

THÈSE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : **Biotechnologies végétale et microbienne, Biodiversité et Environnement**

Structure de Recherche : **Laboratoire de biodiversité, écologie et génome**

Discipline : **Biologie**

Spécialité : **Ecologie et Environnement**

Présentée et soutenue le 24/10/2020 par :

Yahya BENYAHKOUB

Le titre de la thèse

Étude et valorisation d'une espèce invasive : l'Écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos au Maroc

Devant le jury

M. FEKHAOUI Mohammed	PES	Institut Scientifique, Univesité Mohammed V, Rabat	Président
M. YAHYAOUUI Ahmed	PES	Faculté des Sciences, Univesité Mohammed V, Rabat	Encadrant
Mme WARIAGHLI Fatima	PA	Faculté des Sciences, Univesité Mohammed V, Rabat	Co-encadrante
M. ARAHOU Mohamed	PES	Institut Scientifique, Univesité Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examinateur
M. SADAK Abderrahim	PES	Faculté des Sciences, Univesité Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examinateur
M. ZINE Nasser-Eddine	PES	Faculté des Sciences, Univesité Moulay Ismail, Meknès	Rapporteur/Examinateur
M. TRICHA Mohamed	Chef de service	Service de médecine physique et réadaptation, Centre National de Réhabilitation et Neurosciences, Rabat	Invité

Année universitaire : **2020/2021**

DEDICACES

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont attendu avec impatience son aboutissement, qui y ont contribué sans hésiter, qui ont partagé les moments difficiles, et qui grâce à Dieu, sont aujourd'hui tous là.

Mes très chers parents et beaux-parents,

Mon épouse bien aimée,

Ma fratrie de sang,

Ma fratrie de cœur.

Remerciements

Nous remercions le professeur **Abdelaziz BENHOUSSA** en sa qualité de responsable de structure de recherche de nous avoir permis de réaliser le présent travail scientifique au laboratoire de biodiversité, écologie et génome de la Faculté des Sciences de Rabat. Sans oublier l'étroite collaboration avec l'Institut Scientifique de Rabat. L'aboutissement de cette recherche a été possible grâce à la contribution de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais témoigner de ma grande reconnaissance à Monsieur **Ahmed Yahyaoui**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat et Responsable de l'UFR "Biodiversité et Aquaculture". Pas uniquement pour la direction du présent travail, mais pour son mentorat depuis de nombreuses années. Malgré ses nombreuses occupations, il été toujours disponible et à l'écoute, faisant preuve d'une grande passion pour la recherche scientifique.

Je remercie sincèrement Madame, **Fatima WARIAGHLI**, Professeur Assistante de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat. De m'avoir fait l'honneur d'accepté d'être co-encadrante pour le présent travail. Son soutien et ses conseils, ont été d'une grande utilité tout au long de l'étude.

Je tiens à remercier profondément Monsieur, **Mohamed FEKHAOUI**, Directeur de l'Institut scientifique de Rabat. De m'avoir fait l'honneur de présider le jury. En dépit des nombreuses occupations liées à son poste de responsabilité. Il a contribué activement aux recherches assujetties au présent travail et n'a pas hésité à partager avec moi ses précieux conseils tout en veillant au bon déroulement de toutes les étapes.

Je remercie sincèrement Monsieur, **Mohamed ARAHOU**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Institut Scientifique de Rabat, pour avoir accepté d'être **Rapporteur/Examineur** de cette thèse et membre de son jury.

Je remercie sincèrement Monsieur, **Abderrahim SADAK**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat membre de l'équipe du projet de recherche intitulé : « *Impact des changements climatiques sur la diversité génétique des poissons des*

eaux douces du Maroc », pour ses précieux conseils et sa disponibilité. Aussi je le remercie d'avoir accepté d'être **Rapporteur/Examineur** de cette thèse et membre de son jury.

Je remercie sincèrement Monsieur, **Nasser-Eddine ZINE**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences, Meknès, pour avoir accepté d'être **Rapporteur/Examineur** de cette thèse et membre de son jury.

J'exprime ma grande reconnaissance à Monsieur, **Mohamed TRICHA** qui n'a pas hésité à apporter le soutien nécessaire à l'aboutissement de son travail, sa présence parmi les membres du jury est un grand honneur pour moi.

J'exprime ma grande gratitude aux chercheurs de par le monde et au Maroc, qui mettent à disposition leurs travaux de recherche en libre accès. Aussi, ceux qui ont accepté de répondre à mes sollicitations pour des documents ou pour un avis sur une question et notamment toute l'équipe du projet de recherche intitulé : « *Impact des changements climatiques sur la diversité génétique des poissons des eaux douces du Maroc* », financé par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (ENFPESRS) et le CNRST sous contrat N° PPR1/2015/2.

Résumé

Introduite très probablement au début des années 2000, l'écrevisse rouge des marais, dite aussi l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*, Girard 1852), colonise actuellement de grands périmètres dans la zone du Gharb et du Bas Loukkos. Ce qui menace fortement ses milieux naturels, en particulier les habitats de certaines espèces de poissons et les activités économiques. Dans des zones dominées par une population d'agriculteurs (dont riziculteurs) et de pêcheurs, la gestion par la valorisation représente une opportunité de contrôler d'une part, l'invasion en réduisant ses impacts et d'autre part, promet d'apporter une valeur ajoutée à l'économie régionale. Devant une espèce dont le prix de vente est fortement influencé par les paramètres biométriques, la connaissance de ses caractéristiques spécifiques dans son aire de répartition constitue une première étape primordiale pour sa valorisation. La description de trois populations d'écrevisses a montré qu'elles sont caractérisées par une taille entre 70 et 110 mm avec un poids entre 10 et 30 g pour le canal Nador, entre 60 et 100 mm avec un poids entre 3 et 20 g pour l'oued Drader, et entre 70 et 100 mm avec un poids entre 3 et 30 g pour le marais du Loukkos. Ces paramètres montrent une différence significative entre les sites étudiés. Ainsi le Canal Nador présente le site de premier choix pour la valorisation de cette espèce. Concernant les stocks, ils sont estimés à 60,39 tonnes (équivalent à 2 603 500 écrevisses) entre canal Nador et les rizières du Gharb et à 30,33 tonnes (équivalent à 2 121 000 individus) dans le complexe zones humides du bas Loukkos.

Mots-Clés : *Procambarus clarkii*, écrevisse de Louisiane, espèce invasive, valorisation, biométrie, estimation des stocks, Gharb, Bas Loukkos, Maroc

Abstract

Most likely introduced in the early 2000s, the red swamp crayfish, also known as the Louisiana crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard 1852), is currently colonizing large areas in the Gharb and Lower Loukkos areas. This strongly threatens natural environments, particularly the habitats of certain fish species and economic activities. In areas dominated by a population of farmers (including rice farmers) and fishermen, management by development represents an opportunity to control the invasion on the one hand by reducing its impacts and on the other hand promises to bring value added to the regional economy. Before a species whose selling price is strongly influenced by biometric parameters, knowing its specific characteristics in its distribution area constitutes a first essential step for its valorization. The description of three crayfish populations has shown that they are characterized by a size between 70 and 110 mm with a weight between 10 and 30 g for the Nador canal, between 60 and 100 mm with a weight between 3 and 20 g for the Drader river, and between 70 and 100 mm with a weight between 3 and 30 g for the Loukkos marsh, with a significant difference between the sites. Thus the Nador Canal presents the first choice for the promotion of this species. Regarding stocks, they are estimated at 60.39 tons (matches to 2,603,500 crayfish) between the Nador canal and the Gharb rice fields and 30.33 tons (matches to 2,121,000 crayfish) in the lower Loukkos wetland complex.

Keywords: *Procambarus clarkii*, Louisiana crayfish, invasive species, valorization, biometrics, stock estimate, Gharb, Low Loukkos, Morocco.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur l'écrevisse de Louisiane <i>Procambarus clarkii</i> et présentation des sites d'étude.....	4
1. Généralité sur l'écrevisse de Louisiane <i>Procambarus clarkii</i>	4
1.1. Description de l'espèce.....	4
1.2. Introduction et Répartition géographique	7
1.3. Biologie et écologie	10
1.3.1. Cycle de vie et reproduction	10
1.3.2. Habitat.....	12
1.3.3. Relations trophiques	13
1.3.4. Comportement	13
1.4. Principaux impacts	15
1.4.1. Sur les écosystèmes.....	15
1.4.2. Sur l'économie.....	16
1.5. Intérêt économique	17
1.6. Cadre réglementaire	18
2. Présentation des zones d'étude.....	20
2.1. Plaine du Gharb.....	21
2.1.1. Situation géographiques.....	21
2.1.2. Contexte hydrologique	22
2.1.2.1. Eaux de surface	22
2.1.2.2. Eau souterraine	22
2.1.3. Contexte climatique	23
2.1.4. Contexte écologique	24
2.1.4.1. Flore et faune.....	24
2.1.4.2. Pressions	26
2.1.5. Contexte socio-économique.....	27
2.2. Bas Loukkos.....	27
2.2.1. Situation géographique	27
2.2.2. Contexte hydrologique	28
2.2.3. Contexte climatique	29
2.2.4. Contexte écologique	30

2.2.4.1. Principaux Habitats	30
2.2.4.2. Flore et Faune.....	30
2.2.5. Contexte socio-économique.....	32

Chapitre 2 : Étude biométrique des populations de *Procambarus clarkii*..... 33

1. Introduction.....	33
2. Matériel et méthode.....	34
2.1. Échantillonnage	34
2.2. Traitement des échantillons.....	36
2.3. Traitement des données	37
3. Résultats	38
3.1. Présentation des échantillons.....	38
3.2. Description des paramètres de longueur et du poids	40
3.2.1. Longueur totale (Lt).....	40
3.2.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)	49
3.2.3. Longueur du péréiopode I (LPT1).....	56
3.2.4. Longueur des pinces (Lp).....	58
3.2.5. Poids (P)	60
3.3. Comparaison des paramètres de longueur et du poids.....	69
3.3.1. Longueur totale (Lt).....	69
3.3.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)	78
3.3.3. Longueur du péréiopode I (LPT1).....	86
3.3.4. Longueur des pinces (Lp).....	89
3.3.5. Poids (P)	92
3.4. Étude des relations entre les paramètres de longueur et du poids	101
3.4.1. En fonction de la longueur totale	101
3.4.1.1. Relation poids - longueur totale	101
3.4.1.2. Relation longueur céphalothorax - longueur totale.....	102
3.4.1.3. Relation longueur péréiopode I - longueur totale.....	104
3.4.2. En fonction de la longueur du céphalothorax	106
3.4.2.1. Relation poids - longueur du céphalothorax.....	106
3.4.2.2. Relation longueur péréiopode I - longueur du céphalothorax	107
3.4.3. Relation entre longueur des pinces (Lp) et du péréiopode I (LPT1)	109
3.5. Analyse en composantes principales (ACP)	111

4. Discussion	114
4.1. Paramètres de la longueur et de poids	114
4.2. Relations entre les paramètres de longueurs et de poids	120
5. Conclusion	122

Chapitre 3 : Étude de la dynamique des populations de *Procambarus clarkii* 123

1. Introduction.....	123
2. Matériel et méthode.....	123
3. Résultats	123
3.1. Le sex-ratio	123
3.2. Variation des paramètres de longueurs et de poids	127
3.2.1. Longueur totale (Lt).....	127
3.2.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)	130
3.2.3. Longueur du péréiopode I (LPT1).....	131
3.2.4. Longueur des pinces (Lp).....	134
3.2.5. Poids (P)	135
3.3. Observations	137
3.3.1. Reproduction.....	137
3.3.2. Différences phénotypiques	138
3.3.3. Perte d'appendices	142
3.3.4. Aspects pathologiques	143
4. Discussion	144
4.1. Sex-ratio	144
4.2. Variation des paramètres de longueur et de poids.....	146
4.3. Reproduction	147
5. Conclusion	148

Chapitre 4 : Répartition géographique, évaluation du stock et valorisation des populations de *Procambarus clarkii* 148

1. Répartition géographique et évaluation du stock des populations de <i>Procambarus clarkii</i>	148
1.1. Introduction de <i>P. clarkii</i> au Maroc	148
1.2. Matériel et méthode	151
1.2.1. Estimation de la répartition géographique.....	151
1.2.2. Estimation des stocks	153

1.3.	Résultats.....	157
1.3.1.	Répartition géographique	157
1.3.2.	Estimation des stocks	159
1.3.2.1.	Plaine du Gharb	160
1.3.2.2.	Bas Loukkos	161
1.4.	Discussion.....	161
1.5.	Conclusion.....	166
2.	Valorisation des populations de <i>Procambarus clarkii</i>	167
2.1.	Introduction	167
2.2.	Analyse SWOT de la valorisation de l'écrevisse de Louisiane	168
2.2.1.	Définition de l'analyse SWOT	168
2.2.2.	Les axes de l'analyse SWOT	168
2.2.3.	Analyse SWOT appliquée à la valorisation des écrevisses de Louisiane dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos.....	169
2.3.	Description de la filière.....	170
2.3.1.	Structure fonctionnelle.....	170
2.3.2.	Mode de production d'écrevisses de Louisiane	171
2.3.2.1.	Aquaculture des écrevisses de Louisiane	172
2.3.2.1.1.	Monoculture	173
2.3.2.1.2.	Systèmes de culture en rotation (culture intégrée)	174
2.3.2.2.	Pêche des écrevisses.....	175
2.3.2.2.1.	Casiers.....	175
2.3.2.2.2.	Verveux.....	176
2.3.3.	Conditionnement et transformation	178
2.3.3.1.	Ecrevisses conditionnées vivantes	178
2.3.3.2.	Ecrevisses transformées	178
2.3.4.	Commercialisation	179
2.3.5.	Organismes de support et de gestion	181
2.3.5.1.	Département des eaux et forêts	182
2.3.5.2.	Département des pêches maritimes	182
2.3.5.3.	L'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA)	182
2.3.5.4.	Département de l'agriculture.....	182
2.3.5.5.	Agence pour le développement agricole (ADA).....	183
2.3.5.6.	Agences de bassin hydraulique	183

2.3.5.7. Département de l'environnement	184
2.3.5.8. Centres régionaux d'investissement	184
2.3.5.9. Collectivités territoriales	184
2.4. Proposition pour la valorisation de l'écrevisse de Louisiane	185
2.5. Conclusion et perspectives	186
Conclusion générale	187
Références bibliographiques.....	190

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Taxonomie de <i>P. clarkii</i>	5
Tableau 2 : Comparaison des différents traits d'histoire de vie chez <i>P. clarkii</i> par rapport aux écrevisses indigènes et non indigènes d'Europe	11
Tableau 3 : Caractéristiques générales des échantillons par site	38
Tableau 4 : Résumé des valeurs des paramètres de longueur et de poids par site	39
Tableau 5 : Tableau de comparaison de la longueur totale de l'échantillon global et par site	42
Tableau 6 : Tableau de comparaison des fréquences (en %) de la longueur totale par site et par mois	46
Tableau 7 : Comparaison de la longueur du céphalothorax de l'échantillon global et par site	52
Tableau 8 : Comparaison de la longueur du périopode I de l'échantillon global et par site	57
Tableau 9 : Comparaison de la longueur de la pince de l'échantillon global et par site	59
Tableau 10 : Comparaison des poids de l'échantillon global et par site	62
Tableau 11 : Comparaison des fréquences (en %) du poids par site et par mois	66
Tableau 12 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	72
Tableau 13 : Moyennes en mm des longueurs totales (Lt) par site et par mois organisées par ordre décroissant	75
Tableau 14 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site de canal Nador	76
Tableau 15 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site de l'oued Drader	77
Tableau 16 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site du marais Loukkos	78
Tableau 17 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	82
Tableau 18 : Moyennes en mm des longueurs du céphalothorax (Lcpx) par site et par mois organisées par ordre décroissant	83
Tableau 19 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les mois pour le site de canal Nador	84
Tableau 20 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les mois pour le site de l'oued Drader	85
Tableau 21 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les mois pour le site marais Loukkos	86
Tableau 22 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la LPT1 entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	87
Tableau 23 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la LPT1 (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	89
Tableau 24 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lp entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	90
Tableau 25 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lp (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	92
Tableau 26 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	95

Tableau 27 : Moyennes des poids en g par site et par mois, organisées par ordre décroissant	97
Tableau 28 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site de cana Nador	98
Tableau 29 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site de l'oued Drader.....	99
Tableau 30 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site marais Loukkos.....	100
Tableau 31 : Paramètres d'interaction du poids et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)....	102
Tableau 32 : Paramètres d'interaction de la longueur du céphalothorax et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	103
Tableau 33 : Paramètres d'interaction de la longueur du périopode I et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	105
Tableau 34 : Paramètres d'interaction du poids et de la longueur du céphalothorax (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	107
Tableau 35 : Paramètres d'interaction de la longueur du périopode I et de la longueur du céphalothorax (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	108
Tableau 36 : Paramètres d'interaction de la longueur pinces - longueur périopode I (équations et coefficient de détermination R ²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	110
Tableau 37 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lt des populations d'écrevisses par site	114
Tableau 38 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lcpx des populations d'écrevisses par site	115
Tableau 39 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lcpx des populations d'écrevisses par site	115
Tableau 40 : Tableau comparatif des moyennes de LPT1 et Lp des populations d'écrevisses par site	117
Tableau 41 : Comparaison des résultats avec ceux de la littérature au Maroc (canal Nador et Merja Zerga), en Italie (Lac Trasimène) et en France (étang de Chassin).....	119
Tableau 42: Tableau récapitulatif des coefficients de détermination (R ²)	120
Tableau 43: Extrait des séries de captures (nombre d'individus / 24h) réalisées au niveau du canal Nador, Hofrat Al Majour, les Rizières et Zones humides du Bas Loukkos.....	160
Tableau 44 : Estimation de la biomasse (Bi) en nombre et en poids pour la plaine du Gharb	160
Tableau 45 : Estimation de la biomasse (Bi) pour les sites de la zone humide du Bas Loukkos	161
Tableau 46 : Matrice de l'analyse SWOT appliquée à la valorisation de l'écrevisse de Louisiane	169
Tableau 47 : Structure fonctionnelle de la filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane	171
Tableau 48 : Production de l'aquaculture de <i>Procambarus clarkii</i> entre 2008 et 2017	172
Tableau 49 : Capture de <i>Procambarus clarkii</i> entre 2008 et 2017	172
Tableau 50 : Prix de vente moyen en dirhams des crustacés dans les halles au Maroc	180

Liste des Figures

Figure 1: Anatomie externe d'une écrevisse : (a) face dorsale et (b) face ventrale	6
Figure 2 : Morphologie générale de <i>Procambarus clarkii</i>	6
Figure 3 : Caractéristiques du dimorphisme sexuel chez <i>P. clarkii</i>	7
Figure 4 : Voies d'invasion mondiale de <i>Procambarus clarkii</i> , basées sur l'ADN mitochondrial et la littérature	8
Figure 5 : Distribution native (en bleu) et invasive (en rouge) de <i>Procambarus clarkii</i> dans le monde. .8	
Figure 6 : Signalement au Maroc de <i>P. clarkii</i> par régions, (A : régions où <i>P. clarkii</i> a été signalée ; B : régions où <i>P. clarkii</i> n'est pas encore signalée).....	10
Figure 7 : Terriers de <i>P. clarkii</i> dans les rizières du Gharb, Maroc	17
Figure 8 : Écrevisse de Louisiane vivante dans des sacs	18
Figure 9 : Paquet d'écrevisse de Louisiane de saison cuites et surgelée	18
Figure 10: Aperçu global des zones d'étude, plaine du Gharb et le bas Loukkos	20
Figure 11 : Périmètre générale de la zone d'étude dans la plaine du Gharb	21
Figure 12 : Anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i>	25
Figure 13 : Pélobates de Varaldi (<i>Pelobates varaldii</i>) adulte à Kénitra.....	26
Figure 14 : Périmètre de la zone d'étude délimité en rouge, carte site Ramsar du Maroc : Complexe Bas Loukkos	29
Figure 15 : Répartition de la population entre milieu urbain et rural dans la province de Larache selon le haut-commissariat au plan	32
Figure 16 : Localisation de la zone d'échantillonnage pour les paramètres biométriques.....	35
Figure 17 : Sites d'échantillonnage au niveau du canal Nador (CN) et oued Drader (OD)	35
Figure 18 : Site d'échantillonnage au niveau du marais Loukkos (ML) dans le complexe zones humides	36
Figure 19 : Nasse de piégeage des écrevisses	36
Figure 20 : Mesures relevées sur <i>P. clarkii</i>	37
Figure 21 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	43
Figure 22: Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global	43
Figure 23 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador (CN)	43
Figure 24 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader (OD)	43
Figure 25 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos (ML).....	43
Figure 26 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)	44
Figure 27 : Histogrammes de répartition par classe de tailles par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)	47
Figure 28 : Histogrammes de répartition par classe de tailles par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)	48
Figure 29 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	50

Figure 30: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global.....	51
Figure 31: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador.....	51
Figure 32: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader.....	51
Figure 33 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos (ML)	51
Figure 34 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)	52
Figure 35 : Histogrammes de répartition de la Lcpx par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)	54
Figure 36 : Histogrammes de répartition de la Lcpx par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)	55
Figure 37 : Histogramme des longueurs du péréiopode I (LPT1) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	57
Figure 38 : Histogramme des longueurs du péréiopode I (LPT1) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)	58
Figure 39 : Histogramme des longueurs des pinces (Lp) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	60
Figure 40 : Histogramme des longueurs des pinces (Lp) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)	60
Figure 41 : Histogramme des poids (P) en g de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	63
Figure 42: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global	63
Figure 43: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador	63
Figure 44: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader	63
Figure 45 : Histogramme des poids (P) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos (ML)	63
Figure 46 : Histogramme des Histogramme des poids (P) en g de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)	64
Figure 47 : Histogrammes de répartition des poids par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)	67
Figure 48 : Histogrammes de répartition des poids par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)	68
Figure 49 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global.....	72
Figure 50 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site canal Nador	72
Figure 51 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site oued Drader	72
Figure 52 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site marais Loukkos.....	72

Figure 53 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	72
Figure 54 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site de canal Nador	76
Figure 55 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site de l'oued Drader	77
Figure 56 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site du marais Loukkos.....	78
Figure 57 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global.....	80
Figure 58 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site canal Nador	80
Figure 59 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site oued Drader	81
Figure 60 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site marais Loukkos.....	81
Figure 61 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	82
Figure 62 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les mois du site canal Nador	83
Figure 63 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les mois du site de l'oued Drader.....	84
Figure 64 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les mois du site marais Loukkos.....	85
Figure 65 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la LPT1 (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	87
Figure 66 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global.....	87
Figure 67 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la LPT1 (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	88
Figure 68 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	90
Figure 69 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global.....	90
Figure 70 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	91
Figure 71 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles de l'échantillon global.....	94
Figure 72 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site canal Nador	94
Figure 73 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site oued Drader	94
Figure 74 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site marais Loukkos.....	94

Figure 75 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	95
Figure 76 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids entre les mois du site canal Nador	98
Figure 77 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids entre les mois du site de l'oued Drader	99
Figure 78 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids entre les mois du site marais Loukkos	100
Figure 79 : Relation poids - longueur totale de l'échantillon global	101
Figure 80 : Relation poids - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	101
Figure 81 : Relation poids - longueur totale par sexe de l'échantillon global	102
Figure 82 : Relation poids - longueur totale des mâles et des femelles de l'échantillon par site étudié	102
Figure 83 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale de l'échantillon global	103
Figure 84 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	103
Figure 85 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale par sexe de l'échantillon global	103
Figure 86 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	104
Figure 87 : Relation longueur périopode I - longueur totale de l'échantillon global.....	105
Figure 88 : Relation longueur périopode I - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	105
Figure 89 : Relation longueur périopode I - longueur totale par sexe de l'échantillon global	105
Figure 90 : Relation longueur périopode I - longueur totale des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	105
Figure 91 : Relation poids - longueur céphalothorax de l'échantillon global.....	106
Figure 92 : Relation poids - longueur céphalothorax pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	106
Figure 93 : Relation poids - longueur céphalothorax par sexe de l'échantillon global.....	107
Figure 94 : Relation poids - longueur céphalothorax des mâles et des femelles de l'échantillon par site étudié.....	107
Figure 95 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax de l'échantillon global	108
Figure 96 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)	108
Figure 97 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax par sexe de l'échantillon global	108
Figure 98 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	109
Figure 99 : Relation longueur pinces - longueur périopode I - longueur céphalothorax de l'échantillon global.....	110
Figure 100 : Relation longueur pinces - longueur périopode I pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	110
Figure 101 : Relation longueur pinces - longueur périopode I par sexe de l'échantillon global	110

Figure 102 : Relation longueur pinces - longueur péréiopode I des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML).....	111
Figure 103 : Cercle des corrélations des paramètres biométriques.....	112
Figure 104 : Graphique des observations en nuage de points coloré par sexe	112
Figure 105 : Graphique du Biplot en nuage de points coloré par sexe.....	112
Figure 106 : Graphique des observations en nuage de points coloré par site	113
Figure 107 : Graphique du Biplot en nuage de points coloré par site	113
Figure 108 : Graphique des observations en nuage de points coloré par site	114
Figure 109 : Graphique des observations en centroïdes des nuages de points des sites.....	114
Figure 110 : Sex-ratio pour les différents groupes d'échantillons, global ; canal Nador (CN) ; oued Drader (OD) ; marais Loukkos (ML)	124
Figure 111 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site canal Nador durant l'année 2018	125
Figure 112 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site oued Drader durant l'année 2018.....	126
Figure 113 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site marais Loukkos durant l'année 2018	126
Figure 114 : Sex-ratio pour les sites rizières de Larache au mois de Mai (RL) et rizières du Gharb au mois de juillet de l'année 2018	127
Figure 115 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)	128
Figure 116 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)	129
Figure 117 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML).....	130
Figure 118 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)	130
Figure 119 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD).....	131
Figure 120 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML).....	131
Figure 121 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du péréiopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)	132
Figure 122 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du péréiopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)	133
Figure 123 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du péréiopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML).....	133
Figure 124 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)	134
Figure 125 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)	134
Figure 126 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML).....	135
Figure 127 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN).....	135
Figure 128 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)	136

Figure 129 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)	137
Figure 130 : Phénotypes bleu (A), orange (B) et blanc signalés par la littérature.....	139
Figure 131 : Différentes couleurs observées chez <i>P. clarkii</i> , rouge (a) ; rouge foncé (b) ; brun (c) ; orange (d).....	140
Figure 132 : Écrevisses de l'oued Drader de couleur très sombre	140
Figure 133 : Exemple de différences phénotypiques.....	141
Figure 134 : Image comparant les péréiopodes considérés différents (à gauche de chaque image) avec les péréiopodes considérés normaux (à droite de chaque image), (a) face ventrale ; (b) face dorsale.....	142
Figure 135 : Image montrant <i>Procambarus zonangulus</i> à gauche et <i>Procambarus clarkii</i> à droite...142	
Figure 136 : Image montrant des appendices de <i>P. clarkii</i> en régénération (entourés en rouge).....	143
Figure 137 : Aspects pathologiques chez les écrevisses de Louisiane dans les sites étudiées (a et b : couleur cuivre oxydé ; c : couleur rouille).....	144
Figure 138 : Voies d'invasion probables de <i>P. clarkii</i> des régions non européennes vers l'Europe.	150
Figure 139 : Campagne de prospection et pose des pièges dans le canal Nador et les rizières du Gharb	152
Figure 140 : Zone de prospection au niveau de la plaine du Gharb	152
Figure 141 : Zone de prospection au niveau des marais du Loukkos	153
Figure 142 : Marquage des écrevisses	154
Figure 143 : Station d'échantillonnage au niveau de la zone du Gharb	157
Figure 144 : Station d'échantillonnage au niveau de la zone du marais du Bas Loukkos	157
Figure 145 : Répartition de <i>P. clarkii</i> dans la région du Gharb.	158
Figure 146 : Répartition de <i>P. clarkii</i> dans la région de Larache : complexe zone humide (CZH) et rizières.	159
Figure 147 : Evolution de la distribution géographique mondiale de <i>P. clarkii</i> avant 1950, entre 1951-1975, entre 1976-2000 et entre 2001-2019	162
Figure 148 : Aire de répartition de <i>P. clarkii</i>	165
Figure 149 : Présentation de l'analyse SWOT sous forme de matrice	169
Figure 150 : Cycle de production en rotation de <i>Procambarus clarkii</i>	175
Figure 151 : Casier pour la pêche d'écrevisses.....	176
Figure 152 : Disposition d'un verveux à deux filets	177
Figure 153 : Dispositif d'échappement des anguilles	177
Figure 154 : Écrevisses de Louisiane conditionnées vivantes dans des sacs en plastique à mailles ouvertes	178
Figure 155 : Écrevisses de Louisiane décortiquées et cuites.....	179
Figure 156 : Organismes de support et de gestion.....	181

Liste des abréviations

CN:	Canal Nador
CPUE :	Capture par unité d'effort
Ed :	Éditeur
Eds :	Éditeurs
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
Lt :	Longueur totale
Lcpx :	Longueur du céphalothorax
Lp :	Longueur de la pince
LPT1 :	Longueur du périopode I
Max:	Maximum
Min:	Minimum
ML:	Marais Loukkos
Moy:	Moyenne
OD:	Oued Drader
P :	Poids
<i>P. clarkii</i> :	<i>Procambarus clarkii</i>

Introduction générale

L'écrevisse de Louisiane *Procambarus clarkii* (Girard 1852) dite aussi l'écrevisse rouge des marais est l'écrevisse américaine la plus répandue dans le monde (Henttonen & Huner, 1999 ; Oficialdegui, 2019). Elle se caractérise par une forte production, une croissance rapide et une grande fécondité (Ackefors, 1999), des critères qui ont favorisé sa propagation. *P. clarkii*, originaire du sud des États-Unis et du nord-est du Mexique (FAO, 2009), a été intentionnellement introduite dans au moins 40 pays et quasiment dans tous les continents, sauf en Australie et en Antarctique (Oficialdegui, 2019) pour être élevée et consommée comme nourriture (Hobbs *et al.*, 1989), aussi elle est vendue comme espèce d'aquarium (Chucholl, 2013 ; Faulkes, 2015). Ainsi elle est devenue l'écrevisse d'eau douce la plus cosmopolite du monde, et l'un des envahisseurs les plus destructeurs sur le plan écologique (Gherardi & Acquistapace, 2007).

Au niveau régional elle fut introduite pour la première fois en Europe depuis la Louisiane (États-Unis) en 1973, dans le bassin moyen du Guadiana, dans la province de Badajoz en Espagne, et en 1974, lors d'une nouvelle introduction indépendante dans les rizières du bas Guadalquivir dans la province de Séville (Habsburgo-Lorena, 1978). L'aire de répartition européenne de *P. clarkii* résulterait de l'expansion de ces deux populations fondatrices (Oficialdegui *et al.*, 2020), combinée à d'autres événements d'introduction de *P. clarkii* venant de la chine (Barbaresi *et al.*, 2007) et du Kenya (Goddard & Hogger, 1986 ; Laurent *et al.*, 1991). Ce constat suggère fortement qu'en Europe plusieurs introductions non déclarées ont eu lieu, en plus de celles bien connues qui se sont produites en Espagne dans les années 1970.

Au Maroc, *P.clarkii* se trouve dans la région du Gharb et de Larache, alors qu'aucune installation d'élevage ou opération d'introduction, n'a été autorisée ou réalisée par les organismes compétants dans le domaine. Selon EL Qoraychy *et al.* (2015), la première observation de l'espèce aurait eu lieu fin 2008 début 2009 à Merja Zerga et ferait suite à une introduction réalisée en 2007 par une société espagnole de production et de commercialisation internationale d'écrevisses de Louisiane. Quant à Saguem *et al.* (2019), l'écrevisse de Louisiane est observée la première fois en 2008 dans le périmètre de la ville d'Allal Tazi et se serait propagée vers le nord pour atteindre les marais du plateau de Rmel dans un premier temps, puis le complexe zones humides du Bas Loukkos parcourant ainsi 43,8 Km en 2 ans. Quant à Benyahkoub *et al.* (2019b), ils décrivent plutôt une introduction illégale par une

action dans deux périmètres, celui du Gharb près de la Merja Zerga et du canal Nador et celui de Larache dans la zone du complexe zone humide. Cet introduction aurait eu lieu en fin des années 90 début des années 2000. Quelque soit la manière, *P. clarkii* est dans la nature et son introduction n'est pas sans conséquences sur l'environnement et l'économie.

L'écrevisse de Louisiane occupe une position importante dans la structure trophique des environnements envahis, interagissant avec différents niveaux trophiques et modifiant l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème (Angeler *et al.*, 2001 ; Dorn & Wojdak, 2004 ; Gherardi & Acquistapace, 2007 ; Cruz *et al.*, 2008). Son efficacité de pâturage des macrophytes combinée à un comportement de fouissement, peuvent altérer les environnements d'eau douce, en modifiant les zones dominées par les macrophytes ayant une eau claire en zones turbides dominées par le phytoplancton (Rodríguez *et al.*, 2003 ; Geiger *et al.*, 2005 ; Matsuzaki *et al.*, 2009). L'introduction de *P. clarkii* dans le lac Chozas, en Espagne, a entraîné une réduction de la couverture végétale des macrophytes de 99%, ce qui a conduit à une perte de 71% des genres de macroinvertébrés, une réduction de 83% des espèces d'amphibiens et une perte de 75 espèces de canards, et une réduction de 52% de la sauvagine (Rodríguez *et al.*, 2005). En plus de son impact indirect dû à la réduction des macrophytes, *P. clarkii* peut s'attaquer directement et réduire les populations d'une grande variété d'espèces aquatiques, notamment les amphibiens (Cruz & Rebelo, 2005 ; Gherardi, 2006), les mollusques (Gherardi & Acquistapace, 2007 ; Cruz & Rebelo, 2007), les macroinvertébrés (Rodríguez *et al.*, 2005 ; Correia *et al.*, 2008) et les poissons en se nourrissant d'œufs et d'alevins (Mueller *et al.*, 2006). En outre, *P. clarkii* est l'un des vecteurs de la peste des écrevisses (causée par *Aphanomyces astaci*), et peut être porteuse de nombreux autres agents pathogènes, parasites, épibiontes et maladies susceptibles d'affecter d'autres espèces, y compris l'Homme (Gherardi & Panov, 2006 ; Loureiro *et al.*, 2015).

Les impacts économiques concernent principalement l'agriculture et la pêche. Le comportement fouisseur de *P. clarkii* conduit à l'endommagement des digues et des systèmes d'irrigation et de drainage ce qui peut entraîner une perte d'eau et des dommages aux champs, notamment au niveau des rizières où elle devient rapidement l'espèce dominante (Correia, 1993 ; Holdrich, 1999 ; Yue *et al.*, 2010 ; Saguem & El Alami, 2019). Dans les rizières du Gharb au Maroc, les pertes économiques liées à l'activité de *P. clarkii* concernent la déperdition d'eau, estimée à 65 m³/ha pour un coût totale de 281.000 dhs, et la réduction de la production de riz, estimée entre 4.225 et 4.752 dhs/ ha pour une perte totale entre 50,7 et 57

millions de dirhams, à cela s'ajoute la perte en surface cultivable (Saguem & El Alami, 2019) et les coûts financier et environnementaux liés à l'usage des pesticides.

Concernant la pêche, *P. clarkii* représente un problème, car elle peut endommager les filets et détruire les poissons capturés, elle est considérée comme un ravageur dans de nombreux étangs de pêche (De Moor, 2002 ; Maezono & Miyashita, 2004). *P. clarkii* s'attaque aussi aux œufs de poisson et rentre en concurrence pour la nourriture avec eux. De plus, en réduisant les macrophytes importants pour leur nidification et fraie, *P. clarkii* perturbe le processus et réduit les chances de reproduction (Holdich, 1999 ; Gieger *et al*, 2005), ce qui peut conduire à la diminution des stocks.

Devant ce constat, des mesures de gestion plus efficaces et durable de cette espèce, doivent être mises en œuvre. C'est dans ce sens que se propose de contribuer le présent travail. Il s'avère que l'écrevisse de Louisiane présente un grand intérêt économique, elle peut être produite en aquaculture seule, ou combinée à d'autre culture comme le riz (FAO, 2009), elle peut aussi être pêchée dans les milieux naturels. *P. clarkii* est une ressource naturelle facilement exploitable par les populations locales pour l'amélioration de leurs revenus où comme source d'alimentation. La valorisation par l'exploitation peut être un moyen de gestion efficace et durable, qui non seulement contribuera à ralentir et diminuer les impacts négatifs de l'espèce, mais aussi créer de la valeur ajoutée, dans des zones où le milieu et les activités de la population (riziculture et pêche entre autres) sont propices à la mise en place d'une exploitation durable. Cependant, pour mobiliser les investissements et encourager l'exploitation, il est primordial de connaitre dans une première étape, les caractéristiques spécifiques de l'espèce dans son aire de répartition, d'autant plus que nous sommes devant une espèce dont le calibre est un élément important qui conditionne le prix de vente (FAO, 2009). Et donc, l'objectif de ce travail est de présenter une description précise des paramètres biométriques (longueurs totale, poids entre autres) ainsi que leurs dynamiques sur une durée qui s'étale sur une année, en établissant les relations qui peuvent exister entre eux. En prenant en compte les travaux précédants (El Qoraychy *et al.*, 2015 ; El Qoraychy, 2016), la description concerne les populations d'écrevisse de Louisiane se trouvant dans des sites bien délimités et compatibles avec des procédures d'amodiation. Il s'agit du canal Nador et oued Drader dans la plaine du Gharb et les marais du complexe des zones humides du bas Loukkos dans la région de Larache. Une autre démarche consistera à estimer les stocks et la zone de répartition dans les périmètres étudiés. Cette dynamique a pour finalité d'offrir des données

de base, à destination des autorités de gestion et des exploitants, et qui constitueront un cadre de référence pour l'orientation des différentes initiatives de valorisation ou d'exploitation.

Chapitre 1 : Généralités sur l'écrevisse de Louisiane *Procambarus clarkii* et présentation des sites d'étude

1. Généralité sur l'écrevisse de Louisiane *Procambarus clarkii*

L'espèce *Procambarus clarkii*, également connue sous le nom d'écrevisse rouge des marais ou écrevisse de Louisiane, est originaire du nord-est du Mexique et du sud des États-Unis; elle a été introduite sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique et de l'Australie (Oficialdegui, 2019). Introduite pour être élevée et consommée comme nourriture (Hobbs *et al.*, 1989) ou à vendre comme espèce d'aquarium (Chucholl, 2013 ; Faulkes, 2015), elle est désormais considérée comme l'espèce d'écrevisse d'eau douce la plus cosmopolite au monde (Gherardi, 2006 ; Chucholl, 2011a), ainsi que l'un des envahisseurs les plus destructeurs sur le plan écologique (Gherardi & Acquistapace, 2007). De manière générale, cette espèce présente une bonne tolérance à un large éventail de conditions environnementales, une capacité d'adaptation élevée, un taux de croissance élevé et une stratégie d'alimentation flexible (Hobbs *et al.*, 1989 ; Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1999 ; Alcorlo *et al.*, 2004; Souty-Grosset *et al.*, 2006 ; Gherardi, 2007). Toutes ces caractéristiques, favorisent son établissement dans de nouveaux habitats disponibles. De plus son aptitude à creuser des terriers dans les berges pour se protéger rend difficile tout contrôle des populations (Collas *et al.*, 2008).

La connaissance d'une espèce, notamment sa biologie et écologie, est indispensable pour mettre en place un mode de gestion ou de valorisation efficace et durable. Dans cette partie nous allons donner un aperçu général des principales caractéristiques de l'écrevisse de Louisiane, *Procambarus clarkii*.

1.1. Description de l'espèce

D'un point de vue taxonomique la classification de l'écrevisse de Louisiane *P. clarkii* est établie selon la base ITIS comme présentée ci-dessous (Tableau 1) :

Tableau 1 : Taxonomie de *P. clarkii* (ITIS, 2020)

<i>Classification</i>	
Kingdom	<i>Animalia</i>
Subkingdom	<i>Bilateria</i>
Infrakingdom	<i>Protostomia</i>
Superphylum	<i>Ecdysozoa</i>
Phylum	<i>Arthropoda</i>
Subphylum	<i>Crustacea Brünnich, 1772</i>
Class	<i>Malacostraca Latreille, 1802</i>
Subclass	<i>Eumalacostraca Grobben, 1892</i>
Superorder	<i>Eucarida Calman, 1904</i>
Order	<i>Decapoda Latreille, 1802</i>
Suborder	<i>Pleocyemata Burkenroad, 1963</i>
Infraorder	<i>Astacidea Latreille, 1802</i>
Superfamily	<i>Astacoidea Latreille, 1802</i>
Family	<i>Cambaridae Hobbs, 1942</i>
Subfamily	<i>Cambarinae Hobbs, 1942</i>
Genus	<i>Procambarus Ortmann, 1905</i>
Subgenus	<i>Procambarus (Scapulicambarus) Hobbs, 1972</i>
Species	<i>Procambarus clarkii (Girard, 1852)</i>

Le corps de *Procambarus clarkii*, en tant que crustacé décapode typique, est divisé en céphalothorax et en abdomen (Figure 1), les deux parties ayant des appendices suivant le modèle des décapodes (Hobbs, 1974). Les appendices abdominaux appelés pléopodes ne sont pas toujours présents chez les mâles décapodes, mais chez cette espèce, ils sont présents chez les mâles et les femelles (Hobbs, 1974). Les appendices thoraciques (péréiopodes) sont au nombre de cinq, mais les 3 premières paires sont chélatées (Figure 1), ce qui est une caractéristique de l'infra-ordre Astacidea (Taylor, 2002 ; Crandall & Buhay, 2008 ; Gherardi *et al.*, 2010). La couleur de la carapace est rouge foncée avec certaines nuances brunes (FAO, 2009) cependant, d'autres variétés oranges, blanches et bleues sont signalées (Maciaszek *et al.*, 2019 ; Schuster, 2020). Les pinces sont généralement rouges sur les deux faces. Dans son habitat d'origine, *Procambarus clarkii* est capable d'atteindre des poids supérieurs à 50 g en 3-5 mois et les spécimens adultes peuvent mesurer jusqu'à 12 centimètres (Henttonen & Huner, 1999). Quant aux juvéniles ils ne sont pas rouges et sont difficiles à différencier des autres espèces de *Procambarus* (Boets *et al.*, 2009). Selon Schuster (2020), les jeunes ont le plus souvent une couleur de base jaune à brun clair qui devient rouge foncé au stade adulte. Les différences morphologiques les plus significatives pour la reconnaissance des Procambaridae concernent les sillons branchiocardiaques convergeant des deux côtés de la carapace (Souty-Grosset *et al.*, 2006). Sur les pinces et le céphalothorax, sont hérissés de

nombreuses aspérités et deux puissants ergots sont placés à l'intérieur des carpopodites, caractères distinctifs de l'espèce *P. clarkii* (Blatter, 2013) (Figure 2).

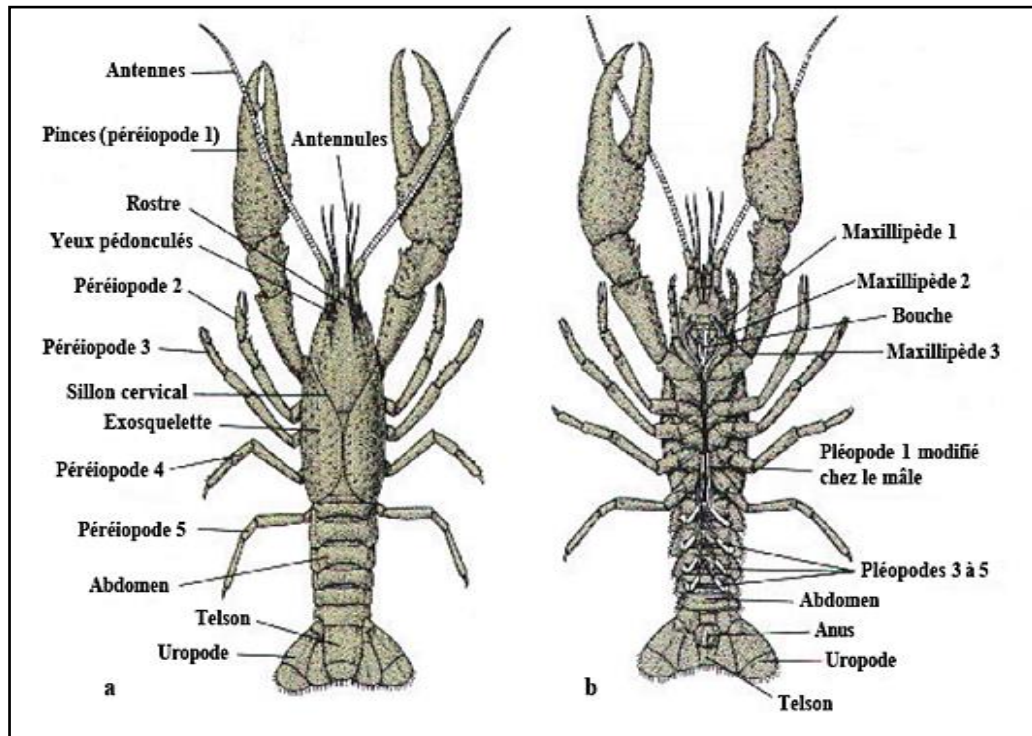


Figure 1: Anatomie externe d'une écrevisse : (a) face dorsale et (b) face ventrale

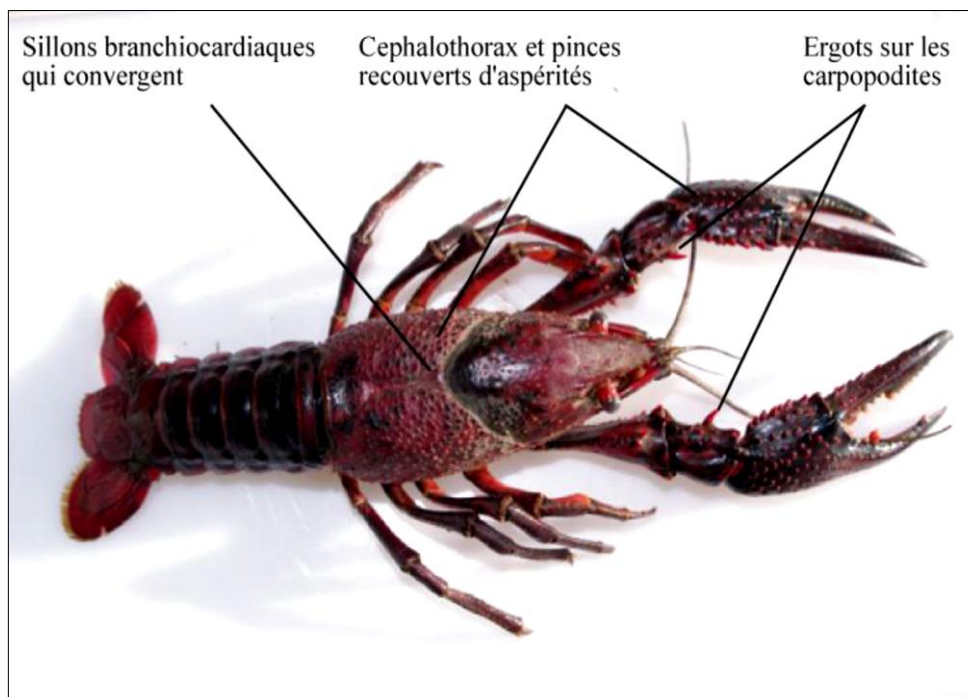


Figure 2 : Morphologie générale de *Procambarus clarkii* (Blatter, 2013)

Cette espèce présente un dimorphisme sexuel externe (Figure 3) avec la présence sur le premier segment abdominal d'un organe copulateur formé par une modification des première et deuxième paires de pléopodes, alors que chez les femelles la première paire d'appendices

abdominaux est vestigiale et la seconde ne présente pas de modification (Sukô, 1953 ; Huner, 1981). Selon Blatter (2013) les pléopodes II, III, IV et V ou pattes ovigères qui servent à maintenir les œufs, sont très développés chez la femelle. Le sexe peut aussi être distingué par la position des pores génitaux. En effet, les ouvertures génitales sont situées sur le coxopodite de la troisième paire de péréiopodes chez les femelles et sur la cinquième paire de péréiopodes chez les mâles (Holdich & Lowery, 1988).

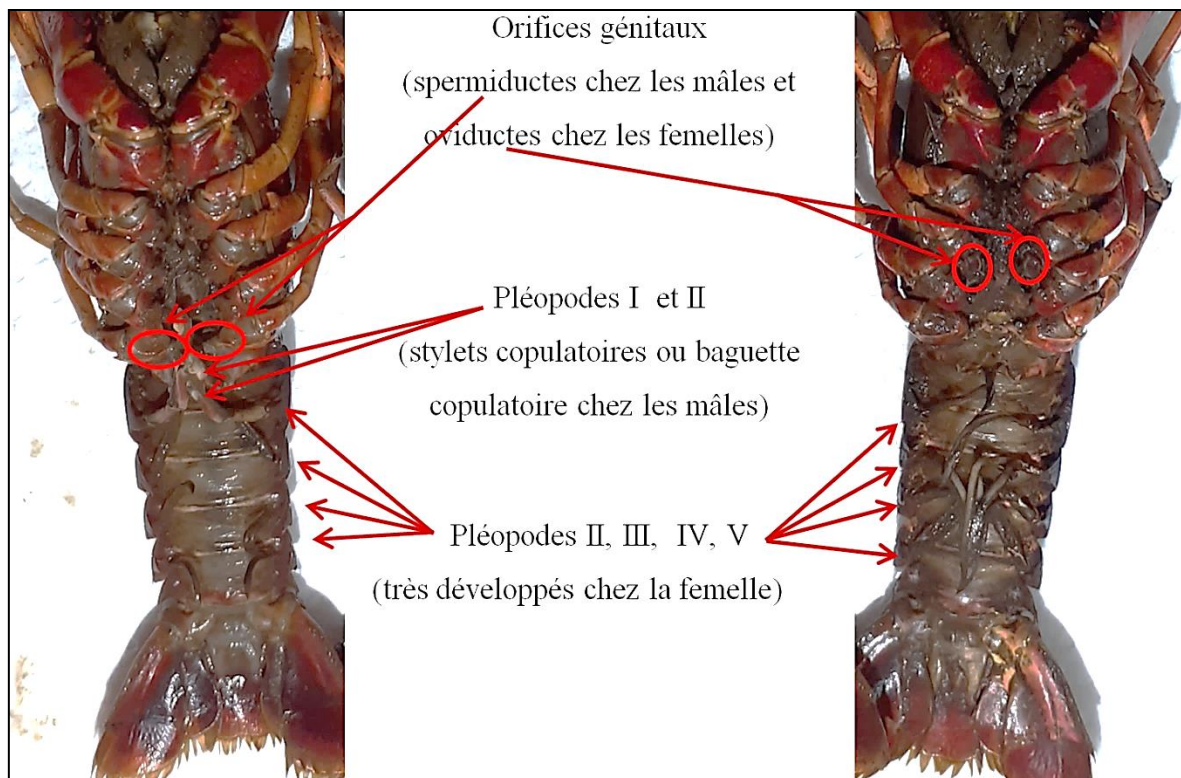


Figure 3 : Caractéristiques du dimorphisme sexuel chez *P. clarkii*

1.2. Introduction et Répartition géographique

L'aire de répartition d'origine de *Procambarus clarkii* se trouvait dans la région s'étendant du nord du Mexique jusqu'à la Floride, et vers le nord au sud de l'Illinois et l'Ohio (FAO, 2009). Actuellement, depuis son aire d'origine elle s'est étendue à plus de 40 pays et quasiment sur tous les continents sauf sur l'Antarctique et l'Australie (Figure 4 ; Figure 5) (Crandall, 2010 ; Loureiro *et al.*, 2015 ; Oficialdegui, 2019) ; même des milieux insulaires ont été colonisés après des translocations d'origines anthropiques comme les Açores, Hawaï ou les Canaries (Hobbs *et al.*, 1989 ; Huner, 2002 ; Souty-Grosset *et al.*, 2006). Introduite pour être élevée et consommée comme nourriture. (Hobbs *et al.*, 1989) ou vendue comme espèce d'aquarium (Chucholl, 2013 ; Faulkes, 2015) ; elle est devenue l'écrevisse d'eau douce la plus cosmopolite du monde. Certes, la distribution actuelle de l'écrevisse de Louisiane provient de

l'introduction humaine, mais sa viabilité et sa diffusion rapide est due à son potentiel invasif (Gherardi & Barbaresi, 2000).

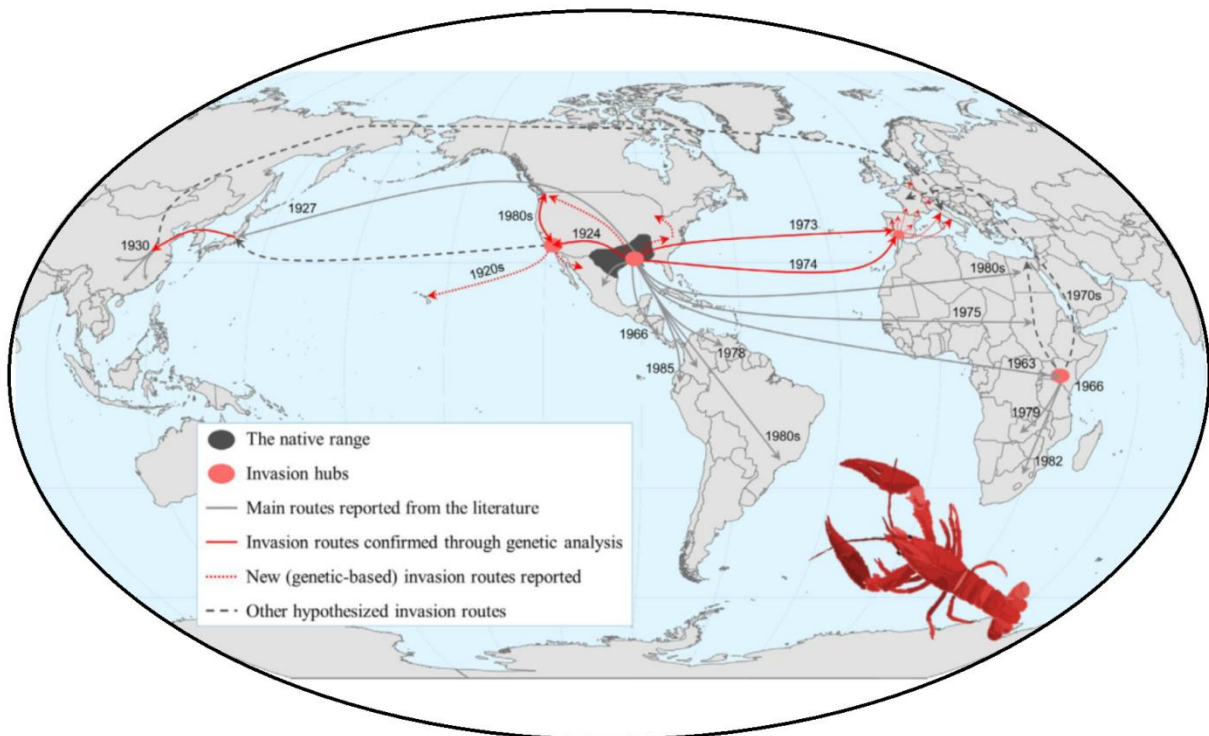


Figure 4 : Voies d'invasion mondiale de *Procambarus clarkii*, basées sur l'ADN mitochondrial et la littérature. Les centres d'invasion pertinents, qui agissent généralement comme des destinataires et des sources de nouvelles invasions, sont représentés par des cercles rouges : Louisiane, Californie, Kenya et Espagne (Oficialdegui *et al.*, 2019, modifiée).

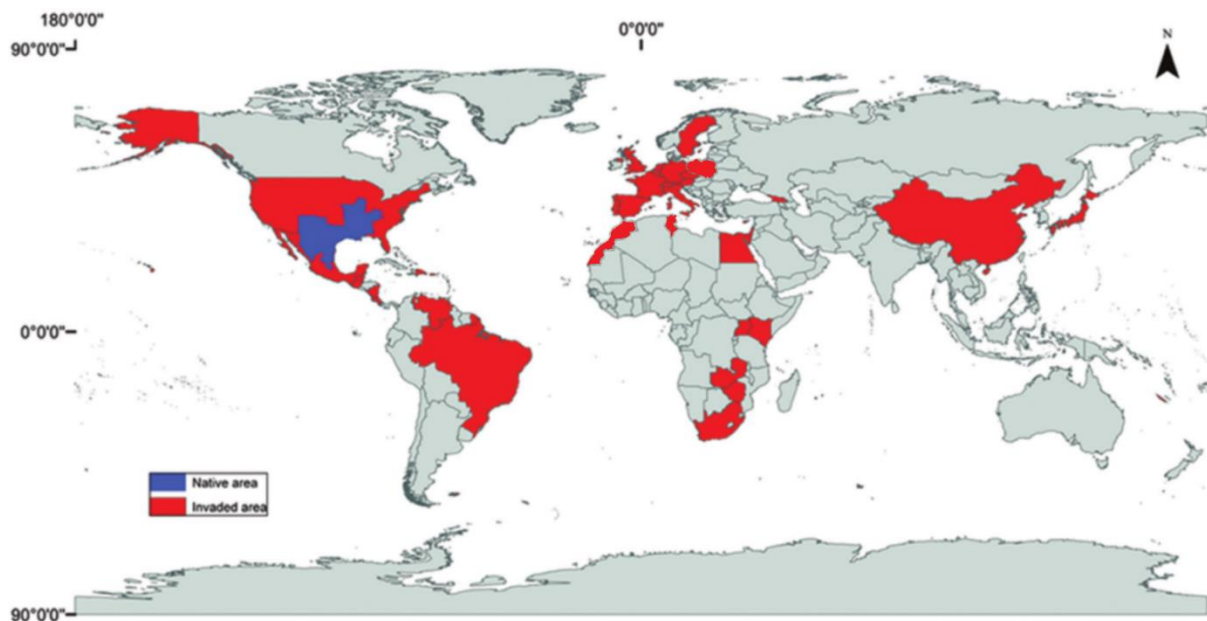


Figure 5 : Distribution native (en bleu) et invasive (en rouge) de *Procambarus clarkii* dans le monde (Loureiro *et al.*, 2015, modifiée).

Au niveau régional elle fut introduite pour la première fois en Europe depuis la Louisiane (États-Unis) en 1973, dans la province de Badajoz en Espagne, et en 1974, lors d'une nouvelle introduction indépendante dans les rizières dans la province de Séville (Habsburgo-Lorena, 1978). On a généralement pensé que l'aire de répartition européenne de *P. clarkii* résulte de l'expansion de ces deux populations fondatrices (Oficialdegui et al., 2020). Ceci n'exclue pas, d'autres événements d'introduction provenant de différentes sources dans certains pays européens (Patoka et al., 2014 ; Weiperth et al., 2019). En effet, l'étude génétique des populations de *P. clarkii* en Europe a mis en évidence la présence d'haplotypes communs avec des populations du Kenya et d'Asie (Oficialdegui et al., 2020).

Établie suite à des introductions pour le commerce (El Zein, 2005 ; Fishar, 2006) ou pour la lutte contre la schistosomiase (Lodge *et al.*, 2005). L'écrevisse de Louisiane s'est établie également en Afrique, sa présence a été signalée en Égypte, Kenya, Afrique du Sud, Soudan, Ouganda, Zambie, Zimbabwe, Tunisie et au Maroc (Huner, 1988 ; Hobbs *et al.*, 1989 ; Arrignon *et al.*, 1990 ; Mikkola, 1996 ; Holdich, 1999 ; Smart *et al.*, 2002 ; El Zein, 2005 ; Foster & Harper, 2007 ; El Qoraychy *et al.*, 2015 ; Benyahkoub *et al.*, 2019 a et b ; Saguem *et al.*, 2019 ; Bouaoud *et al.*, 2020).

Au Maroc aucune installation d'élevage ou opération d'introduction de *P. clarkii* n'a été autorisée ou réalisée par les organismes compétants dans le domaine. Selon EL Qoraychy *et al* (2015), la première observation de l'espèce aurait eu lieu fin 2008 début 2009 à Merja Zerga et ferait suite à une introduction réalisée en 2007 par la société espagnole ALFOCAN. Pour Saguem *et al* (2019), l'écrevisse de Louisiane aurait été observée la première fois en 2008 dans le périmètre de la ville d'Allal Tazi et se serait propagé vers le nord pour atteindre le complexe zones humides du Bas Loukkos. Et, d'après Benyahkoub *et al* (2019b) *P. clarkii* aurait fait l'objet de deux actions d'introductions indépendantes par la libération de juvéniles, la première dans la partie basse du canal Nador près de la Merja Zerga (zone du Gharb) et la seconde au niveau des marais du Loukkos (près de la ville de Larache). Mais, tous s'accordent sur la présence de *P. clarkii* sur le territoire de deux régions adjacentes, il s'agit de la région de Rabat – Salé – Kénitra, qui englobe dans sa partie Nord la zone du Gharb, et la région de Tanger – Tétouan – Al Hoceima qui dans sa partie Sud-Est couvre le bas Loukkos (Figure 6).

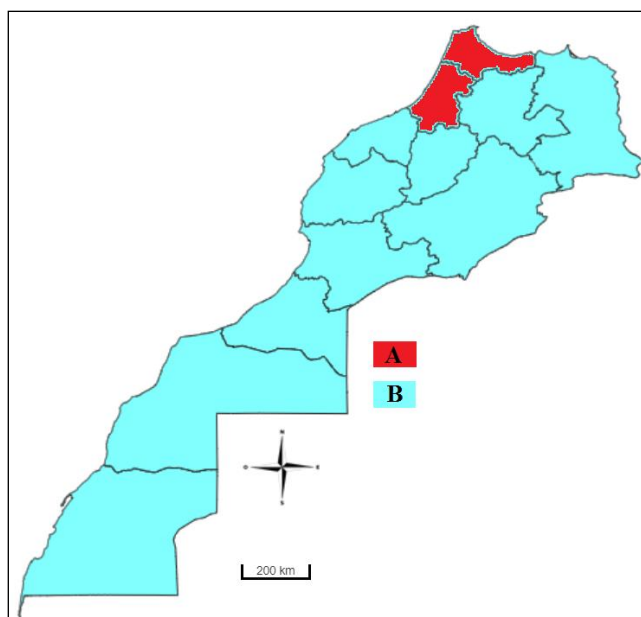


Figure 6 : Signalement au Maroc de *P. clarkii* par régions, (A : régions où *P. clarkii* a été signalée ; B : régions où *P. clarkii* n'est pas encore signalée)

1.3. Biologie et écologie

1.3.1. Cycle de vie et reproduction

Procambarus clarkii utilise une stratégie r, présentant un cycle de vie court et une fécondité élevée. Elle mûrit lorsqu'elle atteint une taille comprise entre 6 et 12,5 cm. *P. clarkii* présente un dimorphisme cyclique (Taketomi *et al.*, 1990 ; Henttonen & Huner, 1999), alternant des périodes sexuellement actives et inactives au cours du cycle de vie (Loureiro *et al.*, 2015 ; Hamasaki *et al.*, 2020). L'espèce est particulièrement prolifique par rapport aux espèces européennes (Tableau 2), dont l'écrevisse à patte rouge présente au Maroc (Mouslih, 1987). La production d'œufs peut être achevée en six semaines, l'incubation et l'attachement maternel en trois semaines et la maturation en huit semaines (Ackefors, 1999). Dans son habitat d'origine, les mâles de *P. clarkii* meurent à la fin de leur première année, et les femelles vivent rarement plus de deux ans (Bravo *et al.*, 1994). En Suisse, dans un étang eutrophe (avec des conditions d'habitat stables), *P. clarkii* pourrait même atteindre les cinq ans. En Italie, dans le lac Trasimène, *P. clarkii* vivrait en moyenne trois ans, quelques rares spécimens auraient une espérance de vie de 4 ans (Dörr *et al.*, 2006). L'étude des populations d'écrevisses de Louisiane dans un milieu stable, montre que la taille du corps est directement influencée par la qualité de l'habitat. Un habitat avec des conditions stables, associé à une faible densité de population, produit de grosses écrevisses comprises entre 8,4 cm et 13,5 cm (Huner & Romaine, 1978).

