

## Statut et distribution des écrevisses invasives en Martinique : étude préliminaire de leur impact potentiel sur les communautés locales



**BAUDRY Thomas**

Organisme d'accueil : DEAL 972 - Pointe de Jaham 97233 Schoelcher

Encadré par : Jean-Pierre GOUT

Et avec l'appui de ARQUE Alexandre (ODE 972) et GRANDJEAN Frédéric (Université de Poitiers-EBI)

Du 15 Janvier au 13 Juillet

**ATTESTATION DE SOUTENANCE & APPRECIATIONS DU JURY**

**Mlle /Mme /Mr .....**,

étudiant(e) en M2BEE a soutenu ce jour le présent mémoire, devant un jury composé d'enseignants-chercheurs et de chercheurs de l'Université de Poitiers.



Le jury, après délibération, a donné les appréciations suivantes :

❖ **Qualité générale du mémoire :**

◆ <u>Rédaction</u>	◆ <u>Richesse du contenu</u>	◆ <u>Qualité de l'analyse</u>
<input type="checkbox"/> Excellente	<input type="checkbox"/> Excellente	<input type="checkbox"/> Excellente
<input type="checkbox"/> Très bonne	<input type="checkbox"/> Très bonne	<input type="checkbox"/> Très bonne
<input type="checkbox"/> Bonne	<input type="checkbox"/> Bonne	<input type="checkbox"/> Bonne
<input type="checkbox"/> Moyenne	<input type="checkbox"/> Moyenne	<input type="checkbox"/> Moyenne
<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre

❖ **Qualité générale de la présentation orale :**

◆ <u>Prestation</u>	◆ <u>Esprit de synthèse</u>	◆ <u>Qualité de l'illustration</u>
<input type="checkbox"/> Excellente	<input type="checkbox"/> Excellent	<input type="checkbox"/> Excellente
<input type="checkbox"/> Très bonne	<input type="checkbox"/> Très bon	<input type="checkbox"/> Très bonne
<input type="checkbox"/> Bonne	<input type="checkbox"/> Bon	<input type="checkbox"/> Bonne
<input type="checkbox"/> Moyenne	<input type="checkbox"/> Moyen	<input type="checkbox"/> Moyenne
<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre

❖ **Déroulement du stage (Appréciations du Maître de stage) :**

◆ <u>Insertion dans l'équipe</u>	◆ <u>Qualité d'assimilation</u>	◆ <u>Implication personnelle</u>
<input type="checkbox"/> Excellente	<input type="checkbox"/> Excellente	<input type="checkbox"/> Excellente
<input type="checkbox"/> Très bonne	<input type="checkbox"/> Très bonne	<input type="checkbox"/> Très bonne
<input type="checkbox"/> Bonne	<input type="checkbox"/> Bonne	<input type="checkbox"/> Bonne
<input type="checkbox"/> Moyenne	<input type="checkbox"/> Moyenne	<input type="checkbox"/> Moyenne
<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre	<input type="checkbox"/> Médiocre



En conséquence, les appréciations du jury, en l'état actuel du mémoire, sont les suivantes :

- Note sur le mémoire : / 20 (coeff. 0.6) ➤ Note sur l'oral : ..... / 20 (coeff. 0.4)
- Avis sur la divulgation du mémoire en l'état actuel :
- Autorisée sans modification.  Autorisée après modifications majeures.  
 Autorisée après modifications mineures.  Non autorisée.  
 Non divulgation pour clause de confidentialité

---

Fait à Poitiers, le : ..... Signature et cachet du président du Jury :

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier énormément ceux sans qui ce stage n'aurait pas pu être possible : Jean-Pierre, Alexandre et Frédéric, mes encadrants qui m'ont donné de précieux conseils tout au long du stage.

Je remercie l'Université des Antilles pour la mise à disposition de leur laboratoire, et plus particulièrement Madame Smith-Ravin, directrice de l'équipe Biosphère, ainsi que Déborah, pour leur disponibilité.

Je tiens ensuite à remercier l'équipe des hydromètres de la DEAL : Alfred, Daniel, Hervé, Jean-Michel et Louis, qui ont accepté de m'accueillir dans leur bureau pour les 6 mois de stage et de cohabiter avec des tubes contenant des cadavres d'écrevisse.

Je remercie aussi tout le Service Paysage Eau et Biodiversité de la DEAL au sein duquel j'étais intégré mais également l'Office de l'Eau de Martinique qui était co-financeur de l'étude.

Un grand merci aussi à Damien, Arnaud, Rémi, Laure qui ont été mes compagnons de sortie, de plage, de rando pendant cette magnifique expérience mais aussi également aux autres stagiaires et VSC de la DEAL : Morgane, Marion, Manon et Alizée.

Je tiens à remercier Eric pour son aide dès les premières semaines de mon stage et son expérience dans le domaine de l'aquaculture mais aussi son expertise sur l'espèce *Cherax*. Sa disponibilité à tout moment tout au long de mon stage fut très utile pour mon étude. Il en va de même pour l'équipe de Nasses Caraïbes qui a conçu et fabriqué les nasses de manière très réactive.

Beaucoup de ces dernières personnes ne liront probablement pas ces remerciements mais tout aurait aussi été différent sans les étudiants Erasmus, avec qui j'ai passé des moments mémorables, les habitants du quartier Fonds Batelière, avec qui j'ai pu jouer au foot chaque semaine, tous les pêcheurs qui ont pu me donner des informations sur les secteurs à prospection et pour finir la Martinique en général et ses habitants pour leur accueil partout où je suis allé.

## **Avant-propos**

L'espèce *Cherax quadricarinatus* a été introduite en Martinique en 2002 pour l'aquaculture, et on l'observe depuis 2007 dans le milieu naturel. Elle est reconnue comme potentiellement envahissante en Martinique selon UICN France, bien que généralement considérée sur le plan mondial comme espèce exotique envahissante.

Il existe actuellement peu de données au plan mondial confirmant des impacts sur le milieu, occasionnés par *Cherax quadricarinatus*.

La Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL), ainsi que l'Office de l'Eau (ODE) de la Martinique ont souhaité améliorer en 2018 la connaissance sur cette espèce à travers un travail de recherche d'une durée de 6 mois dans le cadre d'un stage Master 2 intitulé : « Evaluation des impacts de l'espèce d'écrevisse invasive *Cherax quadricarinatus* sur les hydrosystèmes d'eau douce de la Martinique ». A cette fin, elles ont pris contact avec l' Université de Poitiers, et une convention entre les parties (Université de Poitiers, laboratoire CNRS, ODE et DEAL) a été signée fin 2017 afin de fixer le cadre de l'intervention.

La Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Martinique est un service déconcentré de l'État qui est chargé de mettre en oeuvre localement les politiques publiques du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère de la cohésion des territoires. Elle exerce ses missions dans une logique de développement durable, avec en perspective l'intégration de la Martinique dans la transition écologique et énergétique, permettant l'amélioration du cadre de vie des Martiniquais.

Concrètement, concernant les thématiques de la biodiversité, de l'eau et des paysages, la DEAL (co) finance et (co) pilote des projets d'amélioration des connaissances, de mise en place de protections, de communication auprès du grand public et des professionnels.

J'ai effectué mon stage au sein du Service Paysage, Eau et Biodiversité, Pôle Biodiversité Nature et Paysages qui est chargé notamment :

- de décliner et mettre en œuvre la stratégie nationale pour la biodiversité ;

- de développer la connaissance et la préservation de la biodiversité, des espaces et des paysages ;
- d'identifier les espaces de biodiversité ;
- de préserver et restaurer la continuité écologique au travers de la trame verte et bleue ;
- de mettre en œuvre des plans nationaux d'actions pour des espèces en danger de disparition ;
- de développer et mettre en valeur le réseau d'espaces protégés (réserves naturelles, APB, sites inscrits/classés) ;
- de définir des plans d'actions contre les espèces invasives.

Par ailleurs le Service regroupe d'autres pôles : Police de l'eau, Unité Littoral et Eau et Milieux aquatiques.

L'Office De l'Eau de la Martinique est un organisme public œuvrant pour la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. Ceci passe par une gestion des ressources en eau et des littoraux, une assistance technique et financière mais aussi la diffusion d'information dans le but de sensibiliser la population. Il est à l'origine de projets d'aménagements et d'études par l'apport de fonds mais également du suivi de pollution et de qualité biologique de l'eau. Pour cela, les agents ont mis en place un indice biologique spécifique aux antilles, l'IBMA (Indice Biologique Macroinvertébrés des Antilles) et l'indice des Diatomées.

La suite de ce mémoire expose les résultats de ce stage enrichissant et passionnant.

## Table des matières

I- Introduction.....	1
II- Matériel et méthode : .....	5
II-1 Matériel Biologique .....	5
Croissance.....	5
Reproduction.....	5
Exigences écologiques .....	6
Comportement alimentaire.....	6
Description morphologique.....	6
II-2 Zone d'étude .....	7
II-3 Etude de la distribution des écrevisses en Martinique .....	9
II-4 Analyse moléculaire pour vérifier le statut des spécimens .....	9
Extraction d'ADN .....	9
Amplification d'ADN .....	10
Séquençage d'ADN .....	10
Analyse phylogénétique .....	10
II-5 Détermination du régime alimentaire .....	11
Expérience de préférence alimentaire .....	11
Traitements statistiques.....	13
Analyse de barcoding .....	13
III- Résultats .....	14
III-1 Echantillonnage .....	14
III-2 Statut taxonomique des écrevisses en Martinique.....	16
III-3 Détermination du régime alimentaire .....	19
III-4 Expérience de préférence alimentaire.....	20
IV- Discussion .....	25
IV-1 Distribution et origine.....	26
IV-2 Préférence alimentaire .....	28
Références bibliographiques.....	33
Annexes .....	41
Résumé .....	51

## I- Introduction

La distribution mondiale des espèces de l'arbre du vivant a été façonnée pendant des millions d'années sous l'impulsion de l'évolution et de la sélection naturelle avec des barrières géographiques délimitant les différents environnements. Les communautés se sont donc formées suivant leurs exigences environnementales avec une sorte d'équilibre et de hiérarchisation des espèces en fonction de la chaîne trophique. L'Homme, de par son envie d'expansion et de découvrir le monde, a permis le déplacement des espèces en leur octroyant la possibilité de franchir les barrières géographiques qui étaient infranchissables par leurs propres moyens de dispersion, constituant ainsi l'étape d'introduction (Liebhold *et al.*, 1995). Ces espèces sont appelées espèces exotiques car elles sont en dehors de leur aire de répartition naturelle (Vitousek *et al.*, 1996). Ces espèces, si leurs caractéristiques intrinsèques et celles du milieu le permettent, peuvent devenir envahissantes, dans l'écosystème où elles ont été introduites. Pour cela, plusieurs étapes sont nécessaires : tout d'abord l'introduction, qui peut être volontaire ou accidentelle (McQuaid et Arenas, 2009). Ensuite, l'établissement va soit mener à une naturalisation de l'espèce soit à une extinction si elle n'est pas adaptée au milieu (Liebhold *et al.*, 1995). Cette étape s'achève lorsque l'espèce est en mesure de se déplacer par ses propres moyens et de se reproduire (Sakai *et al.*, 2001). Le caractère invasif dépendra des capacités de dispersion qui permettra à l'espèce de coloniser l'environnement si celle-ci n'a pu être éradiquée ou contrôlée. Cette invasion est bien souvent un désastre écologique pouvant à termes provoquer des perturbations dans l'environnement, des déplacements d'espèces voire, pire encore, des extinctions d'espèces locales, faisant ainsi de ce phénomène un acteur à part entière du changement global (Vitousek *et al.*, 1996). Ces invasions sont bien souvent difficiles à contrôler et engendrent des coûts économiques exorbitants (McQuaid et Arenas, 2009 ; Sakai *et al.*, 2001 ; Brumfield, 2010 ; Colautti et Lau, 2015). Les prérequis d'une espèce envahissante sont intuitifs : une reproduction efficace, une croissance et une maturité rapide, une bonne plasticité phénotypique et une haute tolérance aux milieux hétérogènes, une forte compétitivité et une grande capacité de dispersion (Sakai *et al.*, 2001, McQuaid et Arenas, 2009). Elles sont retrouvées dans toutes les branches de l'arbre du vivant et dans toutes les régions du monde (Seebens *et al.*, 2017 ; Strauss *et al.*, 2012). Parmi ces espèces, celles ayant une valeur économique sont largement représentées (McQuaid et Arenas, 2009) comme par exemple l'écrevisse bleue *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) originaire d'Australie et de Papouasie-Nouvelle Guinée. En effet, cette espèce de la famille des Parastacidae est une espèce

prisée en aquaculture et en aquariophilie, en raison de sa facilité d'élevage et d'une croissance rapide (Azofeifa-Solano *et al.*, 2017). Cette espèce affectionne les eaux chaudes et ne peut survivre dans des eaux dont la température est inférieure à 3°C (Karplus *et al.*, 1998). Elle fut ainsi transportée pour sa production dans de nombreux pays à climat équatorial: Equateur (Romero et Jimenez, 2002), Taiwan (Hiesh, 2016), Mexique (Bortoloni et Rodriguez-Almaraz, 2007 ; Torres-Montoya *et al.*, 2016), Singapour (Ahyong et Yeo, 2007), Jamaïque (Todd, 2002), Hongrie (Weiperth *et al.*, 2018), Costa Rica (Azofeifa-Solano *et al.*, 2017), Indonésie (Patoka *et al.*, 2016), Etats-Unis d'Amérique (Hauck *et al.*, 2001), Porto-Rico (Garcia-Vazquez et Lopez-Greco, 2007), Afrique du Sud (de Moor, 2002 ; Nunes *et al.*, 2017), Israël (Karplus, 1998 ; Snovsky et Galil, 2011), République Tchèque (Patoka *et al.*, 2015), Malaisie (Naqiuddin *et al.*, 2016), Zambie (Lodge *et al.*, 2012), Slovénie (Jaklic et Vrezec, 2011). Comme pour l'écrevisse de Louisiane, *Procambarus clarkii*, son importation à l'état vivant a permis à cette espèce de coloniser le milieu naturel soit par dispersion naturelle à partir des lieux d'élevage soit par l'homme. Comme elle est peu exigeante vis-à-vis de la qualité de l'eau et qu'elle possède des capacités de dispersion importante, elle a peu à peu colonisé très rapidement le réseau hydrographique. *Cherax sp* fut introduite en Martinique au début des années 2000 en provenance de Cuba afin de redynamiser l'exploitation commerciale des crustacés en eau close devenue infructueuse comme celle de la crevette (*Macrobrachium rosenbergii* notamment). Sur les documents officiels concernant la demande d'autorisation d'élevage de *Cherax* celle-ci a été établie pour l'espèce *Cherax quadricarinatus*. Cette espèce se retrouva ensuite en eau vive suite à des lâchers intentionnels et des évasions des sites de production (ODE – DEAL 972, 2016). L'île, de par son réseau hydrographique très développé et son climat tropical, est un environnement optimal pour le développement de l'écrevisse bleue. Depuis son introduction, elle est établie dans trois cours d'eau d'après les observations faites lors de campagnes de pêches électriques lancées ces dernières années par la DEAL et l'Office De l'Eau de la Martinique dans le cadre de la DCE pour l'amélioration des connaissances sur les espèces dulçaquicoles (2013/2015/2016) (ODE – DEAL 972, 2016). D'après les pêcheurs locaux, les densités de population sont très importantes et doivent nécessairement impacter le milieu et les communautés présentes.

Le régime alimentaire de cette écrevisse semble être omnivore comme chez la plupart des espèces d'écrevisses avec néanmoins une préférence pour les macrophytes selon de Moor (2014). Le cannibalisme peut être également très fréquent chez les écrevisses notamment

lorsqu'elles se retrouvent en forte densité dans le milieu (Karplus, 1998) et ou pendant les périodes de mues (Tropea *et al.*, 2009, Viau 2009). En astaciculture, des apports de céréales sont effectués tous les 2 jours comme par exemple dans l'élevage de M. Mangatal au Carbet (Martinique). Dans le milieu naturel, aucune donnée n'existe sur l'impact de cette écrevisse sur les communautés végétales et faunistiques.

