifiée selon les espèces (Ward & Stanford, 1982). La température peut influencer la fécondité\*, la période de reproduction, le voltinisme\*, la période d'incubation des œufs, le succès de l'éclosion, la durée de l'éclosion, la diapause\*, la croissance, la quiescence\*, l'émergence, ... (Ward & Stanford, 1982).

À titre d'exemple, les effets de la température de l'eau sur la fécondité et les œufs influencent la distribution et la position concurrentielle (compétition interspécifique\*) d'une espèce à un endroit donné (Ward & Stanford, 1982). En effet, ce paramètre influence les taux de croissance des insectes aquatiques et certaines espèces présentent des seuils précis de température pour la croissance, comme c'est le cas pour des larves de moustiques Culicidae (Huffaker, 1944). L'étude menée par (Ward & Stanford, 1982), a montré que la fécondité des invertébrés aquatiques est positivement corrélée à

la taille des adultes. Or, la température étant un facteur qui influence la croissance des invertébrés, celle-ci influe sur la distribution, l'abondance et la compétition interspécifique.

Concernant l'émergence, celle-ci se produit généralement plus tôt lors des années les plus chaudes bien que la durée puisse augmenter ou diminuer (Danks & Oliver, 1972). Si la lumière (photopériode), constitue un des principaux facteurs d'émergence, pour d'autres espèces, il s'agit de la température. En effet, dans les régions arctiques, la luminosité n'est pas une mesure fiable, c'est donc la température de l'eau qui est le facteur déterminant (Danks & Oliver, 1972).

Concernant la dérive des invertébrés, les avis divergent. Des études ont montré que l'augmentation de température augmente le phénomène de dérive (Neves, 1979 ; Waters, 1972) tandis que d'autres impliqueraient une diminution de la dérive (Reisen, 1977).

D'autre part, une étude menée par Jacobsen et al., 1997, a montré que dans des conditions similaires d'altitude, de substrats, de morphologie ; seul le paramètre température pouvait expliquer la variabilité de la composition des invertébrés. Ainsi, la richesse\* et la diversité spécifique\* augmenteraient selon la température maximale du cours d'eau.

Toutefois, la plupart des insectes ne disposent pas de mécanismes de compensation et d'acclimatation efficaces à la température, ainsi ils seront donc très vulnérables face à une diminution ou une augmentation de la température liée au réchauffement climatique (Bullock, 1955).

## 2.4) Diversité des invertébrés dans les cours d'eau d'Islande

L'Islande dénombre un total de 1 266 espèces d'invertébrés (terrestres ou aquatiques) répertoriées sur son territoire (Ministry for the Environment & The Icelandic Institute of Natural History, 2001) dont près de 150 ont été importées accidentellement. Les groupes les plus importants sont les Diptères (373 espèces), suivis des Hyménoptères (256 espèces) et des coléoptères (239 espèces) (Figure 7).

D'autre part, la thèse *Invertebrate Diversity in Icelandic Freshwater Springs* menée par Kreiling en 2020, a montré que sur 49 points d'échantillonnage répartis dans toute l'Islande, 111 taxons d'invertébrés ont été recueillis, allant de 6 taxons à 40 selon les sites d'échantillonnage. Il a été montré que les taxons dominants étaient les Chironomidae (67%), suivis des Ostracoda (12%) et des Copépodes (9%). Les Chironomidés dominants étaient *Diamesa spp.* (40%), *Eukiefferiella minor* (20%), *Orthocladus frigidus* (13%). Une liste des taxons rencontrés dans cette étude est disponible en Annexe 1.

Enfin, une autre étude (Kreiling et al., 2020) corrobore également ces affirmations, en rajoutant les Oligochètes avec les taxons dominants retrouvés dans un cours d'eau d'Islande (Figure 8). Les Tricoptères, Plécoptères, Odonates sont quant à eux, peu représentés dans les cours d'eau.

| Group         | Number      |
|---------------|-------------|
| Archaeognatha | 1           |
| Thysanura     | 1           |
| Protura       | 3           |
| Collembola    | 77          |
| Ephemeroptera | 1           |
| Odonata       | 1           |
| Plecoptera    | 1           |
| Orthoptera    | 2           |
| Dermaptera    | 1           |
| Blattodea     | 5           |
| Psocoptera    | 10          |
| Mallophaga    | 67          |
| Siphunculata  | 3           |
| Hemiptera     | 78          |
| Thysanoptera  | 7           |
| Neuroptera    | 3           |
| Trichoptera   | 11          |
| Lepidoptera   | 118         |
| Coleoptera    | 239         |
| Hymenoptera   | 256         |
| Diptera       | 373         |
| Siphonaptera  | 8           |
| <b>Total</b>  | <b>1266</b> |

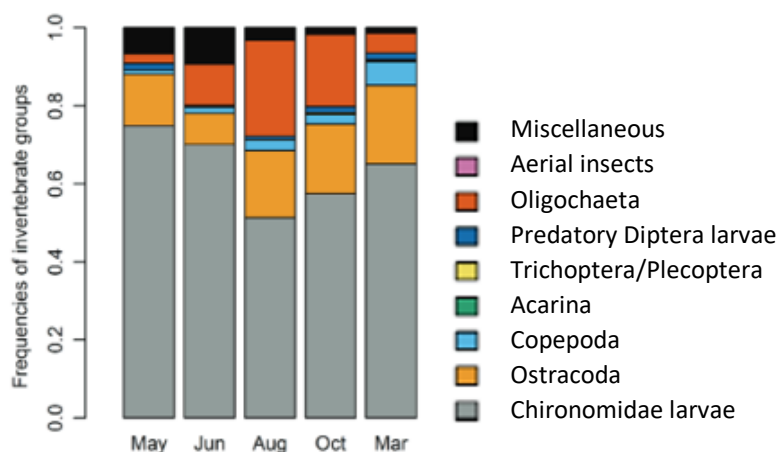


Figure 7 : Groupes et nombre d'espèces d'invertébrés d'Islande, (Ministry for the Environment & The Icelandic Institute of Natural History, 2001).

Figure 8 : Composition des invertébrés dans les échantillons benthiques, (Kreiling et al., 2020).

# III - Matériels et méthodes

L'objet de ce stage se concentre essentiellement sur la réaction des invertébrés vis-à-vis de la température et de l'intensité lumineuse, c'est pourquoi cette partie sera principalement axée sur les invertébrés. Néanmoins, pour rappel, l'analyse des invertébrés présents dans les cours d'eau n'est qu'une petite partie d'un projet qui analyse l'activité nycthémerale de l'omble chevalier. L'expérience suivante a donc été réalisée en présence d'ombles chevaliers. Leurs comportements ainsi que leurs activités ont été finement observés.

## 3.1) Choix des lieux d'échantillonnage



### Légende

● Ville ★ Point d'échantillonnage — Cours d'eau

Auteur : A. Goubi

Source : Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, and the GIS User Community

Outil : ArcGis v.10.5.1.

Dans cette étude, l'activité nycthémerale de l'omble chevalier en relation avec la température de l'eau a été évaluée dans huit cours d'eau du nord de l'Islande (Figure 9). Les huit cours d'eau choisis (Hjaltadalsá, Grímsá, Kallá, Hvammslaekur, Myllulaekur, Deildará, Hofsá, et Reykjaá) correspondent à des gammes de températures naturelles dans lesquelles l'omble chevalier est acclimaté en Islande (Steingrímsson, 2016).

Figure 9 : Localisation des points d'échantillonnage, (A.Goubi).

## 3.2) Conditions d'échantillonnage des invertébrés

La période d'échantillonnage des invertébrés a été réalisée lors de l'été 2019, après le solstice. Les échantillons des rivières Grímsá, Myllulaekur, Hofsá et Deildará ont été récoltés entre le 7 et le 9 juillet, tandis que les autres ont été échantillonnées entre le 28 juillet et le 1<sup>er</sup> août. À cette période de l'année, les invertébrés sont généralement disponibles sous forme de larves, de nymphes\* et d'adultes. De plus, les nuits sont relativement lumineuses compte tenu du positionnement de l'Islande dans le cercle polaire arctique. Cela permet ainsi de réaliser la plupart des observations sans l'aide de lumière artificielle qui pourrait biaiser les résultats.

La dérive des invertébrés a été échantillonnée deux fois par jour pour chaque enclos, une fois pendant le jour (12:00) et une fois pendant la nuit (00:00). Chaque lieu d'échantillonnage possédait 3 enclos, chaque enclos étant espacé de 20 à 50 mètres d'amont en aval. Ainsi, au total, 48 échantillons d'invertébrés (6 par cours d'eau) ont été récoltés et seront analysés dans ce rapport.

Chaque enclos mesurait 2.4 m<sup>2</sup> (1 m de large, 2.4 m de long) à hauteur de 0.75 m et à maille en nylon de 5 mm. Cette taille de maille est jugée suffisamment grande pour laisser passer la dérive des invertébrés et suffisamment petite pour retenir les ombles chevaliers présents à l'intérieur

(Steingrímsson, 2016). Dans chaque enclos, il y avait 7 poissons, soit 3/m<sup>2</sup>, ce qui est considéré comme une densité moyenne (Fingerle et al., 2016).

Le fond de chaque enclos était standardisé en termes d'habitat, avec du substrat filtré à moins de 2 cm de diamètre et 5 pavés en guise d'abris.

Les enclos ont été nettoyés lorsque cela était nécessaire (accumulation de débris), afin d'assurer la libre circulation de l'eau et des invertébrés dans les enclos. Par ailleurs, il est à noter que ce nettoyage n'a jamais été effectué lors des échantillonnages (Steingrímsson, 2016).

De plus, de la ficelle avait été étirée au-dessus de chaque enclos afin de dissuader les oiseaux potentiellement prédateurs de l'omble chevalier, comme la Sterne arctique *Sterna paradisaea* par exemple, sans affecter le risque perçu par les poissons (Steingrímsson, 2016).

Les échantillons de dérive des invertébrés ont été récoltés à l'aide d'un filet de dérive (ouverture du filet = 25 x 40 cm ; longueur du filet = 100 cm ; maille du filet = 250 µm) placé à mi-profondeur d'eau et dans la moitié aval de l'enclos, soit à 1.2 m pendant 10 minutes (Fingerle et al., 2016). Les échantillons ont ensuite été conservés dans des réservoirs en plastique avec de l'éthanol à 70 %, puis transportés au laboratoire de Verið à Sauðárkrúkur.

Concernant les paramètres hydrauliques, la vitesse du courant a été mesurée à l'aide d'un compteur Marsh McBirney Flo-Mate 2000 au centre de l'ouverture du filet de dérive, à 50 % de la hauteur d'eau. La hauteur d'eau quant à elle, a été mesurée à l'aide d'un mètre, placé à l'embouchure du filet de dérive.

Ces deux paramètres ont été mesurés trois fois au cours de chaque échantillonnage : un au début, un au milieu et un à la fin de ces derniers.

Enfin, concernant les paramètres analysés : température de l'eau et intensité lumineuse, ceux-ci ont été mesurés toutes les heures à l'aide de deux enregistreurs de données : « Onset HOB0 UTBI-001 Tidbit v2 Waterproof Temperature Logger » pour la température et « Onset HOB0 Pendant Temperature/Light 8k UA 002-08 » pour la lumière. Ceux-ci ont été placés en amont des enclos, au-dessus de la surface de l'eau pour l'intensité lumineuse et en-dessous de la surface de l'eau pour la température, approximativement à 5 cm du fond.

### 3.3) Comptage et identification en laboratoire

Les invertébrés de chaque échantillon ont été triés, identifiés et comptés en laboratoire sous stéréomicroscope (Figure 10). L'échantillon a tout d'abord été lavé et filtré dans un tamis de mailles 250 µm afin de récupérer tous les invertébrés. Ensuite, le contenu du tamis a été transvasé dans une boîte de Petri quadrillée, à l'aide de pinces et rincé avec de l'eau afin de récupérer le maximum d'organismes. Les organismes ont ensuite été recherchés au stéréomicroscope\*, identifiés grâce à des clefs d'identification (Tachet et al., 2010 ; Nielsen et al., 1954), puis triés dans des piluliers remplis d'éthanol à 70 %. En ce qui concerne les Chironomidae de chaque échantillon, ceux-ci ont été triés à part et isolés dans un plus petit pilulier placé dans le premier, plus gros et contenant tous les autres organismes identifiés.

Remarque, lorsque l'échantillon était trop gros pour être trié entièrement du premier coup, des sous-échantillons ont été réalisés puis triés au fur et à mesure. Un exemple de fiche de tri est disponible en Annexe 2.

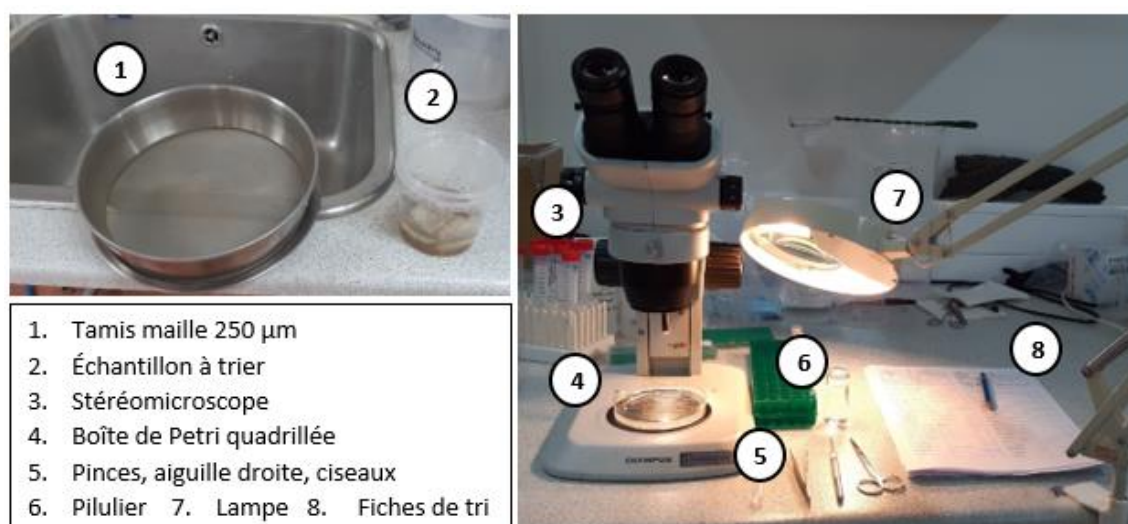


Figure 10 : Matériel utilisé lors du tri en laboratoire, (A. Goubi).

Les invertébrés ont été triés selon différents niveaux de détermination systématiques (Tableau 1).

Tableau 1 : Niveau de détermination systématiques pour le tri des invertébrés

| Groupe faunistique            | Taxon                    |                                                  | Niveau de détermination systématique                              |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Annelida</b>               | Hirudinea                |                                                  | Sous-classe                                                       |
|                               | Oligochaeta <sup>1</sup> | Chaetogaster <sup>2</sup>                        | Sous-classe <sup>1</sup> /Genre <sup>2</sup>                      |
| <b>Arthropoda (Arachnida)</b> | Acarina                  |                                                  | Sous-classe                                                       |
| <b>Arthropoda (Hexapoda)</b>  | Coleoptera <sup>1</sup>  | Staphylinidae <sup>2</sup>                       | Ordre <sup>1</sup> /Famille <sup>2</sup>                          |
|                               | Collembola               |                                                  | Ordre                                                             |
|                               | Diptera                  | Chironomidae                                     | Famille                                                           |
|                               |                          | Empididae                                        | Famille                                                           |
|                               |                          | Limoniidae                                       | Famille                                                           |
|                               |                          | Muscidae                                         | Famille                                                           |
|                               |                          | Simuliidae                                       | Famille                                                           |
|                               |                          | Syrphidae                                        | Famille                                                           |
|                               |                          | Tipulidae                                        | Famille                                                           |
|                               | Hemiptera <sup>1</sup>   | Heteroptera <sup>2</sup> /Aphididae <sup>3</sup> | Ordre <sup>1</sup> /Sous-ordre <sup>2</sup> /Famille <sup>3</sup> |
|                               | Hymenoptera              |                                                  | Ordre                                                             |
|                               | Plecoptera               |                                                  | Ordre                                                             |
|                               | Trichoptera              |                                                  | Ordre                                                             |
| <b>Cnidaria</b>               | Hydra                    |                                                  | Genre                                                             |
| <b>Crustacea</b>              | Copepoda                 |                                                  | Sous-classe                                                       |
|                               | Ostracoda                |                                                  | Classe                                                            |
|                               | Cladocera                |                                                  | Super-ordre                                                       |
| <b>Mollusca</b>               | Gastropoda               |                                                  | Classe                                                            |
| <b>Nemathelminthes</b>        | Nematoda                 |                                                  | Embranchement                                                     |
| <b>Tardigrada</b>             | Tardigrada               |                                                  | Embranchement                                                     |

### 3.4) Analyses des données

L'analyse des données sera exprimée en densité de dérive et en taux de dérive.

La densité de dérive (équation 1), permet de rendre compte du nombre de proies potentielles pour l'omble chevalier par m<sup>3</sup> d'eau. C'est une méthode plus standardisée que le taux de dérive car il permet de présenter le nombre total d'invertébrés présents dans la colonne d'eau de manière moins dépendante des effets de débit ou de courant. D'autre part, il a été démontré que le phénomène de dérive est dépendant de la densité (LaPerriere, 1981). En effet, à mesure que la population d'invertébrés approche sa capacité de charge\*, le phénomène de dérive se met en place afin d'éliminer la production excédentaire d'invertébrés dans le cours d'eau.

$$(1) \text{ Densité de dérive (ind/m}^3\text{)} = \frac{N}{T * V * l * d}$$

N, nombre total d'organismes dérivant (ind)  
T, temps d'échantillonnage en secondes  
V, vitesse de courant en m/s  
l, la largeur du filet en m  
d, la profondeur d'eau échantillonnée en m

Le taux de dérive (équation 2), permet de rendre compte du nombre de proies potentielles par section transversale du cours d'eau et par unité de temps. Cependant, cette méthode est assez dépendante de la vitesse du courant ou du débit. Par ailleurs, il a été démontré que la relation directe entre le taux de dérive et le niveau de production montre que le taux de dérive peut être utilisé comme indice du taux de production net de la faune de fond des cours d'eau (LaPerriere, 1981).

$$(2) \text{ Taux de dérive (ind/10 min)} = \frac{N * D}{d}$$

N, nombre total d'organismes dérivant (ind)  
D, la hauteur du filet en m  
d, la profondeur d'eau échantillonnée en m

Ces deux paramètres seront particulièrement analysés selon les paramètres intensité lumineuse, température de l'eau et vitesse de courant. De plus, une analyse supplémentaire sur la température de l'eau et le nombre de taxons sera également effectuée.

Concernant les analyses de composition, de taux de dérive, de densité de dérive selon le jour et la nuit, les résultats seront moyennés selon les échantillons prélevés à minuit ou à midi, ce qui fait un total de 3 échantillons moyennés le jour et 3 échantillons la nuit pour chaque site.