Tableau 2 : Comparaison des différents traits d'histoire de vie chez *P. clarkii* par rapport aux écrevisses indigènes et non indigènes d'Europe (Trouilhé, 2006).

	<i>Austropotamobius pallipes</i>	<i>Astacus astacus</i>	<i>Astacus leptodactylus</i>	<i>Pcifastacus leniusculus</i>	<i>Procambarus clarkii</i>	<i>Oroconectes limosus</i>
Longévité (ans)	10-12	10-15	6-9	9	2	4
Age maturité sexuelle (ans)	3-4	3-4	2-3	1-2	< 1	2
Croissance	Lente	Lente	Rapide	Rapide	Très rapide	Rapide
Taille maximale (mm)	120	180	195	150	> 150	120
Nombre d'œufs	< 100	100-150	200-400	110-300	200-700	200-400
Nombre de reproduction (/an)	1	1	1	1	Plusieurs	Plusieurs

La reproduction est régulée par des phéromones perçues par des récepteurs situés sur les antennes qui sont responsables de la reconnaissance inter et intra spécifique et de la modulation comportementale (Ameyaw-Akumfi & Hazlet, 1975). Après la reconnaissance du sexe, le mâle courtise la femelle à travers une séquence spécifique de mouvements suivie d'une copulation, le mâle tourne la femelle mettant sa surface dorsale contre le substrat, et tient ses chélicères pendant que les deux régions ventrales restent en contact. Par la suite, le mâle dépose le spermatophore dans *l'annulus ventralis*, qui est le réceptacle sexuel de la femelle, situé entre les bases des péréiopodes postérieures (Ameyaw-Akumfi, 1981 ; Gherardi *et al.*, 2010).

Des jours, des semaines ou des mois après l'accouplement, selon les conditions environnementales, la femelle se protège dans un terrier et commence la ponte ; ce processus peut se produire en eau libre, mais c'est très rare (Holdich & Lowery, 1988). Le nombre d'œufs par couvée peut atteindre jusqu'à 700 (Penn, 1943 ; Noblitt *et al.*, 1995), bien qu'il dépende de la taille des femelles et soit également lié à la température de l'eau, à la densité de la population et à la longueur de l'hydropériode (Alcorlo *et al.*, 2008). Le temps de développement embryonnaire dépend de la température et peut être inhibé à moins de 10 °C (Sukô, 1953), aussi il a été démontré une anomalie dans le développement embryonnaire quand la température de l'eau dépasse 29 °C (Jin *et al.*, 2019). Les températures optimales sont de 21 à 25 °C avec des taux de ponte et de fécondité les plus élevés à 21 °C (Jin *et al.*, 2019).

Après l'éclosion, les juvéniles sont maintenus sous l'abdomen de la femelle pendant trois semaines (Holdich & Lowery, 1988). Les écrevisses nouvellement écloses restent avec leur

mère dans le terrier jusqu'à huit semaines et subissent deux mues avant de pouvoir se débrouiller seules (Ackefors, 1999). Contrairement aux espèces indigènes européennes *Astacus* et *Austropotamobius*, les populations de *P. clarkii* contiennent des individus qui couvent des œufs ou portent des jeunes tout au long de l'année (Huner & Barr, 1994, in Lindqvist & Huner, 1999). Cela permet à *P. clarkii* de se reproduire à la première occasion disponible, ce qui contribue à son succès de colonisation (Huner, 1992, 1995). Chez *Procambarus clarkii*, la période d'accouplement, ainsi que le recrutement et la maturation sexuelle, varient en fonction de la période hydrographique et des conditions environnementales (Sommer, 1984 ; Alcorlo *et al.*, 2008). Dans son aire de répartition naturelle (Louisiane, États-Unis), *P. clarkii* se reproduit toute l'année, avec des pics au printemps et de la fin de l'été au début de l'hiver. Dans des conditions favorables, il y a jusqu'à trois périodes de reproduction par an (Huner, 2002). Pour que les femelles de grande taille (> 45 mm) se reproduisent, il est nécessaire d'avoir une induction hormonale induite par la photopériode (Gutierrez-Yurrita & Montes, 1999), une hydropériode de plus de quatre mois, une température supérieure à 18 ° C et un pH compris entre 7 et 8 (Gutierrez-Yurrita, 1997).

1.3.2. Habitat

P. clarkii se trouve dans les milieux d'eaux douces lénitiques et lotiques (FAO, 2009). Elle peut habiter une grande variété d'habitats d'eau douce, y compris des rivières, des lacs, des étangs, des ruisseaux, des canaux, des marécages et marais inondés de façon saisonnière. Elle est très tolérante et s'adapte à un large éventail de conditions aquatiques, y compris la salinité (Huner & Barr, 1991 ; Meineri *et al.*, 2014), les faibles niveaux d'oxygène, les températures extrêmes et la pollution (Cruz & Rebelo, 2007 ; Gherardi & Panov, 2006). *P. clarkii* prospère dans les écosystèmes des zones humides chaudes et peu profondes des terres naturelles et agricoles comme dans le cas du sud et du centre de l'Europe où elle s'est établie (Henttonen & Huner, 1999). Dans les régions plus froides d'Europe, elle préfère les petits étangs permanents car elle est incapable de survivre à la prédation par les poissons dans les grands plans d'eau (Troschel & Dehus, 1993 ; Roqueplo *et al.*, 1995 ; Demastro & Laurent, 1997). *P. clarkii* habite également fréquemment des environnements perturbés tels que les rizières, les canaux d'irrigation et les réservoirs (Oliveira & Fabião, 1998). Elle s'adapte pour vivre dans des zones marécageuses qui peuvent s'assécher une partie de l'année. Dans ces conditions d'aridité extrême, elle creuse de profonds terriers (jusqu'à 2 mètres de profondeur) en attendant de meilleures conditions. La thermie demeure le facteur déterminant dans la répartition et l'expansion de l'espèce (Blatter, 2013). Aussi, les densités des populations ont

été corrélées négativement avec une altitude et une vitesse d'écoulement élevées (Cruz & Rebelo, 2007). Cependant, des populations ont été observées à 1200 m d'altitude en Espagne (Souty-Grosset *et al.*, 2006).

1.3.3. Relations trophiques

Procambarus clarkii est une espèce omnivore généraliste dont le régime alimentaire opportuniste favorise son implantation dans différents types de plans d'eau (Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1999). Avec un régime alimentaire principalement à base de plantes (Rodríguez *et al.*, 2005). *P. clarkii* se nourrissent en général de débris de végétaux et animaux, de macrophytes et d'animaux vivants tels que les mollusques, insectes, annélides, nématodes, plathelminthes, têtards et alevins (Huner & Barr, 1991 ; Ilhéu & Bernardo, 1993 ; Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1998, 1999 ; Parkyn *et al.*, 2001 ; Correia, 2002 ; Buck *et al.*, 2003 ; Cruz & Rebelo, 2005). Mais, il semblerait que la préférence alimentaire de *P. clarkii* s'oriente plus vers la végétation aquatique (Ilhéu & Berardo, 1995 ; Bolser *et al.*, 1998 ; Cronin *et al.*, 2002 ; Cirujano *et al.*, 2004 ; Gherardi & Barbaresi, 2007).

En ce qui concerne les prédateurs de *P. clarkii*, les plus connus sont les poissons, les oiseaux et les mammifères comme les loutres et les capybaras (Delibes & Adrián, 1987 ; Holdich & Lowery, 1988) ; les juvéniles peuvent également être mangés par les nymphes odonatées, les larves de coléoptères et les hémiptères aquatiques (Gydemo *et al.*, 1990). Des études ont démontré que dans certaines zones *P. clarkii* était la proie la plus fréquente de l'achigan à grande bouche *Micropterus salmoides* et du brochet (Hickley *et al.*, 1994 ; Elvira *et al.*, 1996 ; Nicola *et al.*, 1996).

1.3.4. Comportement

Procambarus clarkii est un animal social avec une formation hiérarchique de dominance sociale chez les adultes et les juvéniles basée sur la taille (Figler *et al.*, 1995 ; Issa *et al.*, 1999). Cette espèce est définie comme nocturne (Gherardi, 2001) mais cela n'empêche que certains individus effectuent de longs déplacements de jour comme de nuit (Gherardi & Barbaresi, 2000 ; Barbaresi *et al.*, 2004). L'hypothèse la plus vraisemblable serait que les avantages à se déplacer la journée (vision aisée donc déplacement plus rapide) compenseraient les risques de prédation (Gherardi & Barbaresi, 2000). Concernant l'occupation de l'habitat, les spécimens de *P. clarkii* sont capables d'une utilisation importante de l'espace, se déplaçant jusqu'à 4 km par jour (Gherardi & Barbaresi, 2000) avec une bonne

dispersion des deux sexes, cependant il semblerait que les femelles seraient plus nomades que les mâles et couvriraient une plus grande distance (Barbaresi *et al.*, 2004).

P. clarkii montre deux modèles d'activité, une phase « d'errance », sans aucune périodicité quotidienne, caractérisée par de courts pics de locomotion intense alternés avec une phase « stationnaire » plus longue, avec des périodes de mobilité réduite caractérisées des vitesses lentes ou sans mouvement au cours de laquelle les écrevisses se cachent dans les terriers le jour, émergeant uniquement au crépuscule pour se nourrir (Gherardi & Barbaresi, 2000; Gherardi *et al.*, 2000 ; Gherardi *et al.*, 2002 ; Barbaresi *et al.*, 2004 ; Aquiloni *et al.*, 2005).. D'autres comportements, comme les combats ou l'accouplement, ont lieu la nuit. Pendant la phase d'errance, les mâles reproducteurs parcourent jusqu'à 17 km en quatre jours et couvrent une large zone. Cette activité intensive contribue à la dispersion de cette espèce (Gherardi & Barbaresi, 2000). L'activité de *P. clarkii* dépendrait aussi de la température, il a été remarqué au lac Trasimène, en Italie, une inhibition totale de l'activité (aucune capture) pendant les mois les plus froids où la température de l'eau est entre 7,8 et 12,4 °C (Dörr *et al.*, 2006).

Comme de nombreuses espèces d'écrevisses, *P. clarkii* est un fouisseur efficace qui utilise une combinaison d'informations pour orienter son comportement de fouissement (Loureiro *et al.*, 2015). Les terriers sont utilisés comme refuge pour éviter la prédation, la déshydratation et le stress environnemental ainsi que pour nicher (Huner & Barr, 1991 ; Barbaresi & Gherardi, 2006). Au Maroc, dans la région du Gharb, *P. clarkii* creuse des terriers d'une profondeur entre 1 et 2,5 m avec un diamètre entre 3 et 4 cm (Saguem & El Alami, 2019).

Cette espèce, comme la plupart des écrevisses d'eau douce, présente des soins parentaux (Figler *et al.*, 1995 ; 1997 ; Vogt & Tolley, 2004). En effet, les mères restent souvent dans leur terrier pendant plusieurs semaines et les nouveau-nés et les jeunes restent attachés à l'abdomen (Huner & Barr, 1991 ; Huner, 1994). Ce comportement, contribuerait à l'augmentation du pouvoir reproducteur par l'augmentation des chances de survie des couvées, et donc améliore la capacité de colonisation de l'espèce.

Quant à la production de sons, les résultats de Hisyam *et al* (2020) suggèrent que *Procambarus clarkii* produirait un son spécifique qui permettrait même de déterminer sa présence par méthode bioacoustique. Ce son résulterait de l'effondrement de la bulle de capitation produite par la pince, grâce au contact du dactyle et du propode, ce son serait comme un anti-prédateur.

1.4. Principaux impacts

Procambarus clarkii est un colonisateur efficace qui peut rapidement s'établir et avoir un impact dévastateur sur les territoires colonisés (Rodríguez *et al.*, 2005 ; Gherardi, 2006 ; Souty-Grosset *et al.*, 2006). Son introduction peut entraîner des changements spectaculaires dans les communautés végétales et animales indigènes (Schleifstein & Fedeli, 2003). *P. clarkii* modifie la dynamique des écosystèmes en intervenant sur les réseaux trophiques, sur la végétation en place, ou encore sur les populations de macro-invertébrés. En plus de son influence sur les écosystèmes, *P. clarkii* peut également avoir un impact économique considérable.

1.4.1. Sur les écosystèmes

Procambarus clarkii occupe une position importante dans la structure trophique des environnements envahis, interagissant avec différents niveaux trophiques et modifiant l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème (Angeler *et al.*, 2001 ; Dorn & Wojdak, 2004 ; Gherardi & Acquistapace, 2007 ; Cruz *et al.*, 2008). Son efficacité de pâturage des macrophytes combinée à un comportement de fouissement, peuvent altérer les environnements d'eau douce, en modifiant les zones dominées par les macrophytes ayant une eau claire en zones turbides dominées par le phytoplancton (Anastácio & Marques, 1997 ; Rodríguez *et al.*, 2003 ; Geiger *et al.*, 2005 ; Matsuzaki *et al.*, 2009). Ces changements dans les caractéristiques de l'eau modifient les écosystèmes aquatiques et provoqueraient des proliférations de cyanobactéries (Yamamoto, 2010). *P. clarkii* provoque souvent une réduction de la masse et de la biodiversité des macrophytes comme a été le cas dans le lac Chozas, en Espagne (Rodríguez *et al.*, 2003) ; le lac Naivasha, au Kenya (Smart *et al.*, 2002) et le lac Doccia en Italie (Gherardi & Acquistapace, 2007). Les macrophytes sont importants pour les milieux aquatiques car ils fonctionnent comme des ingénieurs des écosystèmes (Jones *et al.*, 1994 ; 1997 ; Duarte, 2000) en évitant l'érosion, en intervenant dans le cycle des nutriments et fournissant un habitat et un lieu de reproduction à la faune (Duarte, 2000 ; De Groot *et al.*, 2002 ; Gurnell *et al.*, 2006). De graves changements peuvent se produire dans les milieux aquatiques si les espèces de macrophytes sont affectées. Par exemple, l'introduction de *P. clarkii* dans le lac Chozas, en Espagne, a entraîné une réduction de la couverture végétale des macrophytes de 99%, ce qui a entraîné une perte de 71% des genres de macroinvertébrés, une réduction de 83% des espèces d'amphibiens et une perte de 75 espèces de canards, et une réduction de 52% de la sauvagine (Rodríguez *et al.*, 2005).

En plus de son impact indirect dû à la réduction des macrophytes, *P. clarkii* peut s'attaquer et réduire les populations d'une grande variété d'espèces aquatiques, notamment les amphibiens (Cruz & Rebelo, 2005 ; Gherardi, 2006), les mollusques (Cruz & Rebelo, 2007 ; Gherardi & Acquistapace, 2007), les macroinvertébrés (Rodríguez *et al.*, 2005 ; Correia *et al.*, 2008) et les poissons en se nourrissant d'œufs et d'alevins (Mueller *et al.*, 2006). L'écrevisse de Louisiane est probablement la cause de la disparition de plusieurs espèces d'amphibiens en Espagne et au Portugal (Rodríguez *et al.*, 2005 ; Cruz *et al.*, 2008). A ceci s'ajoute le fait que *P. clarkii* favoriserait d'autres populations d'espèces envahissantes, notamment l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) et le brochet en servant de principale source de nourriture (Hickley *et al.*, 1994 ; Elvira *et al.*, 1996 ; Nicola *et al.*, 1996), il est à noter qu'au Maroc ses deux espèces sont très recherchées pour la pêche sportive.

En outre, *P. clarkii* est l'un des vecteurs de la peste des écrevisses, qui est principalement asymptomatique chez les espèces d'Amérique du Nord telles que *Procambarus clarkii*, *Orconectes limosus* et *Pacifastacus leniusculus*, mais mortelle pour les écrevisses d'autres régions (Souty-Grosset *et al.*, 2006 ; Aquiloni *et al.*, 2010 ; Longshaw, 2011). Cette maladie, causée par *Aphanomyces astaci*, est une menace remarquable pour les espèces indigènes d'écrevisses, constituant ainsi l'une des principales causes du déclin des population d'écrevisses indigènes en Europe (Souty-Grosset *et al.*, 2006 ; Holdich *et al.*, 2009). Outre *Aphanomyces astaci*, *P. clarkii* peut être porteuse de nombreux autres agents pathogènes, parasites, épibiontes et maladies susceptibles d'affecter d'autres espèces, y compris l'Homme (Gherardi & Panov, 2006 ; Loureiro *et al.*, 2015).

1.4.2. Sur l'économie

Les impacts économiques concernent principalement l'agriculture et la pêche. L'invasion par les écrevisses de Louisiane endommage gravement les systèmes de drainage en raison de ses activités de fouissage, qui entraînent d'importantes pertes de rendement en riz (Sommer, 1984; Gaudé, 1986 ; Correia & Ferreira, 1995 ; Anastácio *et al.*, 2000 ; 2005).

Le comportement fouisseur de *P. clarkii* conduit à l'endommagement des digues et les systèmes d'irrigation et de drainage ce qui peut entraîner une perte d'eau (Figure 7) et des dommages aux champs (Holdrich, 1999 ; Yue *et al.*, 2010). En effet, *P. clarkii* devient souvent l'espèce dominante dans les habitats perturbés tels que les rizières. Si elle est présente dans les structures d'irrigation, y compris les réservoirs, les canaux des rizières, *P. clarkii* peut causer une perte économique importante due à la fuite d'eau et à son alimentation qui

endommagent les plants de riz (Correia, 1993). Au Maroc, les pertes de riz déclarées par les riziculteurs, seraient comprises entre 4.224 MAD/ha et 4.752 MAD/ha (388,28 € / ha et 436,52 € / ha) (Saguem & El Alami, 2019). De plus, devant cette situation les agriculteurs utilisent des pesticides pour limiter les impacts de *P. clarkii* (Saguem *et al.*, 2020).



Figure 7 : Terriers de *P. clarkii* dans les rizières du Gharb, Maroc (Saguem & El Alami, 2019).

Concernant la pêche, *P. clarkii* représente un problème, car elle peut endommager les filets et détruire les poissons capturés. Considérée comme un ravageur dans de nombreux étangs de pêche (De Moor, 2002 ; Maezono & Miyashita, 2004), *P. clarkii* s'attaque aussi aux œufs de poissons et rentre en concurrence pour la nourriture avec eux. En outre, en réduisant les macrophytes importants pour leur nidification fraie, *P. clarkii* perturbe le processus et réduit les chances de reproduction (Holdich, 1999 ; Gieger *et al.*, 2005).

1.5. Intérêt économique

L'écrevisse de Louisiane présente un grand intérêt économique, elle peut être produite en aquaculture seule ou combinée à d'autre culture comme le riz ou le soja (FAO, 2009), elle peut aussi être pêchée dans les milieux naturels. L'écrevisse de Louisiane est la deuxième espèce la plus produite et représente 12% de la production aquacole totale de crustacés (FAO, 2018). Selon les données de la FAO (2019a), les principaux pays producteurs sont les États-Unis d'Amérique avec une production de 63 626 tonnes en 2017, et la Chine avec une production de 1 128 708 tonnes pour la même année. L'analyse de l'évolution de la production entre 2008 et 2017 pour ces deux pays, montre que la production des États-Unis d'Amérique variait entre 53 et 48 mille tonnes, ce n'ai qu'à partir de 2014 qu'elle commence à dépasser les 60 mille tonnes avec une valeur maximale de 67,5 mille tonnes en 2016. Pour la

chine, la production en 2008 (364,6 mille tonnes), qui à la base dépassait largement celle des États-Unis d'Amérique, a globalement continué à augmenter pour atteindre plus de 1,12 millions de tonnes en 2017. En ce qui concerne la pêche, les estimations de la FAO (2019b) indiquent des quantités faibles par rapport à la production aquacole, avec un total mondial de 5,6 mille tonnes issues principalement de l'Espagne et de l'Égypte. A l'instar de la production aquacole, l'évolution des quantités issues de la pêche de *P. clarkii* a évolué pour passer de 1,5 mille tonnes en 2008 à 5,6 mille tonnes en 2017. Ces chiffres sont une preuve de l'engouement de plus en plus croissant vers la consommation de la chair d'écrevisses, synonyme d'un marché en pleine expansion.

La capacité d'adaptation et de colonisation des milieux font de *P. clarkii* une ressource naturelle exploitable par les populations locales pour l'amélioration de leurs revenus où comme source d'alimentation. L'écrevisse offre une multitude de modes de production, elle peut être vendue en vie ou fraîche (Figure 8), ou bien conditionnée en surgelé dont le prix varie entre 5,9\$ et 12,99\$/ Kg pour la production chinoise (Figure 9). De plus, la pêche de l'écrevisse de Louisiane peut être un moyen de gestion qui contribue à ralentir et diminuer son effet destructeur sur les milieux. Créant ainsi de la valeur ajoutée pour la population locale et permettant des économies sur les coûts de gestions.



Figure 8 : Écrevisse de Louisiane vivante dans des sacs (crayfish.org).



Figure 9 : Paquet d'écrevisse de Louisiane de saison cuites et surgelée (alibaba.com).

1.6. Cadre réglementaire

L'écrevisse de Louisiane n'est pas la première écrevisse américaine introduite au Maroc, l'acclimatation d'*Oroconectes limosus* dans des lacs du Moyen-Atlas fut signalée dans les

années 80 pour le plan d'eau à truite Hachlaf (à 1663 m d'altitude) et lac Roumi (à 497 m d'altitude) (Mouslih, 1987). C'est probablement pour cela que les arrêtés portant réglementation annuelle de la pêche dans les eaux continentales parlaient depuis longtemps d'écrevisses américaines. Concernant *Procambarus clarkii*, les autorités de gestion soupçonnaient son existence depuis au moins l'année 2010. Mais ce n'est qu'en 2019 qu'elle fut intégrée par le haut-commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification dans l'arrêté portant réglementation annuelle de la pêche dans les eaux continentales et fixant les réserves pour la saison 2019-2020 sous le nom d'écrevisse de Louisiane. Ce qui en fait le premier texte législatif mentionnant cette espèce. D'après l'analyse de ce texte il s'avère que *Procambarus clarkii* est considérée comme les autres espèces d'eau douce et ne bénéficie pas de mesures particulières comme l'interdiction de transport vivante ou l'obligation de la tuée si capturée.

D'autres textes législatifs non spécifiques, peuvent être appliqués à l'écrevisse de Louisiane *Procambarus clarkii* au Maroc, ces textes concernent les aires protégées, le domaine public hydraulique, et la protection de la flore et la faune sauvage entre autres. D'après la loi 22 – 07 relative aux aires protégées dans son article 18, sont interdites ou font l'objet de restrictions, dans toute l'étendue de l'aire protégée, sauf autorisation préalable de l'administration compétente, toutes actions susceptibles de nuire au milieu naturel, à la conservation de la faune et de la flore, ou d'altérer le caractère et les éléments de l'écosystème de l'aire protégée, dont notamment toute introduction d'espèces animales exotiques. Aussi l'article 31 précise, qu'il est puni d'une amende de 2000 à 10.000 dirhams quiconque introduit des espèces animales en violation des prescriptions de la présente loi. Quant à la loi n°130-12 sur la pêche et l'aquaculture continentales dont le champ d'action concerne le domaine public hydraulique, elle précise (sans rapporté exactement les propos) :

- Dans l'article 8 qu'elle est interdite l'introduction dans les eaux du domaine public hydraulique toute nouvelle d'espèce aquatique exogène, sans l'autorisation préalable de l'autorité administrative chargée des eaux et forêts ;
- Dans l'article 10 que dans une unité aquacole, il ne peut être introduit, élevé ou conservé aucun organisme aquatique exogène, sans l'autorisation préalable de l'autorité administrative chargée des eaux et forêts ;

- Dans l'article 12 qu'il est puni d'une amende d'un montant de 1500 à 9600 dirhams quiconque enfreint entre autres les interdictions et restrictions décrites dans les articles 8 et 10 ci-dessus ;

Également la loi n° 29-05 relative à la protection des espèces de flore et de faune sauvages et au contrôle de leur commerce indique dans son article 7, qu'elle est interdite l'introduction de spécimens d'espèces exotiques susceptibles de constituer une menace écologique pour des espèces de flore et/ou de faune locales. En cas de violation des dispositions de cet article, l'article 63 prévoit une amende.

Même si les textes de loi sont clairs, leur mise en œuvre demeure difficile en vue des moyens à disposition des autorités et du contexte socio-économique du Maroc. Alors, le renforcement des contrôles et la sensibilisation des populations sont donc essentiels pour réussir à limiter la propagation de *P. clakii*.

2. Présentation des zones d'étude

La présente étude s'intéresse à deux zones dans le nord-ouest du Maroc, il s'agit de la plaine du Gharb (une partie du Sebou, canal Nador, oued Drader ainsi que les rizières incluant les canaux de vidange à proximité de la ville d'Allal Tazi) et le bas Loukkos (complexe zones humides incluant les rizières) (Figure 10).

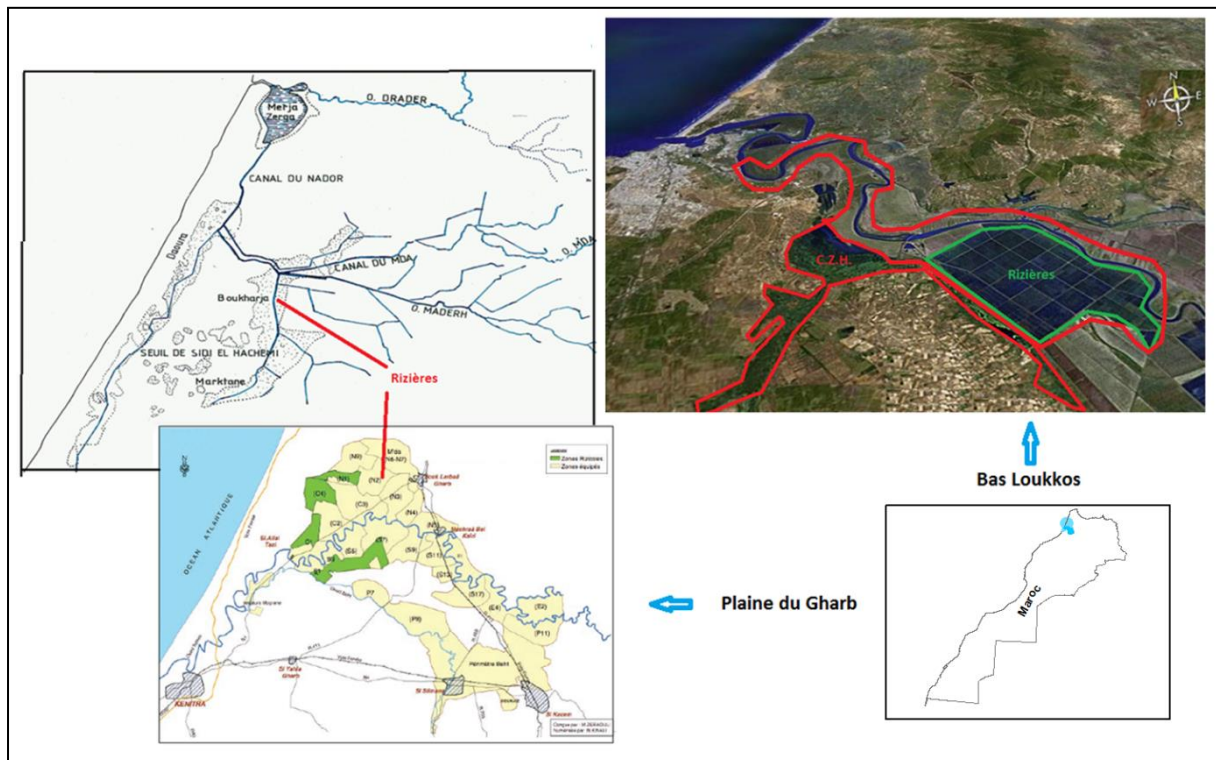


Figure 10: Aperçu global des zones d'étude, plaine du Gharb et le bas Loukkos

2.1. Plaine du Gharb

2.1.1. Situation géographiques

D'une superficie de 4000 Km² la plaine du Gharb est limitée au Nord par les collines de Lalla Zohra, au sud par la plaine de Maamora, à l'Est par les collines de Bou Draa et Bel Ksiri et à l'ouest l'océan Atlantique. Elle se présente sous forme d'une large cuvette très basse, bordée de hauteurs la privant de tout exutoire naturel (collines prériaïnes, plateau de la Maâmora, dunes du Sahel). Elle affiche la plupart des caractéristiques classiques des régions deltaïques : reliefs très plats, sols argileux, excès d'eau en hiver et fréquentes inondations. Avec une amplitude comprise entre 4 et 25 m, elle est composée d'une zone côtière (cordon dunaire, dépressions inondées, dunes intérieures) de bordures continentales et de la plaine alluviale centrale du Sebou qui en est le principal oued.

Dans la plaine du Gharb la zone assujettie à l'étude concerne une partie du Sebou, canal Nador, oued Drader ainsi que rizières incluant les canaux de vidange à proximité de la ville d'Allal Tazi (Figure 11).

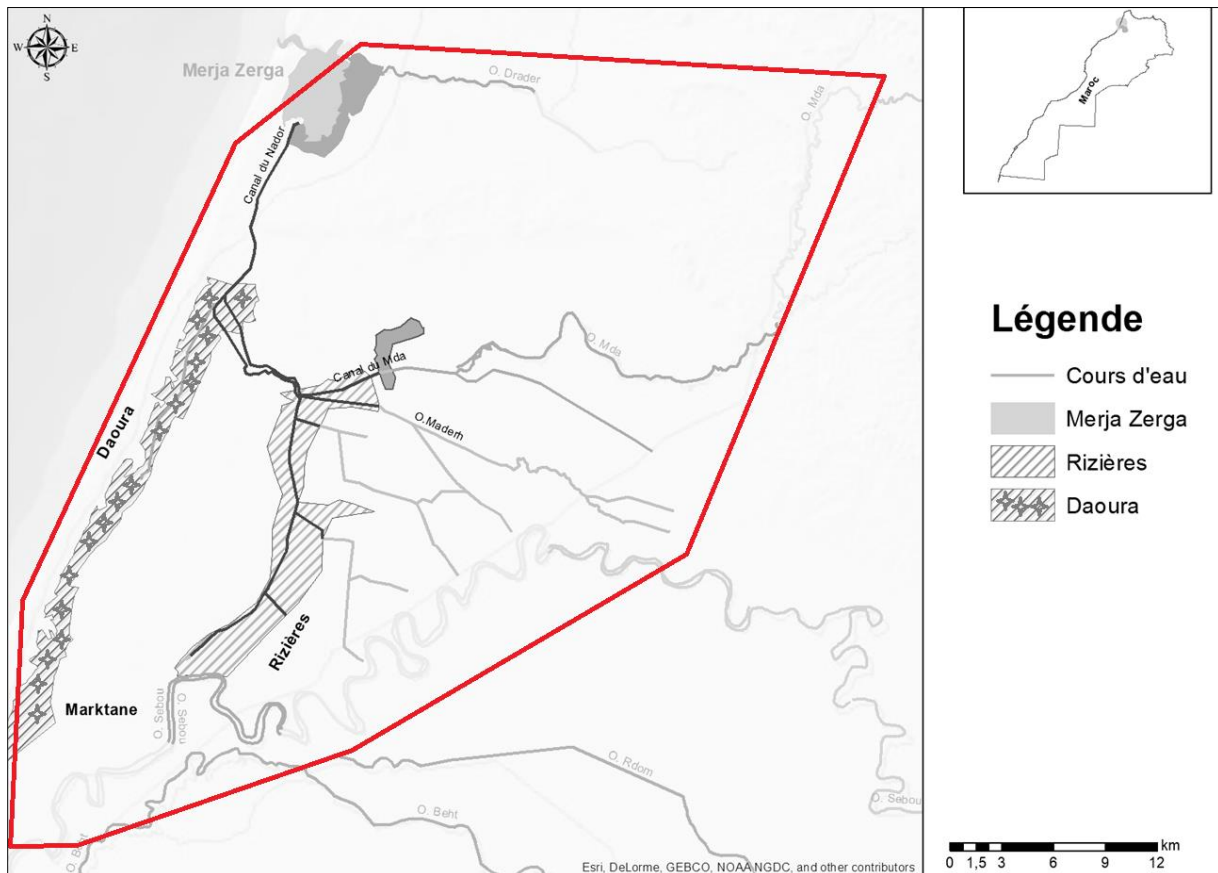


Figure 11 : Périmètre générale de la zone d'étude dans la plaine du Gharb

2.1.2. Contexte hydrologique

L'hydrologie de la plaine du Gharb est soumise aux influences de l'oued Sebou ainsi que des nappes de l'Gharb et de Drader-Souiere.

2.1.2.1. Eaux de surface

Le bassin du Sebou renferme près du tiers des eaux de surface du Maroc. Il prend sa source, sous l'appellation de Guigou, dans le moyen Atlas à une altitude de 2030 m. Il sillonne une longueur de 500 km avant d'atteindre son exutoire dans l'océan Atlantique à Mehdiya près de Kénitra, drainant une surface d'environ 40.000 km². D'un point de vue hydrologique, le bassin peut être divisé en cinq ensembles, le haut et le moyen Sebou, l'Inaouène, l'Ouergha, Le Beht et le Bas Sebou. Ce dernier concerne notre périmètre d'étude et constitue un chenal instable et insuffisant pour supporter les débits de crues.

La mise en valeur de la plaine a nécessité la gestion des crues et l'excès d'eau hivernal compte tenu de la nature subhumide de son climat et de la nature argileuse de ses sols conjuguée à une pente très faible. Pour cela de nombreux fossés et canaux d'irrigation, d'assainissement ou de drainage agricole parcourent toute l'étendue de la zone actuellement. Notamment, le canal de Nador qui a été construit en 1953 pour drainer les dépressions inondées et les zones cultivées de la plaine du Rharb particulièrement le bassin du M'da et la rive droite du Sebou et les secteurs situés sur la frange côtière au sud de la lagune de Moulay Bouselham où le canal termine sa course. Les apports annuels moyens du canal Nador sont estimés à environ 150 106m³/an (Carruesco, 1989). Concernant l'oued Drader, dont les apports en eaux sont faibles à cause des installations de captage d'eau, il se jette dans la partie Nord de la Merja Zerga et contribue en plus du canal Nador aux apports en eaux douces permanents à cette dernière. Le réseau hydrographique dans la plaine du Gharb est presque totalement connecté.

2.1.2.2. Eau souterraine

Les ressources en eau souterraine du bassin constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin du Sebou et représentent environ 20% environ du potentiel national. Ces ressources en eau, évaluées à 800 Mm³ par an, sont contenues dans plusieurs nappes, nous nous intéressons à l'aquifère du Gharb et la nappe Drader-Souiere qui concernent la zone d'étude.

L'aquifère du Gharb est constitué par un complexe aquifère important formé par deux unités aquifères, une nappe superficielle libre et une nappe profonde semi captive. Les profondeurs de la nappe sont généralement comprises entre 4 et 8 m. Elles sont très faibles, inférieures à 2 mètres, dans la zone côtière sauf au niveau des crêtes du cordon dunaire. Dans l'arrière-pays, elles se situent entre 2 et 5 mètres. La recharge de l'aquifère s'effectue par l'infiltration des pluies sur les affleurements, par les écoulements profonds en provenance de la nappe de la Maâmora, par la percolation à travers les lits des oueds Ouergha et Sebou à l'Est de la plaine, et par retour des eaux d'irrigation. Les sorties sont constituées par l'écoulement vers l'océan, et par les prélèvements pour l'alimentation en eau potable et agricoles. Ces deniers sont la principale cause de déficit dans le bilan de la nappe estimé à 37 Mm³.

L'aquifère de Dradère- Souiere est le prolongement naturel vers le Sud de la nappe de R'mel. Il s'agit d'un aquifère libre, constitué, principalement des lumachelles, sables fins et grès du Pliocène, surmontés par des sables plus ou moins argileux du Quaternaire. La profondeur de l'eau est généralement comprise entre 5 et 10 m. La qualité chimique des eaux du Dradère – Souiere est généralement excellente, avec un résidu sec inférieur à 0,5g/l.

Les ressources en eau souterraines du bassin de Sebou contribuent au développement économique et social du bassin, en assurant l'approvisionnement en eau potable et industrielle d'une grande partie des centres urbains et ruraux ainsi que la satisfaction des besoins en eau des périmètres irrigués. Ces nappes productives sont vulnérables à la sécheresse, à la surexploitation et à la pollution.

2.1.3. Contexte climatique

Dans la plaine, le climat est contrasté avec des hivers humides et des étés très chauds. Il est de type méditerranéen avec une influence océanique favorable pour le développement d'une large gamme de cultures, à l'intérieur du bassin le climat devient plus continental. Les températures moyennes oscillent entre 13°C pendant l'hiver et 27°C en été. Les précipitations annuelles moyennes sur l'ensemble du bassin sont de 640 mm/an. Les valeurs minimales, comprises entre 400 et 500 mm caractérisent les bassins du Haut Sebou, puis moyen Sebou et des vallées encaissées du Beht. Elles sont légèrement supérieures en bordures côtière (incluant la plaine du Gharb) et dépassent largement ces valeurs en zones de relief (700 à 900 mm en Moyen Atlas au-dessus d'Ifrane et plus de 1 000 mm sur les reliefs du Rif qui constitue le bassin supérieur de l'oued Ouergha).

Deux saisons caractéristiques marquent la répartition saisonnière des précipitations :

- La saison humide, d'octobre à mai, reçoit environ 90% des précipitations totales annuelles ;
- La saison sèche, de juin à septembre, reçoit environ 10% des précipitations totales annuelles.

2.1.4. Contexte écologique

2.1.4.1. Flore et faune

Grace à l'abondance de l'eau, la zone du Gharb présente de nombreux habitats pour la faune et la flore, principalement des zones humides. Dans les rizières il a été noté la présence d'alevin de poisson et une pullulation d'insecte et d'amphibien offrant une alimentation abondante pour les oiseaux (Baouab, 2008). Ainsi le nombre d'espèces sédentaires et migratrices relevé par Baouab (2008) au niveau des rizières a été de 34. Il a aussi noté la reproduction au niveau des rizières, d'un canal de drainage et des bordures de l'oued Sebou d'espèces d'oiseaux comme le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), la poule d'eau (*Gallinula chloropus*), la râle des genêts (*Crex crex*), l'Aigrette garzette (*Egretta garzetta*), l'échasse (*Himantopus himantopus*), la glaréole (*Glareola pratincola*), le grand gravelot (*Charadrius hiaticula*) les hérons (*Bubulcus ibis*, *Ardeola ralloides*), les rapaces (*Asio capensis*, *Asio otus*, *Athene noctua*, *Tyto alba*, *Elanus caeruleus*, *Accipiter nisus*, *Falco tinnunculus*), la caille des blés (*Coturnix coturnix*), le Guêpier (*Merops apiaster*), et les passereaux (*Galerida theklae*, *Pycnonotus barbatus*, *Cisticola juncidis*, *Carduelis chloris*, *Carduelis carduelis* et *Passer domesticus*).

Concernant les poissons, les systèmes aquatiques dans la région sont connus pour abriter, sans s'y limité, des espèces de Mugilidae qui remontent de la mer, de Centrarchidae du genre *Lepomis*, de Cichlidae représentés par le genre *Oreochromis* et de Cyprinidae représentés par les genres *Luciobarbus* ; *Cyprinus* ; *Hypophthalmichthys* et *Ctenopharyngodon* (barbeau ; carpe commune ; carpe argentée et la carpe herbivore/amour blanc). Mais, l'espèce la plus importante reste l'anguille Européenne *Anguilla anguilla* (Figure 12) considérée comme espèce en danger critique d'extinction (Jacoby & Gollock, 2014).

Quant à la flore elle varie selon le type d'habitat, par exemple sur l'oued Drader à l'amont immédiat de Merja Zerga où le courant et la profondeur sont faibles, l'eau est envahie par un lit de végétation aquatique formé de *Myriophyllum sp.*, *Potamogeton natans*, *Potamogeton*

pectinatus, et sur les berges se développent des bandes discontinues incluant *Cyperus longus*, *Salix sp.*, *Iris pseudoacorus*, en formations hétérogènes. Sur le canal Nador on peut voir une formation à *Myriophyllum* et *Potamogeton* près des rives et sur les berges des pieds de *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* et *Scirpus lacustris*. Concernant le cours inférieur de l'oued Sebou, les groupements végétaux palustres et estuariens sont relativement bien représentés (Hammada, 2007). La zone d'étude connaît aussi la présence d'espèces de flores très rares et rares, comme *Cotula coronopifolia*, *Pulicaria sicula*, *Oenanthe peucedanifolia*, *Paspalum vaginatum*, *Spartina densiflora*, *Calystegia sepium*, *Anagallis crassifolia*, *Lippia nodiflora*, *Chenopodium chenopodioides*. Aussi d'autres espèces sont signalées comme *Sarcocornia perennis* et *Paspalidum obtusifolium* (Hammada *et al.*, 2004 ; Hammada, 2007).



Figure 12 : Anguille européenne *Anguilla anguilla* © Rostislav

L'aire de répartition du Pélobates marocain ou Pélobates de Varaldi (*Pleobates varaldii*) englobe aussi la zone du Gharb (Fekhaoui, 1988 ; Salvador *et al.*, 2004). Il est considéré comme espèce en danger (Salvador *et al.*, 2004). Nocturne, cet amphibien de l'ordre des Anoures est d'une longueur de 6,5 cm, il a un corps massif et des yeux globuleux à pupille verticale, sa peau est lisse et luisante avec des taches brunes (Figure 13). Il est très fréquent au voisinage des lieux humides et vaseux, voire saumâtre. Son cycle biologique est conditionné par le rythme de remise en eau des dayas et Merjas temporaires où il se reproduit (Fekhaoui, 1988).



Figure 13 : Pélobates de Varaldi (*Pelobates varaldii*) adulte à Kénitra, © Philip de Pous

Grace à son système aquatique et la nature des activités (notamment la riziculture), la plaine du Gharb offre une multitude d'habitats qui constituent un refuge pour plusieurs espèces. Cependant la zone souffre de pressions, qui affectent de plus en plus les équilibres des écosystèmes.

2.1.4.2. Pressions

La destruction d'habitats, le développement intensif de l'industrie, de l'agriculture et de l'urbanisation sont les principales pressions exercées sur la plaine du Gharb ce qui impact directement ou indirectement la zone d'étude. De grandes surfaces marécageuses dans le Gharb, ont été asséchées par drainage pour être transformées en champs de cultures (Dakki, 1997). De plus la rétention d'eau par les barrages, et le pompage d'eau de la nappe phréatique ont accentué cet assèchement. Ce qui fait que dans certaine zone les marécages connaissent une mise en eau très irrégulière, voire aléatoire (Franchimont & Saadaoui, 2001). Rajoutant à cela l'accumulation d'années de déficit pluviométrique qui aggrave de plus en plus la situation. Ce qui est encore plus grave, c'est que ses zones humides sont continuellement asséchées pour l'extension des surfaces agricoles, entraînant des pertes d'habitats pour les espèces aquatiques de plus en plus importantes. En plus de la destruction d'habitats, le développement de l'agriculture qui emploie d'une manière abusive des engrais et des produits phytosanitaires contribue à l'eutrophisation des milieux et à la pollution des eaux et des

sédiments. A la pollution agricole, s'ajoute la pollution par les rejets industriels (sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries...) et domestiques.

2.1.5. Contexte socio-économique

Le bassin de Sebou, d'une superficie d'environ 40.000 km², est l'un des bassins les plus importants du royaume et renferme actuellement une population totale de près de 6,2 millions d'habitants, dont 49% en milieu urbain et 51% en milieu rural. Il dispose d'une économie agricole et industrielle qui contribue de façon importante à l'économie nationale.

Le bassin versant du Sebou est l'un des plus riches en eau et constitue l'une des régions les mieux loties en terres irriguées et en industries. Le potentiel cultivé s'élève à 1.750.000 ha. Les superficies irrigables sont estimées à 375.000 ha, la proportion irriguée est de 269.600 ha. Cette dernière est couverte à 42% par la grande hydraulique, le reste se répartit entre grande moyenne et petite hydraulique et irrigation privée.

Le bassin de Sebou connaît une activité industrielle très développée. Les unités importantes à l'échelle du bassin sont les sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries et l'industrie du textile. Avec une production importante de l'ordre de :

- 209.000 tonnes de papier
- 80.000 tonnes d'huile d'olive (65% de la production nationale)
- 12.000 tonnes de cuir (60% de la production nationale)
- 3.300 tonnes de pétrole raffiné
- 1845 tonnes de sucre produit (50% de la production nationale)

Le bassin de Sebou couvre au moins 3 régions économiques : Fès – Meknès, Rabat – Salé – Kenitra, Tanger – Tétouan – Al Hoceima.

2.2. Bas Loukkos

2.2.1. Situation géographique

Le bas Loukkos se situe au niveau d'une vaste plaine alluviale d'une superficie de 300 km² et d'une altitude dépassant rarement les dix mètres. Cette plaine qui s'étend du NW au SE selon l'orientation majeure du bas cours de l'oued Loukkos, sur 30 km de longueur et 10 km de largeur depuis Larache jusqu'à Ksar El Kbir. A ce niveau, le Loukkos reçoit plusieurs affluents notamment l'oued Ouarar, l'oued Al Makhazine, l'oued Sakhsokh et oued Smid El

Ma. Ces deux derniers sont à l'origine de la permanence des eaux des zones de marais (Ain Chouk, Bou Charène et Beddaoua Sejra). La formation alluvienne de sables limoneux ou argileux, de limons et de sols hydromorphes est datée du soltano-Gharbien. Elle surmonte une formation de grès tendre coquilliers et d'argiles bleues datée du pliocène. Le complexe se situe précisément près de la ville de Larache, au niveau de laquelle se jette l'embouchure de l'oued Loukkos et qui correspond à l'extrémité Nord-Ouest du complexe. Il s'étend à l'Est et au Sud-Est par les marais d'eau douce jusqu'à la ville de Ksar el Kbir. Tout le complexe appartient à la province de Larache et dépend de six de ses communes (Larache, El Aouamra, Zouada, Souaken, Rissana et Sahel). Le complexe comprenant des eaux estuariennes, des sansouires, des salines, des marécages d'eaux douces envahis d'hydrophytes et des zones d'inondation du bas cours de l'oued Loukkos. Autour de cet ensemble existent des terres agricoles irriguées, notamment des rizières, qui ont pris place dans des zones humides qui ont été drainées. A l'embouchure, s'étendent sur une large superficie, des salines dont la grande majorité est abandonnée ; seules quelques salines sont encore en activité.

La zone assujettit à l'étude est représentée par le complexe zones humides appartenant aux grandes zones humides Ain Chouk, Baggara et Boucharène incluant les rizières et la partie amont de l'estuaire (Figure 14).

2.2.2. Contexte hydrologique

L'hydrologie du complexe des zones humides du Bas Loukkos est sous l'effet de quatre principaux facteurs (Dakki, 2002) :

- Eaux superficielles du Loukkos et de ses affluents : l'importance de ces eaux, qui sont issues d'un bassin versant s'étendant sur 5605 km² a largement diminué suite à la construction d'un barrage sur l'un des plus importants affluents du Loukkos, l'oued Al Makhazine. La mise en eau des larges étendues de zones de marais lors des périodes de crues n'est assurée que pendant les années très humides. En revanche, la pérennité de certains marais (notamment Ain Chouk et Boucharène) est assurée par les apports permanents des oueds Sakhsoukh et Smid El Ma. Le débit de ces affluents issus de la nappe phréatique du Rmel est renforcé par les excédents des eaux d'irrigation du périmètre du Rmel.
- Nappe phréatique du Loukkos : la dynamique de cette nappe qui autrefois était tributaire des apports superficiels n'est plus assurée que par les eaux de drainage notamment dans le périmètre de La'dir, mais aussi par les apports des précipitations

locales lors des périodes pluviales (automne-hiver). La recharge de cette nappe par les eaux du Loukkos a fortement diminué suite aux aménagements hydrauliques installés à l'amont.

- Eaux marégraphiques : suite à l'installation du barrage de garde à 19 km en amont de l'embouchure, seul le tronçon du Loukkos situé en aval de ce barrage est sous l'influence des eaux marines dont l'amplitude varie de 1 à 3 m. En plus l'oued reçoit à ce niveau les eaux de drainage du périmètre irrigué de La'dir.
- Eaux d'irrigation et de drainage des terrains agricoles aménagés : Ces eaux qui correspondent aux excédents par infiltration des eaux d'irrigation de la plaine aménagée du Loukkos. Pour les terrains du plateau des Rmel, les excédents des eaux d'irrigation s'infiltrent dans la nappe et assurent une pérennité aux oueds Sakhsoukh et Smid El Ma qui ont une importance primordiale dans la pérennité des marécages de Ain Chouk et Bou Charène.

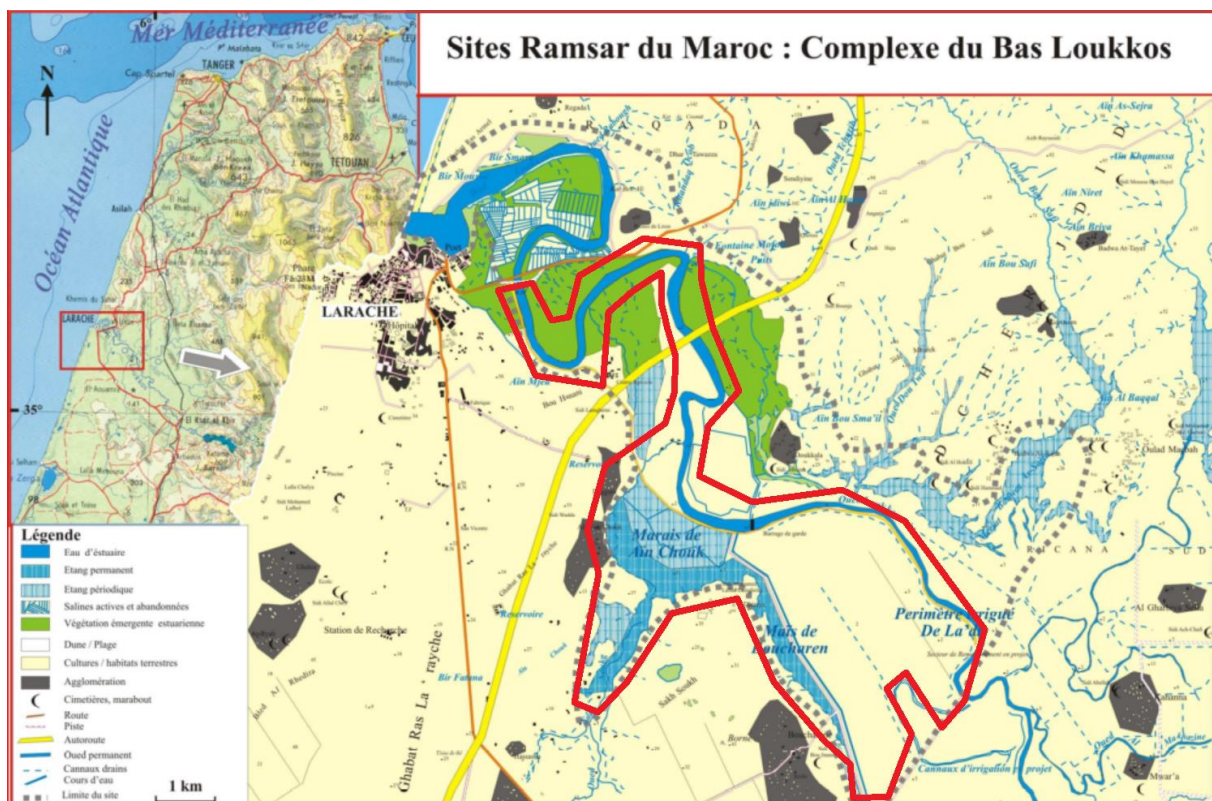


Figure 14 : Périmètre de la zone d'étude délimité en rouge, carte site Ramsar du Maroc : Complexe Bas Loukkos (Dakki & El Agbani, 2010, modifiée).

2.2.3. Contexte climatique

Par sa position géographique le bassin versant du Loukkos, se rattache au climat méditerranéen caractérisé par une saison sèche de mai à octobre et une saison humide de

novembre à avril. Toutefois son ouverture sur l'océan Atlantique lui confère certaines caractéristiques beaucoup plus océaniques que méditerranéennes.

Le bioclimat est de type thermo-méditerranéen subhumide à hiver tempéré, les influences océaniques sont très marquées ce qui fait que l'amplitude thermique est relativement basse. Les températures moyennes mensuelles sont de 10,5-12,5°C pour le mois de janvier et de 22,5-26,0°C pour le mois d'août. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 700 mm. Elles sont concentrées sur les mois de novembre à février avec toutefois des chutes irrégulières en octobre et mars-avril. Les mois de mai à septembre sont généralement secs.

2.2.4. Contexte écologique

2.2.4.1. Principaux Habitats

Les principaux Habitats caractérisant le complexe sont :

- Eaux libres côtières : "baie" à l'entrée de l'estuaire (y compris le port) ;
- Plage de sable intertidale : plage sableuse au nord de la jetée ;
- Eaux de surface estuarienne : chenal du Loukkos immergé en permanence ;
- Vasières aphytiques : bandes en bordure du cours d'eau, soumises au balancement des marais ;
- Émergents (système estuarien) : végétation halophile persistante et basse à *Spartina*, *Arthrocnemum*, *Sarcocornia* et à *Juncus rigidus*. Dans cet habitat, sont incluses les salines abandonnées ;
- Cours d'eau permanents : oueds Sakhsoukh et Smid El Ma ;
- Retenue du barrage de garde : chenal endigué à eau calme et plus ou moins profonde ;
- Canaux de drainage et d'irrigation (périmètre de La'dir) et canaux d'amenée et d'évacuation des eaux ;
- Habitats palustres et lacustres : végétation haute (émergentes persistantes) à *Typha*, *Iris* et *Scirpes* envahissant les marais d'eau douce ;
- Lit aquatique : formation à *Nymphaea* très envahissante lors des basses eaux.
- Salines : salines fonctionnelles de rive droite du Loukkos.

2.2.4.2. Flore et Faune

La flore du site comporte sans s'y limiter des espèces remarquables telles que *Vicia villosa subsp. Garbiensis* (espèce rare à l'échelle mondiale et endémique très rare marocaine) ; *Nasturtium africanum subsp. Africanum*, *Puccinella distans subsp. Fontqueri*, *Polygonum*

balansae subsp. *Battandieri*, *Leontodon taraxacoides* subsp. *Mesorrhynchus*, *Spergularia maritima* subsp. *Occidentalis*, *Oenanthe pimpinelloides* subsp. *Callosa*, *Leontodon salzmännii*, *Carex paniculata* subsp. *Lusitanica*, *Lythrum baeticum*, *Myosotis welwitschii*, *Retama monosperma* subsp. *monosperma*, espèces endémiques marocaines.

Trois types de formations d'espèces rares au Maroc représentées sous forme de grandes étendues : formation à *Nymphaea*, formation à *Salix* et formation à *Iris pseudoacorus*.

Dans les eaux continentales du Bas Loukkos 22 espèces de poissons sont signalées ou trouvées. Elles sont réparties entre 14 genres, 10 familles et 7 ordres. La famille la plus représentée est celle des Mugilidae avec 5 espèces, suivie par celle des Cyprinidae avec 4 espèces et celles des Centrarchidae avec 3 espèces ; les familles des Atherinidae, des Clupeidae et des Moronidae sont représentées par 2 espèces chacune ; alors que les autres familles ne sont représentées que par une espèce chacune. (Yahyaoui & Azeroual, 2005).

Parmi ces poissons, nous avons une espèce de la catégorie Eteint (EX) (*Acipenser sturio*), deux espèces présumées Eteint (*Alosa alosa* et *Alosa fallax*). Et l'Anguille (*Anguilla anguilla*) en danger critique d'extinction (CR). Parmi les autres espèces autochtones du complexe des zones humides de Larache, deux sont endémiques du Maroc (*Cobitis maroccana* et *Luciobarbus rifensis*). Alors que les espèces introduites dans ce secteur, sont au moins au nombre de cinq (*Cyprinus carpio*, *Gambusia hoolbroki*, *Lepomis gibbosus*, *Lepomis cyanellus* et *Micropterus salmoides*).

Quant à l'ichtyofaune des habitats marins et estuariens, elle est relativement plus riche en espèces que celle des eaux intérieures. Yahyaoui et Azeroual (2005) ont inventorié au moins 35 espèces qui sont réparties entre 27 genres, 20 familles et 10 ordres. Parmi les espèces remarquables de ces milieux marins et estuariens, nous pourrions citer : une espèce en danger critique d'extinction (*Pristis pristis*), une espèce en danger (*Pristis pectinata*), une espèce vulnérable (*Carcharhinus leucas*) et au moins huit espèces dans la catégorie données insuffisantes (*Alosa alosa*, *Alosa fallax*, *Atherina boyeri*, *Zosterisessor ophiocephalus*,...) et parmi celles-ci, nous avons deux espèces figurant dans la liste CITES dont le commerce est contrôlé (*Hippocampus guttulatus* et *Hippocampus hippocampus*).

Le site comporte aussi des Amphibiens rares tel que Pleurodèle de Walt *Pleurodeles waltii* et Pélobalte de Varaldi *Pelobates varaldii*. Concernant les oiseaux, le site comprend des nicheurs remarquables comme le Butor étoilé *Botaurus stellaris*, le Crabier chevelu *Ardeola ralloides*, le Héron pourpré *Ardea purpurea*, la Sarcelle marbrée *Marmaronetta*

angustirostris, la Nette rousse *Netta rufina*, la Fuligule nyroca *Aythya nyroca*, le Busard cendré *Circus pygargus*, la Talève sultane *Porphyrio porphyrio*, la Foulque à crête *Fulica cristata*, le Hibou du cap *Asio capensis*, le Bruant des roseaux *Emberiza schoeniclus*, la Marouette de Baillon *Porzana pusilla* et le Blongios nain *Ixobrychus minutus*. En plus d'espèces d'oiseaux hivernants/migrateurs menacés, rares ou remarquables, il s'agit de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus*, la Spatule blanche *Platalea leucorodia*, le Flamant rose *Phoenicopterus ruber*, l'Échasse blanche *Himantopus himantopus*, l'Avocette élégante *Recurvirostra avocetta*, la Barge à queue noire *Limosa limosa*, l'Oie cendrée *Anser anser*, la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris*, la Grue cendrée *Grus grus* entre autres (Dakki & El Agbani, 1993, 2003 ; Dakki *et al.*, 1995, 2003 ; El Agbani *et al.*, 1996 ; Qninba *et al.*, 1999, 2008 ; Thévenot & Qninbat, 2003). Pour les mammifères, le site abrite la Loutre *Lutra lutra* connue comme espèce quasi menacé (Roos *et al.*, 2015) dont les populations ont fortement décliné (Aulagnier *et al.*, 2015).

2.2.5. Contexte socio-économique

La population totale de la province de Larache est de 507 371 habitants répartis sur les 19 communes (2 urbaines et 17 rurales). Le complexe zone humides est concerné par la commune urbaine de Larache avec 130 103 habitants, et 4 communes rurales, celles de Laouamra avec 45 979 habitants, Zouada avec 24 560 habitants, Souaken avec 12 838 habitants, Rissana Janoubia avec 16 697 habitants et Sahel avec 18 377 habitants. La population globale de la province se répartie, à part plus au moins égales, entre milieu urbain et rurale (Figure 15), et vu la dominance de l'aspect rural sur la province les densités son évidemment plus élevé chez la composante urbaine.

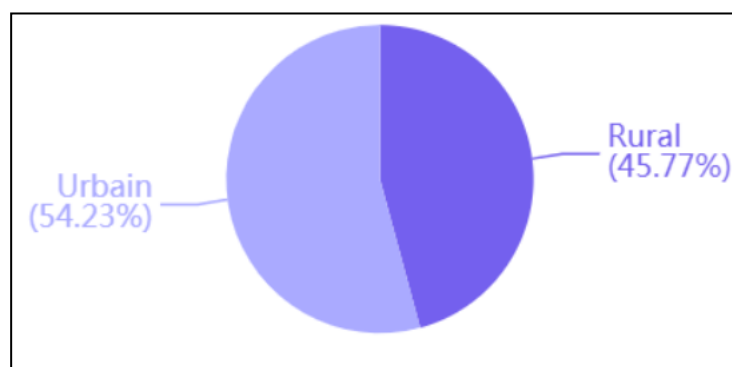


Figure 15 : Répartition de la population entre milieu urbain et rural dans la province de Larache selon le haut-commissariat au plan (2019)

La population active, composée des actifs occupés et des chômeurs, recensée en 2014 au niveau de la province de Larache, a atteint l'effectif de 175 597 actifs, répartie à part plus au

moins égales entre milieu urbain et rural. La répartition de la population active selon la situation dans la profession dans la province est dominée par le statut de salarié avec 48,7% suivi par les travailleurs pour leur propre compte ou indépendants avec 32,8%, le reste est constitué par la catégorie des « aides familiaux » et des apprentis avec 13,9%. Quant aux employeurs, ils ne représentent qu'une part minime 2,4%.

Le périmètre du complexe zone humide est dominé en grande partie par les communes rurales. Dont l'activité pour ceux qui ne travaillent pas à la ville, est principalement axée sur l'agriculture et la pêche. Les principaux champs d'activité sont l'agriculture moderne et traditionnelle aux abords des marais (Céréales notamment le riz, légumineuses notamment l'arachide, l'arboriculture ...), le parcours et cueillette de plantes fourragères et l'activité pastorale entre autres. La pêche constitue aussi une activité importante, principalement celle de la civelle pendant la saison, qui depuis des années n'est plus pratiquée uniquement par des pêcheurs professionnels, mais aussi par des saisonniers, au point de devenir source de conflit entre les habitants des différents douars de la zone.

Chapitre 2 : Étude biométrique des populations de *Procambarus clarkii*

1. Introduction

D'après la FAO (2009), le calibre des écrevisses est un élément important qui conditionne le prix de vente. Il s'avère que les grandes écrevisses vivantes sont les plus demandées et rapportent les meilleurs prix, alors que les petites écrevisses sont à faible prix et difficiles à commercialiser. Pour cette raison, le tri selon la taille est une pratique courante chez les exploitants des écrevisses de Louisiane. Il est important de savoir qu'il n'y a pas de norme de tri précise pour la mensuration des écrevisses. Généralement, les plus grandes écrevisses sont vendues aux restaurants spécialisés et les plus petites sont traitées pour la chair de l'abdomen ou mélangées avec les plus grands individus pour les ventes en grandes quantités.

L'étude des paramètres biométriques ainsi que les relations qui existent entre eux est donc une première étape fondamentale pour la valorisation. Ces paramètres doivent être considérés à la fois par l'exploitant pour établir un business plan rentable, et aussi par les autorités compétentes pour dresser une grille tarifaire convenable pour les propositions d'amodiation dans l'optique d'un partenariat durable pour une bonne gestion.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une description précise des paramètres biométriques (longueur totale, poids entre autres) sur une durée qui s'étale sur une année, en établissant les

relations qui peuvent exister entre eux. La description concerne les populations d'écrevisse de Louisiane se trouvant dans des sites bien délimités et compatibles avec des procédures d'amodiations. Il s'agit du canal Nador et oued Drader dans la plaine du Gharb, et les marais dans le complexe zone humide du bas Loukkos dans la région de Larache. Cette démarche a pour finalité d'offrir des données de base, à destination des autorités de gestion et des exploitants, et qui constitueront un cadre de référence pour l'orientation des différentes initiatives de valorisation ou d'exploitation.