Or le territoire Martiniquais fait partie d'un des 35 hotspots mondiaux de la biodiversité, ce qui en fait une île nécessitant une vigilance vis-à-vis du maintien de ses espèces endémiques. Dans, les rivières d'eau douce, treize espèces de macro-crustacés décapodes sont dénombrées dont 3 sont endémiques des Antilles : *Micratya poeyi*, *Xiphocaris elongata* et *Macrobrachium faustum*, et 21 espèces de poissons dont 2 sont endémiques des Antilles : *Anablepsoides cryptocallus* et *Eleotris perniger* (Lim *et al.*, 2002). Ainsi, l'apparition d'une espèce invasive omnivore peut impacter cette biodiversité par préation (Sakai *et al.*, 2001). Par exemple, l'écrevisse rouge de Louisiane (*Procambarus clarkii*) introduite en Europe est à l'origine de plusieurs impacts physiques sur l'écosystème notamment en dégradant les berges par leur activité de creusement perturbant ainsi la transparence de l'eau ce qui perturbe le fonctionnement aquatique (Souty-Grosset *et al.*, 2017). Elle entraîne également une baisse importante de la biodiversité faunistique et floristique dû à son régime alimentaire omnivore (Souty-Grosset *et al.*, 2006). Ainsi caractériser le régime alimentaire d'une espèce exotique en milieu naturel est une étape clé dans la connaissance de son impact sur les communautés locales et dans la mise en place d'un plan de conservation de la biodiversité.

Plusieurs méthodologies existent pour caractériser le régime alimentaire d'une espèce donnée, soit basées sur des observations directes sur des spécimens, soit à partir d'outils moléculaires. Ainsi, l'examen du contenu stomacal à la loupe binoculaire est probablement la plus utilisée notamment pour les espèces carnivores (Butler et du Toit, 2002 ; Scheiffarth, 2001 ; Gutiérrez-Yurrita, 1998). Cependant cette technique est très couteuse en temps et donne souvent des informations partielles (Soininen, 2009 ; Scheiffarth, 2001). Des expériences de préférences alimentaires peuvent également être mises en place. Pour cela, les individus testés sont placés dans des aquariums en présence des espèces présentes dans le milieu naturel et un comptage des proies à l'issue du temps d'expérimentation est réalisé (Šidagytė *et al.*, 2017).

Plus récemment avec la révolution technologique du séquençage haut-débit, de plus en plus d'études consistent à analyser par métabarcoding ou du code-barres ADN, l'ADN extrait à partir des fèces ou du contenu gastrique (Bohmann *et al.*, 2011). Elle est basée sur le séquençage massif de fragments d'ADN spécifique de chaque espèce. Cette méthodologie a d'abord été mise en place pour étudier le régime alimentaire des herbivores car les caractéristiques de l'ADN, très différentes entre l'espèce cible et ses proies, facilitent l'interprétation des résultats. Très peu d'études portent sur des espèces omnivores. Plusieurs études soulignent les potentialités de cette méthodologie comme par exemple Soininen *et al.* (2009) qui ont trouvé des résultats similaires en comparant ceux obtenus par métabarcoding à ceux résultant de l'observation microhistologique sur des contenus stomachaux de campagnols herbivores.

Cette étude a plusieurs objectifs : (1) Actualiser la carte de distribution de l'espèce par des sessions de piégeage à la nasse et des prospections nocturnes sur l'ensemble des cours d'eau de la Martinique (2) Vérifier le statut taxonomique des spécimens capturés lors des inventaires par séquençage du gène codant pour l'ARN ribosomique du 16S et tenter de retracer l'histoire de la colonisation en Martinique par utilisation d'un gène plus variable codant pour la cytochrome oxydase I (3) Mesurer l'impact de cette écrevisse sur les communautés par l'étude du régime alimentaire par des expérimentations de préférence alimentaire en conditions contrôlées et initier une analyse du régime alimentaire par la technique du métabarcoding à partir d'extraction d'ADN sur des fèces.

## II- Matériel et méthode :

### II-1 Matériel Biologique

Les premières traces de transport de *Cherax* sp apparaissent aux Etats-Unis pour la recherche en 1989 (Hauck *et al.*, 2001). Son introduction dans d'autres pays couplée à son potentiel de dispersion fort (en moyenne 6.6km/an suivant les corridors écologiques) lui ont permis de s'installer dans le milieu naturel (Nunes *et al.*, 2017).

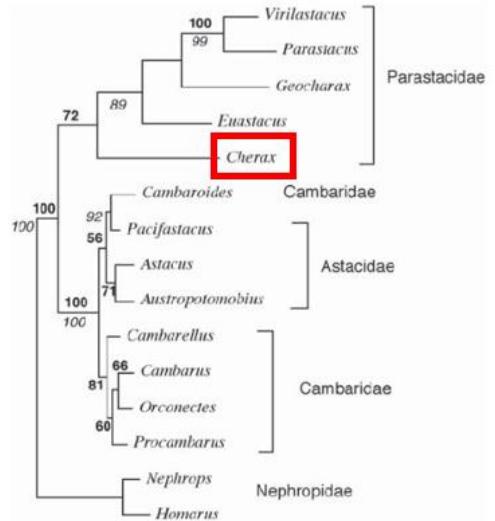


Figure 1 : Arbre phylogénétique de la superfamille des écrevisses Astacoidea dans laquelle se trouve le genre *Cherax* (Crandall, 2006)

#### Croissance

Le développement de la descendance est direct avec une absence de stade larvaire (Tropea *et al.*, 2009).

Son élevage s'effectue généralement en étang ouvert (Bortoloni et Rodriguez-Almaraz, 2007) dans lesquels la croissance est d'environ 2g par semaine (Arzola-Gonzalez *et al.*, 2012). En élevage, son taux de croissance est très élevé puisqu'un individu atteint généralement un poids supérieur à 100g en un an sachant que l'espérance de vie est de l'ordre de 5 ans (M. Mangatal, Aquaculteur, com. pers.). Ainsi, pour les individus les plus âgés, le poids peut atteindre environ 600 g pour une taille de 25 cm (de Moor, 2014 ; Ahyong *et al.*, 2007). Comme pour l'ensemble des écrevisses, les mâles ont une croissance plus rapide et peuvent atteindre une taille plus importante que les femelles car celles-ci muent moins que les mâles en raison de périodes de gravidité où elles incubent leurs œufs sous l'abdomen (Rodgers *et al.*, 2006 ; M. Mangatal, Aquaculteur, com. pers.). L'espèce est très bien adaptée pour la sélection des souches de grandes tailles afin de maximiser la rentabilité de la production: une augmentation de croissance de +9,5 % en 2 générations est observable (Jones *et al.*, 2000 ; M. Mangatal, Aquaculteur, com. pers.).

#### Reproduction

La maturité sexuelle est atteinte à environ 4 ou 5 mois pour les femelles (De Moor, 2014 ; Mangatal, Aquaculteur, com. pers.). La période de reproduction s'étend de Septembre à Avril en Australie, dans son aire de répartition naturelle (Bortoloni et Rodriguez-Almaraz, 2007 ; M. Mangatal, Aquaculteur, com. pers.). La reproduction est aussi possible toute l'année si la température de l'eau est supérieure à 20°C (De Moor, 2014, Bortoloni et Rodriguez-Almaraz,

2007, M. Mangatal, Aquaculteur, com. pers.) avec un nombre d'évènement de reproduction pouvant aller jusqu'à 4 voire même, plus rarement, 5 par femelle avec des pontes comprenant de 200 à 500 œufs (De Moor, 2014 ; Arzola-Gonzalez *et al.*, 2012 ; Tropea *et al.*, 2009)

### *Exigences écologiques*

En matière d'exigences écologiques, *Cherax sp* se révèle être ubiquiste. Les individus peuvent se développer dans des ruisseaux permanents, peu profonds aux lacs profonds et turbides (De Moor, 2014 ; Tropea *et al.*, 2009) tant qu'il y a présence de crevasses et de roches pour servir de caches (Belle *et al.*, 2010). Ses tolérances en matière de températures sont très larges : les températures létales sont celles supérieures à 34°C et celles inférieures à 3°C. En revanche, cette espèce peut survivre à un épisode de froid d'environ 10°C pendant une période de quelques heures (Karplus *et al.*, 1998). La température minimale pour la croissance est de 20°C avec des températures optimales de développement et de reproduction entre 23°C et 31°C (De Moor, 2014 ; Tropea *et al.*, 2009).

Le genre *Cherax sp* est capable d'osmoréguler à des concentrations en sel comprises entre 15 et 25 mg/L et peut même supporter une courte exposition à l'eau de mer. Le taux de survie maximal a été observé à une salinité valant 12 mg/L (De Moor, 2014 ; Tropea *et al.*, 2009).

Son optimum en matière d'oxygène dissous est de 5 mg/L mais elle peut survivre à des concentrations de l'ordre d'1 mg/L (De Moor, 2014 ; Tropea *et al.*, 2009).

En Australie, *Cherax sp* évolue dans des eaux alcalines, à pH compris entre 7 et 8.5 (Belle et Yeo, 2010).

### *Comportement alimentaire*

Le régime alimentaire semble omnivore avec une préférence pour les végétaux (Ahyong et Yeo, 2007). Dans l'élevage du Carbet, M. Mangatal apporte un complément de nourriture à base de céréales. Une grosse capacité de compétition lui est tout de même accordée (U.S. Fish and Wildlife Service, 2012).

### *Description morphologique*

Les mâles matures possèdent une tache rouge caractéristique sur la surface externe des pinces principales (Figure 2A). Les deux sexes ont des couleurs rouge vif à marron sur les parties latérales et caudales et une couleur bleu à bleu-vert sur le corps (Figure 2C). L'espèce étudiée

ici possède aussi, sur la partie céphalique, quatre lignes longues et distinctes en position dorsale (Figure 2C). Trois épines sont observables, positionnées latéralement le long de la rainure cervicale (Belle et Yeo 2010). L'ensemble des photos proviennent de spécimen de l'élevage du Carbet (Martinique).

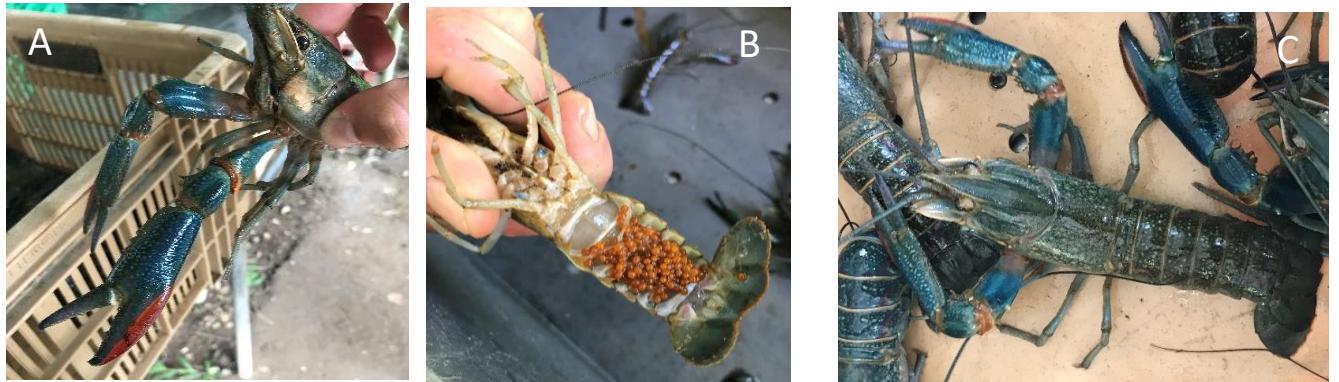


Figure 2 : Photographies de spécimens *Cherax* sp : (A) mâle adulte, reconnaissable à la tâche rouge caractéristique sur les pinces (B) femelle féconde adulte, en vue ventrale, portant ses œufs et (C) en vue dorsale, reconnaissable à sa couleur bleue caractéristique et les quatre lignes sur la partie céphalique.

## II-2 Zone d'étude

La Martinique est une île d'origine volcanique, d'une superficie de 1128 km<sup>2</sup>, située dans l'archipel des petites Antilles, dans l'Océan Atlantique (Figure 3A). Le relief est plutôt variable sur l'ensemble de l'île, tout comme le climat et la pluviométrie (Figures 3C et 3D). L'axe Fort-de-France – Le Robert sert bien souvent de délimitation Nord-Sud afin d'expliquer ces variations. Au Nord, la partie la plus montagneuse de l'île est retrouvée avec le point culminant (1397 m) correspondant à la montagne Pelée, avec une forêt tropicale formée sous l'impulsion d'un climat pluvieux (Figures 3C et 3D). Au Sud, le paysage est moins accidenté avec des « mornes » s'élevant au maximum à 504 m pour la montagne du Vauclin (Figure 3C). Le climat y est également plus sec avec une insolation allant jusqu'à 3000 heures par an pour la région de Sainte-Anne. Malgré cette variation Nord/Sud, la totalité de l'île est tout de même soumise aux mêmes saisons de type tropical maritime : la saison dite sèche ou « Carême » de décembre à mai, et la saison humide dite de « L'Hivernage » de juin à novembre avec des cyclones possibles et des crues fréquentes. Les températures moyennes sont comprises entre 17 et 25°C avec des amplitudes saisonnières faibles (DIREN, 2008).

Le réseau hydrographique martiniquais est très important : 70 cours d'eau majeurs sont référencés, alimentés par de nombreux affluents permanents ou non (Figure 3B) (DIREN, 2008). Tout ceci fait de la Martinique un écosystème riche en biodiversité, avec une grande variété en peuplements faunistiques et floristiques avec un taux d'endémisme global important au niveau des Antilles (DIREN, 2008). Cependant, les activités humaines et une population grandissante ont un impact négatif sur cet environnement insulaire fragile d'où la mise en place de nombreux programmes de protection des habitats et des espèces (DIREN, 2008).

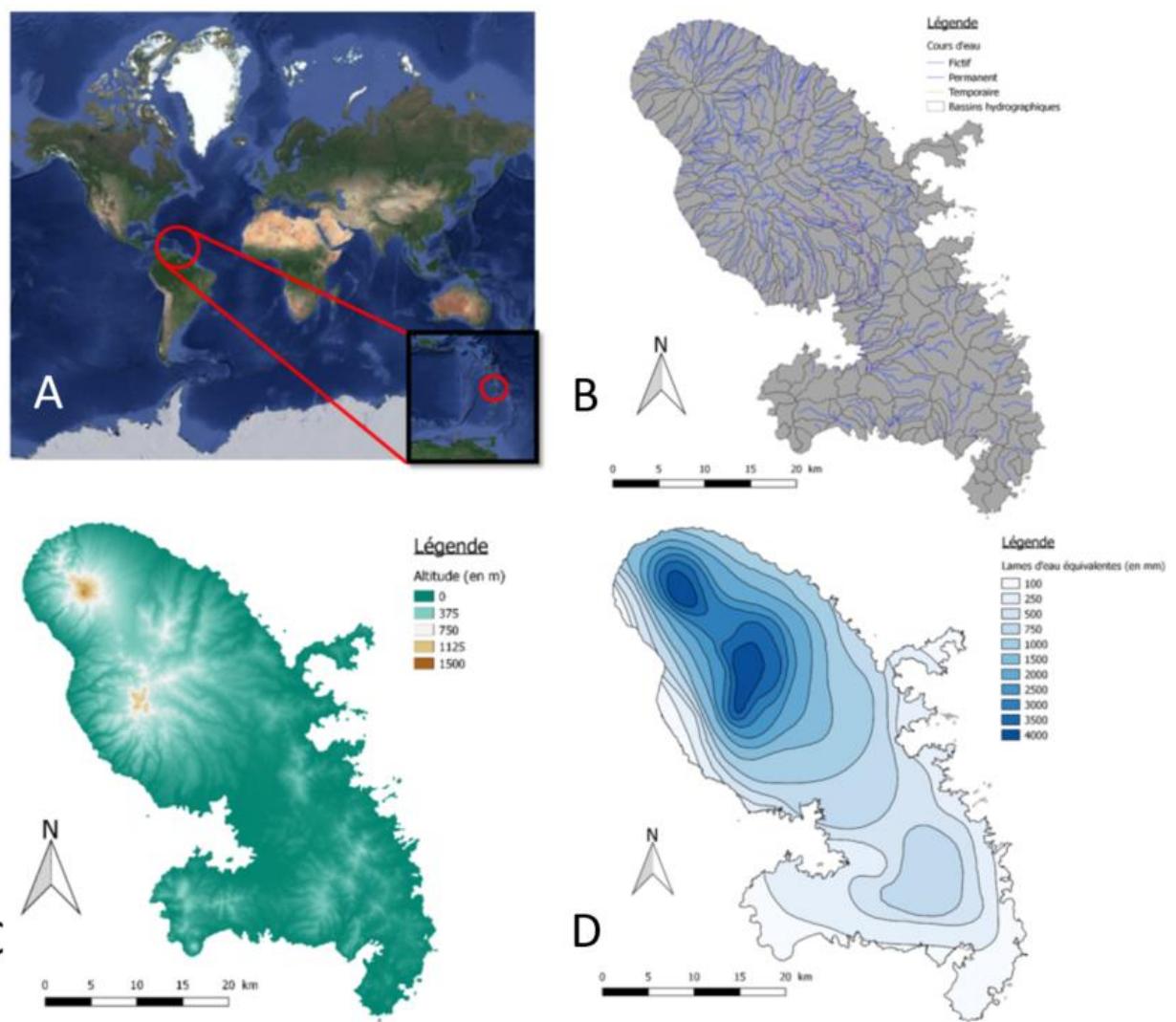


Figure 3 : (A) Localisation mondiale de la Martinique dans l'archipel des Petites Antilles dans les Caraïbes. (B) Cartographie du réseau hydrographique de la Martinique et des bassins versants associés. (C) Cartographie des reliefs du territoire Martiniquais. (D) Cartographie de la pluviométrie (lames d'eau équivalentes) à laquelle est soumise l'île.