Ensuite, un test statistique de Wilcoxon sera réalisé sur la composition des échantillons de dérive afin de comparer pour chaque site, si la composition est la même entre le jour et la nuit. Le test de Wilcoxon est un test non-paramétrique de comparaison entre deux échantillons comportant moins de 30 données appariées. Lors de ce test, la table de Wilcoxon est utilisée (Annexe 3).

Enfin, une analyse entre les différents paramètres intensité lumineuse, température de l'eau et température de l'air sera également effectuée puisque ces trois paramètres sont étroitement liés.

### 3.5) Déroulé du stage

Concernant le déroulé du stage, celui-ci a principalement commencé par la visite des locaux, la rencontre du personnel et les règles de sécurité au sein du laboratoire. Ensuite, le superviseur s'est assuré de ma prise en main du matériel dans le laboratoire puis 20 jours de travail sur le tri et l'identification des invertébrés ont été effectués. Ensuite, le début du rapport écrit a commencé avec de nombreuses recherches bibliographiques sur le sujet de la dérive des invertébrés et tous les autres thèmes abordés dans ce rapport. Une fois les données terrain, température et luminosité récupérées, l'analyse des résultats a pu débuter. Enfin, quelques activités parallèles m'ont été proposées comme assister à une pêche électrique de juvéniles d'ombles chevaliers. Le déroulement précis et le temps de travail alloué à chaque tâche sont visibles dans un diagramme de Gantt (Figure 11) et dans le Tableau 2. D'autre part, ce présent rapport a été envoyé au superviseur de stage en version anglaise en guise de rapport. Ce rapport étant le même que la version anglaise, il n'a donc pas été mis en annexe.

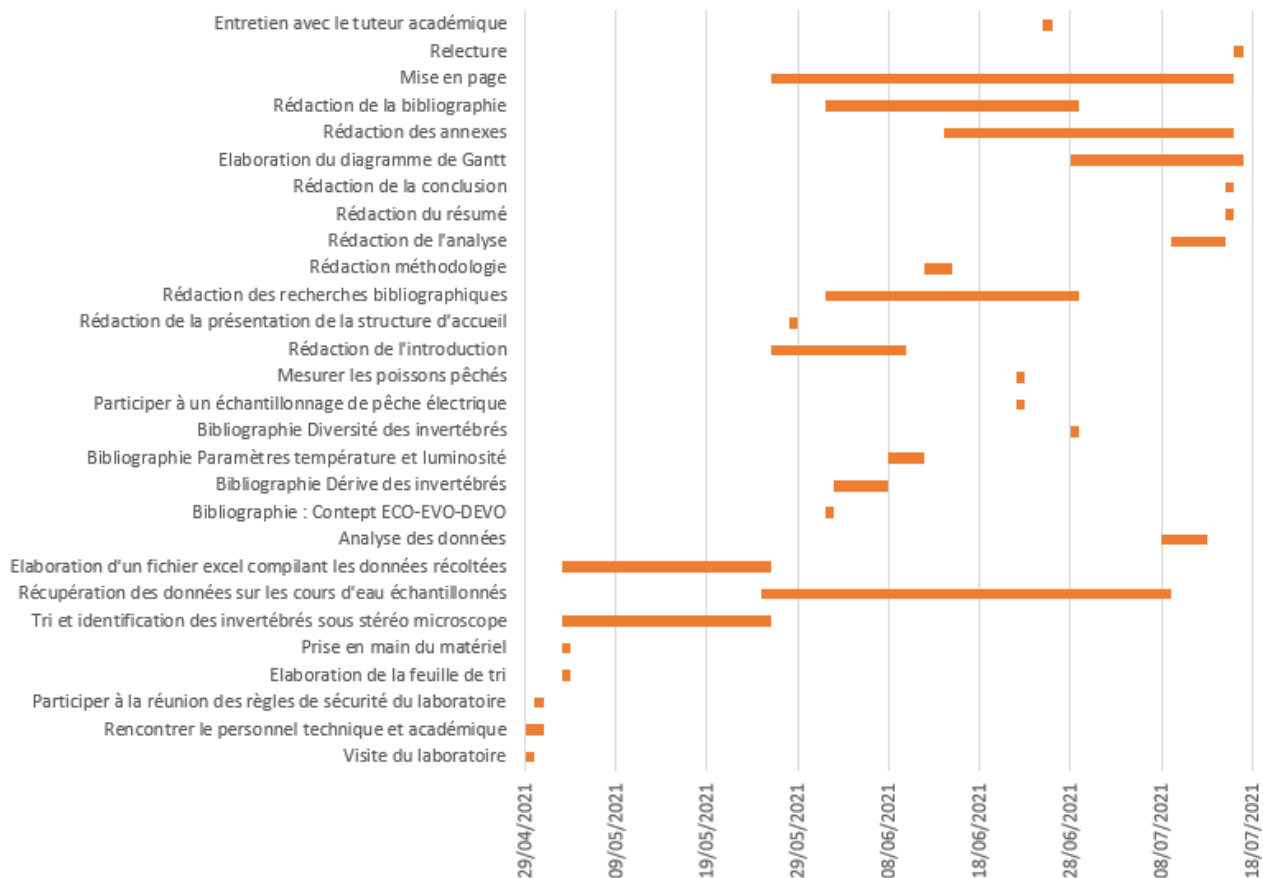


Figure 11 : Diagramme de Gantt du déroulé du stage

Tableau 2 : Liste et durée des tâches effectuées durant le stage

| Projet        |                                                                | Abondance et composition des invertébrés dans des cours d'eau présentant des profils de température et d'intensité lumineuse contrastés |       |             |             |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|-------------|
| Date de début |                                                                | jeudi, avril 29, 2021                                                                                                                   |       |             |             |
| Date de fin   |                                                                | dimanche, juillet 18, 2021                                                                                                              |       |             |             |
| Réf           | Tâches                                                         | Date de début                                                                                                                           | Durée | Date de fin | Réalisation |
| 1             | Visite des locaux                                              | 29/04/2021                                                                                                                              | 13h   | 30/04/2021  | 100%        |
| 1.1           | Visite du laboratoire                                          | 29/04/2021                                                                                                                              | 3 h   | 29/04/2021  | 100%        |
| 1.2           | Rencontrer le personnel technique et académique                | 29/04/2021                                                                                                                              | 8h    | 30/04/2021  | 100%        |
| 1.3           | Participer à la réunion des règles de sécurité du laboratoire  | 30/04/2021                                                                                                                              | 2h    | 30/04/2021  | 100%        |
| 2             | Analyse des échantillons de laboratoire                        | 03/05/2021                                                                                                                              | 211h  | 12/07/2021  | 100%        |
| 2.1           | Elaboration de la feuille de tri                               | 03/05/2021                                                                                                                              | 1 h   | 03/05/2021  | 100%        |
| 2.2           | Prise en main du matériel                                      | 03/05/2021                                                                                                                              | 3 h   | 03/05/2021  | 100%        |
| 2.3           | Tri et identification des invertébrés sous stéréomicroscope    | 03/05/2021                                                                                                                              | 186 h | 25/05/2021  | 100%        |
| 2.4           | Récupération des données sur les cours d'eau échantillonnés    | 25/05/2021                                                                                                                              | 4h    | 08/07/2021  | 100%        |
| 2.5           | Elaboration d'un fichier excel compilant les données récoltées | 03/05/2021                                                                                                                              | 3h    | 25/05/2021  | 100%        |
| 2.6           | Analyse des données                                            | 08/07/2021                                                                                                                              | 14h   | 12/07/2021  | 100%        |
| 3             | Recherches bibliographiques                                    | 01/06/2021                                                                                                                              | 36h   | 28/06/2021  | 100%        |
| 3.1           | Concept ECO-EVO-DEVO                                           | 01/06/2021                                                                                                                              | 8h    | 01/06/2021  | 100%        |
| 3.2           | Dérive des invertébrés                                         | 02/06/2021                                                                                                                              | 12h   | 07/06/2021  | 100%        |
| 3.3           | Paramètres température et luminosité                           | 08/06/2021                                                                                                                              | 9h    | 11/06/2021  | 100%        |
| 3.4           | Diversité des invertébrés dans les cours d'eau d'Islande       | 28/06/2021                                                                                                                              | 7h    | 28/06/2021  | 100%        |
| 4             | Sorties Terrain                                                | 22/06/2021                                                                                                                              | 9h    | 22/06/2021  | 100%        |
| 4.1           | Participer à un échantillonnage de pêche électrique            | 22/06/2021                                                                                                                              | 8h    | 22/06/2021  | 100%        |
| 4.2           | Mesurer les poissons pêchés                                    | 22/06/2021                                                                                                                              | 1h    | 22/06/2021  | 100%        |
| 5             | Rapport de stage                                               | 26/05/2021                                                                                                                              | 138h  | 29/04/2021  | 100%        |
| 5.1           | Rédaction de l'introduction                                    | 26/05/2021                                                                                                                              | 9h    | 09/06/2021  | 100%        |
| 5.2           | Rédaction de la présentation de la structure d'accueil         | 28/05/2021                                                                                                                              | 3h    | 28/05/2021  | 100%        |
| 5.3           | Rédaction des recherches bibliographiques                      | 01/06/2021                                                                                                                              | 50 h  | 28/06/2021  | 100%        |
| 5.4           | Rédaction méthodologie                                         | 12/06/2021                                                                                                                              | 14h   | 14/06/2021  | 100%        |
| 5.5           | Rédaction de l'analyse                                         | 09/07/2021                                                                                                                              | 30h   | 14/07/2021  | 100%        |
| 5.6           | Rédaction du résumé                                            | 15/07/2021                                                                                                                              | 2h    | 15/07/2021  | 100%        |
| 5.7           | Rédaction de la conclusion                                     | 15/07/2021                                                                                                                              | 2h    | 15/07/2021  | 100%        |
| 5.8           | Elaboration du diagramme de Gantt                              | 28/06/2021                                                                                                                              | 4h    | 16/07/2021  | 100%        |
| 5.9           | Rédaction des annexes                                          | 14/06/2021                                                                                                                              | 5h    | 15/07/2021  | 100%        |
| 5.10          | Rédaction de la bibliographie                                  | 01/06/2021                                                                                                                              | 7h    | 28/06/2021  | 100%        |
| 5.11          | Mise en page                                                   | 26/05/2021                                                                                                                              | 10h   | 15/07/2021  | 100%        |
| 5.12          | Relecture                                                      | 16/07/2021                                                                                                                              | 8h    | 16/07/2021  | 100%        |
| 5.13          | Entretien avec le tuteur académique                            | 25/06/2021                                                                                                                              | 1h    | 25/06/2021  | 100%        |

## IV – Résultats

L'analyse de la composition des échantillons de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées (Figure 12), montre que les taxons dominants dans la plupart des cours d'eau sont les *Chironomidae* (42.3% en moyenne), suivis des *Copepoda* (11.7 %), des *Acarina* (10.1%), des *Ostracoda* (8.6 %), des *Oligochaeta* (8.3%), des *Cladocera* (6.7 %) et des *Collembola* (1.7%). Les autres taxons quant à eux, représentent chacun moins de 1 % des invertébrés récupérés dans les échantillons de dérive. Il est à noter que seul le site Myllulaekur, présente une faible proportion de *Chironomidae* (9.3 %) par rapport au zooplancton qui représente 81.9 % de l'échantillon en moyenne (*Copepoda* 36.6%, *Ostracoda* 25.6% et *Cladocera* 19.7%).

Les échantillons de dérive ne comportent par ailleurs pas que des invertébrés aquatiques, des invertébrés terrestres ont également été retrouvés tels que les taxons *Syrphidae*, *Hymenoptera*, *Heteroptera*, *Hemiptera*, *Staphylinidae*, *Collembola*, ...

Des photographies des taxons identifiés au stéréo microscope sont disponibles en Annexe 4.

Pour chaque site étudié, les échantillons ne présentent pas de grandes disparités, ils ne diffèrent pas significativement dans leur composition entre le jour et de la nuit (test de Wilcoxon,  $p > 0.05$  pour tous les sites sauf Grímsá où  $p > 0.1$  étant donné la faible taille de l'échantillon). Le détail du test statistique réalisé est disponible en Annexe 5.

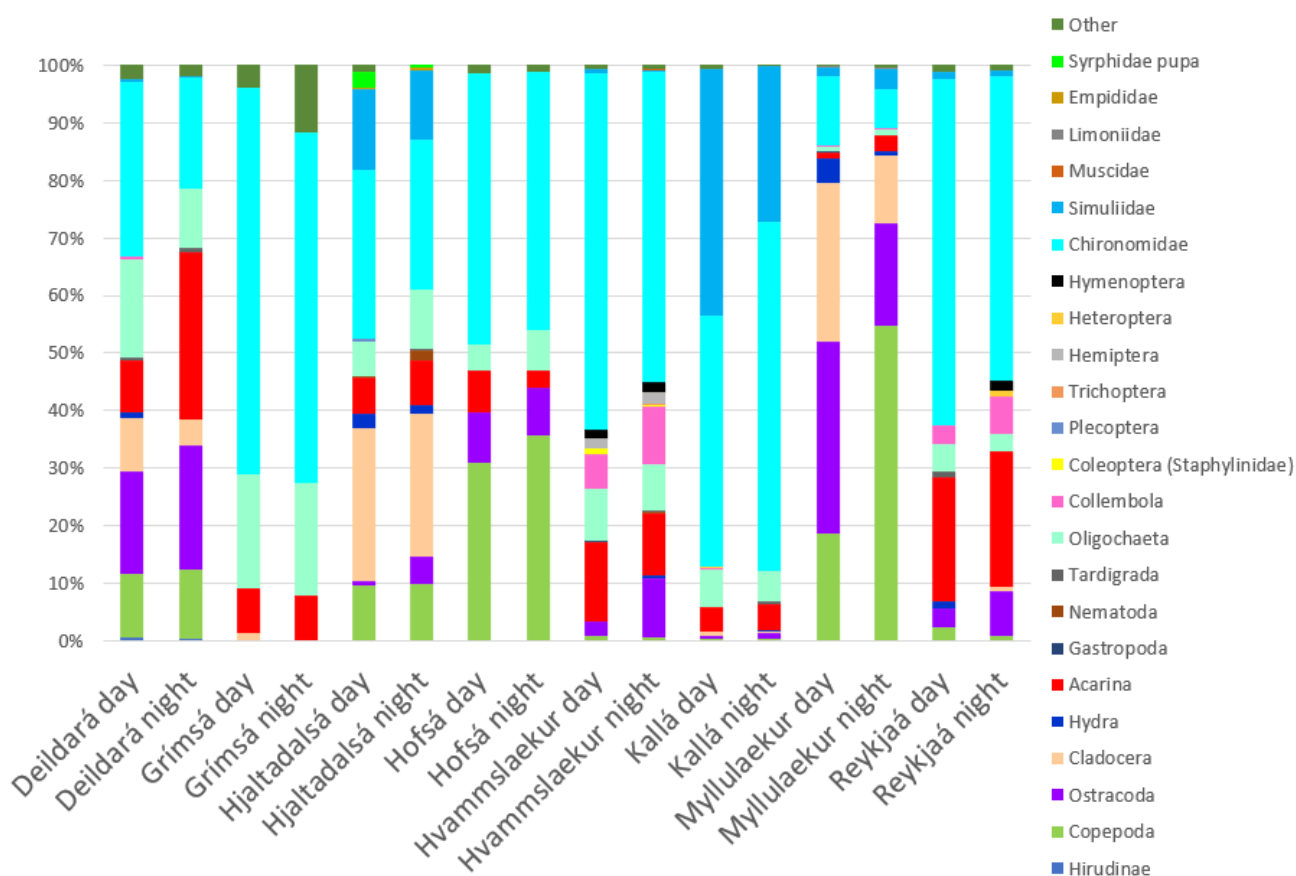


Figure 12 : Composition des échantillons de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées en fonction du jour et de la nuit

Concernant la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés pour les différents cours d'eau étudiés (Figure 13), ceux-ci décrivent la même évolution. Les cours d'eau Kallá, Myllulaekur et Hvammslaekur présentent les taux de dérive les plus élevés parmi les huit rivières étudiées. D'autre part, la densité de dérive des invertébrés et les taux de dérive sont globalement plus élevés la nuit que le jour (hormis Grímsá).

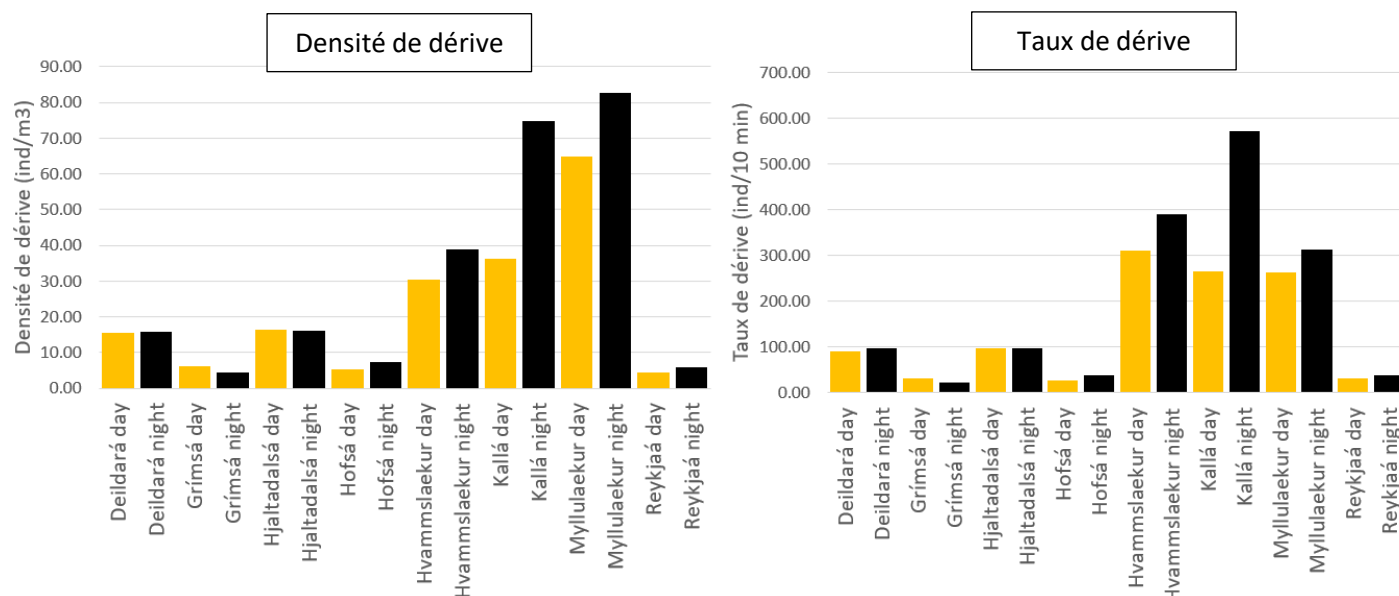


Figure 13 : Densité de dérive et Taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées en fonction du jour et de la nuit.