2. Matériel et méthode

2.1. Échantillonnage

L'échantillonnage a porté sur une période d'une année, de janvier à décembre 2018 dans le nord-ouest du Maroc (Figure 16), il concerne principalement trois sites répartis en deux zones :

- la plaine du Gharb avec deux sites d'échantillonnage, un au niveau du canal Nador près du douar Ould Mesbah et l'autre au niveau de oued Drader près de la petite ville de Dlalha (Figure 17) ;
- le marais du bas Loukkos avec un site au niveau du complexe zones humides près du douar Dhiria (Figure 18).

En plus des séries annuelles échantillons collectées des trois sites précités, nous avons reçu deux autres échantillons dont l'effectif n'est pas aussi important que les séries de piégeage, ces deux échantillons seront traités à titre indicatif :

- le premier, collecté en juillet 2018 et concerne les rizières au niveau de la zone du Gharb (RG) ;
- le second, collecté en mai 2018 et concerne les rizières de Larache à proximité du complexe zones humides (RL).

Les pièges utilisés sont des nasses de type pavé grillagé de 80 cm de long pour 25 cm de hauteur et largeur, en grillage de maille 5 mm. L'entrée correspond à un cône de 15 cm de long pour 6 cm de diamètre au côté le plus réduit (Figure 19). La taille de l'entrée des nasses permet d'éviter la capture d'autres espèces telles que les tortues. Des poissons locaux ou des sardines (selon la disponibilité) ont été utilisés comme appât dans chaque nasse. Les échantillons collectés sont congelés jusqu'au jour du traitement.



Figure 16 : Localisation de la zone d'échantillonnage pour les paramètres biométriques (Google maps 2019)



Figure 17 : Sites d'échantillonnage au niveau du canal Nador (CN) et oued Drader (OD) (Google maps, 2019)



Figure 18 : Site d'échantillonnage au niveau du marais Loukkos (ML) dans le complexe zones humides (Google maps, 2019)

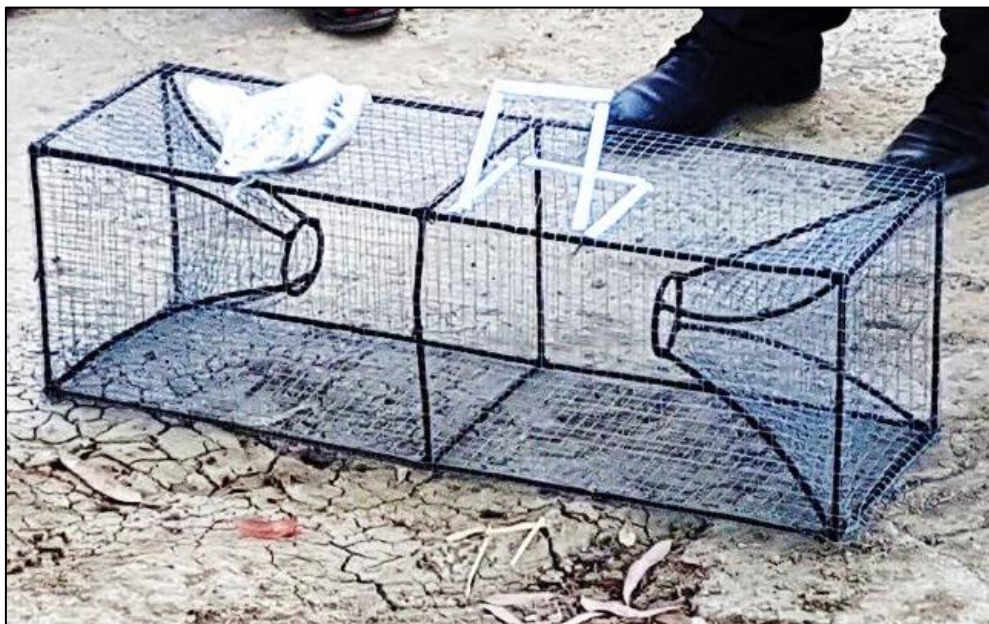


Figure 19 : Nasse de piégeage des écrevisses

2.2. Traitement des échantillons

En laboratoire, chaque individu a été sexé puis pesé à l'aide d'une balance numérique. Ensuite, diverses mesures ont été prises (Figure 20). Il s'agit de : la longueur totale, notée L_t , elle est mesurée du telson central à la pointe du rostre ; la longueur du céphalothorax, notée L_{cpx} ; la longueur du périopode I, notée L_{PT1} et enfin la longueur de la pince, notée L_p .

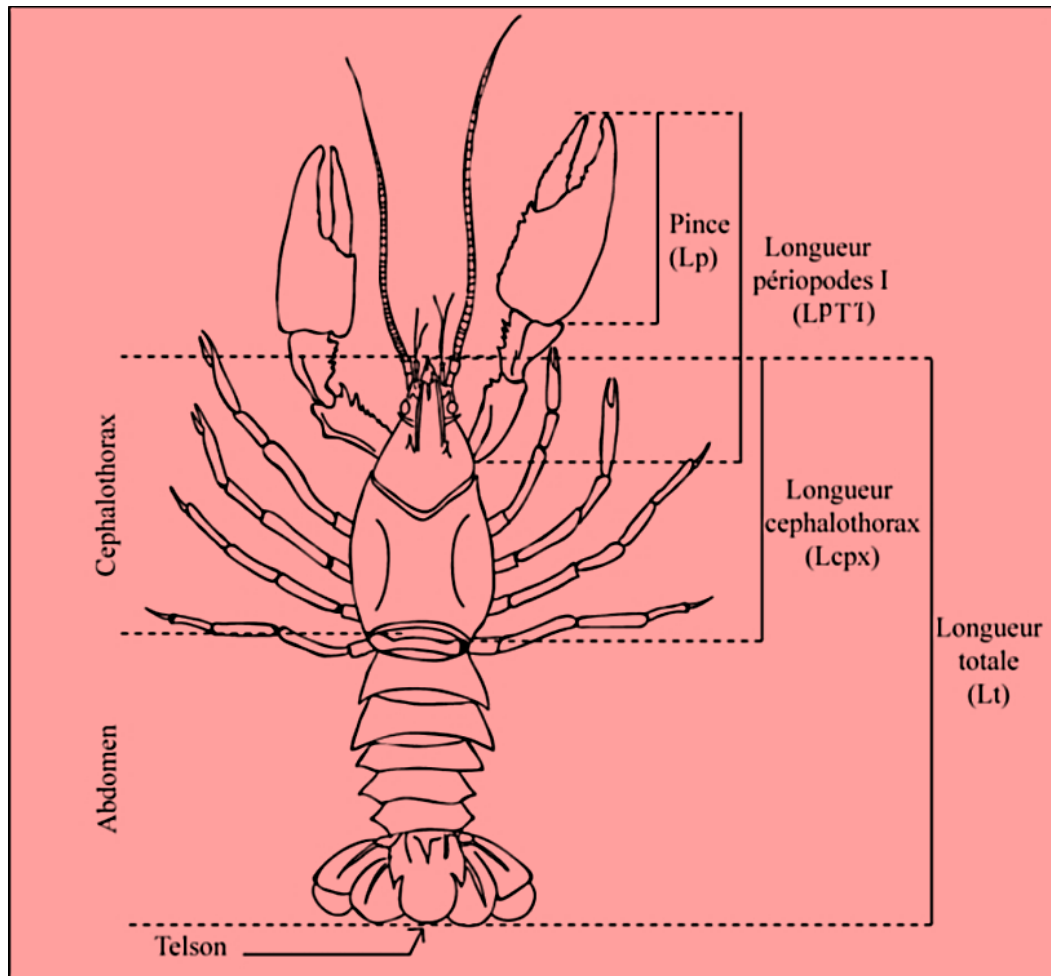


Figure 20 : Mesures relevées sur *P. clarkii* (Blatter, 2013 ; modifiée)

2.3. Traitement des données

Le traitement des données collectées a été réalisé à l'aide du programme XLSTAT 2019, ainsi dans cette partie seront représentés les différents critères à travers :

- La description des paramètres de longueur et de poids par la répartition en classes et en fonction du temps ;
- La comparaison par des tests statistiques, pour mettre la lumière sur les différences qui existent entre les différents sites et les différentes périodes en réalisant le test t de Student ;
- L'identification des relations qui existent entre les différents paramètres de longueur et de poids). Vu l'orientation de l'étude, l'analyse des relations considère comme paramètres de référence, la longueur totale et la longueur du céphalothorax. La longueur totale est le critère principal qui détermine le prix des écrevisses (FAO, 2009) et donc la rentabilité de l'exploitation. La longueur du céphalothorax étant un

paramètre clé très utilisé dans les études sur l'écrevisse de Louisiane (Anastácio, 1993 ; Harper *et al.* , 2002 ; Scalici *et al.*, 2010 ; Bonvillain, 2012) ;

- L'analyse en composantes principales pour s'assurer de la cohérence des résultats.

Il est à noter que les paramètres qui relèvent de la dynamique des populations, tels que le sex-ratio et ses variations, les variations annuelles du poids et des paramètres de taille, seront traités séparément dans le chapitre suivant dédié spécialement à ce volet.

3. Résultats

3.1. Présentation des échantillons

La période d'échantillonnage qui s'étale sur une année (2018) nous a permis de collecter et traiter un total de 1003 écrevisses, composé de 550 femelles et 453 mâles. D'un point de vue global, l'écrevisse la plus grande est une femelle de 120 mm de longueur totale avec un poids de 39g issue du site canal Nador, la plus petite est un mâle de 31 mm avec un poids de 4g issue du site marais Loukkos. Quant à l'écrevisse la plus lourde, c'est un mâle de 60g du canal Nador avec une longueur totale de 114 mm possédant aussi le périopode I le plus long (114 mm), la plus légère est un mâle de 3g du marais Loukkos avec une longueur totale de 53 mm. Les tableaux ci-dessous présentent un aperçu des caractéristiques générales des échantillons (Tableau 3) ainsi qu'un résumé des valeurs des paramètres de longueur et de poids (Tableau 4) pour chaque site.

Tableau 3 : Caractéristiques générales des échantillons par site

Site	Période d'échantillonnage	Nombre Total	Nombre de mâles	Nombre de femelles	Taille (mm) max-min	Moyenne de taille (mm)	Poids (g) max-min	Moyenne de Poids (g)
Canal Nador	Janvier 2018 – Décembre 2018	361	139	222	120 - 65	93,24	60 - 6	22,42
Oued Drader	Janvier 2018 – Décembre 2018	326	142	184	106 - 37	79,22	36 - 3	13,18
Marais Loukkos	Février 2018 – Novembre 2018	254	147	107	113 - 31	83,76	46 - 3	15,56
Rizière du Gharb	Juillet 2018	36	12	24	116 - 65	87,83	42 - 7	19,75
Rizière de Larache	Mai 2018	30	15	15	105 - 67	31,36	24 - 5	15,56

Tableau 4 : Résumé des valeurs des paramètres de longueur et de poids par site

		Canal Nador	Oued Drader	Marais Loukkos	
Mâles	Lt (mm)	Min	65	54	31
		Max	115	101	113
		Moy	91,5±10	78,6±9,7	84,8±12
	Lcpx (mm)	Min	35	29	14
		Max	63	55	60
		Moy	49,5±5,8	42,1±5,4	45,6±6,3
	LPT1 (mm)	Min	37	24	27
		Max	114	95	109
		Moy	77,4±15,4	58,8±14,7	68,3±16,5
	Lp (mm)	Min	17	11	12
		Max	64	61	55
		Moy	40,7±9,3	30±8,8	35,5±9,9
	P (g)	Min	6	4	3
		Max	60	36	46
		Moy	23,4±10	13,7±6,1	17,1±7,6
Femelles	Lt (mm)	Min	68	37	50
		Max	120	106	104
		Moy	94,3±11,1	79,7±10,2	82,4±10,1
	Lcpx (mm)	Min	34	17	24
		Max	65	56	56
		Moy	50,2±6,2	42,1±5,7	43,4± 6,4
	LPT1 (mm)	Min	31	27	28
		Max	93	75	75
		Moy	63,2±11,1	49± 8,9	50,6± 11,9
	Lp (mm)	Min	17	12	11
		Max	47	38	39
		Moy	31,5±6,3	23,3±4,9	24,3±6,7
	P (g)	Min	7	3	3
		Max	48	34	31
		Moy	21,8±8,5	12,8±5,4	13,5±6,6

3.2. Description des paramètres de longueur et du poids

3.2.1. Longueur totale (Lt)

L'analyse de la répartition de l'échantillon global d'écrevisse (1003 écrevisses) par classe de longueur totale d'une amplitude de 10 mm (Tableau 5 ; Figure 21) démontre que plus de 77% des écrevisses se trouvent à parts plus au moins égales dans les trois classes de tailles entre 70 et 100 mm. Le reste, peut être réparti en deux groupe. Le premier, environ 7% de l'échantillon global, avec une taille inférieure à 70 mm. Et, le deuxième avec une taille entre 100 et 130 mm, environ 15% de l'échantillon global. Les individus qui constituent se deuxième groupe représentent principalement la classe de taille 100 – 110 mm. Pour les individus de tailles entre 120 et 130 mm, un seul cas a été enregistré. L'analyse par sexe (Figure 22) montre la même répartition, avec chez les mâles un pourcentage plus élevé d'individus dans la classe de taille 80 – 90 mm et chez les femelles un pourcentage plus élevé d'individus dans la tranche 100 - 120 mm. Ceci suppose une taille plus importante chez les femelles par rapport aux mâles.

L'analyse de la répartition par site montre une différence dans la répartition des échantillons par classe de taille (Figure 21). En effet, ce constat se confirme par l'analyse du tableau de comparaison de l'échantillon global par site (Tableau 5), qui démontre qu'une grande partie des écrevisses se situent dans une taille entre 70 et 110 mm pour le canal Nador, 60 et 100 mm pour l'oued Drader, et 70 et 100 mm pour le marais du Loukkos. Avec des classes de taille les plus représentées par site, et qui sont de 90 – 100 mm pour le canal Nador avec 32,1%, 70-80 mm pour l'oued Drader avec 39,9% et 80-90 mm pour le marais du Loukkos avec 36,4%. L'analyse par sexe montre :

- Pour le site de canal Nador une tendance vers une fréquence plus élevée chez les mâles dans les classes de taille inférieures à 100 mm avec l'écart le plus important dans la classe 80 – 90 mm. Chez les femelles, la fréquence est plus élevée dans les classes de taille supérieures à 100 mm avec un écart plus important dans toute la tranche 100-120 mm (Figure 23).
- Pour le site de l'oued Drader une même tendance, où les fréquences sont plus élevées chez les mâles dans les classes de taille inférieures à 80 mm, et chez les femelles dans les classes de taille supérieures à 80 mm avec des écarts plus ou moins similaires pour les deux sexes (Figure 24). Il n'y a pas d'écart important qui se distingue chez les deux sexes.

- Pour le site du marais Loukkos qu'il n'y a pas de tendance, mais plutôt une différence entre les fréquences des mâles et des femelles qui varie selon les classes de taille. Ainsi les fréquences sont plus importantes chez les femelles dans les classes de tailles 50 – 60 mm, 60 – 70 mm et 80 – 90 mm avec l'écart le plus important pour la classe 80 – 90 mm. Chez les mâles les fréquences sont plus importantes dans les classes de tailles 70 – 80 mm, 90 – 100 mm et 100 – 110 mm avec l'écart le plus important pour la classe 90 – 100 mm (Figure 25).

Cette analyse suggère aussi qu'il peut y avoir une différence dans la taille globale des écrevisses entre les différents sites. Aussi entre mâles et femelles dans chaque site.

L'analyse de la répartition des classes de tailles au niveau des deux échantillons obtenus pour les rizières montre :

- Pour l'échantillon des rizières du Gharb qui compte 36 individus et qui correspond au mois juillet 2018, que la plupart des écrevisses se situent dans des classes de tailles entre 70 et 110 mm avec une représentation la plus importante de la classe 80 – 90 mm équivalente à 36 % de l'échantillon. Nous notons aussi la présence d'individus de taille entre 110 et 120 mm (Figure 26) ;
- Pour l'échantillon des rizières de Larache qui compte 30 individus et qui correspond au mois de mai 2018, un regroupement de la majorité des écrevisses dans des classes de tailles entre 80 et 110 mm avec une représentation la plus importante de la classe 90 – 100 mm équivalente à 43,5 % de l'échantillon. Les individus de taille supérieure à 110 mm sont absents (Figure 26).

Pour le site canal Nador, l'analyse de la répartition de la longueur totale par classes de taille en fonction des mois, de janvier à décembre 2018 (Tableau 6), montre une variabilité des fréquences selon les classes d'un mois à un autre (Figure 27 ; Figure 28). Cependant, trois classes sont représentées tout au long de l'année, il s'agit des classes qui composent la tranche 80 – 110 mm. La fréquence la plus élevée est de 63% enregistrée lors du mois d'août pour la classe 90 – 100 mm. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 90 – 100 et 100 – 110 mm pour les trois premiers mois avec un pourcentage de 32 pour les deux classes lors du mois de janvier. Pour le mois de février les pourcentages

sont respectivement 33 et 30%. Finalement, le mois de mars enregistre respectivement pour les dites classes un pourcentage de 30 et 47% ;

- 80 – 90 et 90 – 100 mm pour le mois d’avril avec respectivement un pourcentage de 43 et 37 ;
- 90 – 100 et 100 – 110 mm pour le mois de mai avec respectivement un pourcentage de 43 et 30 ;
- 80 – 90 mm pour le mois de juin avec un pourcentage de 53 ;
- 80 – 90 et 90 – 100 mm pour le mois de juillet avec le même pourcentage de 30 ;
- 90 – 100 mm pour le mois d’août avec un pourcentage de 63 ;
- 90 – 100 et 100 – 110 mm pour le mois de septembre avec respectivement un pourcentage de 43 et 37 ;
- 80 – 90 et 90 – 100 mm pour le mois d’octobre avec respectivement un pourcentage de 37 et 30 ;
- 70 – 80, 80 – 90 et 100 – 110 pour le mois de novembre avec le même pourcentage de 27 ;
- 70 – 80 et 80 – 90 pour le mois de décembre avec respectivement un pourcentage de 30 et 27.

Tableau 5 : Tableau de comparaison de la longueur totale de l’échantillon global et par site

Classes de taille (Lt en mm)	Global		CN		OD		ML	
	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**
30 – 40	3	0,3	0	0	1	0,3	2	0,8
40 – 50	0	0	0	0	0	0	0	0
50 – 60	10	1	0	0	4	1,2	6	2,4
60 – 70	65	6,5	3	0,8	39	12,1	20	7,9
70 – 80	230	22,9	40	11,1	129	39,9	52	20,6
80 – 90	296	29,5	92	25,5	92	28,5	92	36,4
90 – 100	249	24,8	116	32,1	50	15,5	62	24,5
100 – 110	122	12,2	85	23,5	8	2,5	18	7,1
110 – 120	27	2,7	24	6,6	0	0	1	0,4
120 – 130	1	0,1	1	0,3	0	0	0	0

Ef : effectif ; Fr** : fréquence en pourcentage*

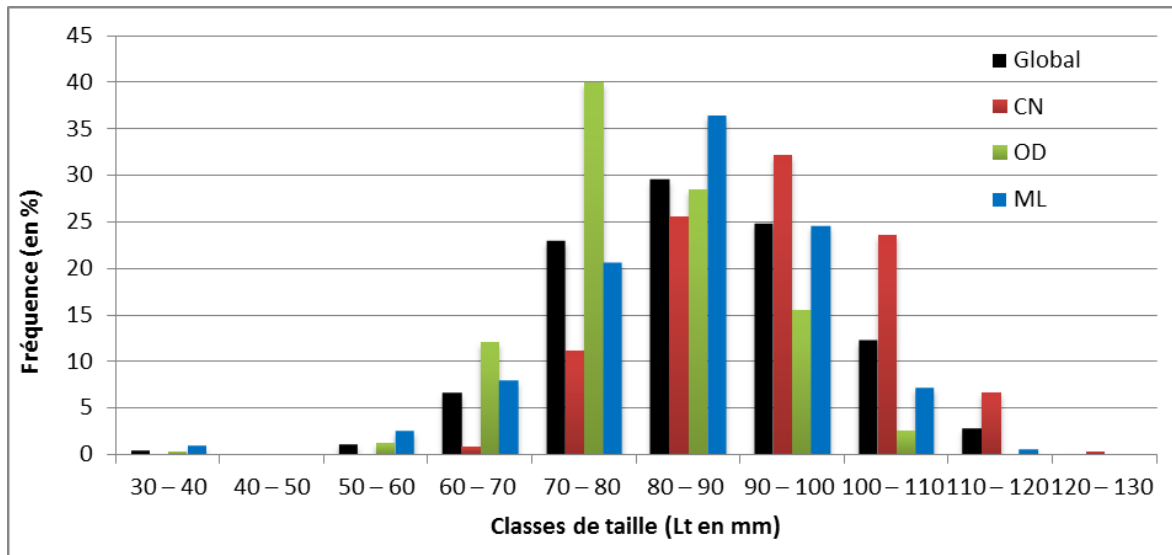


Figure 21 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

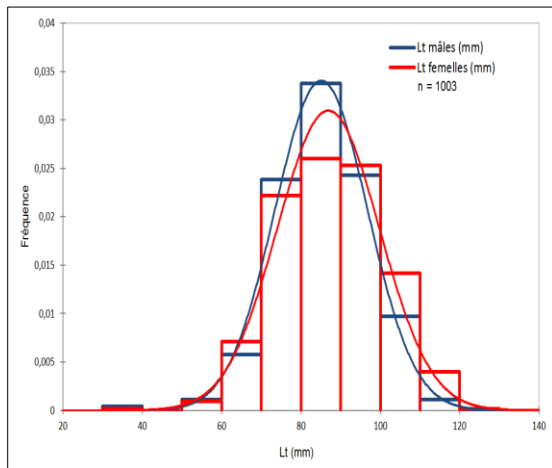


Figure 22: Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global

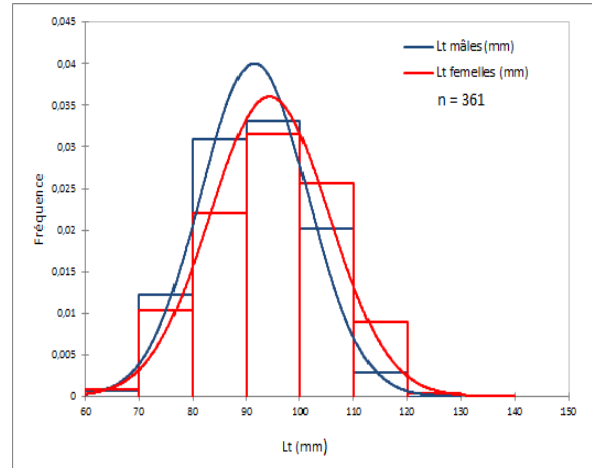


Figure 23 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador (CN)

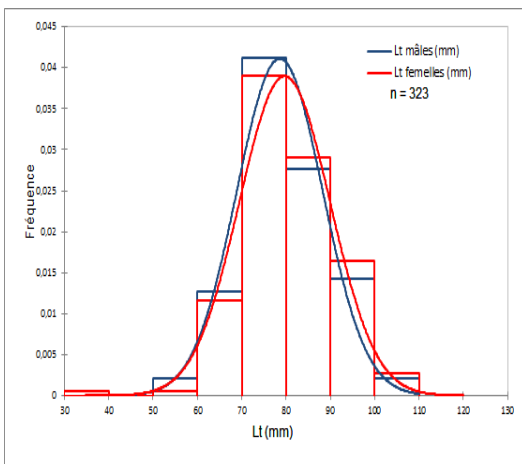


Figure 24 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader (OD)

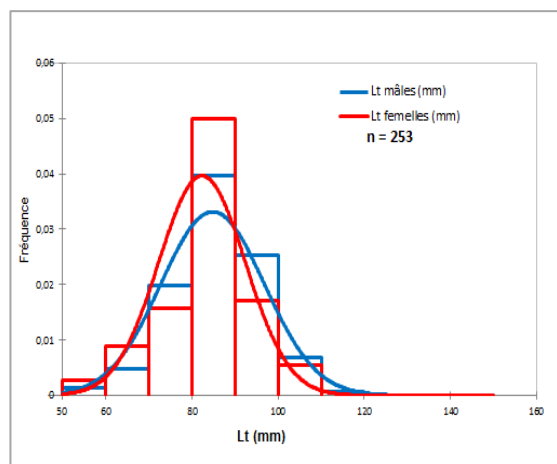


Figure 25 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos (ML)

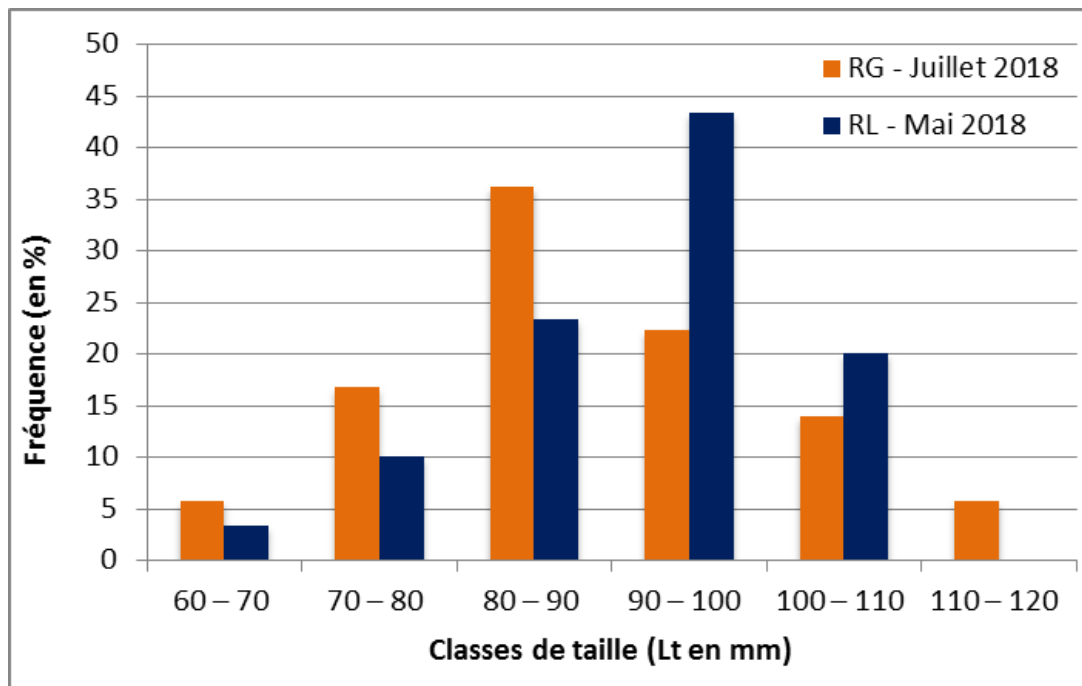


Figure 26 : Histogramme des longueurs totales (Lt) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)

Pour le site oued Drader, l'analyse de la répartition de la longueur totale par classes de taille en fonction des mois, de janvier à décembre 2018 (Tableau 6), montre que les fréquences varient selon les classes d'un mois à un autre (Figure 27 ; Figure 28). Néanmoins, deux classes sont représentées tout au long de l'année, il s'agit des classes 70 – 80 et 80 – 90 mm. La fréquence la plus élevée est de 77% enregistrée lors du mois de novembre pour la classe 70 – 80 mm. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 80 – 90 pour le mois de janvier avec un pourcentage de 58 ;
- 90 – 100 et 100 – 110 mm pour le mois de février avec respectivement un pourcentage de 41 et 35 ;
- 90 – 100 mm pour le mois de mars avec un pourcentage de 52 ;
- 60 – 70 et 80 – 90 mm pour le mois d'avril avec le même pourcentage de 30 ;
- 70 – 80 et 80 – 90 mm pour le mois de mai avec respectivement un pourcentage de 53, 40 ;
- 70 – 80 mm pour le mois de juin et novembre, avec respectivement des pourcentages de 67 et 70 ;
- 70 – 80 et 80 – 90 mm pour le mois de juillet avec le même pourcentage de 32 ;
- 80 – 90 mm pour le mois d'août avec un pourcentage de 52 ;

- 70 – 80 et 80 – 90 mm pour le mois de septembre avec le même pourcentage de 33 pour les deux classes.
- 70 – 80 mm pour le mois d’octobre et décembre avec respectivement un pourcentage de 60 et 63.

Pour le site marais du Loukkos, l’analyse de la répartition de la longueur totale par classes de taille en fonction des mois, de février à novembre 2018 (Tableau 6), montre une variabilité des fréquences selon les classes d’un mois à un (Figure 27 ; Figure 28). Toutefois une classe est représentée tout au long de la période d’échantillonnage, il s’agit de la classe 80 – 90 mm. Deux autres classes sont représentées pour toute la période sauf pour un mois, il s’agit des classes 70 – 80 mm et 90 – 100 mm. La première n’est pas représentée pour le mois de juillet et la deuxième pour le mois d’octobre. La fréquence la plus élevée est de 53% enregistrée lors du mois de juin pour la classe 80 – 90 mm. L’analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 70 – 80 mm pour le mois de février avec un pourcentage de 36, suivi des classes 60 – 70 et 80 – 90 mm avec le même pourcentage de 29 ;
- 70 – 80 et 80 – 90 mm pour le mois de mars et avril avec respectivement des pourcentages de 35 et 31 pour le premier et 35 et 41 pour le deuxième.
- 90 – 100 mm pour le mois de mai avec un pourcentage de 33 ;
- 80 – 90 mm pour le mois de juin avec un pourcentage de 53 ;
- 90 – 100 mm pour le mois de juillet avec un pourcentage de 50 ;
- 80 – 90 mm pour le mois d’août avec un pourcentage de 43 ;
- 70 – 80 pour le mois de septembre avec un pourcentage de 32, suivi de la classe 90 – 100 mm avec un pourcentage de 27 ;
- 70 – 80 et 80 – 90 mm pour le mois d’octobre avec le même pourcentage de 30 ;
- 80 – 90 mm pour le mois de novembre avec un pourcentage de 50.

Cette analyse renforce l’hypothèse qu’il existe une différence dans la taille des écrevisses entre les sites, les écrevisses les plus grandes seraient celles de canal Nador suivies par celles du marais Loukkos et les plus petites seraient celles de l’oued Drader.

Tableau 6 : Tableau de comparaison des fréquences (en %) de la longueur totale par site et par mois

Classes de taille (Lt en mm)	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L			
30 – 40													3				3																			
40 – 50																																				
50 – 60								10			3			10		3						5						3			3					
60 – 70				3	6	29		5			30			3	3	3	20			23			7	5	3	23	5			37		20	7		3	
70 – 80	3	17			12	36		14	35	10	20	35		53	23	23	67	3	7	32		7	3	24	7	33	32	20	60	30	27	77	7	30	63	
80 – 90	13	58		23	6	29	7	14	31	43	30	41	20	40	20	53	10	53	30	32	40	17	52	43	10	33	23	37	33	30	27	3	50	27	23	
90 – 100	32	25		33	41	7	30	52	24	37	17	24	43		33	17		30	30	14	50	63	38	14	43	10	27	30	7		7		23	20	7	
100 – 110	32			30	35		47	5	10	10			30		10	3		10	23		10	13		10	37		9	13			27		7	17	3	
110 – 120	17			10			17						7							10							5				13			7		
120 – 130	3																																			

CN : Canal Nador ; OD : Oued Drader ; ML : Marais Loukkos

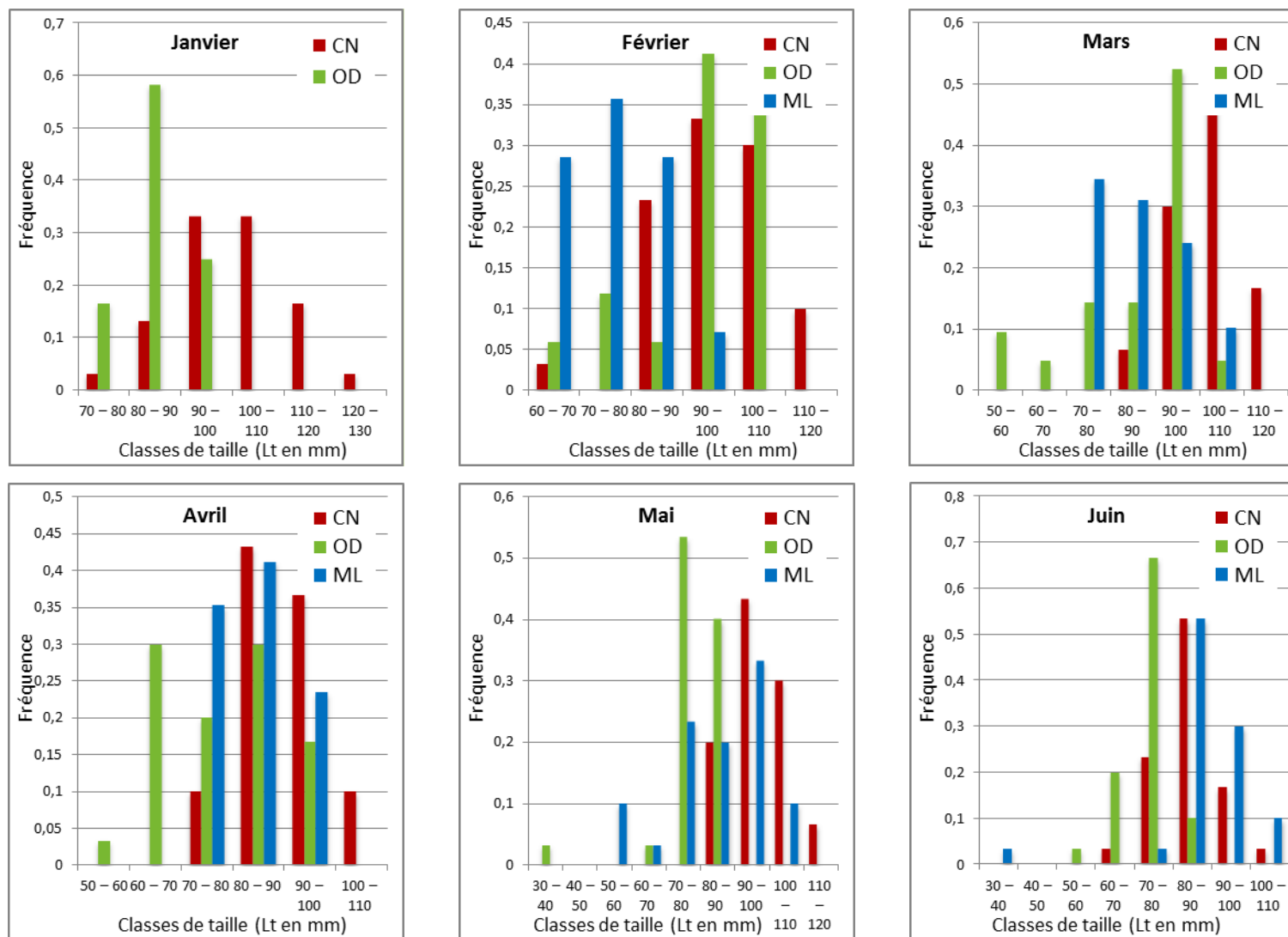


Figure 27 : Histogrammes de répartition par classe de tailles par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)

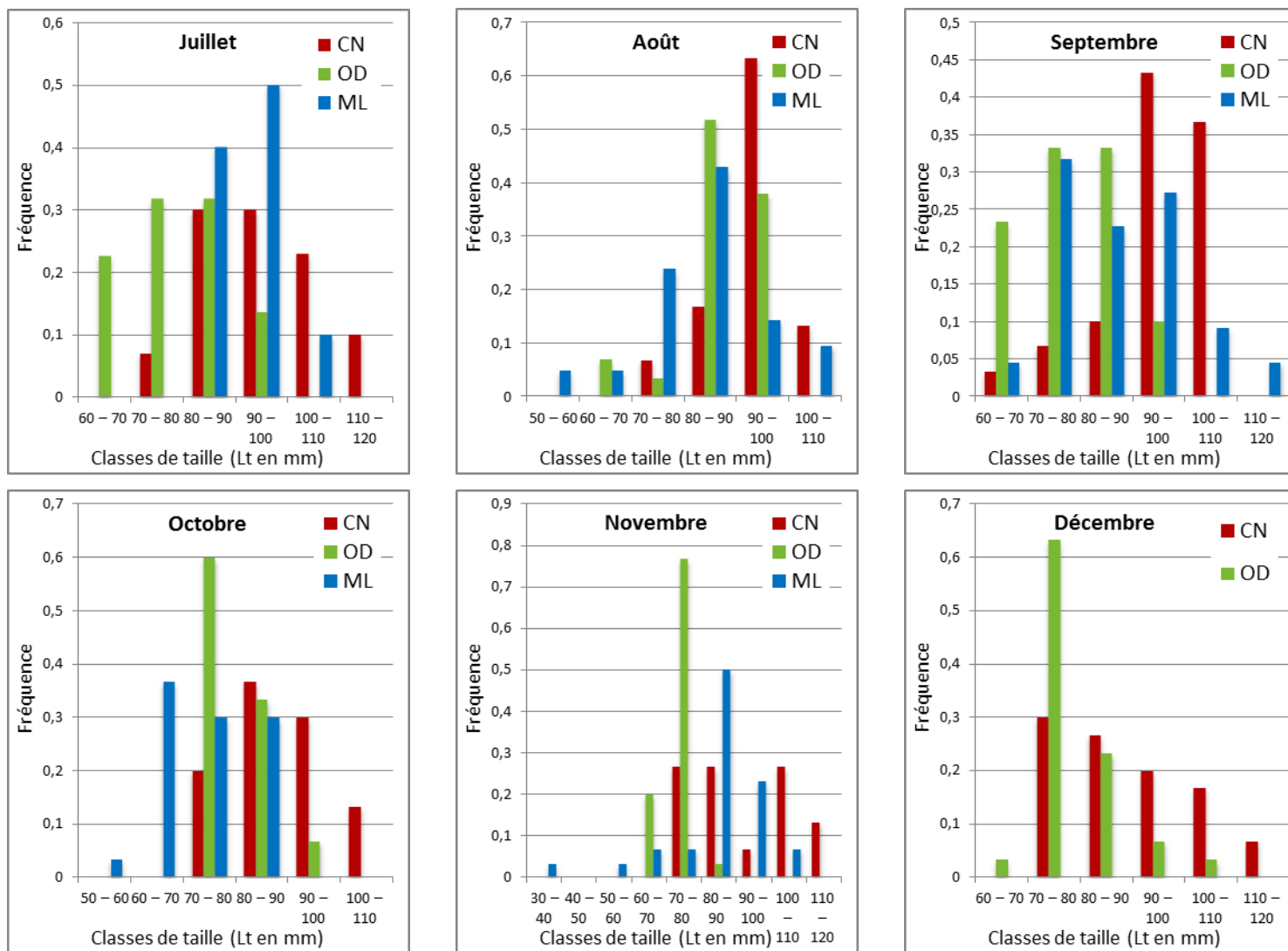


Figure 28 : Histogrammes de répartition par classe de tailles par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)

3.2.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)

L'analyse de la répartition de l'échantillon global d'écrevisse (1003 écrevisses) par classe de longueur du céphalothorax (Lcpx) d'une amplitude de 10 mm (Figure 29) démontre que plus de 50% des écrevisses se trouvent dans la classe de Lcpx de 40 – 50 mm. Le reste, se trouve en majorité dans les classes 30 – 40 mm et 50 – 60 mm avec respectivement des fréquences de 17,1% et 29,7%. Les plus petites classes, 10 – 20 et 20 – 30 mm, ne représentent que 0,5% de l'échantillon global, ce qui équivaut à 5 écrevisses. Quant à la classe la plus grande, 60 – 70 mm, elle représente 2,2% de l'échantillon global correspondant à 22 écrevisses. L'analyse par sexe (Figure 30) montre la même répartition, avec chez les mâles un pourcentage plus élevé d'individus dans la classe de Lcpx 40 – 50 mm et chez les femelles un pourcentage plus élevé d'individus dans les classes 30 – 40, 50 – 60 et 60 – 70 mm.

L'analyse de la répartition par site montre une différence dans la répartition des échantillons par classe de Lcpx (Figure 29). Effectivement, ce constat se confirme par l'analyse du tableau de comparaison de l'échantillon global par site (Tableau 7), qui démontre que la majorité des écrevisses se situent dans les classes de Lcpx se trouvant entre 40 et 60 mm pour le canal Nador, 30 et 50 mm pour l'oued Drader, et 40 et 60 mm pour le marais du Loukkos. Avec en plus des classes de Lcpx les plus représentées par site, et qui sont de 50 – 60 mm pour le canal Nador avec 48,5%, 40 – 50 mm pour l'oued Drader et le marais du Loukkos avec respectivement 55,4% et 56,1%. Pour ces deux derniers sites la différence se voit plus dans la deuxième classe de Lcpx la plus représentée, qui est celle de 30 – 40 mm pour l'oued Drader (31,9%) et 50 – 60 mm pour le marais du Loukkos (23,3%). L'analyse par sexe montre :

- Pour le site de canal Nador que l'écart le plus important concerne les classes de Lcpx entre 40 et 60 mm avec une valeur plus élevée chez les mâles dans la classe 40 – 50 mm et plus basse dans la classe 50 – 60 mm, contrairement aux femelles qui présentent une valeur plus basse pour la première classe et plus élevée pour la seconde (Figure 31).
- Pour le site de l'oued Drader que l'écart le plus important concerne les classes de Lcpx entre 30 et 50 mm avec une valeur plus élevée chez les femelles dans la classe 30 – 40 mm et plus basse dans la classe 40 – 50 mm, contrairement aux mâles qui présentent une valeur plus basse pour la première classe et plus élevée pour la seconde (Figure 32).

- Pour le site du marais Loukkos l'écart concerne cette fois des classes non adjacentes, il s'agit des classes de Lcpx de 30 – 40 mm et 50 – 60 mm avec une valeur plus élevée chez les femelles dans la classe 30 – 40 mm et chez les mâles dans la classe 50 – 60 mm (Figure 33).

Cette analyse suggère aussi qu'il peut y avoir une différence dans la Lcpx des écrevisses entre les différents sites. Et probablement entre mâles et femelles dans le site marais Loukkos.

L'analyse de la répartition des classes de Lcpx au niveau des deux échantillons obtenus pour les rizières montre :

- Pour l'échantillon des rizières du Gharb, que les classes de Lcpx représentées se situent dans la tranche 30 – 70 mm, avec la classe de Lcpx la plus représentée de 40 – 50 mm (47,2%) suivie par la classe 50 – 60 mm (27,8%). Nous notons aussi la présence de deux individus de Lcpx entre 60 et 70 mm (Figure 34).
- Pour l'échantillon des rizières de Larache, que les classes de Lcpx représentées se situent dans la tranche 30 – 60 mm, inversement aux rizières de Larache, la classe de Lcpx la plus représentée est celle de 50 – 60 mm (50%) suivie par la classe de 40 – 50 mm (43,3%). Nous notons aussi l'absence d'individus de Lcpx entre 60 et 70 mm. (Figure 34).

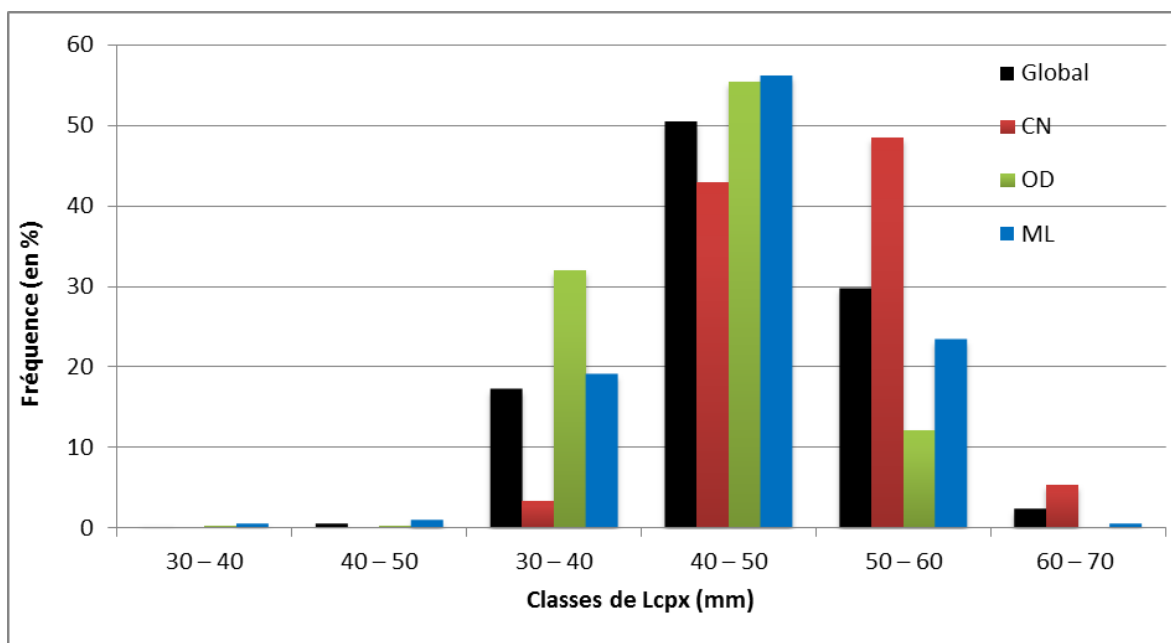


Figure 29 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

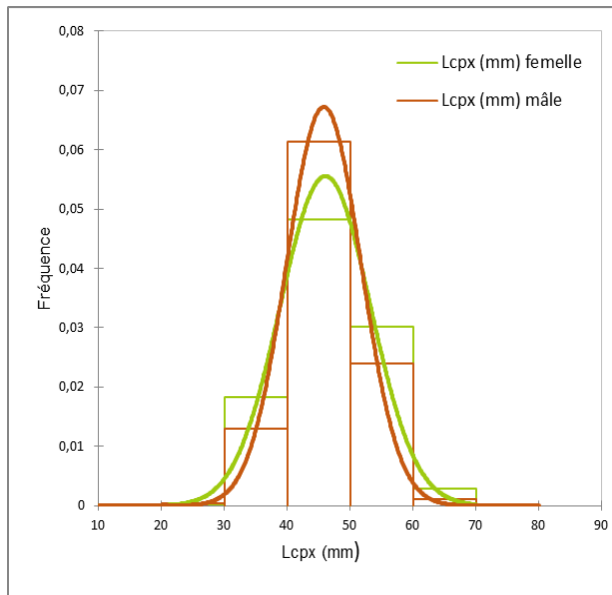


Figure 30: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global

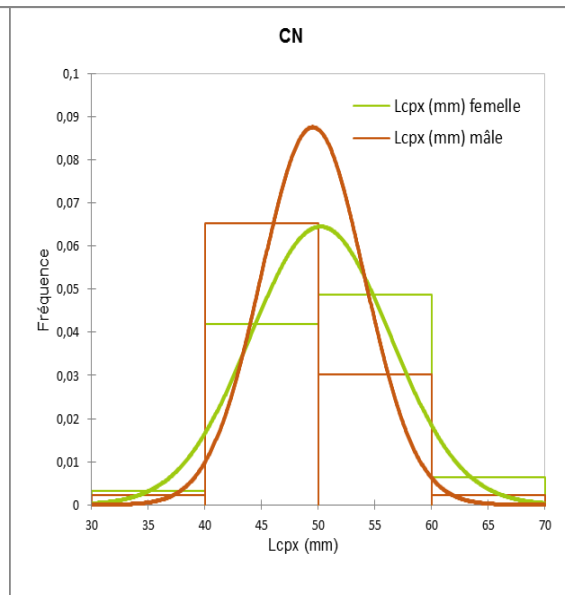


Figure 31: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador

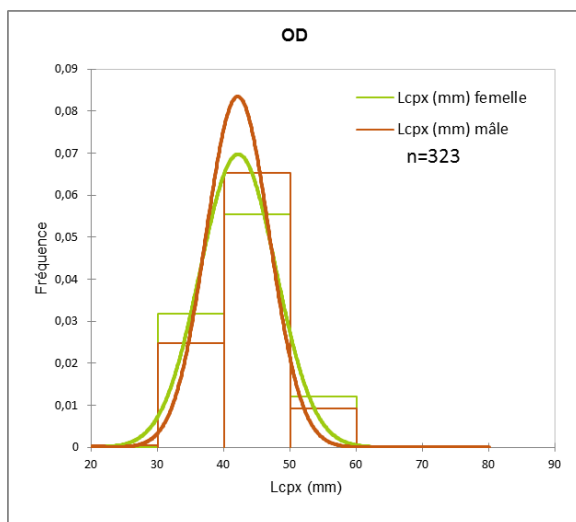


Figure 32: Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader

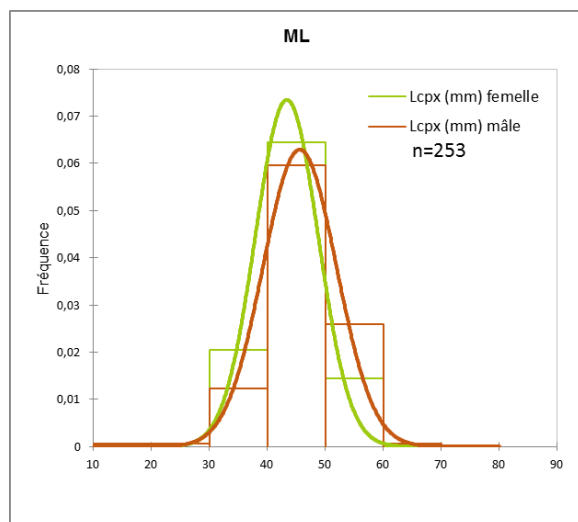


Figure 33 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos (ML)

Pour le site canal Nador, l'analyse de la répartition de la Lcpx par classes en fonction des mois montre une variabilité des fréquences selon les classes d'un mois à un autre (Figure 35; Figure 36). Avec deux classes représentées tout au long de l'année, il s'agit des classes qui composent la tranche 40 – 60 mm. La fréquence la plus élevée est de 83% enregistrée lors du mois de mars 50 – 60 mm. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 40 – 50 mm pour les mois d’avril, juin, juillet, octobre, novembre et décembre avec respectivement des valeurs de 56,7%, 76,7%, 50%, 63,3%, 50%, 53,3% ;
- 50 – 60 mm pour les mois de janvier, février, mars, mai, août et septembre avec respectivement des valeurs de 41,9%, 60%, 83,3%, 73,3% 63,3% 66,7%.

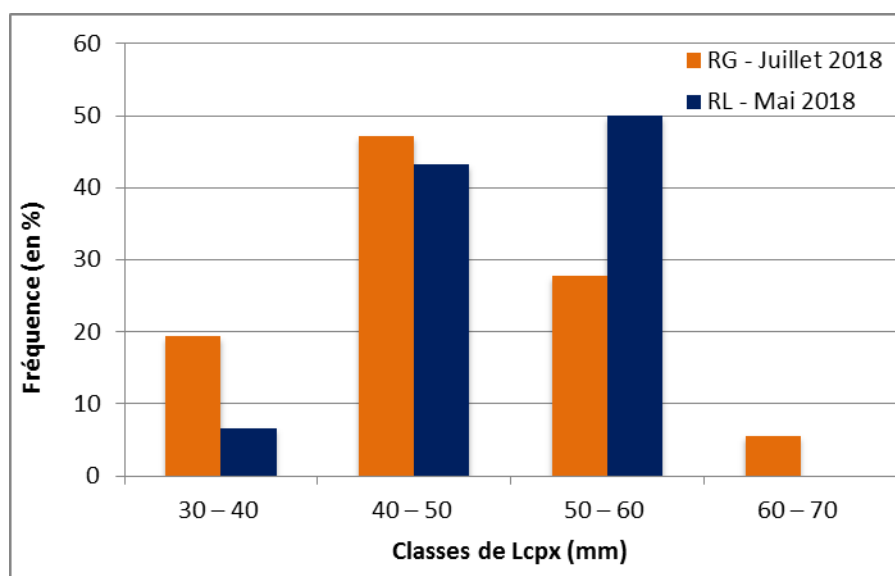


Figure 34 : Histogramme des longueurs du céphalothorax (Lcpx) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)

Tableau 7 : Comparaison de la longueur du céphalothorax de l'échantillon global et par site

Classes de longueur du céphalothorax (Lcpx) en mm	Global		CN		OD		ML	
	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**
10 - 20	2	0,2	0	0	1	0,3	1	0,4
20 - 30	3	0,3	0	0	1	0,3	2	0,8
30 - 40	172	17,1	12	3,3	103	31,9	48	19
40 - 50	506	50,4	155	42,9	179	55,4	142	56,1
50 - 60	298	29,7	175	48,5	39	12,1	59	23,3
60 - 70	22	2,2	19	5,3	0	0	1	0,4

Ef* : effectif ; Fr** : fréquence en pourcentage

Pour le site oued Drader, l'analyse de la répartition de la Lcpx par classes en fonction des mois montre que les fréquences varient selon les classes d'un mois à un autre (Figure 35; Figure 36). Avec une classe représentée tout au long de l'année, il s'agit de la classe 40 – 50 mm. La fréquence la plus élevée est de 87% enregistrée lors du mois de janvier pour la même classe. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 30 – 40 mm pour les mois de juin et novembre avec respectivement des valeurs de 53,3%, 66,7% ;
- 40 – 50 mm pour les mois de janvier, avril, mai, août, octobre et décembre avec respectivement des valeurs de 87,5%, 50%, 63,3%, 75,9%, 73,3% et 63,3% ;
- 30 – 40 et 40 – 50 mm pour les mois de juillet et septembre avec la même valeur de 45,5% pour les deux classes au mois de juillet, et respectivement des valeurs de 46,7% et 50% pour septembre ;
- 50 – 60 mm pour les mois de février et mars avec respectivement des valeurs de 64,7% et 47,6%.

Pour le site marais du Loukkos, l'analyse de la répartition de la Lcpx par classes en fonction des mois (février à novembre 2018) montre que les fréquences varient selon les classes d'un mois à un autre (Figure 35; Figure 36). Avec comme le site oued Drader la classe 40 – 50 mm qui est représentée tout au long de l'année. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 30 – 40 mm pour le mois d'octobre avec une valeur de 56,7% ;
- 40 – 50 mm pour les mois de février, mars, avril, mai, juin, août, septembre et novembre avec respectivement des valeurs de 57,1%, 55,2%, 64,7%, 46,7%, 66,7%, 66,7%, 50%, 63,3% ;
- 40 – 50 et 50 – 60 mm pour le mois juillet avec respectivement des valeurs proches de 53,3% et 46,7%.

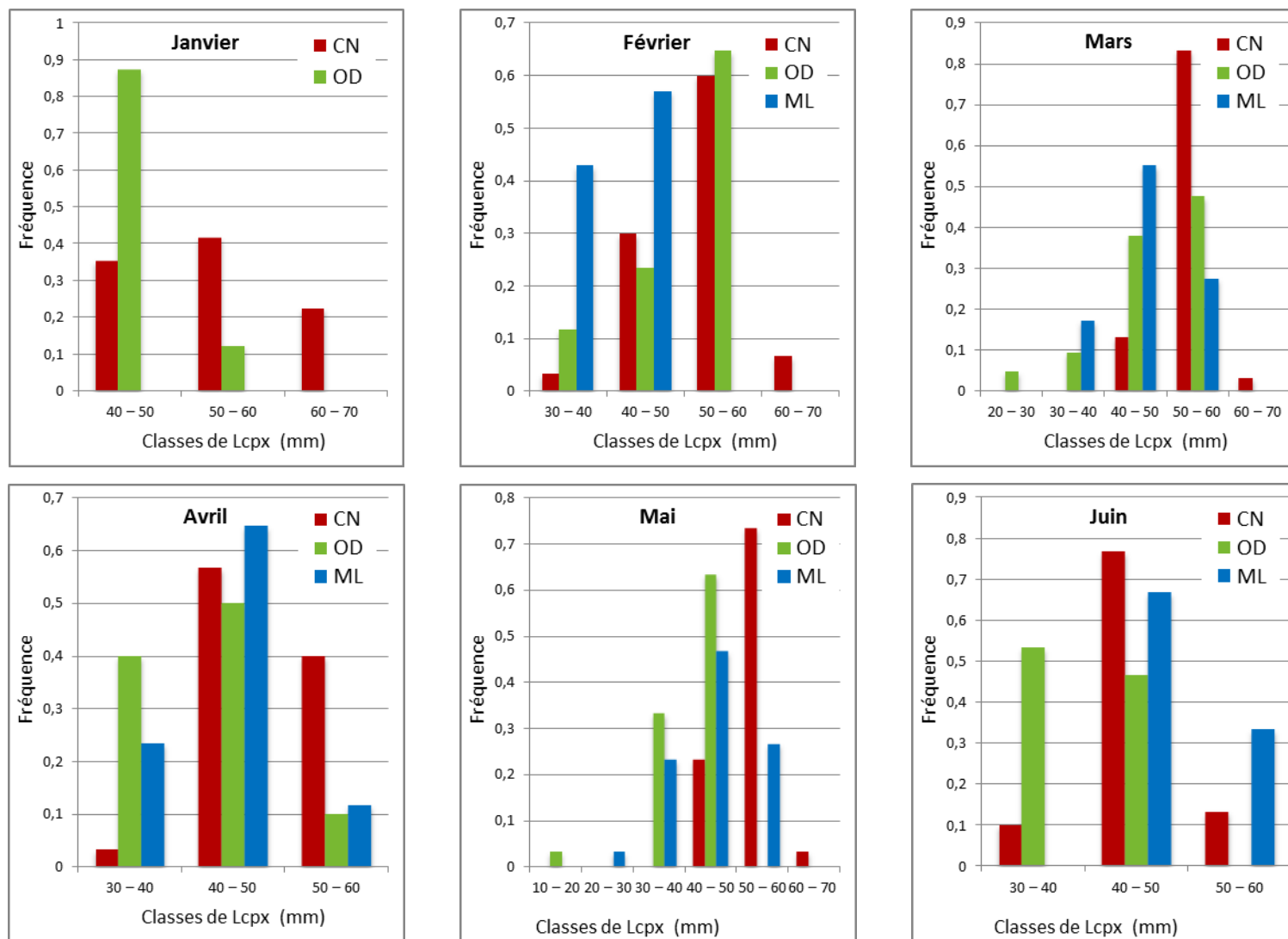


Figure 35 : Histogrammes de répartition de la Lcpx par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)

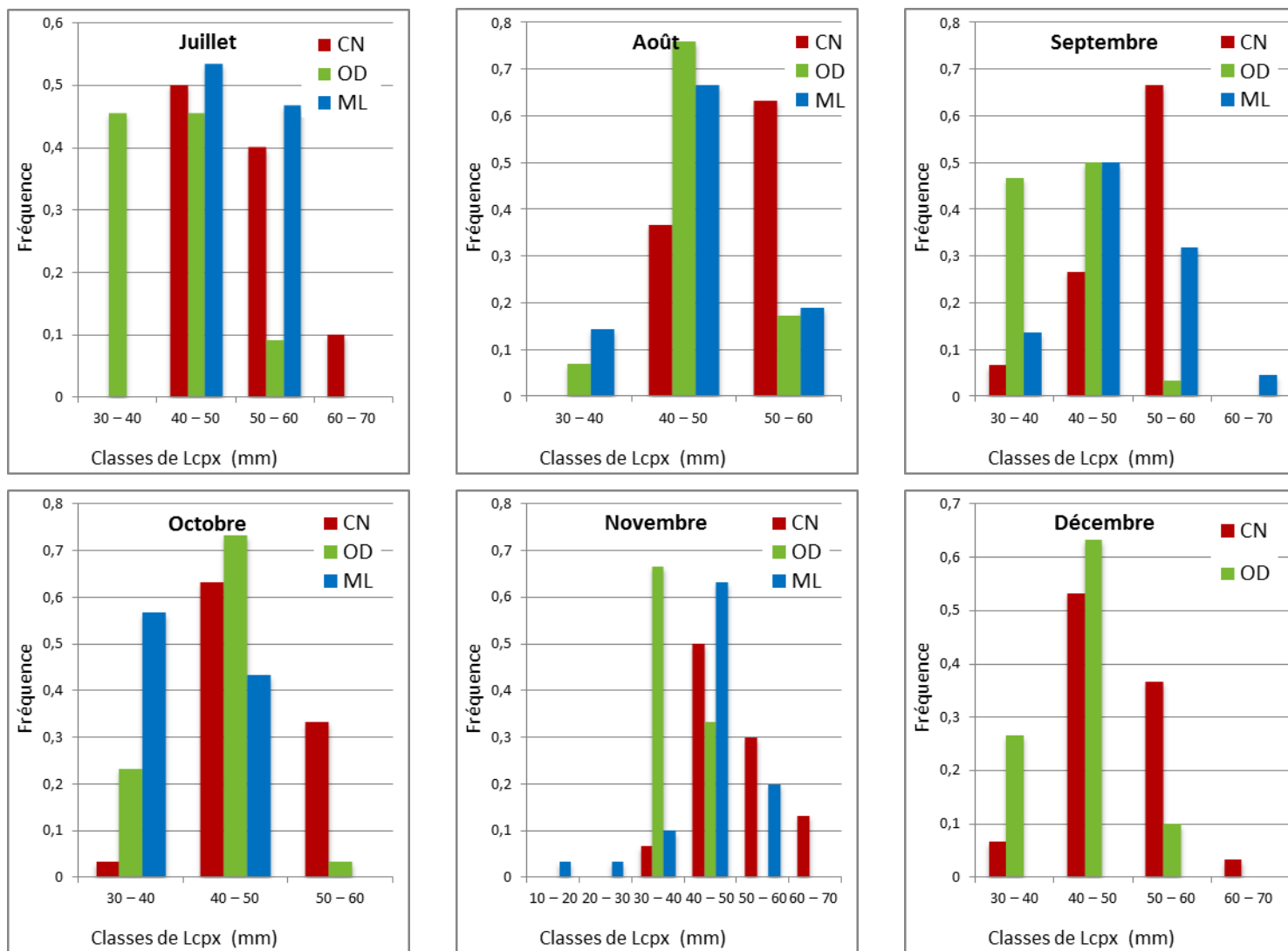


Figure 36 : Histogrammes de répartition de la Lcpx par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)

3.2.3. Longueur du péréiopode I (LPT1)

L'analyse de la répartition de l'échantillon global d'écrevisse (991 écrevisses) par classe de longueur du péréiopode I (LPT1) d'une amplitude de 10 mm (Tableau 8 ; Figure 37) démontre qu'environ 45% des écrevisses se trouvent dans les classe de LPT1 qui constituent la tranche de 50 à 70 mm. Le reste, se trouve en majorité dans les classes 40 – 50 mm, 70 – 80 mm et 80 – 90 mm, avec respectivement des fréquences de 17,5%, 16% et 10,3%. Les plus petites classes, 20 – 30 mm et 30 – 40 mm, ne représentent respectivement que 0,7% et 6,7% de l'échantillon global. Quant aux classes les plus grande, 90 – 100 mm, 100 – 110 mm et 110 – 120 mm elles représentent 4% de l'échantillon global avec respectivement des valeurs de 2,6%, 0,9% et 0,5%.