## II-3 Etude de la distribution des écrevisses en Martinique

29 sites ont été prospectés durant la période du 2 mars au 20 mai 2018 selon deux méthodes de captures qui étaient fonction de la hauteur d'eau rencontrée sur les sites échantillonnés. Pour les sites ayant une faible profondeur d'eau (3 sites), des prospections à la lampe de nuit ont été effectuées. C'est la technique la plus utilisée et la plus efficace lors des réalisations d'inventaire d'écrevisse (Bramard *et al.*, 2006) pour ce type de cours d'eau. Pour les sites montrant une hauteur d'eau supérieure à 80 cm en moyenne (26 sites), la pose de nasse appâtée reste la technique la plus efficace. Les nasses (4) (Annexe 1), appâtées par du manioc (voir partie préférence alimentaire), sont déposées en fin d'après-midi généralement dans les plats courants ou fosses. Les individus sont sexés et classés en tant qu'adulte ou juvénile, la taille de maturité sexuelle étant atteinte à environ 5 mois, donnant des individus pesant environ 40 grammes et mesurant environ 7 cm (Arzola-Gonzalez *et al.*, 2012). Les pattes sont prélevées pour l'analyse génétique. Les individus sont ensuite éliminés et non remis dans le cours d'eau.

## II-4 Analyse moléculaire pour vérifier le statut des spécimens

### *Extraction d'ADN*

L'ADN de 15 individus provenant de 5 populations différentes a été isolé. L'extraction s'est faite à partir d'un fragment de tissus musculaires d'un périopode ou bien d'un individu entier, préalablement conservé dans une solution d'alcool à 90 % à température ambiante (figure 4). L'extraction d'ADN s'est faite selon la méthode de Wilson : les tissus sont placés dans le tampon Wilson (100 mM Tris, 100 mM EDTA, 100 mM NaCl, 0,1% SDS, 50 mM DTT, pH 8) avec de la protéinase K durant 4h à 37°C. Puis deux lavages avec une solution de phénol-chloroforme isoamyle (24 : 24 : 1), sont réalisés avant un dernier lavage au chloroforme. A chacun de ces lavages, le surnageant est prélevé. L'ADN est précipité avec un volume d'isopropanol et 1/10 d'acétate de sodium (3M, pH 7). L'ADN est ensuite séché et re-suspendu dans 25 µL d'eau distillée. Les matrices d'ADN sont conservées à 4°C durant le temps de l'étude. La concentration en ADN a été mesurée par spectromètre Nanodrop® ND 100 (Nanodrop Technologies, Willmington, USA). Les amplifications ont été effectuées à partir d'une concentration d'ADN homogénéisée à 25 ng/l pour chaque individu.



Figure 4: Individu *Cherax quadricarinatus* conservé dans de l'éthanol à 90% dans un tube Falcon en attendant l'analyse génétique.

### *Amplification d'ADN*

Deux fragments d'ADN mitochondrial (16s et CO1) ont été amplifiés dans un volume final de 25 $\mu$ L contenant 1X de Green Buffer, 8,6 mM de dNTPs, 10  $\mu$ M pour chacune des deux amores (le couple 6Sm\_F : 5' - GCCTGTTAACAAAAACATC - 3', 16Sm\_R : 5' - CGGTTGAACTCAAATCATGTG - 3') ou LCO 5'- GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG G - 3' et HCO 5'- TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AAT CA - 3' ou, 5 U. $\mu$ L<sup>-1</sup> de Taq polymérase (GoTaq). Le pré-mix est complété par de l'eau bi-distillée pour atteindre un volume de 24,5  $\mu$ L auquel nous ajoutons 0,5  $\mu$ L d'extrait d'ADN (d'une concentration de 25 à 35 ng d'ADN). Le programme d'amplification utilisé est : dénaturation 5 min à 95°C, suivi de 35 cycles comprenant une dénaturation à 95°C de 30 s, hybridation à 52° C de 30 s, élongation à 72°C de 45 s), et une étape terminale d'élongation à 72°C pendant 45 s.

Les produits de PCR sont vérifiés sur un gel d'agarose à 1,5 % contenant BET et visualisés du sous UV. Le marqueur de taille utilisé est le Smart ladder Eurogentec® (200 à 10 000 pb).

### *Séquençage d'ADN*

Les fragments amplifiés sont purifiés par Exonucléase 1 et séquencés selon Big Dye Terminator method® (PE Applied Biosystem) sur un séquenceur automatique de type ABI PRISM 3130. Pour chaque individu nous avons séquencé les fragments « forward » (LCO-CO1 et 16S ar) et « reverse » (HCO-CO1 et 16S br).

### *Analyse phylogénétique*

Les séquences d'ARN 16S ont été alignées à 35 séquences du genre *Cherax* trouvées dans GenBank en utilisant le programme MAFFT v7.123b. L'alignement a été utilisé pour construire un arbre phylogénétique par la méthode de maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel FastTree v2.1.10 avec le modèle d'évolution GTR. Une séquence de *Cherax monticola* a été choisie comme groupe externe. La Figure 5 a été générée à l'aide du logiciel FigTree (version 1.4.3). Les valeurs des nœuds ont été obtenues selon la procédure de Shimodaira-Hasegawa- (1999).

## II-5 Détermination du régime alimentaire

### *Expérience de préférence alimentaire*

Deux expérimentations ont été réalisées, la première en milieu naturel (i) pour vérifier la préférence des écrevisses vis à vis d'une nourriture d'origine végétale et animale, de façon à pouvoir sélectionner la plus attractive pour nos prospections, et la seconde (ii) en condition contrôlée au laboratoire pour vérifier l'impact possible sur les macroinvertébrés des cours d'eau de Martinique.

(i) 4 nasses conçues spécifiquement pour cette étude (annexe 1) ont été déposées sur la Lézarde à la station « Zone Nasse Caraïbes » le long de la rive droite. Deux nasses sont appâtées avec des boulettes de bœuf en sauce et les deux autres sont appâtées avec du manioc. Elles sont placées le long de la berge en intervertissant les nasses (une nasse avec du manioc puis une nasse avec des boulettes). Les pièges sont laissés pendant 70h soit 3 nuits de fourragement. Une fois cette période écoulée, les nasses sont relevées, les individus sont décomptés pour chaque condition, sexés, mesurés et pesés. Cette expérience a été renouvelée une seconde fois.

(ii) cette expérience a nécessité au préalable une capture des macroinvertébrés de la rivière du Carbet qui est un cours d'eau avec une qualité biologique « très bonne » d'un point de vue hydrobiologique (AFB, ODE, SCE, 2018) afin de maximiser le nombre de taxons collectés. Après détermination à la famille, ils sont mis en stabulation en aquarium avant le début de l'expérimentation. Le protocole utilisé ici est modifié à partir de celui proposé par Šidagytė *et al.* (2017) qui a étudié le comportement alimentaire d'écrevisses de l'espèce *Orconectes limosus* (écrevisse américaine) et de l'espèce *Astacus leptodactylus* (écrevisse à pattes grêles).

Six aquariums opaques de dimension 37cm x 30cm x 20cm sont utilisés. Ils sont remplis avec 10L d'eau du robinet, une semaine avant le début de l'expérience et pourvus d'un bulleur pour l'oxygénation de l'eau. Les écrevisses capturées (juvéniles et adultes) sont issues du cours d'eau de la Lézarde et mises à jeûner pendant une journée, avant le début de l'expérience comme préconisé par Šidagytė *et al.* (2017). Les macroinvertébrés sont déposés dans l'aquarium une heure avant les écrevisses. L'expérience se déroule sur une durée de 40h, soit deux nuits de fourragement car les écrevisses ont une activité nocturne. Le nombre de macroinvertébrés, pour chaque famille, déposés dans les aquariums est répétorié dans le Tableau 1. Ainsi lorsque la période d'expérimentation est terminée, l'écrevisse est retirée et les macroinvertébrés peuvent

être dénombrés. Deux lots témoins avec la même composition de macroinvertébrés mais dépouvus d'écrevisses sont également mis en place.

Tableau 1 : Composition initiale en macroinvertébrés de chaque aquarium. Les différentes proportions sont reliées à l'abondance retrouvées dans le cours d'eau du Carbet d'après des données DEAL ;

Groupe	Famille	Nombre d'individus
<b>Mollusques</b>	Thiaridae	6
	Neritidae	2
	Planorbidae	1
<b>Trichoptères</b>	Leptoceridae	6
	Hydropsychidae	5
	Xiphocentronidae	1
<b>Diptères</b>	Chironomidae	16
<b>Crustacés</b>	Xiphocarididae	1
	Palaemonidae	2
<b>Ephéméroptères</b>	Baetidae	9
	Caenidae	3
	Leptohyphidae	6
<b>Total</b>		58

La « Feeding Selectivity » pour chaque écrevisse envers chaque groupe est déterminée d'après la formule de Chesson  $\alpha_i$  (Chesson, 1978) sous la forme de  $\varepsilon_i$  (Chesson, 1983) (Figure 5). Pour calculer cela, les macroinvertébrés sont réunis en différents groupes ( $m$ ) : ici 8 puisque nous dissocieront les familles de mollusques et les familles de crustacés. Ensuite, l'abondance environnementale de chaque groupe ( $n_{ei}$ ) est estimée comme étant la moyenne des abondances initiales et finales moyennes dans les aquariums contrôle. Le nombre d'individus consommés pour chaque groupe ( $n_{ri}$ ) est calculé en déduisant l'abondance finale dans les aquariums test de l'abondance environnementale de chaque groupe ( $n_{ei}$ ). Une fois l'indice  $\alpha_i$  calculé, il peut être reporté dans l'indice  $\varepsilon_i$ . Cette équation permet d'obtenir des valeurs variant de -1 (évitement) à +1 (préférence de consommation) et 0 traduit une consommation aléatoire.

Les résultats sont traités de telle sorte que l'on obtient 3 groupes en faisant les moyennes deux à deux : juvéniles, adultes et contrôle.

$$\alpha_i = \frac{n_{ri}/n_{ei}}{\sum_{i=1}^m (n_{ri}/n_{ei})}$$

$$\varepsilon_i = \frac{m \times \alpha_i - 1}{(m-2) \times \alpha_i + 1}$$

Figure 5 : Equations permettant de calculer la "Feeding Selectivity" de chaque écrevisse pour chaque groupe (Chesson, 1978 ; Chesson 1983).

### *Traitements statistiques*

Les tableaux de données, les graphiques et les histogrammes ont été mis en forme avec le logiciel Microsoft Excel. A partir de cela, les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel RStudio. Le t-test avec la fonction `t.test()` a permis de tester les différences entre valeurs appariées pour les différentes expérimentation à un niveau de confiance de 0.95.

La normalité et l'homogénéité des valeurs sont testées respectivement par les tests de Shapiro-Wilk et Batlett.

### *Analyse de barcoding*

Pour cette étude préliminaire, les intestins de 2 écrevisses de la population de la station « Pont de Bassignac » sur la Rivière du Galion ont été disséqués afin de prélever les fèces (figure 6) puis de les stocker dans une solution d'éthanol à 90 %. L'extraction d'ADN ainsi que les amplifications et le séquençage ont été sous-traités au département de génomique de l'université de Monash en Malaisie, en raison d'une collaboration existante avec le laboratoire EBI de l'université de Poitiers, selon le protocole en annexe (Annexe 2).



Figure 6 : Intestin d'écrevisse retiré du corps de l'écrevisse.

Pour cette approche barcoding, une recherche bibliographique a permis de sélectionner 4 couples d'amorces permettant d'amplifier des gènes de différents groupes taxonomiques (le gène *rcbL* (220 bp) pour caractériser les macrophytes, le gène *COI* pour caractériser les macroinvertébrés (2 couples d'amorces (*mlCOIintF/ jgHCO2198* pour cibler un fragment de 313 bp) et (*mlCOIintR/jgLCO1490* pour cibler un fragment de 319 bp) (Leray *et al.*, 2013) et le couple d'amorce *Euk18S\_1391\_F / Euk18S\_Br\_R* amplifiant le gène *18S* des Eucaryotes (260 bp) (Annexe 3) (<http://press.igsb.anl.gov/earthmicrobiome/protocols-and-standards/18s/>).

### III- Résultats

#### III-1 Echantillonnage

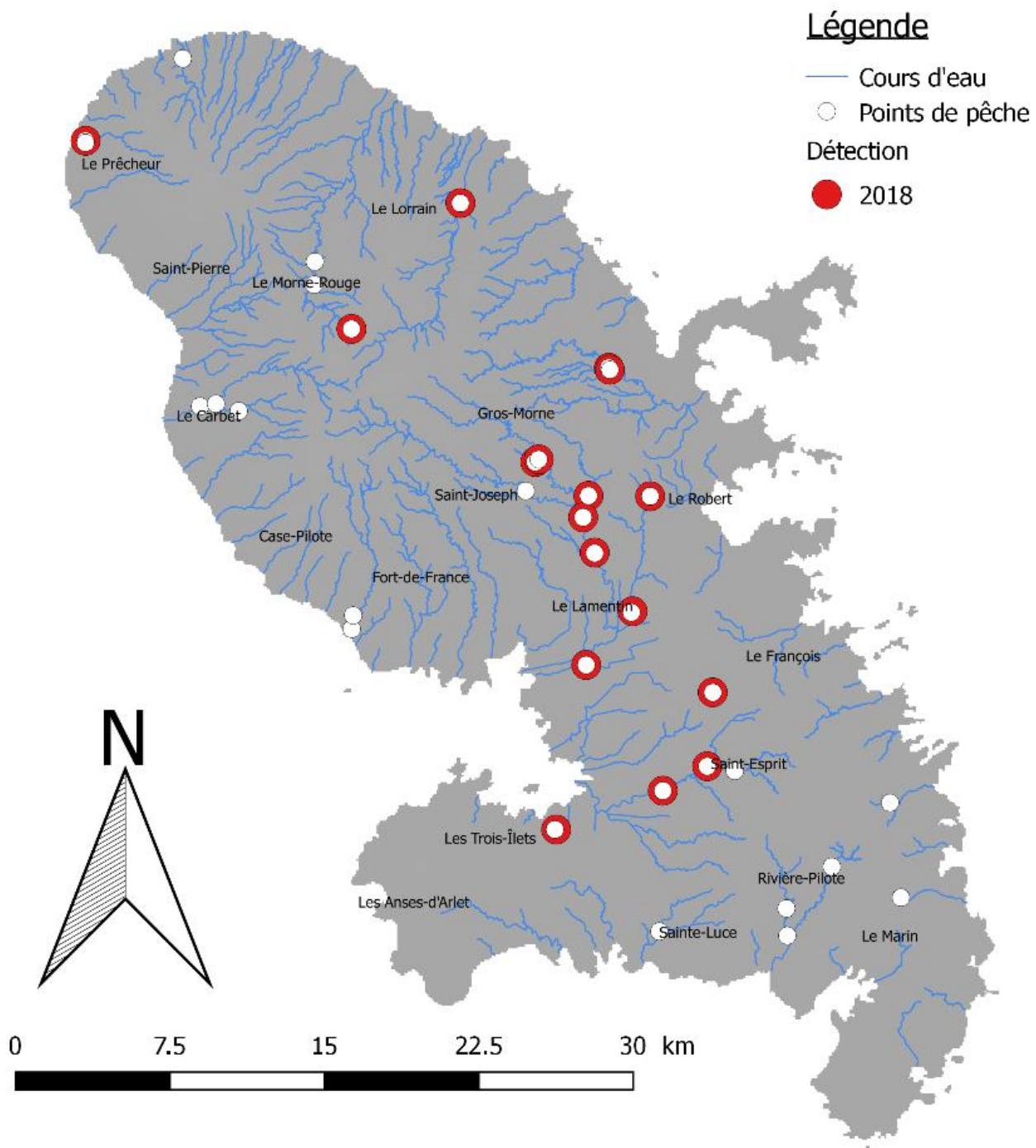


Figure 7 : Cartographie des points de pêche prospectés lors de l'étude ainsi que des détections des populations de *Cherax* sp sur le territoire Martiniquais. Les points de pêche ont été réalisés sur des cours d'eau permanents, et en eaux closes (Thomas BAUDRY, 2018).