Ainsi, en ce qui concerne l'analyse de l'impact de l'intensité lumineuse sur les échantillons de dérive, il est remarqué que pour tous les sites hormis Grímsá, plus l'intensité lumineuse est élevée, plus la densité de dérive et le taux de dérive diminuent (Figure 14). D'un point de vue global en revanche, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une corrélation linéaire entre l'intensité lumineuse et la densité de dérive ou le taux de dérive, d'autant plus que l'évolution de l'intensité lumineuse est quasiment identique entre les différents sites (Figure 15 et Annexe 6). D'autre part, d'un point de vue plus local visible en Annexe 7, l'influence de la luminosité sur la densité de dérive pour chaque site semble suivre l'analyse globale.

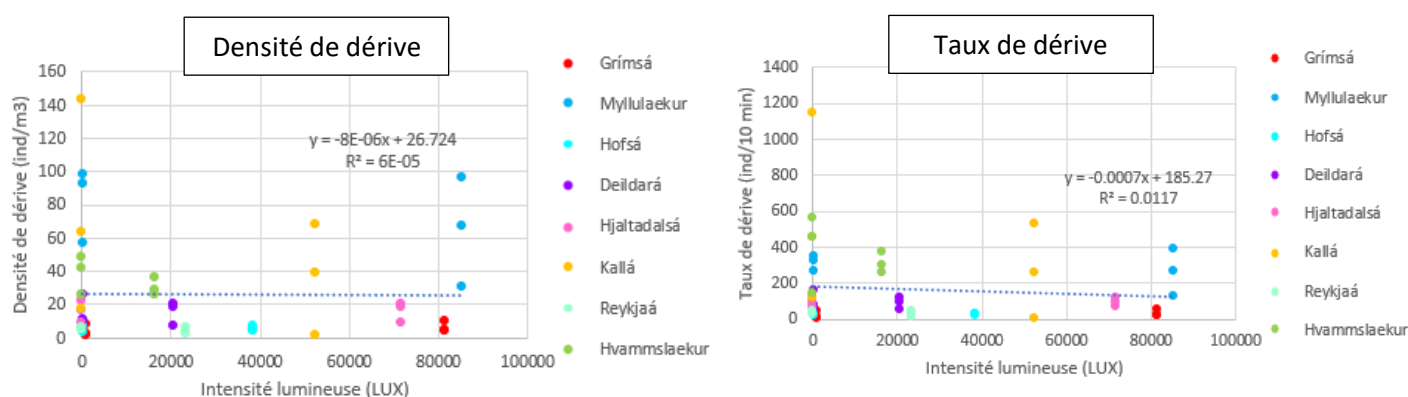


Figure 14 : Influence de l'intensité lumineuse sur la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées.

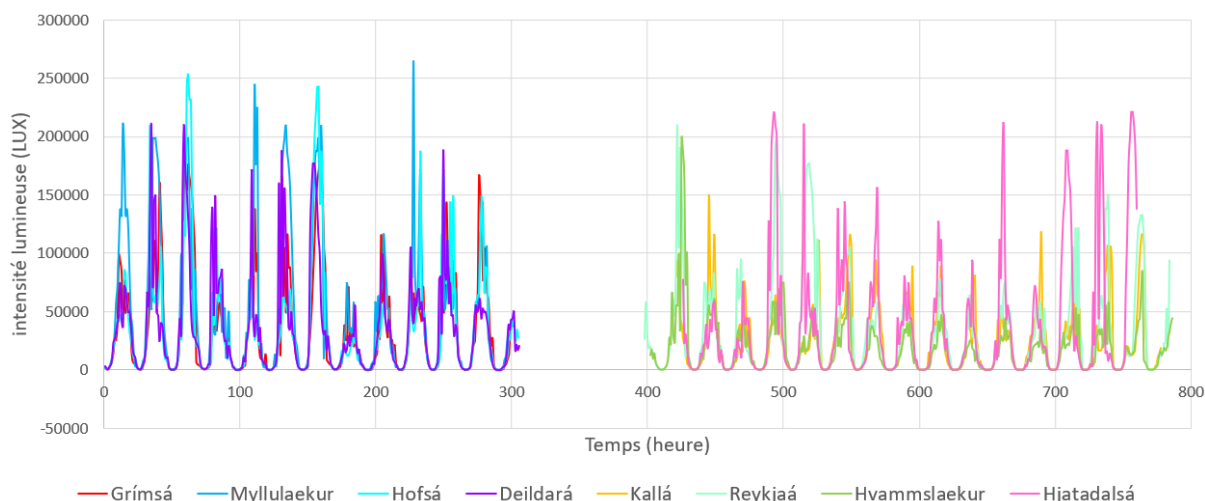


Figure 15 : Comparaison de l'évolution de l'intensité lumineuse des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00.

Concernant l'analyse de l'impact de la température de l'eau sur les échantillons de dérive, il semblerait que globalement, plus la température de l'eau est élevée plus la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés l'est aussi (Figure 16). Quand bien même, cette relation linéaire serait tout de même très faible, puisque le coefficient de corrélation n'est que de 0.38 pour la densité de dérive et 0.13 pour le taux de dérive. Par ailleurs, l'évolution de la température de l'eau est quasiment identique entre les différents sites, de manière plus ou moins intense. Néanmoins, les différents cours d'eau ne présentent pas exactement les mêmes gammes de température, Myllulaekur et Kallá étant les cours d'eau les plus chauds, Hofsa et Deildará étant les plus froids (Figure 17 et Annexe 6). D'autre part, l'influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons est très disparate selon les sites Annexe 8.

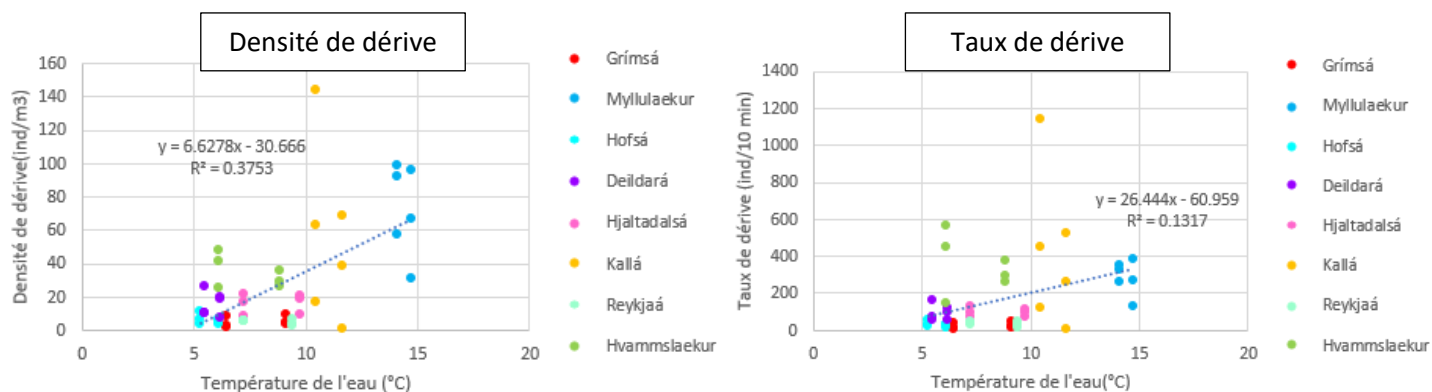


Figure 16 : Influence de la température de l'eau sur la densité de dérive et le taux de dérive des invertébrés pour les différentes rivières étudiées.

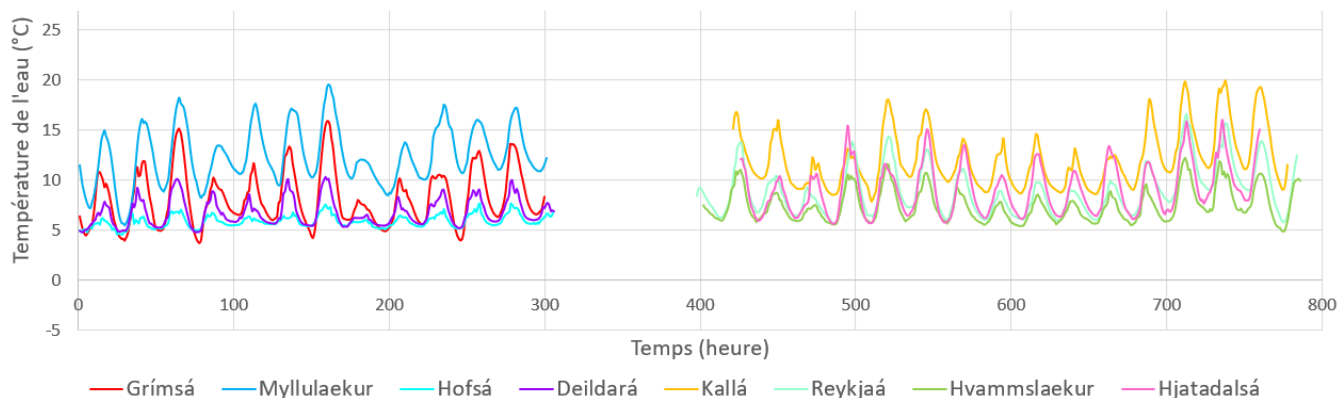


Figure 17 : Comparaison de l'évolution de la température de l'eau des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00.

Concernant la diversité des invertébrés, il semblerait que globalement, plus la température de l'eau est élevée plus le nombre de taxons l'est aussi (Figure 18). Quand bien même, cette relation linéaire serait tout de même très faible, puisque le coefficient de corrélation n'est que de 0.05. Des graphiques plus détaillés sur l'influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons pour chaque site sont disponibles en Annexe 9.

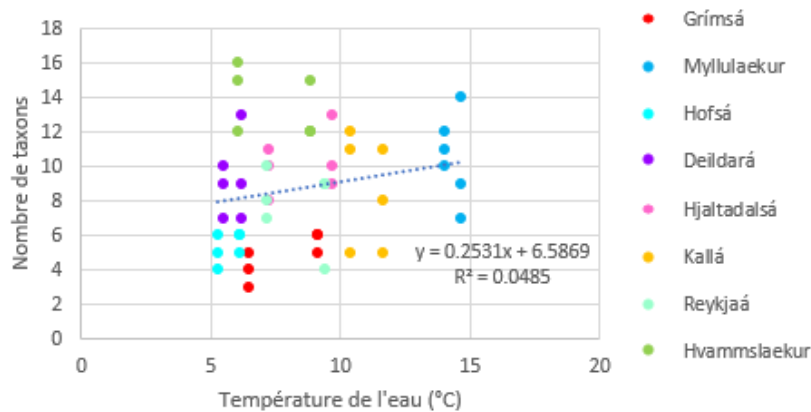


Figure 18 : Influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons pour les différentes rivières étudiées.

La vitesse du courant est un des paramètres qui induit le plus souvent l'augmentation du phénomène de dérive, par conséquent, une analyse sur l'influence du courant sur la densité de dérive et le taux de dérive a également été effectuée (Figure 19). Ainsi, il est remarqué que plus le courant est fort, plus le taux de dérive des invertébrés augmente. La relation linéaire qui en ressort serait tout de même assez faible, puisque le coefficient de corrélation n'est seulement que de 0.16, toutefois, cela est toujours plus que l'influence de la vitesse du courant sur la densité de dérive. De plus, la température de l'eau semble avoir un plus fort impact que la vitesse du courant pour la densité de dérive au regard de leur coefficient de corrélation (Figure 16, Figure 19). D'autre part, d'un point de vue plus local visible en Annexe 10, certains cours d'eau semblent avoir été assez influencés par la vitesse de courant, c'est notamment le cas de Kallá et de Grímsá.

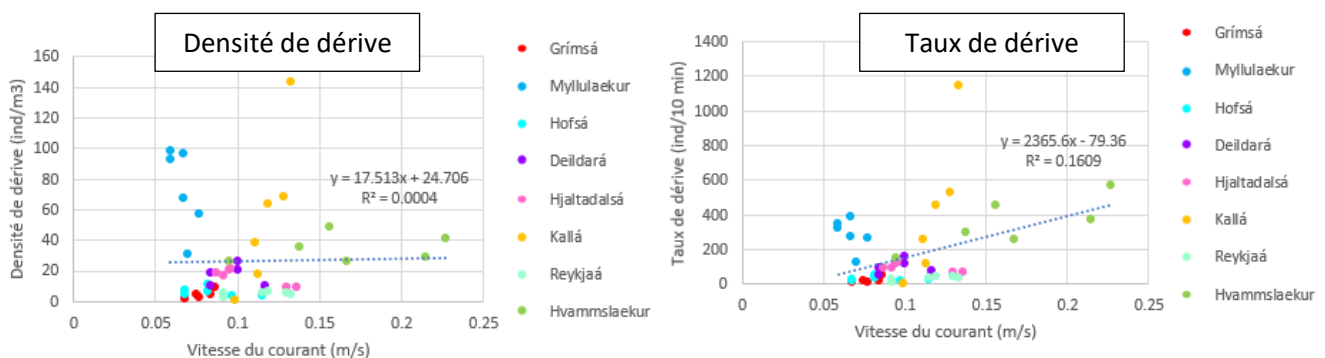


Figure 19 : Influence de la vitesse du courant sur la densité de dérive et le taux de dérive pour les différentes rivières étudiées.

Concernant l'analyse entre les différents paramètres, intensité lumineuse et température de l'eau, il a déjà été remarqué qu'à l'instar de l'intensité lumineuse, la température de l'eau suit la même évolution entre les différents sites. En revanche, si l'intensité lumineuse a globalement le même ordre de grandeur, ce n'est pas le cas de la température de l'eau, qui évolue de manière plus ou moins intense selon les sites. L'évolution de la température de l'air (Figure 20), montre également une évolution similaire et de même intensité entre les différents sites.

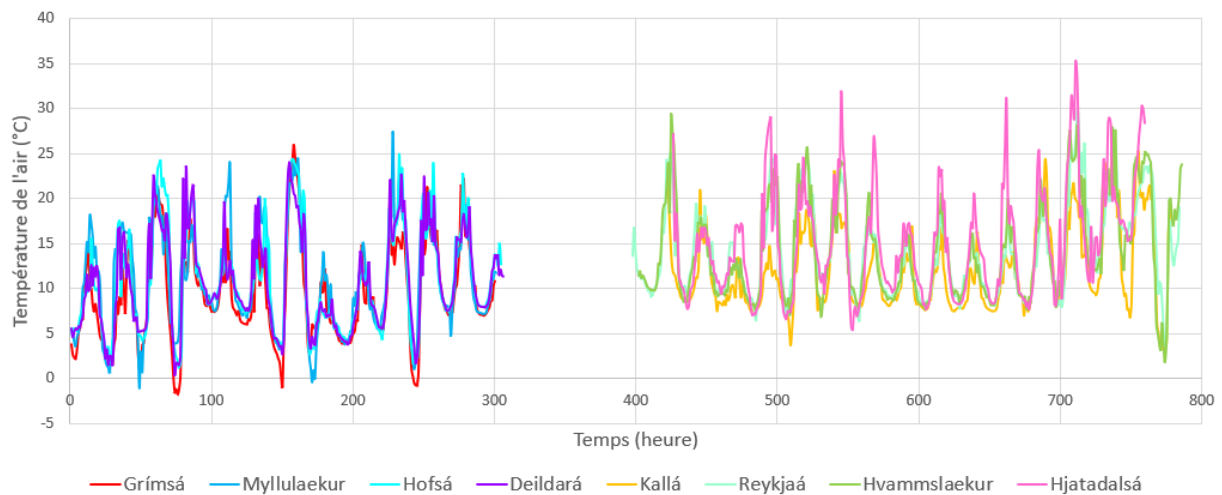


Figure 20 : Comparaison de l'évolution de la température de l'air des différentes rivières étudiées du 30 juin 2019 à 00:00 au 1 août 2019 à 17:00

L'analyse de la température de l'eau en fonction de la température de l'air montre de manière générale que plus la température de l'air est élevée, plus la température de l'eau l'est aussi, avec un coefficient de relation de 0.26 pour l'analyse globale (Figure 21). En revanche, d'un point de vue plus local (Annexe 11), la température de l'eau est grandement influencée par la température de l'air pour tous les cours d'eau sauf Myllulaekur.

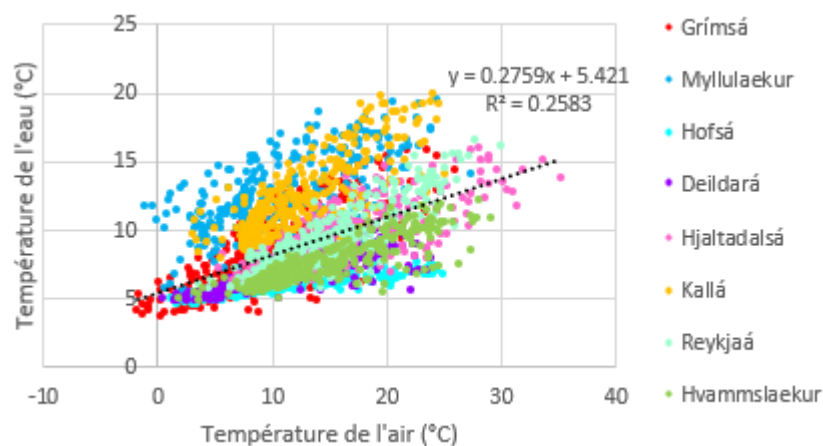


Figure 21 : Température de l'eau en fonction de la température de l'air pour les différents sites étudiés.

Enfin, l'analyse de la température de l'eau et de l'air en fonction de l'intensité lumineuse montre de manière générale que plus la luminosité est élevée, plus les températures de l'eau et de l'air le sont aussi, avec un coefficient de relation de 0.16 pour la température de l'eau et de 0.47 pour la température de l'air (Figure 22). D'un point de vue plus local (Annexe 12), le même phénomène est observé pour tous les cours d'eau.

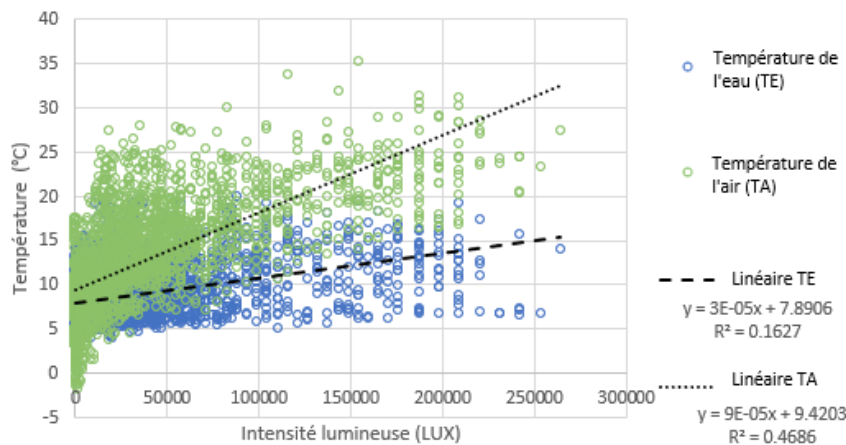


Figure 22 : Température de l'eau et de l'air en fonction de l'intensité lumineuse pour les différents sites étudiés.