L'analyse de la répartition par site montre une différence dans la répartition des échantillons par classes de taille (Figure 37). Effectivement, ce constat se confirme par l'analyse du tableau de comparaison de l'échantillon global par site (Tableau 8), qui démontre que la majorité des écrevisses se situent dans les classes de LPT1 se trouvant entre 50 et 90 mm pour le canal Nador, 30 et 70 mm pour l'oued Drader, et 30 et 90 mm pour le marais du Loukkos. Avec en plus des classes de LPT1 les plus représentées par site, et qui sont de 60 – 70 mm pour le canal Nador et le marais du Loukkos avec respectivement des valeurs de 29,9% et 21,9%, et 40 – 50 pour l'oued Drader avec une valeur de 32,8%.

A l'instar de la longueur totale, les données relatives à la LPT1 nous laissent penser qu'il existe une différence dans la LPT1 des écrevisses entre les sites. Ainsi, les écrevisses ayant la LPT1 la plus grandes seraient celles de canal Nador suivies par celles du marais Loukkos et les plus petites LPT1 seraient de celles de l'oued Drader.

L'analyse de la répartition des classes de LPT1 au niveau des deux échantillons obtenus pour les rizières (Figure 38) montre :

- Pour l'échantillon des rizières du Gharb, que les classes de LPT1 représentées se situent dans la tranche 30 – 100 mm, avec la classe de LPT1 la plus représentée de 50 – 60 mm (25%) suivie par les classes 70 – 80 mm et 60 – 70 mm avec respectivement des valeurs de 22,2% et 19,4%. Nous notons la présence d'un individu de LPT1 entre 90 et 100 mm ;
- Pour l'échantillon des rizières de Larache, que les classes de LPT1 représentées se situent dans la tranche 30 – 100 mm. Comme l'échantillon des rizières du Gharb, la

classe de Lcpx la plus représentée est celle de 50 – 60 mm avec une valeur de 33,3%. Vient ensuite la classe de 60 – 70 mm avec une valeur de 26,7%. Là aussi nous notons la présence d'un individu de LPT1 entre 90 et 100 mm.

Tableau 8 : Comparaison de la longueur du périopode I de l'échantillon global et par site

Classes de longueur du périopode I (LPTI) en mm	Global		CN		OD		ML	
	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**
20 - 30	7	0,7	0	0	3	0,9	4	1,6
30 - 40	66	6,7	2	0,6	34	10,7	26	10,5
40 - 50	173	17,5	23	6,4	104	32,8	41	16,6
50 - 60	215	21,7	69	19,1	85	26,8	42	17
60 - 70	229	23,1	108	29,9	52	16,4	54	21,9
70 - 80	159	16	75	20,8	28	8,8	44	17,8
80 - 90	102	10,3	55	15,2	9	2,8	29	11,7
90 - 100	26	2,6	18	5	2	0,6	4	1,6
100 - 110	9	0,9	6	1,7	0	0	0	0
110 - 120	5	0,5	5	1,4	0	0	0	0

*Ef** : effectif ; *Fr*** : fréquence en pourcentage

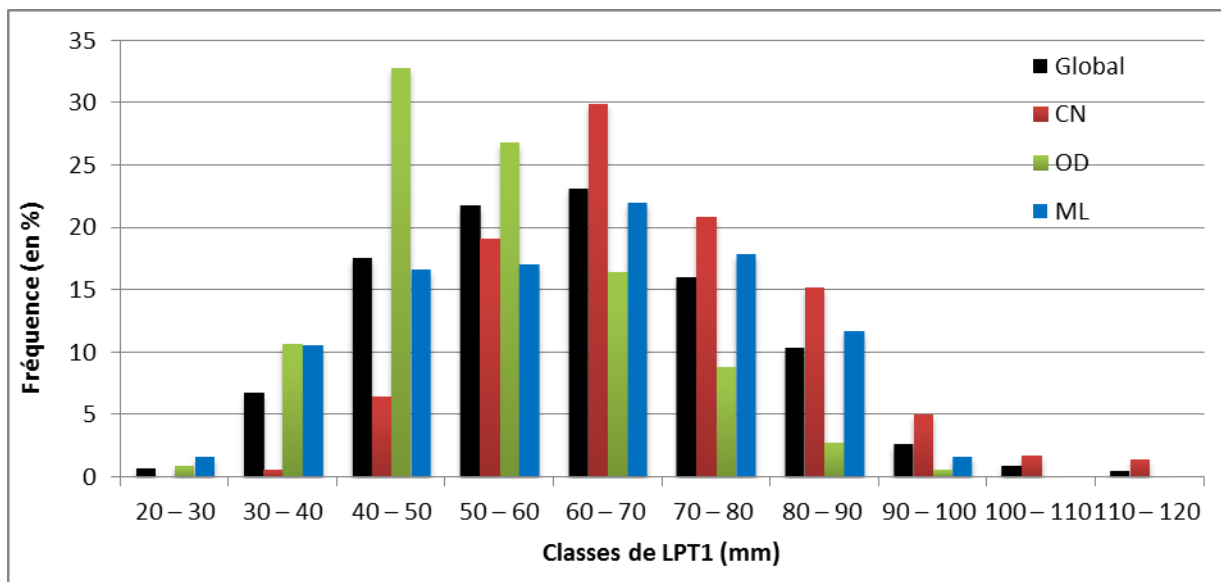


Figure 37 : Histogramme des longueurs du périopode I (LPT1) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

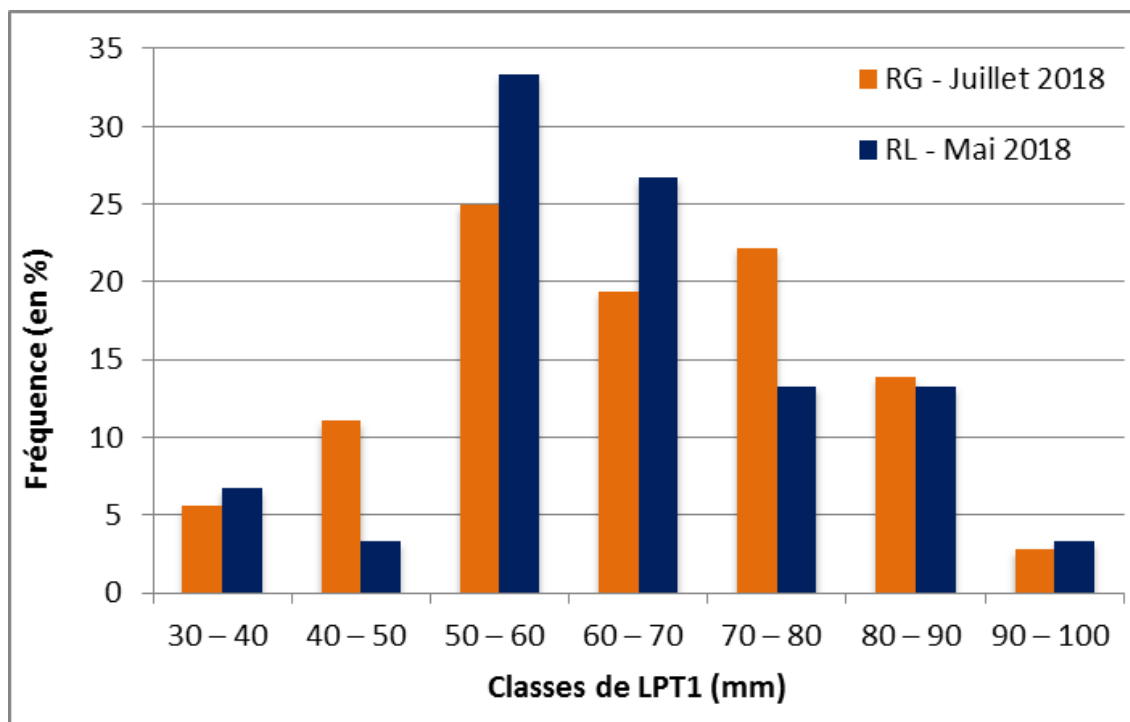


Figure 38 : Histogramme des longueurs du périopode I (LPT1) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)

3.2.4. Longueur des pinces (Lp)

L'analyse de la répartition de l'échantillon global d'écrevisse (991 écrevisses) par classe de longueur des pinces (Lp) d'une amplitude de 10 mm (Tableau 9 ; Figure 39) démontre qu'environ 70% des écrevisses se trouvent dans des classes de Lp qui constituent la tranche de 20 à 40 mm. Le reste, se trouve en majorité dans les classes 40 – 50 mm et 10 – 20 mm, avec respectivement des fréquences de 16,9%, 10,1%. Les classes représentées les plus grandes, sont celles de 50 – 60 mm et 60 – 70 mm, et ne représentent respectivement que 2,7% et 0,5% de l'échantillon global.

L'analyse de la répartition par site montre une différence dans la répartition des échantillons par classes de Lp (Figure 39). Effectivement, ce constat se confirme par l'analyse détaillée de la comparaison de l'échantillon global par site (Tableau 9), qui démontre que la majorité des écrevisses se situent dans les classes Lp se trouvant entre 20 et 40 mm. Aussi, les classes de Lp les plus représentées par site, sont 30 – 40 mm pour le canal Nador et le marais du Loukkos avec respectivement des valeurs de 44,3% et 32,8%, et 20 – 30 pour l'oued Drader avec une valeur de 52,1%.

L'analyse des données relatives à la longueur des pinces propose qu'il y aurait une différence dans la Lp d'un site à un autre. Ainsi, les écrevisses ayant la Lp la plus grandes seraient celles

de canal Nador suivies par celles du marais Loukkos et les plus petites Lp seraient de celles de l'oued Drader. Cette hypothèse est cohérente avec les hypothèses précédentes concernant la Lt et la LPT1, avec le même classement par site.

L'analyse de la répartition des classes de Lp au niveau des deux échantillons obtenus pour les rizières (Figure 40) montre :

- Pour l'échantillon des rizières du Gharb, que les classes de Lp représentées se situent dans la tranche 10 – 50 mm, avec la classe de Lp la plus représentée de 20 – 30 mm (36,1%) suivie par les classes 30 – 40 mm et 40 – 50 mm avec respectivement des valeurs de 33,3% et 25%. La classe restante de 10 – 20 mm, qui est la plus petite, représente 5,6%, correspondant à deux individus.
- Pour l'échantillon des rizières de Larache, que les classes de Lp se répartissent de la même manière que dans les rizières du Gharb avec le même ordre et plus ou moins la même représentation. Ainsi les classes de Lp se situent dans la tranche 10 – 50 mm, avec la classe de Lp la plus représentée de 20 – 30 mm (40%) suivie par les classes 30 – 40 mm et 40 – 50 mm avec respectivement des valeurs de 36,7% et 16,7%. La classe restante de 10 – 20 mm, qui est la plus petite, correspondant aussi à deux individus avec une valeur de 6,7%.

Tableau 9 : Comparaison de la longueur de la pince de l'échantillon global et par site

Classes de longueur de la pince (Lp) en mm	Global		CN		OD		ML	
	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**
10 - 20	100	10,1	4	1,1	55	17,4	37	15
20 - 30	353	35,6	90	24,9	165	52,1	73	29,6
30 - 40	339	34,2	160	44,3	75	23,7	81	32,8
40 - 50	167	16,9	83	23	19	6	51	20,6
50 - 60	27	2,7	20	5,5	2	0,6	5	2
60 - 70	5	0,5	4	1,1	1	0,3	0	0

Ef : effectif ; Fr** : fréquence en pourcentage*

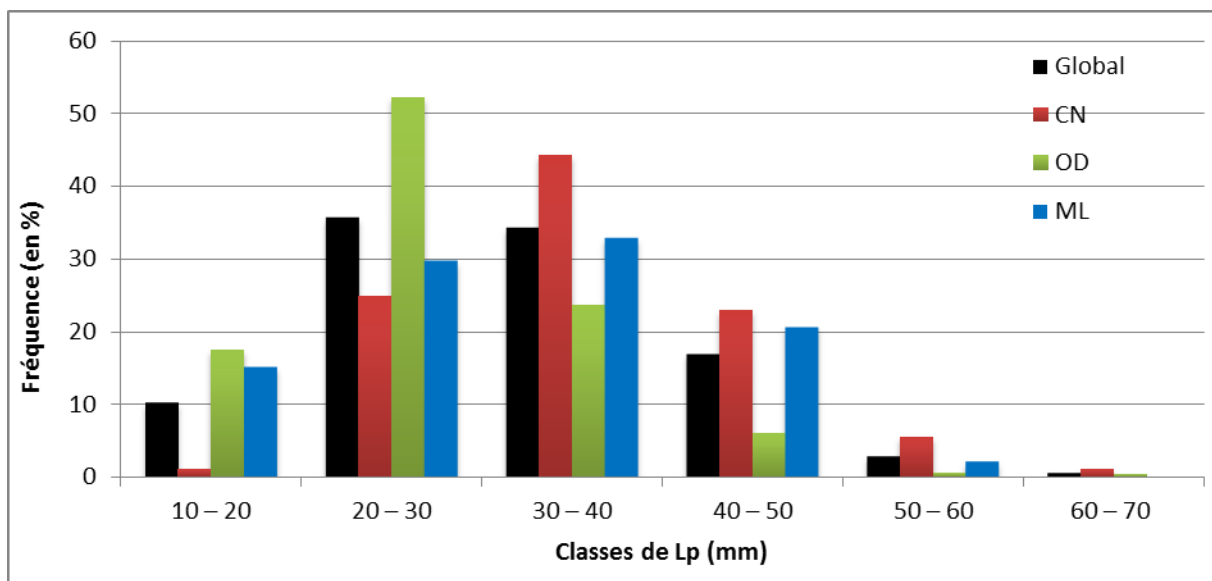


Figure 39 : Histogramme des longueurs des pinces (Lp) en mm de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

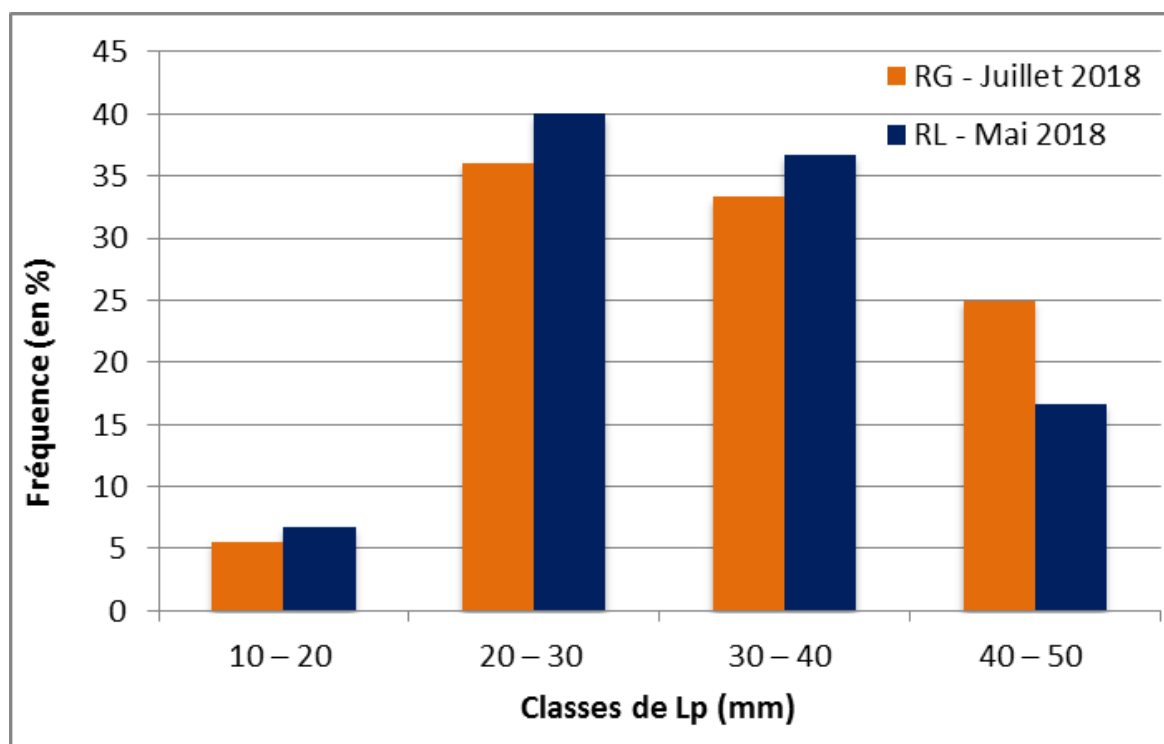


Figure 40 : Histogramme des longueurs des pinces (Lp) en mm de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)

3.2.5. Poids (P)

L'analyse de la répartition de l'échantillon global d'écrevisse (1003 écrevisses) par classe de poids total (P) d'une amplitude de 10 g (Tableau 10 ; Figure 41) démontre que 91,4% des écrevisses se regroupent dans les trois premières classes de poids qui composent la tranche de 0 à 30 g. Avec la valeur la plus élevée de 49,2% pour la tranche 10 – 20 g suivi par 25,8%

pour la tranche 20 – 30 g et en fin 16,4% pour la tranche 0 – 10 g. le reste se trouve majoritairement dans les classes de poids 30 – 40 g et 40 – 50 g avec respectivement des valeurs de 6,5% et 1,9%. Pour les classes de poids de 50 – 60 g et 60 – 70 g elles ne sont représentées que par 3 individus au total, avec des valeurs respectivement de 0,2% et 0,1%.

L'analyse par sexe (Figure 42) montre la même répartition. Un léger écart entre mâles et femelles est remarqué, avec une valeur plus élevée d'individus dans la classe de poids 10 – 20 g et 20 – 30 g chez les mâles et une valeur plus élevée d'individus dans la tranche 0 – 10 g chez les femelles. Ceci suppose qu'à l'inverse de la longueur totale, il n'y aurait pas de différence entre les poids entre mâles et femelles.

L'analyse de la répartition par site montre une différence dans la répartition des échantillons par classe de poids (Figure 41). Ce constat se confirme par l'analyse du tableau de comparaison de l'échantillon global par site (Tableau 10), qui démontre qu'une grande partie des écrevisses se situe dans une classe de poids entre 10 et 30 g pour le canal Nador, 0 et 20 g pour l'oued Drader, et 0 et 30 g pour le marais du Loukkos. Avec des classes de poids les plus représentées par site, et qui sont de 10 – 20 g et 20 – 30 g pour le canal Nador enregistrant une valeur identique de 39,1%, 10 – 20 g pour l'oued Drader et marais Loukkos avec respectivement des valeurs de 58,9% et 50%. L'analyse par sexe montre :

- Pour le site de canal Nador, une distribution plus ou moins similaire entre les deux sexes, avec un léger écart qui se traduit par des valeurs légèrement plus élevées chez les femelles dans les classes de poids 0 – 10 g, 10 – 20 g et 30 – 40 g, et chez les mâles dans les classes supérieures à 40 g en plus de la classe 20 – 30 g. (Figure 43) ;
- Pour le site de l'oued Drader, un même constat que le site canal Nador. Avec une distribution plus ou moins similaire entre les deux sexes, un léger écart se traduit par des valeurs légèrement plus élevées chez les femelles dans les classes de poids 0 – 10 g et 10 – 20 g, et chez les mâles dans la classes 20 – 30 g (Figure 44) ;
- Pour le site du marais Loukkos, une distribution qui se ressemble pour les deux sexes avec une tendance des mâles vers des valeurs de poids plus élevées. Ainsi nous remarquons un écart important en faveur des femelles pour la classe de poids 0 – 10 g, concernant les mâles l'écart n'est pas aussi important, cependant les mâles présentent des valeurs plus élevées par rapport aux femelles pour les classes de poids supérieurs à 10 g (Figure 45).

A l'instar de la longueur totale, cette analyse suggère aussi qu'il peut y avoir une différence dans le poids des écrevisses entre les différents sites, et aussi entre mâles et femelles dans le site marais Loukkos.

L'analyse de la répartition des classes de poids au niveau des deux échantillons obtenus pour les rizières montre :

- Pour l'échantillon des rizières du Gharb qui compte 36 individus et qui correspond au mois de juillet 2018, que la plupart des écrevisses se situent dans des classes de poids de 10 – 20 g et 20 – 30 g, avec la valeur la plus importante de 50% pour la première suivie par une valeur de 27,8% pour la deuxième. Le reste se situent dans les classes de poids de 0 – 10 g, 30 – 40 g et 40 – 50 g avec la même valeur de 8,3% (3 écrevisses) pour la première et la deuxième, et une valeur de 5,6% (2 écrevisses) pour la troisième (Figure 46) ;
- Pour l'échantillon des rizières de Larache qui compte 30 individus et qui correspond au mois de mai 2018, qu'il est constitué uniquement de 3 classes de poids. La valeur la plus élevée, est de 56,7% et correspond à la classe 10 – 20 g. Vient ensuite la classe 20 – 30 g représentée à hauteur de 26,7% et pour terminer la troisième classe et la plus faiblement représentée est celle de 0 – 10 g enregistrant une valeur de 16,7% (Figure 46).

Tableau 10 : Comparaison des poids de l'échantillon global et par site

Classes de poids (P en g)	Global		CN		OD		ML	
	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**	Ef*	Fr**
0 – 10	165	16,4	10	2,8	87	26,7	60	23,8
10 – 20	494	49,2	141	39,1	192	58,9	126	50
20 – 30	259	25,8	141	39,1	43	13,2	57	22,6
30 – 40	65	6,5	50	13,9	4	1,2	8	3,2
40 – 50	19	1,9	16	4,4	0	0	1	0,4
50 – 60	2	0,2	2	0,6	0	0	0	0
60 – 70	1	0,1	1	0,3	0	0	0	0

Ef : effectif ; Fr** : fréquence en pourcentage*

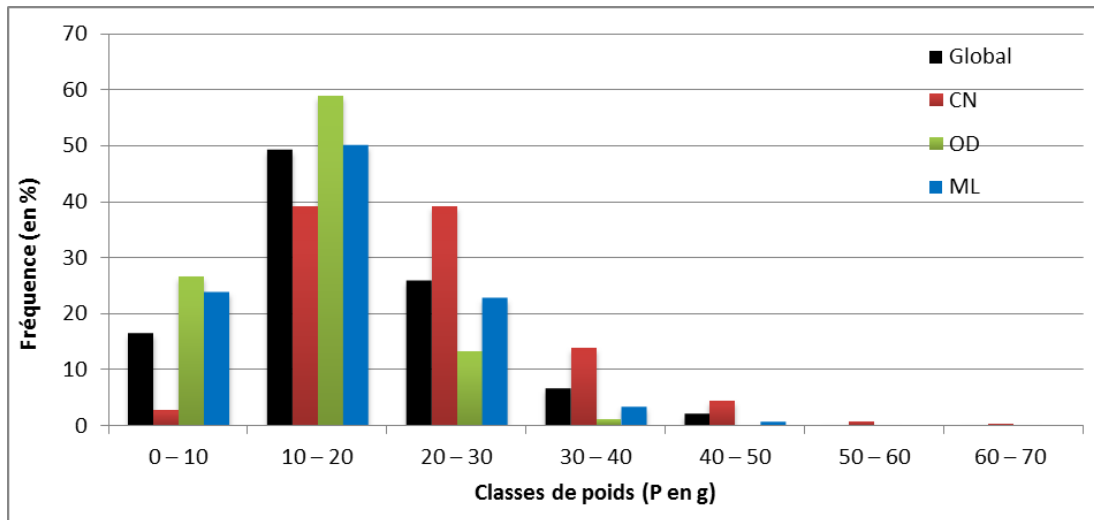


Figure 41 : Histogramme des poids (P) en g de l'échantillon global (Global) et des sites canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

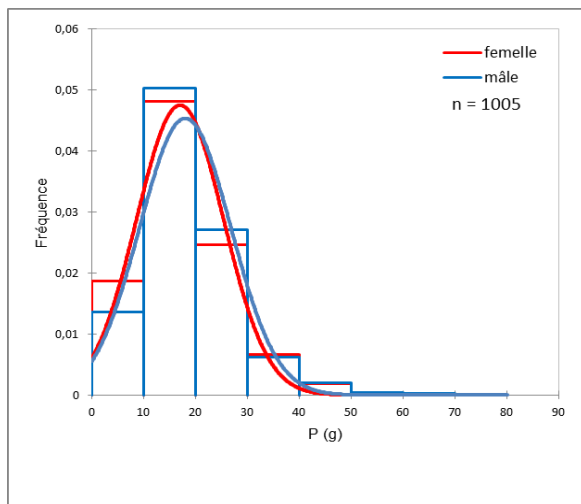


Figure 42: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global

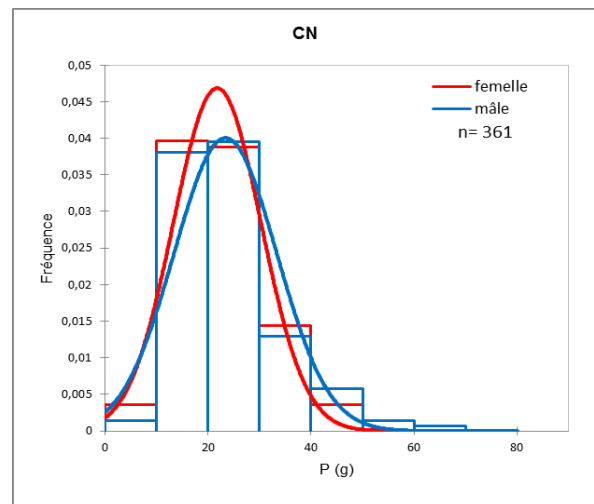


Figure 43: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site canal Nador

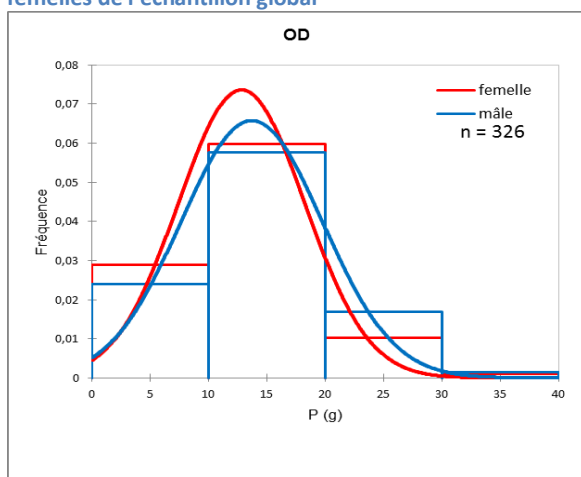


Figure 44: Histogramme des poids (P) en mm, mâles et femelles de l'échantillon global du site oued Drader

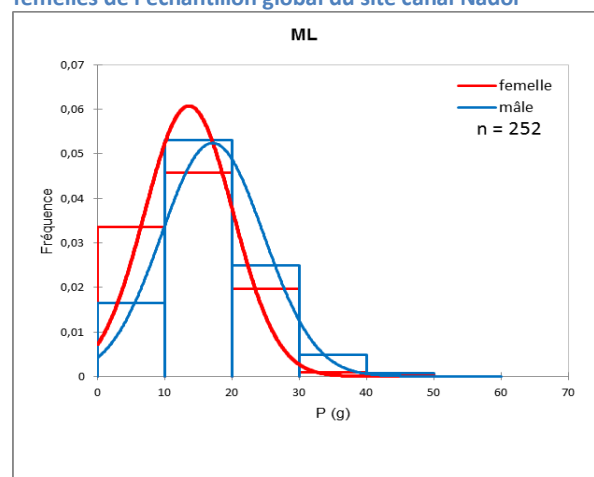


Figure 45 : Histogramme des poids (P) en mm mâles et femelles de l'échantillon global du site marais Loukkos

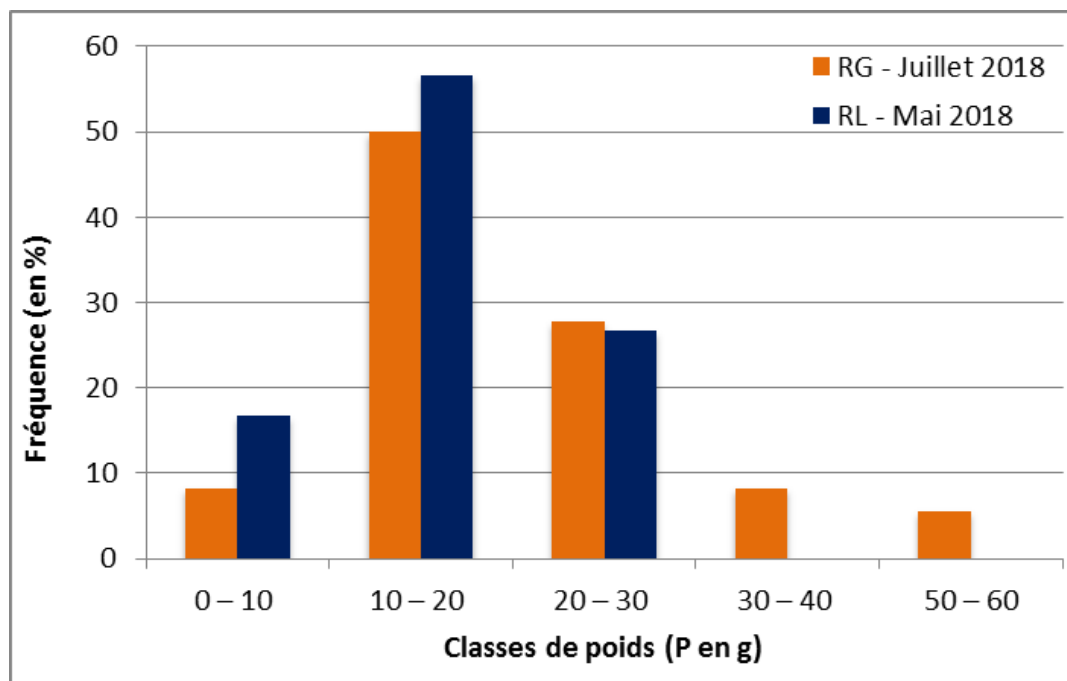


Figure 46 : Histogramme des poids (P) en g de l'échantillon global des rizières du Gharb (RG) et de de Larache (RL)

Pour le site canal Nador, l'analyse de la répartition de la longueur totale par classes de poids en fonction des mois, de janvier à décembre 2018 (Tableau 11), montre une variabilité des fréquences selon les classes d'un mois à un autre (Figure 47 ; Figure 48). Deux classes sont représentées tout au long de l'année, il s'agit des classes qui composent la tranche 20 – 40 g. En plus de la classe 10 – 20 g qui est représentée pour toute l'année sauf pour le mois de mars. La fréquence la plus élevée est de 73% enregistrée lors du mois de juin pour la classe 10 – 20 g. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 10 – 20 g pour les mois d'avril, juin, octobre, novembre et décembre avec respectivement des valeurs de 57%, 73%, 67%, et 50% pour les deux derniers.
- 20 – 30 g pour les mois de janvier, février, août, septembre avec respectivement des valeurs de 55%, 63%, 67% et 60% ;
- 10 – 20 g et 20 – 30 g pour les mois de mai et juillet avec respectivement des valeurs pour les deux classes de 47% et 40% pour le mois de mai et 33% et 40% juillet ;
- 30 – 40 g pour le mois de mars avec une valeur de 53%.

Pour le site oued Drader, l'analyse de la répartition de la longueur totale par classes de poids en fonction des mois, de janvier à décembre 2018 (Tableau 11), montre que les fréquences varient selon les classes d'un mois à un autre (Figure 47 ; Figure 48). Une classe est

représentée tout au long de l'année, il s'agit de la classe 10 – 20 g. La classe 0 – 10 g est aussi représentée toute l'année sauf pour janvier. La fréquence la plus élevée est de 87% enregistrée lors du mois de janvier pour la classe 10 – 20 g. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 0 – 10 g pour le mois de juin avec une valeur de 63% ;
- 10 – 20 g pour les mois de janvier, avril, mai, juillet, août, septembre, octobre et décembre avec des valeurs de 87%, 56%, 73%, 59%, 52%, 60% et 77% pour les deux derniers mois ;
- 20 – 30 g pour les mois de février et mars avec des valeurs de 53% et 50% ;
- 0 – 10 g et 10 – 20 g pour le mois de novembre avec la même valeur de 50% ;
- 10 – 20 g et 20 – 30 g pour le mois de mai avec respectivement des valeurs de 47% et 40%.

Pour le site marais du Loukkos, l'analyse de la répartition de la longueur totale par classes de poids en fonction des mois, de février à novembre 2018 (Tableau 11), montre une variabilité des fréquences selon les classes d'un mois à un autre (Figure 47 ; Figure 48). Deux classes sont représentées tout au long de la période d'échantillonnage de février à novembre 2018, il s'agit des classes qui composent la tranche 0 – 20 g. La fréquence la plus élevée est de 70% enregistrée lors du mois de juin 10 – 20 g. L'analyse détaillée des fréquences montre que pour chaque mois les classes les plus représentées sont :

- 0 – 10 g pour les mois de février et octobre avec respectivement des valeurs de 57% et 63% ;
- 10 – 20 g pour les mois de mars, avril, mai, juin, septembre et novembre avec respectivement des valeurs de 53%, *47%, 43%, 70%, 45% et 60% ;
- 10 – 20 g et 20 – 30 g pour les mois de juillet et août avec respectivement des valeurs de 50% et 47% pour le premier, et des valeurs de 43% et 33% pour le deuxième.

Tableau 11 : Comparaison des fréquences (en %) du poids par site et par mois

Classes de poids (P en g)	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Aout			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L	C N	O D	M L			
0 – 10				3	12	57		12	23		37	29		23	27	10	63	3		27		3	7	24	3	40	15	3	20	63	7	50	13	3	13	
10 – 20	19	87		17	29	43		37	53	57	56	47		73	43	73	37	70	33	59	50	23	52	43	33	60	45	67	77	37	50	60	50	77		
20 – 30	55	12		63	53		37		50	23	40	7	24	40	3	17	13		27	40	9	47	67	41	33	60		30	23	3		10		20	3	
30 – 40	23			10	6		53			3			10		13	3			17	5	3	7			3		5	3			17		7	17	7	
40 – 50	3			3			10						3						7								5	3			13			10		
50 – 60																			3												3					
60 – 70				3																																

CN : Canal Nador ; OD : Oued Drader ; ML : Marais Loukkos

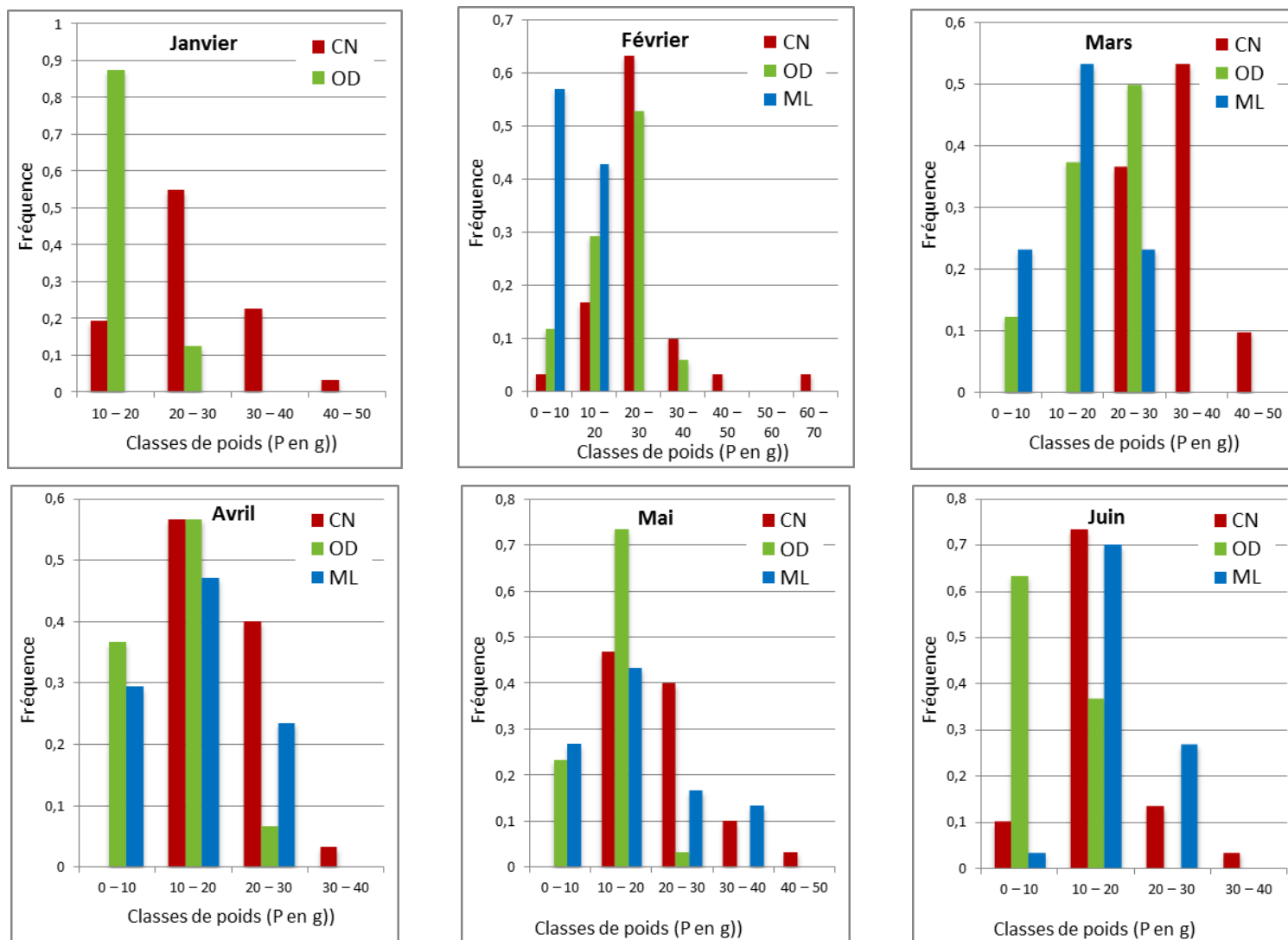


Figure 47 : Histogrammes de répartition des poids par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (janvier-juin 2018)

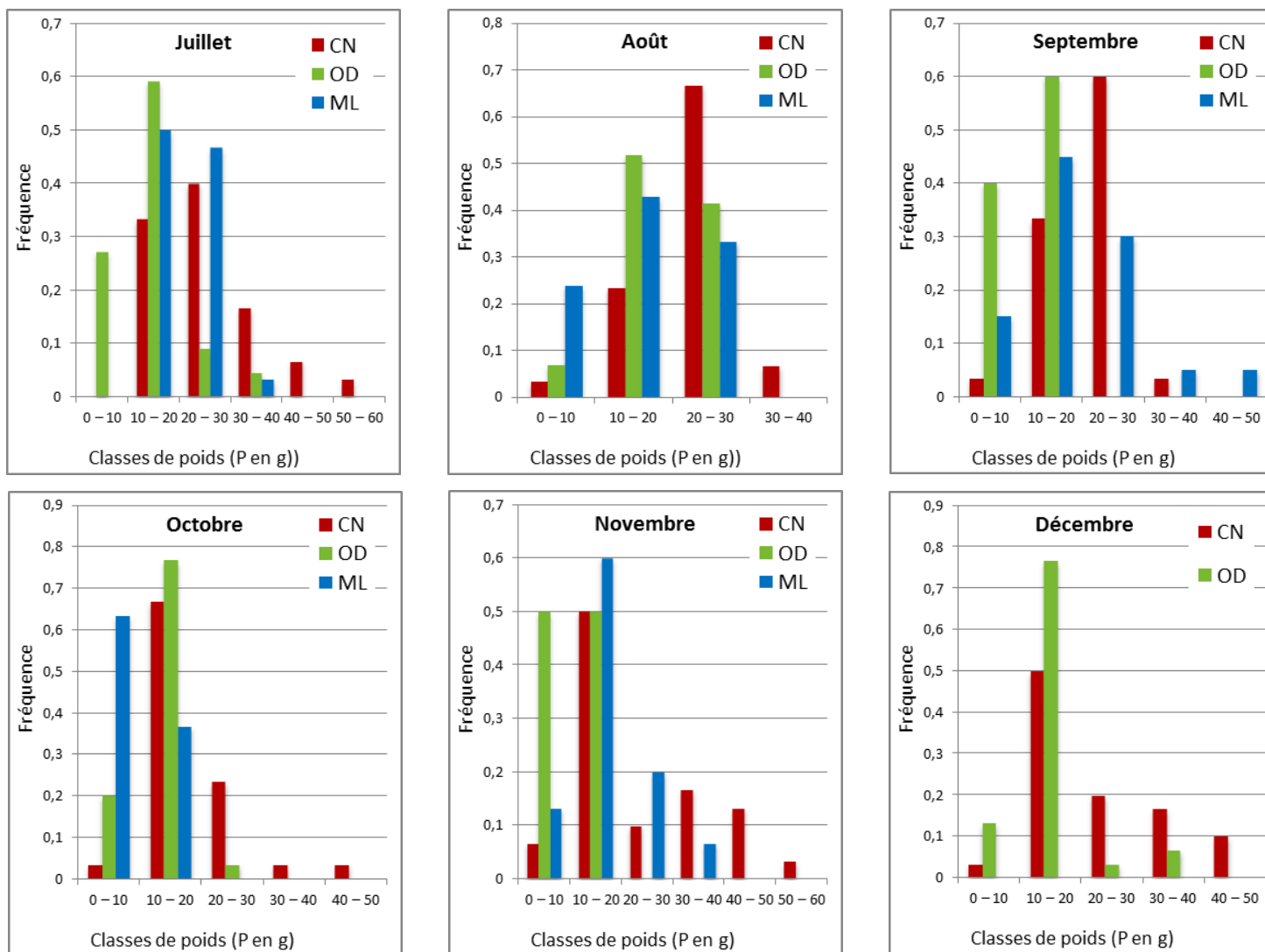


Figure 48 : Histogrammes de répartition des poids par classe par mois pour les sites canal Nador (CN) oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML) (juillet-décembre 2018)

3.3. Comparaison des paramètres de longueur et du poids

3.3.1. Longueur totale (Lt)

D'un point de vue global, la comparaison de la longueur totale chez les mâles et femelles de l'échantillon global, montre que les femelles présentent une Lt min de 37 mm contre 31 mm pour les mâles et une Lt max de 120 mm contre 115 mm chez les mâles. La moyenne est aussi plus élevée chez les femelles avec une valeur de 86,882 mm par rapport aux mâles dont la moyenne est de 85,097 mm, une différence de 1,785 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 49) montre qu'il y a une différence significative entre la longueur totale des mâles et des femelles de l'échantillon global, avec une p-value = 0,023. Ainsi d'un point de vue global, les femelles présentent une taille supérieure aux mâles.

La comparaison détaillée de la longueur totale chez les mâles et femelles par site montre :

- Pour le site canal Nador, que les femelles présentent une Lt min de 68 mm contre 65 mm pour les mâles et une Lt max de 120 mm contre 115 mm pour les mâles. La moyenne est aussi plus élevée chez les femelles avec une valeur de 94,342 mm par rapport aux mâles dont la moyenne est de 91,482 mm, une différence de 2,86 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 50) montre qu'il y a une différence significative entre la longueur totale des mâles et des femelles, avec une p-value = 0,014. Ce qui fait qu'au niveau du site canal Nador les femelles présentent une Lt plus importante que les mâles ;
- Pour le site oued Drader, que les femelles présentent une Lt min de 37 mm contre 54 mm pour les mâles et une Lt max de 106 mm contre 101 mm pour les mâles. Dans ce cas aussi les femelles présentent une moyenne de Lt de 79,709 mm supérieure à celle des mâles qui est de 78,589 mm, avec une différence de 1,12. Cependant le test statistique (Figure 51) démontre que la différence de moyenne entre la longueur totale des mâles et celle des femelles n'est pas significative, avec une p-value = 0,319 ;
- Pour le site marais Loukkos, que les femelles présentent une Lt min de 50 mm contre 31 mm pour les mâles et une Lt max de 104 mm contre 113 mm pour les mâles. Dans ce cas, à l'inverse des deux sites précédents, c'est les mâles qui présentent une moyenne de Lt supérieure et qui est de 84,808 mm contre 82,346 mm pour les femelles, avec une différence de 2,462. Mais là aussi, comme l'oued Drader, le test statistique (Figure 52) démontre que la différence de moyenne entre la longueur totale des mâles et des femelles n'est pas significative, avec une p-value = 0,106.

D'après la comparaison par site, il s'avère que la différence entre Lt mâles et femelles, démontrée par le test statistique pour l'échantillon global, est due à celle qui existe entre les deux sexes au niveau du site canal Nador. En effet, les tests ont révélé qu'il n'y avait pas de différence entre mâles et femelles pour les autres. Donc la différence est spécifique au site canal Nador et ne constitue pas une caractéristique générale pour les écrevisses de Louisiane au Maroc.

La comparaison détaillée de la longueur totale par site, montre que le site canal Nador présente une Lt min de 65 mm contre 37 mm pour le site de l'oued Drader et 31 mm pour le site du marais Loukkos et une Lt max de 120 mm contre 106 mm pour le site de l'oued Drader et 113 mm pour le site du marais Loukkos, avec respectivement des moyennes de 93,241 mm, 79,22 mm, 83,767 mm. Ceci nous rappelle l'hypothèse formulée précédemment, à savoir que les écrevisses dont la Lt la plus grande sont celles de canal Nador, ensuite viendraient celle du marais Loukkos et enfin oued Drader. Effectivement cette hypothèse s'est avérée juste, le test statistique de comparaison (Figure 53), la confirme avec des différences très significatives entre tous les sites, ce qui correspond à des p-values $< 0,0001$ pour tous les tests (Tableau 12). Ainsi on peut dire, que les écrevisses du site canal Nador sont caractérisées par une Lt significativement supérieure à celle du site marais Loukkos et oued Drader. Viennent ensuite les écrevisses du marais Loukkos qui sont caractérisées par une Lt significativement inférieure à celle du site canal Nador et significativement supérieure à celle du site de l'oued Drader. Enfin, les écrevisses de l'oued Drader sont caractérisées par une Lt significativement inférieure aux deux autres sites.

La comparaison des Lt par mois pour le site de canal Nador (Tableau 13) suggère la classification dans un ordre décroissant, du mois avec la moyenne de Lt la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lt la plus faible. Ce qui donne, mars > janvier > mai > février > juillet > septembre > août > novembre > octobre > décembre > avril > juin. La vérification de cette classification avec la prise en compte des tests statistiques de comparaison (Figure 54 et des p-value : Tableau 14) permet de tirer pour chaque mois les constatations suivantes :

- Le mois de mars présente une Lt significativement plus élevée par rapport aux autres mois sauf pour janvier et mai avec lesquels il ne présente pas de différence significative ;
- Le mois de janvier présente une Lt significativement plus élevée par rapport au mois d'août ainsi que les autres mois qui viennent après dans la classification par moyenne. Concernant les autres mois, il n'y a aucune différence significative observée ;

- Le mois de mai présente une Lt significativement plus élevée par rapport au mois d’octobre ainsi que les autres mois qui viennent après dans la classification par moyenne. Pour les autres mois même ceux dont la moyenne est plus élevée, aucune différence significative n’est notée ;
- Le mois de février, comme le mois de mai, présente une Lt significativement plus élevée par rapport au mois d’octobre ainsi que les autres mois qui viennent après dans la classification par moyenne. Aucune différence significative n’est notée avec les autres mois incluant ceux dont la moyenne est plus élevée. Sauf pour le mois de mars avec lequel février présente une Lt significativement inférieure ;
- Le mois de juillet présente une Lt significativement plus petite que le mois de mars et une Lt significativement plus élevée que les mois d’avril, octobre et juin. Concernant les autres mois il n'y a pas de différence significative à noter ;
- Le mois de septembre présente une Lt significativement plus petite que le mois de mars et une Lt significativement plus élevée que les mois d’avril et juin. Pour les autres mois il n'y a pas de différence significative à noter ;
- Le mois d’août présente une Lt significativement plus petite que les mois de mars et janvier et une Lt significativement plus grande que les mois d’avril et juin. Avec aucune différence significative entre les Lt des autres mois ;
- Le mois de novembre présente une Lt significativement plus petite que le mois de mars et janvier et une Lt significativement plus grande que le mois de juin. Et ainsi aucune différence significative avec les Lt des autres mois ;
- Le mois d’octobre présente une Lt significativement plus petite que les mois de mars, janvier, mai, février et juillet, et une Lt significativement plus grande que le mois de juin. Et aucune différence significative avec les Lt des autres mois ;
- Le mois de décembre présente une Lt significativement plus petite que les mois de mars, janvier, mai et février, et une Lt significativement plus grande que le mois de juin. Et aucune différence significative avec les Lt des autres mois ;
- Le mois d’avril présente une Lt significativement plus petite que les mois se trouvant dans la classification entre mars et aout, et une Lt significativement plus grande que le mois de juin. Pour les autres mois aucune différence significative n’est enregistrée ;
- Le mois de juin présente une Lt significativement plus petite que tous les autres mois ;

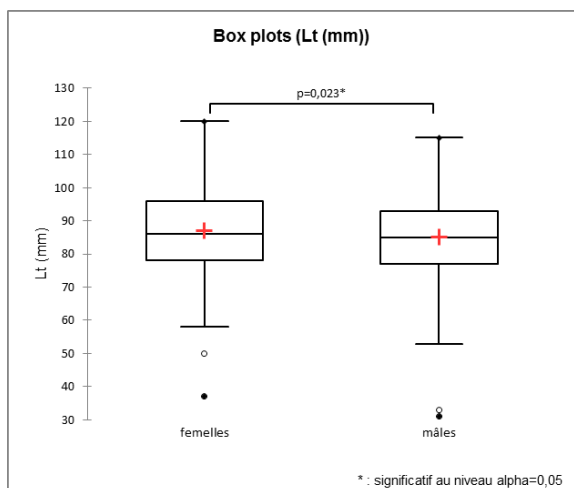


Figure 49 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global

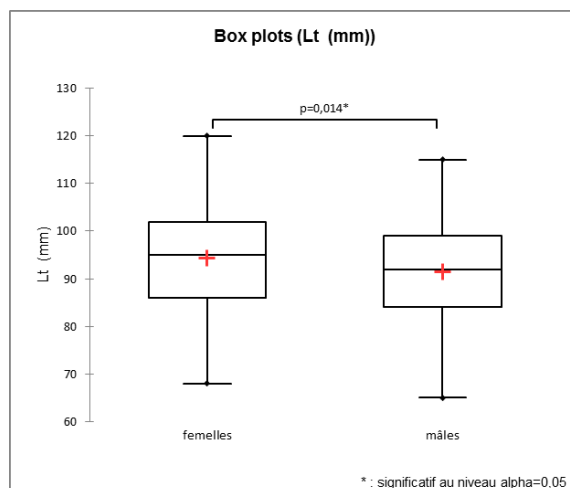


Figure 50 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site canal Nador

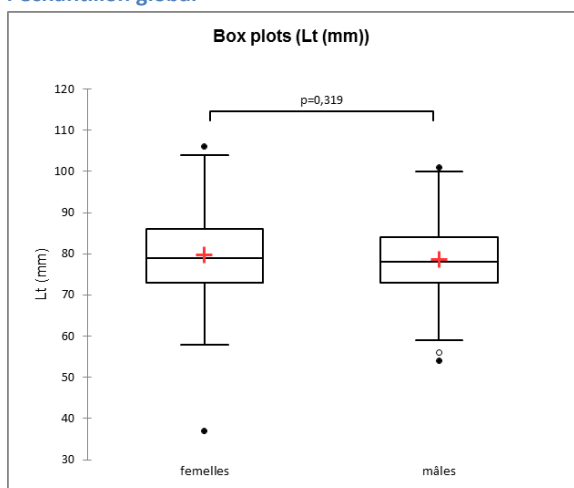


Figure 51 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site oued Drader

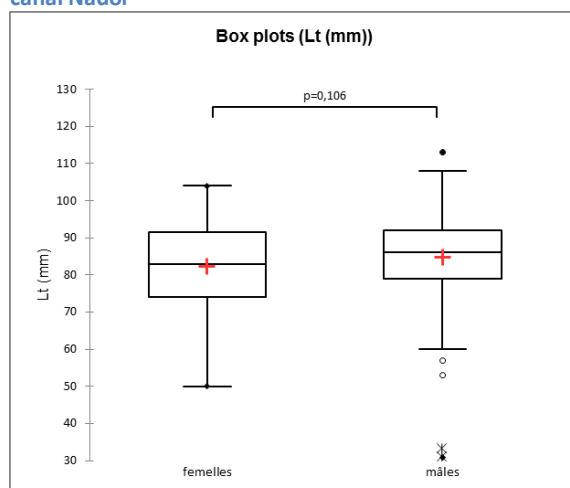


Figure 52 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre mâles et femelles du site marais Loukkos

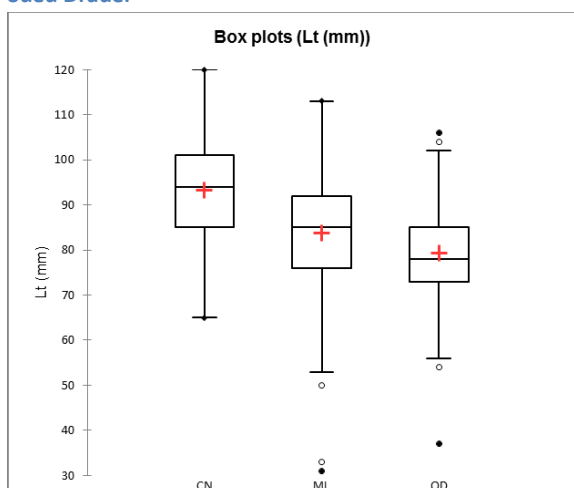


Figure 53 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Tableau 12 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	CN	ML	OD
CN	1	< 0,0001	< 0,0001
ML	< 0,0001	1	< 0,0001
OD	< 0,0001	< 0,0001	1

D'après la comparaison il s'avère que les mois de janvier, février, mars et mai présentent des valeurs de Lt significativement plus grande par rapport aux autres mois. Quant aux valeurs

significativement les plus petites par rapport aux autres mois, elles correspondent aux mois d'avril et juin.

La comparaison des Lt par moi pour le site de l'oued Drader (Tableau 13 ; Figure 54) suggère la classification dans un ordre décroissant, du mois avec la moyenne de Lt la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lt la plus faible. Ce qui permet d'organiser les mois selon la disposition suivante, février > août > janvier > mars > décembre > octobre > juillet > avril > septembre > mai > novembre > juin. Après l'analyse approfondie de cette disposition, en prenant en compte les résultats des tests statistiques de comparaison (Figure 55 et p-value : Tableau 15), nous pouvons établir pour chaque mois les constatations suivantes :

- Le mois de février présente une Lt significativement plus grande par rapport à tous les autres mois ;
- Le mois de d'août ne présente pas de Lt significativement différente par rapport aux mois de janvier et mars. Et présente une Lt significativement plus petite par rapport au mois de février et plus grande par rapport aux autres mois ;
- Le mois de janvier ne présente pas de Lt significativement différente par rapport aux mois d'août et mars. Et présente une Lt significativement plus petite par rapport au mois de février et plus grande par rapport aux autres mois ;
- Le mois de mars présente une Lt significativement plus petite par rapport au mois de février et plus grande par rapport au mois d'avril, septembre, mai, novembre et juin. Et ainsi pas de différence significative de la Lt par rapport aux autres mois ;
- Le mois de décembre présente une Lt significativement plus petite par rapport aux mois de février, août et janvier et plus grande par rapport au mois de novembre et juin, Et pas de différence significative de la Lt par rapport aux autres mois ;
- Le mois d'octobre, comme décembre, présente une Lt significativement plus petite par rapport aux mois de février, août et janvier et plus grande par rapport au mois de novembre et juin, Et pas de différence significative de la Lt par rapport aux autres mois ;
- Le mois de juillet, à l'instar des mois de décembre et octobre, présente une Lt significativement plus petite par rapport aux mois de février, août et janvier et plus grande par rapport aux mois de novembre et juin, et pas de différence significative de la Lt par rapport aux autres mois ;

- Les mois d’avril, septembre et mai présentent une Lt significativement plus petite par rapport aux mois de février, août, janvier et mars. Et pas de différence significative de la Lt ni entre eux ni par rapport aux autres mois ;
- Les mois de novembre et juin présentent une Lt significativement plus petite par rapport aux mois de février, août, janvier, mars, décembre, octobre et juillet et pas de différence significative de la Lt ni entre eux ni par rapport aux autres mois ;

D’après la comparaison il s’avère que les mois de janvier, février, mars et août présentent des valeurs de Lt significativement les plus grandes par rapport aux autres mois de l’année. Quant aux valeurs significativement les plus petites par rapport aux autres mois, elles correspondent aux mois de novembre et juin.

La comparaison des Lt par mois pour le site du marais Loukkos (Tableau 13) suggère une organisation dans un ordre décroissant, du mois avec la moyenne de Lt la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lt la plus faible. Ceci permet d’établir la succession suivante, juillet > juin > septembre > août > mars > novembre > mai > avril > février > octobre. L’analyse de cette organisation en prenant en compte les tests statistiques de comparaison (Figure 56 et p-value : Tableau 16) permet d’établir pour chaque mois les constatations suivantes :

- Le mois de juillet ne présente pas de Lt significativement différente par rapport aux mois de juin et septembre. Et présente une Lt significativement plus grande par rapport aux autres mois ;
- Les mois de juin et septembre présentent une Lt significativement plus grande que les mois de février et octobre. Aucune différence significative de la Lt n’est observée avec les autres mois ni entre juin et septembre ;
- Les mois d’août et mars présentent une Lt significativement plus petite par rapport au mois de juillet et plus grande par rapport aux mois de février et octobre. Et ainsi pas de différence significative de la Lt par rapport aux autres mois ni entre eux (août et mars) ;
- Les mois de novembre et mai présentent une Lt significativement plus petite par rapport au mois de juillet et plus grande par rapport au mois d’octobre. Aucune différence significative de la Lt n’est à signaler par rapport aux autres mois ni entre eux (novembre et mai) ;
- Le mois d’avril, comme le mois d’août et mars, présente une Lt significativement plus petite par rapport au mois de juillet et plus grande par rapport au mois de février et

octobre. Aucune différence significative de la Lt n'est à signaler par rapport aux autres mois ni entre eux (novembre et mai) ;

- Le mois de février ne présente pas de Lt significativement différente par rapport aux mois de novembre, mai et octobre. Et présente une Lt significativement plus petite par rapport aux autres mois ;
- Le mois d'octobre ne présente pas de Lt significativement différente par rapport aux mois de février. Et présente une Lt significativement plus petite par rapport aux autres mois ;

D'après la comparaison il s'avère que les mois de juillet, juin et septembre présentent des valeurs de Lt significativement plus grande par rapport aux autres mois. Quant aux valeurs significativement les plus petites par rapport aux autres mois, elles correspondent aux mois de février et octobre.

D'un point de vue général les mois avec les Lt les plus grandes sont les mois qui constituent le premier trimestre de l'année (janvier, février et mars). Aussi, le mois de juin est celui qui présente la Lt la plus petite. Cette situation concerne la zone du Gharb, à savoir, les sites de canal Nador et l'oued Drader. Concernant le site du marais du Loukkos, on peut dire que la tendance est plus ou moins inversée. En effet, février faisant partie des mois avec les Lt les plus petites et juin des mois avec les Lt les plus grandes.