Parmi les 33 stations prospectées, 13 nouvelles populations d'écrevisse *Cherax sp* ont été caractérisées (en bleu clair) (Figure 7, Tableau 2) dans 9 cours d'eau permanents et 4 en eaux closes. Cela porte à 18 le nombre de populations présentes sur le territoire. La population détectée en 2014 à Dormante, dans la rivière Oman, n'a pas été confirmée lors de cette étude. Le nombre de prises par population varie de 1 individu, pour la population de l'Habitation Céron, à 27 individus pour la population dans la Lézarde à la station « Zone Nasse Caraïbes » en une seule pêche.

Tableau 2 : Historique de détection des individus de *Cherax sp*, à partir de la date d'introduction pour l'aquaculture (2004). Les cellules colorées en bleu clair représentent les nouvelles populations détectées lors de cette étude et celle en blanc détectées en 2018 sont une confirmation de présence des données existantes auparavant.

Nom (Station – Cours d'eau)	Date de détection	Type d'habitat	Nombre total d'individus capturés
<b>Elevage Mangatal – Bassin</b>	2004	Eau close	
<b>Dormante – Oman</b>	2014	Cours d'eau	
<b>Retenue de la Manzo</b>	2015	Bassin de retenue d'eau	
<b>Gué de la Désirade – Lézarde</b>	2015	Cours d'eau	
<b>Bassignac – Petit Galion</b>	2015	Cours d'eau	
<b>Zone Nasse Caraïbes – Lézarde</b>	2018	Cours d'eau	110
<b>Ravine – Lorrain</b>	2018	Cours d'eau	2
<b>HSE Amont – Lézarde</b>	2018	Cours d'eau	7
<b>HSE Aval – Lézarde</b>	2018	Cours d'eau	12
<b>Petit Bourg – Coulisses</b>	2018	Cours d'eau	7
<b>Brasserie Lorraine – Petite rivière</b>	2018	Cours d'eau	16
<b>Pont de Bassignac – Grand Galion</b>	2018	Cours d'eau	22
<b>Bassignac – Petit Galion</b>	2018	Cours d'eau	8
<b>Retenue de la Manzo</b>	2018	Bassin de retenue d'eau	37
<b>Saint Maurice – Petite Lézarde</b>	2018	Cours d'eau	3
<b>Gué de la Désirade – Lézarde</b>	2018	Cours d'eau	6
<b>Château Gaillard – Bassin</b>	2018	Eau close	-
<b>Jardin d'Emeraude</b>	2018	Eau close	-
<b>Habitation Céron – Bassin</b>	2018	Eau close	1
<b>Elevage Morne Rouge – Bassin</b>	2018	Eau close	-
<b>Parcours Sportif Saint-Esprit – Coulisses</b>	2018	Cours d'eau	14

Au total, 245 individus ont été capturés dans les cours d'eau de Martinique prospectés à l'aide des nasses. Les individus présents en élevage (eaux closes) ne sont évidemment pas comptabilisés ni ceux visualisés au Jardin d'Emeraude (4 individus au total) et dans les trois cours d'eau prospectés à la lampe. Aucune femelle gravide n'a été capturée.

Sur ces 245 individus, 97 sont des juvéniles et 148 sont des adultes. Il n'existe aucune différence significative entre sur la valeur du sex-ratio (129 mâles : 116 femelles) ( $t = -1.1226$ ,  $df = 11$ ,  $p\text{-value} = 0.285$ ).

Tableau 3 : nombre d'individus capturés (juvéniles, mâles, femelle) capturé lors des inventaires dans cours d'eaux.

Nombre d'individus total capturés	Sex-Ratio (M : F)	Nombre de juvéniles capturés	Nombre d'adultes capturés
231	129 : 116	97	148

La carte ci-dessous (Figure 8) permet de mettre en relation les points de présence de *Cherax sp* présente en Martinique (en rouge sur la figure 8) avec les points de surveillance DCE de la qualité des eaux continentales superficielles (en vert sur la figure 8) gérée notamment par l'Office de l'Eau de Martinique. Les points de pêche ont été réalisés dans un premier sur des stations jugées favorables à l'établissement de l'espèce exotique invasive d'écrevisse étudiée puis ensuite en essayant de se rapprocher au mieux des stations utilisées pour les mesures de qualité des eaux. Parfois les points de pêche et les stations DCE concordent parfaitement (comme pour la station de Petit Bourg) mais d'autres fois, celles-ci s'avèrent être en amont ou en aval du point de prospection (comme pour la station sur la rivière du Lorrain par exemple).

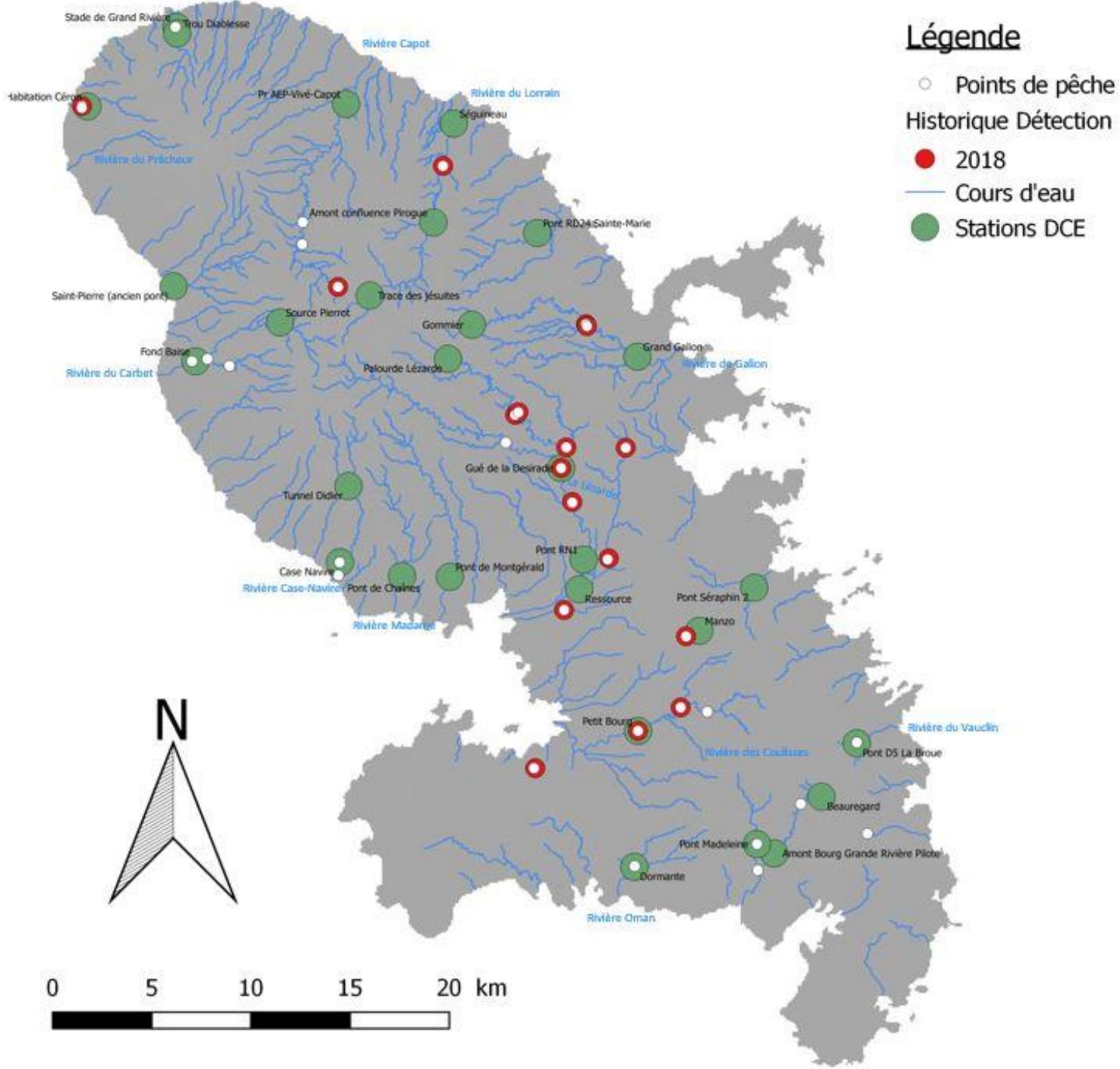


Figure 8 : Cartographie de la mise en relation des points de pêche prospectés lors de l'étude ainsi que des détections des populations de *Cherax* sp sur le territoire Martiniquais avec les stations DCE.

### III-2 Statut taxonomique des écrevisses en Martinique

Bien qu'une amplification ait été obtenue à partir des amores COI, aucune séquence n'a pu être exploitée en raison de chromatogramme illisible. Une séquence de 433 paires de bases a été obtenue à partir du couple d'amores amplifiant la région 16S ARN de l'ADN mitochondrial. L'ensemble des individus testés possède le même haplotype non référencé dans Genbank. L'analyse phylogénétique effectuée en tenant compte de 35 séquences issus de Genbank comprenant les espèces *C. lorentzi*, *C. quadricarinatus*, *C. albertisii*, *C. monicola* et *C. bicarinatus* montre une proximité génétique entre l'haplotype révélé dans notre étude et ceux référencés pour l'espèce *C. lorentzi* (Figure 9). Les espèces *C. quadricarinatus* et *C. albertisii* semblent former un complexe d'espèce. Le pourcentage de similitude entre les séquences est de 98 % avec l'espèce *C. lorentzi* et de 96% avec *C. quadricaritanus*.

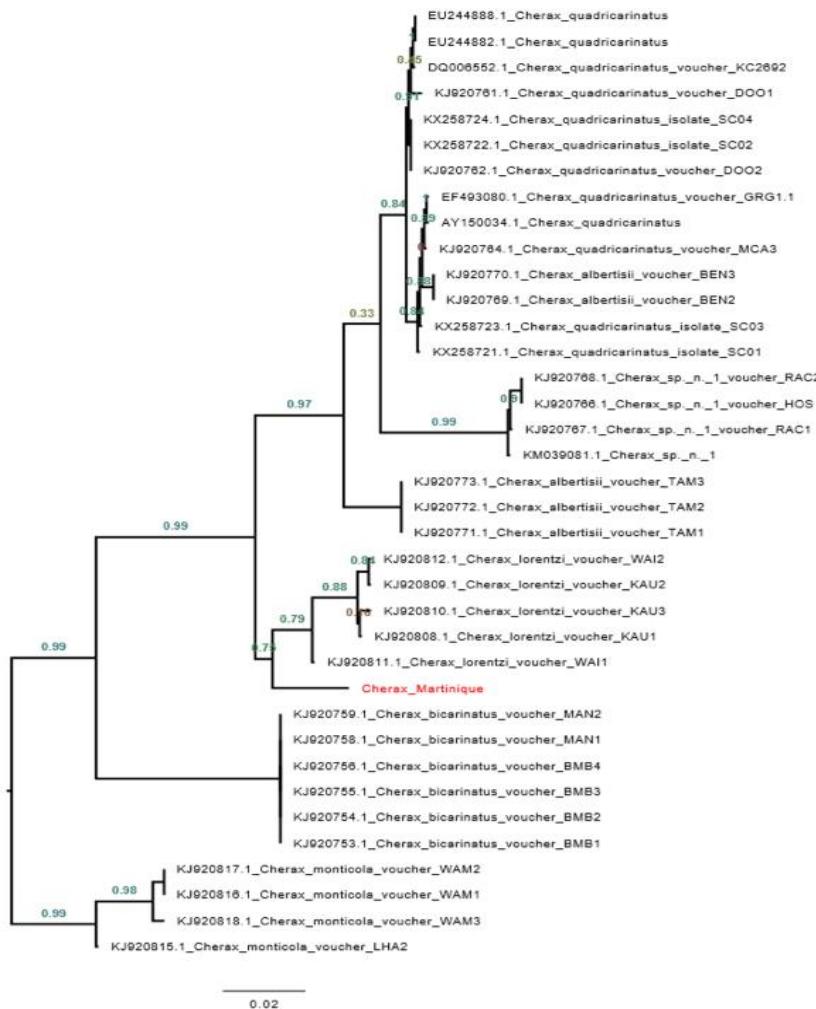


Figure 9 : Phylogénie moléculaire obtenue par la méthode du Maximum de vraisemblance (ML) basée sur un alignement de 433 bp du gène codant pour l'ARNr 16S incluant 36 haplotypes dont 35 sont issus de genbank. Les valeurs des nœuds ont été obtenues selon la procédure de Shimodaira-Hasegawa-(1999).

### III-3 Détermination du régime alimentaire

L'analyse du contenu alimentaire par la méthode de barcoding n'a pas permis d'obtenir des amplifications avec les couples d'amorces utilisés pour l'amplification des gènes rcbL et COI. Seul le couple d'amorces amplifiant une partie du gène 18S (Euk18S\_1391\_F / Euk18S\_Br\_R) a permis d'obtenir des résultats à l'issue du séquençage et ce sur un des deux échantillons prélevés (Annexe 5). La plupart des séquences obtenues correspondent à celles de l'écrevisse avec 87 % de la totalité des reads obtenus (Tableau 4). Une forte proportion des séquences (8,19%) correspondent à une bactérie du genre *Klebsiella* qui est une bactérie commensale présente chez les animaux dans le tube digestif et retrouvée dans les selles. Puis viennent 8 taxons correspondant à des plantes dont la vigne, une espèce de papilionoideae, une de concolvulaceae ou de malvaceae, l'aulne, *Cocculus orbiculatus*, une espèce de *Dioscorea*, une espèce d'Euphorbiaceae ou Salicaceae et une espèce de Musaceae, tous avec des pourcentages de reads inférieurs à 1,5 %. Quelques taxons correspondant à des invertébrés ont également été caractérisés mais avec une très faible représentativité (Tableau 4).