## V - Discussion et conclusion

Le but de ce projet était d'analyser la composition et l'abondance des invertébrés vis-à-vis de la température et de la luminosité.

À la vue des résultats, plus la température de l'eau est élevée, plus le nombre de taxons ainsi que le taux de dérive et la densité de dérive sont élevés. Cela indiquerait que les rivières les plus chaudes seraient les plus productives en matière d'invertébrés.

D'autre part, la luminosité influencerait bien le taux de dérive et la densité de dérive puisque ceux-ci sont beaucoup plus élevés la nuit que le jour. En revanche, ce facteur est secondaire vis-à-vis de la température de l'eau.

Concernant la vitesse du courant, celui-ci a été un facteur influençant la densité et le taux de dérive. Par conséquent, il est difficile d'évaluer concrètement le niveau et l'impact direct de la température de l'eau et de la luminosité sur la dérive des invertébrés.

D'autre part, il s'avère que le site Myllulaekur est un des sites les plus productifs en matière d'invertébrés, il est à noter que le point d'échantillonnage se situe juste à l'aval d'un lac, avec de plus faibles vitesses de courant. C'est pourquoi ces eaux sont plus chaudes, et plus abondantes en termes d'invertébrés.

En ce qui concerne, les corrélations linéaires des paramètres étudiés vis-à-vis du taux de dérive et de la densité de dérive ceux-ci étaient relativement faibles et inférieurs à un  $R^2=0,40$ . D'un point de vue biologique et écologique, pour obtenir un résultat plus fiable et espérer se rapprocher d'un  $R^2=1$ , il faudrait prendre en compte tous les paramètres et variables présents dans l'environnement, ce qui s'avérerait fort complexe. Ainsi, malgré les  $R^2$  assez faibles dans cette étude, ils pourraient tout de même être significatifs. Il serait donc recommandé d'effectuer d'autres analyses en incluant plus de paramètres afin d'améliorer les résultats.

Ensuite, au regard des analyses température de l'eau et température de l'air, certains sites voient leur température de l'eau évoluer faiblement en fonction de la température de l'air, comme c'est notamment le cas du site Hofsá. Par conséquent, ce site pourrait se situer près d'une source, ce qui pourrait expliquer ces variations de température de faible intensité. Le fait que ce phénomène se produise pourrait traduire la conséquence d'un autre effet : le River Continuum Concept (Vannote et al., 1980), concept selon lequel, les organismes auraient une distribution spatiale le long du continuum fluvial en fonction de leur groupe fonctionnel (Figure 23).

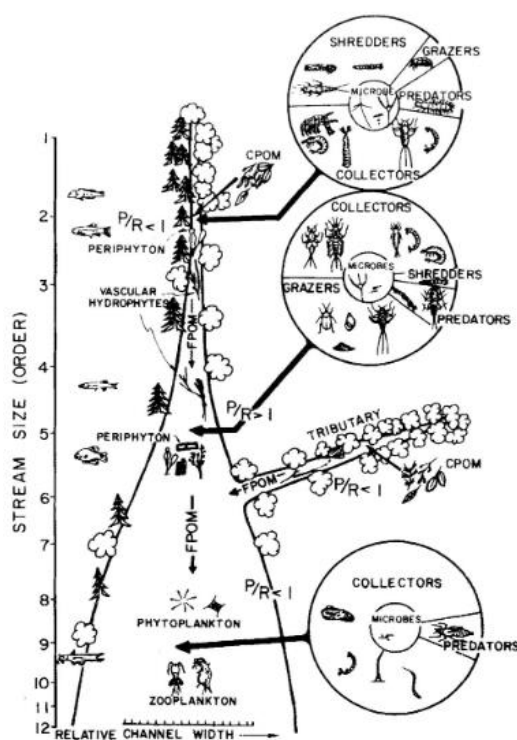


Figure 23 : Schéma du River Continuum Concept, (Vannote et al., 1980)

Ces groupes fonctionnels sont au nombre de quatre : les prédateurs, les collecteurs, les brouteurs et les broyeurs.

Les prédateurs (Coleoptera, Heteroptera, ...), se nourrissent d'autres organismes. Les collecteurs (Simuliidae, Chironomidae, Nematoda, ...) se nourrissent de matière organique en suspension dans l'eau ou piégée sur les substrats. Les brouteurs (Gasteropoda, ...) sont les organismes qui se nourrissent de ce qui se trouve sur le substrat exclusivement (algues, microorganismes, ...). Enfin, les broyeurs sont les organismes qui se nourrissent de matière organique déchetée (Amphipoda, Ephemeroptera, Plecoptera, ...).

Ainsi, pour limiter cet effet, il serait intéressant d'effectuer ces expériences sur de nouveaux prélèvements d'invertébrés à un même niveau longitudinal de cours d'eau. Cela permettrait de centrer les effets sur la température de l'eau et d'aboutir à des résultats plus comparables en termes de composition et de dérive.

D'autre part, concernant l'échantillonnage des invertébrés, celui-ci n'est pas suffisant puisqu'il ne permet que d'analyser deux données de température et d'intensité lumineuse pour chaque site. Afin d'avoir une analyse plus précise de la dérive des invertébrés en fonction de la température de l'eau et de la luminosité, il serait intéressant d'effectuer plus de mesures. Dans l'article "*Methods of sampling invertebrate drift in running water*", (Elliott, 1970), il est préconisé que l'échantillonnage de dérive pour une analyse d'activité nyctémérale doit être effectuée à minima toutes les 3 heures à intervalles réguliers et que la période d'échantillonnage doit être la plus courte possible. De plus, les organismes peuvent être plus ou moins présents à un endroit donné à un moment donné, il serait donc intéressant d'échantillonner ou du moins d'estimer les taux de dérive sur la largeur totale du cours d'eau. Une méthode qui pourrait être mise en place pourrait être d'installer des filets de dérive sur toute la largeur d'un cours d'eau et d'estimer la dérive totale d'un prime abord. La dérive totale est le nombre total d'invertébrés échantillonnés, par unité de temps et divisé par le débit total (Elliott, 1970). Ensuite, il s'agirait de calculer le rapport entre le nombre d'invertébrés échantillonnés et la dérive totale, en supposant que ce rapport reste constant pendant la période d'échantillonnage (Elliott, 1970). Enfin, pour chaque échantillon effectué par la suite, il s'agirait d'estimer la dérive totale de l'échantillon en effectuant le produit du rapport précédemment cité avec le nombre d'invertébrés présents dans le filet de dérive (Elliott, 1970). Cependant, il est à noter que cette méthode, serait laborieuse pour des cours d'eau larges.

De plus, les échantillons pourraient être identifiés à un même niveau taxonomique (genre ou espèces), afin de décrire les peuplements de manière plus précise : richesse spécifique, diversité spécifique, diversité maximale, diversité minimale, équitabilité, indices de dominance, etc.

Enfin, des analyses statistiques multivariées pourraient également être effectuées ultérieurement, afin d'analyser le degré de liaison et d'influence des paramètres température de l'eau et l'intensité lumineuse sur la densité de dérive et le taux de dérive.

## VI – Retour sur expérience

Ce stage de recherche m’a beaucoup appris sur les invertébrés. Cela conforte mon choix de poursuivre dans ce domaine. Cependant, la recherche en tant que telle, n’est pas un secteur vers lequel je souhaite m’orienter. J’envisage plutôt d’étudier les invertébrés en tant qu’indice de qualité des cours d’eau afin de contribuer à améliorer par la suite, les conditions du cours d’eau par des projets de restauration, et d’évaluer leurs impacts sur les macroinvertébrés avant et après aménagement. Par ailleurs, je souhaiterais souligner que dans tout projet, une bonne communication entre les différents acteurs est essentielle. En effet, durant ce stage, les contacts avec mon superviseur local se sont limités à 4 entrevues et quelques emails, et les données de température, de vitesse de courant et de luminosité des cours d’eau ne m’ont été transmises que très tardivement. Cela a engendré un retard dans l’analyse des données, ainsi que la rédaction finale de ce rapport. Pour autant, ce stage a été très enrichissant sur le plan professionnel et personnel et m’a permis d’acquérir de précieuses connaissances.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bishop, J. E. (1969). Light Control of Aquatic Insect Activity and Drift. *Ecology*, 50(3), 371–380.  
<https://doi.org/10.2307/1933885>
- Brittain, J. E., & Eikeland, T. J. (1988). Invertebrate drift ? A review. *Hydrobiologia*, 166(1), 77–93.  
<https://doi.org/10.1007/BF00017485>
- Bullock, T. H. (1955). COMPENSATION FOR TEMPERATURE IN THE METABOLISM AND ACTIVITY OF POIKILOTHERMS. *Biological Reviews*, 30(3), 311–342. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1955.tb01211.x>
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012).  
<https://www.cnrtl.fr/definition/ph%C3%A9notype>
- Danks, H. V., & Oliver, D. R. (1972). DIEL PERIODICITIES OF EMERGENCE OF SOME HIGH ARCTIC CHIRONOMIDAE (DIPTERA). *The Canadian Entomologist*, 104(6), 903–916.  
<https://doi.org/10.4039/Ent104903-6>
- Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life* (The origin of species).  
[https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Darwin/darwin\\_de\\_l\\_origine\\_des\\_especies.pdf](https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Darwin/darwin_de_l_origine_des_especies.pdf)
- Dictionnaire Environnement. (2021). [https://www.dictionnaire-environnement.com/processus\\_ecologiques\\_ID2880.html](https://www.dictionnaire-environnement.com/processus_ecologiques_ID2880.html)
- Diehl, S. (1988). Foraging Efficiency of Three Freshwater Fishes: Effects of Structural Complexity and Light. *Oikos*, 53(2), 207. <https://doi.org/10.2307/3566064>
- Dill, W. A. (1990). Iceland. In *Inland fisheries of Europe* (Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Vol. 52, p. 471).  
<http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/009/T0377E/T0377E14.htm#ch12>
- Elliott, J. M. (1970). Methods of sampling invertebrate drift in running water. *Annales de Limnologie*, 6(2), 133–159. <https://doi.org/10.1051/limn/1970017>
- Fingerle, A., Larranaga, N., & Steingrímsson, S. Ó. (2016). Density-dependent diel activity in stream-dwelling Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Ecology and Evolution*, 6(12), 3965–3976.  
<https://doi.org/10.1002/ece3.2177>

- Gilliam, J. F., & Fraser, D. F. (1987). Habitat Selection Under Predation Hazard: Test of a Model with Foraging Minnows. *Ecology*, 68(6), 1856–1862. <https://doi.org/10.2307/1939877>
- Government of Iceland. (2020a). *Energy*. <https://www.government.is/topics/business-and-industry/energy/>
- Government of Iceland. (2020b). *Water*. <https://www.government.is/topics/environment-climate-and-nature-protection/water/>
- Gunnarsson, G. S., & Steingrímsson, S. Ó. (2011). Contrasting patterns of territoriality and foraging mode in two stream-dwelling salmonids, Arctic char ( *Salvelinus alpinus* ) and brown trout ( *Salmo trutta* ). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(12), 2090–2100. <https://doi.org/10.1139/f2011-127>
- Holt, C. S., & Waters, T. F. (1967). Effect of Light Intensity on the Drift of Stream Invertebrates. *Ecology*, 48(2), 225–234. <https://doi.org/10.2307/1933104>
- Huffaker, C. B. (1944). The Temperature Relations Of The Immature Stages Of The Malarial Mosquito, *Anopheles Quadrimaculatus* Say, With A Comparison Of The Developmental Power Of Constant And Variable Temperatures In Insect Metabolism<sup>1,2</sup>. *Annals of the Entomological Society of America*, 37(1), 1–27. <https://doi.org/10.1093/aesa/37.1.1>
- Institut Français de l'éducation. (2016). *Disponibilités et Prélèvements d'eau douce dans le monde — Eduterre*. <http://eduterre.ens-lyon.fr/ressources/scenario1/planetebleue/savoir-plus1>
- Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: The influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38(2), 247–261. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x>
- Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., McCall, D. W., & Patel, C. K. (1992). Industrial ecology: Concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(3), 793–797. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.3.793>
- Kreiling, A.-K. (2020). *Invertebrate Diversity in Icelandic Freshwater Springs* [Faculty of Life and Environmental Science University of Iceland]. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivyarJgbrxAhULrKQKHYk6AAoQFjALegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fopinvisindi.is%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.11815%2F2087%2FKreiling%25202020%2520Thesis%2520Invertebrate%2520diversity%2520in%2520Icelandic%2520springs.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw1KC\\_XHXmCD9Ao\\_mRpBQ\\_iP](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivyarJgbrxAhULrKQKHYk6AAoQFjALegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fopinvisindi.is%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.11815%2F2087%2FKreiling%25202020%2520Thesis%2520Invertebrate%2520diversity%2520in%2520Icelandic%2520springs.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw1KC_XHXmCD9Ao_mRpBQ_iP)
- Kreiling, A.-K., O’Gorman, E. J., Pálsson, S., Benhaïm, D., Leblanc, C. A., Ólafsson, J. S., & Kristjánsson, B. K. (2020). Seasonal variation in the invertebrate community and diet of a top fish predator in a thermally stable spring. *Hydrobiologia*, 848(3), 531–545. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04409-5>
- Kronfeld-Schor, N., & Dayan, T. (2003). Partitioning of Time as an Ecological Resource. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 153–181. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132435>
- LaPerriere, J. D. (1981). *Chemical and physical influences on invertebrate drift in subarctic Alaskan streams*. Iowa State University.
- Larousse, É. (2021). *Larousse: Encyclopédie et dictionnaires gratuits en ligne*. <https://www.larousse.fr/>
- Lima, S. L., & Dill, L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: A review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, 68(4), 619–640. <https://doi.org/10.1139/z90-092>
- Ministry for the Environment, & The Icelandic Institute of Natural History. (2001). *Biological diversity in Iceland* (National Report to the Convention on Biological Diversity, pp. 1–58). <https://www.cbd.int/doc/world/is/is-nr-01-en.pdf>

- Morel, J. (2007). *Les ressources en eau sur Terre: Origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d’horizon de la littérature* (p. 30).  
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00134979/document>
- Naman, S. M., Rosenfeld, J. S., & Richardson, J. S. (2016). Causes and consequences of invertebrate drift in running waters: From individuals to populations and trophic fluxes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(8), 1292–1305. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0363>
- Neves, R. J. (1979). Movements of Larval and Adult Pycnopsyche guttifer (Walker) (Trichoptera: Limnephilidae) along Factory Brook, Massachusetts. *American Midland Naturalist*, 102(1), 51.  
<https://doi.org/10.2307/2425065>
- Nielsen, P., Ringdahl, O., & Tuxen, S. L. (1954). *Diptera 1. The Zoology of Iceland: Vol. III Part 48a* (Ejnar Munksgard).
- Ólafsson, G. A. (2012). *Drinking water and sanitation Iceland* (p. 22). Ministry of welfare.  
[https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/wat/workshops/Nordic\\_Baltic\\_Seminar\\_Oslo/7.Iceland\\_-\\_Presentation\\_Water\\_and\\_sanitation.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/wat/workshops/Nordic_Baltic_Seminar_Oslo/7.Iceland_-_Presentation_Water_and_sanitation.pdf)
- Peckarsky, B. L. (1982). Aquatic Insect Predator-Prey Relations. *BioScience*, 32(4), 261–266.  
<https://doi.org/10.2307/1308532>
- Reebs, S. G. (2002). Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Fish Biology and Fisheries*, 12, 349–371.
- Reisen, W. K. (1977). The ecology of Honey Creek, Oklahoma: Population dynamics and drifting behavior of three species of *Simulium* (Diptera: Simuliidae). *Canadian Journal of Zoology*, 55(2), 325–337. <https://doi.org/10.1139/z77-044>
- Sagoff, M. (2017). On the Definition of Ecology. *Biological Theory*, 12(2), 85–98.  
<https://doi.org/10.1007/s13752-017-0263-9>
- Skúlason, S., Parsons, K. J., Svanbäck, R., Räsänen, K., Ferguson, M. M., Adams, C. E., Amundsen, P., Bartels, P., Bean, C. W., Boughman, J. W., Englund, G., Guðbrandsson, J., Hooker, O. E., Hudson, A. G., Kahilainen, K. K., Knudsen, R., Kristjánsson, B. K., Leblanc, C. A., Jónsson, Z., ... Snorrason, S. S. (2019). A way forward with eco evo devo: An extended theory of resource polymorphism with postglacial fishes as model systems. *Biological Reviews*, 94(5), 1786–1808. <https://doi.org/10.1111/brv.12534>
- Steingrímsson, S. Ó. (2016). Diel activity in Arctic charr: Phenotypic and ecological determinants. *The Icelandic Research Fund Rannís*, 1–17.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). *INVERTÉBRÉS D’EAU DOUCE : systématique, biologie, écologie* (du CNRS).
- UArctic. (2021). *Hólar University*. UArctic - University of the Arctic. <https://www.uarctic.org/member-profiles/iceland/>
- Umhverfis stofnun. (2021). *WFD in Iceland*. Umhverfisstofnun. <https://ust.is/english/wfd-in-iceland/>
- United Nations Water. (2017). *Guide de surveillance intégrée pour l’objectif de développement durable sur l’eau et l’assainissement*. <https://www.unwater.org>
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137.  
<https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1982). Thermal Responses in the Evolutionary Ecology of Aquatic Insects. *Annual Review of Entomology*, 27(1), 97–117.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.000525>
- Waters, T. F. (1972). The Drift of Stream Insects. *Annual Review of Entomology*, 17(1), 253–272.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.17.010172.001345>

# ANNEXES

|                                                                                                                                                 |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ANNEXE 1 : Liste des invertébrés trouvés dans des sources d'eau douce d'Islande au cours de la thèse de Kreiling, (Kreiling, 2020). .....       | II    |
| ANNEXE 2 : Fiche de tri utilisée en laboratoire, (A. Goubi).....                                                                                | V     |
| ANNEXE 3 : Table de Wilcoxon utilisée pour le test de Wilcoxon.....                                                                             | VI    |
| ANNEXE 4 : Photographies de quelques organismes identifiés, (A. Goubi). .....                                                                   | VII   |
| ANNEXE 5 : Test statistique de Wilcoxon, réalisé sur la composition des invertébrés pour chaque site entre le jour et la nuit .....             | X     |
| ANNEXE 6 : Boîtes à moustaches de l'intensité lumineuse, de la température de l'eau et de la température de l'air pour chaque site étudié ..... | XIV   |
| ANNEXE 7 : Influence de l'intensité lumineuse sur la densité de dérive sur les différents sites analysés .....                                  | XV    |
| ANNEXE 8 : Influence de la température de l'eau sur la densité de dérive pour les différents sites..                                            | XVI   |
| ANNEXE 9 : Influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons pour les différents sites étudiés .....                                 | XVII  |
| ANNEXE 10 : Influence de la vitesse de courant sur la densité de dérive pour les différents sites ..                                            | XVIII |
| ANNEXE 11 : Température de l'eau en fonction de la température de l'air sur les différents sites analysés.....                                  | XIX   |
| ANNEXE 12 : Température de l'eau et de l'air en fonction de l'intensité lumineuse sur les différents sites analysés.....                        | XX    |

ANNEXE 1 : Liste des invertébrés trouvés dans des sources d'eau douce d'Islande au cours de la thèse de Kreiling, (Kreiling, 2020).