Tableau 13 : Moyennes en mm des longueurs totales (Lt) par site et par mois organisées par ordre décroissant

Canal Nador		Oued Drader		Marais Loukkos	
Mois	Moyenne (mm)	Mois	Moyenne (mm)	Mois	Moyenne (mm)
Mars	101,033	Février	92,706	Juillet	92,033
Janvier	99	Août	87,483	Juin	87,2
Mai	97,167	Janvier	84,708	Septembre	87,045
Février	96,067	Mars	84,048	Août	84,905
Juillet	94,967	Décembre	78,933	Mars	84,69
Septembre	94,333	Octobre	78,733	Novembre	83,5
Août	93,6	Juillet	77,455	Mai	83,233
Novembre	91,8	Avril	76,8	Avril	82,647
Octobre	89,433	Septembre	76,433	Février	75,786
Décembre	89,367	Mai	76,133	Octobre	73,133
Avril	88,733	Novembre	72,8	Janvier	-
Juin	83,2	Juin	72,6	Décembre	-

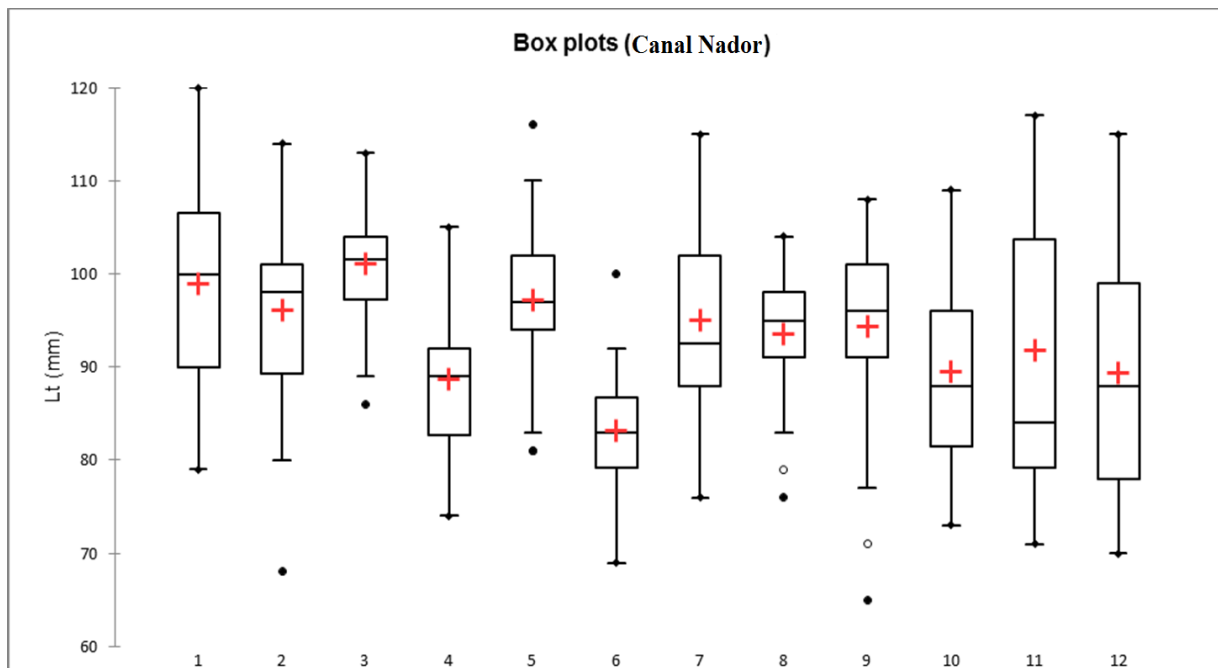


Figure 54 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site de canal Nador

Tableau 14 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site de canal Nador, en vert les p-value indiquant une différence significative

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,252	0,369	< 0,0001	0,455	< 0,0001	0,126	0,020	0,080	0,001	0,03	0,002
2	0,252	1	0,022	0,002	0,637	0,0001	0,660	0,250	0,492	0,010	0,19	0,022
3	0,369	0,022	1	< 0,0001	0,056	0,0001	0,007	< 0,0001	0,004	< 0,0001	0,003	< 0,0001
4	< 0,0001	0,002	0,0001	1	0,000	0,004	0,009	0,013	0,019	0,763	0,32	0,814
5	0,455	0,637	0,056	0,000	1	0,0001	0,361	0,081	0,244	0,002	0,09	0,006
6	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,004	0,0001	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,006	0,00	0,019
7	0,126	0,660	0,007	0,009	0,361	0,0001	1	0,537	0,807	0,035	0,33	0,059
8	0,020	0,250	< 0,0001	0,013	0,081	0,0001	0,537	1	0,743	0,065	0,55	0,109
9	0,080	0,492	0,004	0,019	0,244	0,0001	0,807	0,743	1	0,063	0,44	0,094
10	0,001	0,010	0,0001	0,763	0,002	0,006	0,035	0,065	0,063	1	0,47	0,982
11	0,033	0,191	0,003	0,324	0,094	0,005	0,338	0,552	0,445	0,474	1	0,497
12	0,002	0,022	0,0001	0,814	0,006	0,019	0,059	0,109	0,094	0,982	0,49	1

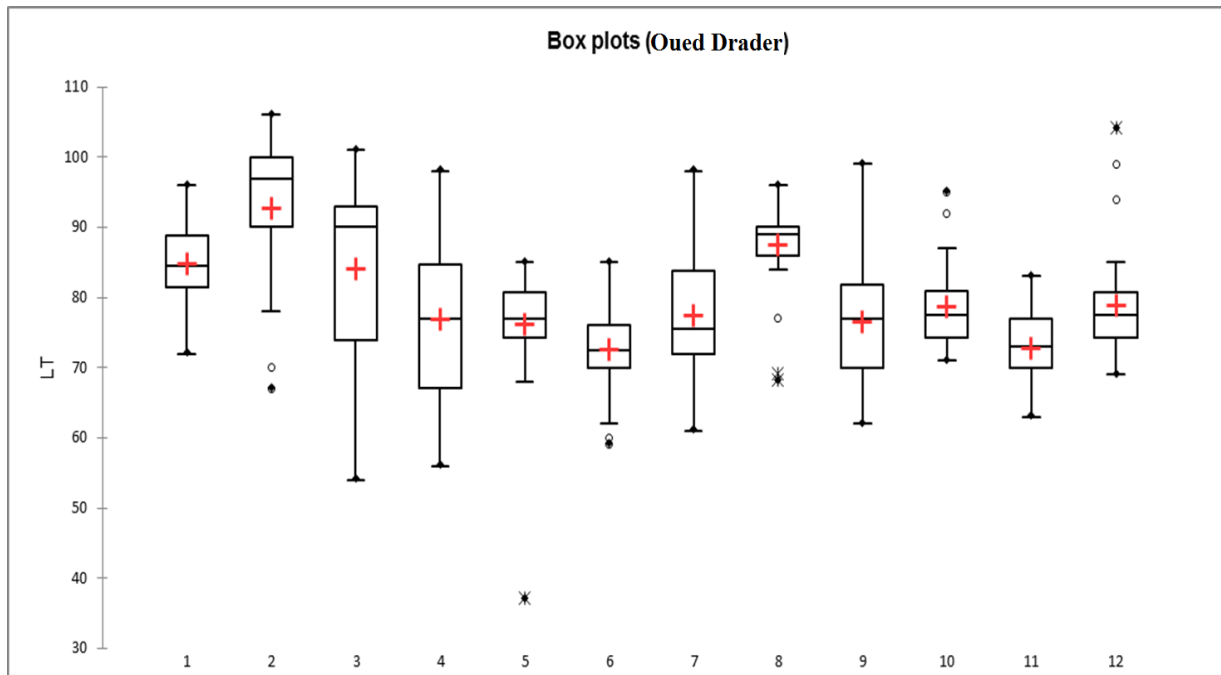


Figure 55 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site de l’oued Drader

Tableau 15 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site de l’oued Drader

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	0,005	0,825	0,004	0,000	<	0,0001	0,004	0,112	0,000	0,000	0,0001	<
2	0,005	1	0,037	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,049	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3	0,825	0,037	1	0,043	0,012	0,000	0,071	0,226	0,017	0,055	0,0001	<	0,090
4	0,004	0,0001	0,043	1	0,802	0,089	0,833	0,0001	0,891	0,420	0,089	0,412	<
5	0,000	0,0001	0,012	0,802	1	0,076	0,613	0,0001	0,895	0,175	0,070	0,197	<
6	0,0001	0,0001	0,000	0,089	0,076	1	0,039	0,0001	0,061	0,000	0,893	0,001	0,001
7	0,004	0,0001	0,071	0,833	0,613	0,039	1	0,0001	0,701	0,567	0,033	0,559	<
8	0,112	0,049	0,226	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
9	0,000	0,0001	0,017	0,891	0,895	0,061	0,701	0,0001	1	0,241	0,056	0,258	<
10	0,000	0,0001	0,055	0,420	0,175	0,000	0,567	0,0001	0,241	1	0,0001	0,913	<
11	<	<	<	0,089	0,070	0,893	0,033	0,0001	0,056	0,0001	1	0,001	0,001
12	0,005	0,0001	0,090	0,412	0,197	0,001	0,559	0,0001	0,258	0,913	0,001	1	<

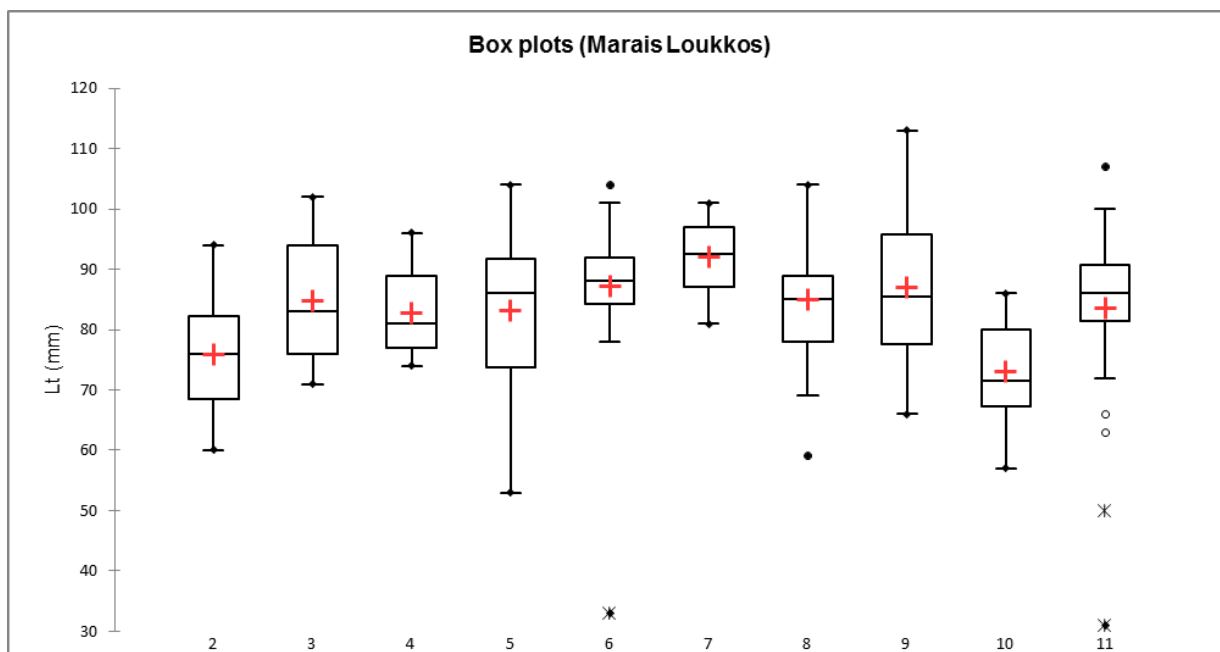


Figure 56 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lt (mm) entre les mois du site du marais Loukkos

Tableau 16 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lt entre les mois pour le site du marais Loukkos

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	0,008	0,024	0,065	0,003	< 0,0001	0,014	0,006	0,344	0,089
3	0,008	1	0,456	0,635	0,386	0,001	0,942	0,452	< 0,0001	0,725
4	0,024	0,456	1	0,865	0,157	< 0,0001	0,455	0,191	0,000	0,828
5	0,065	0,635	0,865	1	0,229	0,001	0,634	0,295	0,001	0,943
6	0,003	0,386	0,157	0,229	1	0,052	0,487	0,964	< 0,0001	0,301
7	< 0,0001	0,001	< 0,0001	0,001	0,052	1	0,004	0,056	< 0,0001	0,006
8	0,014	0,942	0,455	0,634	0,487	0,004	1	0,547	< 0,0001	0,718
9	0,006	0,452	0,191	0,295	0,964	0,056	0,547	1	< 0,0001	0,374
10	0,344	< 0,0001	0,000	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	0,002
11	0,089	0,725	0,828	0,943	0,301	0,006	0,718	0,374	0,002	1

3.3.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)

D'un point de vue global, la comparaison de la longueur du céphalothorax chez les mâles et les femelles de l'échantillon global, montre que les femelles présentent une Lcpx min de 17 mm contre 14 mm pour les mâles et une Lt max de 66 mm contre 63 mm chez les mâles. La

moyenne est aussi légèrement élevée chez les femelles avec une valeur de 46,047 mm par rapport aux mâles dont la moyenne est de 45,801mm, une différence de 0,246 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 57) montre que globalement il n'y a pas de différence significative entre la Lcpx des mâles et des femelles, avec une p-value = 0,574. Ainsi les mâles et femelles présentent une Lcpx plus ou moins similaire.

La comparaison détaillée de la Lcpx chez les mâles et femelles par site montre :

- Pour le site canal Nador, que les femelles présentent une Lcpx min de 34 mm contre 35 mm pour les mâles et une Lcpx max de 65 mm contre 63 mm pour les mâles. La moyenne est légèrement plus élevée chez les femelles avec une valeur de 50,203 mm par rapport aux mâles dont la moyenne est de 49,525 mm, une différence de 0,678 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 58) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre la longueur totale des mâles et des femelles, avec une p-value = 0,299 ;
- Pour le site oued Drader, que les femelles présentent une Lcpx min de 17 mm contre 29 mm pour les mâles et une Lcpx max de 56 mm contre 55 mm pour les mâles. Dans ce cas aussi les femelles présentent une moyenne de Lcpx de 42,143 mm légèrement supérieure à celle des mâles qui est de 42,071 mm, avec une différence de 0,72 mm. Comme pour le site canal Nador, là aussi le test statistique (Figure 59) démontre que la différence de Lcpx entre les mâles et les femelles n'est pas significative, avec une p-value = 0,909 ;
- Pour le site marais Loukkos, que les femelles présentent une Lcpx min de 24 mm contre 14 mm pour les mâles et une Lcpx max de 56 mm contre 60 mm pour les mâles. Dans ce cas, à l'inverse des deux sites précédents, c'est les mâles qui présentent une moyenne de Lcpx supérieure et qui est de 45,582 mm contre 43,346 mm pour les femelles, avec une différence de 2,236 mm. Ce qui représente l'écart le plus élevé des trois sites. Ajoutant à cela que le test statistique (Figure 60) démontre que la différence entre la Lcpx des mâles et des femelles est significative, avec une p-value = 0,006.

D'après la comparaison par site, il s'avère que l'absence de différence de Lcpx entre mâles et femelles, démontrée par le test statistique pour l'échantillon global, est due au fait que c'est le cas pour les sites de canal Nador et oued Drader. Mais cela n'empêche, que le site marais Loukkos présente une différence significative de la Lcpx entre mâles et femelles avec une Lcpx plus grande chez les mâles. Comme la différence dans la Lt entre mâles et femelles

observée au site canal Nador, dans ce cas aussi la différence dans la Lcpx entre mâles et femelles reste spécifique à un site, mais cette fois il s'agit de celui du marais Loukkos.

La comparaison détaillée de la Lcpx par site, montre que le site canal Nador présente une Lcpx min de 34 mm contre 14 mm pour le site de l'oued Drader et 17 mm pour le site du marais Loukkos, et une Lcpx max de 65 mm contre 60 mm pour le site de l'oued Drader et 56 mm pour le site du marais Loukkos, avec respectivement des moyennes de 49,942 mm, 42,111 mm, 44,636 mm. Ceci renforce l'hypothèse formulée précédemment, à savoir qu'il y aurait une différence significative de Lcpx entre les écrevisses des différents sites. Réellement cette hypothèse s'est avérée juste, le test statistique de comparaison (Figure 61), la confirme avec des différences très significatives entre tous les sites, ce qui correspond à des p-values < **0,0001** pour tous les tests (Tableau 17). Ainsi on peut dire, que les écrevisses du site canal Nador sont caractérisées par une Lcpx significativement supérieure à celle des sites marais Loukkos et oued Drader. Viennent ensuite les écrevisses du marais Loukkos qui sont caractérisées par une Lcpx significativement inférieure à celle du site canal Nador et significativement supérieure à celle du site de l'oued Drader. Enfin, les écrevisses de l'oued Drader sont caractérisées par une Lcpx significativement inférieure aux deux autres sites. Ce constat est le même que celui de la Lt avec la même classification des sites de la Lt la plus grande à la plus petites avec des résultats identiques pour les tests statistiques. Ceci nous amène à l'hypothèse que l'évolution des deux paramètres (Lt et Lcpx) serait liée.

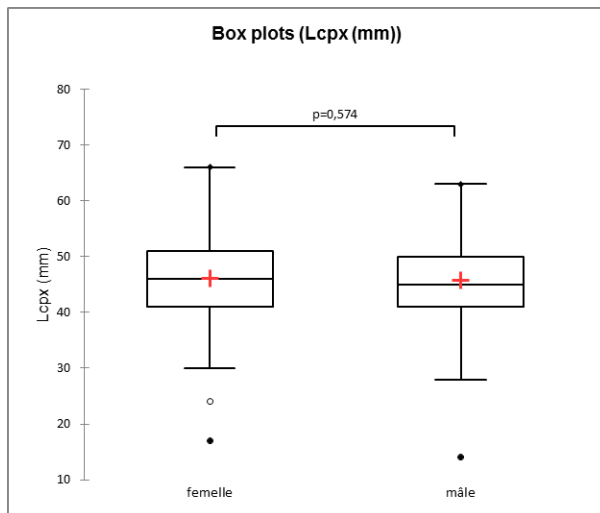


Figure 57 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global

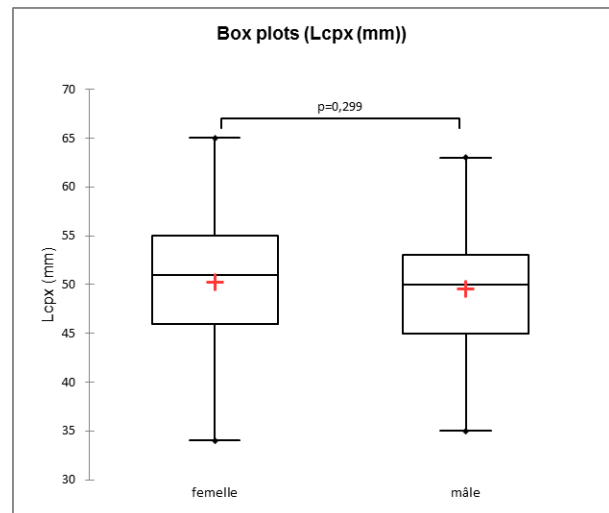


Figure 58 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site canal Nador

Pour comparer les Lcpx par mois pour le site canal Nador nous avons commencé par établir une classification selon la moyenne (Tableau 18) dans un ordre décroissant, du mois avec la moyenne de Lcpx la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lt la plus faible. Ceci donne le

classement suivant, mars > janvier > mai > février > juillet > août > septembre > novembre > décembre > avril > octobre > juin. Cette classification correspond, avec quelques légères différences, à celle des moyennes de la Lt pour le même site. L'analyse de ce classement en prenant en compte les tests statistiques de comparaison (Figure 62 et p-value : Tableau 19) permet d'établir les constatations suivantes :

- Globalement les mois présentant les valeurs de Lcpx significativement les plus grandes par rapport aux autres mois sont mars et janvier. Les mois avec les valeurs de Lcpx significativement les plus petites par rapport aux autres mois sont avril, octobre et juin ;
- Le mois de mars présente des valeurs de Lcpx plus grandes avec une différence significative par rapport à tous les autres mois sauf janvier ;
- Le mois de juin présente des valeurs de Lcpx plus petites avec une différence significative par rapport à tous les autres mois ;

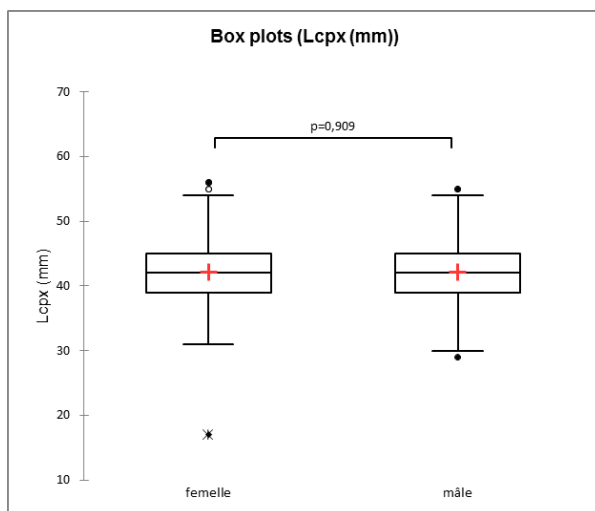


Figure 59 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site oued Drader

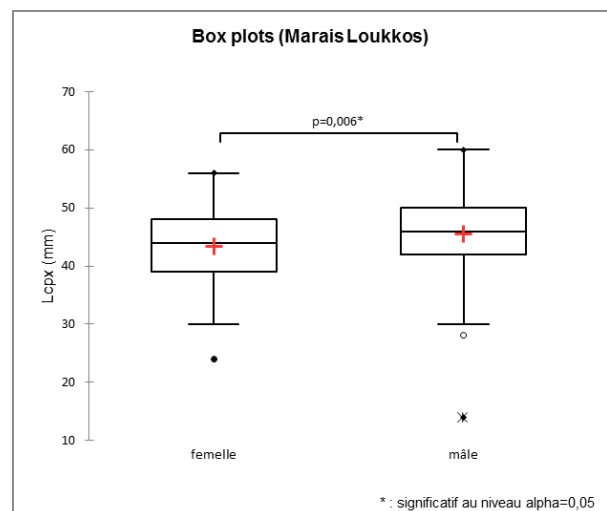


Figure 60 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre mâles et femelles du site marais Loukkos

Pour la comparaison des Lcpx par mois pour l'oued Drader, nous avons commencé par établir une succession (Tableau 18), du mois avec la moyenne de Lcpx la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lt la plus faible. Ceci donne le classement dans l'ordre suivant, février > août > janvier > mars > décembre > octobre > juillet > avril > septembre > mai > juin > novembre. Cette classification correspond presque parfaitement, à celle des moyennes de la Lt pour le même site. L'intégration, dans l'analyse de ce classement, des tests statistiques de comparaison (Figure 63 et p-value : Tableau 20) permet de constater que :

- Globalement les mois présentant les valeurs de Lcpx significativement les plus grandes par rapport aux autres mois sont février, août et janvier. Les mois avec les valeurs de Lcpx significativement les plus petites par rapport aux autres mois sont novembre et juin ;
- Le mois de février présente des valeurs de Lcpx plus grande avec une différence significative par rapport à tous les autres mois sauf de mars ;
- Le mois de novembre présente des valeurs de Lcpx plus petite avec une différence significative par rapport à tous les autres mois ;

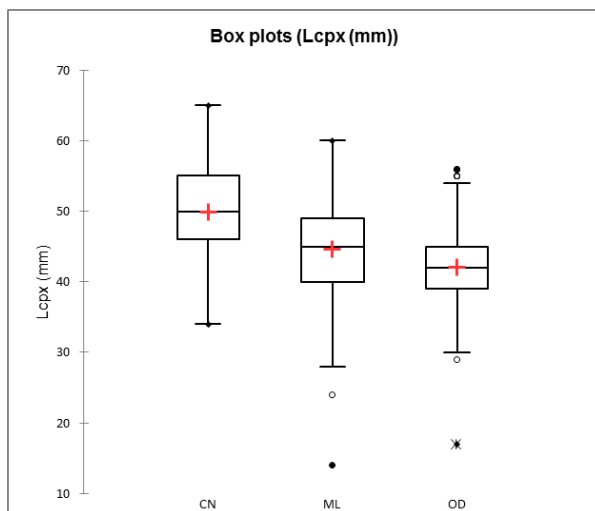


Tableau 17 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	CN	ML	OD
CN	1	< 0,0001	< 0,0001
ML	< 0,0001	1	< 0,0001
OD	< 0,0001	< 0,0001	1

Figure 61 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

La comparaison des Lcpx par moi pour le site du marais Loukkos (Tableau 18) suggère une organisation dans un ordre décroissant, du mois avec la moyenne de Lcpx la plus élevée vers le mois avec la moyenne Lcpx la plus faible. Ceci permet d'établir la succession suivante, juillet > juin > septembre > mars > août > novembre > mai > avril > février > octobre. Dans ce cas aussi, cette classification correspond presque parfaitement, à celle des moyennes de la Lt pour le même site. L'analyse de cette organisation en prenant en compte les tests statistiques de comparaison (Figure 64 et p-value : Tableau 21) permet de constater que :

- Globalement les mois présentant les valeurs de Lcpx significativement les plus grandes par rapport aux autres mois sont juillet et juin. Les mois avec les valeurs de Lcpx significativement les plus petites par rapport aux autres mois sont février et octobre ;
- Le mois de juillet présente des valeurs de Lcpx les plus grandes avec une différence significative par rapport à tous les autres mois sauf juin et septembre ;

- Le mois d'octobre présente des valeurs de Lcpx plus petites avec une différence significative par rapport à tous les autres mois sauf février.

Tableau 18 : Moyennes en mm des longueurs du céphalothorax (Lcpx) par site et par mois organisées par ordre décroissant

Canal Nador		Oued Drader		Marais Loukkos	
Mois	Moyenne (mm)	Mois	Moyenne (mm)	Mois	Moyenne (mm)
Mars	54,533	Février	49,588	Juillet	48,467
Janvier	53,226	Août	46,31	Juin	48
Mai	51,733	Janvier	45,292	Septembre	46,636
Février	51,4	Mars	45,286	Mars	45,448
Juillet	51,333	Décembre	42,4	Août	45,19
Août	50,167	Octobre	41,733	Novembre	44,5
Septembre	50,067	Juillet	41,591	Mai	44
Novembre	48,9	Avril	40,933	Avril	43,529
Décembre	48,067	Septembre	40,1	Février	39,857
Avril	47,6	Mai	40,067	Octobre	38,433
Octobre	47,4	Juin	38,467	Janvier	-
Juin	44,767	Novembre	38,4	Décembre	-

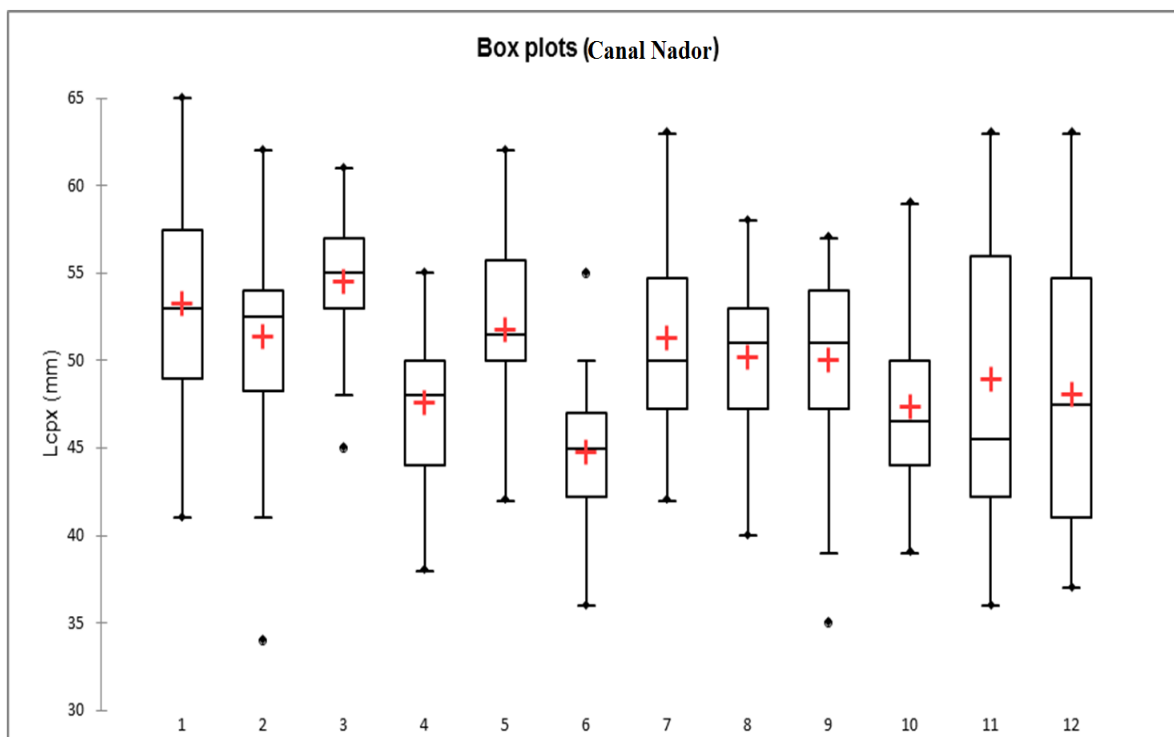


Figure 62 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les mois du site canal Nador

Tableau 19 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcp_x entre les mois pour le site de canal Nador, en vert les p-value indiquant une différence significative

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,213	0,297	0,0001	0,287	0,0001	0,204	0,022	0,031	0,000	0,02	0,003
2	0,213	1	0,012	0,004	0,808	0,0001	0,964	0,336	0,347	0,006	0,17	0,049
3	0,297	0,012	1	0,0001	0,017	0,0001	0,013	0,0001	0,000	0,0001	0,00	0,0001
4	0,0001	0,004	0,0001	1	0,001	0,009	0,006	0,023	0,054	0,874	0,44	0,761
5	0,287	0,808	0,017	0,001	1	0,0001	0,775	0,197	0,219	0,002	0,11	0,026
6	0,0001	0,0001	0,0001	0,009	0,0001	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,034	0,01	0,030
7	0,204	0,964	0,013	0,006	0,775	0,0001	1	0,373	0,380	0,008	0,19	0,056
8	0,022	0,336	0,0001	0,023	0,197	0,0001	0,373	1	0,936	0,031	0,45	0,172
9	0,031	0,347	0,000	0,054	0,219	0,0001	0,380	0,936	1	0,059	0,51	0,225
10	0,000	0,006	0,0001	0,874	0,002	0,034	0,008	0,031	0,059	1	0,40	0,686
11	0,021	0,174	0,001	0,448	0,114	0,016	0,190	0,458	0,519	0,409	1	0,678
12	0,003	0,049	0,0001	0,761	0,026	0,030	0,056	0,172	0,225	0,686	0,67	1

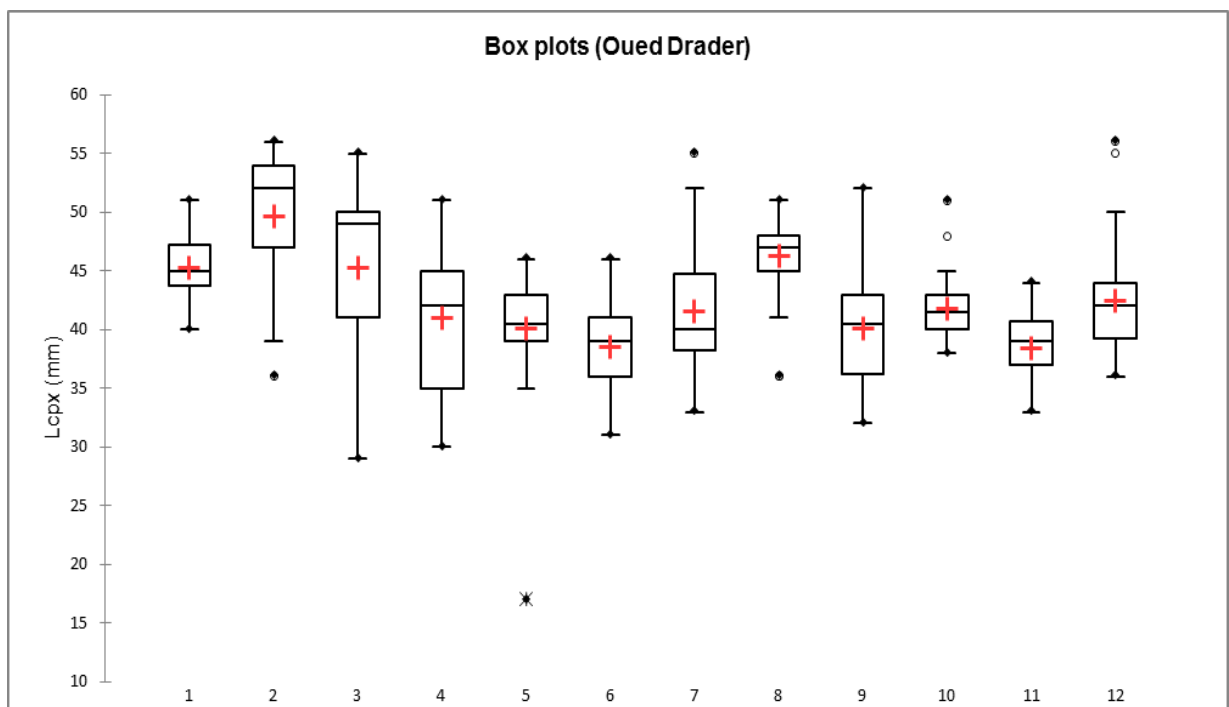


Figure 63 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcp_x (mm) entre les mois du site de l’oued Drader

Tableau 20 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcpx entre les mois pour le site de l'oued Drader, en vert les p-value indiquant une différence significative

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,005	0,997	0,003	0,0001	0,0001	< 0,00	0,288	< 0,0001	0,000	0,0001	0,012
2	0,005	1	0,062	0,0001	0,0001	0,0001	< 0,00	0,027	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3	0,997	0,062	1	0,026	0,004	0,0001	0,07	0,522	0,004	0,022	0,0001	0,094
4	0,003	0,0001	0,026	1	0,552	0,067	0,69	0,000	0,558	0,525	0,044	0,301
5	< 0,0001	< 0,0001	0,004	0,552	1	0,172	0,31	0,0001	0,979	0,128	0,120	0,068
6	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	0,067	0,172	1	0,02	< 0,0001	0,148	0,001	0,939	0,001
7	0,008	0,000	0,073	0,695	0,313	0,022	1	0,001	0,309	0,908	0,011	0,576
8	0,288	0,027	0,522	0,000	0,0001	0,0001	< 0,00	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001
9	< 0,0001	< 0,0001	0,004	0,558	0,979	0,148	0,30	< 0,0001	1	0,120	0,098	0,063
10	0,000	0,0001	0,022	0,525	0,128	0,001	0,90	< 0,0001	0,120	1	< 0,0001	0,516
11	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,044	0,120	0,939	0,01	< 0,0001	0,098	< 0,0001	1	0,000
12	0,012	0,0001	0,094	0,301	0,068	0,001	0,57	0,001	0,063	0,516	0,000	1

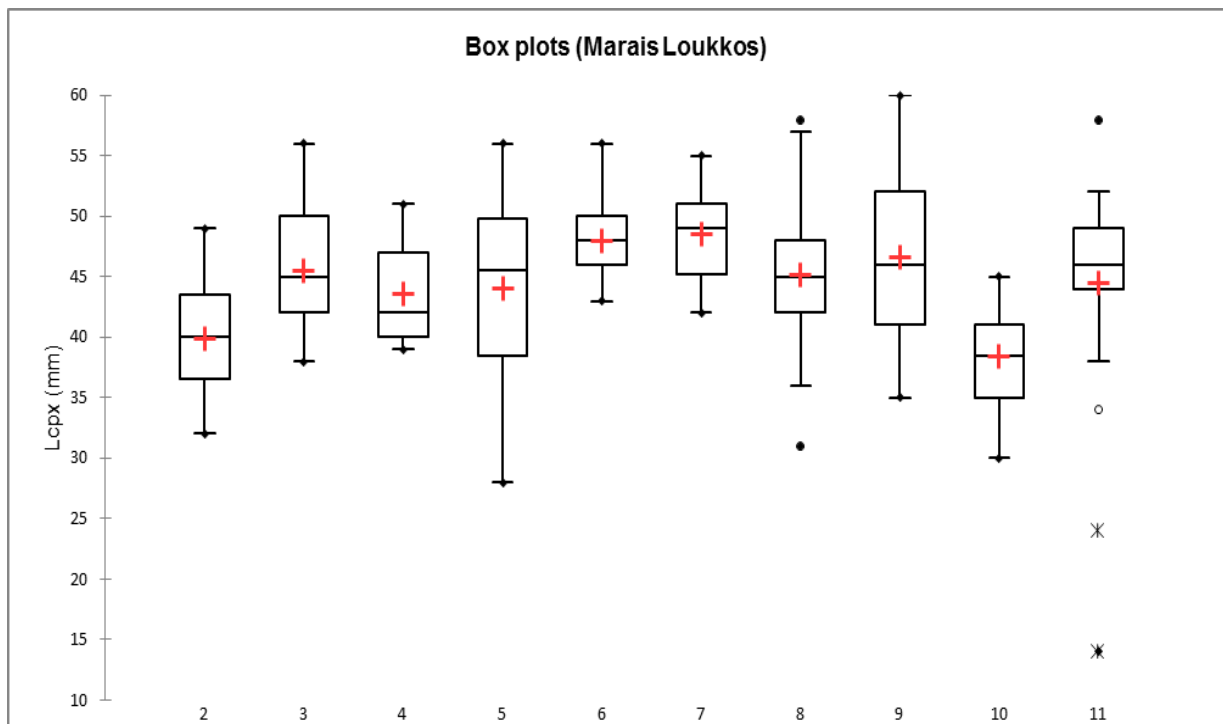


Figure 64 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lcpx (mm) entre les mois du site marais Loukkos

Tableau 21 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lcp_x entre les mois pour le site marais Loukkos, en vert les p-value indiquant une différence significative

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	0,002	0,028	0,063	< 0,0001	< 0,0001	0,012	0,003	0,330	0,063
3	0,002	1	0,207	0,393	0,027	0,011	0,877	0,491	< 0,0001	0,609
4	0,028	0,207	1	0,811	0,000	< 0,0001	0,362	0,111	0,000	0,660
5	0,063	0,393	0,811	1	0,008	0,004	0,554	0,199	0,001	0,808
6	< 0,0001	0,027	0,000	0,008	1	0,582	0,043	0,344	< 0,0001	0,038
7	< 0,0001	0,011	< 0,0001	0,004	0,582	1	0,022	0,215	< 0,0001	0,020
8	0,012	0,877	0,362	0,554	0,043	0,022	1	0,483	< 0,0001	0,754
9	0,003	0,491	0,111	0,199	0,344	0,215	0,483	1	< 0,0001	0,337
10	0,330	< 0,0001	0,000	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	0,001
11	0,063	0,609	0,660	0,808	0,038	0,020	0,754	0,337	0,001	1

3.3.3. Longueur du périopode I (LPT1)

La comparaison de la longueur du périopode I (LPT1) par site, montre que le site canal Nador présente une LPT1 min de 31 mm contre 24 mm pour le site de l'oued Drader et 27 mm pour le site du marais Loukkos, et une LPT1 max de 114 mm contre 95 mm pour le site de l'oued Drader et 109 mm pour le site du marais Loukkos, avec respectivement des moyennes de 68,704 mm, 53,221 mm, 60,672 mm. Ceci nous rappelle la comparaison des Lt et Lcp_x faites précédemment, et qui ont démontré que pour les deux paramètres, le site canal Nador présente les valeurs les plus grandes, vient ensuite le site marais Loukkos et enfin le site oued Drader. Ce classement se confirme pour ce paramètre aussi. D'après le test statistique de comparaison (Figure 65), il y a des différences très significatives entre les Lcp_x de tous les sites, ce qui correspond à des p-values < **0,0001** pour tous les tests (Tableau 22). Donc on peut dire, que les écrevisses du site canal Nador sont caractérisées par une LPT1 significativement supérieure à celle du site marais Loukkos et oued Drader. Viennent ensuite les écrevisses du marais Loukkos qui sont caractérisées par une LPT1 significativement inférieure à celle du site canal Nador et significativement supérieure à celle du site de l'oued Drader. Enfin, les écrevisses de l'oued Drader sont caractérisées par une LPT1 significativement inférieure aux deux autres sites.

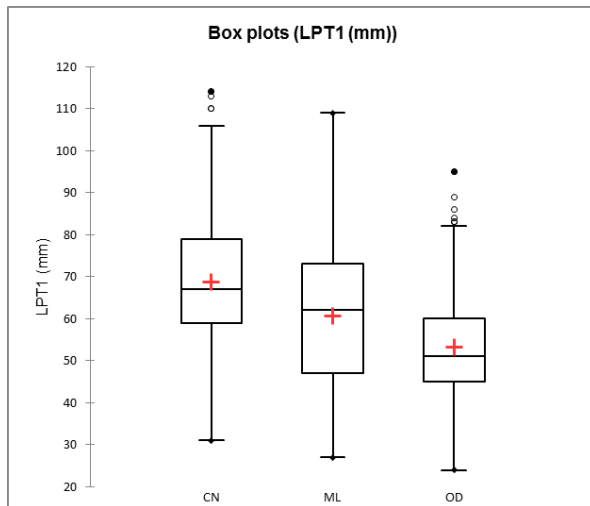


Tableau 22 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la LPT1 entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	CN	ML	OD
CN	1	< 0,0001	< 0,0001
ML	< 0,0001	1	< 0,0001
OD	< 0,0001	< 0,0001	1

Figure 65 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la LPT1 (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

L'analyse par sexe montre que d'un point de vue global, les mâles présentent une LPT1 min de 24 mm contre 27 mm pour les femelles, et une LPT1 max de 114 mm contre 93 mm pour les femelles. Avec une moyenne de 68,199 mm chez les mâles, supérieure à celle des femelles dont la valeur est de 55,551 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 66) permet d'affirmer qu'il y a une différence très significative entre LPT1 des mâles et des femelles de l'échantillon global, avec une p-value < 0,0001. Ainsi d'un point de vue global, les mâles présentent une LPT1 significativement supérieure à celle des femelles.

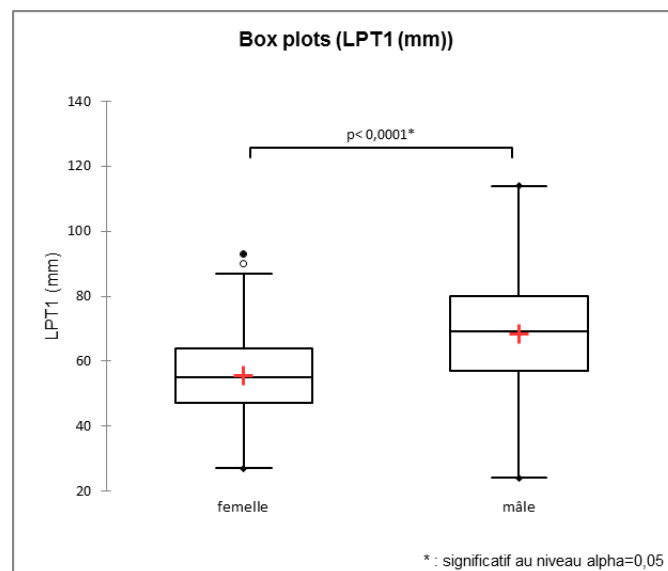


Figure 66 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la LcpX (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global

La comparaison détaillée de la LPT1 chez les mâles et femelles par site (Figure 67) montre que pour tous les sites il y a une différence très significative entre les deux sexes avec des LPT1 supérieures chez les mâles. Ceci est appuyé par des p-value $< 0,0001$ (Tableau 23) pour tous les tests. La comparaison de la LPT1 par site pour chaque sexe montre :

- Que chez les mâles, la tendance suit celle de la LPT1 globale, et ainsi il y a une différence très significative entre les différents sites avec des p-value $< 0,0001$ pour tous les tests. Avec le site canal Nador présentant des valeurs supérieures à celles du marais Loukkos et l'oued Drader. Vient ensuite le marais Loukkos avec des valeurs inférieures à celles du canal Nador et supérieures à celles de l'oued Drader. Et enfin, le site oued Drader avec les valeurs les plus petites ;
- Que chez les femelles, le site canal Nador présente une LPT1 supérieure avec une différence significative par rapport aux sites du marais Loukkos et oued Drader. Cependant, chez les femelles entre ces deux derniers sites il n'y a pas de différence significative contrairement à celle observée chez les mâles.

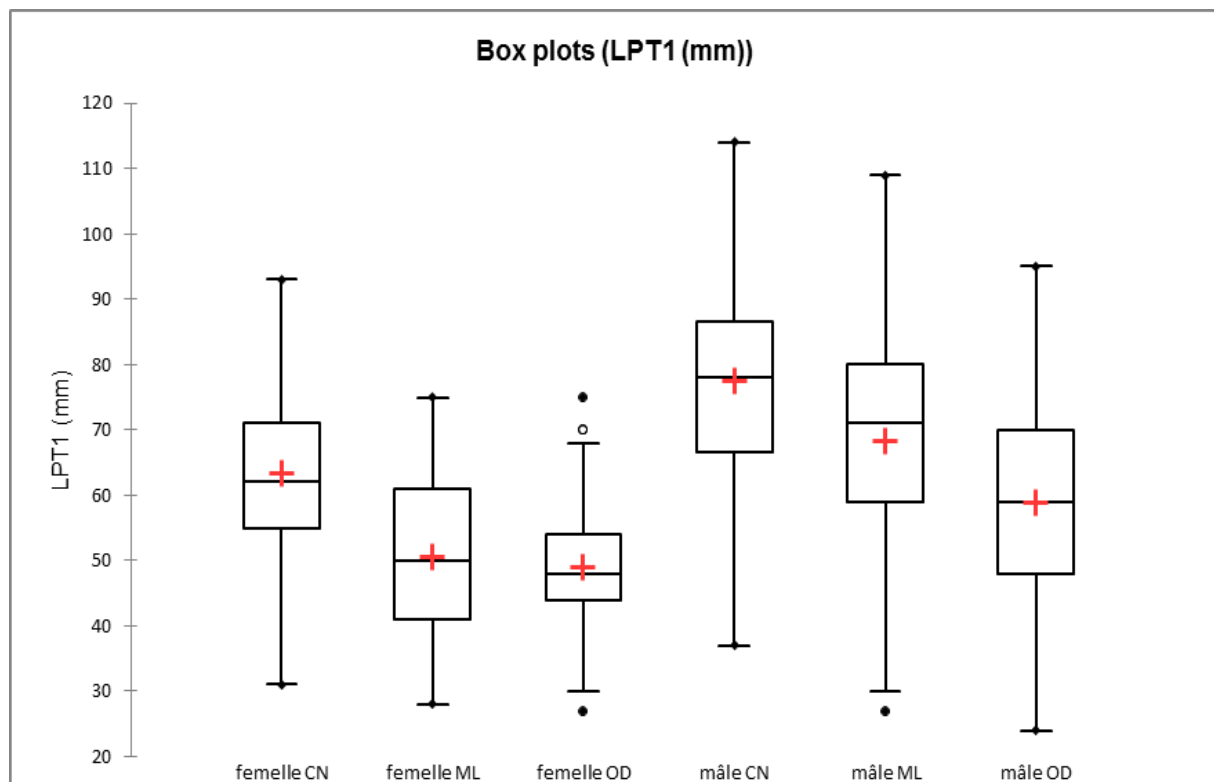


Figure 67 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la LPT1 (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Tableau 23 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la LPT1 (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	femelle CN	femelle ML	femelle OD	mâle CN	mâle ML	mâle OD
femelle CN	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001	0,001
femelle ML	< 0,0001	1	0,197	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
femelle OD	< 0,0001	0,197	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
mâle CN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001	< 0,0001
mâle ML	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001
mâle OD	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1

3.3.4. Longueur des pinces (Lp)

La comparaison de la longueur des pinces (Lp) par site, montre que le site canal Nador présente une Lp min de 17 mm contre 11 mm pour le site de l'oued Drader et 11 mm pour le site du marais Loukkos, et une Lp max de 64 mm contre 61 mm pour le site de l'oued Drader et 55 mm pour le site du marais Loukkos, avec respectivement des moyennes de 35,033 mm, 26,186 mm, 30,721 mm. Cette description rappelle celle de la LPT1, avec la même organisation des valeurs min- max et des moyennes entre les différents sites et suggère un même constat dans notre cas aussi. Ce qui se confirme pour la Lp. En effet, les tests statistiques de comparaison (Figure 68), mettent en évidence qu'il y a des différences très significatives entre les Lp de tous les sites, affichant des p-values < **0,0001** pour tous les tests (Tableau 24). On peut alors dire avec certitude, que les écrevisses du site canal Nador sont caractérisées par une Lp significativement supérieure à celle du site marais Loukkos et oued Drader. Viennent ensuite les écrevisses du marais Loukkos qui sont caractérisées par une Lp significativement inférieure à celle du site canal Nador et significativement supérieure à celle du site de l'oued Drader. Et enfin, les écrevisses de l'oued Drader sont caractérisées par une Lp significativement inférieure aux deux autres sites.

L'analyse par sexe montre que d'un point de vue global, les mâles présentent une Lp min de 11 mm contre 11 mm pour les femelles, et une Lp max de 64 mm contre 47 mm pour les femelles. Avec une moyenne de 35,458 mm chez les mâles, supérieure à celle des femelles dont la valeur est 27,067 mm. La comparaison par le test de Student (Figure 69) permet d'affirmer qu'il y a une différence très significative entre Lp des mâles et des femelles de l'échantillon global, avec une p-value < 0,0001. Ainsi d'un point de vue global, à l'instar de la LPT1 les mâles présentent une Lp significativement supérieure à celle des femelles.

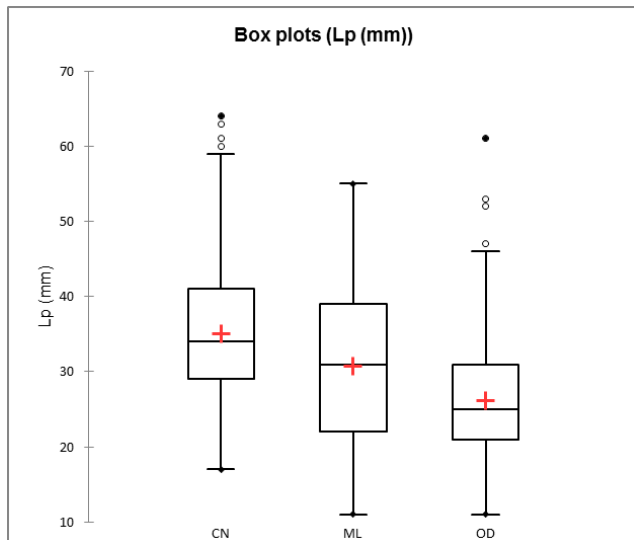


Tableau 24 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lp entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	CN	ML	OD
CN	1	< 0,0001	< 0,0001
ML	< 0,0001	1	< 0,0001
OD	< 0,0001	< 0,0001	1

Figure 68 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

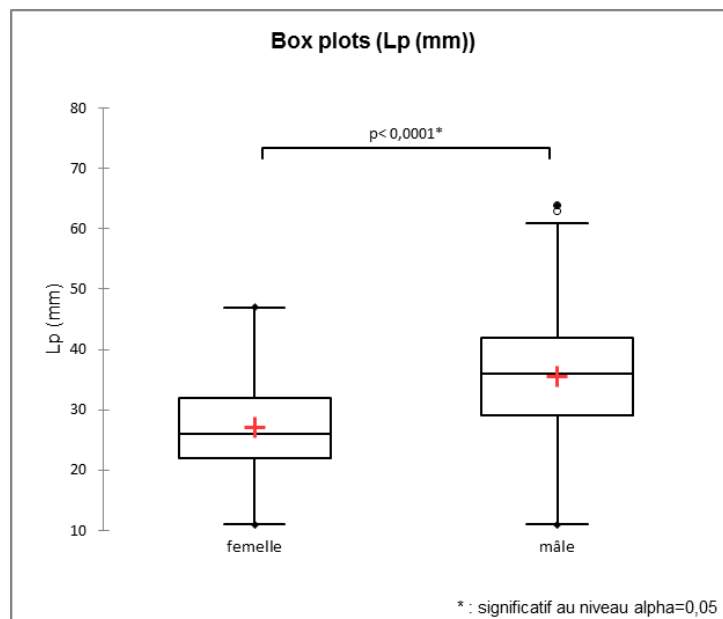


Figure 69 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre mâles et femelles de l'échantillon global

La comparaison détaillée de la Lp chez les mâles et femelles par site (Figure 70) montre une même tendance que la LPT1, ainsi pour tous les sites, il y a une différence très significative entre les deux sexes avec des Lp supérieures chez les mâles. Ceci est appuyé par des p-value < 0,0001 (Tableau 25) pour tous les tests. La comparaison de la Lp par site pour chaque sexe montre :

- Que chez les mâles, le même constat qu'au niveau de la LPT1 est observé pour la Lp. Ainsi la Lp chez les mâles suit la tendance de la Lp globale se traduisant par une différence très significative entre les trois sites avec des p-value $< 0,0001$ pour tous les tests. Le site canal Nador présente donc une Lp supérieure à celle du marais Loukkos et l'oued Drader. Vient ensuite le marais Loukkos avec une Lp inférieure à celle du canal Nador et supérieure à celle de l'oued Drader. Et enfin, le site oued Drader avec une Lp la plus petite ;
- Que chez les femelles, là aussi le même constat qu'au niveau de la LPT1 est observé pour la Lp. Et donc le site canal Nador présente une Lp supérieure avec une différence significative par rapport aux sites du marais Loukkos et oued Drader. Avec l'absence là aussi de différence significative entre les sites marais Loukkos et oued Drader.

D'après l'analyse de la comparaison de la Lp nous pouvons dire que le comportement de ce paramètre est le même que celui de la LPT1, et donc que les évolutions de la LPT1 et la Lp seraient intimement liées.

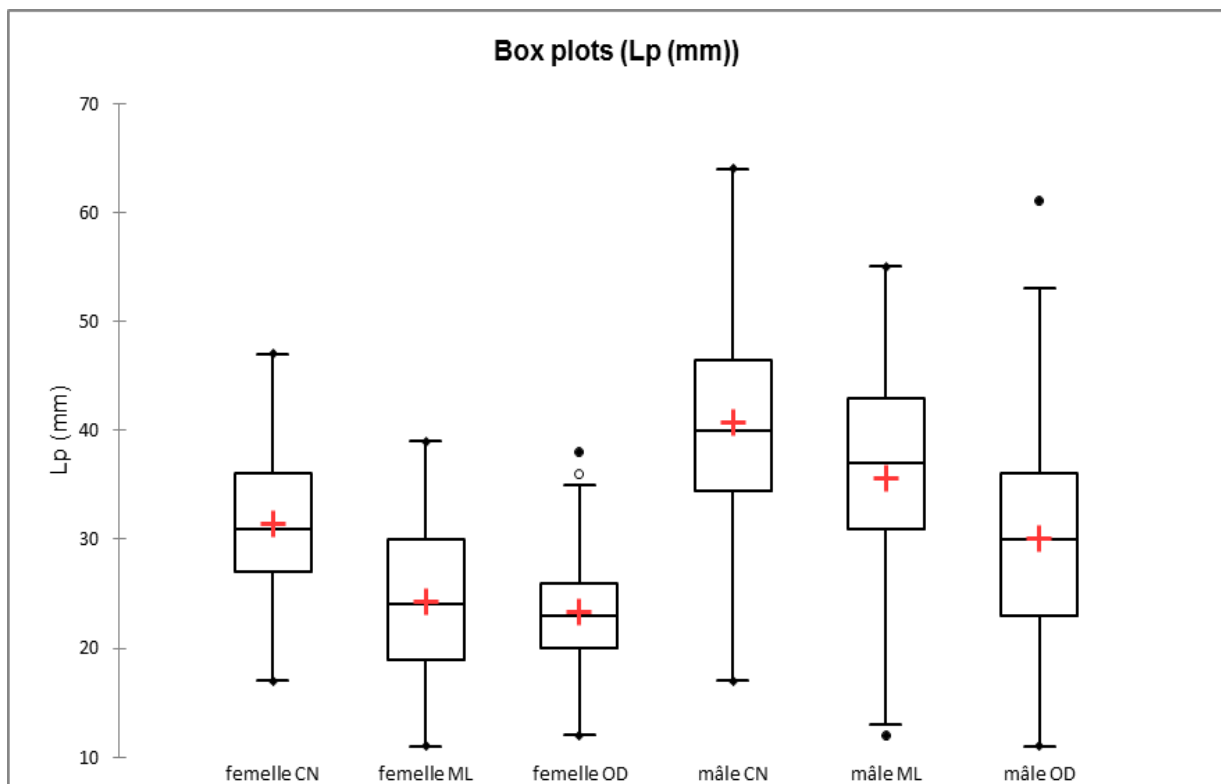


Figure 70 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison de la Lp (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Tableau 25 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique de la Lp (mm) entre mâles et femelles par sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	femelle CN	femelle ML	femelle OD	mâle CN	mâle ML	mâle OD
femelle CN	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,072
femelle ML	< 0,0001	1	0,125	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
femelle OD	< 0,0001	0,125	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
mâle CN	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001	< 0,0001
mâle ML	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001
mâle OD	0,072	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1

3.3.5. Poids (P)

D'un point de vue global, la comparaison du poids chez les mâles et femelles de l'échantillon global, montre que les mâles et femelles présentent un poids min de 3 g et un poids max de 60 g chez les mâles contre 48 g chez les femelles. La moyenne est aussi plus élevée chez les mâles avec une valeur de 17,958 g par rapport aux femelles dont la moyenne est de 16,953 g, une différence de 1 g. Mais la comparaison par le test statistique (Figure 71) montre que globalement il n'y a pas de différence significative entre le poids des mâles et des femelles, avec une p-value = 0,065. Ainsi les mâles et femelles présentent un poids plus ou moins similaire.

La comparaison détaillée du poids chez les mâles et femelles par site montre :

- Pour le site canal Nador, que les mâles présentent un poids min de 6 g contre 7 g pour les femelles et un poids max de 60 g contre 48 g pour les femelles. Aussi la moyenne est plus élevée chez les mâles avec une valeur de 23,403 g par rapport aux femelles dont la moyenne est de 21,806 g, une différence de 1,6 g. Mais La comparaison par le test statistique (Figure 72) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre la longueur totale des mâles et des femelles, avec une p-value = 0,106 ;
- Pour le site oued Drader, que les mâles présentent un poids min de 4 g contre 3 g pour les femelles et un poids max de 36 g contre 34 g pour les femelles. Dans ce cas aussi les mâles présentent une moyenne de poids de 13,676 g légèrement supérieure à celle des femelles qui est de 12,804 g, avec une différence de 0,872 g. Mais pareillement au

site canal Nador, là aussi le test statistique (Figure 73) démontre que la différence de poids entre les mâles et les femelles n'est pas significative, avec une p-value = 0,173 ;

- Pour le site marais Loukkos, que les mâles et femelles présentent un même poids min de 3 g et un poids max de 46 g chez les mâles contre 31 g chez les femelles. Dans ce cas aussi, comme les deux sites précédents, les mâles présentent une moyenne de poids supérieure et qui est de 17,062 g contre 13,542 g pour les femelles, une différence de 5,52 g. Ce qui représente l'écart le plus élevé des trois sites. Une différence significative démontrée par le teste statistique (Figure 74), avec une p-value = 0,00015, et évidemment un poids plus grand chez les mâles par rapport aux femelles.

D'après la comparaison par site, il s'avère que l'absence de différence du poids entre mâles et femelles, démontrée par le test statistique pour l'échantillon global, reflète les cas des sites de canal Nador et oued Drader. Concernant le site marais Loukkos, il présente une différence significative du poids entre mâles et femelles avec un poids plus grand chez les mâles par rapport aux femelles. La description de l'absence ou la présence de différence de poids entre mâles et femelles au niveau des trois sites, est dans notre cas plus proche de la Lcpx que de la Lt. Ce qui suggère, que l'évolution du poids serait plus liée à celle du Lcpx qu'à celle de la Lt.

La comparaison détaillée du poids par site, montre que le site canal Nador présente un poids min de 6 g contre 3 pour les sites de l'oued du marais Loukkos, et un poids max de 60 g contre 36 g pour le site de l'oued Drader et 46 g pour le site du marais Loukkos, avec respectivement des moyennes de 22,421 g, 13,184 g, 15,567 g. Ceci conforte l'hypothèse formulée précédemment, à savoir qu'il y aurait une différence significative du poids entre les écrevisses des différents sites. Et pareillement à tous les paramètres traités précédemment, cette hypothèse s'est avérée juste. En effet, le test statistique de comparaison (Figure 75), la confirme avec des différences très significatives entre tous les sites, ce qui correspond à des p-values < **0,0001** pour tous les tests (Tableau 26). Ainsi on peut dire, comme pour les autres paramètres, que les écrevisses du site canal Nador sont caractérisées par un poids significativement supérieur à celui des sites marais Loukkos et oued Drader. Viennent ensuite les écrevisses du marais Loukkos qui sont caractérisées par un poids significativement inférieur à celui du site canal Nador et significativement supérieur à celui du site de l'oued Drader. Enfin, les écrevisses de l'oued Drader sont caractérisées par un poids significativement inférieur aux deux autres sites.