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 4 : Résultats de l'identification et des proportions des séquences d'ADN extraites des fèces de *Cherax sp.*

Nombre de reads détectés	Identification	Règne	%
26113	<i>Cherax quadricarinatus</i>	Animal	87.04
2457	Bacteria- <i>Klebsiella</i>	Bactérie	8.19
370	<i>Vitis vinifera</i>	Plante	1.23
241	<i>Papilionoideae</i>	Plante	0.8
183	<i>Convolvulaceae or Malvaceae</i>	Plante	0.61
130	<i>Alnus sp</i>	Plante	0.43
115	<i>Cocculus orbiculatus</i>	Plante	0.38
110	<i>Dioscorea sp</i>	Plante	0.37
98	Mixture of animal, plant and human		0.33
90	<i>Euphorbiaceae or Salicaceae</i>	Plante	0.3
66	<i>Musaceae</i>	Plante	0.22
65	Bacteria- <i>Shigella</i>	Bactérie	0.22

48	( <i>Anolis frettanii</i> )	Animal	0.16
45	<i>Ephydatia</i> sp	Animal	0.15
39	( <i>Caraboacarus stammeri</i> )	Animal	0.13
36	Fungi ( <i>Malassezia</i> or uncultured basidiomycète)	Champignon	0.12
35	( <i>Zea mays</i> )	Plante	0.12
32	<i>Cosmochthonius lanatus</i>	Animal	0.11
31	Bacteria- <i>Seratia</i>	Bactérie	0.10
28	<i>Aspergillus</i> sp	Champignon	0.09
28	Fungi ( <i>Trametes irsuta</i> )	Champignon	0.09
28	<i>Paniceae</i> or <i>Paspalinae</i>	Plante	0.09

La vigne (*Vitis vinifera*) est cultivée dans les jardins en Martinique (Delnatte, Botaniste ONF, Com. Pers.). Les *Papilioideae* sont une sous-famille, cosmopolite, de la famille des *Fabaceae*. Les *Convolvulaceae* sont une famille comprenant la patate douce (*Ipomoea batatas*), présente naturellement en Martinique, tout comme l'espèce de *Dioscorea*, comprenant l'igname notamment et l'espèce de *Musaceae*, comprenant la banane. *Cocculus orbiculatus* est une liane originaire d'Asie.

### III-4 Expérience de préférence alimentaire

Concernant les expérimentations de capture réalisées en milieu naturel avec différentes sources de nourriture (manioc/boulettes de boeuf), les résultats ont montré un nombre de capture plus important pour les nasses appâtées avec du manioc (63 individus) comparés à celles comportant des boulettes de Bœuf (24 individus) (Tableau 5). Cependant, aucune différence n'a été mise en évidence entre les captures au manioc (49 individus capturés en première session et 14 en deuxième session) et celles aux boulettes de viande (24 individus capturés en première session et 2 en deuxième session) grâce à un test t de Student ( $t = 3.417$ ,  $p\text{-value} = 0.076$ ). Un grand nombre de plécos communs (poissons) (*Hypostomus plecostomus*) a été capturé avec les nasses appâtées par des boulettes de viande (Figure 10).

Tableau 5 : Résultats des pêches avec les 4 nasses (deux appâtées par du manioc et deux par des boulettes de viande). Deux sessions de pêches ont été réalisées.

	Manioc	Viande
<b>Session 1</b>	49	24
<b>Session 2</b>	14	2
<b>Total</b>	63	26



Figure 10 : Photographie d'un pléco commun (*Hypostomus plecostomus*) pêché à la nasse dans la Lézarde à la station "Zone Nasse Caraïbes" lors de l'expérience de préférence alimentaire en milieu naturel.

#### - Préférence alimentaire en condition contrôlée

Dans les aquariums contrôles, seulement un trichoptère n'a pas été retrouvé à la fin de l'expérimentation pour le « CTRL 1 » et un diptère pour le « CTRL 2 » et un éphéméroptère pour le « CTRL 3 ». Tous les individus présents au début de l'expérience dans l'aquarium « CTRL 4 » sont retrouvés à la fin de l'expérience (Tableau 6).

L'individu « Juvénile 1 », mesurant 68 mm, a consommé, durant les 40h de fourragement, 3 trichoptères, 13 éphéméroptères et 8 diptères. Le « Juvénile 2 », mesurant 71 mm a consommé 5 trichoptères, 14 éphéméroptères et 10 diptères. Les deux individus juvéniles n'ont pas ciblé les crustacés et les mollusques. En ce qui concerne l'individu « Juvénile 3 » (73 mm), il a consommé 2 thiaridae, 2 trichoptères, 12 éphéméroptères et 9 Diptères alors que le « Juvénile 4 », mesurant 65 mm, a consommé 1 thiaridae, 4 trichoptères, 12 éphéméroptères et 12 diptères (Tableau 6).

L'individu « Adulte 1 » a consommé 3 thiaridae (Figure 11), 5 trichoptères, 11 éphéméroptères, 11 diptères, 1 xiphocarididae et deux palaemonidae et l'individu « Adulte 2 » : 2 thiaridae, 1 planorbidae, 6 trichoptères, 9 éphéméroptères, 7 diptères, 1 xiphocarididae et 1 palaemonidae (Tableau 6). 5 thiaridae, 6 trichoptères, 10 éphéméroptères, 11 diptères, 1 xiphocarididae et 2 palaemonidae ont été consommé par l' « Adulte 3 » contre 1 thiaridae, 1 planorbidae, 7 trichoptères, 11 éphéméroptères, 8 diptères et 2 palaemonidae pour l' « Adulte 4 ». Les abondances des proies, après les 40h de fourragement, en présence des deux classes d'âge et en condition de contrôle sont interprétées dans le graphique de la Figure 12.



Figure 11 : Photographie de mollusques de la famille des Thiaridae. En haut, un individu entier et en bas une coquille cassée et vidée.

Tableau 6 : Résultats obtenus après les 40h de fourrageant pour les 3 différentes conditions d'expérimentation (4 réplicas contrôles, 4 réplicas adultes et 4 réplicas juvéniles)

CTRL1			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	6	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	11	
Ephéméroptères	Non identifiable	18	
Diptères	Chironomidae	16	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	2	

Juvenile 1			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	6	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	9	
Ephéméroptères	Non identifiable	5	
Diptères	Chironomidae	8	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	2	

Juvenile 2			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	6	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	7	
Ephéméroptère	Non identifiable	4	
Diptères	Chironomidae	6	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	2	

Juvenile 3			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	4	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	10	
Ephéméroptère	Non identifiable	6	
Diptères	Chironomidae	7	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	2	

Juvenile 4			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	1	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	6	
Ephéméroptères	Non identifiable	6	
Diptères	Chironomidae	4	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	2	

Adulte 1			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	3	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	1	
Trichoptères	Non identifiable	7	
Ephéméroptères	Non identifiable	7	
Diptères	Chironomidae	5	
Crustacés	Xiphocarididae	0	
	Palaeomoridæ	0	

Adulte 2			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	4	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	0	
Trichoptères	Non identifiable	6	
Ephéméroptères	Non identifiable	6	
Diptères	Chironomidae	3	
Crustacés	Xiphocarididae	0	
	Palaeomoridæ	1	

Adulte 3			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	1	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	0	
Trichoptères	Non identifiable	6	
Ephéméroptères	Non identifiable	6	
Diptères	Chironomidae	5	
Crustacés	Xiphocarididae	0	
	Palaeomoridæ	0	

Adulte 4			
Groupe	Famille	Nombre d'individus	
Mollusques	Thiidae	5	
	Neitiidae	2	
	Planorbidae	0	
Trichoptères	Non identifiable	5	
Ephéméroptères	Non identifiable	7	
Diptères	Chironomidae	8	
Crustacés	Xiphocarididae	1	
	Palaeomoridæ	0	

A partir de ces données, la Feeding Selectivity des écrevisses adultes et des écrevisses juvéniles a pu être déterminée grâce à la méthode de Chesson (1978, 1983) avec la construction du tableau en annexe (annexe 4) reportant les valeurs calculées  $n_{ei}$  et  $n_{ri}$  permettant d'obtenir  $\alpha_i$  puis  $\varepsilon_i$  (Figure 4).  $\varepsilon_i$  exprime ainsi la Feeding Selectivity mise en évidence dans le graphique de la Figure 12.

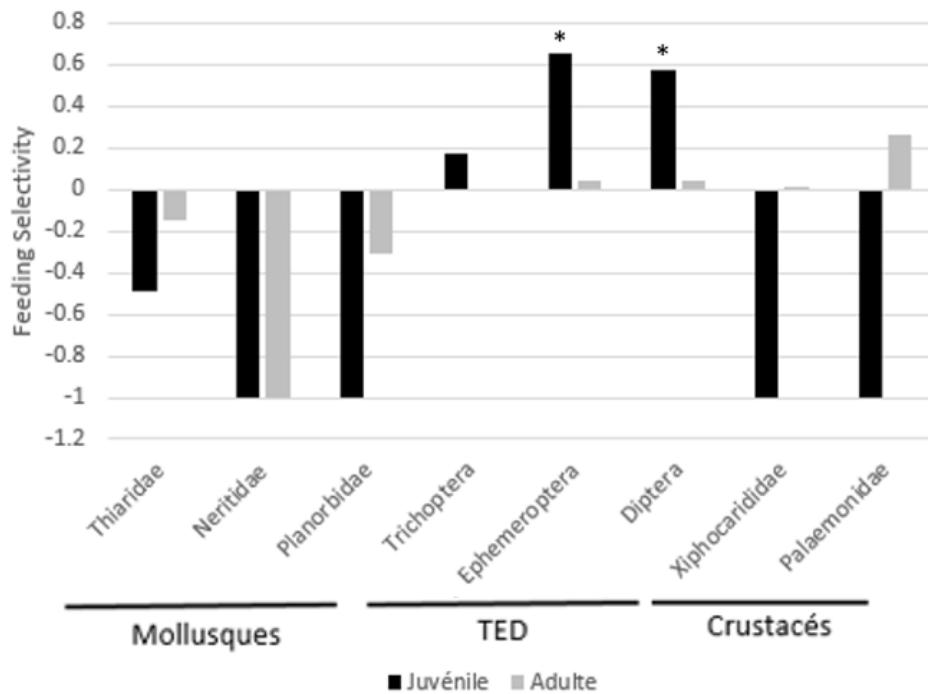


Figure 12 : Résultats des 40h d'expérimentation de préférence alimentaire en condition contrôlée avec les individus adultes en gris clair et les individus juvéniles en noir. La feeding selectivity est déterminée grâce à la méthode de Chesson pour chaque famille de macroinvertébrés. Les astérisques montrent les valeurs différentes de 0 selon un test t de Student ( $P < 0.05$ ).

Les juvéniles ont une préférence significative pour les larves Ephemeroptera ( $t = 18.744$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.0003315$ ) et pour les larves Diptera ( $t = 29.021$ ,  $p\text{-value} = 8.984\text{e-}05$ ) alors que les adultes n'ont pas de préférence alimentaire. Les deux classes d'âge ont un comportement d'évitement en ce qui concerne les mollusques Neritidae.

Les adultes consomment une plus grande diversité de groupes de proies (6-7-7-6) que les juvéniles (3-3-4-4) ( $t = -7.3485$ ,  $p\text{-value} = 0.005208$ ).

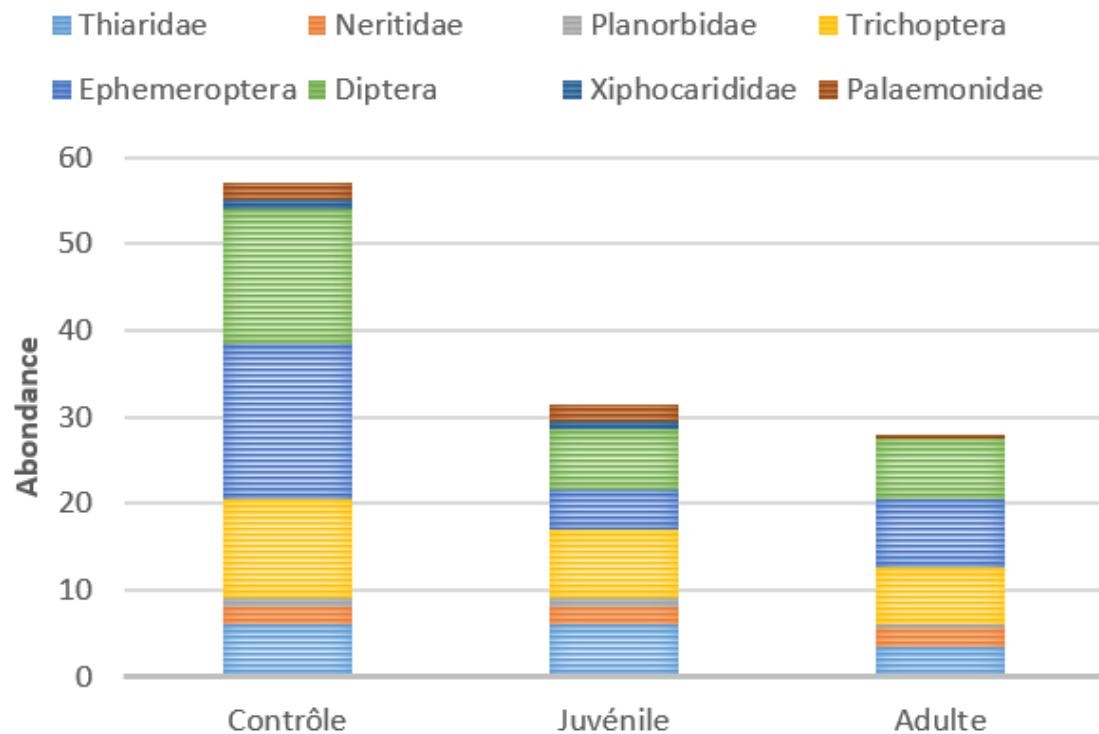


Figure 13 : Résultats des 40h d'expérimentation de préférence alimentaire en condition contrôlée de la condition contrôle, des individus adultes et des individus juvéniles : Abondance totale en macroinvertébrés et composition de chaque groupe.

L'histogramme ci-dessus (figure 6) représente la somme des abondances de chaque famille à la fin des 40h de fourragement et donc l'abondance totale. Les individus adultes (25-31-23-28) et les juvéniles (29-34-33-29) ont un effet négatif sur l'abondance totale en proie si l'on compare avec les abondances initiales (58) et les conditions de contrôle (57-57-57-58). Cet impact est significatif pour un indice de confiance de 95% (adulte vs contrôle :  $t = -17.859$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.0003828$  ; juvénile vs contrôle :  $t = -17.664$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.0003956$ ).

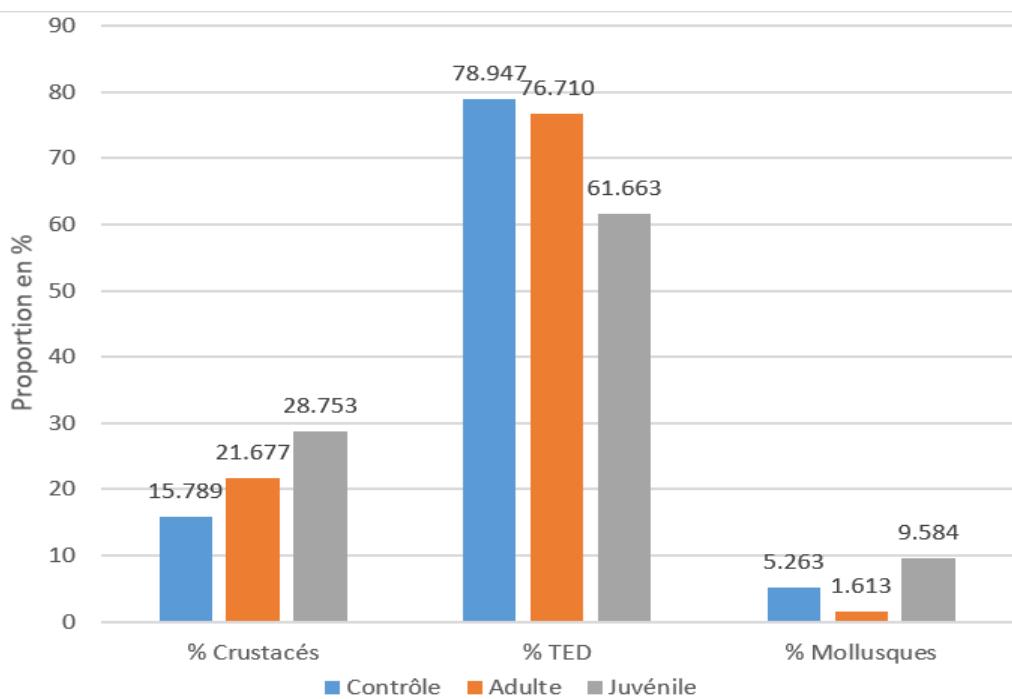


Figure 14 : Résultats des 40h d’expérimentation de préférence alimentaire en condition contrôlée de la condition contrôle, des individus adultes et des individus juvéniles : Proportion en % de l’abondance totale des différents groupes de proies (Crustacés, Trichoptères-Ephéméroptères-Diptères, Mollusques).