Les taxons ont été principalement identifiés sur la base de caractéristiques morphologiques, à l'exception des Clitellata, qui étaient codés à barres (COI ou 16 S).

| Taxon                                                                               | Acronym | ID Method | Reference          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|--------------------|
| GASTROPODA                                                                          | GAS     |           | Paper II           |
| <i>Radix balthica</i> (Linnaeus, 1758)                                              |         |           |                    |
| CLITELLATA                                                                          | OLI     |           | Paper II           |
| Enchytraeidae                                                                       |         |           |                    |
| <i>Cernosvitoviella aggtelekiensis</i> Dózsa-Farkas, 1970                           |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Cernosvitoviella</i> cf. <i>minor</i> Dózsa-Farkas, 1990                         |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Cernosvitoviella pusilla</i> Nurminen, 1973                                      |         | 16S; COI  | Klinth et al. 2019 |
| <i>Cognettia glandulosa</i> (Michaelsen, 1888)                                      |         | morpho    | Klinth et al. 2019 |
| <i>Cognettia varisetosa</i> (Martinsson, Rota & Erséus, 2015)                       |         | morpho    | Klinth et al. 2019 |
| <i>Enchytraeus buchholzi</i> Vejdovský, 1879                                        |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Fridericia dura</i> (Eisen, 1879)                                                |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Henlea perpusilla</i> Friend, 1911                                               |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Lumbricillus arenarius</i> (Michaelsen, 1889)                                    |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Marionina</i> cf. <i>argentea</i> (Michaelsen, 1889)                             |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Marionina</i> sp.                                                                |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Mesenchytraeus</i> cf. <i>armatus</i> (Levinsen, 1884)                           |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| Lumbricidae                                                                         |         |           |                    |
| <i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny, 1826)                                      |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Bimastos rubidus</i> s. lat. (Savigny, 1826)                                     |         | COI       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Dendrobaena octaedra</i> (Savigny, 1826)                                         |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny, 1826)                                         |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| Naididae                                                                            |         |           |                    |
| <i>Chaetogaster</i> cf. <i>diastrophus</i> (Gruithuisen, 1828)                      |         | COI; 16S  | Klinth et al. 2019 |
| <i>Chaetogaster</i> sp. = <i>langi</i> ?                                            |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Nais communis/variabilis</i> species complex, morphotype A3 (Envall et al. 2012) |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Nais elinguis</i> Müller, 1773                                                   |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Pristina foreli</i> (Piguet, 1907)                                               |         | morpho    | Klinth et al. 2019 |
| <i>Tubifex</i> cf. <i>tubifex</i> (Müller, 1774)                                    |         | 16S       | Klinth et al. 2019 |
| <i>Uncinaiis uncinata</i> (Ørsted, 1842)                                            |         | morpho    | Klinth et al. 2019 |
| TARDIGRADA                                                                          | TAR     |           | Paper II           |
| ACARI                                                                               | ACA     |           | Paper II           |
| Halacaridae                                                                         | Hal     | morpho    | Paper II           |
| Hydrachnidia                                                                        | Hyd     | morpho    | Paper II           |
| Oribatida a,b                                                                       | Ora     | morpho    | Paper II           |
| Oribatida c                                                                         | Orc     | morpho    | Paper II           |
| CLADOCERA                                                                           | CLA     | morpho    | Paper II           |

|                                                                        |     |        |                               |
|------------------------------------------------------------------------|-----|--------|-------------------------------|
| COPEPODA                                                               | COP | morpho | Paper II                      |
| OSTRACODA                                                              | OST | morpho |                               |
| <i>Bradleystrandesia affinis</i> (Fischer, 1851)                       |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Candona candida</i> (Müller, 1776)                                  |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Cryptocandona reducta</i> (Alm, 1914)                               |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Cytherissa lacustris</i> (Sars, 1863)                               |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Fabaeformiscandona</i> sp.                                          |     | morpho | Alkalaj et al. 2019           |
| <i>Heterocypris incongruens</i> (Ramdohr, 1808)                        |     | morpho | Alkalaj et al. 2019           |
| <i>Limnocythere inopinata</i> (Baird, 1843)                            |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Potamocypris fulva</i> (Brady, 1868)                                |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Potamocypris pallida</i> Alm, 1914                                  |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| <i>Potamocypris villosa</i> (Jurine, 1820)                             |     | morpho | Paper II; Alkalaj et al. 2019 |
| AMPHIPODA                                                              | AMP |        |                               |
| <i>Crangonyx islandicus</i> Svavarsson & Kristjánsson, 2006            |     | morpho | Paper II                      |
| <i>Crymostigius thingvallensis</i> Kristjánsson & Svavarsson, 2004     |     | morpho | Paper IV                      |
| COLLEMBOLA                                                             | COB |        | Paper II                      |
| PLECOPTERA                                                             | PLE | morpho | Paper II                      |
| <i>Capnia vidua</i> Klapálek, 1904                                     |     |        |                               |
| COLEOPTERA                                                             | COL | morpho | Paper II                      |
| <i>Agabus bipustulatus</i> (Linnaeus, 1767)                            |     |        |                               |
| TRICHOPTERA                                                            | TRI | morpho |                               |
| <i>Apatania zonella</i> (Zetterstedt, 1840)                            | Azo | morpho | Paper II & III                |
| <i>Limnephilus affinis</i> Curtis, 1834                                | Laf | morpho | Paper II & III                |
| <i>Limnephilus griseus</i> (Linnaeus, 1758)                            | Lgr | morpho | Paper II & III                |
| <i>Limnephilus</i> sp.                                                 | Lph | morpho | Paper II & III                |
| CHIRONOMIDAE                                                           |     |        |                               |
| Podonominae                                                            |     |        |                               |
| <i>Parochlus kiefferi</i> (Garrett, 1925)                              | Pki | morpho | Paper II                      |
| Tanypodinae                                                            |     |        |                               |
| <i>Arctopelopia</i> sp. ( <i>A. griseipennis</i> (van der Wulp, 1858)) | Arc | morpho | Paper II                      |
| <i>Macropelopia</i> sp.                                                | Mac | morpho | Paper II                      |
| <i>Procladius</i> sp. ( <i>P. islandicus</i> (Goetghebuer, 1931))      | Pro | morpho | Paper II                      |
| Diamesinae                                                             |     |        |                               |
| <i>Diamesa</i> spp.                                                    | Dia | morpho | Paper II                      |
| <i>Diamesa bohemani/zernyi</i> gr.                                     |     |        |                               |
| <i>Diamesa bertrami/latitarsis</i> gr.                                 |     |        |                               |
| <i>Diamesa tonsa/cinerella</i> gr.                                     |     |        |                               |
| <i>Pseudodiamesa</i> sp.                                               | Pse | morpho | Paper II                      |
| Orthoclaadiinae                                                        |     |        |                               |
| <i>Chaetocladius</i> spp.                                              | Cha | morpho | Paper II                      |
| <i>Coryoneura fittkau</i> Schlee, 1968                                 | Cof | morpho | Paper II                      |
| <i>Cricotopus sylvestris</i> (Fabricius, 1794)                         | Crs | morpho | Paper II                      |
| <i>Cricotopus tibialis</i> (Meigen, 1804)                              | Crt | morpho | Paper II                      |
| <i>Cricotopus</i> sp.                                                  | Cri | morpho | Paper II                      |
| <i>Eukiefferiella claripennis</i> (Lundbeck, 1898)                     | Euc | morpho | Paper II                      |

|                                                                       |     |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|--------|----------|
| <i>Eukiefferiella minor</i> (Edwards, 1929)                           | Eum | morpho | Paper II |
| <i>Heterotrissocladius</i> sp. ( <i>H. grimshawi</i> (Edwards, 1929)) | Het | morpho | Paper II |
| <i>Limnophyes</i> sp.                                                 | Lim | morpho | Paper II |
| <i>Metriocnemus eurynotus</i> (Holmgren, 1883)                        | Meu | morpho | Paper II |
| <i>Metriocnemus fuscipes</i> (Meigen, 1818)                           | Mfu | morpho | Paper II |
| <i>Orthocladius frigidus</i> (Zetterstedt, 1838)                      | Ofr | morpho | Paper II |
| <i>Orthocladius oblidens</i> (Walker, 1856)                           | Oob | morpho | Paper II |
| <i>Orthocladius</i> sp.                                               | Ort | morpho | Paper II |
| <i>Paralimnophyes</i> sp.                                             | Par | morpho | Paper II |
| <i>Rheocricotopus effusus</i> (Walker, 1856)                          | Ref | morpho | Paper II |
| <i>Smittia</i> sp.                                                    | Smi | morpho | Paper II |
| <i>Thienemanniella</i> sp. ( <i>T. clavicornis</i> (Kieffer, 1911))   | Thi | morpho | Paper II |
| Chironominae                                                          |     | morpho |          |
| <i>Chironomus</i> sp.                                                 | Chi | morpho | Paper II |
| <i>Micropsectra</i> sp.                                               | Mic | morpho | Paper II |
| SIMULIIDAE                                                            | SIM | morpho | Paper II |
| EPHYDRIDAE                                                            | EPH | morpho | Paper II |
| <i>Scatella tenuicosta</i> Collin, 1930                               |     |        |          |
| DIPTERA other                                                         | DIP | morpho | Paper II |
| NEMATODA/NEMATOMORPHA                                                 | NEM | morpho | Paper II |

---

ANNEXE 2 : Fiche de tri utilisée en laboratoire, (A. Goubi).

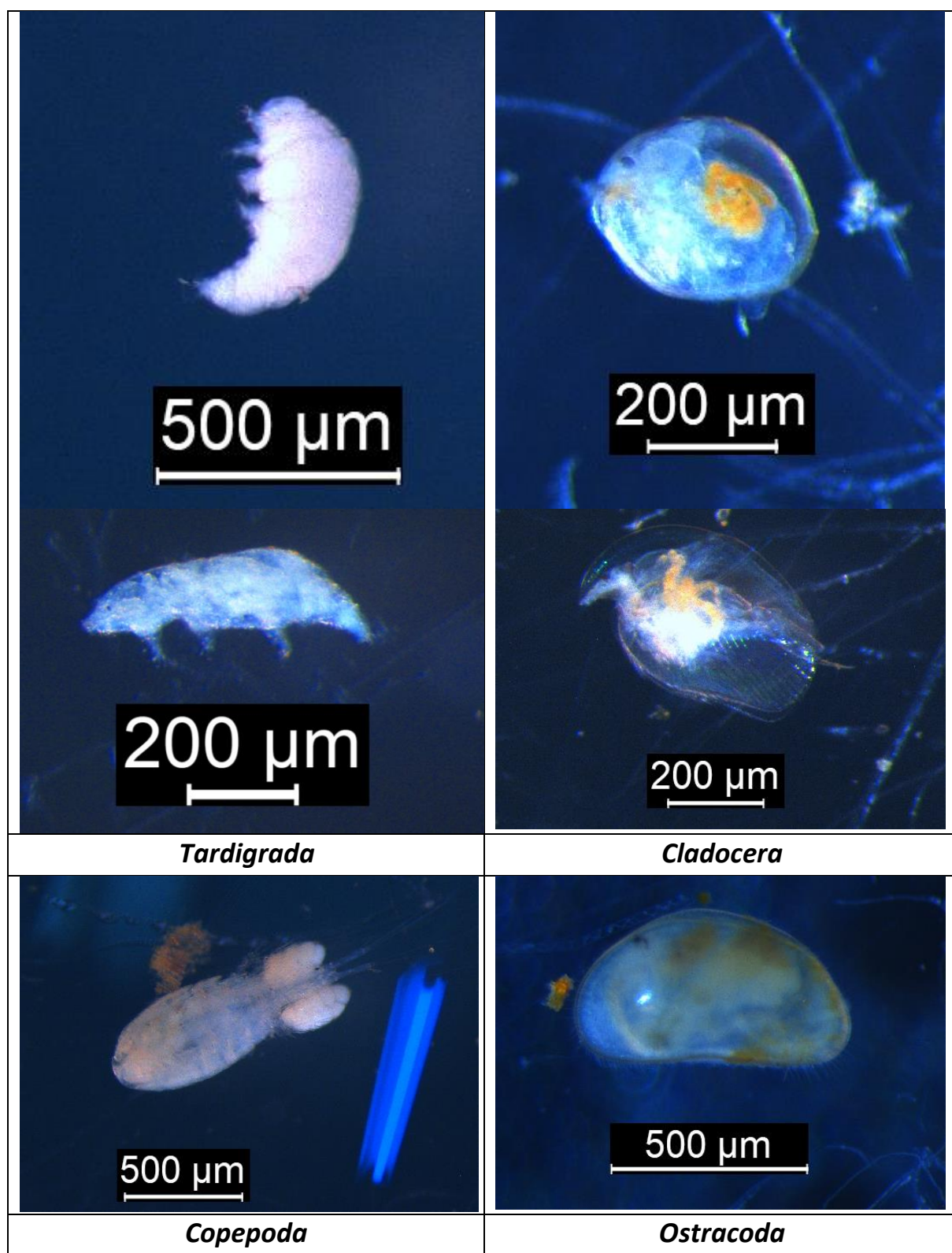
|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
| Student              |  |  |
| Analysed by          |  |  |
| Date Analyse         |  |  |
| Date Sample          |  |  |
| Time start           |  |  |
| Time end             |  |  |
| Name of the sample   |  |  |
| River                |  |  |
| Date of the sample   |  |  |
| Year of the sample   |  |  |
| Time of the sample   |  |  |
| Hirudinae            |  |  |
| Copepoda             |  |  |
| Ostracoda            |  |  |
| Cladocera            |  |  |
| Hydra                |  |  |
| Acarina              |  |  |
| Gastropoda           |  |  |
| Nematoda             |  |  |
| Tardigrada           |  |  |
| Oligochaeta          |  |  |
| Chaetogaster         |  |  |
| Collembola           |  |  |
| Coleoptera           |  |  |
| Plecoptera           |  |  |
| Trichoptera          |  |  |
| Chironomidae (larva) |  |  |
| Chironomidae (púpa)  |  |  |
| Chironomidae (adult) |  |  |
| Simuliidae (larva)   |  |  |
| Simuliidae (púpa)    |  |  |
| Muscidae             |  |  |
| Limoniidae           |  |  |
| Empididae            |  |  |
| Tipulidae            |  |  |
| Other                |  |  |

|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
| Student              |  |  |
| Analysed by          |  |  |
| Date Analyse         |  |  |
| Date Sample          |  |  |
| Time start           |  |  |
| Time end             |  |  |
| Name of the sample   |  |  |
| River                |  |  |
| Date of the sample   |  |  |
| Year of the sample   |  |  |
| Time of the sample   |  |  |
| Hirudinae            |  |  |
| Copepoda             |  |  |
| Ostracoda            |  |  |
| Cladocera            |  |  |
| Hydra                |  |  |
| Acarina              |  |  |
| Gastropoda           |  |  |
| Nematoda             |  |  |
| Tardigrada           |  |  |
| Oligochaeta          |  |  |
| Chaetogaster         |  |  |
| Collembola           |  |  |
| Coleoptera           |  |  |
| Plecoptera           |  |  |
| Trichoptera          |  |  |
| Chironomidae (larva) |  |  |
| Chironomidae (púpa)  |  |  |
| Chironomidae (adult) |  |  |
| Simuliidae (larva)   |  |  |
| Simuliidae (púpa)    |  |  |
| Muscidae             |  |  |
| Limoniidae           |  |  |
| Empididae            |  |  |
| Tipulidae            |  |  |
| Other                |  |  |

ANNEXE 3 : Table de Wilcoxon utilisée pour le test de Wilcoxon

| n  | Alpha value |      |       |      |      |
|----|-------------|------|-------|------|------|
|    | 0.005       | 0.01 | 0.025 | 0.05 | 0.10 |
| 5  | -           | -    | -     | -    | 0    |
| 6  | -           | -    | -     | 0    | 2    |
| 7  | -           | -    | 0     | 2    | 3    |
| 8  | -           | 0    | 2     | 3    | 5    |
| 9  | 0           | 1    | 3     | 5    | 8    |
| 10 | 1           | 3    | 5     | 8    | 10   |
| 11 | 3           | 5    | 8     | 10   | 13   |
| 12 | 5           | 7    | 10    | 13   | 17   |
| 13 | 7           | 9    | 13    | 17   | 21   |
| 14 | 9           | 12   | 17    | 21   | 25   |
| 15 | 12          | 15   | 20    | 25   | 30   |
| 16 | 15          | 19   | 25    | 29   | 35   |
| 17 | 19          | 23   | 29    | 34   | 41   |
| 18 | 23          | 27   | 34    | 40   | 47   |
| 19 | 27          | 32   | 39    | 46   | 53   |
| 20 | 32          | 37   | 45    | 52   | 60   |
| 21 | 37          | 42   | 51    | 58   | 67   |
| 22 | 42          | 48   | 57    | 65   | 75   |
| 23 | 48          | 54   | 64    | 73   | 83   |
| 24 | 54          | 61   | 72    | 81   | 91   |
| 25 | 60          | 68   | 79    | 89   | 100  |
| 26 | 67          | 75   | 87    | 98   | 110  |
| 27 | 74          | 83   | 96    | 107  | 119  |
| 28 | 82          | 91   | 105   | 116  | 130  |
| 29 | 90          | 100  | 114   | 126  | 140  |
| 30 | 98          | 109  | 124   | 137  | 151  |

ANNEXE 4 : Photographies de quelques organismes identifiés, (A. Goubi).