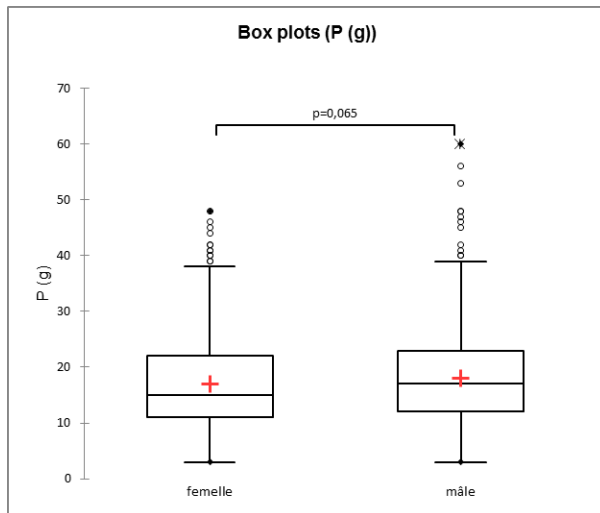


Figure 71 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles de l'échantillon global

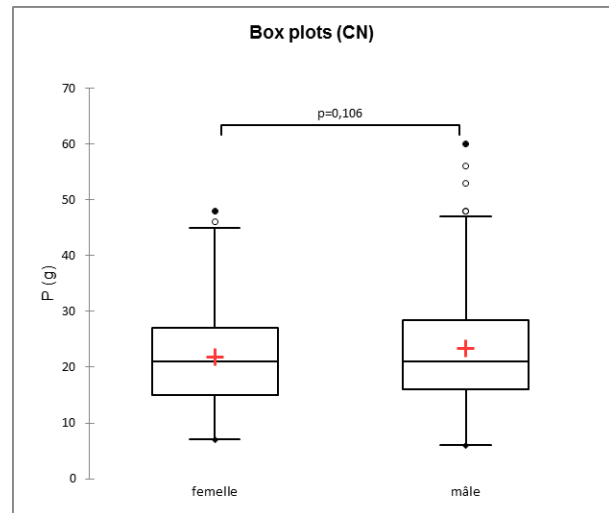


Figure 72 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site canal Nador

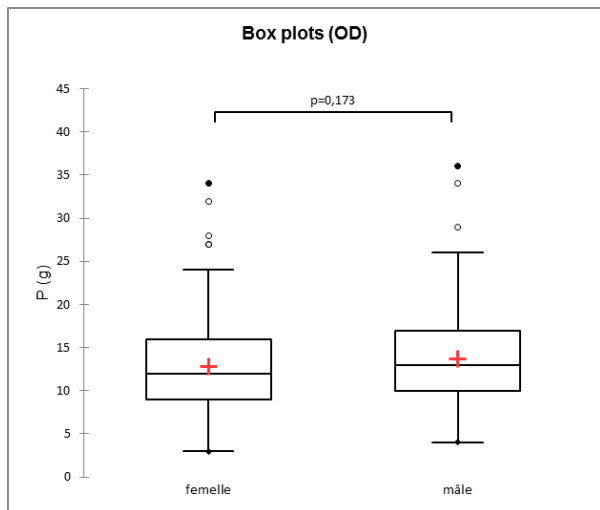


Figure 73 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site oued Drader

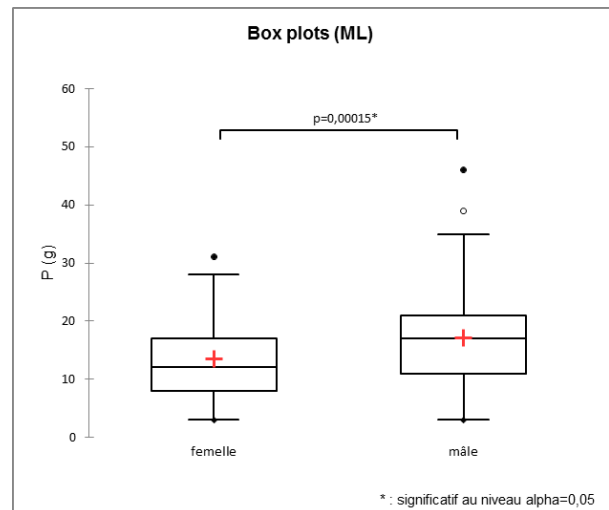


Figure 74 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre mâles et femelles du site marais Loukkos

La comparaison des moyennes de poids pour le site canal Nador (Tableau 27) permet de classer les mois par ordre décroissant comme suit, mars > janvier > juillet > février > novembre > août > décembre > septembre > mai > avril > octobre > juin. L'analyse de ce classement en intégrant les résultats des tests statistiques de comparaison (Figure 76 et p-value : Tableau 28) démontre les points suivants :

- Le mois de mars présente des valeurs de poids plus grandes avec une différence significative par rapport à tous les autres mois ;
- Le groupe de mois de janvier, juillet, février, novembre, août et septembre présentent des valeurs significativement inférieures au mois de mars et

significativement supérieures aux autres mois. Et pas de différence significative entre les mois du dit groupe ;

- Les mois de décembre et mai présentent des valeurs de poids significativement inférieures au mois de mars et significativement supérieures au mois de juin. Et pas de différence significative ni entre eux ni avec les autres mois ;
- Les mois d’avril et octobre ne présentent pas de différences significatives de poids entre eux ni avec le mois de décembre. Et présentent une différence significative avec des valeurs de poids supérieures par rapport au mois de juin et inférieures par rapport aux autres mois restants.
- Le mois de juin présente des valeurs de poids plus petites avec une différence significative par rapport à tous les autres mois ;

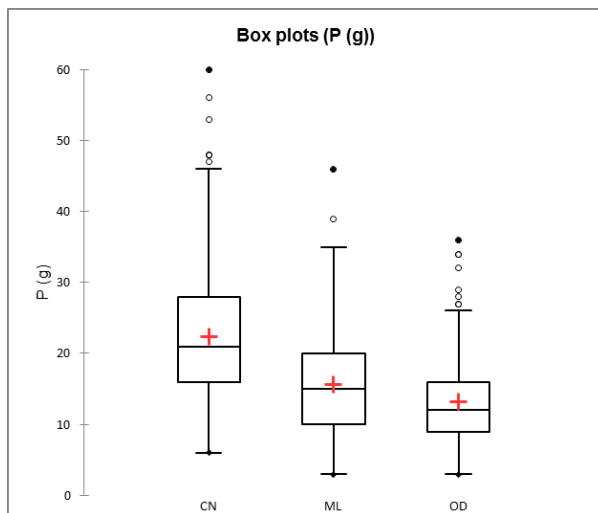


Tableau 26 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

	CN	ML	OD
CN	1	< 0,0001	< 0,0001
ML	< 0,0001	1	< 0,0001
OD	< 0,0001	< 0,0001	1

Figure 75 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids (g) entre les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Concernant l’oued Drader la comparaison des moyennes de poids (Tableau 27) donne le classement par ordre décroissant comme suit, février > août > mars > janvier > décembre > juillet > octobre > mai > avril > septembre > novembre > juin. Nous notons que ce classement s’approche beaucoup de celui des moyennes de Lt et Lcpx pour le même site. L’analyse de ce classement en intégrant les résultats des tests statistiques de comparaison (Figure 77 et p-value : Tableau 29) démontre les points suivants :

- Les mois de février et août ne présentent pas des valeurs de poids significativement différentes ni entre eux ni avec les mois de mars et janvier. Et présentent des valeurs significativement supérieures aux autres mois restants ;

- Les mois de mars et janvier ne présentent pas des valeurs de poids significativement différentes ni entre eux ni avec les mois de mars, janvier et décembre. Et présentent des valeurs significativement supérieures aux autres mois restants ;
- Le mois de décembre ne présente pas des valeurs de poids significativement différentes par rapport aux mois de mars, janvier, juillet et octobre. Et présente des valeurs significativement inférieures par rapport aux mois de février et août et significativement supérieures aux autres mois ;
- Les mois de juillet et octobre présentent des valeurs de poids significativement inférieures par rapport aux mois de février, août, mars et janvier. Et significativement supérieures aux mois de novembre et juin. Et pas de différences ni entre eux ni avec les autres mois ;
- Le mois de mai présente des valeurs de poids significativement inférieures par rapport aux mois de février, août, mars, janvier et décembre. Et significativement supérieures aux mois de novembre et juin. Et pas de différences avec les autres mois ;
- Les mois d’avril et septembre présentent des valeurs de poids significativement inférieures par rapport aux mois de février, août, mars, janvier et décembre. Et pas de différences ni entre eux ni avec les autres mois ;
- Les mois de novembre et juin ne présentent pas de valeurs de poids significativement différentes ni entre eux ni avec les mois d’avril et septembre. Et présentent des valeurs significativement inférieures par rapport aux autres mois ;

Pour le marais Loukkos la comparaison des moyennes de poids (Tableau 27) donne le classement suivant, juillet > novembre > septembre > juin > mai > août > mars > avril > février > octobre. L’analyse de ce classement en intégrant les résultats des tests statistiques de comparaison (Figure 78 et p-value : Tableau 30) démontre les points suivants :

- Le mois de juillet présente des valeurs de poids les plus grandes avec une différence significative par rapport à tous les mois sauf novembre septembre et mai ;
- Le mois de novembre présente des valeurs de poids plus grandes avec une différence significative par rapport aux mois d’avril, février et octobre. Et pas de différences avec les autres mois ;

- Les mois de septembre et mai présentent des valeurs de poids plus grandes avec une différence significative par rapport aux mois de février et octobre. Et pas de différence significative entre eux ni avec les autres mois restants.
- Le mois de juin présente des valeurs significativement inférieures au mois de juillet et significativement supérieures aux mois d’avril, février et octobre. Et pas de différences avec les autres mois ;
- Les mois d’août et mars présentent des valeurs significativement inférieures au mois de juillet et significativement supérieures aux mois de février et octobre. Et pas de différences ni entre eux ni avec les autres mois ;
- Le mois d’avril présente des valeurs significativement inférieures aux mois de juillet, novembre et juin et significativement supérieures aux mois d’octobre. Et pas de différences avec les autres mois ;
- Les mois de février et octobre ne présentent pas de différences significatives entre eux. Et présentent des valeurs de poids plus petites avec une différence significative par rapport à tous les autres mois ;

Tableau 27 : Moyennes des poids en g par site et par mois, organisées par ordre décroissant

Canal Nador		Oued Drader		Marais Loukkos	
Mois	Moyenne (g)	Mois	Moyenne (g)	Mois	Moyenne (g)
Mars	31,767	Février	19,824	Juillet	20,4
Janvier	24,935	Août	18,069	Novembre	17,933
Juillet	24,933	Mars	17,625	Septembre	17,9
Février	24,767	Janvier	16,25	Juin	17,533
Novembre	23,767	Décembre	14,167	Mai	16,6
Août	22,3	Juillet	12,955	Août	15
Décembre	22,167	Octobre	11,833	Mars	14,733
Septembre	21,7	Mai	11,467	Avril	12,647
Mai	21,567	Avril	11,2	Février	10,5
Avril	18,433	Septembre	10,3	Octobre	9,067
Octobre	17,967	Novembre	10	Janvier	-
Juin	14,667	Juin	9	Décembre	-

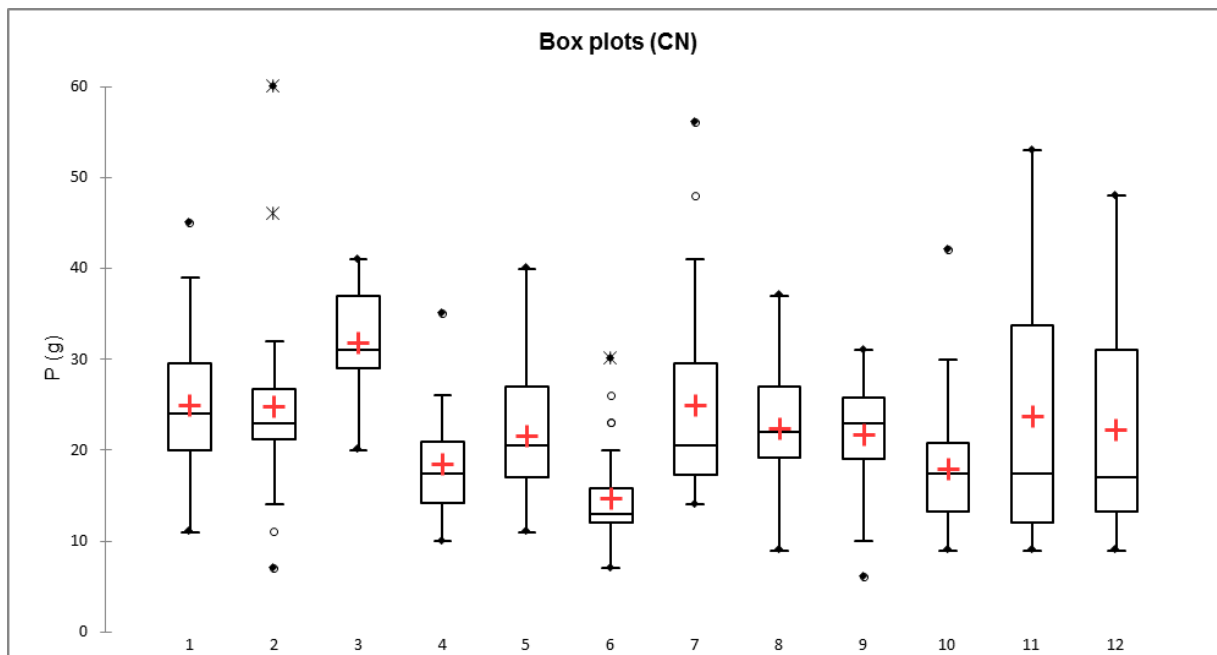


Figure 76 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids entre les mois du site canal Nador

Tableau 28 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site de cana Nador, en vert les p-value indiquant une différence significative

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,939	0,000	0,000	0,084	0,0001	0,999	0,139	0,062	0,000	0,67	0,26
2	0,939	1	0,001	0,003	0,156	0,0001	0,949	0,242	0,138	0,003	1	0
3	0,000	0,001	1	<	<	<	<	<	<	<	0,00	0,00
4	0,000	0,003	0,0001	1	0,069	0,009	0,003	0,013	0,027	0,774	0,04	0,10
5	0,084	0,156	0,0001	0,069	1	0,000	0,152	0,680	0,938	0,059	0,43	0,80
6	<	<	<	0,009	0,000	1	<	<	<	<	0,00	0,00
7	0,999	0,949	0,002	0,003	0,152	0,0001	1	0,233	0,136	0,003	0,70	0,32
8	0,139	0,242	0,0001	0,013	0,680	0,0001	0,233	1	0,695	0,013	0,58	0,95
9	0,062	0,138	0,0001	0,027	0,938	0,0001	0,136	0,695	1	0,026	0,43	0,84
10	0,000	0,003	0,0001	0,774	0,059	0,043	0,003	0,013	0,026	1	0,03	0,08
11	0,671	0,739	0,004	0,046	0,430	0,001	0,704	0,583	0,434	0,038	0,61	0,61
12	0,260	0,340	0,000	0,107	0,808	0,002	0,323	0,955	0,840	0,087	0,61	5

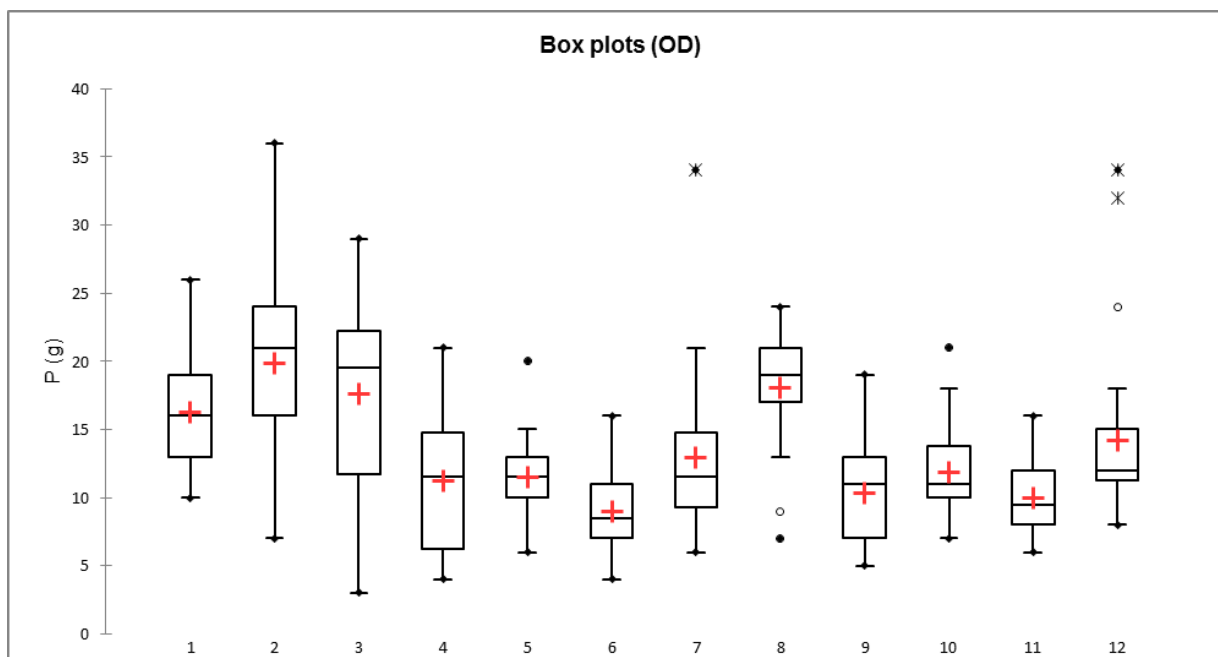


Figure 77 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison du poids entre les mois du site de l'oued Drader

Tableau 29 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site de l'oued Drader, en vert les p-value indiquant une différence significative

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0,056	0,424	0,000	0,0001	0,0001	0,03	0,101	0,0001	0,0001	0,0001	0,15
2	0,056	1	0,356	0,0001	0,0001	0,0001	0,00	0,305	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
3	0,424	0,356	1	0,000	0,000	0,0001	0,02	0,780	0,0001	0,000	0,0001	0,06
4	0,000	0,0001	0,000	1	0,804	0,050	0,27	0,0001	0,438	0,570	0,250	0,04
5	0,0001	0,0001	0,000	0,804	1	0,004	0,26	0,0001	0,191	0,658	0,046	0,03
6	0,0001	0,0001	0,0001	0,050	0,004	1	0,00	0,0001	0,164	0,002	0,198	0,00
7	0,039	0,004	0,027	0,272	0,266	0,005	1	0,001	0,067	0,416	0,025	0,48
8	0,101	0,305	0,780	0,0001	0,0001	0,0001	0,00	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
9	0,0001	0,0001	0,0001	0,438	0,191	0,164	0,06	0,0001	1	0,105	0,722	0,00
10	0,0001	0,0001	0,000	0,570	0,658	0,002	0,41	0,0001	0,105	1	0,022	0,06
11	0,0001	0,0001	0,0001	0,250	0,046	0,198	0,02	0,0001	0,722	0,022	1	0,00
12	0,150	0,007	0,063	0,043	0,032	0,000	0,48	0,005	0,004	0,069	0,001	1

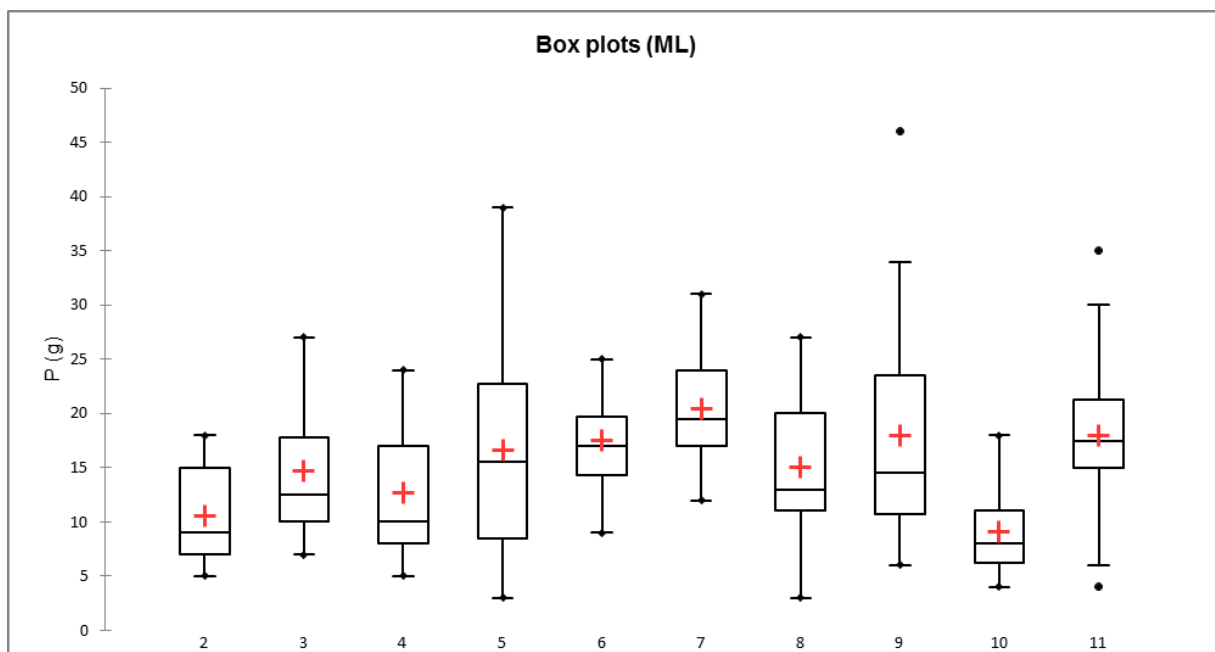


Figure 78 : Représentation en boîtes à moustaches de la comparaison poids entre les mois du site marais Loukkos

Tableau 30 : Tableau des p-value résultantes de la comparaison statistique du poids entre les mois pour le site marais Loukkos, en vert les p-value indiquant une différence significative

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	0,040	0,278	0,030	< 0,0001	< 0,0001	0,030	0,015	0,258	0,002
3	0,040	1	0,294	0,388	0,055	0,000	0,888	0,188	0,000	0,090
4	0,278	0,294	1	0,132	0,001	< 0,0001	0,250	0,066	0,012	0,017
5	0,030	0,388	0,132	1	0,624	0,060	0,508	0,647	0,000	0,553
6	< 0,0001	0,055	0,001	0,624	1	0,017	0,085	0,857	< 0,0001	0,798
7	< 0,0001	0,000	< 0,0001	0,060	0,017	1	0,001	0,249	< 0,0001	0,143
8	0,030	0,888	0,250	0,508	0,085	0,001	1	0,273	< 0,0001	0,153
9	0,015	0,188	0,066	0,647	0,857	0,249	0,273	1	< 0,0001	0,989
10	0,258	0,000	0,012	0,000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	< 0,0001
11	0,002	0,090	0,017	0,553	0,798	0,143	0,153	0,989	< 0,0001	1

3.4. Étude des relations entre les paramètres de longueur et du poids

3.4.1. En fonction de la longueur totale

3.4.1.1. Relation poids - longueur totale

Pour l'échantillon global, l'analyse de la relation poids (P) – longueur totale (Lt) (Figure 79) présente une corrélation positive très forte entre les deux paramètres avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,85$. L'analyse détaillée par site suit aussi la même tendance. En effet, là aussi le P et la Lt présentent une corrélation positive forte pour tous les sites avec des coefficients de détermination (R^2) égale à 0,82 pour le canal Nador, 0,85 pour l'oued Drader et 0,77 pour le marais Loukkos (Figure 80).

L'analyse de la relation poids – longueur totale par sexe (Figure 81) démontre d'un point de vue global que les mâles et les femelles présentent une corrélation positive très forte avec un coefficient de détermination respectivement de 0,85 et 0,88. Les nuages de points suivent la même distribution avec un écart entre les sexes à partir de 100 mm, cet écart correspond à la différence de Lt qui existe entre mâles et femelles et qui est due principalement à la différence de Lt qui existe entre mâles et femelles du site canal Nador. L'analyse détaillée de la relation poids – longueur totale par sexe en fonction des sites (Tableau 31; Figure 82) montre la même tendance que l'échantillon global avec une corrélation positive forte chez les mâles et femelles dans tous les sites, et des coefficients de déterminations R^2 qui se situent dans des valeurs entre 0,78 et 0,87. La relation poids-longueur totale correspond le plus à une courbe qui suit une tendance exponentielle dont l'équation s'écrit $y = a \cdot e^{b \cdot x}$.

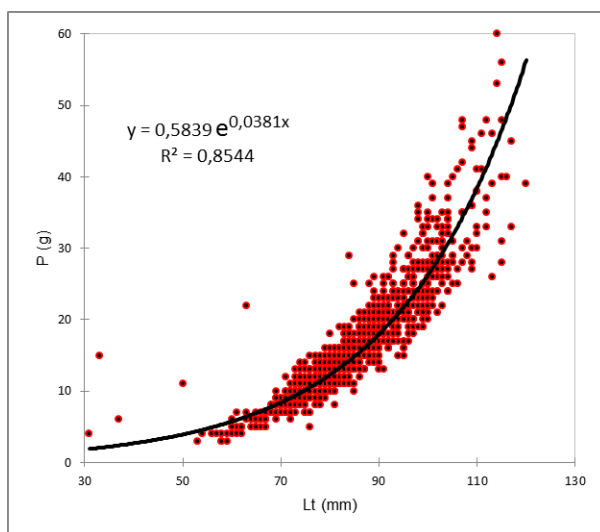


Figure 79 : Relation poids - longueur totale de l'échantillon global

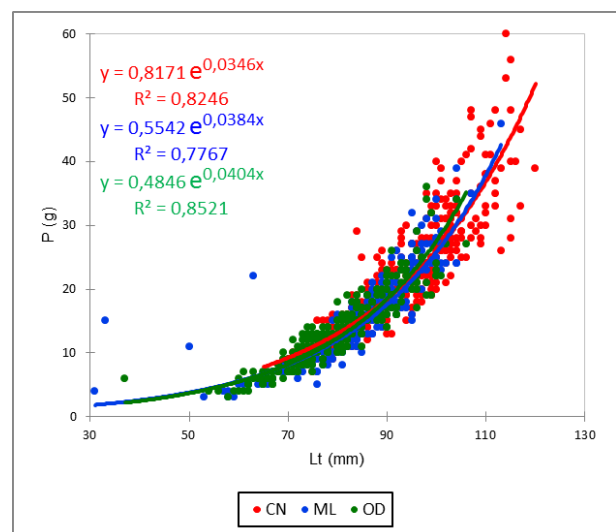


Figure 80 : Relation poids - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

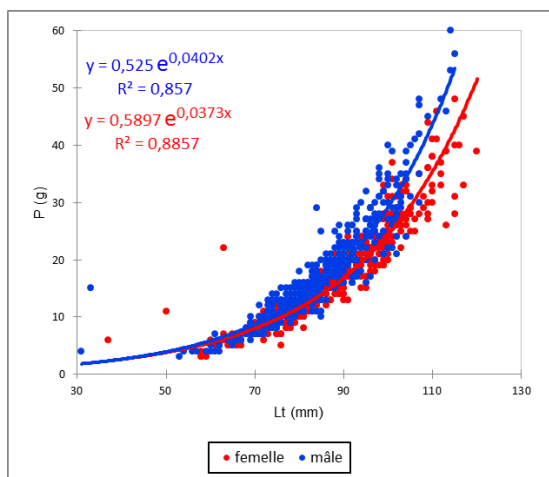


Figure 81 : Relation poids - longueur totale par sexe de l'échantillon global

Tableau 31 : Paramètres d'interaction du poids et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R^2) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 0,6504 e^{0,0382x}$ $R^2 = 0,8419$	$y = 0,7927 e^{0,0343x}$ $R^2 = 0,8794$
OD	$y = 0,3562 e^{0,0451x}$ $R^2 = 0,8786$	$y = 0,5779 e^{0,0377x}$ $R^2 = 0,8639$
ML	$y = 0,6972 e^{0,0365x}$ $R^2 = 0,7833$	$y = 0,4616 e^{0,0395x}$ $R^2 = 0,7992$

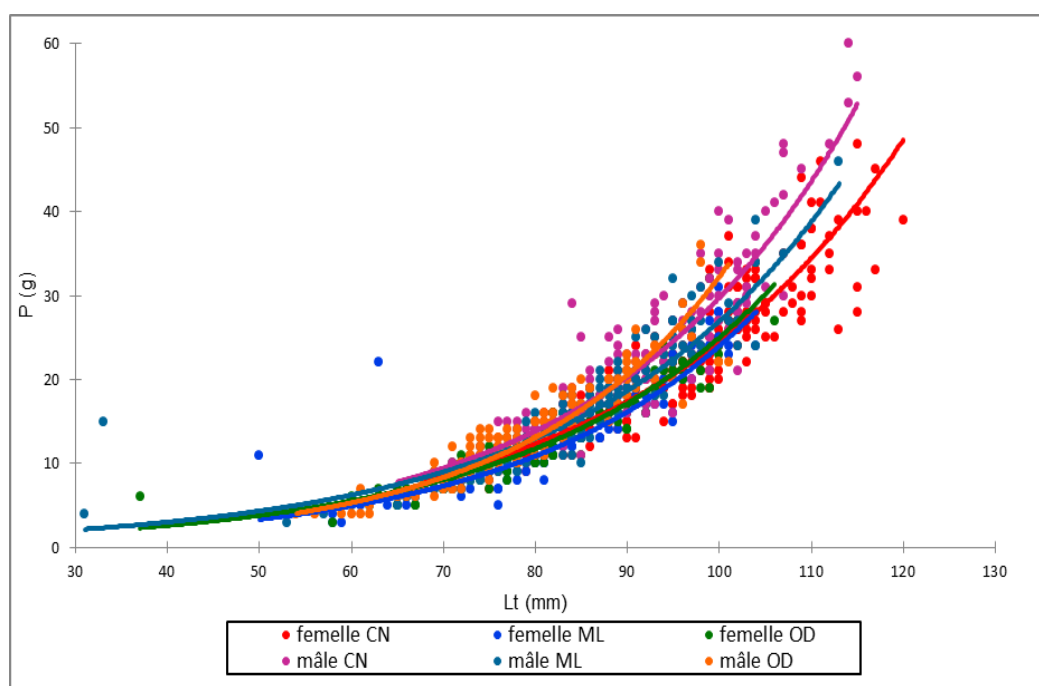


Figure 82 : Relation poids - longueur totale des mâles et des femelles de l'échantillon par site étudié

3.4.1.2. Relation longueur céphalothorax - longueur totale

Pour l'échantillon global, l'analyse de la relation longueur céphalothorax (Lcpx) – longueur totale (Lt) (Figure 83) présente une corrélation positive forte entre les deux paramètres avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,9504$. Les résultats de l'analyse détaillée renforcent ceux de l'analyse globale. Car la Lcpx et la Lt présentent une corrélation positive forte pour tous les sites avec des coefficients de détermination (R^2) supérieurs à 0,95 pour le canal Nador et l'oued Drader et à 0,87 pour le marais Loukkos (Figure 84). Les nuages de points affichent la même distribution pour tous les sites avec léger écart qui commence à apparaître à partir des tailles supérieures à 105 mm. Ce qui correspond à la différence dans la Lcpx entre les sites démontrés précédemment.

L'analyse globale de la relation longueur céphalothorax (Lcpx) – longueur totale (Lt) par sexe (Figure 85) démontre que les mâles et les femelles présentent une corrélation positive forte avec un coefficient de détermination respectivement de 0,935 et 0,965. Les nuages de points suivent la même distribution et ne présentent pas d'écart visible entre les deux sexes. L'analyse détaillé de la relation longueur céphalothorax (Lcpx) – longueur totale (Lt) par sexe en fonction des sites (Tableau 32; Figure 86) montre la même tendance que l'échantillon global avec une corrélation positive forte chez les mâles et femelles dans tous les sites, et des coefficients de déterminations R^2 qui se situent dans des valeurs entre 0,848 et 0,971. La relation longueur céphalothorax -longueur totale correspond à une courbe qui suit une tendance linéaire dont l'équation s'écrit $y=ax+b$.

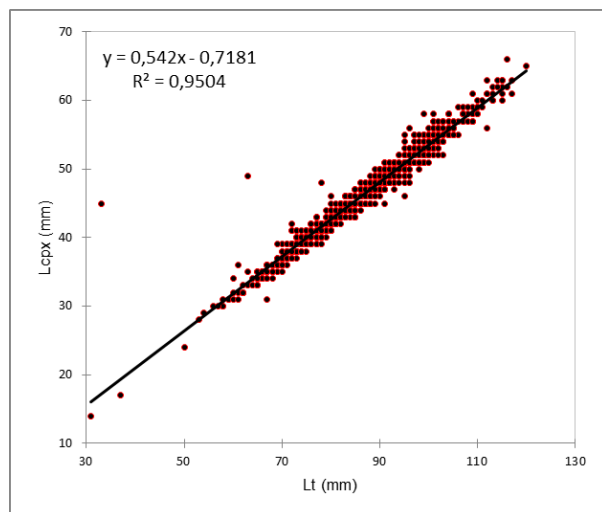


Figure 83 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale de l'échantillon global

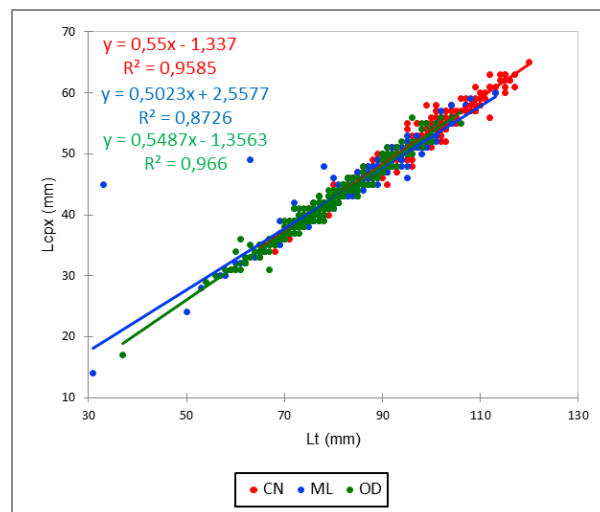


Figure 84 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

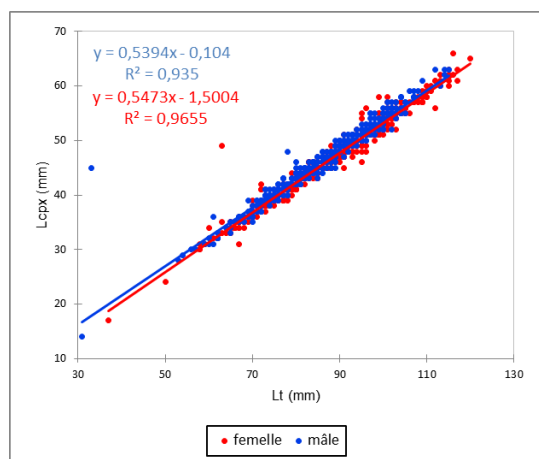


Figure 85 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale par sexe de l'échantillon global

Tableau 32 : Paramètres d'interaction de la longueur du céphalothorax et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R^2) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 0,5705x - 2,6691$ $R^2 = 0,9715$	$y = 0,5476x - 1,4622$ $R^2 = 0,96$
OD	$y = 0,5517x - 1,2883$ $R^2 = 0,9716$	$y = 0,5491x - 1,6285$ $R^2 = 0,9662$
ML	$y = 0,4858x + 4,3796$ $R^2 = 0,8486$	$y = 0,5156x + 0,8924$ $R^2 = 0,9126$

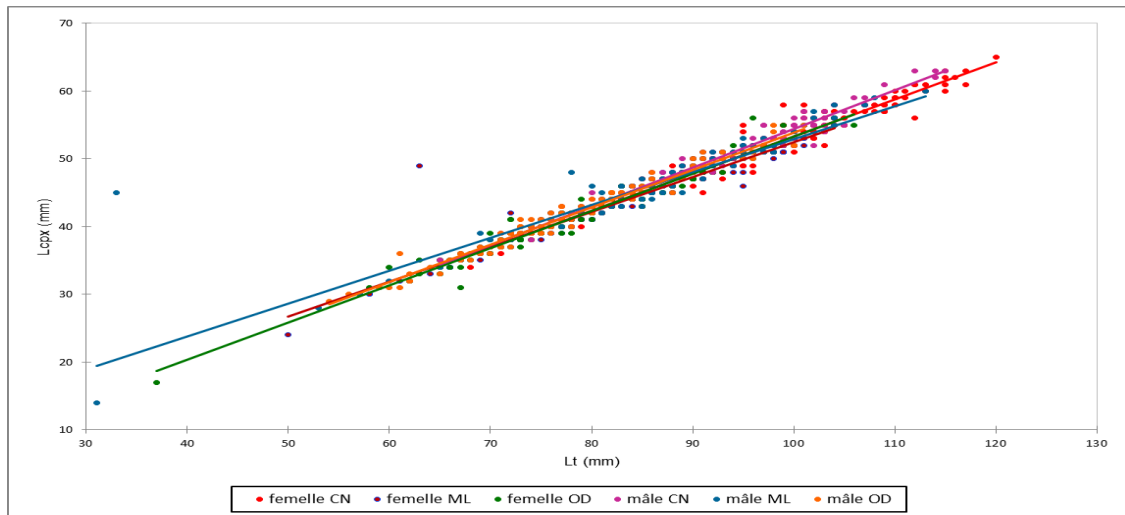


Figure 86 : Relation longueur céphalothorax - longueur totale des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

3.4.1.3. Relation longueur périopode I - longueur totale

Pour l'échantillon global, l'analyse de la relation longueur périopode I (LPT1) – longueur totale (Lt) (Figure 87) présente une corrélation positive, mais avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,5927$ inférieur à ceux enregistrés pour les relations de la Lt avec le poids et avec la Lcpox. Même chose constatée par l'analyse détaillée par site (Figure 88). Mais en regardant de près les nuages de point, que ce soit d'une manière globale ou par site, nous distinguons à chaque fois deux groupes à part. C'est alors que l'analyse par sexe (Figure 89 et Figure 90) démontre que ses deux groupes correspondent à chaque fois aux mâles et aux femelles. Répartit ainsi, nous pouvons dire que d'une manière globale, la relation longueur périopode I (LPT1) – longueur totale (Lt) présente une corrélation positive forte, avec un coefficient de détermination (R^2) chez les mâles et femelles respectivement de 0,73 et 0,84. Ce constat est conforté par l'analyse par sites en fonction du sexe, avec des valeurs de R^2 supérieures à 0,67 chez les mâles pour tous les sites et supérieures à 0,74 pour tous les sites chez les femelles (Tableau 33). Ceci s'explique par le fait que la longueur du périopode I soit un critère de dimorphisme sexuel chez *P. clarkii*, avec des périopodes plus grand chez les mâles par rapport aux femelles comme ça a été démontré précédemment. Donc la relation longueur périopode I-longueur totale est spécifique à chaque sexe et correspond à une courbe qui suit une tendance linéaire dont l'équation s'écrit $y=ax+b$.

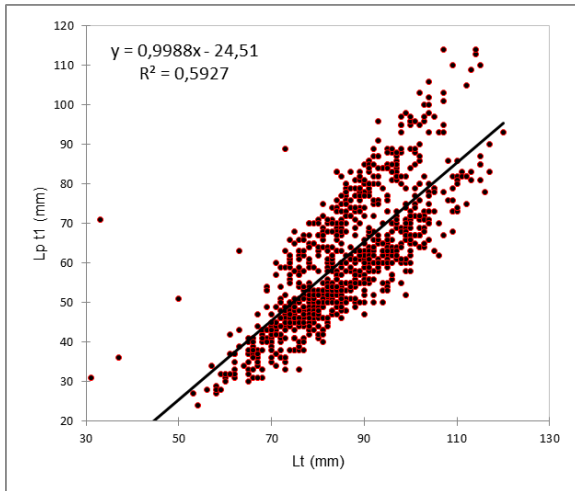


Figure 87 : Relation longueur périopode I - longueur totale de l'échantillon global

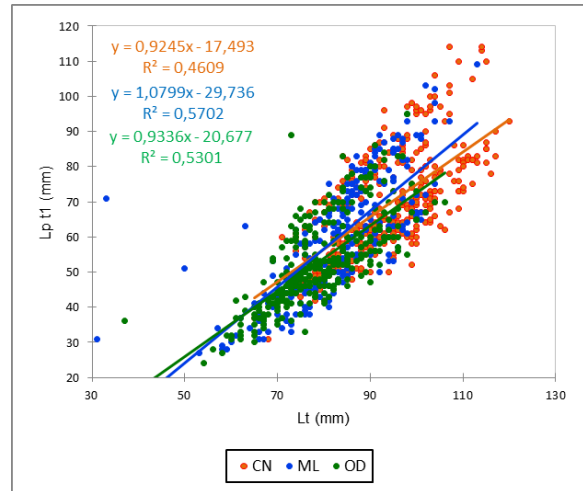


Figure 88 : Relation longueur périopode I - longueur totale pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

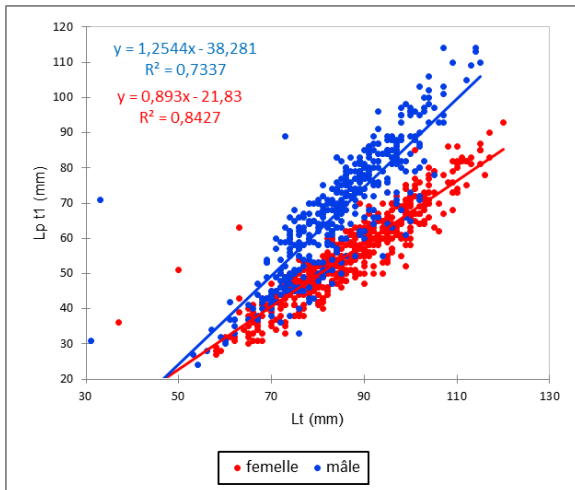


Figure 89 : Relation longueur périopode I - longueur totale par sexe de l'échantillon global

Tableau 33 : Paramètres d'interaction de la longueur du périopode I et de la longueur totale (équations et coefficient de détermination R²) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 1,2632x - 38,12$ $R^2 = 0,6709$	$y = 0,9052x - 22,164$ $R^2 = 0,8196$
OD	$y = 1,287x - 42,143$ $R^2 = 0,6828$	$y = 0,7675x - 12,135$ $R^2 = 0,7688$
ML	$y = 1,1281x - 27,27$ $R^2 = 0,6751$	$y = 0,8717x - 21,271$ $R^2 = 0,7488$

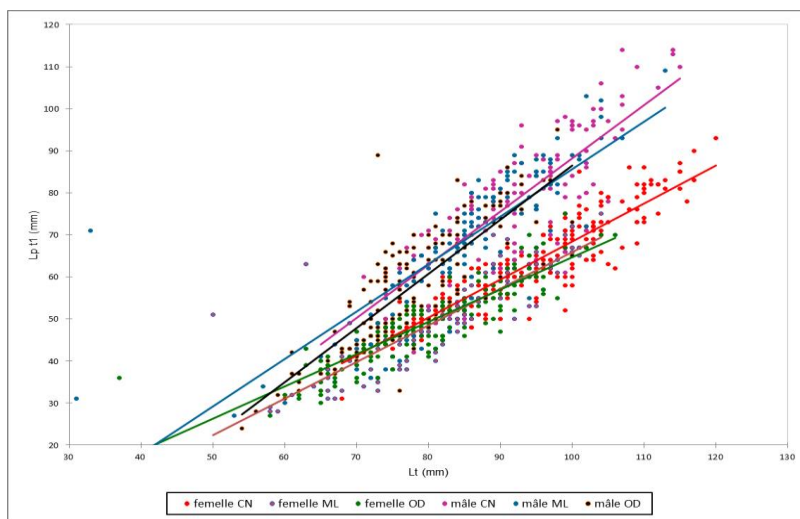


Figure 90 : Relation longueur périopode I - longueur totale des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

3.4.2. En fonction de la longueur du céphalothorax

3.4.2.1. Relation poids - longueur du céphalothorax

Pour l'échantillon global, l'analyse de la relation poids (P) – longueur du céphalothorax (Lcpx) (Figure 91) présente une corrélation positive forte entre les deux paramètres avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,88$. L'analyse détaillée par site suit aussi la même tendance. En effet, là aussi le P et la Lcpx présentent une corrélation positive forte pour tous les sites avec des coefficients de détermination (R^2) supérieurs à 0,85 pour le canal Nador et le marais Loukkos et à 0,87 pour l'oued Drader (Figure 92).

L'analyse de la relation poids – longueur du céphalothorax par sexe (Figure 93) démontre d'un point de vue global que les mâles et les femelles présentent une corrélation positive forte avec un coefficient de détermination similaire de 0,89. Les nuages de points suivent la même distribution avec un léger écart entre les sexes à partir de 55 mm, cet écart correspond à la différence de moyenne de Lcpx qui existe entre mâles et femelles mais qui n'est pas significative. L'analyse détaillée de la relation poids – longueur totale par sexe en fonction des sites (Tableau 34 et Figure 94) montre la même tendance que l'échantillon global avec une corrélation positive forte chez les mâles et femelles dans tous les sites, et des coefficients de déterminations R^2 qui se situent dans des valeurs entre 0,84 et 0,91. La relation poids-longueur céphalothorax correspond le plus à une courbe qui suit une tendance exponentielle dont l'équation s'écrit $y = a.e^{b.x}$.

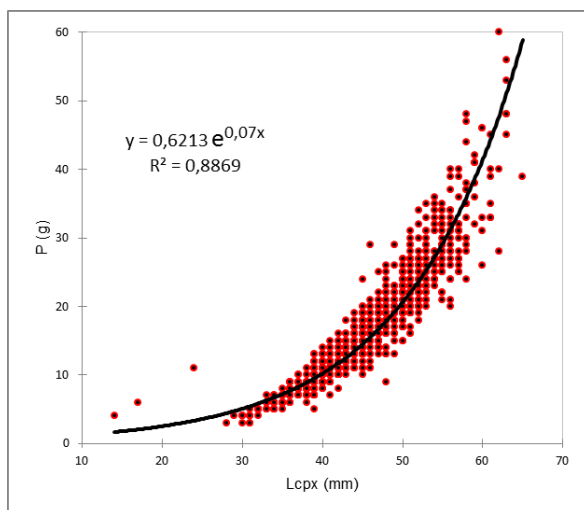


Figure 91 : Relation poids - longueur céphalothorax de l'échantillon global

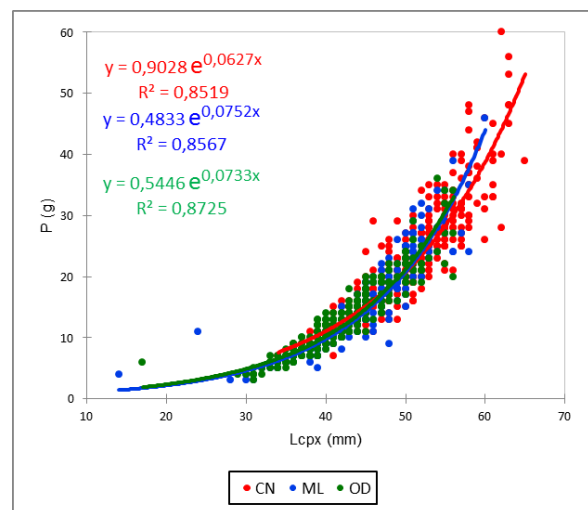


Figure 92 : Relation poids - longueur céphalothorax pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

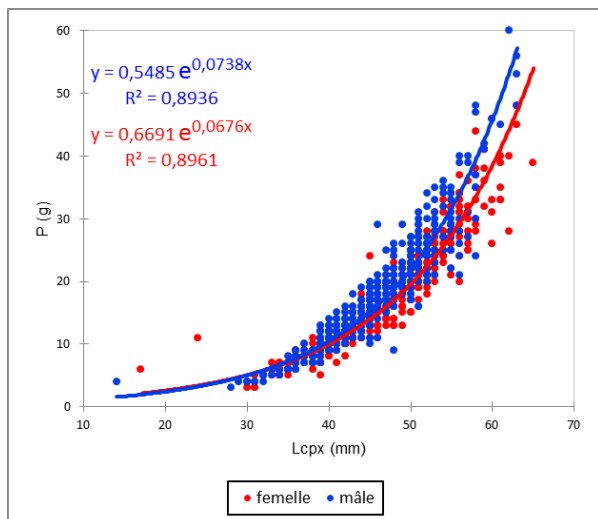


Figure 93 : Relation poids - longueur céphalothorax par sexe de l'échantillon global

Tableau 34 : Paramètres d'interaction du poids et de la longueur du céphalothorax (équations et coefficient de détermination R^2) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 0,8081 e^{0,0663x}$ $R^2 = 0,8467$	$y = 0,9204 e^{0,0615x}$ $R^2 = 0,8827$
OD	$y = 0,3905 e^{0,082x}$ $R^2 = 0,9112$	$y = 0,6838 e^{0,0673x}$ $R^2 = 0,8596$
ML	$y = 0,5592 e^{0,0729x}$ $R^2 = 0,8612$	$y = 0,452 e^{0,0755x}$ $R^2 = 0,8509$

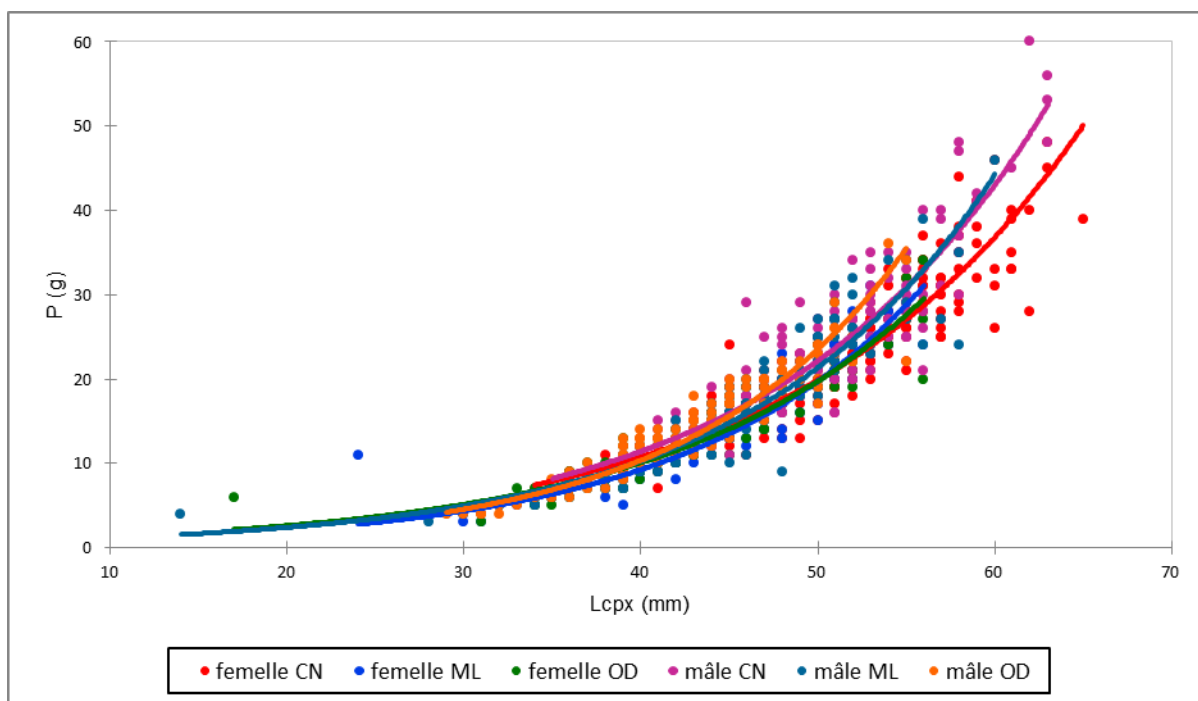


Figure 94 : Relation poids - longueur céphalothorax des mâles et des femelles de l'échantillon par site étudié

3.4.2.2. Relation longueur périopode I - longueur du céphalothorax

Pour l'échantillon global, à l'instar de la relation entre la longueur périopode I (LPT1) – longueur totale (Lt), l'analyse de la relation LPT1 - longueur du céphalothorax (Figure 95) présente une corrélation positive, mais avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,65$ inférieur à ceux enregistré pour les relations de la Lcpx avec la Lt et avec le poids. Même constat pour l'analyse détaillée par site (Figure 96). Et là aussi comme il l'a été pour la relation LPT1-Lt, les nuages de point, que ce soit d'une manière globale ou par site, montre à chaque fois deux groupes à part. C'est alors que l'analyse par sexe (Figure 97 ; Figure 98)

démontre là aussi que ses deux groupes correspondent à chaque fois aux mâles et aux femelles. Suivant cette répartition, nous pouvons dire que d'une manière globale, la relation longueur périopode I – longueur céphalothorax présente une corrélation positive forte, avec un coefficient de détermination (R^2) chez les mâles et femelles respectivement de 0,769 et 0,86. Ce constat est conforté par l'analyse par sites en fonction du sexe, avec des valeurs de R^2 supérieures à 0,69 chez les mâles pour tous les sites et supérieures à 0,77 pour tous les sites chez les femelles (Tableau 35). La similitude entre la relation LPT1-Lt et LPT1-Lcpx est normale vu que la Lt et la Lcpx sont fortement corrélées ($R^2=0,95$). Donc là aussi, la relation longueur périopode I-longueur totale est spécifique à chaque sexe et correspond à une courbe qui suit une tendance linéaire dont l'équation s'écrit $y=ax+b$.

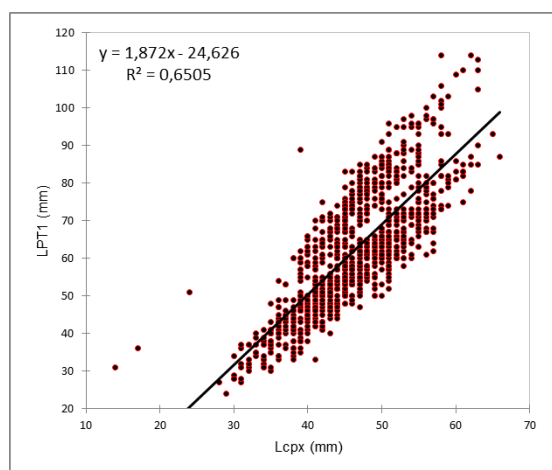


Figure 95 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax de l'échantillon global

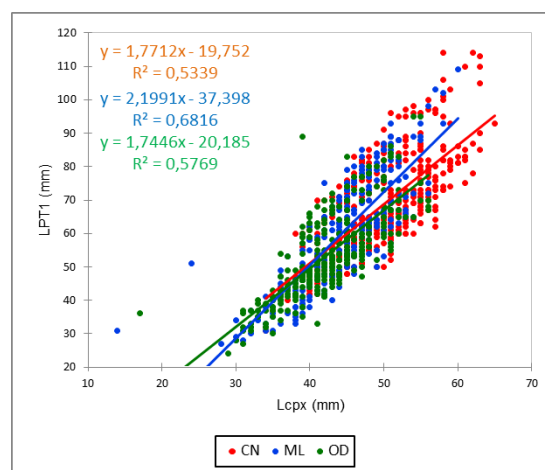


Figure 96 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

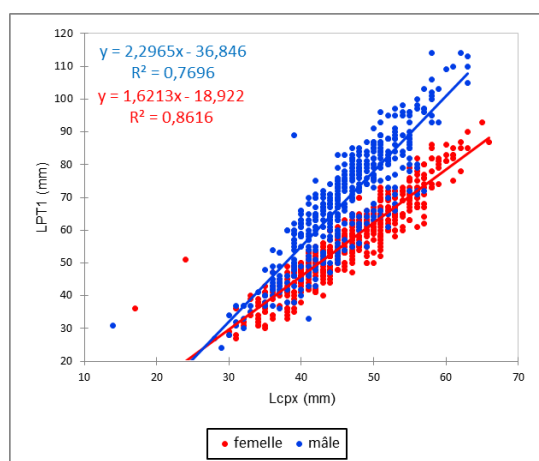


Figure 97 : Relation longueur périopode I - longueur céphalothorax par sexe de l'échantillon global

Tableau 35 : Paramètres d'interaction de la longueur du périopode I et de la longueur du céphalothorax (équations et coefficient de détermination R^2) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 2,2195x - 32,482$ $R^2 = 0,694$	$y = 1,6333x - 18,763$ $R^2 = 0,8336$
OD	$y = 2,3501x - 39,901$ $R^2 = 0,7144$	$y = 1,3779x - 9,0311$ $R^2 = 0,7746$
ML	$y = 2,3015x - 36,463$ $R^2 = 0,7785$	$y = 1,6734x - 22,027$ $R^2 = 0,8042$

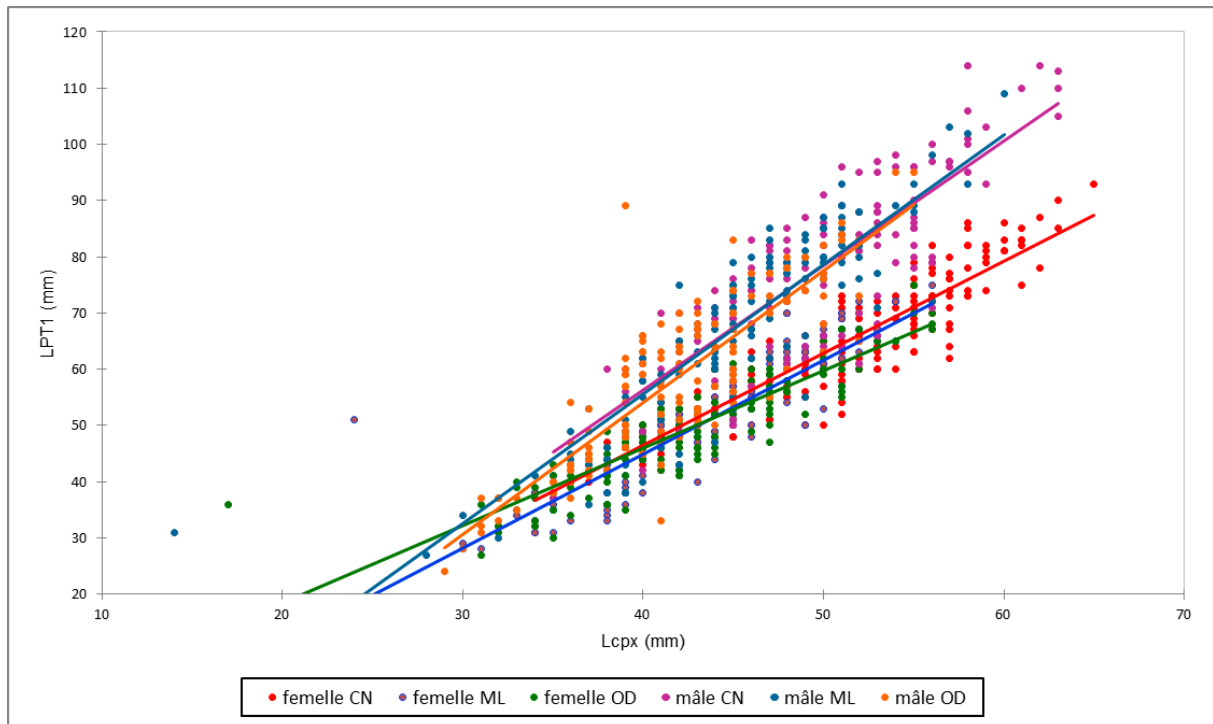


Figure 98 : Relation longueur péréiopode I - longueur céphalothorax des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

3.4.3. Relation entre longueur des pinces (Lp) et du péréiopode I (LPT1)

L'analyse de la relation longueur pinces (Lp) - longueur péréiopode I (LPT1) montre un profil similaire à celui de la relation longueur céphalothorax (Lcpx) – longueur totale (Lt) décrit précédemment. Avec une corrélation positive forte entre les deux paramètres (Figure 99) affichant un coefficient de détermination $R^2 = 0,95$ d'un point de vue global. Appuyée par les résultats de l'analyse détaillée, qui montrent une corrélation positive forte entre la Lp et la LPT1 pour tous les sites avec des coefficients de détermination (R^2) supérieurs à 0,97 pour le canal Nador et l'oued Drader et à 0,83 pour le marais Loukkos (Figure 100). Rajoutant à cela que les nuages de points suivent bien la droite de régression.

L'analyse globale de la relation Lp – LPT1 par sexe (Figure 101), suit la même tendance et démontre que les mâles et les femelles présentent une corrélation positive forte avec un coefficient de détermination respectivement de 0,93 et 0,98. Les nuages de points suivent la même distribution et présentent un écart visible à partir des LPT1 de 90 mm, reflétant la différence significative démontrée entre les deux sexes pour les deux paramètres. L'analyse détaillée de la relation Lp – LPT1 par sexe en fonction des sites (

Tableau 36; Figure 102) montre la même tendance que l'échantillon global avec une corrélation positive forte chez les mâles et femelles dans tous les sites, et des coefficients de

déterminations R^2 supérieurs à 0,93 pour les deux sexes sauf pour les mâles de l’oued Drader où R^2 est de 0,75. La différence enregistrée au niveau de l’oued Drader peut être expliquée par la présence de pinces régénérées dont la longueur ne correspond pas au schéma de croissance, ce qui impacte négativement la corrélation entre la Lp et la LPT1 et diminue le coefficient de détermination pour ce site par rapport aux autres sites.

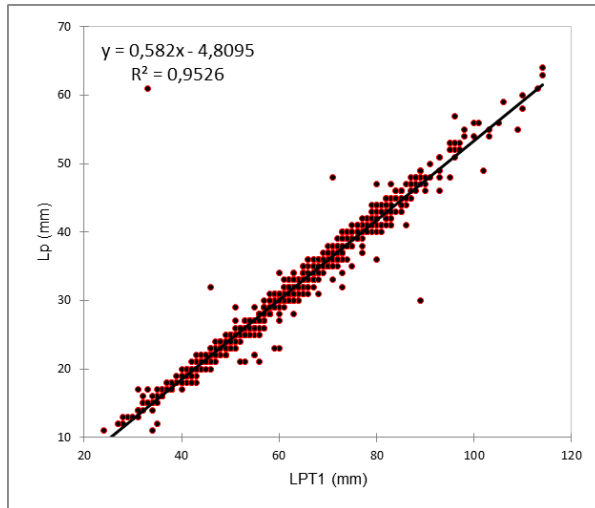


Figure 99 : Relation longueur pinces - longueur périopode I - longueur céphalothorax de l'échantillon global

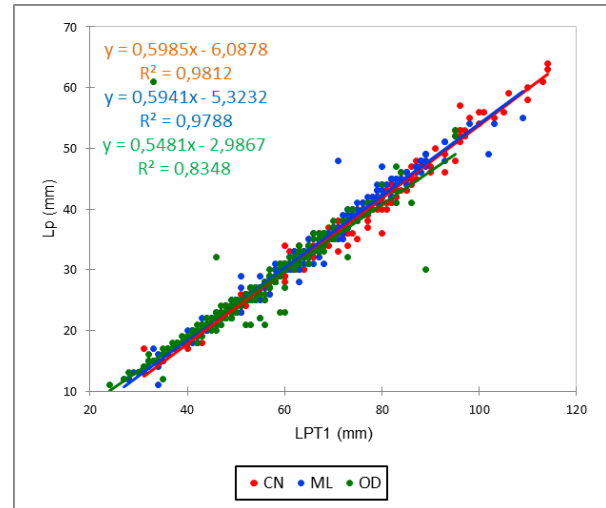


Figure 100 : Relation longueur pinces - longueur périopode I pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

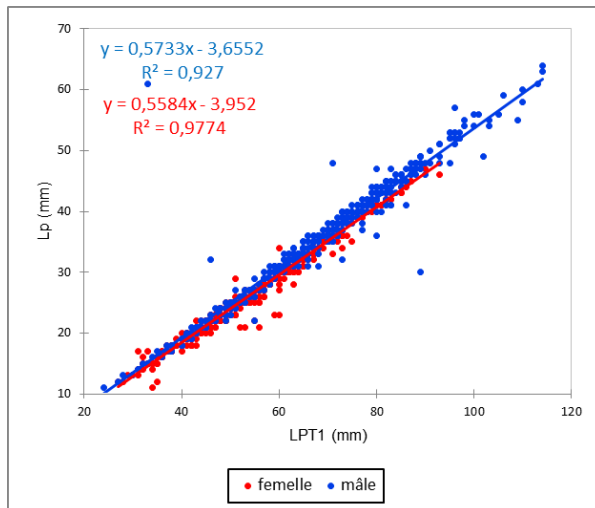


Figure 101 : Relation longueur pinces - longueur périopode I par sexe de l'échantillon global

Tableau 36 : Paramètres d'interaction de la longueur pinces - longueur périopode I (équations et coefficient de détermination R^2) pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

Site	mâle	femelle
CN	$y = 0,6018x - 5,8685$ $R^2 = 0,9798$	$y = 0,5601x - 3,9563$ $R^2 = 0,9778$
OD	$y = 0,5193x - 0,4905$ $R^2 = 0,7541$	$y = 0,5325x - 2,8265$ $R^2 = 0,9373$
ML	$y = 0,5887x - 4,6429$ $R^2 = 0,9729$	$y = 0,5558x - 3,798$ $R^2 = 0,9729$

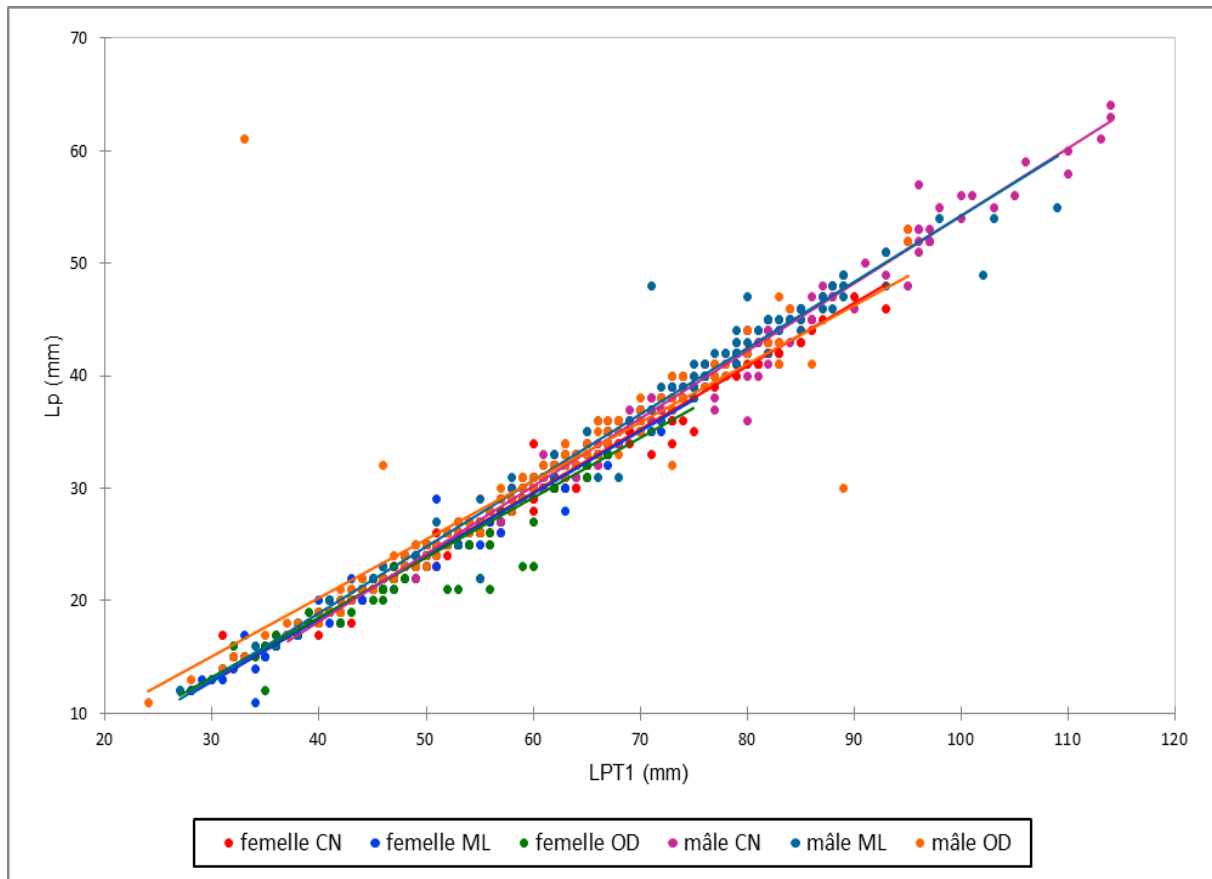


Figure 102 : Relation longueur pinces - longueur péréiopode I des mâles et des femelles pour les sites de canal Nador (CN), oued Drader (OD) et marais Loukkos (ML)

3.5. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales des données biométriques (longueur totale : Lt ; longueur céphalothorax : Lcpx ; longueur du péréiopode I : LPT1 ; longueur de la pince : Lp et le poids : P) montre que tous les paramètres sont bien représentés (Figure 103). Ils affichent aussi presque tous la même longueur du vecteur et sont liés principalement à l'axe F1. L'interprétation des angles permet de voir une corrélation entre toutes les variables. Cette corrélation est plus forte entre les couples Lt-Lcpx et LPT1-Lp, concernant le poids il est plus corrélé à la Lt et la Lcpx qu'à la LPT1 et Lp.

L'analyse par sexe des nuages de points à travers le graphique des observations (Figure 104) et du Biplot (Figure 105) montre deux groupes. Le premier en vert, représente les mâles qui affichent une tendance vers des péréiopodes et des pinces plus grands. Le deuxième en bleu, représente les femelles avec une tendance vers des longueurs totales et du céphalothorax plus importantes. La tendance vers le paramètre du poids est relativement proche pour les deux sexes. Il paraît alors que des péréiopodes et des pinces plus grands chez les mâles,

compenseraient une longueur totale et une longueur du céphalothorax supérieures chez les femelles, d'où le poids relativement proche.