La proportion en TED (Trichoptères-Ephéméroptères-Diptères), bien qu’elle soit plus faible lorsque l’on est en présence des écrevisses juvéniles (63.773% contre 79.038-76.864%), n’est pas significativement différente entre les différentes conditions (juvénile vs contrôle :  $t = 5.6807$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.111$  ; adulte vs contrôle :  $t = -3.1531$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.195$  ; juvénile vs adulte :  $t = -4.0099$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.156$ ).

Le graphique montre un impact négatif supérieur des adultes sur les crustacés comparé aux juvéniles bien que cela ne soit pas significatif (juvénile vs adulte :  $t = -9.3532$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.068$ ).

Enfin, il n’existe aucune différence significative entre la proportion en mollusques consommés dans les conditions avec écrevisse adulte et avec écrevisse juvénile (juvénile vs adulte :  $t = -1.5366$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.367$ ) ou bien entre la condition contrôle et la condition avec écrevisse adulte (adulte vs contrôle :  $t = 2.5351$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.239$ ). Il en va de même entre la condition contrôle et la condition avec écrevisse juvénile (juvénile vs contrôle :  $t = -5.6807$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.111$ ).

## IV- Discussion

### IV-1 Distribution et origine

Les résultats des prospections ont montré que l'écrevisse bleue est à présent bien représentée dans le réseau hydrographique de Martinique puisque les campagnes de terrain ont révélé leur présence dans 12 cours d'eau supplémentaires par rapport à ce qui était connu en 2015. De plus, il se peut que cette espèce soit également présente mais non échantillonnée dans certains des cours d'eau prospectés. En effet, l'efficacité de capture dépend fortement de la taille de la population d'écrevisses : plus la population est importante en terme d'individus plus la probabilité de capture augmente. Elle dépend également des conditions météorologiques et hydrologiques au moment de la pêche (Grandjean *et al.*, 2000). En cas de forte précipitation, comme c'est souvent le cas pour des climats tropicaux, les débits des rivières augmentent considérablement et rapidement, ce qui réduit l'activité des écrevisses et entraîne également des colmatages des nasses par les matières en suspension, pouvant biaiser les taux de capture. Ainsi le nombre de population présente pourrait être plus important. De plus, toutes les rivières n'ont pas encore été prospectées par manque de temps, donc il est probable que ce nombre de population augmente au terme de cet inventaire. Une étude par la technique de l'ADN environnemental pourrait permettre d'avoir une idée plus précise de la répartition de *Cherax sp* dans les cours d'eau de Martinique. Plusieurs études portant sur cette technique ont été publiées récemment pour la détection précoce des espèces d'écrevisses invasives en milieu naturel, comme par exemple pour l'écrevisse de Louisiane (Tréguier *et al.*, 2014).

Même si les capacités de dispersion de cette espèce sont très grandes (6.6km/an suivant les corridors écologiques en moyenne) (Nunes *et al.*, 2017), une colonisation si rapide et sur presque l'ensemble du territoire du Nord au Sud ne semble pas liée à une dispersion naturelle. En effet, l'espèce ayant une très forte valeur marchande (vendue jusqu'à 24€/kg sur les marchés, Com. Pers.), elle est très prisée par les pêcheurs locaux et fortement demandée par les restaurateurs. Etant vendue vivante, il devient très facile d'en introduire dans le milieu. La taille des populations semblent également très importante sur certains sites si l'on se réfère aux propos des pêcheurs. Cela s'explique par leur capacité impressionnante de reproduction puisque une femelle adulte peut engendrer 4 à 5 portées par an (De moor, 2014 ; Arzola-Gonzalez *et al.*, 2012 ; Tropea *et al.*, 2009, Bortoloni et Rodriguez-Almaraz, 2007 ; Mangatal, Aquaculteur, Com. Pers.). Cette dynamique est facilitée par des taux de croissance importante puisqu'un

individu peut atteindre sa maturité sexuelle en 4 mois (De moor, 2014 ; Ahyong et Yeo, 2007 ; Tropea *et al.*, 2009, Mangatal, Aquaculteur, Com. Pers.). Ces caractéristiques lui permettent de résister à des pressions de pêche plus ou moins importantes selon les secteurs. Cependant des suivis de populations par la méthode de capture-marquage-recapture permettraient d'améliorer notre connaissance sur la dynamique et la taille des populations. Quoiqu'il en soit le constat est désastreux avec une présence de *Cherax sp* en forte progression sur l'ensemble du territoire.

L'analyse génétique portant sur le gène 16S montre clairement que l'espèce introduite en Martinique est l'espèce *C. lorentzi* et non pas *C. quadricarinatus* comme spécifié sur le procès-verbal d'introduction des premiers spécimens en Martinique. Peu d'information existe sur cette espèce originaire de Nouvelle-Guinée, d'ailleurs les seules séquences présentent dans Genbank non pas fait l'objet de publication. Morphologiquement, elle semble identique à *C. quadricarinatus*. Il semble que cette espèce ait une aire de distribution naturelle beaucoup plus limitée que celle de *C. quadricarinatus*, qui est présente du Nord de l'Australie au Sud-est de la guinée nouvelle papouasie (Lawrence et Jones, 2002). L'haplotype caractérisé dans cette étude est divergent de ceux présents dans les banques de données ce qui traduit bien une connaissance très partielle de la diversité génétique chez cette espèce.

#### IV-2 Préférence alimentaire

Cette expérience a permis de montrer le caractère omnivore de cette écrevisse puisque des écrevisses ont été capturées pour les deux sources de nourriture végétale et animale. Une préférence a été révélée pour le manioc, car deux fois plus d'écrevisses ont été capturées comparé aux nasses appâtées par des boulettes de viandes. Cependant, ces nasses ont également pris un grand nombre de poissons (Pléco commun *Hypostomus plecostomus*) ce qui a pu avoir un effet de dissuasion pour les écrevisses. De manière générale, les boulettes de viande attirent une plus grande diversité d'espèces comme par exemple le ouassous (*Macrobrachium carcinus*) ou encore le pléco commun (*Hypostomus plecostomus*) et l'anguille (*Anguilla rostrata*). Quelques crevettes ont été capturées également dans les nasses avec du manioc comme les espèces *Macrobrachium heterochirus* et *Macrobrachium acanthurus*.

Les expériences en aquarium ont révélé que les écrevisses pouvaient également se nourrir de macroinvertébrés et donc potentiellement avoir un impact sur les communautés locales d'insectes, de mollusques et de crustacés.

Les préférences alimentaires pour les juvéniles sont orientées principalement vers les larves d'insectes des ordres d'Ephéméroptères et de Diptères évitant complètement les crustacés et les mollusques. Globalement, les juvéniles (taille de 68 et 71 mm) s'attaquent à de petites proies délaissant les crustacés comme la famille des Xiphocarididae et celle des Palaemonidae dont les individus possèdent des tailles importantes de 32mm à 56mm et de 59mm à 93mm respectivement. Concernant la non consommation des mollusques, le manque de force dans leurs pinces juvéniles est probablement la raison pour laquelle elles sont incapables de briser la coquille. Le caractère opportuniste et polytrophique (Saoud *et al.*, 2012 ; Campana-Torres *et al.*, 2006 ; Ahyong et Yeo, 2007 ; Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1998) des écrevisses l'a donc amené à s'attaquer aux proies plus faciles que sont les larves d'insectes.

Les adultes, quant à eux, de par leur taille importante et donc leur force plus grande, ont impacté un plus grand nombre de familles de proie. En effet, il existerait une corrélation positive entre la taille et les capacités de prédation et de compétition (Candolin et Voigt, 2001). Les seules

proies qu'ils ont évitées sont les Neritidae, qui sont des mollusques avec une capacité d'attache plutôt forte à leur substrat, qui leur permettent de vivre dans les zones turbulentes et qui possèdent également une coquille épaisse pouvant résister aux tentatives de préation par les écrevisses (Delannoie *et al.*, 2015). En revanche, les deux autres familles de mollusques présentées aux écrevisses adultes sont consommées. En ce qui concerne les Thiaridae, des débris de coquilles vides ont été retrouvées alors que pour le Planorbidae, la coquille n'a pas été retrouvée. Gutiérrez-Yurrita *et al.* (1998) émettent l'hypothèse selon laquelle l'écrevisse dans leur étude, *Procambarus clarkii* consommerait des escargots afin de subvenir à ses besoins en calcium pour renouveler son exosquelette après la mue. Cette consommation dépendrait des caractères physico-chimiques de l'eau dans laquelle elle évolue. Ainsi plus une eau serait minéralisée et riche en calcium moins l'écrevisse consommerait de mollusques.

Nos résultats obtenus sont en accord avec ceux par Moor (2010) qui a observé, pour l'espèce *Cherax quadricarinatus*, une baisse significative en densité et en diversité chez différentes familles de trichoptères (baetidae, helicopsychidae, limnephiliidae, psychomyiidae), d'éphéméroptères (heptageniidae), de diptères (chironomidae et tipulidae) et de mollusques (ancylidae).

Des résultats similaires ont été montrés par Šidagytė *et al.* (2017) chez des adultes d'écrevisse américaine *Orconectes limosus* et d'écrevisse à pattes grêles *Astacus leptodactylus*. En effet, ces deux espèces consomment un large spectre de macroinvertébrés comme des diptères, des éphéméroptères, des trichoptères et des crustacés avec chacune leurs préférences : diptères, éphéméroptères et trichoptères pour *Orconectes limosus* et diptères pour *Astacus leptodactylus*. Cependant, ces deux espèces ont montré un comportement d'évitement envers les mollusques même chez les individus adultes. La différence de taille et donc de force entre les espèces d'écrevisses pourrait expliquer ce résultat. En effet, l'écrevisse à pattes grêles et encore plus l'écrevisse américaine ont des tailles beaucoup plus petites que les écrevisses du genre *Cherax*.

L'analyse préliminaire par barcoding des fèces n'a pas été très satisfaisante car seul un couple d'amorces testé (18 S) a pu donner des résultats. Il a révélé le caractère omnivore de l'écrevisse, comme certaines études avaient pu le démontrer (Ahyong et Yeo, 2007 ; de Moor, 2010 ; Campana-Torres *et al.*, 2006 ; Pavasovic *et al.*, 2007 ; Saoud *et al.*, 2012 ; Tan *et al.*, 2015) : des séquences de plantes et d'animaux ont été identifiées mais également des séquences

appartenant à des bactéries et à des champignons. Ces deux derniers groupes peuvent, d'après des travaux de Fletcher et Warburton (1999) constituer jusqu'à 70% du régime alimentaire de *Cherax sp*. En effet, ceux-ci sont retrouvés dans les matières végétales en décomposition, qui sont une ressource alimentaire privilégiée et facilement assimilable par l'écrevisse (Pavasovic *et al.*, 2007 ; Fletcher et Warburton, 1999 ; Saoud *et al.*, 2012). Fletcher et Warburton (1999) ont démontré même une préférence de *Cherax sp* pour les plantes en décomposition plutôt que pour les plantes fraîches : 100% des plantes en décomposition sont consommées en 10 jours contre 60% des plantes fraîches aussi bien chez les adultes que chez les juvéniles. Ce résultat est à rapprocher des travaux de transcriptomique de (Tan *et al.*, 2015) qui ont révélé une diversité importante des cellulases dans le système digestif de l'écrevisse *C. quadricarinatus*.

Nos résultats ont également montré une forte majorité de séquences appartenant à l'écrevisse et s'alignant à l'espèce *Cherax quadricarinatus*, espèce la plus proche présente dans les banques de données. Ces séquences correspondent donc à l'hôte, ce qui peut traduire un biais méthodologique avec amplification préférentielle des séquences de l'hôte en raison d'ADN moins dégradé ou un fort taux de cannibalisme chez l'écrevisse. La consommation de congénères n'est pas rare chez les écrevisses et a été observée entre autre chez l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) (Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1998). Ce cannibalisme, bien qu'il intervienne surtout lorsque les individus sont en forte densité, peut être un apport intéressant en calcium pour les écrevisses en période de mue.

## **Perspectives**

Le projet était particulièrement dense et une étude sur 6 mois n'a permis qu'une première approche de l'évaluation de l'impact de *Cherax quadricarinatus*. Des actions doivent être poursuivies et approfondies, et de nouvelles recherches pourraient être engagées :

- La période d'échantillonnage sur le terrain a été longue et elle n'est pas forcément terminée : certaines zones jugées favorables n'ont pas été prospectées et même si des pièges ont été déposés sur certaines stations sans prendre d'écrevisse, cela ne veut pas dire qu'elle est absente.

- Même si la présence de l'espèce est avérée suite à ce stage sur une grande partie du territoire Martiniquais, une détection précise avec la méthode d'ADN environnemental pourrait permettre d'avoir une cartographie précise de sa répartition en essayant également de mettre au point un modèle de répartition de l'espèce comme Trouilhé a pu le faire avec l'écrevisse à pattes blanches en France métropolitaine.

- Dans l'optique d'établir un éventuel plan de lutte, il serait nécessaire d'avoir une évaluation des densités de population sur les stations, ce qui pourrait être obtenu par la méthode de capture-marquage-recapture (la méthode ADN environnemental ne le permet pas).

- Bien que le comportement alimentaire de l'écrevisse ait été étudié, avec des expériences sur le terrain et en laboratoire avec des tests de choix alimentaire et des analyses de contenu alimentaire, **ceci reste préliminaire**. En effet, l'analyse de contenu stomacal n'a été réalisée que sur 2 individus et les amorces spécifiques n'ont pas fonctionné, ce qui n'a pas permis de détecter précisément les espèces, notamment les macroinvertébrés. La technique demande donc à être améliorée, n'ayant de plus jamais été réalisée chez l'écrevisse et restant complexe chez les omnivores. L'étude d'un grand nombre de réplicats permettrait d'avoir une meilleure idée des relations de prédation avec les communautés locales.

Il serait nécessaire de synthétiser des amorces bloquantes pour empêcher l'amplification du génome de l'hôte afin d'avoir accès à plus de séquences des proies et notamment celles présentes en faible quantité. Cette méthodologie a été utilisée chez la chauve-souris et a permis d'améliorer la qualité des résultats (Aziz *et al.*, 2017). Il faudrait également réaliser un inventaire complet de toutes les proies potentielles présentes sur une station de cours d'eau afin de constituer une base de données de référence afin de pouvoir précisément annoter les

séquences obtenues. La conception d'amorces permettant de cibler des groupes taxonomiques spécifiques pourraient permettre de recouper nos résultats afin de les améliorer. La mise au point de cette technique est longue et doit être complétée par des observations visuelles du contenu stomacal. Une étude de Jakubavičiūtė *et al.*, (2017) portant sur l'analyse du contenu stomacal de l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*) a mis en évidence une différence de détection entre une observation visuelle du contenu stomacal et l'approche barcoding. En effet, l'approche barcoding n'avait pas pu retrouver certaines séquences d'individus observés visuellement. Cette même étude posait aussi la question de la consommation secondaire (c'est-à-dire les proies des proies) mais leur occurrence généralement est faible et leur taux de dégradation tellement fort qu'il est peu probable que cela intervienne dans les données obtenues.

- Évaluation de la capacité de dispersion, à l'aide de balises GPS.
- Étude des relations de compétition pouvant entraîner des déplacements d'espèces.
- Analyses et expériences de laboratoire concernant les effets de la pollution sur *Cherax quadricarinatus* et d'autres espèces d'eau douce.
- Tests en laboratoire d'infection par des maladies (peste des écrevisses, virus ...).
- Évaluation des effets d'une pêche intensive avec élimination sur les populations connues.
- Evaluation de méthode de confinement des populations.

Au vu de la densité et de la complexité du travail restant à fournir (terrain, tests en laboratoire, analyses ADN), et des enjeux en termes de lutte contre les espèces exotiques envahissantes en Martinique, un travail dans le cadre d'une thèse pourrait être envisagé.

## Références bibliographiques

Agence Française pour la Biodiversité, ODE, SCE. 2018. Réalisation des suivis et des indices biologiques dans les cours d'eau de Martinique. PDF.