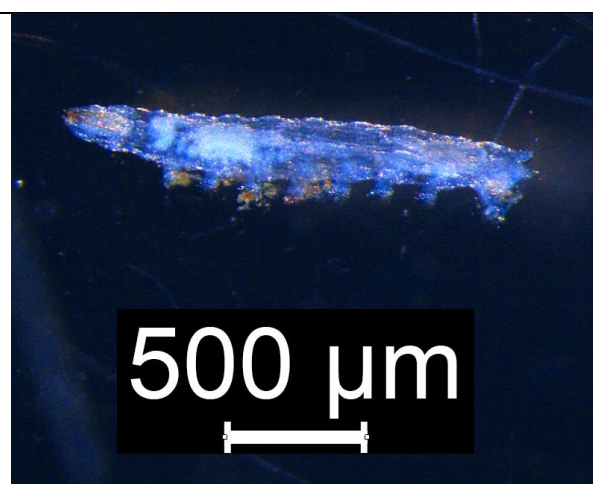
Larve et nymphe de *Chironomidae*



Nymphe de *Syrphidae*



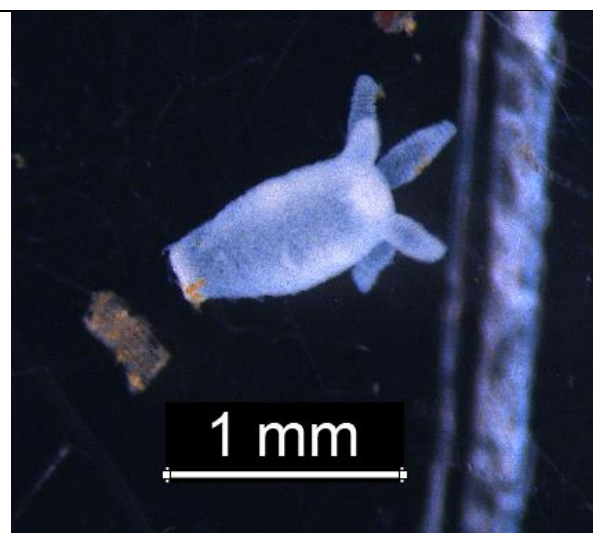
Larve de *Simuliidae*



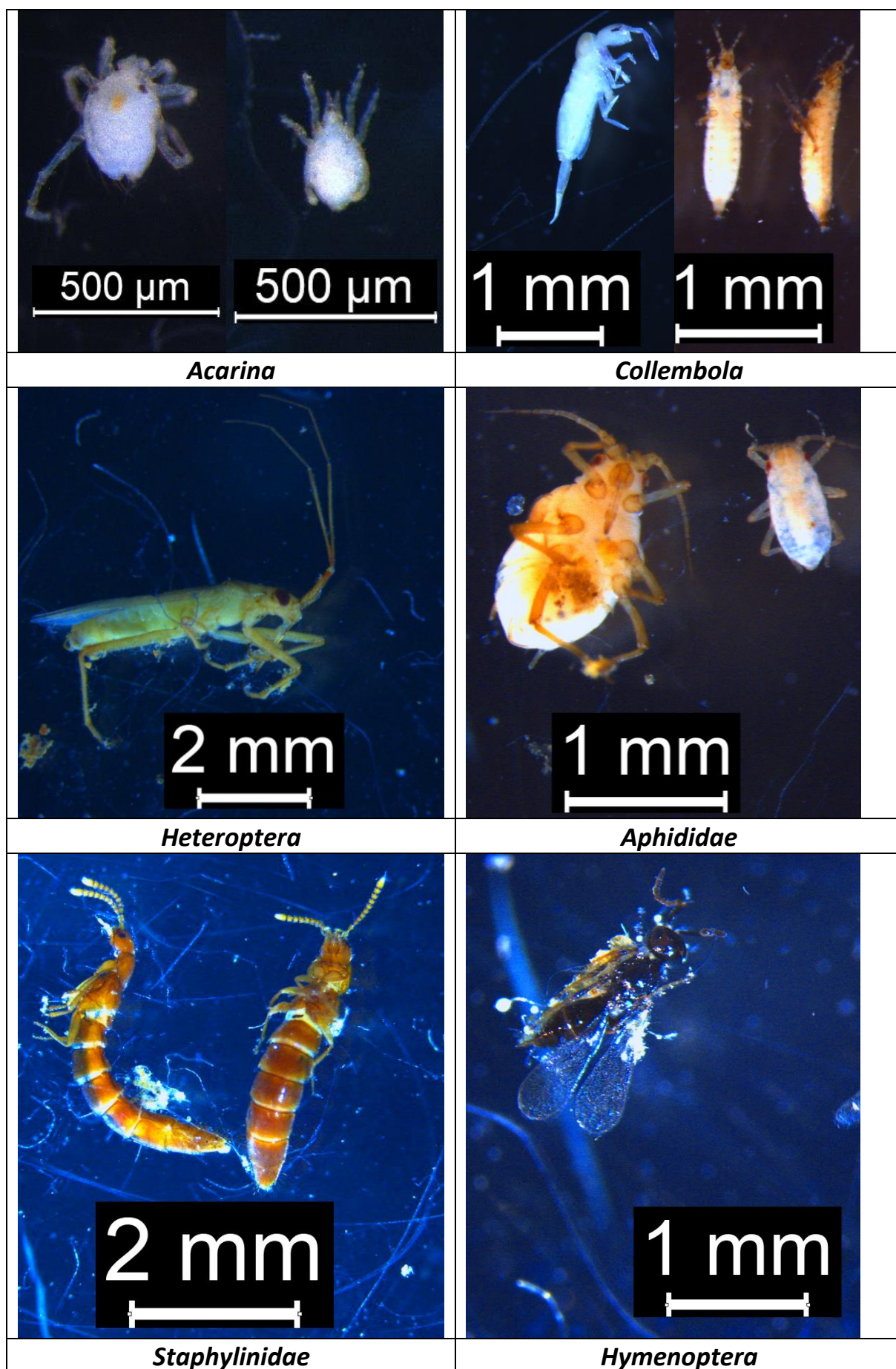
Larve de *Empididae*



*Oligochaeta*



*Hydra*



ANNEXE 5 : Test statistique de Wilcoxon, réalisé sur la composition des invertébrés pour chaque site entre le jour et la nuit

|                                                                                                                                  | Grimsá |        |            |                    |                               |                |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                  | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Ostracoda                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Cladocera                                                                                                                        | 1.32%  | 0.00%  | 0.0        | 0.01               | 3                             | 3              |                |
| Hydra                                                                                                                            | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Acarina                                                                                                                          | 7.89%  | 7.84%  | 0.0        | 0.00               | 1                             | 1              |                |
| Gastropoda                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Nematoda                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Tardigrada                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Oligochaeta                                                                                                                      | 19.74% | 19.61% | 0.0        | 0.00               | 2                             | 2              |                |
| Collembola                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                      | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                                                                                                                      | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hymenoptera                                                                                                                      | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Chironomidae                                                                                                                     | 67.11% | 60.78% | 0.1        | 0.06               | 4                             | 4              |                |
| Simuliidae                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Muscidae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Syrphidae pupa                                                                                                                   | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                            | 3.95%  | 11.76% | -0.1       | 0.08               | 5                             |                | 5              |
| Plus petite somme                                                                                                                |        |        | 5          |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                          |        |        | 5          |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                              |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                        |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 0, à 0.10                                                                                                                |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (5) n'est pas inférieure à la valeur critique de 0, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 90%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

|                                                                                                                                    | Kallá  |        |            |                    |                               |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                    | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                           | 0.43%  | 0.41%  | 0.0        | 0.00               | 1                             | 1              |                |
| Ostracoda                                                                                                                          | 0.43%  | 0.97%  | 0.0        | 0.01               | 9                             |                | 9              |
| Cladocera                                                                                                                          | 0.72%  | 0.28%  | 0.0        | 0.00               | 8                             | 8              |                |
| Hydra                                                                                                                              | 0.00%  | 0.14%  | 0.0        | 0.00               | 3                             |                | 3              |
| Acarina                                                                                                                            | 4.34%  | 4.69%  | 0.0        | 0.00               | 7                             |                | 7              |
| Gastropoda                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Nematoda                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Tardigrada                                                                                                                         | 0.00%  | 0.34%  | 0.0        | 0.00               | 6                             |                | 6              |
| Oligochaeta                                                                                                                        | 6.37%  | 5.17%  | 0.0        | 0.01               | 11                            | 11             |                |
| Collembola                                                                                                                         | 0.43%  | 0.21%  | 0.0        | 0.00               | 5                             | 5              |                |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                                                                                                                        | 0.14%  | 0.00%  | 0.0        | 0.00               | 4                             | 4              |                |
| Hymenoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Chironomidae                                                                                                                       | 43.70% | 60.55% | -0.2       | 0.17               | 13                            |                | 13             |
| Simuliidae                                                                                                                         | 42.69% | 27.10% | 0.2        | 0.16               | 12                            | 12             |                |
| Muscidae                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.07%  | 0.0        | 0.00               | 2                             |                | 2              |
| Syrphidae pupa                                                                                                                     | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                              | 0.72%  | 0.07%  | 0.0        | 0.01               | 10                            | 10             |                |
| Plus petite somme                                                                                                                  |        |        | 40         |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                            |        |        | 13         |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 17, à 0.05                                                                                                                 |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (40) n'est pas inférieure à la valeur critique de 17, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

|                            | Deildará                                                                                                                           |        |            |                    |                               |                |                |    |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----|
|                            | jour                                                                                                                               | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |    |
| Hirudinae                  | 0.48%                                                                                                                              | 0.45%  | 0.0        | 0.00               | 1.5                           | 1.5            |                |    |
| Copepoda                   | 11.11%                                                                                                                             | 12.05% | 0.0        | 0.01               | 6                             |                |                | 6  |
| Ostracoda                  | 17.87%                                                                                                                             | 21.43% | 0.0        | 0.04               | 8                             |                |                | 8  |
| Cladocera                  | 9.18%                                                                                                                              | 4.46%  | 0.0        | 0.05               | 9                             | 9              |                |    |
| Hydra                      | 0.97%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        | 0.01               | 7                             | 7              |                |    |
| Acarina                    | 9.18%                                                                                                                              | 29.02% | -0.2       | 0.20               | 12                            |                |                | 12 |
| Gastropoda                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Nematoda                   | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Tardigrada                 | 0.48%                                                                                                                              | 0.89%  | 0.0        | 0.00               | 3                             |                |                | 3  |
| Oligochaeta                | 16.91%                                                                                                                             | 10.27% | 0.1        | 0.07               | 10                            | 10             |                |    |
| Collembola                 | 0.48%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        | 0.00               | 4                             | 4              |                |    |
| Coleoptera (Staphylinidae) | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Plecoptera                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Trichoptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Hemiptera                  | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Heteroptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Hymenoptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Chironomidae               | 30.43%                                                                                                                             | 19.20% | 0.1        | 0.11               | 11                            | 11             |                |    |
| Simuliidae                 | 0.48%                                                                                                                              | 0.45%  | 0.0        | 0.00               | 1.5                           | 1.5            |                |    |
| Muscidae                   | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Limoniidae                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Empididae                  | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Syrphidae pupa             | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |    |
| Other                      | 2.42%                                                                                                                              | 1.79%  | 0.0        | 0.01               | 5                             | 5              |                |    |
|                            |                                                                                                                                    |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            | Plus petite somme                                                                                                                  |        | 29         |                    |                               |                |                |    |
|                            | Taille de l'échantillon                                                                                                            |        | 12         |                    |                               |                |                |    |
|                            |                                                                                                                                    |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            | H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            | H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            |                                                                                                                                    |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            | Alpha = 13, à 0.05                                                                                                                 |        |            |                    |                               |                |                |    |
|                            | Puisque la statistique de test (29) n'est pas inférieure à la valeur critique de 13, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |            |                    |                               |                |                |    |

|                            | Hjaltadalsá                                                                                                                        |        |            |                    |                               |                |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                            | jour                                                                                                                               | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                  | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                   | 9.51%                                                                                                                              | 9.84%  | 0.0        | 0.00               | 2                             |                | 2              |
| Ostracoda                  | 0.76%                                                                                                                              | 4.72%  | 0.0        | 0.04               | 13                            |                | 13             |
| Cladocera                  | 26.62%                                                                                                                             | 24.80% | 0.0        | 0.02               | 9                             | 9              |                |
| Hydra                      | 2.66%                                                                                                                              | 1.57%  | 0.0        | 0.01               | 5                             | 5              |                |
| Acarina                    | 6.08%                                                                                                                              | 7.87%  | 0.0        | 0.02               | 8                             |                | 8              |
| Gastropoda                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Nematoda                   | 0.38%                                                                                                                              | 1.57%  | 0.0        | 0.01               | 7                             |                | 7              |
| Tardigrada                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.39%  | 0.0        | 0.00               | 4                             |                | 4              |
| Oligochaeta                | 6.08%                                                                                                                              | 10.24% | 0.0        | 0.04               | 14                            |                | 14             |
| Collembola                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Coleoptera (Staphylinidae) | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                 | 0.38%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        | 0.00               | 3                             | 3              |                |
| Trichoptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                  | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hymenoptera                | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Chironomidae               | 29.28%                                                                                                                             | 25.98% | 0.0        | 0.03               | 12                            | 12             |                |
| Simuliidae                 | 14.07%                                                                                                                             | 12.20% | 0.0        | 0.02               | 10                            | 10             |                |
| Muscidae                   | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                 | 0.00%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                  | 0.38%                                                                                                                              | 0.39%  | 0.0        | 0.00               | 1                             |                | 1              |
| Syrphidae pupa             | 2.66%                                                                                                                              | 0.39%  | 0.0        | 0.02               | 11                            | 11             |                |
| Other                      | 1.14%                                                                                                                              | 0.00%  | 0.0        | 0.01               | 6                             | 6              |                |
|                            | Plus petite somme                                                                                                                  |        | 49         |                    |                               |                |                |
|                            | Taille de l'échantillon                                                                                                            |        | 14         |                    |                               |                |                |
|                            | H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |            |                    |                               |                |                |
|                            | H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |            |                    |                               |                |                |
|                            | Alpha = 21, à 0.05                                                                                                                 |        |            |                    |                               |                |                |
|                            | Puisque la statistique de test (49) n'est pas inférieure à la valeur critique de 21, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |            |                    |                               |                |                |

| Hofsá                                                                                                                             |        |        |            |                    |                               |                |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                   | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                          | 30.88% | 35.71% | 0.0        | 0.05               | 6                             |                | 6              |
| Ostracoda                                                                                                                         | 8.82%  | 8.16%  | 0.0        | 0.01               | 2                             | 2              |                |
| Cladocera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hydra                                                                                                                             | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Acarina                                                                                                                           | 7.35%  | 3.06%  | 0.0        | 0.04               | 5                             | 5              |                |
| Gastropoda                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Nematoda                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Tardigrada                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Oligochaeta                                                                                                                       | 4.41%  | 7.14%  | 0.0        | 0.03               | 4                             |                | 4              |
| Collembola                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hymenoptera                                                                                                                       | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Chironomidae                                                                                                                      | 47.06% | 44.90% | 0.0        | 0.02               | 3                             | 3              |                |
| Simuliidae                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Muscidae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Syrphidae pupa                                                                                                                    | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                             | 1.47%  | 1.02%  | 0.0        | 0.00               | 1                             | 1              |                |
| Plus petite somme                                                                                                                 |        |        | 10         |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                           |        |        | 6          |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                               |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                         |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 0, à 0.05                                                                                                                 |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (10) n'est pas inférieure à la valeur critique de 0, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

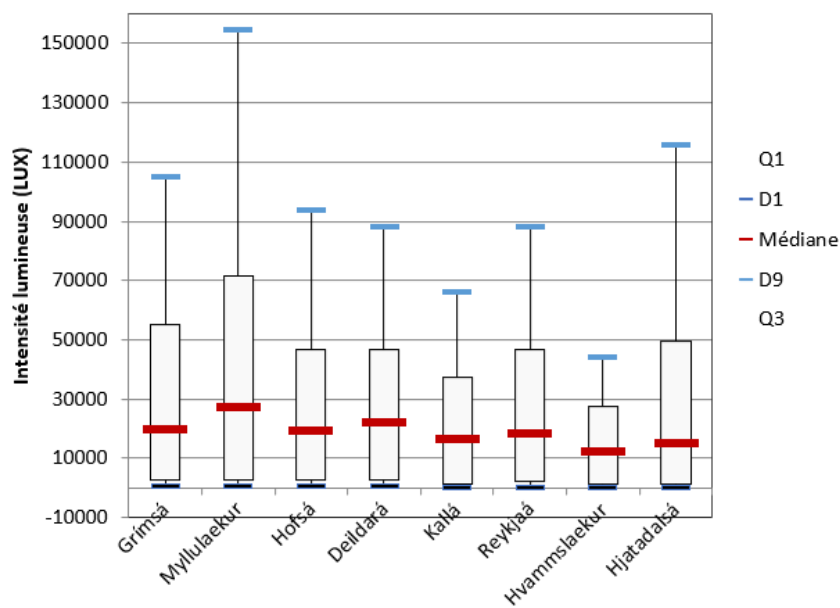
| Hvammslaekur                                                                                                                       |        |        |            |                    |                               |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                    | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                           | 0.89%  | 0.63%  | 0.0        | 0.00               | 10                            | 10             |                |
| Ostracoda                                                                                                                          | 2.41%  | 10.20% | -0.1       | 0.08               | 18                            |                | 18             |
| Cladocera                                                                                                                          | 0.00%  | 0.11%  | 0.0        | 0.00               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Hydra                                                                                                                              | 0.00%  | 0.32%  | 0.0        | 0.00               | 11                            |                | 11             |
| Acarina                                                                                                                            | 13.94% | 10.94% | 0.0        | 0.03               | 16                            | 16             |                |
| Gastropoda                                                                                                                         | 0.13%  | 0.00%  | 0.0        | 0.00               | 6                             | 6              |                |
| Nematoda                                                                                                                           | 0.13%  | 0.32%  | 0.0        | 0.00               | 8                             |                | 8              |
| Tardigrada                                                                                                                         | 0.00%  | 0.21%  | 0.0        | 0.00               | 9                             |                | 9              |
| Oligochaeta                                                                                                                        | 9.00%  | 7.89%  | 0.0        | 0.01               | 15                            | 15             |                |
| Collembola                                                                                                                         | 5.96%  | 10.09% | 0.0        | 0.04               | 17                            |                | 17             |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                         | 0.89%  | 0.32%  | 0.0        | 0.01               | 14                            | 14             |                |
| Plecoptera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.11%  | 0.0        | 0.00               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Hemiptera                                                                                                                          | 1.77%  | 2.10%  | 0.0        | 0.00               | 13                            |                | 13             |
| Heteroptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.11%  | 0.0        | 0.00               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Hymenoptera                                                                                                                        | 1.52%  | 1.68%  | 0.0        | 0.00               | 7                             |                | 7              |
| Chironomidae                                                                                                                       | 61.98% | 53.84% | 0.1        | 0.08               | 19                            | 19             |                |
| Simuliidae                                                                                                                         | 0.63%  | 0.32%  | 0.0        | 0.00               | 12                            | 12             |                |
| Muscidae                                                                                                                           | 0.00%  | 0.11%  | 0.0        | 0.00               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Limoniidae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Syrphidae pupa                                                                                                                     | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                              | 0.76%  | 0.74%  | 0.0        | 0.00               | 1                             | 1              |                |
| Plus petite somme                                                                                                                  |        |        | 93         |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                            |        |        | 19         |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 46, à 0.05                                                                                                                 |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (93) n'est pas inférieure à la valeur critique de 46, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

| Myllulaekur                                                                                                                        |        |        |            |                    |                               |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                    | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                           | 18.54% | 54.64% | -0.4       | 0.36               | 12                            |                | 12             |
| Ostracoda                                                                                                                          | 33.33% | 17.83% | 0.2        | 0.16               | 10                            | 10             |                |
| Cladocera                                                                                                                          | 27.63% | 11.84% | 0.2        | 0.16               | 11                            | 11             |                |
| Hydra                                                                                                                              | 4.28%  | 0.86%  | 0.0        | 0.03               | 8                             | 8              |                |
| Acarina                                                                                                                            | 1.07%  | 2.57%  | 0.0        | 0.01               | 6                             |                | 6              |
| Gastropoda                                                                                                                         | 0.18%  | 0.00%  | 0.0        | 0.00               | 3                             | 3              |                |
| Nematoda                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Tardigrada                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Oligochaeta                                                                                                                        | 0.71%  | 1.14%  | 0.0        | 0.00               | 5                             |                | 5              |
| Collembola                                                                                                                         | 0.36%  | 0.29%  | 0.0        | 0.00               | 2                             | 2              |                |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hymenoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Chironomidae                                                                                                                       | 11.94% | 6.70%  | 0.1        | 0.05               | 9                             | 9              |                |
| Simuliidae                                                                                                                         | 1.60%  | 3.57%  | 0.0        | 0.02               | 7                             |                | 7              |
| Muscidae                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                                                                                                                         | 0.18%  | 0.14%  | 0.0        | 0.00               | 1                             | 1              |                |
| Empididae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Syrphidae pupa                                                                                                                     | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                              | 0.18%  | 0.43%  | 0.0        | 0.00               | 4                             |                | 4              |
| Plus petite somme                                                                                                                  |        |        | 34         |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                            |        |        | 12         |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 13, à 0.05                                                                                                                 |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (34) n'est pas inférieure à la valeur critique de 13, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