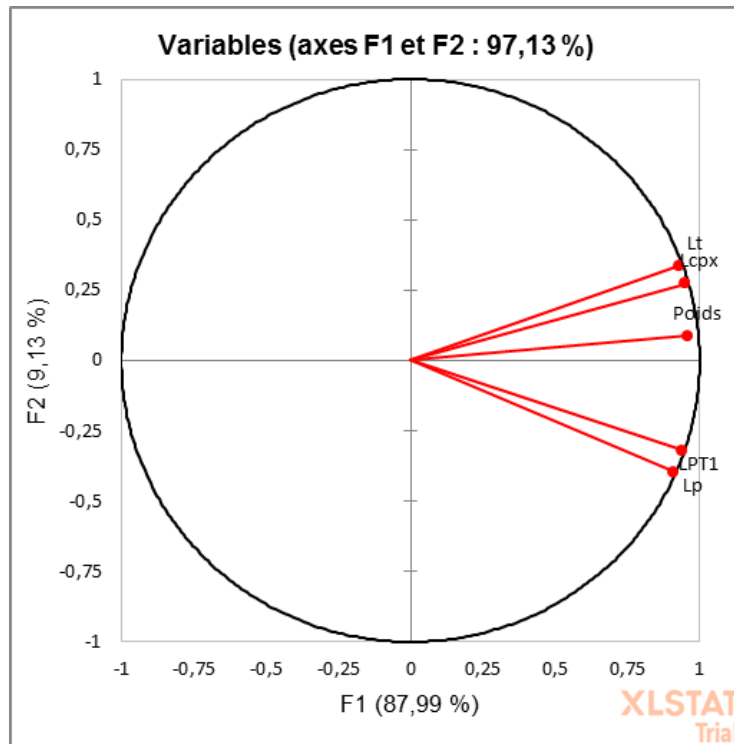


Figure 103 : Cercle des corrélations des paramètres biométriques

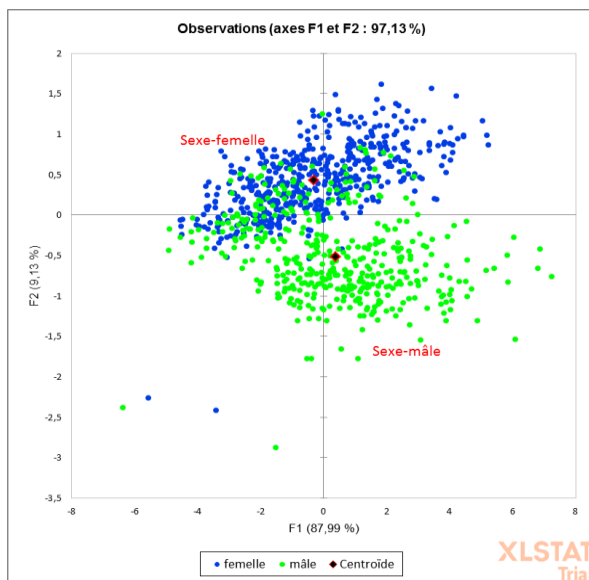


Figure 104 : Graphique des observations en nuage de points coloré par sexe

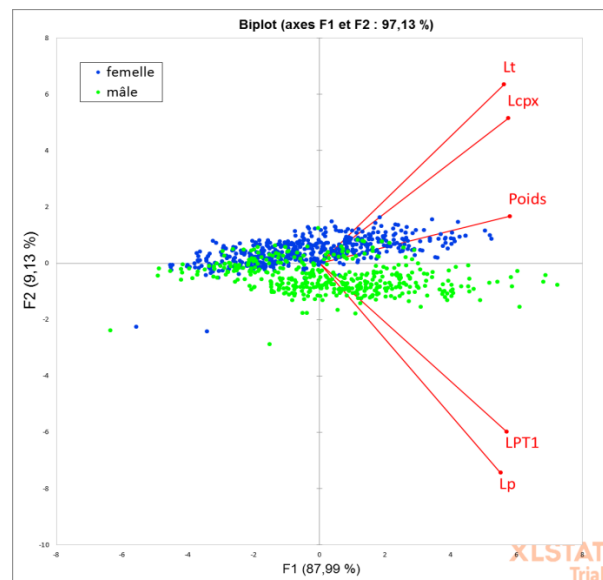


Figure 105 : Graphique du Biplot en nuage de points coloré par sexe

L'analyse des nuages de points par site à travers le graphique des observations (Figure 106) et du Biplot (Figure 107) montre une différence dans les tendances entre les trois sites. Le site canal Nador en bleu, tend vers des valeurs des paramètres biométriques les plus hautes. Alors

que le site oued Drader en mauve, tend vers des valeurs des paramètres biométriques les plus basses. Quant au dernier site en vert, celui du marais Loukkos, il présente une tendance vers des valeurs intermédiaires entre les deux sites. Ceci correspondrait, à un classement entre les sites selon les valeurs, des plus grandes aux plus petites adoptant la succession suivante : canal Nador > marais Loukkos > oued Drader.

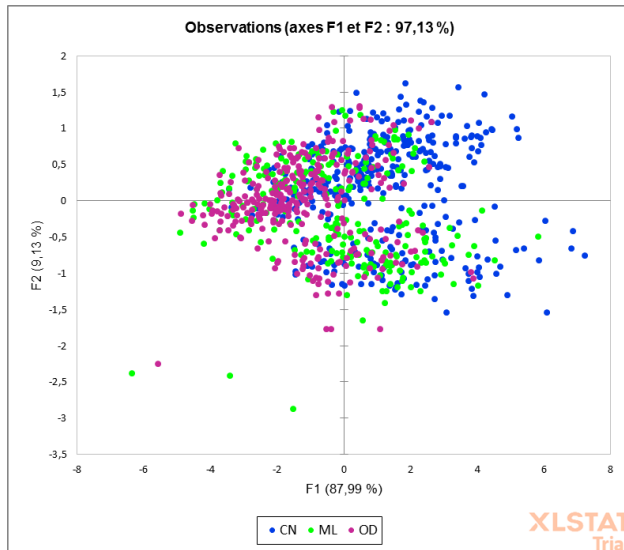


Figure 106 : Graphique des observations en nuage de points coloré par site

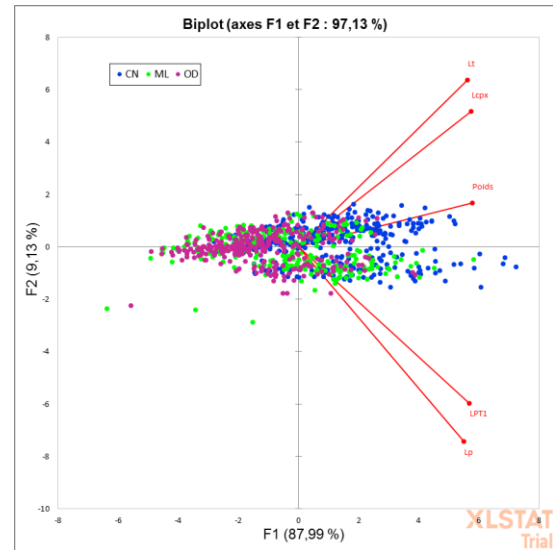


Figure 107 : Graphique du Biplot en nuage de points coloré par site

L'analyse des nuages de points par mois à travers le graphique des observations (Figure 108) montre une répartition dense des points qui ne permet pas de distinguer clairement les tendances. En gardant uniquement les centroïdes pour chaque nuage (Figure 109) nous pouvons voir deux groupes de mois. Le premier à droite regroupe les mois de janvier, février, mars, juillet et août qui tendent vers des valeurs plus élevées. Le second groupe à gauche regroupe les mois d'avril, mai, juin, septembre, octobre, novembre et décembre qui tendent vers des valeurs plus basses.

L'analyse en composantes principales des données biométriques confirme les constatations précédentes. Affichant une corrélation positive forte entre les paramètres biométriques, une tendance des mâles vers des appendices plus grands par rapport aux femelles et une hiérarchisation des sites qui suit le même classement (canal Nador > marais Loukkos > oued Drader).

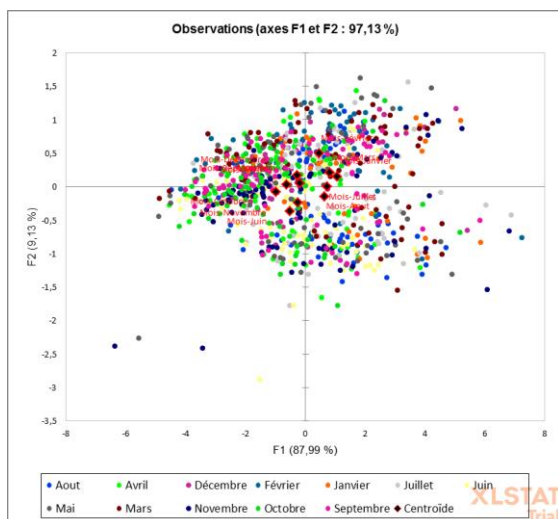


Figure 108 : Graphique des observations en nuage de points coloré par site

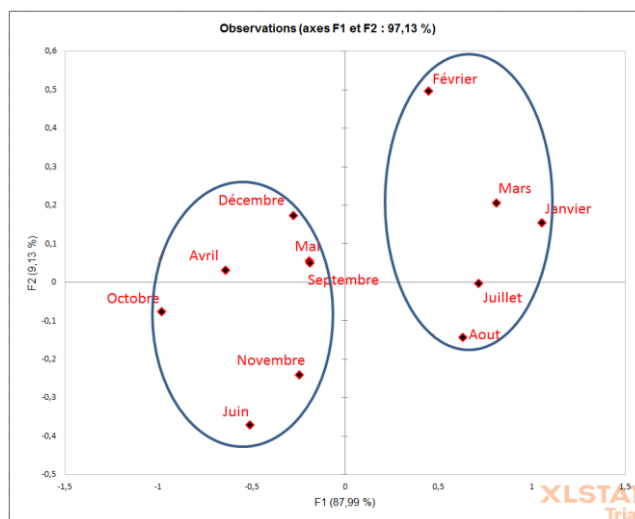


Figure 109 : Graphique des observations en centroïdes des nuages de points des sites

4. Discussion

4.1. Paramètres de la longueur et de poids

Dans l'ensemble des écrevisses traitées tous sites confondus, plus de 77% se trouvent à parts plus au moins égales dans trois classes de longueur totale (Lt) entre 70 et 100 mm. Le reste représente à 7% une Lt inférieure à 70 mm et à 15 % une taille entre 100 et 130 mm avec un seul individu (femelle du site canal Nador) de taille supérieure à 120 mm. La moyenne globale de Lt est de $86 \pm 12,4$ mm, avec $86,9 \pm 12,9$ mm chez les femelles et $85,1 \pm 11,7$ mm chez les mâles. Ces paramètres varient en fonction des sites, tel que présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau 37).

Tableau 37 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lt des populations d'écrevisses par site

Échantillon	Int Lt * (mm)	Moy générale \pm écart type (mm)	Moy mâles \pm écart type (mm)	Moy femelles \pm écart type (mm)
Global**	70-100	$86,0 \pm 12,4$	$85,1 \pm 11,7$	$86,9 \pm 12,9$
Canal Nador	70-110	$93,2 \pm 10,7$	$91,5 \pm 10$	$94,3 \pm 11,1$
Oued Drader	60-100	$79,2 \pm 10$	$78,6 \pm 9,7$	$79,7 \pm 10,2$
Marais Loukkos	70-100	$83,8 \pm 12$	$84,8 \pm 12$	$82,4 \pm 10,1$

* intervalle de longueur totale qui regroupe la majeure partie de l'échantillon ; ** tous sites confondus.

Concernant la longueur du céphalothorax (Lcpx), la répartition des écrevisses tous sites confondus se situe à plus de 50% dans la classe 40 – 50 mm. Le reste, se trouve en majorité dans les classes 30 – 40 mm et 50 – 60 mm avec respectivement des valeurs de 17,1% et

29,7%. Les plus petites classes, 10 – 20 et 20 – 30 mm, ne représentent que 0,5% de l'échantillon global, ce qui équivaut à 5 écrevisses. Quant à la classe la plus grande, 60 – 70 mm, elle représente 2,2% de l'échantillon global correspondant à 22 écrevisses. La moyenne globale de Lcpx est de 45,9±6,9 mm, avec 46±7,2 mm chez les femelles et 45,8±5,9 mm chez les mâles. Ces paramètres peuvent changer d'un site à l'autre comme le montre le tableau ci-dessous (Tableau 38).

Tableau 38 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lcpx des populations d'écrevisses par site

Échantillon	Int (mm)	Lcpx *	Moy générale ± écart type (mm)	Moy mâles ± écart type (mm)	Moy femelles ± écart type (mm)
Global**		40-60	45,9±6,9	45,8±5,9	46±7,2
Canal Nador		40-60	49,9±6	49,5±5,8	50,2±6,2
Oued Drader		30-50	42,1±5,6	42,1±5,4	42,1±5,7
Marais Loukkos		40-60	44,6±6,4	45,6±6,3	43,4± 6,4

* *intervalle de longueur du céphalothorax qui regroupe la majeure partie de l'échantillon ; **tous sites confondus.*

Quant au poids la répartition des écrevisses tous sites confondus, se regroupe à 91,4% dans l'intervalle entre 0 et 30 g (avec 49,2% pour la tranche 10 – 20 g). Le reste se répartit dans les classes de poids entre 30 et 70 g. Pour les classes de poids de 50 – 60 g et 60 – 70 g elles ne sont représentées que par 3 individus au total, avec des valeurs respectivement de 0,2% et 0,1%. La moyenne globale de poids est de 17,4±8,6 g, avec 17±8,4 g chez les femelles et 18±8,8 g chez les mâles. Ces paramètres sont différent d'un site à l'autre, tel que présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau 39).

Tableau 39 : Tableau comparatif des intervalles et moyennes de Lcpx des populations d'écrevisses par site

Échantillon	Int P * (g)	Moy générale ± écart type (g)	Moy mâles ± écart type (g)	Moy femelles ± écart type (g)
Global**	0-30	17,4±8,6	18±8,8	17±8,4
Canal Nador	10-30	22,4±9,1	23,4±10	21,8±8,5
Oued Drader	0-20	13,2±5,7	13,7±6,1	12,8±5,4
Marais Loukkos	0-30	15,6±7,4	17,1±7,6	13,5± 6,6

* *intervalle de poids qui regroupe la majeure partie de l'échantillon. **tous sites confondus.*

Tout ceci a relevé l'hypothèse qu'il peut y avoir une différence dans la Lt, la Lcpx et le P des écrevisses entre les différents sites et aussi entre mâles et femelles dans chaque site. C'est alors que les tests statistiques de comparaison nous ont permis de démontrer que pour chaque variable (Lt, Lcpx et P), il y avait une différence significative entre les sites (indépendamment du sexe) avec des p-values < **0,0001** pour tous les tests. Et donc le classement des sites est le même pour les trois variables : canal Nador > marais Loukkos > oued Drader. Concernant la comparaison entre les sexes, la différence est significative pour la Lt (p-values = 0,014) au niveau du site canal Nador avec des femelles de taille plus grande que les mâles. Et pour la Lcpx et le poids (p-values respectivement de 0,006 et 0,00015) au niveau du site marais Loukkos avec des mâles ayant une Lcpx et un poids supérieur aux femelles.

En outre, les valeurs liées à la longueur du périopode (LPT1) et des pinces (LP) (Tableau 40), suivent et confortent le même classement entre les sites présenté par les autres paramètres (Lt, Lcpx et le P) et donc les écrevisses du canal Nador auraient les périopodes et les pinces les plus grands suivies des écrevisses du marais Loukkos et enfin celles de l'oued Drader avec des différences significatives affichant des p-values < **0,0001** pour les tests entre tous les sites.

Étant un critère de dimorphisme sexuel chez *P. clarkii*, la LPT1 et la Lp sont significativement plus grandes chez les mâles par rapport aux femelles pour tous les sites (p-values < **0,0001**). Ceci est en cohérence avec les résultats d'autres auteurs, comme Dörr *et al.* (2006), Blatter (2013) et El Qoraychy (2016) qui mentionnent des moyennes de LPT1 ou Lp, plus grandes chez les mâles par rapport aux femelles (Tableau 41). Cette différence, comme proposée par Blatter (2013), peut expliquer un poids moyen toujours supérieur chez les mâles même quand la taille moyenne est inférieure à celle des femelles. Il est à noter que lors de la présente étude nous avons observé pour une écrevisse mâle de 102 mm de longueur totale et un poids total de 27 g, un périopode I qui faisait 103 mm de longueur avec un poids de 8 g (dont 6 g pour la pince).

A l'échelle nationale, la comparaison de ces résultats avec ceux d'El Qoraychy *et al.* (2015) et El Qoraychy (2016) (Tableau 41), montre que pour le même site de canal Nador, les écrevisses assujetties à la présente étude auraient une taille plus grande (Lt, Lcpx et Lp supérieures) mais avec un poids supérieur chez les femelles et inférieur chez les mâles. Donc les femelles seraient plus grandes et plus massives en 2018 qu'en 2013/2014 et les mâles aussi plus grands mais moins massifs. De plus l'écart entre les moyennes de Lcpx et de poids

entre mâles et femelles serait moins important en 2018 qu'en 2013/2014. Concernant le site de l'oued Drader on pourrait le comparer avec celui de la Merja Zerga en vue de la proximité géographique qu'il y a entre les deux sites. Il s'avère que les écrevisses de l'oued Drader (2018) seraient plus grandes (Lt et Lcpx supérieures) et moins massives que celles de la Merja Zerga (2013/2014) et auraient des pinces plus petites. Avec aussi des écarts de moyennes (Lt, Lcpx et P) moins importants entre mâles et femelles pour l'oued Drader que pour la Merja Zerga. Concernant le Marais Loukkos (2018) les écrevisses seraient globalement plus grandes et moins massives que celles du canal Nador et Merja Zerga (2013/2014) et auraient des pinces plus petites.

Tableau 40 : Tableau comparatif des moyennes de LPT1 et Lp des populations d'écrevisses par site

	Échantillon	LPT1 (mm)	LP (mm)
Moy générale ± écart type	Global**	61,4±16	30,9±9,5
	Canal Nador	68,7±14,6	35±8,8
	Oued Drader	53,2±12,7	26,2±7,6
	Marais Loukkos	60,7±17,1	30,7±10,3
Moy mâles ± écart type	Global**	68,3±17,3	35,5±10,3
	Canal Nador	77,4±15,4	40,7±9,3
	Oued Drader	58,8±14,7	30±8,8
	Marais Loukkos	68,3±16,5	35,5±9,9
Moy femelles ± écart type	Global**	55,6±12,5	27,1±7,1
	Canal Nador	63,2±11,1	31,5±6,3
	Oued Drader	49± 8,9	23,3±4,9
	Marais Loukkos	50,6± 11,9	24,3±6,7

A l'échelle internationale, la comparaison des résultats avec ceux de la littérature dans d'autres pays comme l'Italie, la France, l'Espagne, le Portugal ou les États Unis d'Amérique, montre que la population d'écrevisse de canal Nador s'approche plus des populations décrites par Dörr *et al.* (2006) au lac Trasimène en Italie et par Blatter (2013) à l'étang de Chassin

dans l'Yonne en France, avec des moyennes de Lt, Lcpx, Lp et poids très proches (Tableau 41). Cependant, l'écrevisse avec la Lt max la plus importante est de 140 mm en Italie et 132 mm en France, contre 120 mm au canal Nador. Quant à la population du marais Loukkos présentant une Lt max de 113 mm, un poids max de 46 g et une moyenne de Lcpx de 44,6 mm, elle s'approcherait plus des populations décrites en Louisiane qui ne dépassent pas une Lt max de 116 mm et un poids max de 47 g (Penn, 1943) et qui peuvent présenter une moyenne de Lcpx entre 42 et 46,5 mm (Bonvillain, 2012). Concernant la population de l'oued Drader avec une Lt max de 106 mm serait plus proche des populations décrites en Espagne (parc national Donana) (Bravo *et al.*, 1994) et au Portugal (Sao Miguel) (Costa *et al.*, 1996) où les écrevisses de Louisiane ne dépasseraient pas respectivement les 105 mm et les 100 mm. D'après le raisonnement de Dörr *et al.* (2006), la différence dans la taille des écrevisses d'une population à l'autre serait liée aux conditions environnementales et à l'âge. Ainsi, dans un habitat stable avec une faible densité, les individus vivraient plus longtemps et seraient donc plus grands. Dörr *et al.* (2006) suggèrent que les individus de grande taille au lac Trasimène auraient un âge plus important (de 3 à 4 ans) par rapport à l'habitat d'origine, où la plupart des mâles meurent à la fin de leur première année, et les femelles ne dépassent que rarement plus de deux ans (Penn, 1943 ; Bravo *et al.*, 1994). En appliquant ce raisonnement à nos échantillons, la population avec les écrevisses qui vivraient le plus longtemps, seraient celles de canal Nador, suivie par celle du marais Loukkos, et enfin la population de l'oued Drader. De plus, la population du canal Nador aurait certainement un âge supérieur aux populations dans l'habitat d'origine en Louisiane.

Tableau 41 : Comparaison des résultats avec ceux de la littérature au Maroc (canal Nador et Merja Zerga), en Italie (Lac Trasimène) et en France (étang de Chassin).

	Canal Nador ¹	Oued Drader ¹	Marais Loukkos ¹	Canal Nador ²	Merja Zerga ²	Lac Trasimène ³	Étang Chassin ⁴	
Mâles	Moy Lt (mm)	91,5±10	78,6±9,7	84,8±12	83	63	91±14	90,2
	Moy Lcpx (mm)	49,5±5,8	42,1±5,4	45,6±6,3	31,8	40,8	47±8	45,9
	Moy LPT1 (mm)	77,4±15,4	58,8±14,7	68,3±16,5	---	---	---	69,7
	Moy Lp (mm)	40,7±9,3	30±8,8	35,5±9,9	33,14	34,2	37±12	38,7
	Moy P (g)	23,4±10	13,7±6,1	17,1±7,6	26,3	32,1	23,6±12,5	24,5
Femelles	Moy Lt (mm)	94,3±11,1	79,7±10,2	82,4±10,1	82	81,5	96±18	91,2
	Moy Lcpx (mm)	50,2±6,2	42,1±5,7	43,4± 6,4	44,4	29,7	49±9	46,3
	Moy LPT1 (mm)	63,2±11,1	49± 8,9	50,6± 11,9	---	---	---	58,3
	Moy Lp (mm)	31,5±6,3	23,3±4,9	24,3±6,7	28,9	28,4	30±10	30,8
	Moy P (g)	21,8±8,5	12,8±5,4	13,5±6,6	19,8	24,2	25,8±14,8	22,7

¹échantillon de 2018 (présente étude) ; ²échantillon de 2013/2014 (El Qoraychy et al., 2015 ; El Qoraychy, 2016) ; ³échantillon de 2000/2001 (Dörr et al, 2006) ; ⁴échantillon de 2011 (Blatter, 2013).

4.2. Relations entre les paramètres de longueurs et de poids

L'étude des relations entre les différents paramètres a permis d'observer d'une part, les modèles d'évolution de ces derniers en fonction des paramètres clés qui sont la longueur totale (Lt) et la longueur du céphalothorax (Lcpx), et d'autre part d'estimer le degré de leurs corrélations. De ce fait, selon la manière dont les paramètres évoluent, nous avons distingué trois groupes de relations qui se définissent comme suit :

- Relations qui évoluent indépendamment du sexe selon une tendance exponentielle qui suit une courbe dont l'équation s'écrit $y = a.e^{b.x}$: il s'agit de l'évolution du poids en fonction de la Lt et de l'évolution du poids en fonction de la Lcpx.
- Relations qui évoluent indépendamment du sexe selon une tendance linéaire qui suit une courbe dont l'équation s'écrit $y = ax + b$: il s'agit de l'évolution de la Lcpx en fonction de la Lt et de l'évolution de la longueur de la pince en fonction de la longueur du péréiopode 1.
- Relations qui évoluent spécifiquement pour chaque sexe (deux nuages de points distincts) selon une tendance linéaire qui suit une courbe dont l'équation s'écrit $y = ax + b$ pour chaque sexe : il s'agit de l'évolution de la longueur du péréiopodes I en fonction de la Lt et de l'évolution de la longueur du péréiopodes I en fonction la Lcpx.

Concernant le degré de corrélations entre les différents paramètres, les coefficients de détermination (Tableau 42) affichent des valeurs qui correspondent à des corrélations positives très fortes pour les relations testées.

Tableau 42: Tableau récapitulatif des coefficients de détermination (R²)

	Lt	Lcpx	LPT1	Lp	P
Lt	1	0,95	M : 0,73 F : 0,84	NT	0,85
Lcpx	0,95	1	M : 0,77 F : 0,86	NT	0,88
LPT1	M : 0,73 F : 0,84	M : 0,77 F : 0,86	1	0,95	NT
Lp	NT	NT	0,95	1	NT
P	0,85	0,88	NT	NT	1

M : mâles ; F : femelles ; NT : non testé.

La comparaison des relations traitées lors de la présente étude montre une similitude avec les données de la littérature. Effectivement, Blatter (2013) a mis en évidence une corrélation positive forte entre le poids et la longueur totale, la longueur du péréiopode I et la Longueur totale, avec des coefficients de détermination (R²) supérieurs aux nôtres, qui présentent

respectivement des valeurs de 0,9 et 0,93. Concernant El Qoraychy *et al.* (2015), ils présentent une corrélation positive forte entre le poids et la longueur du céphalothorax, et aussi comme Blatter (2013), entre le poids et la longueur totale, avec des coefficients de détermination (R^2) supérieurs aux nôtres de 0,99 pour les deux relations. Quant à Harper *et al.* (2002), ils établissent aussi une corrélation positive forte entre le poids et la longueur du céphalothorax mais avec un coefficient de détermination $R^2=0,76$ inférieur au nôtre et ceux des autres auteurs précités. Harper *et al.* (2002) ont établi en plus, une corrélation positive forte entre la longueur du céphalothorax et la longueur totale avec un coefficient de détermination ($R^2= 0,97$) très proche du notre ($R^2= 0,95$).

La comparaison des trois modèles d'évolution des différents paramètres en fonction des paramètres clés, avec les données de la littérature, montre que le premier modèle qui concerne la relation poids - Lt et poids – Lcpx, est très proche de celui de Harper *et al.* (2002) et de Chucholl (2011a). Ces derniers décrivent la relation poids – Lcpx par une équation qui correspond à une courbe de puissance s'écrivant : $y = a.x^b$ (où y : poids et x : Lcpx), l'estimation de a et b se fait par régression linéaire après transformation logarithmique ex : $\log W = -4.45 + 2.93 \log CL$ (où W : poids et CL : Lcpx). Cette tendance est très proche de notre modèle dont l'équation est $\text{Poids} = a.e^{b \text{ Lcpx}}$. Contrairement à Blatter (2013) et El Qoraychy *et al.* (2015) qui présentent la relation poids - Lt et poids – Lcpx selon des modèles linéaires (ex : $Y=3.929x-14.78$ où Y : Poids et X : Lt / Lcpx). Concernant le second modèle, il est cohérent avec les résultats de Harper *et al.*, 2002. Il décrit la relation entre la Lcpx et la Lt par une courbe de tendance linéaire indépendamment du sexe et qui s'écrit sous la forme $\text{Lcpx} = a \text{ Lt} + b$. Quant au dernier modèle, il décrit l'évolution de la LPT1 en fonction de la Lt et la Lcpx à travers une courbe de tendance linéaire spécifique pour chaque sexe reflétant un critère de dimorphisme sexuel, en cohérence avec les résultats présentés par Blatter (2013). D'autres auteurs comme Dörr *et al.* (2006) ; Scalici *et al.* (2010) et Chucholl (2011a), présentent la croissance de *P. clarkii* à travers des modèles plus élaborés, comme celui de Von Bertalanffy associé à l'analyse électronique des fréquences de longueur (ELEFAN), une méthode connue pour modéliser la croissance des poissons. Les modèles d'évolution des différents paramètres présentés par la présente étude ne font pas partie de l'objet de l'étude, mais ont plutôt été observés suite au traitement des données. Cependant, une attention particulière leur sera accordée ultérieurement, pour en faire des sujets de publications parmi celles qui seront produites suite à l'aboutissement du présent travail.

5. Conclusion

Pour les trois sites étudiés les écrevisses sont caractérisées par une taille entre 70 et 110 mm avec un poids entre 10 et 30 g pour le canal Nador, entre 60 et 100 mm avec un poids entre 3 et 20 g pour l'oued Drader, et entre 70 et 100 mm avec un poids entre 3 et 30 g pour le marais du Loukkos. Les différences entre les populations des écrevisses sont significatives et présentent le même classement en fonction des sites pour tous les paramètres. Ainsi les écrevisses les plus grandes et les plus massives (valeurs les plus élevées enregistrées entre janvier et mars) sont celles de la population de canal Nador, qui seraient même plus grandes et plus âgées que les populations dans l'habitat d'origine en Louisiane mais pas autant que les populations signalées en France et en Italie. Viennent ensuite les écrevisses de la population du marais Loukkos (valeurs les plus élevées enregistrées en février et août), de poids et de taille intermédiaires, étant plus petites que les écrevisses des populations de canal Nador et plus grandes que celles de l'oued Drader, elles correspondraient aux écrevisses des populations dans l'habitat d'origine en Louisiane. Et enfin les écrevisses les plus petites et les moins massives, sont celles de l'oued Drader (valeurs les plus élevées enregistrées en juin, juillet et septembre), elles seraient similaires à quelques populations signalées en Espagne et au Portugal. La différence entre les sexes est caractérisée principalement par la longueur du péréiopodes et des pinces qui sont tous les deux significativement plus grands chez les mâles par rapport aux femelles en adéquation avec le fait que ceci soit un critère caractérisant le dimorphisme sexuel chez cette espèce. L'évolution des paramètres décrits en fonction des paramètres clés (Longueur totale et longueur du céphalothorax) ne montre pas de différences remarquables entre les populations des trois sites.

En vue de la structure des populations décrites, le site de canal Nador serait le site de premier choix pour l'exploitation de cette espèce, et plus particulièrement grâce à la grande taille des d'écrevisses qu'il abrite. Suivi par le site du marais Loukkos, et en dernier lieu le site de l'oued Drader.

La description présentée dans ce chapitre ouvre les portes aux autorités de gestion et aux exploitants, pour la mise en place d'un mode de gestion en commun, afin de contrôler efficacement les populations de *P. clarkii* tout en limitant leurs impacts généralement négatifs sur l'environnement et les activités humaines. Dans l'optique que l'introduction de *P. clarkii*, ne soit plus un problème, mais devient une opportunité.

Chapitre 3 : Étude de la dynamique des populations de *Procambarus clarkii*

1. Introduction

L'étude de la dynamique des populations d'écrevisses de Louisiane est primordiale pour la mise en place d'un système de gestion efficace de l'espèce. Dans notre cas, nous voyons la gestion d'un point de vue d'exploitation. Dans le but, d'une part, de contrôler l'invasion et l'expansion qui menace les écosystèmes au Maroc, et d'autre part d'apporter de la valeur ajoutée à la population locale, au lieu que cela ne pèse sur les budgets des autorités de gestion et des agriculteurs.

Ce chapitre est une contribution à l'étude de la dynamique des populations d'écrevisses dans la région du Gharb et du bas Loukkos. A travers la description de l'évolution des paramètres de longueurs et de poids sur l'année ainsi que le sex-ratio. Dans une seconde partie, nous exposerons nos observations concernant la reproduction, les différences phénotypiques et les aspects pathologiques entre autres.

2. Matériel et méthode

La méthodologie est la même que pour le chapitre 2 car il s'agit des mêmes échantillons. Les données collectées pour le chapitre 2 seront retraitées différemment dans ce chapitre. Dans le chapitre 2 il s'agissait de présenter et décrire les données de longueurs et de poids des écrevisses (répartition, comparaison...) indépendamment ou dépendamment du sexe. Alors que dans ce chapitre nous traiterons du sex-ratio comme paramètre à part, puis nous traiterons de l'évolution (ou variations) des paramètres de longueurs et de poids des écrevisses pendant la période d'échantillonnage. C'est alors que nous exposerons l'évolution des moyennes mensuelles de ces paramètres, pendant la période janvier 2018 – décembre 2018 dans la région du Gharb pour les deux sites du canal Nador (CN) et oued Drader (OD), et pendant la période février 2018 – novembre 2018 dans la région de Larache pour le site marais Loukkos.

Le traitement des données et la production des graphiques ont été réalisés à l'aide du programme Excel, le calcul des écarts-types a été fait par la fonction « ECARTYPE ».

3. Résultats

3.1. Le sex-ratio

La détermination du sexe a permis d'établir le sex-ratio pour les différents groupes d'échantillons. Pour l'échantillon global indépendamment des sites, le sex-ratio des écrevisses

présente un léger déséquilibre en faveur des femelles avec une valeur de 54,52% (Figure 110). Un écart qui se révèle plus important lors de l'analyse détaillée par site. En effet, les sites canal Nador et oued Drader présentent un sex-ratio avec un déséquilibre en faveur des femelles avec des valeurs respectives de 61,5% et 56,44%. Concernant le marais Loukkos la situation est inversée, correspondant à un sex-ratio en déséquilibre en faveur des mâles, avec une valeur 57,87%.

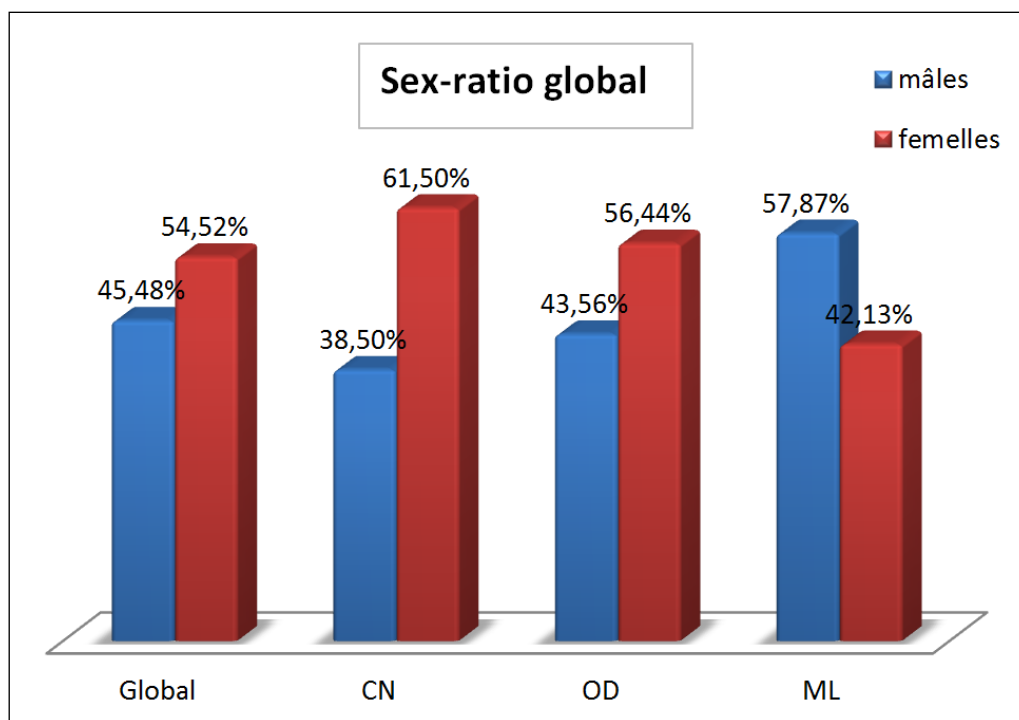


Figure 110 : Sex-ratio pour les différents groupes d'échantillons, global ; canal Nador (CN) ; oued Drader (OD) ; marais Loukkos (ML)

L'analyse de de la variation mensuelle durant l'année 2018 du sex-ratio pour le site canal Nador (Figure 111) montre une dominance des femelles sur toute l'année sauf pour les mois d'avril et juillet, pour le premier l'écart est en faveur des mâles avec une valeur de 63,33%, quant au deuxième le sex-ratio est équilibré à 50% mâles et 50% femelles. L'écart le plus important est enregistré pendant les mois de septembre et octobre avec la même valeur de 73,33% en faveur des femelles. On peut aussi distinguer deux périodes avec une succession d'écarts importants de sex-ratio en faveur des femelles en début et en fin d'année.

Pour le site oued Drader, l'analyse de la variation mensuelle durant l'année 2018 du sex-ratio (Figure 112) montre un sex-ratio en faveur des femelles pendant cinq mois, au début et à la fin d'année, et un sex-ratio en faveur des mâles pendant la période de mars à août. Cependant, l'écart est plus important pendant la période où le sex-ratio est en faveur des femelles. En effet, l'écart en faveur des femelles présente des valeurs qui peuvent atteindre 70, 80 et 90%

de femelles, alors que l'écart le plus grand en faveur des mâles est de 59%. Là aussi, comme le site canal Nador, on peut distinguer deux périodes en début et en fin d'année avec une succession d'écart important de sex-ratio en faveur des femelles.

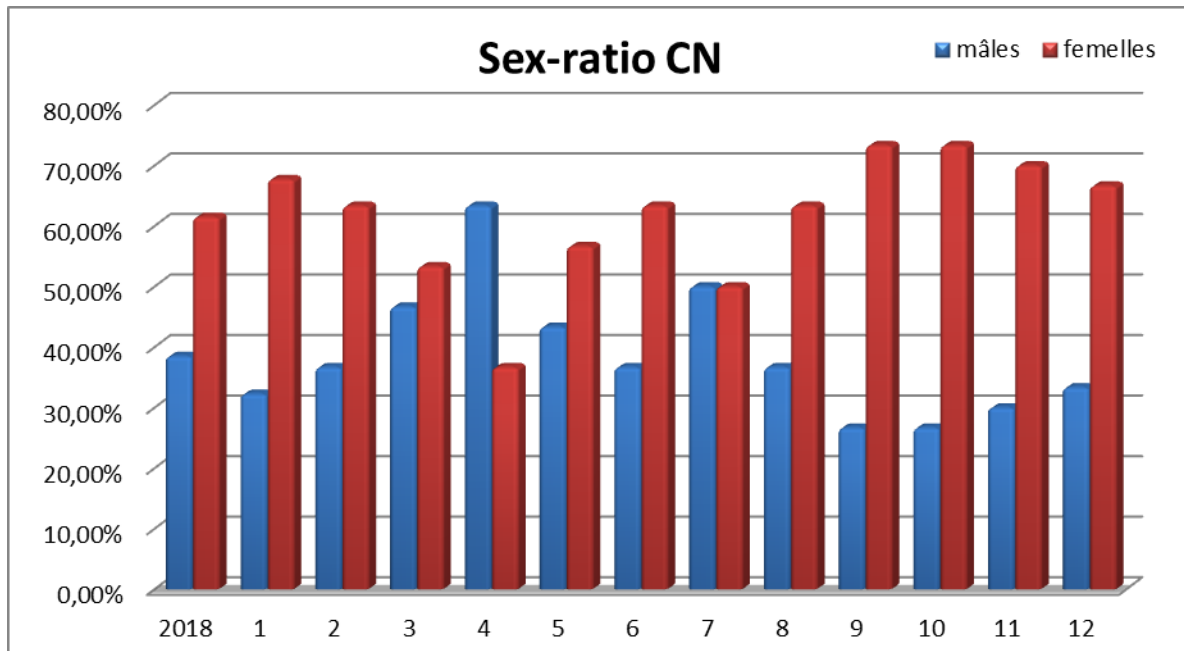


Figure 111 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site canal Nador durant l'année 2018

Quant au site du marais Loukkos, l'analyse de la variation mensuelle du sex-ratio durant la période février – novembre de l'année 2018 (Figure 113) montre globalement une dominance des mâles avec un sex-ratio en faveur des mâles pour six mois et des écarts plus importants en faveur des mâles présentant des valeurs qui dépassent 70 %. Pour les trois mois restants le sex-ratio est en faveur des femelles avec la valeur la plus élevée de 58,82 % de femelles. Un seul mois (mars) présente un sex-ratio équilibré à 50% mâles et 50% femelles. Contrairement aux deux sites de canal Nador et oued Drader, il y a une seule période caractérisée par une succession d'écart relativement important de sex-ratio, et qui est en plus en faveur des mâles.

Les échantillons relatifs aux rizières au niveau du Gharb pour le mois de juillet et Larache pour le mois de mai (Figure 114), présentent un sex-ratio en faveur des femelles pour le premier à 66,67% et pour le second un sex-ratio équilibré à 50% mâles et 50% femelles. Le sex-ratio en faveur des femelles au niveau des rizières du Gharb reflète la tendance dans la région présentée par les sites canal Nador et oued Drader.

Globalement la région du Gharb est caractérisée par un sex-ratio en faveur des femelles. Pour les deux sites la période entre mars et août connaît une succession d'écart moins important, et qui est plus visible au niveau du site oued Drader. Ce qui pourrait correspondre à la période

de reproduction où les femelles restent dans les terriers et confrontent moins les mâles. Concernant la région de Larache, la différence d'évolution du sex-ratio au niveau site du marais Loukkos par rapport aux sites du Gharb peut être due à la différence de la nature de l'habitat, les sites de la région Gharb se trouvent dans des habitats en eaux courantes (canal Nador et oued Drader) et le site de la région de Larache se trouve dans un habitat en eaux stagnantes ou à très faible débit (marais Loukkos).

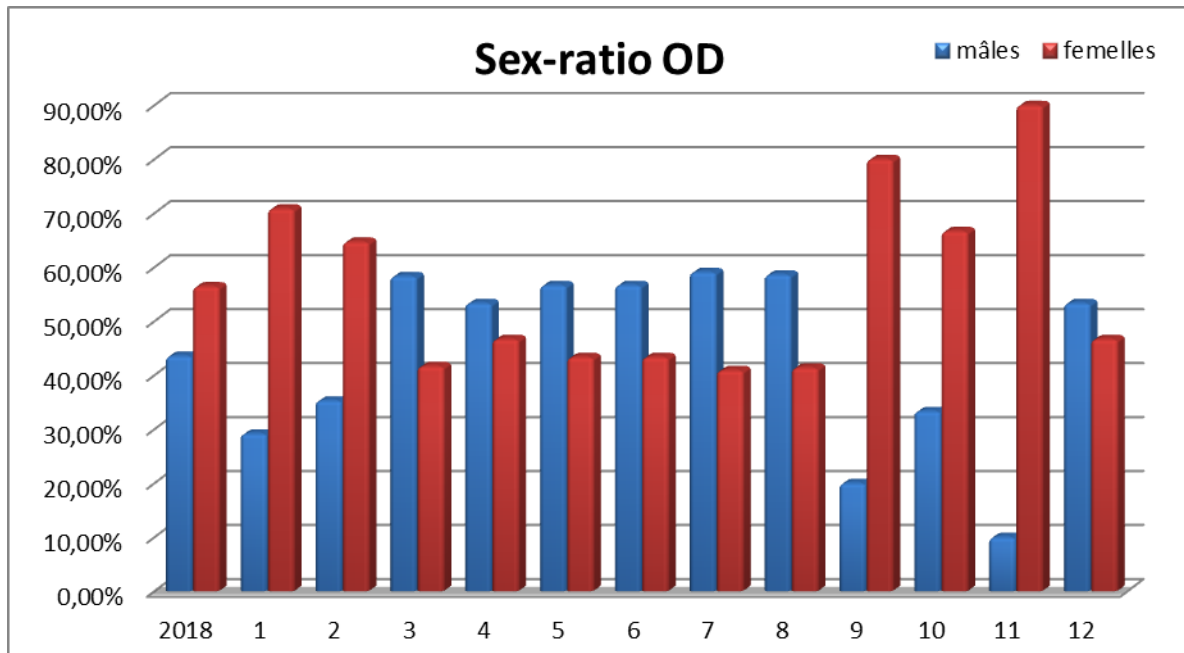


Figure 112 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site oued Drader durant l'année 2018

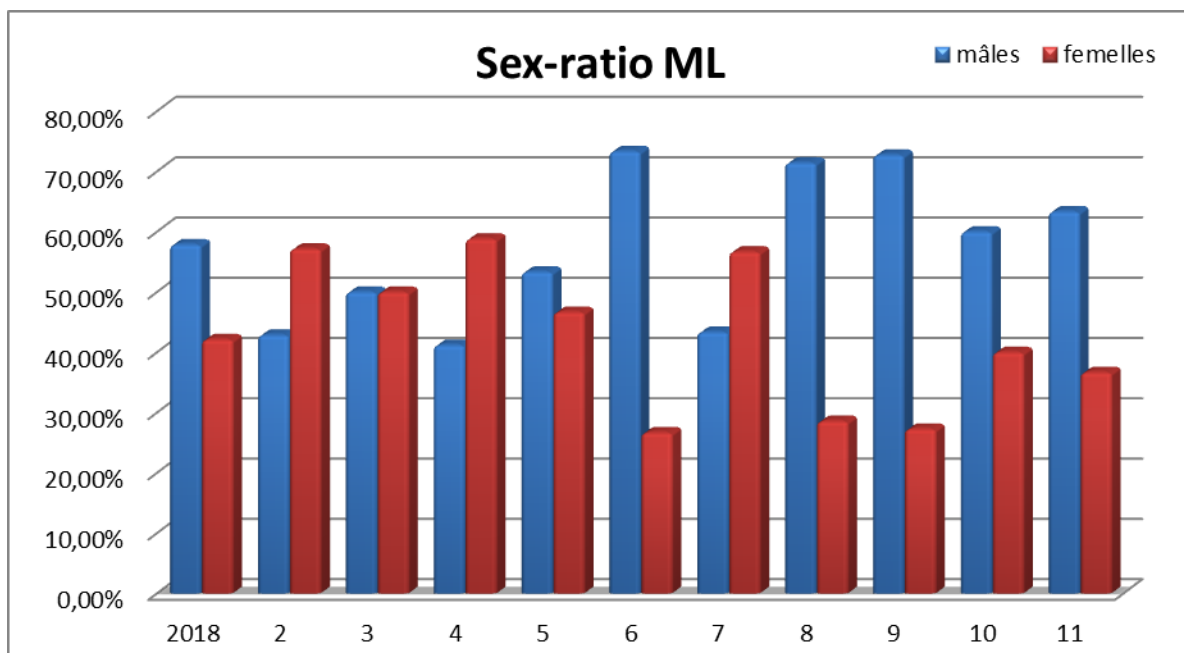


Figure 113 : Variation mensuelle du sex-ratio pour le site marais Loukkos durant l'année 2018

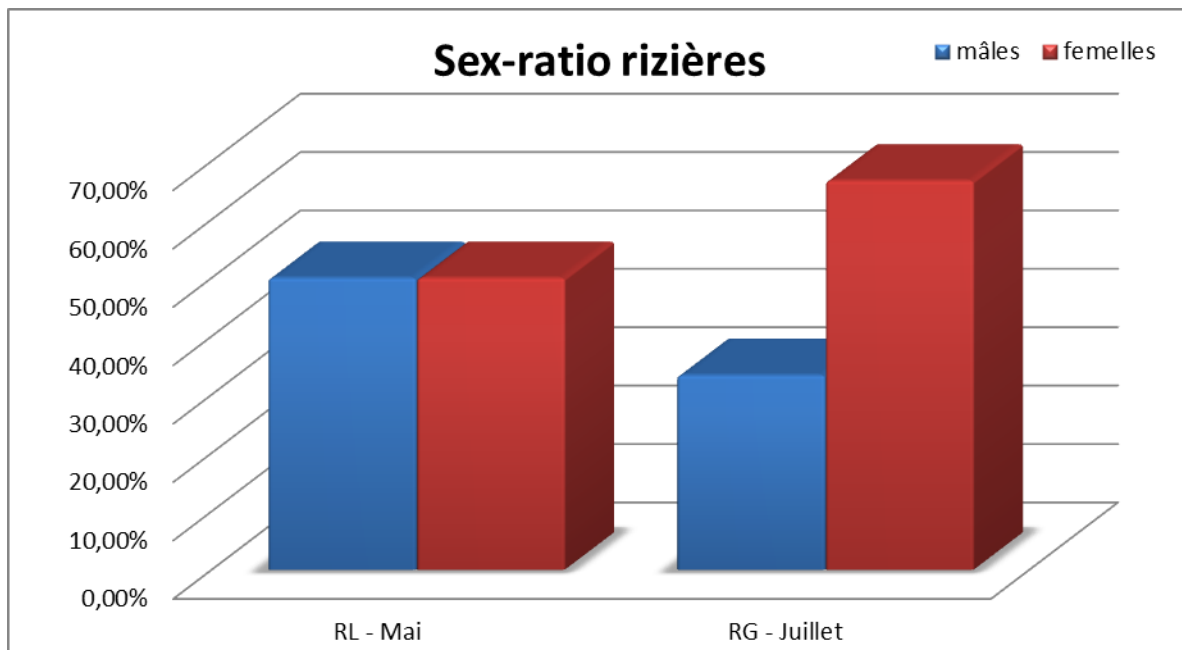


Figure 114 : Sex-ratio pour les sites rizières de Larache au mois de Mai (RL) et rizières du Gharb au mois de juillet de l'année 2018

3.2. Variation des paramètres de longueurs et de poids

3.2.1. Longueur totale (Lt)

L'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles de la longueur totale pendant l'année 2018 pour les mâles et femelles du site canal Nador (Figure 115) démontre, que les femelles présentent une variation de la moyenne mensuelle de la longueur totale qui évolue en dents de scie presque sur toute l'année. L'analyse détaillée permet de distinguer deux périodes majeures :

- janvier – juin marquée par une tendance à la baisse des moyennes où la valeur de départ est de 100,5 mm en janvier pour arriver à une valeur de 82,1 mm en juin, et qui est la plus basse de l'année ;
- juin – décembre marquée par une augmentation des moyennes entre juin et septembre avec une valeur de départ de 82,1 mm pour atteindre 98 mm, après septembre et jusqu'en décembre les valeurs sont relativement stables variant entre 90 et 93,4 mm.

Concernant les mâles la variation de la moyenne mensuelle de la longueur totale montre trois phases :

- janvier – juin marquée par une tendance à la baisse des moyennes où la valeur de départ est de 95,9 mm en janvier pour arriver à une valeur de 85 mm en juin ;

- juillet – août marquant une stagnation qui vient juste après une augmentation entre juin et juillet ;
- septembre – décembre marquant une stagnation qui vient après une diminution entre août et septembre.

Globalement, l'évolution de la variation des moyennes mensuelles de la longueur totale suit plus ou moins la même tendance chez les mâles et chez les femelles. A la différence des mois de février, mars, septembre et octobre où l'évolution des valeurs pour les deux sexes est opposée. De plus les valeurs pour les mâles varient selon une amplitude inférieure à celle des femelles.

L'évolution des moyennes de la longueur totale mensuelle pour les mâles et les femelles du site oued Drader (Figure 116) suit relativement la même tendance et présenterait une alternance cyclique de phase de diminution et d'augmentation de la moyenne. Le premier cycle débiterait en février avec une phase de diminution des valeurs de moyennes jusqu'en mai suivi d'une phase d'augmentation entre mai et août, le deuxième cycle débiterait en août avec une phase de diminution jusqu'en novembre puis une phase d'augmentation de novembre qui se poursuivrait jusqu'en février.

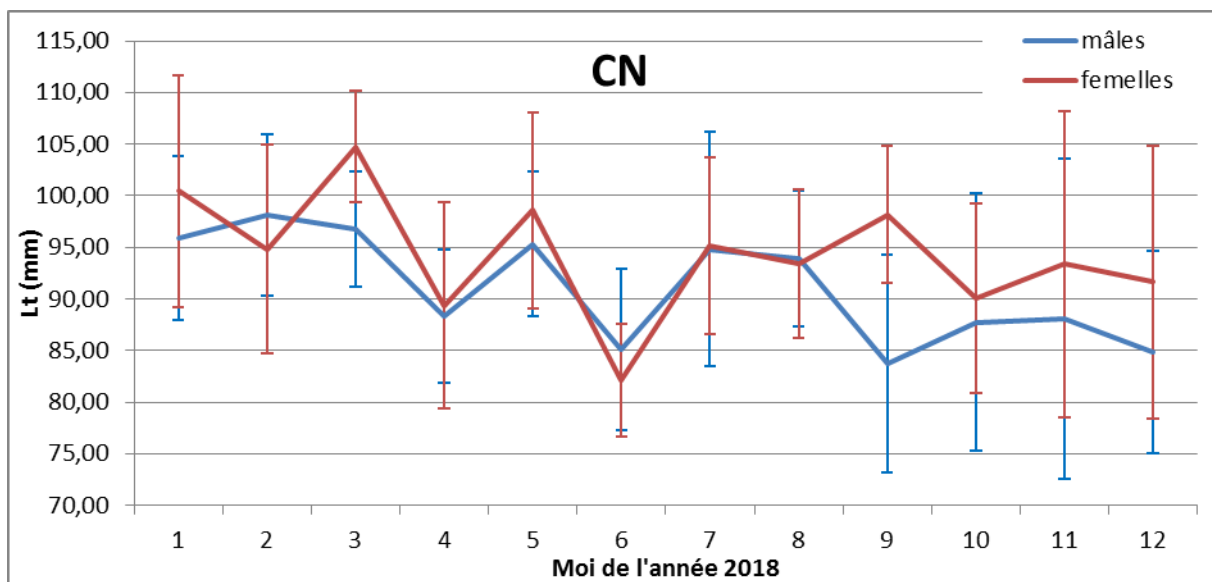


Figure 115 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)

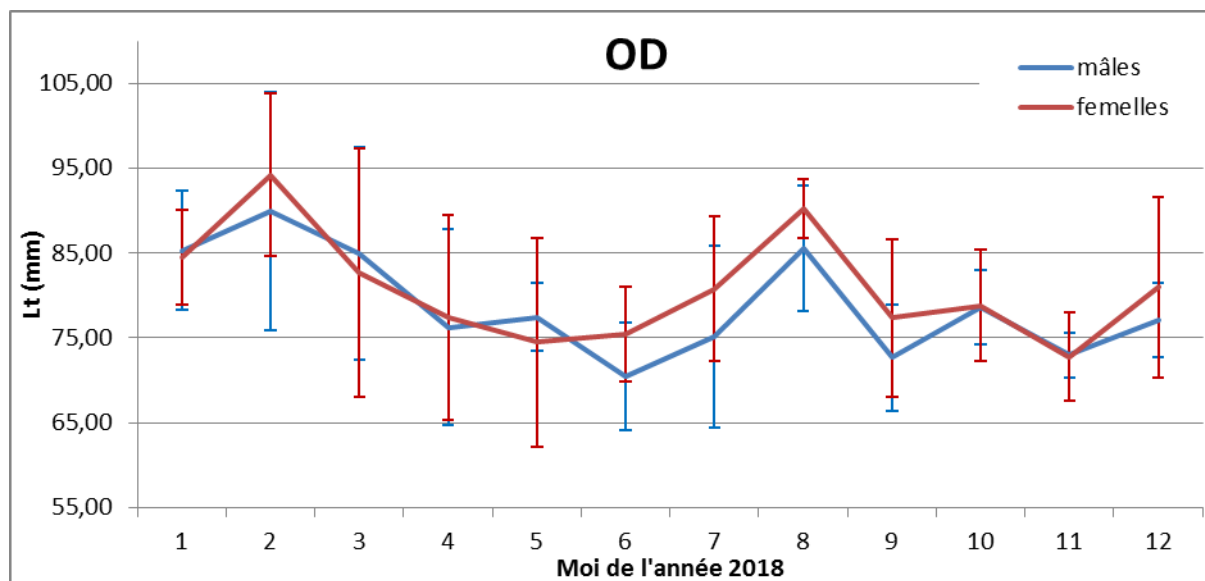


Figure 116 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)

L'analyse de l'évolution des moyennes de la longueur totale mensuelle pour les mâles et les femelles du site marais Loukkos (Figure 117) montre que les valeurs pour les deux sexes :

- suivent la même tendance pour les deux périodes, février – mai et septembre – novembre, avec une augmentation entre février et mars suivie par une stagnation entre mars et mai, pour la seconde période elle est caractérisée par une diminution des valeurs entre septembre et octobre et une augmentation entre octobre et novembre ;
- ne suivent pas la même tendance pour la période mai à septembre, alors que les valeurs pour les mâles resteront constantes jusqu'en juin puis vont enregistrer une augmentation entre juin et juillet puis seront constantes jusqu'en septembre, alors que les valeurs pour les femelles vont augmenter entre mai et juin pour atteindre la valeur la plus haute de l'année (96 mm) puis suivre une tendance à la baisse jusqu'en octobre.

L'évolution des moyennes mensuelles de la longueur totale pour les mâles et femelles des trois sites ne présenterait pas de lien. En effet, pour les trois sites, que ce soit chez les mâles où les femelles les évolutions des valeurs ne présentent pas d'élément de similitude ou de différence claire qui permettrait de démontrer des corrélations positives ou négatives.

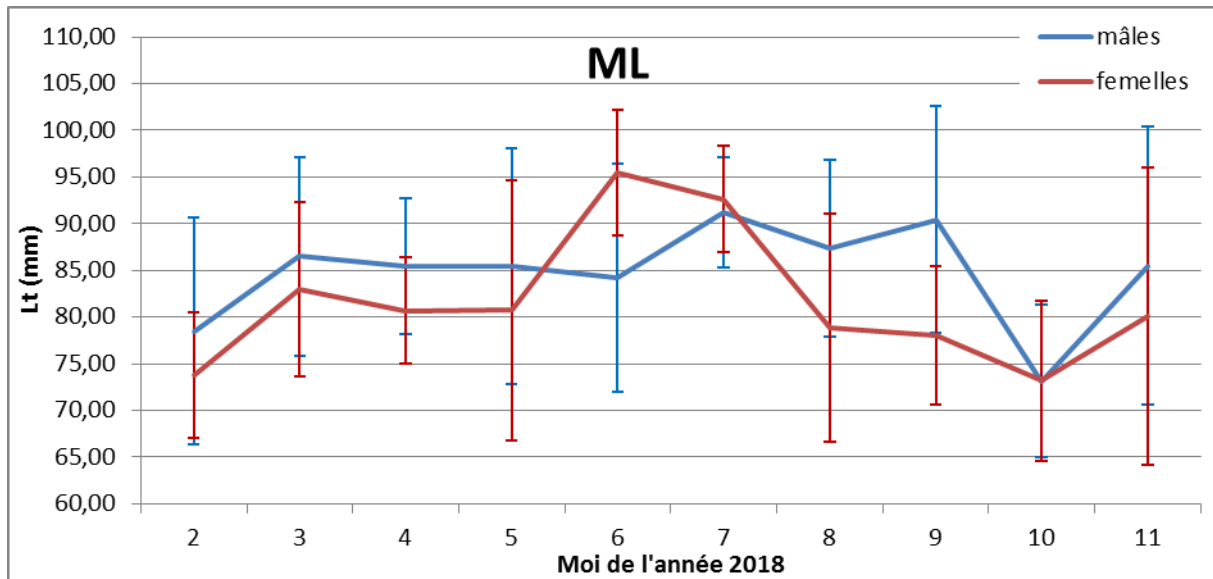


Figure 117 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur totale (Lt en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)

3.2.2. Longueur céphalothorax (Lcpx)

L'évolution des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax pour les mâles et femelles des trois sites (Figure 118 ; Figure 119 ; Figure 120) est pratiquement identique à celle des moyennes mensuelles de la longueur totale. Ce qui est normal vu qu'il a été démontré précédemment que l'évolution de ces deux paramètres présentait une corrélation positive très forte avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,95$, très proche de 1.

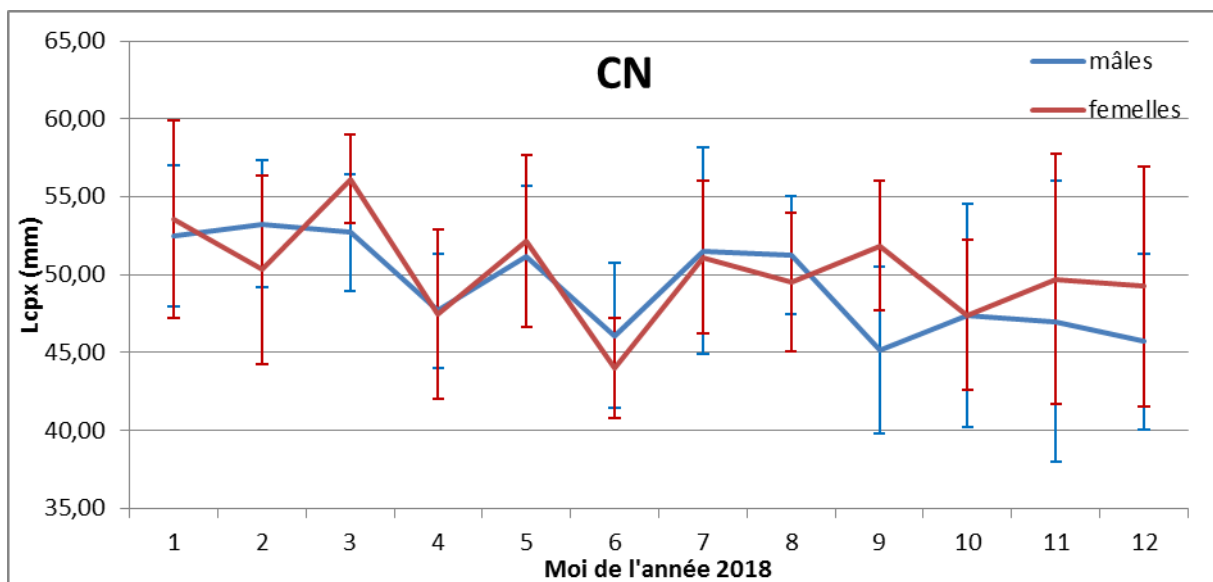


Figure 118 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)

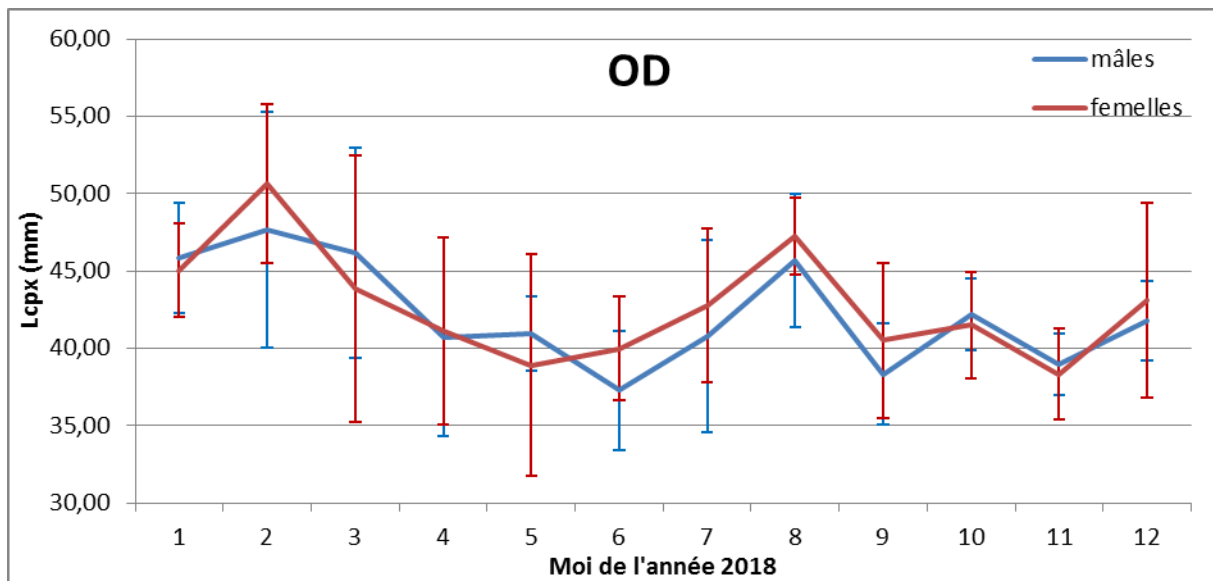


Figure 119 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)

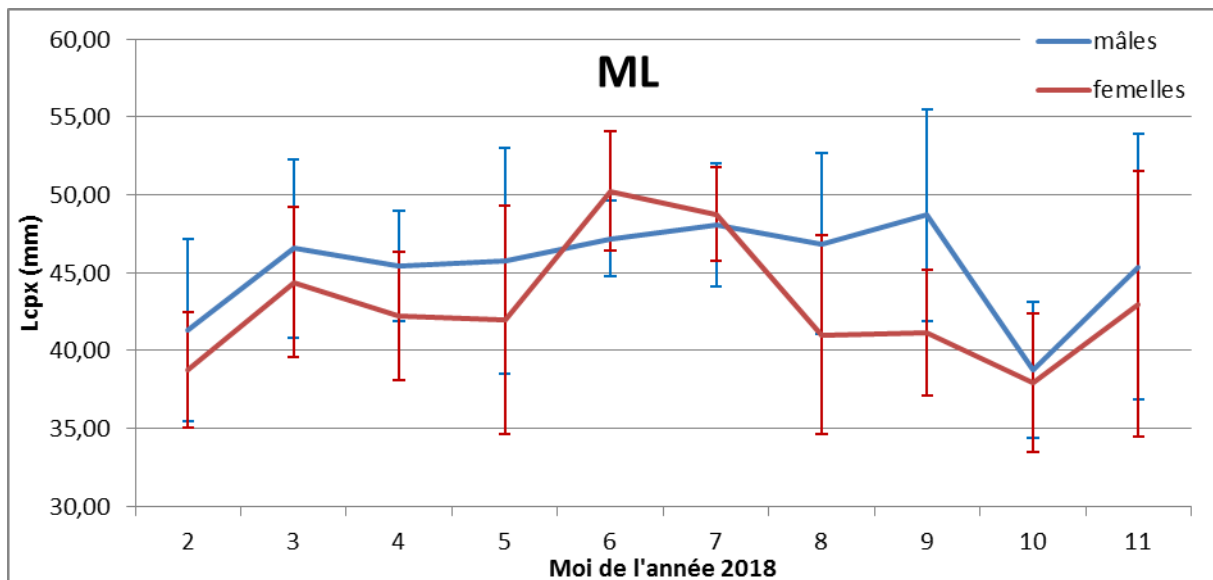


Figure 120 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du céphalothorax (Lcpx en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)

3.2.3. Longueur du péréiopode I (LPT1)

L'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles de la longueur du péréiopode I (LPT1) pendant l'année 2018 pour les mâles et femelles du site canal Nador (Figure 121) démontre que pour les deux sexes les moyennes évoluent de la même manière sauf pour la période entre juillet et octobre où les évolutions adoptent des tendances opposées entre les deux sexes. L'évolution des moyennes pour les deux sexes au cours de l'année est caractérisée par une alternance de périodes d'augmentation et de diminution qui sont pour les mâles plus courte entre janvier et juin et plus étalée entre juin et décembre ; concernant les

fémmelles l'alternance est mensuelle. L'évolution des moyennes chez les mâles adopte une tendance à la baisse entre le début et la fin d'année. Pour les femelles, la tendance est en diminution en début d'année puis s'oriente vers la stagnation après une légère augmentation.