Ahyong, S. et Yeo, D. 2007. Feral populations of the Australian Red-Claw crayfish (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in water supply catchments of Singapore. *Biological Invasions*, 9(8), pp.943-946.

Awangku Shahrir Naqiuddin, Khairul Adha A. Rahim, Shabdin Mohd Long and Faznur Fateh Firdaus. 2016. The spread of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus* von Martens, 1868) in Malaysia. *Journal of Sustainability Science and Management. Volume 11 Number 2, December 2016: 31-38. ISSN: 1823-8556*

Aziz, S. A., Clements, G. R., Peng, L. Y., Campos-Arceiz, A., McConkey, K. R., Forget, P.-M., Gan, H. M. 2017. Elucidating the diet of the island flying fox (*Pteropus hypomelanus*) in Peninsular Malaysia through Illumina Next-Generation Sequencing. *PeerJ5:e3176; DOI10.7717/peerj.3176*

Azofeifa-Solano, J., Naranjo-Elizondo, B., Rojas-Carranza, A. et Cedeño-Fonseca, M. 2017. Presence of the Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Parastacidae, Astacoidea) in a freshwater system in the Caribbean drainage of Costa Rica. *BioInvasions Records*, 6(4), pp.351-355.

Belle, C. C., J. Q. H. Wong, D. C. J. Yeo, S. H. Tan, H. H. Tan, E. Clews & P. A. Todd. 2010. Ornamental trade as pathway of *Cherax quadricarinatus* introduction and establishment.

Belle C. et Darren C. J. Yeo. 2010. New observations of the exotic Australian red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (crustacea: decapoda: parastacidae) in Singapore. *Nature 2010. 3: 99–102\$*

Bohmann K, Monadjem A, Lehmkuhl Noer C, Rasmussen M, Zeale MRK, et al. 2011.

Molecular Diet Analysis of Two African Free-Tailed Bats (Molossidae) Using High Throughput Sequencing. *PLoS ONE* 6(6): e21441. doi:10.1371/journal.pone.0021441

Bortolini, J. L., F. Alvarez & G. Rodriguez-Almaraz, 2007. On the presence of the Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in Mexico. *Biological Invasions*, 9(5): 615–620.

Bramard, m., Demers, a., Trouilhe, m., Bachelier, e., Dumas, j., Fournier, c., Broussard, e., Robin, o., Souty-Grosset, c. et Grandjean, f. 2006. Distribution of indigenous and non-indigenous crayfish populations in the poitou-charentes region (france): evolution over the past 25 years. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), pp.857-866.

Brumfield, R. 2010. Speciation genetics of biological invasions with hybridization. *Molecular Ecology*, 19(23), pp.5079-5083. Cost invasive species

Butler, J. et du Toit, J. 2002. Diet of free-ranging domestic dogs (*Canis familiaris*) in rural Zimbabwe: implications for wild scavengers on the periphery of wildlife reserves. *Animal Conservation*, 5(1), pp.29-37.

Campaña-Torres, A., Martinez-Cordova, L., Villarreal-Colmenares, H. et Civera-Cerecedo, R. 2006. Carbohydrate and lipid digestibility of animal and vegetal ingredients and diets for the pre-adult redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*, 39(10), pp.1115-1121.

Candolin, U. et Voigt, H.-R. 2001. Correlation between male size and territory quality : consequence of male competition or predation susceptibility ?- *Oikos* 95:225-230.

Chesson J. 1978. Mesuring preference in selective predation. *Ecology*, Vol. 59, No. 2 (Mar., 1978), pp. 211-215

Chesson J. 1983. The Estimation and Analysis of Preference and Its Relationship to Foraging Models. *Ecology*, Vol. 64, No. 5 (Oct., 1983), pp. 1297-1304

Colautti, R. et Lau, J. 2015. Contemporary evolution during invasion: evidence for differentiation, natural selection, and local adaptation. *Molecular Ecology*, 24(9), pp.1999- 2017.

Crandall, K. 2006. Applications of phylogenetics to issues in freshwater crayfish biology. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (380-381), pp.953-964.

Delannoye R., Charles L., Pointier J.-P. & Massemin D., 2015 . Mollusques continentaux de la Martinique. Non-marine molluscs of Martinique, Lesser Antilles. Biotope, Mèze ; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. *Collection Inventaires et Biodiversité*, 328p.

de Moor, I., 2002. Potential impacts of alien freshwater crayfish in South Africa. *African Journal of Aquatic Science*, 27(2): 125–139.

Direction Régionale de l'Environnement de Martinique, 2008. Profil environnemental Martinique. 228p.

Fernanda J. Vazquez & Laura S. López Greco. 2007. Intersex females in the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae), *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN- 0034-7744) Vol. 55 (Suppl. 1): 25-32

Fletcher, A. et Warburton, K. 1997. Consumption of fresh and decomposed duckweed *Spirodela* sp. by Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*, 28(5), pp.379-382.

GrandjeanF., B. Cornuault, S. Archambault, M. Bramard, G. Otrebsky. 2000. Life history and population biology of the white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes pallipes*, in a brook from The Poitou-Charentes region (France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 356: 55-70.

Gutiérrez-Yurrita, P., Sancho, G., Bravo, M., Baltanás, Á., Montes, C., Gutierrez-Yurrita, P.,

Bravo, M. et Baltanas, A. 1998. Diet of the Red Swamp Crayfish *Procambarus clarkii* in Natural Ecosystems of the Doñana National Park Temporary Fresh-Water Marsh (Spain). *Journal of Crustacean Biology*, 18(1), p.120.

Jaklic M. et Vrezec A., 2011. The first tropical alien crayfish species in European waters: the redclaw *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae). *Crustaceana*, 84, 651–665.

Jakubavičiūtė, Bergstro "m U, Eklo "f JS, Haenel Q, Bourlat SJ. 2017. DNA metabarcoding reveals diverse diet of the three-spined stickleback in a coastal ecosystem. *PLoS ONE* 12(10): e0186929. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186929>

Juan Francisco Arzola González; Erick Maya de la Cruz; Lilia Isabel Verde Osuna; Ernesto García Burgueño; Luis Miguel Flores Campaña y Yecenia Gutiérrez Rubio ; Ra Ximhai. 2012. feasibility, density and growth of culture of freshwater crayfish (Decapoda: *Cherax quadricarinatus*) in sinaloa, mexico. Universidad Autónoma Indígena de México, Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 17-26.

Karplus, I., M. Zoran, A. Milstein, S. Harpaz, Y. Eran, D. Joseph & A. Sagi, 1998. Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel III. Survival in earthen ponds under ambient winter temperatures. *Aquaculture*, 166(3–4): 259–267.

Lawrence C, Jones C. 2002. Cherax. In: Holdich DM (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science, United Kingdom, pp 645–666

Leray, M., Yang, J., Meyer, C., Mills, S., Agudelo, N., Ranwez, V., Boehm, J. et Machida, R. 2013. A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in Zoology*, 10(1), p.34.

Liebhold, A.M., W.L. Macdonald, D.Bergdahl, et V.C. Mastro. 1995. Invasion by Exotic Forest Pests: A Threat to Forest Ecosystems. *Forest Science Monographs* 30. 49 p.

Lim P., Meunier F.J., Keith P., Noël P.Y. 2002. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce

de la Martinique. *Patrimoines naturels*, 51 : 120p.

Lodge, D., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D., Arcella, T., Baldridge, A., Barnes, M., Chadderton, W., Feder, J., Gantz, C., Howard, G., Jerde, C., Peters, B., Peters, J., Sargent, L., Turner, C., Wittmann, M. et Zeng, Y. 2012. Global Introductions of Crayfishes: Evaluating the Impact of Species Invasions on Ecosystem Services. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43(1), pp.449-472.

McQuaid, C. et Arenas F. 2009. Biological Invasions: Insights from Marine Benthic Communities in : Marine Hard Bottom Communities (chap 22).

Museum National d'Histoire Naturelle, UICN. 2012. La Liste Rouge des espèces menacées en France – Crustacés d'eau douce de France Métropolitaine. 25p

Nunes, A., Zengeya, T., Hoffman, A., Measey, G. et Weyl, O. 2017. Distribution and establishment of the alien Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in South Africa and Swaziland. *PeerJ*, 5, p.e3135.

ODE, DEAL 972. 2016. Réalisation de pêches électriques, Caractérisation de la franchissabilité de 9 ouvrages hydrauliques et Caractérisation des stations de surveillance au titre de la Directive Cadre sur l'Eau - Synthèse des 3 années de suivi

Patoka, J., Kalous, L. et Kopecký, O. 2015. Imports of ornamental crayfish: the first decade from the Czech Republic's perspective. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (416), p.04.

Patoka, J., Wardiatno, Y., Yonvitner, Kuříková, P., Petrtýl, M. et Kalous, L. 2016. *Cherax quadricarinatus* (von Martens) has invaded Indonesian territory west of the Wallace Line: evidences from Java. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, (417), p.39.

Pavasovic, A., Anderson, A., Mather, P. et Richardson, N. 2007. Influence of dietary protein on digestive enzyme activity, growth and tail muscle composition in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*, 38(6), pp.644- 652.

Rodgers, L., Saoud, P. et Rouse, D. 2006. The effects of monosex culture and stocking density on survival, growth and yield of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in earthen ponds. *Aquaculture*, 259(1-4), pp.164-168.

Sakai, A., Allendorf, F., Holt, J., Lodge, D., Molofsky, J., With, K., Baughman, S., Cabin, R., Cohen, J., Ellstrand, N., McCauley, D., O'Neil, P., Parker, I., Thompson, J., Weller, S. 2001. the population biology of invasive species. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 2001. 32:305–32

SAOUD, I., GARZA DE YTA, A. et GHANAWI, J. 2012. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture Nutrition*, 18(4), pp.349-368.

Scheiffarth G. 2001 The diet of Bar-tailed Godwits *Limosa lapponica* in the Wadden Sea: combining visual observations and faeces analyses. *Ardea* 89(3): 481-494.

Seebens, H., Blackburn, T., Dyer, E., Genovesi, P., Hulme, P., Jeschke, J., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Grapow, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., Kartesz, J., Kenis, M., Kreft, H., Kühn, I., Lenzner, B., Liebhold, A., Mosena, A., Moser, D., Nishino, M., Pearman, D., Pergl, J., Rabitsch, W., Rojas-Sandoval, J., Roques, A., Rorke, S., Rossinelli, S., Roy, H., Scalera, R., Schindler, S., Štajerová, K., Tokarska-Guzik, B., van Kleunen, M., Walker, K., Weigelt, P., Yamanaka, T. et Essl, F. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, p.14435.

Shimodaira, H., Hasegawa, M. 1999. Multiple comparisons of log-likelihoods with applications to phylogenetic inference. *Molecular Biology and Evolution*, 16, 1114– 1116.

Šidagytė, E., Razlutskij, V., Alekhnovich, A., Rybakovas, A., Moroz, M., Šniaukštaitė, V.,

Vaitonis, G. and Arbačiauskas, K. 2017. Predatory diet and potential effects of *Orconectes limosus* on river macroinvertebrate assemblages of the southeastern Baltic Sea basin: implications for ecological assessment. *Aquatic Invasions*, 12(4), pp.523-540.

Snovsky, G. et Galil, B. 2011. The Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Crustacea: Decapoda: Parastacidae) in the Sea of Galilee, Israel. *Aquatic Invasions*, 6(Supplement 1), pp.S29-S31.

Soininen, E., Valentini, A., Coissac, E., Miquel, C., Gielly, L., Brochmann, C., Brysting, A., Sønstebo, J., Ims, R., Yoccoz, N. et Taberlet, P. 2009. Analysing diet of small herbivores: the efficiency of DNA barcoding coupled with high-throughput pyrosequencing for deciphering the composition of complex plant mixtures. *Frontiers in Zoology*, 6(1), p.16.

Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noël P.Y., Reynolds J.D. et Haffner P. (eds.), 2006. Atlas of Crayfish in Europe, Muséum national d'Histoire Naturelle, Paris. *Patrimoines naturels*, 64, 187 p

Strauss, A., White, A. et Boots, M. 2012. Invading with biological weapons: the importance of disease-mediated invasions. *Functional Ecology*, 26(6), pp.1249-1261.

Tan, M., Gan, H., Gan, H., Lee, Y., Croft, L., Schultz, M., Miller, A. et Austin, C. 2015. First comprehensive multi-tissue transcriptome of *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) reveals unexpected diversity of endogenous cellulase. *Organisms Diversity & Evolution*, 16(1), pp.185-200.

Torres-Montoya, E., Salomón-Soto, V., Bucio-Pacheco, M., Torres-Avendaño, J., López-Ruiz, M., Sánchez-González, S. et Castillo-Ureta, H. 2018. Primer registro de poblaciones silvestres de *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) en Sinaloa, México.

Tréguier, A., Paillisson, J., Dejean, T., Valentini, A., Schlaepfer, M. et Roussel, J. 2014. Environmental DNA surveillance for invertebrate species: advantages and technical

limitations to detect invasive crayfish *Procambarus clarkii* in freshwater ponds. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), pp.871-879.

U.S. Fish and Wildlife Service. 2012. Australian Redclaw (*Cherax quadricarinatus*) Ecological Risk Screening Summary. Web Version

Vitousek PM, D'Antonio CM, Loope LL, Westbrooks R. 1996. Biological invasions as global environmental change. *Am. Sci.* 84:218–28

Weiperth A., Gál B., Kuříková P., Langrová I., Kouba A., Patoka J. 2018: Risk assessment of pet- traded decapod crustaceans in Hungary with evidence of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the wild. *North-Western Journal of Zoology* (2018): e171303

## **Annexes**

Annexe 1 : Photographies du modèle de nasse utilisé pour la pêche en rivière de *Cherax sp.*



Annexe 2 : Protocole mis en place par le département de génomique de l'Université de Monash, en Malaisie, pour l'extraction d'ADN des fèces de *Cherax sp.*

DNA extraction method:

1. Remove ethanol and pipette 500µL of DNA/RNA Shield solution into the tube containing the sample.
2. Vortex to mix.
3. Aliquot 200µL of the sample into the powerbead tube (Qiagen Cat no: 13118) containing 0.1mm glass beads.
4. Add 400µL of Lysis Buffer containing the following:

Reagents for Lysis Buffer	Final Concentration
Tris-HCl pH 8.0	50mM
EDTA pH 8.0	10mM
10% SDS	1%
Nuclease free H <sub>2</sub> O	

5. Vortex the sample on Vortex Genie at maximum speed for 5 minutes.
6. Incubate the sample at 95°C for 10 minutes.
7. Add 15µL of Proteinase K and incubate at 55°C for 2 hours.
8. Centrifuge the content with 13,000xg for 5 minutes.
9. Transfer the supernatant to new 1.5mL tube.
10. Add 4µL of RNaseA and incubate at 37°C for 10 minutes.
11. Add 150µL of concentrated Potassium Chloride and incubate at 4°C for 1 hour.
12. Add 1X volume of chloroform and vortex to mix well.
13. Centrifuge the content with 13,000xg for 15 minutes.
14. Transfer the upper layer into a new 1.5mL tube.
15. Repeat steps 12 to 14.

16. Add 1X volume of ice cold isopropanol to the sample and incubate at 4°C for 1 hour.
17. Centrifuge the content with 13,000xg for 15 minutes.
18. Carefully decant the supernatant without disturbing the pellet.
19. Carefully wash the pellet twice with 200µL of ice cold 70% ethanol.
20. Centrifuge the content with 13,000xg for 1 minute and remove the residual by pipetting.
21. Leave the tube for air dry for 10-15 minutes.
22. Elute the sample in 50µL of TE buffer.
23. Measure the concentration on Nanodrop and Qubit.

Annexe 3: Amorces testés sur les échantillons de fèces de *Cherax sp* par le laboratoire de génomique de l’Université de Monash, Malaisie.