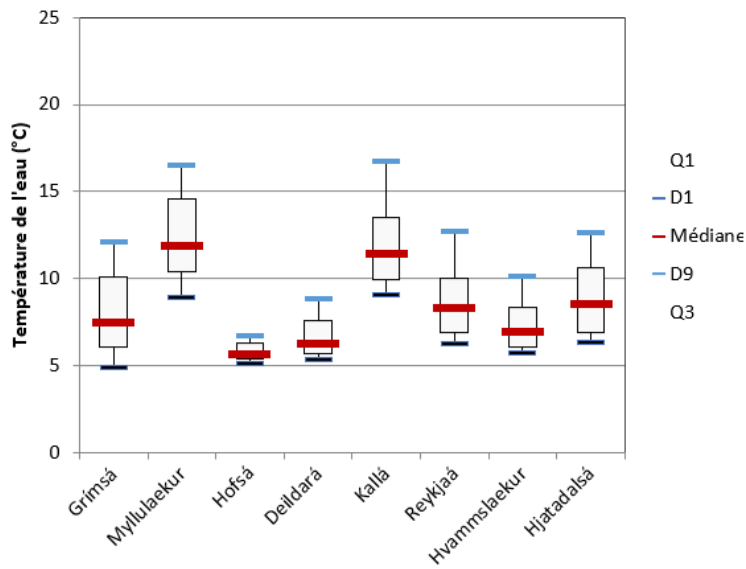
| Reykjaá                                                                                                                            |        |        |            |                    |                               |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                    | jour   | nuit   | différence | différence absolue | rang de la différence absolue | rangs positifs | rangs négatifs |
| Hirudinae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Copepoda                                                                                                                           | 2.27%  | 0.94%  | 0.0        | 0.01               | 7                             | 7              |                |
| Ostracoda                                                                                                                          | 3.41%  | 7.55%  | 0.0        | 0.04               | 12                            |                | 12             |
| Cladocera                                                                                                                          | 0.00%  | 0.94%  | 0.0        | 0.01               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Hydra                                                                                                                              | 1.14%  | 0.00%  | 0.0        | 0.01               | 5.5                           | 5.5            |                |
| Acarina                                                                                                                            | 21.59% | 23.58% | 0.0        | 0.02               | 10                            |                | 10             |
| Gastropoda                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Nematoda                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Tardigrada                                                                                                                         | 1.14%  | 0.00%  | 0.0        | 0.01               | 5.5                           | 5.5            |                |
| Oligochaeta                                                                                                                        | 4.55%  | 2.83%  | 0.0        | 0.02               | 8                             | 8              |                |
| Collembola                                                                                                                         | 3.41%  | 6.60%  | 0.0        | 0.03               | 11                            |                | 11             |
| Coleoptera (Staphylinidae)                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Plecoptera                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Trichoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Hemiptera                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Heteroptera                                                                                                                        | 0.00%  | 0.94%  | 0.0        | 0.01               | 3.5                           |                | 3.5            |
| Hymenoptera                                                                                                                        | 0.00%  | 1.89%  | 0.0        | 0.02               | 9                             |                | 9              |
| Chironomidae                                                                                                                       | 60.23% | 52.83% | 0.1        | 0.07               | 13                            | 13             |                |
| Simuliidae                                                                                                                         | 1.14%  | 0.94%  | 0.0        | 0.00               | 1.5                           | 1.5            |                |
| Muscidae                                                                                                                           | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Limoniidae                                                                                                                         | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Empididae                                                                                                                          | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Syrphidae pupa                                                                                                                     | 0.00%  | 0.00%  | 0.0        |                    |                               |                |                |
| Other                                                                                                                              | 1.14%  | 0.94%  | 0.0        | 0.00               | 1.5                           | 1.5            |                |
| Plus petite somme                                                                                                                  |        |        | 42         |                    |                               |                |                |
| Taille de l'échantillon                                                                                                            |        |        | 13         |                    |                               |                |                |
| H <sub>0</sub> : la composition en invertébrés est la même entre le jour et la nuit                                                |        |        |            |                    |                               |                |                |
| H <sub>1</sub> : la composition en invertébrés n'est pas la même entre le jour et la nuit                                          |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Alpha = 17, à 0.05                                                                                                                 |        |        |            |                    |                               |                |                |
| Puisque la statistique de test (42) n'est pas inférieure à la valeur critique de 17, nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle à 95%. |        |        |            |                    |                               |                |                |

ANNEXE 6 : Boîtes à moustaches de l'intensité lumineuse, de la température de l'eau et de la température de l'air pour chaque site étudié

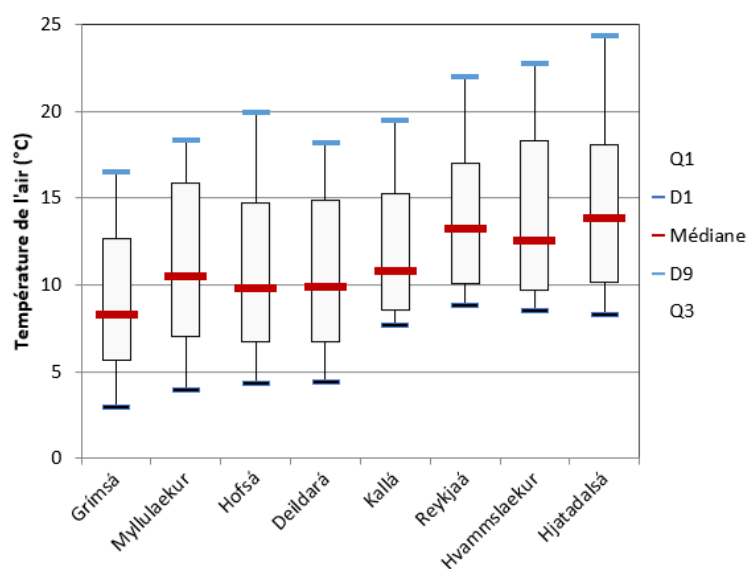
Boîte à moustaches de l'intensité



Boîte à moustaches de la température de l'eau

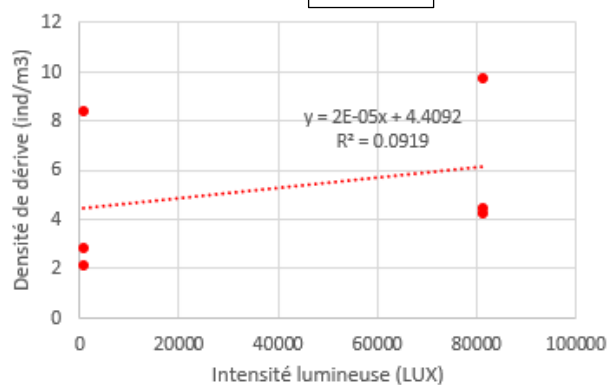


Boîte à moustaches de la température de l'air

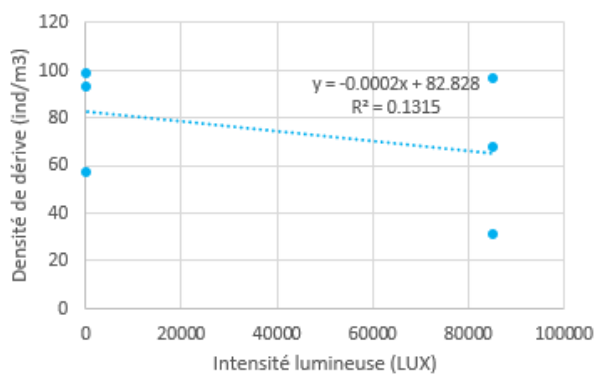


## ANNEXE 7 : Influence de l'intensité lumineuse sur la densité de dérive sur les différents sites analysés

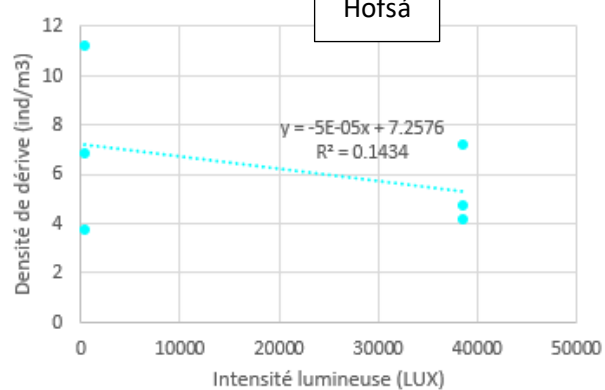
Grímsá



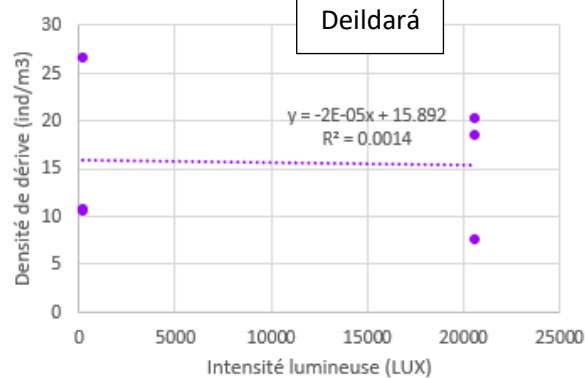
Myllulaekur



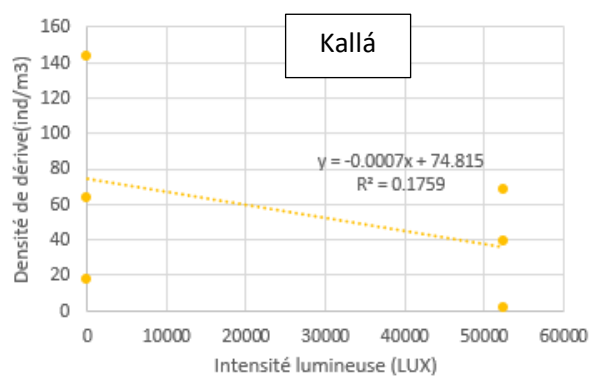
Hofsá



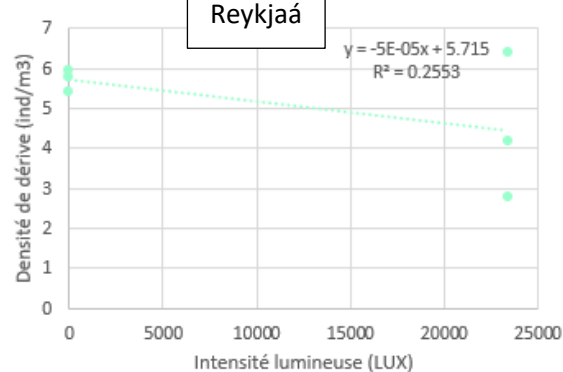
Deildará



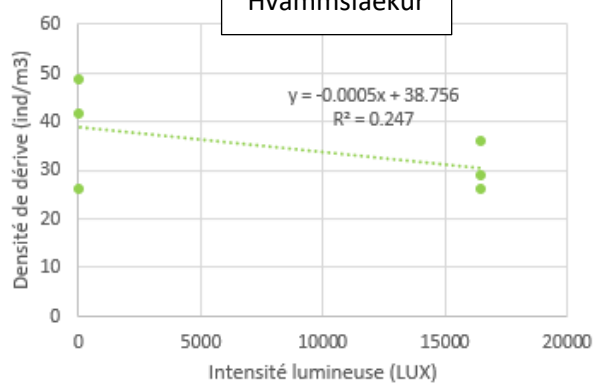
Kallá



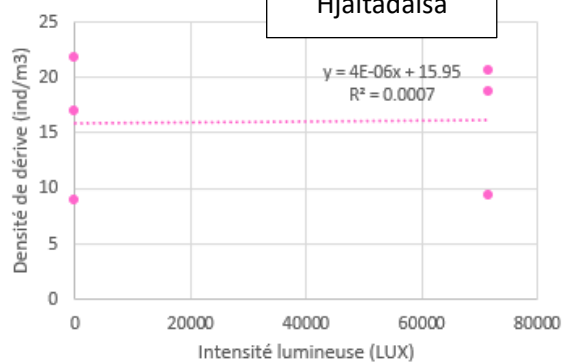
Reykjaá



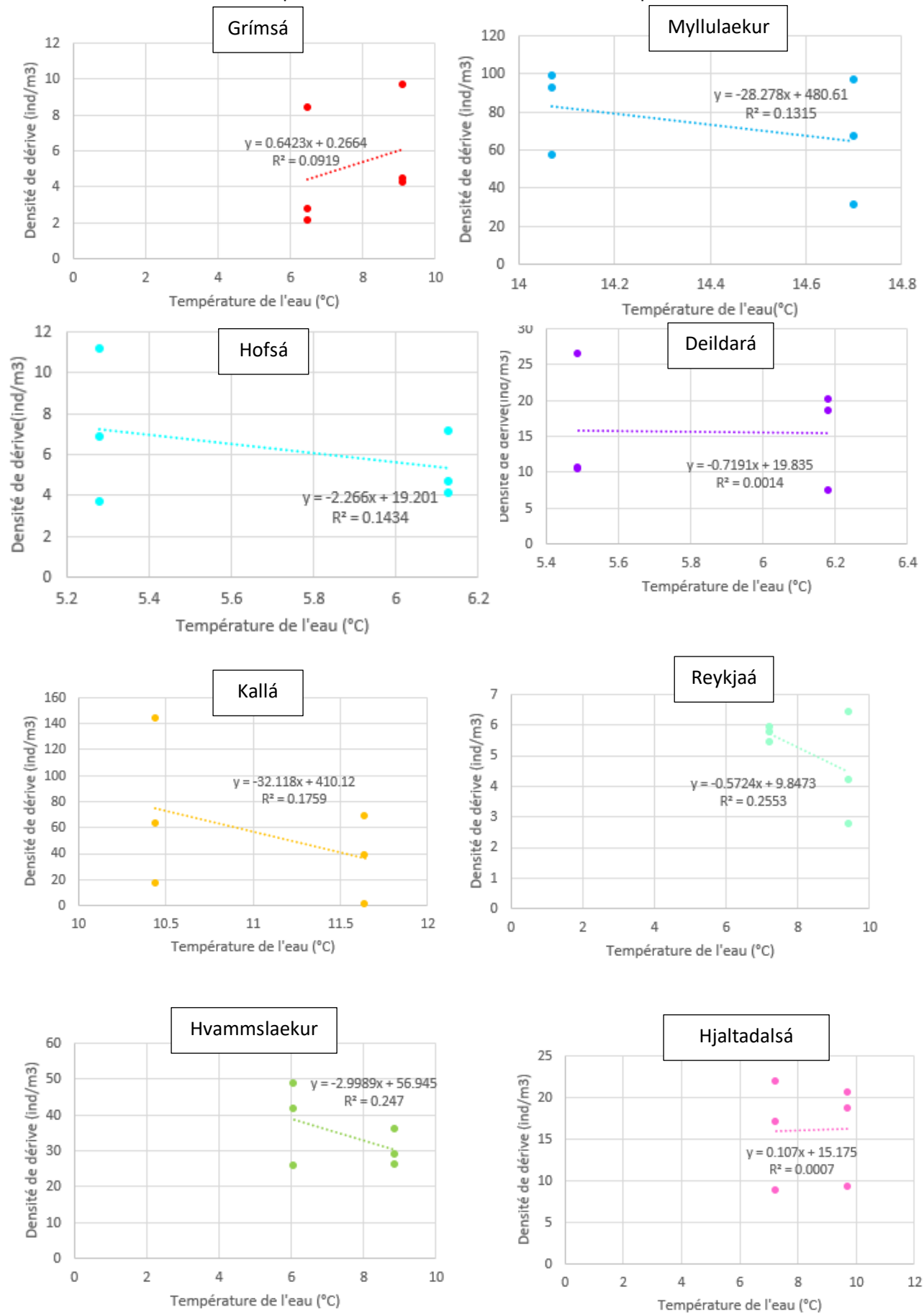
Hvammslaekur



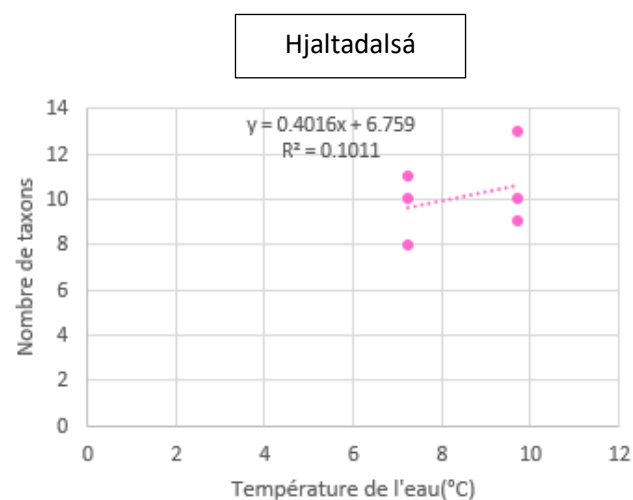
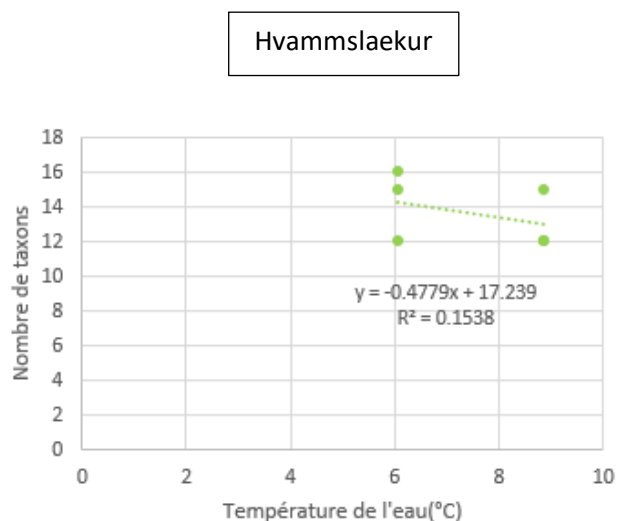
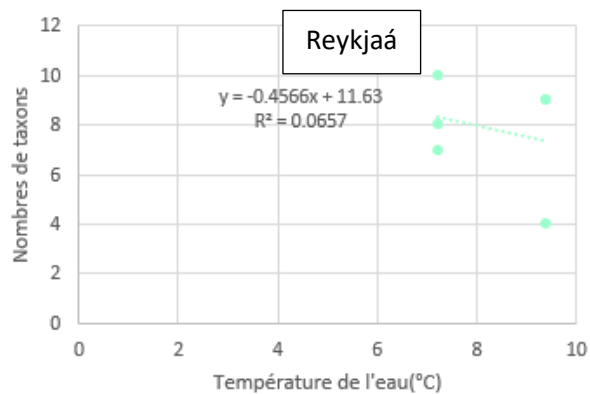
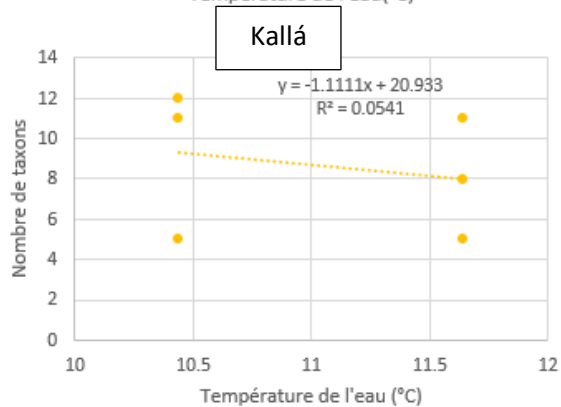
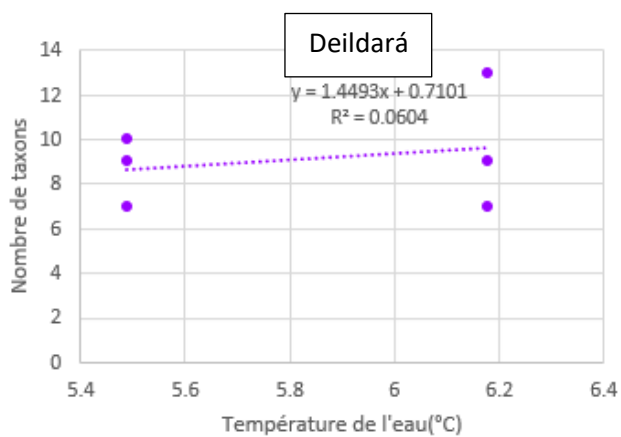
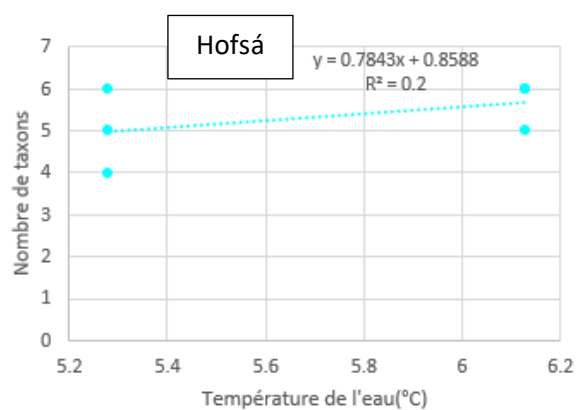
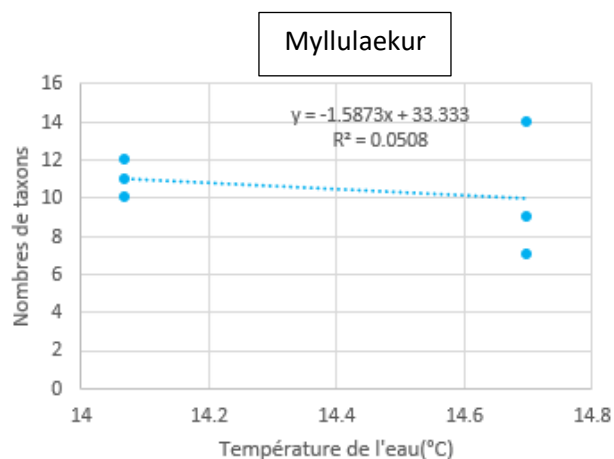
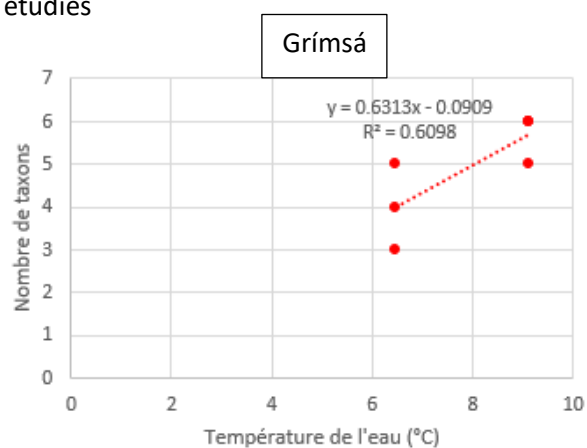
Hjaltadalsá



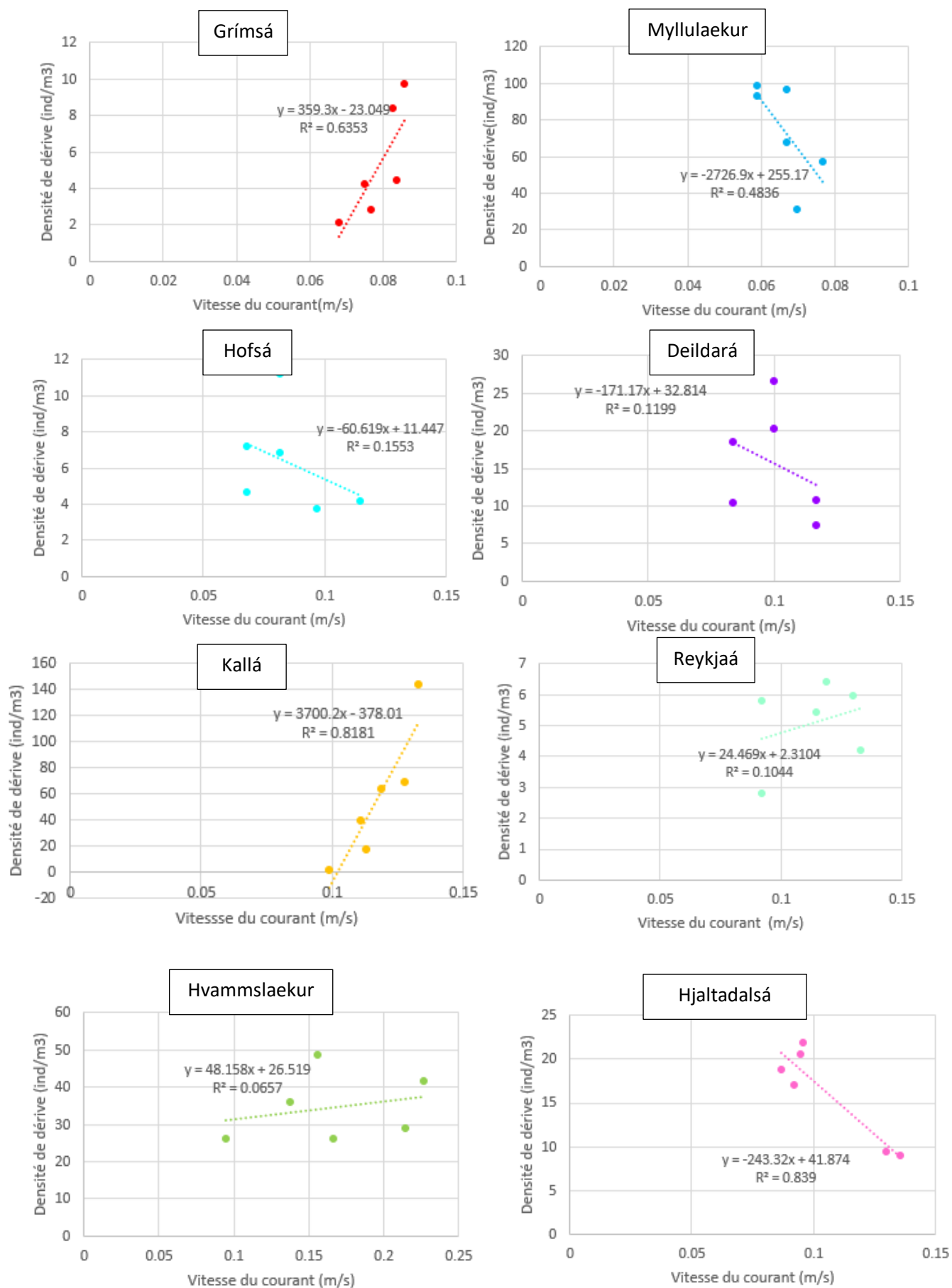
## ANNEXE 8 : Influence de la température de l'eau sur la densité de dérive pour les différents sites



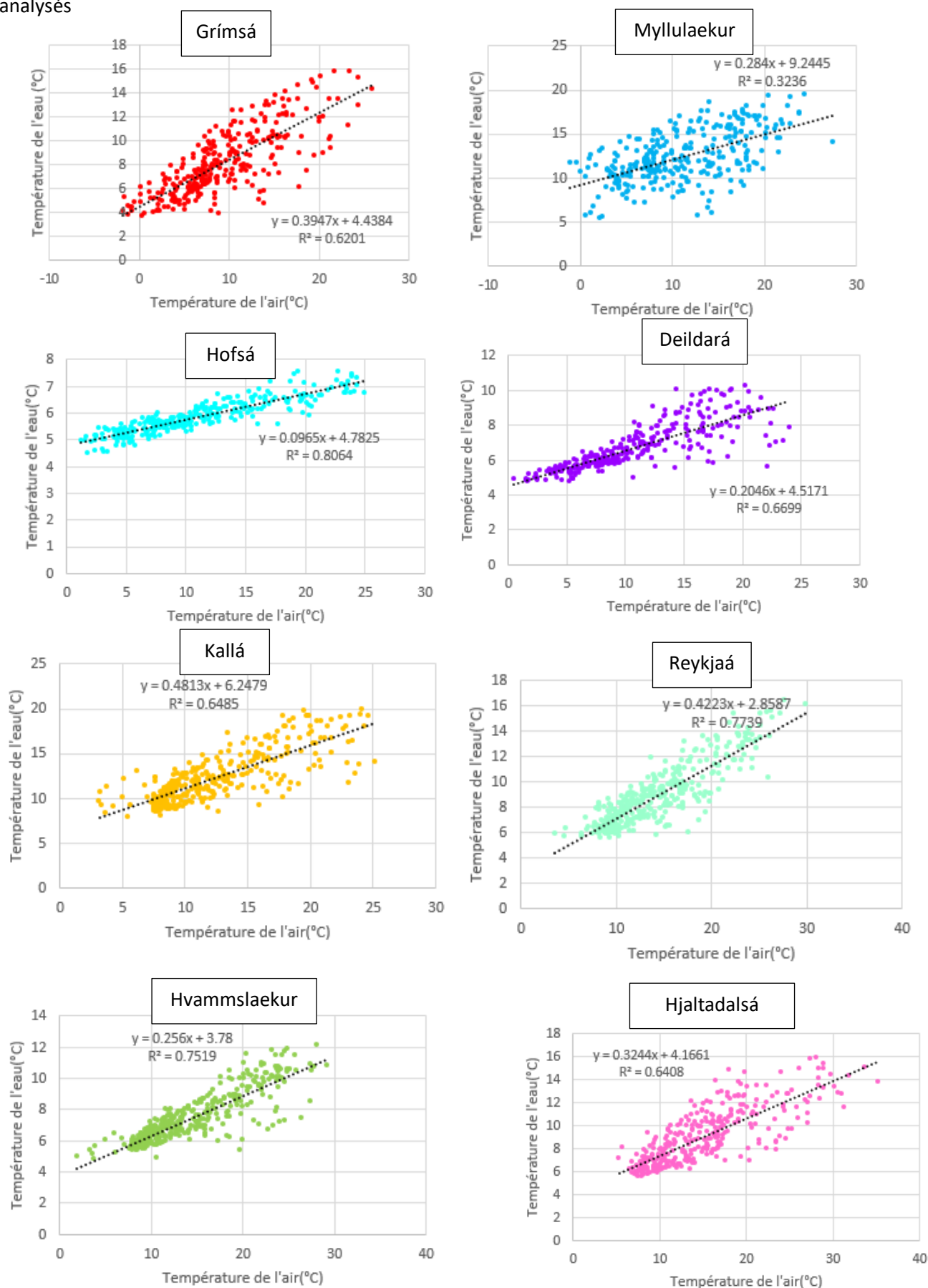
ANNEXE 9 : Influence de la température de l'eau sur le nombre de taxons pour les différents sites étudiés



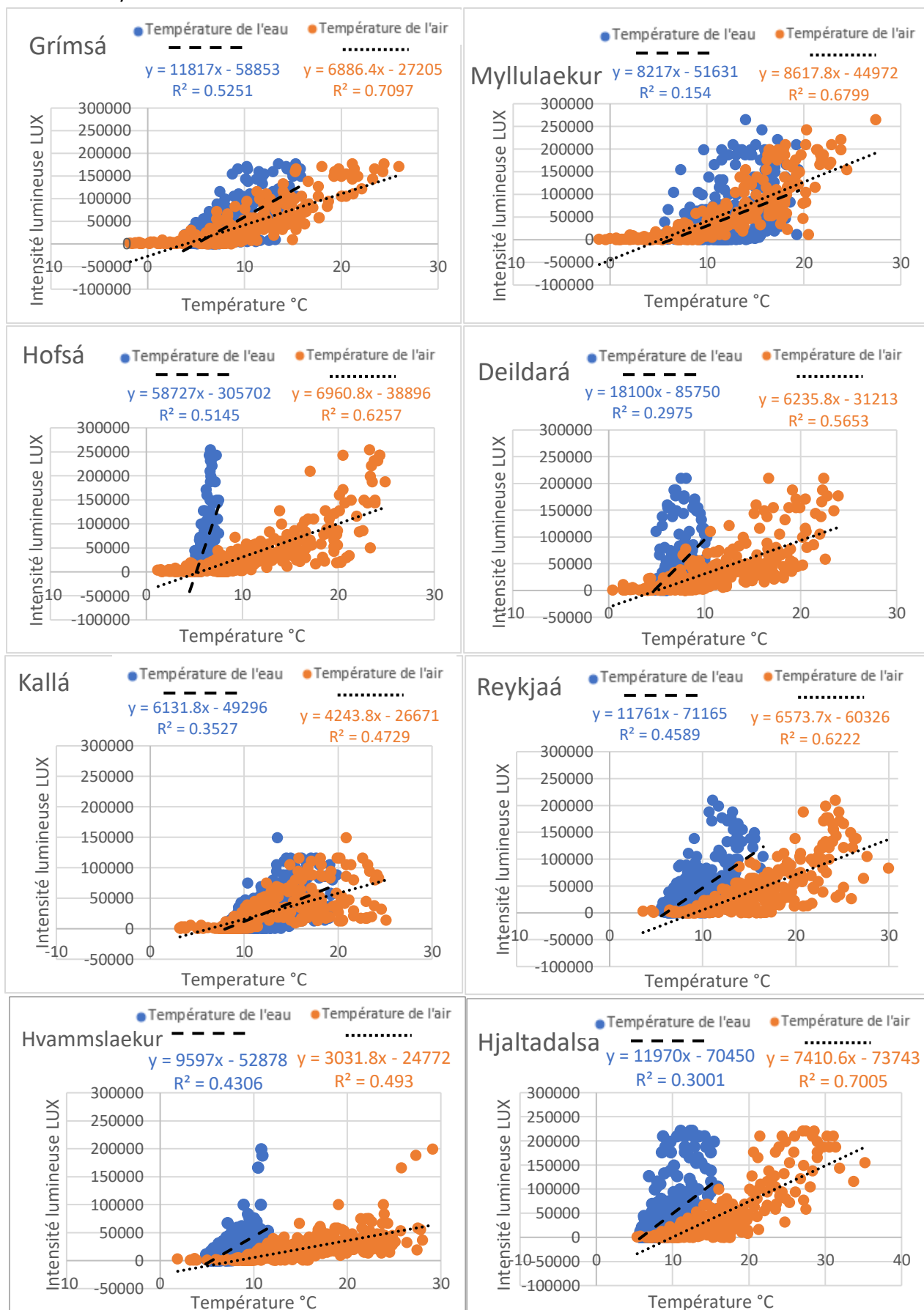
# ANNEXE 10 : Influence de la vitesse de courant sur la densité de dérive pour les différents sites



ANNEXE 11 : Température de l'eau en fonction de la température de l'air sur les différents sites analysés



ANNEXE 12 : Température de l'eau et de l'air en fonction de l'intensité lumineuse sur les différents sites analysés





**POLYTECH<sup>®</sup>**  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

Anaëlle Goubi  
2020-2021

**Titre :** Abondance et composition des invertébrés dans des cours d'eau présentant des profils de température et d'intensité lumineuse contrastés, Islande

**Résumé :** Ce rapport de stage traite de l'influence de la température de l'eau et de l'intensité lumineuse sur l'abondance et la composition des invertébrés en Islande. Les missions en tant que stagiaire étaient de trier et d'identifier des invertébrés préalablement échantillonnés dans différents cours d'eau présentant des profils de température contrastés. Le but était d'analyser ces échantillons vis-à-vis de la température de l'eau et de la luminosité. Dans les faits, il s'avère que plus la température de l'eau est élevée, plus la variété taxonomique augmente ainsi que la densité et le taux de dérive. L'intensité lumineuse apparaît comme facteur secondaire vis-à-vis de la température de l'eau. Néanmoins, les résultats montrent que plus l'intensité lumineuse est faible, plus la densité et le taux de dérive augmentent.

**Abstract :** This internship report deals with the influence of water temperature and light intensity on the abundance and composition of invertebrates in Iceland. My missions as a trainee were to sort off and identify invertebrates previously sampled from different rivers with contrasting temperature profiles. The aim was to analyze these samples regarding water temperature and light. In fact, it turns out that the higher the water temperature, the more the taxonomic variety increased as well as the density and drift rate. The light intensity appears as a secondary factor with respect to the temperature of the water. Nevertheless, the results show that the lower the light intensity, the more the density and the drift rate intensify.

**Mots Clés :** Dérive des invertébrés, Température, Intensité lumineuse, Activité nycthémérale, Cours d'eau

Hólar University

Háskólinn á Hólum 551 Sauðárkrókur, Islande

**Tuteur entreprise :**

Stefán Óli Steingrímsson

Professor

**Tuteur académique :**

Michel Bacchi