#### Primer Tested (Which works)

1. 18S- Amplifiable
  - a. Euk18S\_1391\_F: **GTACACACCGCCCCGTC**
  - b. Euk18S\_Br\_R: **TGATCCTTCTGCAGGTTCACCTAC**
2. 16S- Amplifiable but with mostly crayfish or bacteria
  - a. 1471: CCTGTTANCAAAACAT
  - b. 1472: AGATAGAAACCAACCTGG
3. rbcL- Not amplifiable
  - a. Targeting 220bp of rbcL gene.
  - b. Forward: CATTGTRGGTAATGTATTGG
  - c. Reverse: ACATTCTAAACHGCYCTACC
4. COI- Not amplifiable
  - a. Targeting smaller region of COI.
  - b. miCOIintF: GGWACWGGWTGAACWGTWTAYCCYCC
  - c. jgHCO2198: TAAACTTCAGGGTGACCAAARAAYCA

Annexe 4 : Tableau des résultats de calculs réalisés pour déterminer la « Feeding Selectivity » des écrevisses pour les différents ordres de proies.

	Thiaridae	Neritidae	Planorbidae	Trichoptères	Ephemeroptères	Diptères	Xiphocarididae	Palaemonidae
ne <sub>i</sub>	6	2	1	11.5	18	15.5	1	2
nr <sub>i</sub>	Juvénile 1	0	0	0	3	13	8	0
	Juvénile 2	0	0	0	5	14	10	0
	Moyenne	0	0	0	4	13.5	9	0
	Adulte 1	3	0	0	5	11	11	1
	Adulte 2	2	0	1	6	9	7	1
nr <sub>i</sub> /ne <sub>i</sub>	Moyenne	2.5	0	0.5	5.5	10	9	1.5
	Juvénile 1	0	0	0	0.26086957	0.72222222	0.5161	0
	Juvénile 2	0	0	0	0.43478261	0.77777778	0.6452	0
	Adulte 1	0.5	0	0	0.43478261	0.61111111	0.7097	1
	Adulte 2	0.33333	0	1	0.52173913	0.5	0.4516	1
αi	Juvénile 1	0	0	0	0.17400343	0.481731719	0.3443	0
	Juvénile 2	0	0	0	0.23404077	0.41867293	0.3473	0
	Adulte 1	0.11749	0	0	0.10216786	0.143602607	0.1668	0.234986085
	Adulte 2	0.0774	0	0.2321971	0.12114633	0.116098567	0.1049	0.232197134
	Moyenne	0.092465	0	0.133333	0.116098567	0.116098567	0.116098567	0.116098567
εi	Juvénile 1	-1	-1	-1	0.19179232	0.733564892	0.5722	-1
	Juvénile 2	-1	-1	-1	0.36282754	0.66895168	0.5767	-1
	Moyenne	-1	-1	-1	0.27730993	0.701258286	0.5744	-1
	Adulte 1	-0.03522	-1	-1	-0.1132401	0.079941775	0.167	0.365111685
	Adulte 2	-0.26004	-1	0.3583416	-0.0178527	-0.041973255	-0.0989	0.358341649
Moyenne	Moyenne	-0.14763	-1	-0.3208292	-0.0655464	0.01898426	0.0341	0.361726667
	Juvénile 1	-1	-1	-1	0.19179232	0.733564892	0.5722	-1
	Juvénile 2	-1	-1	-1	0.36282754	0.66895168	0.5767	-1
	Adulte 1	-0.03522	-1	-1	-0.1132401	0.079941775	0.167	0.365111685
	Adulte 2	-0.26004	-1	0.3583416	-0.0178527	-0.041973255	-0.0989	0.358341649

Annexe 5 : Résultats des concentrations d'ADN obtenues après extraction des fèces de *Cherax* sp.

Sample ID	Nanodrop Conc. (ng/µL)	260/280	260/230	Qubit Conc.(ng/µL)
Cherax Feces 1	101.8	1.16	0.62	0.718
Cherax Feces 2*	42.9	1.41	1.28	0.242

\* Multiple extraction

### L'importance des contacts extérieurs

La pêche en rivière en Martinique est une pratique culturelle et traditionnelle. Elle se fait, la majorité du temps, aux moyens de nasses en bambou, fabriquées par les pêcheurs eux-mêmes. Celles-ci, à l'origine, sont utilisées pour pêcher le Z'habitant (*Macrobrachium carcinus*) très recherché par les locaux. Mais cette espèce se raréfie et l'apparition de l'espèce *Cherax* dans le milieu naturel, bien plus facile à capturer avec les fortes densités, a amené les pêcheurs à se diriger vers le piégeage de cette écrevisse-là (la seule en Martinique, tous les autres crustacés d'eau douce étant des crabes ou des crevettes).



J'ai pu rencontrer de nombreux pêcheurs durant mes échantillonnages en rivière, bien souvent des retraités qui font cela pour leur plaisir, pour continuer une activité que leur père leur avait enseignée. Mais bien souvent c'était pour compléter leur retraite, en revendant leurs prises à forte valeur marchande sur les marchés, malgré l'interdiction de pêche à cause de la présence de produits polluants dans les rivières. A chaque fois, la présentation du projet attisait la curiosité et effaçait toute méfiance vis-à-vis de moi, un jeune qui venait marcher sur leurs plates-bandes, à tel point qu'ils fournissaient des informations sur les stations ou les portions de rivières où *Cherax sp* s'était établie.

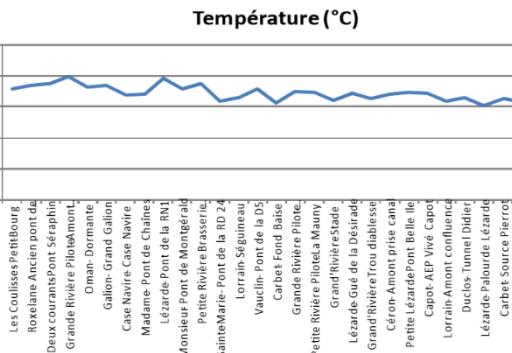
Les nasses que j'utilisais n'étaient pas en bambou, comme celles utilisées traditionnellement. En effet, l'administration nous oblige à nous orienter vers des entreprises déclarées pour l'achat de fourniture : c'est pourquoi nous nous sommes adressés à Nasses Caraïbes, route de Vert Pré, au Quartier Soudon du Lamentin. Ils ont pu nous fabriquer, dans un court délai, des nasses en fer et en grillage sur mesure selon notre demande. En plus de cela, l'équipe a investi beaucoup de temps dans cette étude, qui les a beaucoup intéressés, notamment en laissant pêche à côté de leur local clôturé, à de nombreuses reprises, mais également en tendant et en surveillant les nasses pendant le week-end. Cela m'a permis de faciliter l'avancée de l'étude car les densités sur cette station sont les plus fortes que j'ai pu relever sur l'ensemble du territoire Martiniquais.



En plus des pêcheurs et de l'équipe de Nasse Caraïbes, Éric, employé chez l'aquaculteur André Mangatal, au Carbet, m'a beaucoup aidé lors de ces 6 mois de stage. En effet, il peut être considéré comme un expert de l'espèce *Cherax quadricarinatus* en matière d'élevage en eau close. Il est diplômé en aquaculture en France mais il a acquis ses connaissances en Nouvelle-Calédonie où il a été recruté pour dynamiser l'aquaculture qui était alors, à ce moment-là, en dessous des rendements obtenus par les Australiens pour la même espèce. Après une longue période qui fut fructueuse et qui fit grandir sa réputation, il est appelé en Martinique par les élus locaux dans un souhait de développer la filière écrevisse (et donc avec *Cherax quadricarinatus*) pour remplacer l'élevage de la crevette d'élevage *Macrobrachium rosenbergii*, en perte de vitesse avec des rendements trop faibles. Il accompagne donc plusieurs aquaculteurs dans leurs démarches, en s'appuyant sur son expérience personnelle mais également sur une connaissance robuste de la bibliographie traitant de l'élevage et des rendements de *C. quadricarinatus* dans le monde. J'ai pu le rencontrer à de nombreuses reprises, notamment durant les 3 premiers mois du stage, et discuter longuement avec lui afin d'acquérir les premières bases qui m'ont permis de poser le sujet et de cerner certaines exigences écologiques de cette écrevisse exotique, nécessaires afin d'orienter correctement et efficacement les échantillonnages. Il a également fourni des échantillons d'individus afin que nous puissions les analyser, ce qui était presque primordial étant donné que la souche importée initialement de Cuba est celle présente dans les bassins desquels il s'occupe maintenant à plein temps au Carbet.

### Description d'une station favorable

En matière d'exigences écologiques, *Cherax sp* se révèle être ubiquiste. De nombreuses études ont mis en évidence sa présence dans des ruisseaux peu profonds jusqu'aux lacs profonds et turbides, pourvu qu'ils soient permanents (De Moor, 2014 ; Tropea et al., 2009) et tant qu'il y a présence de crevasses et de roches pour servir de caches (Belle et al., 2010). Pour ma part, j'ai pu confirmer ces données dans la retenue d'eau de la Manzo et dans les bassins d'élevage. Il semblerait également que *Cherax sp* ait une préférence pour les **zones calmes et profondes avec des roches et des racines**. **Aucun individu n'a été détecté lorsque les fonds de rivière étaient de nature sablonneuse ou bien que le courant était trop fort**. Ces turbulences pourraient perturber leur activité : dans les zones habituellement favorables de par leur calme, lorsque les précipitations sont fortes induisant une augmentation du débit, aucun spécimen n'est capturé. Alors lorsque le débit est continuellement élevé sur une station donnée, on peut imaginer que l'écrevisse bleue va remonter ce courant afin de trouver une zone de calme. Cette fuite à contre-courant a d'ailleurs été observée par Éric, l'aquaculteur au Carbet, à tel point que c'est de cette manière qu'il pêche ses bassins : un bassin receveur en plastique est positionné dans le bassin d'élevage et est rempli d'eau, lorsque celui-ci va déborder, l'eau va couler sur un système de toboggan et créer un courant dans le bassin. Ce courant est alors remonté par les écrevisses qui vont tomber dans le bassin receveur (voir photo ci-contre).



Ses tolérances en matière de températures sont tellement larges, avec des températures létales supérieures à 34°C et inférieures à 3°C et un optimum de croissance et de reproduction compris entre 20°C et 31°C (De Moor, 2014 ; Tropea et al., 2009), que l'environnement Martiniquais dans lequel elle évolue est optimal.

Son optimum en matière d'oxygène dissous est de 5 mg/L (De Moor, 2014 ; Tropea et al., 2009) et elle bénéficie ici de concentrations comprises entre 6.5 et 8 suivant les rivières où elle est présente d'après les données de l'ODE en 2017. En Australie, *Cherax sp* évolue dans des eaux alcalines, à pH compris entre 7 et 8.5 (Belle et Yeo, 2010) ce qui est similaire avec ce que l'on trouve en Martinique, toujours d'après les données de l'ODE en 2017.

Grâce à cela, les zones jugées favorables ont surtout été déterminées en fonction de la profondeur d'eau et du débit :

Ainsi, plusieurs de celles-ci se sont révélées être des bassins en amont de gués (Gué de la Désirade par exemple) ou bien de seuils comme au pont de Bassignac, à l'Habitation Saint-Etienne sur la Lézarde, à Petit Bourg sur la rivière des Coulisses ou encore sur la Petite Rivière au niveau de la Brasserie Lorraine. En effet, ces stations sont toutes des stations calmes, profondes et turbides, avec diverses largeurs et superficies.



Le barrage de la Manzo est aussi une retenue d'eau calme et profonde favorable à l'établissement de *Cherax sp* et où l'espèce a été capturée.

Les zones favorables peuvent aussi être des zones en rivière, toujours avec un débit modéré comme par exemple la zone Nasse Caraïbe, qui est une portion large et profonde de la Lézarde ou alors la zone en aval de l'Habitation Saint-Etienne, qui est un méandre en fosse de la Lézarde.

## Annexe 8 :

### **L'Origine de l'introduction de l'écrevisse exotique du genre *Cherax* en Martinique**

L'histoire de l'introduction de *Cherax sp.* sur le territoire Martinique comportent quelques zones d'ombre. Des documents officiels, rédigés par la DAAF sont bien existants mais non signés et ceux qui devraient l'être n'ont pas été trouvés dans les bases de données inspectées. L'origine de l'introduction de cette espèce d'écrevisse, originaire d'Australie, a été racontée par certains des acteurs principaux de l'opération : André Mangatal et Éric, son employé s'occupant de l'élevage à plein temps.

Le premier, alors installé à Ségueineau au Lorrain, élevait jusqu'au début des années 2000 la Chevrette d'élevage *Macrobrachium rosenbergii*. Cette zone étant entourée de bananeraies, traitées à la chlordécone, les bassins furent déclarés pollués et les crevettes improches à la consommation. Le site est alors abandonné par Mr Mangatal. Il n'oublie cependant pas l'aquaculture et s'installe au Carbet, dans la zone qui est maintenant connue. Cependant, les bassins sont en bien moins grands nombres et *Macrobrachium rosenbergii* devient un spécimen peu profitable au niveau financier : il se mit donc à la recherche d'une autre espèce capable de prospérer en Martinique et avec un cycle de développement pouvant apporter des bénéfices corrects.

Ses recherches l'amènent donc à *Cherax quadricarinatus*, une écrevisse cette fois, bien connue en élevage dans la zone du Pacifique et notamment en Australie et en Nouvelle-Calédonie. André Mangatal se renseigna donc sur cette espèce, nouvelle pour lui, et fit une demande pour l'élever dans ses bassins au Carbet. Le maire de l'époque, Jean Bally, lui témoigne son soutien et met tout en œuvre pour mener le projet à bout. Afin d'en savoir plus sur les possibilités d'élevage de l'écrevisse bleue en Martinique, des réflexions sont menées et deux propositions sortent des discussions : envoyer une délégation pour apprendre tous les secrets de cet élevage spécial ou bien faire venir sur l'île, à temps plein et durablement, un spécialiste qui pourra encadrer tous les aquaculteurs voulant se lancer dans l'élevage de *C. quadricarinatus*. C'est la deuxième option qui a été choisie et c'est comme ça qu'Éric est arrivé au Carbet, en provenance de Nouvelle-Calédonie, où il était alors chargé de dynamiser la culture de l'écrevisse bleue pour rattraper les rendements obtenus par l'Australie. Celui-ci va donc confirmer les bonnes prédispositions du territoire pour l'accueil de *C. quadricarinatus*.

Ainsi, en 2004, 10 spécimens, 5 mâles et 5 femelles, sont importés de Cuba, sous le nom de « Langusta de Agua Dulce » (Langouste d'eau douce, afin de ne pas attirer les soupçons à la douane). Dans un premier temps, dans un souci de paix sociale avec les autorités Martiniquaises, Jean Bally décide de les stocker dans un de ses propres bassins d'ornementation.

Les écrevisses sont ensuite transloquées vers les bassins de culture où l'élevage a pu commencer avec l'histoire que nous connaissons maintenant.

## **Résumé**

L'analyse moléculaire à partir de l'ARN 16S réalisés ont montré que l'espèce du genre *Cherax* introduite en Martinique pour l'aquaculture, initialement présentée comme étant *Cherax quadricarinatus*, était *Cherax lorentzi*. L'inventaire par pêche a permis de comptabiliser 13 stations supplémentaire par rapport aux dernières données, notamment du Nord au Sud de l'île. Les densités semblent fortes dans certaines rivières. L'ensemble des analyses sur le comportement alimentaire (barcoding sur les fécés, expériences de préférence alimentaire réalisées sur le terrain et en laboratoire) a permis de caractériser *Cherax lorentzi* comme étant omnivore et donc pouvant avoir un impact sur les communautés locales. Cependant, ces études reste préliminaires et une mise au point importante est nécessaire notamment sur l'approche Barcoding pour avoir une idée précise des impacts de *Cherax lorentzi* sur les communautés présentes dans les hydrosystèmes d'eau douce de Martinique.

## **Abstract**

Molecular analysis from 16S RNA performed showed that the species of the genus *Cherax* introduced into Martinique for aquaculture, originally presented as *Cherax quadricarinatus*, was *Cherax lorentzi*. The fishing inventory made it possible to count 13 additional stations compared to the last data, particularly from north to south of the island. Densities appear strong in some rivers. All analyzes of feeding behavior (barcoding on faeces, field and laboratory food preference experiments) made it possible to characterize *Cherax lorentzi* as being omnivorous and therefore having an impact on local communities. However, these studies remain preliminary and an important development is necessary in particular on the Barcoding approach to have a precise idea of the impacts of *Cherax lorentzi* on the communities present in the hydrosystems of fresh water of Martinique.