Concernant le site de l'oued Drader, l'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I (LPT1) pendant l'année 2018 (Figure 122) rappelle l'évolution cyclique des moyennes de la Lt et la Lcpx nettement plus marquée chez les femelles. A l'instar de la Lt et Lcpx, cette évolution est marquée par un premier cycle de deux phases (une phase de diminution suivie d'une phase d'augmentation) s'étalant entre février et août, puis un deuxième entre août et décembre qui s'étalerait en théorie jusqu'en février.

Quant au marais Loukkos, on peut voir d'après l'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I (LPT1) pendant la période février – novembre de l'année 2018 (Figure 123), que l'évolution des moyennes présente deux grandes phases :

- Une phase avec une tendance à l'augmentation de février à juin et qui s'étale jusqu'en juillet pour les mâles ;
- Une phase avec une tendance à la diminution qui commence en juin pour les femelles et en juillet pour les mâles et qui s'étend jusqu'en octobre.

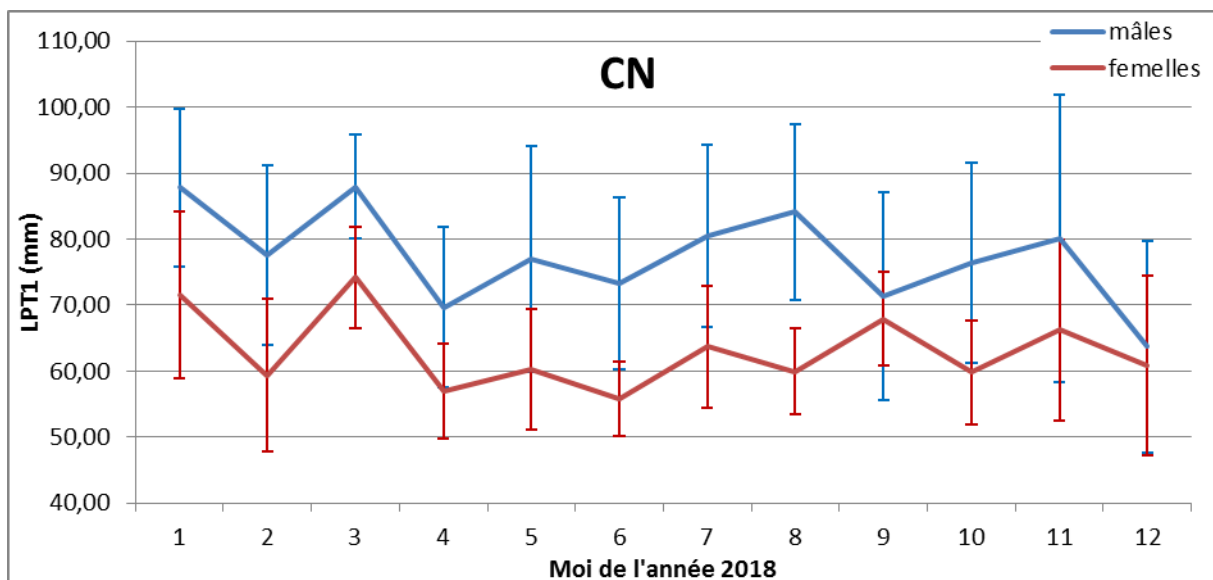


Figure 121 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)

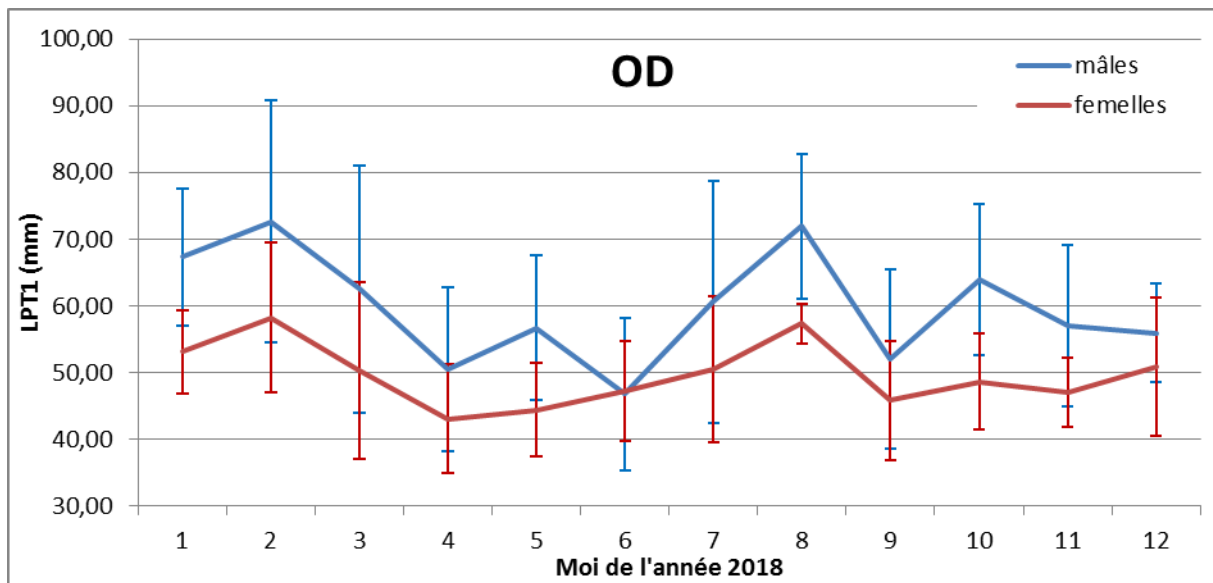


Figure 122 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)

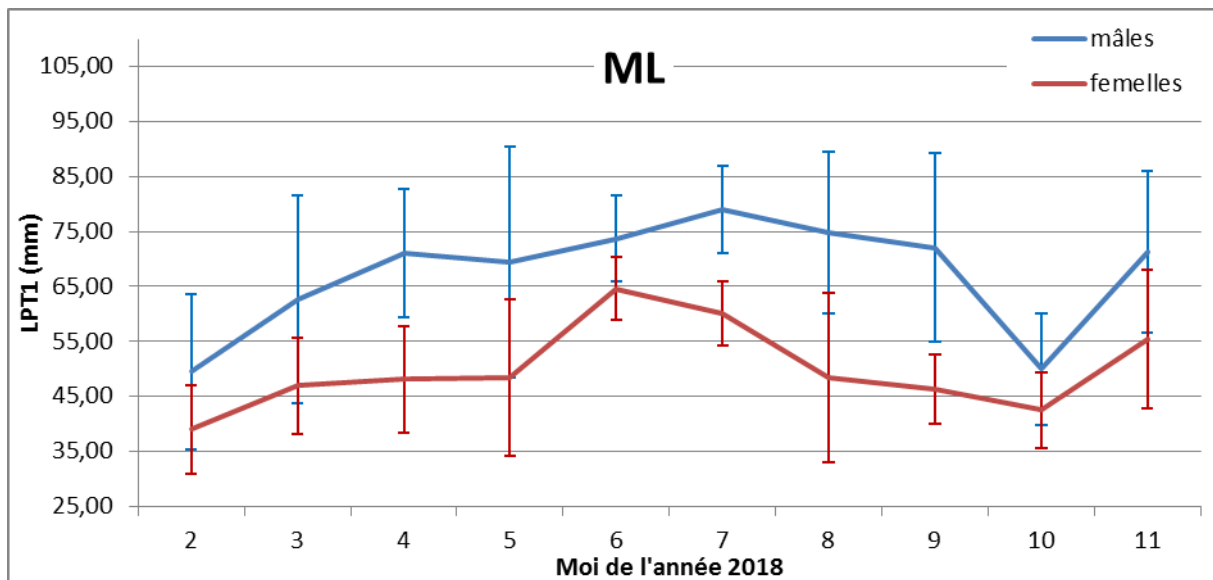


Figure 123 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I (LPT1 en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)

L'évolution des moyennes mensuelles de la longueur du périopode I pour les mâles et les femelles varie d'un site à l'autre. On peut ainsi voir pour le site canal Nador, une évolution avec une succession de variations opposées alternant augmentation et diminution. Concernant le site oued Drader, nous sommes plus sur une évolution qui formerait deux cycles caractérisés par des phases de variation qui s'étalent dans le temps. Quant au site du marais Loukkos, il s'agit plus de deux grandes phases (augmentation puis diminution) étalées sur toute la période.

3.2.4. Longueur des pinces (Lp)

L'évolution des moyennes mensuelles de la longueur des pinces pour les mâles et femelles des trois sites (Figure 124 ; Figure 125 ; Figure 126) est pratiquement identique à celle des moyennes mensuelles de la longueur du périopode 1. Ce qui s'explique par le fait, que l'évolution de ces deux paramètres, présente une corrélation positive très forte avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,95$, très proche de 1.

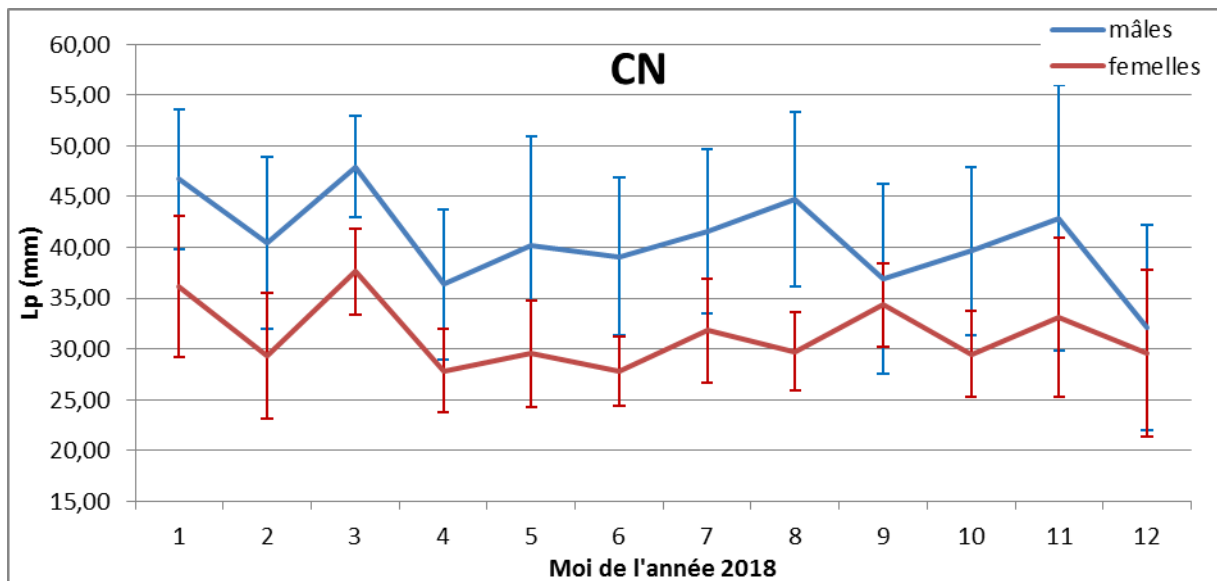


Figure 124 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)

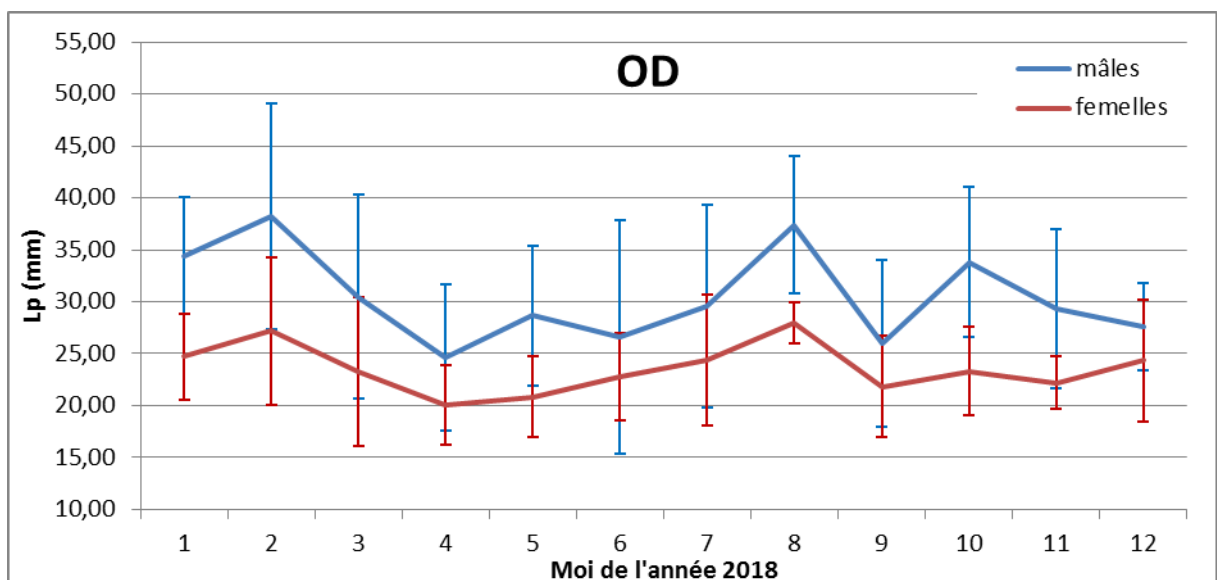


Figure 125 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)

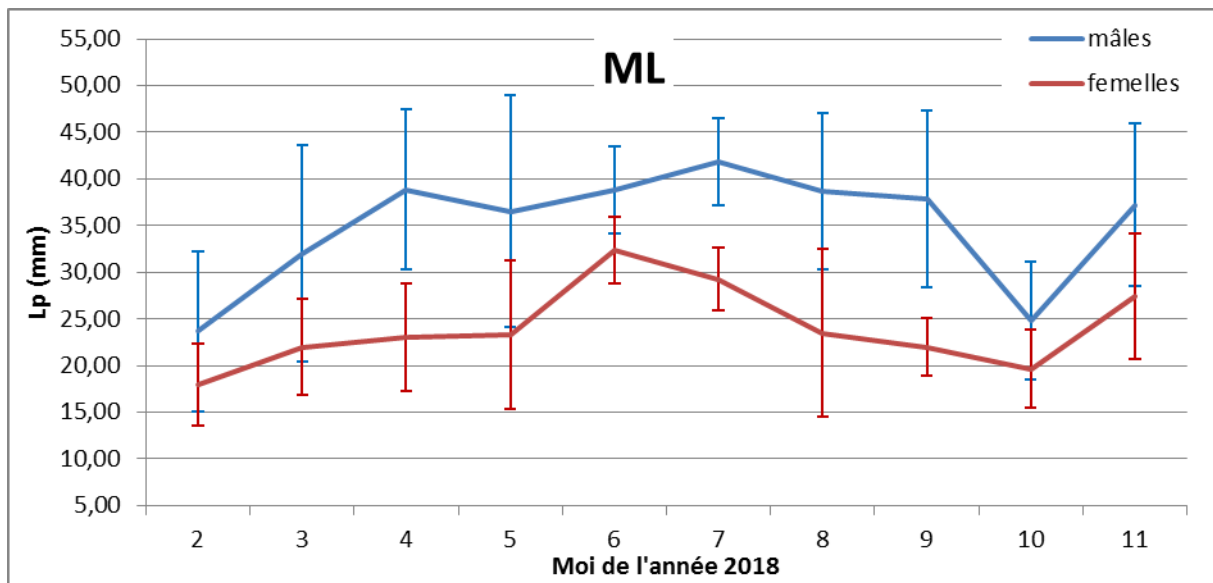


Figure 126 : Variation des moyennes mensuelles de la longueur des pinces (Lp en mm) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)

3.2.5. Poids (P)

L'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles du poids pendant l'année 2018 pour les mâles et les femelles du site canal Nador (Figure 127) rappelle l'évolution en dents de scie que présentent les évolutions des moyennes de Lt et de Lcpx pour le même site. Ainsi deux périodes se distinguent, une première caractérisée par une tendance à la baisse entre mars et juin, et une seconde caractérisée par une tendance relativement stagnante.

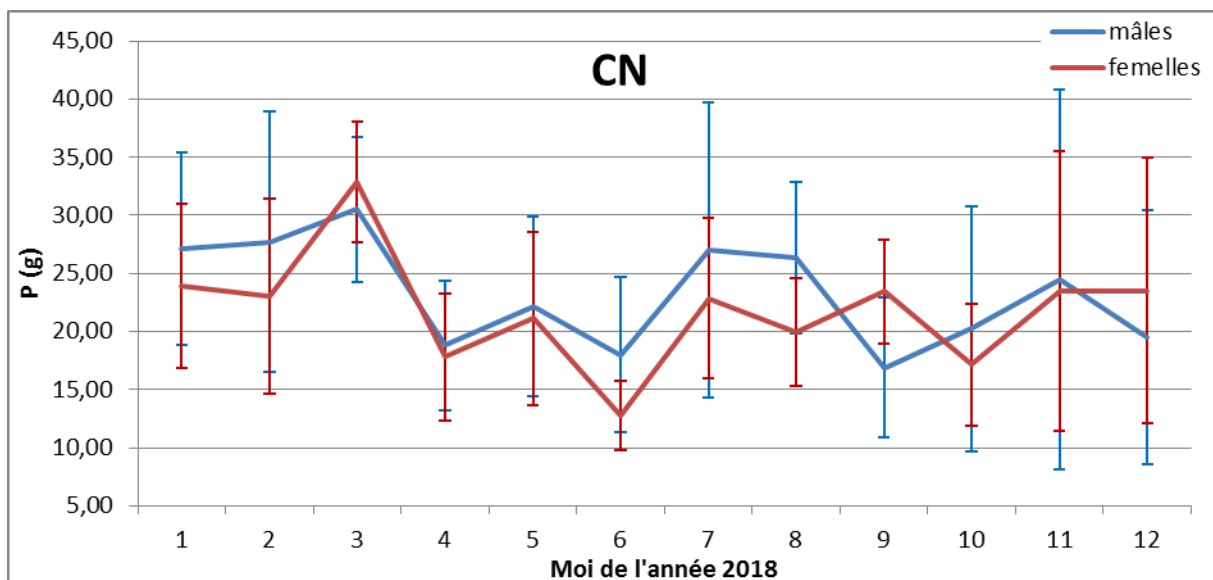


Figure 127 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site canal Nador (CN)

En ce qui concerne le site de l'oued Drader, l'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles du poids pendant l'année 2018 (Figure 128) rappelle l'évolution cyclique des moyennes de la Lt ; la Lcpx ; la LPT1 et la Lp pour le même site, avec les courbes des mâles et femelles très rapprochées. A l'instar des paramètres cités, l'évolution des moyennes de poids est marquée par une certaine périodicité correspondante à deux cycles dont chacun montre une phase de diminution suivie d'une phase d'augmentation s'étalant aussi sur les mêmes périodes entre février et août, puis entre août et décembre se prolongeant en théorie jusqu'en février.

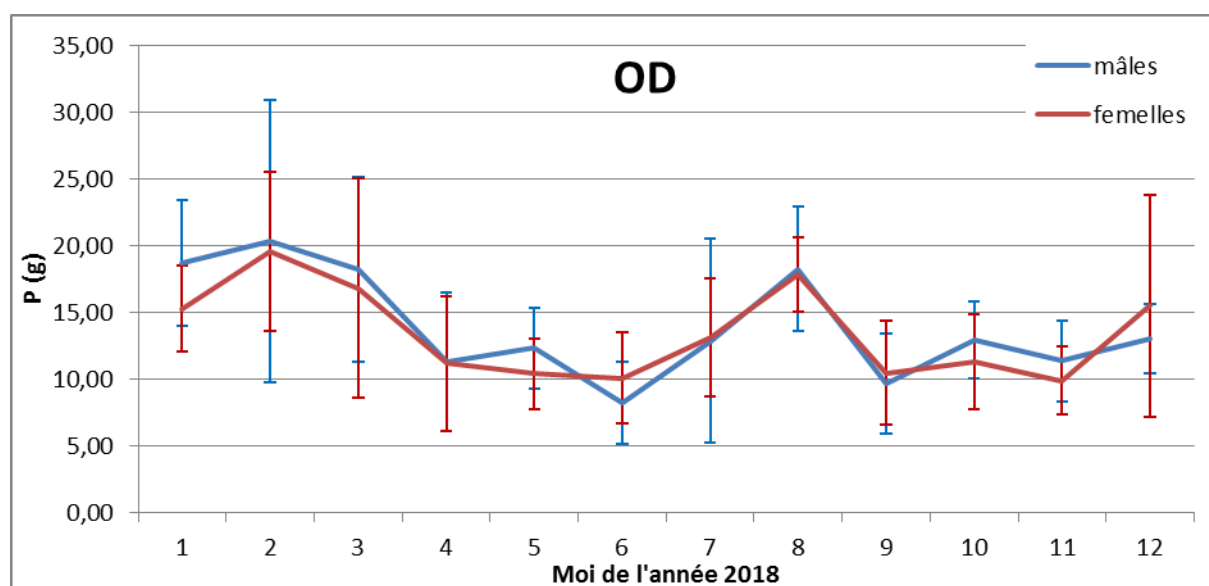


Figure 128 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site oued Drader (OD)

Pareillement aux autres sites, l'analyse des courbes de la variation des moyennes mensuelles du poids pendant la période février – novembre de l'année 2018 pour l'oued Drader (Figure 129) ressemble à l'évolution des moyennes des autres paramètres (Lp ; Lcpx ; LPT1 et Lp) pour le même site. Ainsi l'évolution présente deux phases majeures :

- Une phase avec une tendance en augmentation de février à juin et qui s'étale jusqu'en juillet pour les mâles ;
- Une phase avec une tendance en diminution qui commence en juin pour les femelles et en juillet pour les mâles et qui s'étend jusqu'en octobre.

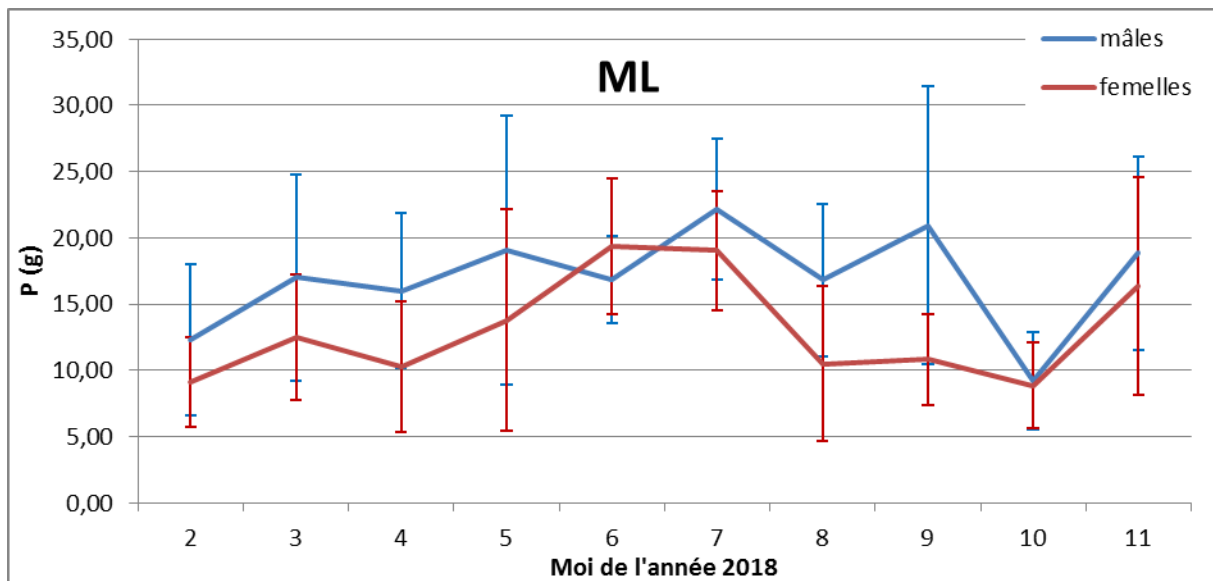


Figure 129 : Variation des moyennes mensuelles du poids (P en g) chez les mâles et femelles du site marais Loukkos (ML)

L'évolution des moyennes mensuelles du poids pour les mâles et femelles varie d'un site à l'autre. Elle confirme la tendance générale observée dans chaque site pour les autres paramètres (Lt ; Lcpx ; LPT1 ; Lp). Avec une succession de variations opposées pour le site canal Nador, une variation cyclique pour l'oued Drader et une variation en deux phases pour le marais Loukkos.

3.3. Observations

3.3.1. Reproduction

Chez *Procambarus clarkii*, la période d'accouplement, ainsi que le recrutement et la maturation sexuelle, varient en fonction de la période hydrographique et des conditions environnementales (Sommer, 1984 ; Alcorlo *et al.*, 2008). Dans son aire de répartition naturelle (Louisiane, États-Unis), *P. clarkii* se reproduit toute l'année, avec des pics au printemps et de la fin de l'été au début de l'hiver, dans des conditions favorables, il y a jusqu'à trois périodes de reproduction par an (Huner, 2002). Les populations de *P. clarkii* contiennent des individus qui couvent des œufs ou portent des jeunes tout au long de l'année (Huner & Barr, 1994, *in* Lindqvist & Huner, 1999). Après l'éclosion, les juvéniles sont maintenus sous l'abdomen de la femelle pendant trois semaines (Holdich & Lowery, 1988). Lors de la présente étude nous avons observé selon les sites des éléments en relation avec la reproduction qui sont présentés ci-dessous :

- Canal Nador : présence de femelles portant des œufs en août et en novembre. L'effectif en août est d'une seule femelle sur un total de 19 et en novembre de 20 femelles sur un total de 21.
- Oued Drader : présence de femelles portant des œufs ou des larves en janvier, août et novembre. En janvier il s'agit d'une femelle portant des œufs sur un total de 16, concernant août et novembre il s'agit plutôt de femelles portant des larves avec un effectif de 12 sur un total de 27 enregistré en novembre.
- Marais Loukkos : présence d'une seule femelle portant des œufs sur un total de 11 femelles capturée pour le mois d'octobre.

Ces éléments suggèrent que la reproduction de *P. clarkii* commencerait en fin d'été et se prolongerait jusqu'à la fin de l'année. Ce prolongement serait favorisé par le retard de la saison fraîche. Ceci reflète la sensibilité du cycle de vie de *P. clarkii* aux variations des conditions environnementales, et principalement les paramètres hydrologiques.

3.3.2. Différences phénotypiques

La couleur des écrevisses et autres crustacés est le résultat de pigments caroténoïdes qui sont responsables d'une large gamme de couleurs allant du presque incolore au jaune et au rouge foncé comme l'astaxanthine et la canthaxanthine (Latscha, 1989 ; Walker *et al.*, 2000 ; Patoka *et al.*, 2013). Les caroténoïdes sont largement distribués dans presque tous les organismes vivants, et chez les crustacés, le caroténoïde le plus commun est l'astaxanthine (Latscha, 1989). Ces pigments peuvent être trouvés dans le tégument ainsi que l'exosquelette. Les couleurs de carapace sont le résultat de ces pigments et varient avec la concentration de chaque pigment (Patoka *et al.* 2013). La pigmentation des crustacés peut également être le résultat de complexes de protéines caroténoïdes, appelés caroténoprotéines (Latscha, 1989). Ando et Tanaka (1996) ont trouvé trois lipoprotéines contenant des caroténoïdes dans *Procambarus clarkii* (Girard 1952) ainsi que des caroténoprotéines dans l'exosquelette associées à sa couleur.

La variation de couleur entre et au sein des espèces d'écrevisses peut être due à l'environnement (Kent, 1901 ; Thacker *et al.*, 1993 ; Füreder & Machino, 2002), à l'alimentation (Kaldre *et al.*, 2015), au stade de mue et à l'âge (Timmermans *et al.*, 1995) et génétique (Latscha, 1989 ; Thacker *et al.*, 1993 ; Walker *et al.*, 2000).

Procambarus clarkii présente généralement une couleur rouge foncé avec certaines nuances brunes (FAO, 2009) cependant d'autres variétés oranges, blanches et bleues sont signalées (Figure 130) (Maciaszek *et al.*, 2019 ; Schuster, 2020). Les juvéniles quant à eux, ont le plus souvent une couleur de base jaune à brun clair qui devient rouge foncé au stade adulte (Schuster, 2020).

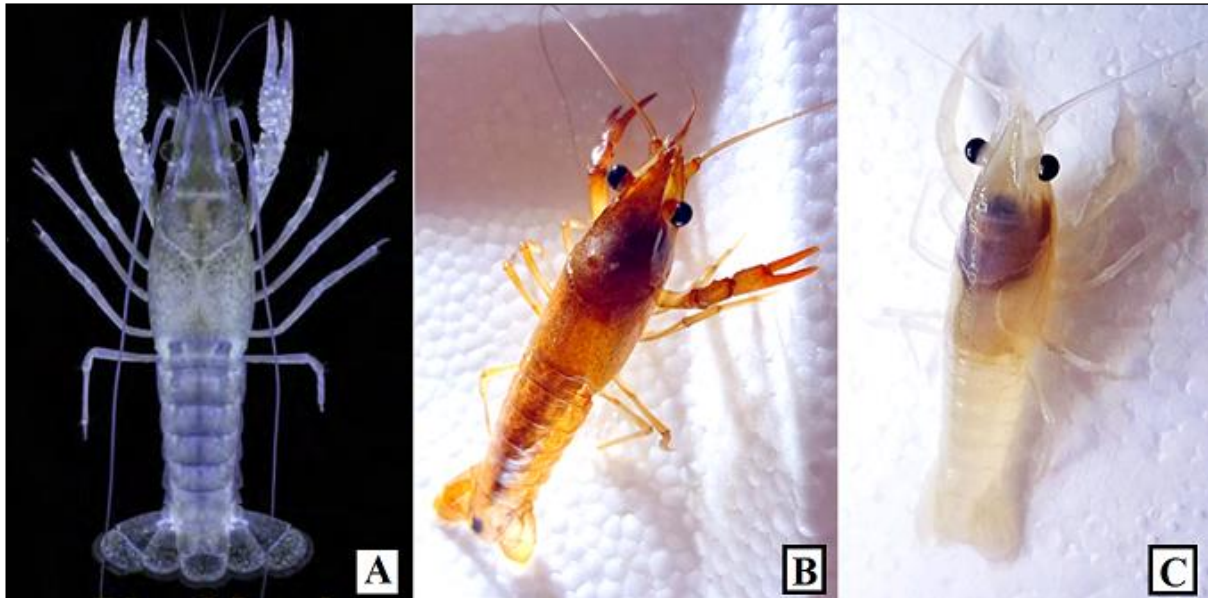


Figure 130 : Phénotypes bleu (A), orange (B) et blanc signalés par la littérature.

Dans la présente étude les écrevisses étudiées présentent généralement quatre couleurs : rouge, rouge foncé, brun et orange (Figure 131) qui varient principalement au niveau de la carapace. On peut rencontrer les quatre couleurs dans tous les sites, cependant chaque site est plus moins caractérisé par une couleur qui est plus fréquente que les autres. La couleur dominante au site canal Nador est le rouge, au niveau de l'oued Drader le rouge foncé et la couleur caractéristique de la population d'écrevisses du marais Loukkos est l'orange et ce sont les phénotypes brun et rouge foncé qui sont les plus dominants. Ces variations sont probablement d'origine génétique, néanmoins l'influence de l'environnement et le stade de vie n'est pas à exclure. En effet, Timmermans *et al* (1995) ont démontré que certaines écrevisses élevées dans des plateaux sombres étaient plus foncées que celles élevées dans des plateaux blancs, et la couleur des écrevisses plus âgées était plus foncée que les écrevisses plus jeunes. Ce constat rappelle les écrevisses de l'oued Drader caractérisées par une couleur très sombre (Figure 132) correspondant probablement à un milieu vaseux peu profond, à faible débit et acide.

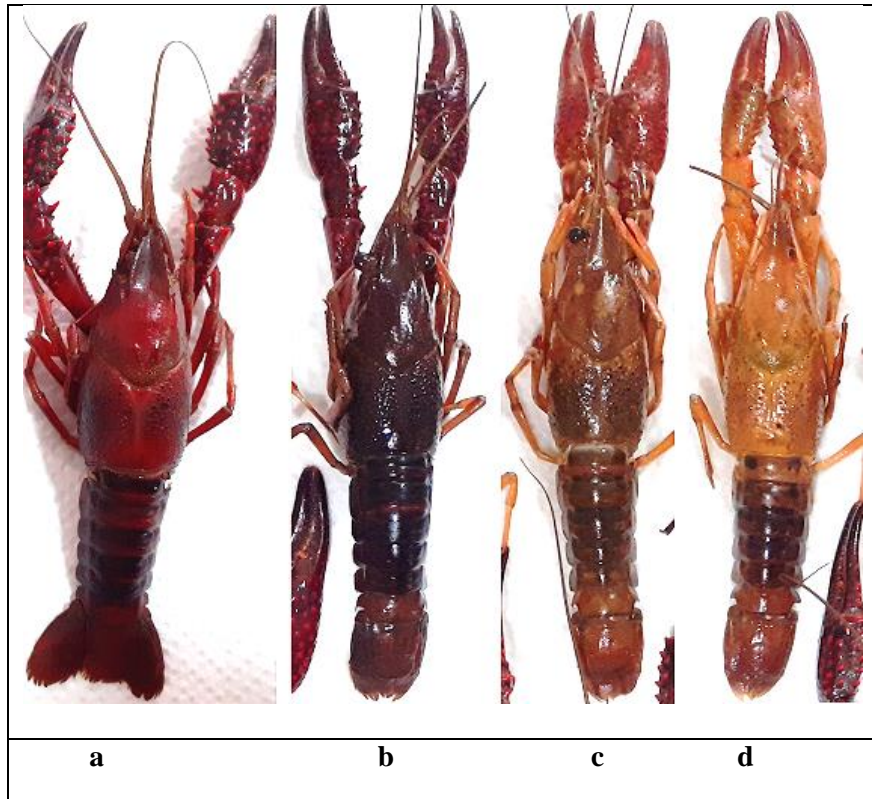


Figure 131 : Différentes couleurs observées chez *P. clarkii*, rouge (a) ; rouge foncé (b) ; brun (c) ; orange (d).



Figure 132 : Écrevisses de l’oued Drader de couleur très sombre

Il nous semble aussi important de décrire d’autres différences phénotypiques observées. L’image ci-dessous (Figure 133) présente une comparaison de deux écrevisses mâles de la même longueur totale issues du site du marais Loukkos dans la région de Larache. Ce qui retient l’attention au départ, c’est la différence de couleur. Elle est rouge foncé et uniforme sur tout le corps de la première écrevisse. Pour la deuxième, la couleur est brune ou brune avec

une teinte orange au niveau de la carapace, qui adopte un aspect marbré avec des taches au niveau de l'abdomen jusqu'au telson, quant aux péréiopodes la couleur s'éclaircie et se mélange avec du bleu sauf pour le dactyle et le propode qui sont oranges. En plus de la différence de couleur, les deux écrevisses présentent des différences morphologiques. Les plus remarquables sont la largeur de la carapace, la taille du péréiopodes I et la taille des pinces, qui sont tous inférieurs chez l'écrevisse brune par rapport à l'écrevisse rouge foncé. Différents facteurs d'ordre général peuvent expliquer cette différence, principalement les facteurs génétiques, environnementaux ou pathologiques (éventuellement). Mais, on peut aussi penser au parcours spécifique de l'individu brun, qui à cause de sa couleur serait confondu avec un juvénile, et serait plus enclin à subir l'agressivité d'autres individus adultes, perdant ainsi ses péréiopodes qui se seraient régénérés d'où leur taille inférieures par rapport à un individu de la même longueur.



Figure 133 : Exemple de différences phénotypiques

Parmi les différences phénotypiques observées, une modification des péréiopodes I qui sont plus fin avec des pinces longues et étroites (Figure 134 a, b) sans espace ou avec espace réduit entre le dactyle et le propode lorsque la pince est fermée (Figure 134 b). Ceci nous fait penser aux pinces d'espèces américaines du même genre, qui seraient introduites avec *P. clarkii*. Il s'agit de *Procambarus acutus acutus* et *Procambarus zonangulus* (Figure 135) qui sont difficiles à différencier et très proches de *Procambarus clarkii*. De plus, les aires de répartition des trois espèces se chevauchent dans leur habitats d'origines aux USA (Durland Donahou, 2020 ; Nagy, 2020). En creusant plus la question, nous avons trouvé que chez *Procombarus actus actus* les tubercules sur les pinces sont blancs, et que chez *Procambarus*

zonangulus la surface ventrale des pinces est blanchâtre. Contrairement aux péréiopodes étudiés qui ont des tubercules rouges et une face ventrale rouge de couleur uniforme (Figure 134). Ceci nous permet d'écarter l'hypothèse d'introduction de ces espèces. La différence observée serait alors due à un phénotype non décrit (probablement récessif) ou à une mutation qui vient d'apparaître. Il faudrait penser alors à intégrer la forme des pinces ainsi que d'autres paramètres biométriques y afférents lors de prochaines études sur *P. clarkii*.



Figure 134 : Image comparant les péréiopodes considérés différents (à gauche de chaque image) avec les péréiopodes considérés normaux (à droite de chaque image), (a) face ventrale ; (b) face dorsale.



Figure 135 : Image montrant *Procambarus zonangulus* à gauche et *Procambarus clarkii* à droite © FAO

Les éléments signalés dans cette partie sont issues d'observations lors de la présente étude et nécessiteraient une attention particulière lors d'études spécifiques qui leur seraient dédiées. Afin de les décrire et comprendre d'avantage leurs mécanismes.

3.3.3. Perte d'appendices

P. clarkii autotomise et perd souvent ses appendices lors de conflit ou de situation de prédation. Cette perte de membre peut augmenter avec la densité (Figiel *et al.*, 1995). Les membres perdus se régénèrent et même les gonopodes (Figiel *et al.*, 1995 ; Johović *et al.*, 2019). Cependant, le coût de cette régénération peut potentiellement influencer la taille de la carapace des écrevisses ou la masse corporelle, car les individus détournent les ressources alimentaires vers la régénération des parties perdues plutôt que vers la croissance corporelle. De plus, les blessures peuvent nuire à la survie ultérieure des écrevisses en raison de leur

vulnérabilité causée par le manque de membre ou en raison de leur sensibilité aux infections (Figiel *et al.*, 1995). Dans notre cas nous présentons à titre indicatif des écrevisses observées avec des membres perdus en cours de régénération (Figure 136). Pour l'écrevisse de gauche il s'agit du péréiopode I droit, qui s'est régénéré et compte probablement quelques mues pour avoir atteint cette taille. Concernant l'écrevisse de droite, il s'agit cette fois des deux péréiopodes I droit et gauche, qui sont encore mous au touché, et viennent probablement tout juste de commencer leurs régénérations.



Figure 136 : Image montrant des appendices de *P. clarkii* en régénération (entourés en rouge)

3.3.4. Aspects pathologiques

L'agent pathogène le plus connu et le plus étudié de *P. clarkii* est le champignon parasite Oomycete *Aphanomyces astaci* (Loureiro *et al.*, 2015). En effet, les écrevisses américaines du nord sont connues pour être vecteurs d'agents pathogènes de la peste d'écrevisses (*Aphanomyces astaci*) responsable de la décimation de plusieurs populations d'écrevisses européennes indigènes. Cependant, bien qu'elles soient des porteuses, les écrevisses américaines du nord ne sont pas normalement affectées par le champignon (FAO, 2009). Outre les champignons, *P. clarkii* peut être affectée par beaucoup d'autres agents pathogènes comme les virus, les platyhélmintes et les bactéries (FAO, 2009 ; Loureiro *et al.*, 2015). Nous présentons ci-dessous (Figure 137) deux éléments d'aspects suspects, qui nous semblent

susceptibles d'être des pathologies chez *P. clarkii* dans les sites étudiés. L'aspect de couleur comme le cuivre oxydé (Figure 137 a, b) est rencontré au niveau du canal Nador et de l'oued Drader et l'aspect de couleur comme la rouille (Figure 137 c) est rencontré dans l'oued Drader. Selon le Dr Robin Overstreet, désigné comme expert dans le domaine par la FAO (FAO, 2009), les deux écrevisses seraient atteintes d'une infection fongique, due probablement à un Microsporidien. Des analyses plus poussées sont nécessaires pour identifier avec exactitude le germe en question.

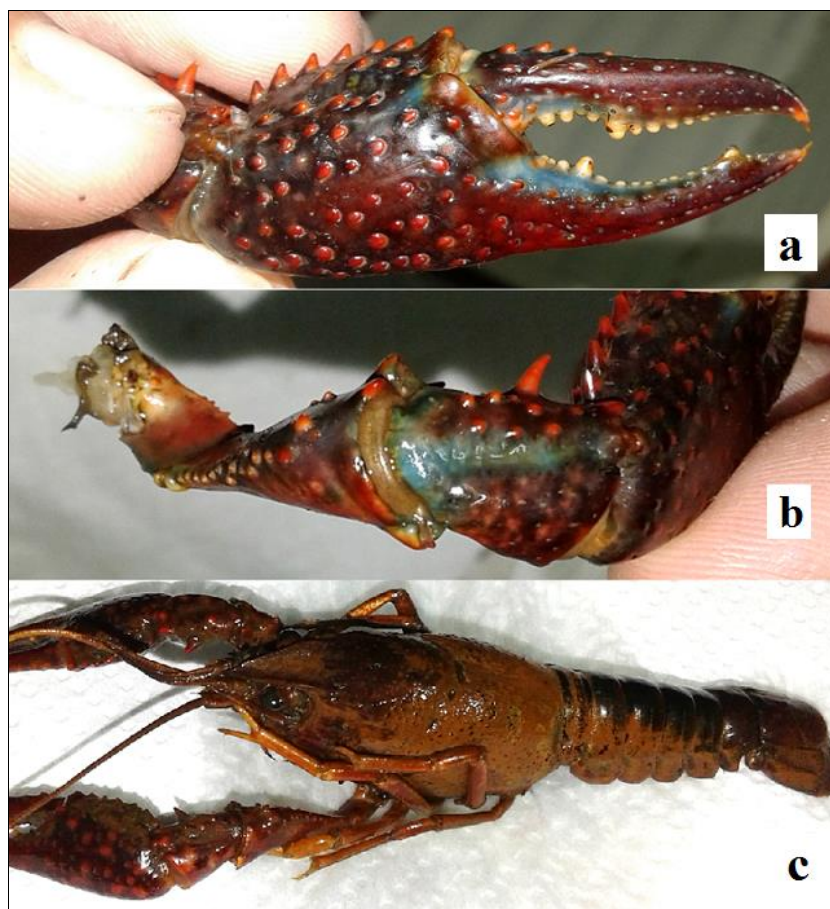


Figure 137 : Aspects pathologiques chez les écrevisses de Louisiane dans les sites étudiés (a et b : couleur cuivre oxydé ; c : couleur rouille)

4. Discussion

4.1. Sex-ratio

Le sex-ratio global présente un léger déséquilibre en faveur des femelles (54,52%), résultant d'un écart plus prononcé dans les sites canal Nador et oued Drader en faveur des femelles, contrairement au site du marais Loukkos qui présente un sex-ratio en faveur des mâles. On peut dire d'une manière générale que le sex-ratio s'approche de l'équilibre sauf pour le site canal Nador où l'écart est plus important. Dans ce site où les écrevisses seraient plus âgées par rapport à l'habitat d'origine, la dominance par les femelles (qui vivent plus que les mâles

normalement) expliquerait les tailles plus importantes au niveau du canal Nador par rapport aux autres sites. Par rapport à la littérature, nos résultats sont en contradiction avec ceux d'autres auteurs dans le même périmètre au Maroc, qui décrivent un sex-ratio en faveur des mâles pour les deux sites de canal Nador et Merja Zerga (El Qoraychy *et al.* , 2015) avec un écart plus important entre les deux sexes au niveau de ce dernier site. De ce fait, nos résultats seraient contradictoires avec ceux d'El Qoraychy *et al.* (2015) dans la même zone, mais cohérent avec eux pour le site du marais Loukkos se trouvant dans un périmètre géographique plus loin. En comparant aussi avec d'autres études dans d'autres pays, il s'avère qu'il est souvent question d'un sex-ratio en faveur des mâles quand il n'ait pas en équilibre (Chucholl, 2011a; Bonvillain, 2012 ; Blatter, 2013), sauf pour Dörr *et al.*, (2006) et Sousa *et al.*, (2013) qui présentent un sex-ratio en faveur des femelles mais avec un léger écart entre les deux sexes, et donc la situation au canal Nador caractérisée par un sex-ratio en faveur des femelles avec un écart important n'est pas très commune, car une seule constatation similaire a été signalée en Italie dans la réserve « Palude di Torre Flavia » par Scalici *et al.* (2010).

Concernant l'évolution du sex-ratio au cours de l'année, au lac Trasimène, Dörr *et al.*, (2006) présentent une population avec un sex-ratio proche de l'équilibre pour tous les mois sauf pour décembre (2000), janvier et février (2001) où la proportion de femelles augmente. Sousa *et al.*, (2013) présentent aussi dans la section basse de la rivière Minho entre l'Espagne et le Portugal, une population avec un sex-ratio proche de l'équilibre pour tous les mois sauf pour novembre et décembre où la proportion de femelles augmente. De notre part, nous observons pour les deux sites de canal Nador et oued Drader une évolution avec un profil intermédiaire correspondant à deux périodes, une première où la dominance des femelles est moins régulière entre mars et août plus marquée au niveau de l'oued Drader, et une deuxième avec une dominance claire des femelles, plus longue par rapport à ce qui a été présenté par Dörr *et al.*, (2006) au lac Trasimène et Sousa *et al.*, (2013) à la rivière Minho. Quant à la population du marais Loukkos, elle présente aussi un profil atypique, avec globalement un équilibre de février à mai et une dominance des mâles de juin à novembre sauf pour juillet.

En parcourant la littérature, Il s'avère difficile de déterminer les causes des variations du sex-ratio avec exactitude, car la reproduction, l'incubation, le comportement et la période de foussement ainsi que le recrutement peuvent varier selon les populations introduites de *P. clarkii*, selon l'habitat, le climat et les ressources environnementales (Scalici *et al.*, 2010). Cependant quelques facteurs peuvent expliquer les tendances des variations du sex-ratio, certains sont en relation directe avec le cycle de vie et le comportement des écrevisses et

d'autres concernent la méthode de piégeage. Le principal facteur reste le comportement reproducteur, en effet durant la période de maturation des œufs, les femelles restent terrées et évitent les sorties ce qui explique la diminution de leur nombre dans les prélèvements (Bravo *et al.*, 1994). Selon Dörr *et al.*, (2006) les femelles étaient moins abondantes au cours des mois avec une maturation ovarienne maximale, et donc selon eux, un faible nombre de femelles dans les échantillons correspond à un grand nombre de femelles ovigères, difficiles à attraper. La tendance de *P. clarkii* à se mettre à l'abri dans des terriers creusés, des crevasses naturelles, des rochers et des pierres peut aussi influencer le sex-ratio, puisque la tendance n'est pas la même pour les deux sexes. Ilhéu *et al.*, (2003) a démontré qu'en saison de hautes températures la proportion des femelles était élevée dans les terriers, alors que celle des mâles l'était à l'extérieur en espace ouvert, concernant les refuges (crevasses, sous les pierres...) les proportions étaient proches. La technique de piégeage peut aussi affecter le sex-ratio, Blatter (2013) suggère que la différence du sex-ratio peut résulter de l'usage des nasses qui concentrent les individus dans un espace restreint et limitent l'attrait des femelles, moins enclin à l'affrontement avec d'autres individus. Chucholl (2011a) signale aussi que la capture par plongée sous-marine présentait un sex-ratio proche de l'équilibre, qui a été largement biaisée (17%) en faveur des mâles dans l'échantillon global qui inclut les captures par piège.

Même si la valeur du sex-ratio peut varier selon plusieurs facteurs, elle reste une composante importante dans l'étude de la dynamique des populations qui pourrait expliquer l'évolution d'autres paramètres (comme la taille, moment de reproduction...), principalement chez une espèce comme *P. clarkii* qui connaît une différence dans la durée de vie et le comportement entre les sexes (Penn, 1943 ; Bravo *et al.*, 1994 ; Dörr *et al.*, 2006 ; Scalici *et al.*, 2010).

4.2. Variation des paramètres de longueur et de poids

L'évolution des moyennes mensuelles des paramètres de longueur et de poids pour les mâles et femelles varie d'un site à l'autre mais suit relativement la même tendance pour les deux sexes. En adoptant un profil d'évolution général, qui semble être caractéristique pour chaque site. Le site canal Nador présente un profil d'évolution en dents de scie décrivant une succession de variations opposées (augmentation-diminution) pour presque toute l'année. Concernant le site de l'oued Drader, le profil d'évolution présente deux cycles, alternant phases de diminution et d'augmentation de la moyenne. Le premier cycle débute en février avec une phase de diminution des valeurs de moyennes jusqu'en mai suivi d'une phase d'augmentation entre mai et août, le deuxième cycle débute en août avec une phase de

diminution jusqu'en novembre puis une phase d'augmentation de novembre qui se poursuivrait théoriquement jusqu'en février. Quant au marais Loukkos, le profil d'évolution montre deux grandes phases, une première d'augmentation, suivie par une deuxième de diminution, occupants chacune la moitié de la période décrite entre février et novembre. La comparaison de ses tendances avec d'autres études, montre que seul le marais Loukkos présente un profil d'évolution relativement proche de ce qui est décrit par la littérature, avec une période d'augmentation des valeurs pendant la première partie de l'année en cohérence avec les résultats de Costa *et al.* (1996), et une période de diminution des valeurs pendant la deuxième partie de l'année en cohérence avec les résultats de Scalici *et al.* (2010) et Chucholl (2011a). Ces variations dans l'évolution des paramètres de longueurs et de poids d'un site à l'autre peuvent être expliquées par une grande capacité de modulation du cycle de vie observée chez *P. clarkii* (Chucholl, 2011a).

4.3. Reproduction

L'analyse des données du sex-ratio suggère une première reproduction au printemps (diminution du nombre de femelles dans les captures), et les observations d'un nombre important de femelles ovigères ou portants des larves principalement dans le mois de novembre suggère une deuxième reproduction en automne. Ceci est cohérent avec la comparaison aux données de la littérature dans l'aire de répartition d'origine en Louisiane, qui montrent que la reproduction est caractérisée par deux pics au printemps et pendant la période automnale, entre la fin de l'été et le début de l'hiver (Huner, 2002). Cependant nos résultats, ne sont que partiellement cohérents avec ceux d'autres auteurs qui ne présentent qu'une seule période de reproduction en fin d'année, Dörr *et al.*, (2006) pour le lac Trasimène (Italie) et Sousa *et al.*, (2013) pour la section basse de la rivière Minho (entre l'Espagne et le Portugal) qui suggèrent que la reproduction et le frai auraient lieu principalement en automne, quant à Chucholl (2011a) pour le sud de l'Allemagne, la reproduction se déroulerait du milieu de l'été à la fin de l'automne. Ce passage d'un cycle globalement multivoltin dans les régions tempérées (ex : Louisiane, Maroc...) à un cycle univoltin, s'explique selon Chucholl (2011a) par le changement des conditions environnementales aux latitudes plus élevées (notamment la diminution de la température), ce qui fait que la plupart des femelles ne sont pas en mesure d'atteindre les conditions de reproduction avant le milieu de l'été. De plus il a été démontré que *P. clarkii* pouvait faire preuve d'une grande plasticité dans le déroulement de son cycle de vie pour faire face aux conditions difficiles (Chucholl, 2011a), par la modification des périodes de reproduction (Dörr *et al.*, 2006 ; Chucholl, 2011a ; Sousa *et al.*, 2013) et

l'adoption à basses températures de périodes d'inactivité (Dörr *et al.*, 2006, Chucholl, 2011a). Globalement, Chucholl (2011a) décrit une stratégie de *P. clarkii* dans le sud de l'Allemagne, combinant un cycle de vie avec des caractéristiques d'origine d'espèces à stratégie r (maturation précoce, fécondité élevée), avec l'adoption de nouvelles caractéristiques d'espèces à stratégie k (croissance lente, longévité élevée, grande taille).

5. Conclusion

Les populations d'écrevisses étudiées présentent un sex-ratio avec un léger déséquilibre en faveur des femelles, avec un écart plus important au niveau du site canal Nador, et une tendance inversée (en faveur des mâles) au niveau du marais Loukkos. L'évolution des paramètres de longueurs et de poids pendant l'année suit une tendance différente pour chaque site, caractérisée par une succession de variations opposées pour le site canal Nador, une variation cyclique pour l'oued Drader et une variation en deux phases pour le marais Loukkos. En général, les moyennes de tailles restent supérieures à 65 mm pendant toute l'année pour tous les sites. Concernant la reproduction, *P. clarkii* présenterait un cycle de vie multivoltin avec deux périodes principales au printemps et en automne. Les populations d'écrevisses présentent des éléments pathologiques synonymes d'infections fongiques, mais qui ne semblent pas être très répandus.

Il serait intéressant de compléter le présent travail par l'étude de la CPUE (capture par unité d'effort) ainsi que de ses variations au cours de l'année en parallèle d'une étude pathologique. Afin d'avoir une idée précise sur les coups potentiels et la régularité de la production.

Chapitre 4 : Répartition géographique, évaluation du stock et valorisation des populations de *Procambarus clarkii*

1. Répartition géographique et évaluation du stock des populations de *Procambarus clarkii*

1.1. Introduction de *P. clarkii* au Maroc

Il est important d'identifier les voies d'introduction pour comprendre, prévoir et gérer les invasions biologiques (Estoup & Guillemaud, 2010 ; Cristescu, 2015). Cette identification peut être entravée car les événements d'introduction sont souvent non déclarés (introduction illégale), incomplètement signalés (manque d'informations sur l'origine des populations, leur état sanitaire...) ou signalés dans des sources inaccessibles.

L'écrevisse de Louisiane *Procambarus clarkii* (Girard 1852) dite aussi l'écrevisse rouge des marais est actuellement l'écrevisse américaine la plus répandue dans le monde (Henttonen & Huner, 1999 ; Oficialdegui., 2019), elle se caractérise par une forte production, une croissance rapide et une grande fécondité (Ackefors, 1999), des critères qui ont favorisé sa propagation. *P. clarkii*, originaire du sud des États-Unis et du nord-est du Mexique (FAO, 2009), a été intentionnellement introduite dans au moins 40 pays et quasiment dans tous les continents, sauf en Australie et en Antarctique (Oficialdegui, 2019) pour être élevée et consommée comme nourriture (Hobbs *et al.*, 1989), aussi elle est vendue comme espèce d'aquarium (Chucholl, 2013 ; Faulkes, 2015). Ainsi elle est devenue l'écrevisse d'eau douce la plus cosmopolite du monde, et l'un des envahisseurs les plus destructeurs sur le plan écologique (Gherardi & Acquistapace, 2007).

Au niveau régional elle fut introduite pour la première fois en Europe depuis la Louisiane (États-Unis) en 1973, dans le bassin moyen du Guadiana, dans la province de Badajoz en Espagne, et en 1974, lors d'une nouvelle introduction indépendante dans les rizières du bas Guadalquivir dans la province de Séville (Habsburgo-Lorena, 1978). On a généralement pensé que l'aire de répartition européenne de *P. clarkii* résulte de l'expansion de ces deux populations fondatrices (Oficialdegui *et al.*, 2020), entraînée par de multiples translocations incontrôlées comme l'exemple de la péninsule ibérique (Gutiérrez-Yurrita *et al.*, 1999). Cette hypothèse semble être étayée par la grande diversité d'haplotypes des populations envahissantes dans le sud-ouest de l'Espagne, une diversité qui diminue progressivement à mesure que l'on se dirige vers le Nord (Oficialdegui *et al.*, 2019). Ceci n'exclue pas, d'autres événements d'introduction provenant de différentes sources dans certains pays européens (Patoka *et al.*, 2014 ; Weiperth *et al.*, 2019). La possibilité d'autres voies plausibles d'introduction en Europe a été suggérée dans la littérature, Barbaresi *et al.* (2007) ont proposé que *P. clarkii* ait pu être importée de Chine en Italie, tandis que Laurent *et al.* (1991) et Goddard et Hogger (1986) ont suggéré qu'il aurait pu être introduit en France et au Royaume-Uni à partir du Kenya pour la consommation humaine. En effet, l'étude génétique des populations de *P. clarkii* en Europe a mis en évidence la présence d'haplotypes communs avec des populations du Kenya et d'Asie (Oficialdegui *et al.*, 2020) ce qui a permis d'établir les voies probables d'invasion par cette espèce (Figure 138) . Ce constat suggère fortement qu'en Europe plusieurs introductions non déclarées ont eu lieu, en plus de celles bien connues qui se sont produites en Espagne dans les années 1970.

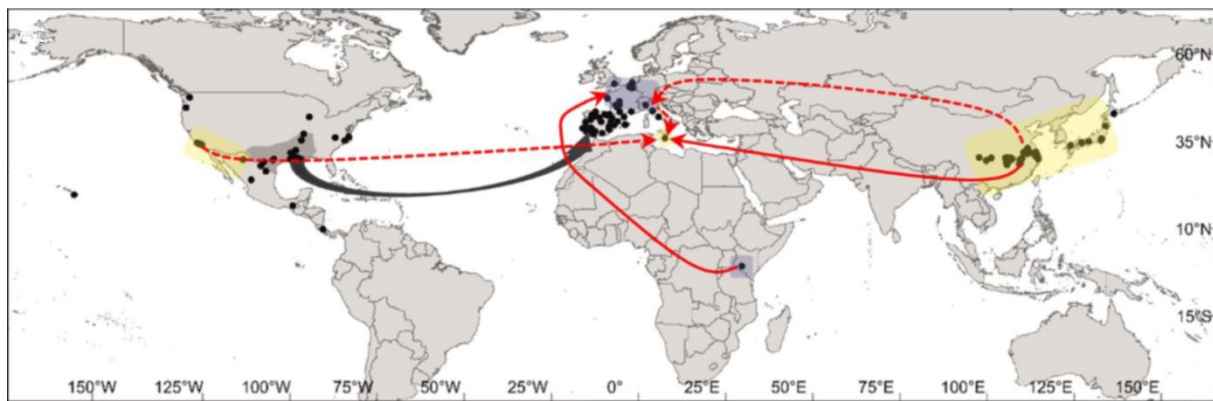


Figure 138 : Voies d'invasion probables de *P. clarkii* des régions non européennes vers l'Europe. Les itinéraires d'introduction sont représentés par des flèches rouges continues (itinéraires plausibles) et discontinues (itinéraires hypothétiques), la flèche gris foncé indique les introductions connues issues de la Louisiane dans les années 1970 (Oficialdegui *et al.*, 2020).

Au Maroc aucune installation d'élevage ou opération d'introduction de *P. clarkii* n'a été autorisée ou réalisée par les organismes compétants dans le domaine. Alors comment *P. clarkii* est arrivée au Maroc ? Selon EL Qoraychy *et al* (2015), la première observation de l'espèce aurait eu lieu fin 2008 début 2009 à Merja Zerga et ferait suite à une introduction réalisée en 2007 par la société espagnole ALFOCAN, entreprise de production et de commercialisation internationale d'écrevisses de Louisiane. Quant à Saguem *et al* (2019), l'écrevisse de Louisiane est observée la première fois en 2008 dans le périmètre de la ville d'Allal Tazi ; de plus cette même population, en 2 ans serait propagée vers le nord pour atteindre les marais du plateau de Rmel dans un premier temps puis le complexe zones humides du Bas Loukkos parcourant ainsi 43,8 Km en 2 ans. De notre part des spécimens d'écrevisse de Louisiane nous ont été décrits par des pêcheurs locaux près de la Merja Zerga au début des années 2010.

Pour en savoir plus une enquête est menée auprès de la population locale lors de cette étude au niveau du canal Nador et plus précisément au niveau du Douar Ouled Mesbah. Il s'est avéré que l'écrevisse de Louisiane *P. clarkii* a été introduite volontairement et illégalement. En effet, le propriétaire Espagnole d'une installation d'élevage d'anguille à Kenitra appelé par la population locale « M. PEPE », aidé par son assistant, qui s'occupait à l'époque de la collecte des anguilles capturées par les pêcheurs locaux, ont effectué une opération d'introduction. Avec un ouvrier, ils ont relâché au niveau de la partie basse du canal Nador près de la Merja Zerga (région du Gharb) des juvéniles de *P. clarkii*. Une opération similaire aurait eu lieu au niveau des marais du Loukkos (région de Larache). La population locale du Douar Ouled Mesbah a décrit les écrevisses relâchées comme des petites crevettes de 2 cm environ. Quatre mois après cette opération, M. PEPE et son assistant sont venus demander

aux pêcheurs locaux s'ils ont attrapé ou remarqué la présence d'écrevisses. Etonné, les pêcheurs n'ont compris ce qui se passe qu'après quatre ans quand ils ont commencé à voir des écrevisses sortir de l'eau ou piégées dans leurs filets.

D'après le récit des pêcheurs locaux l'introduction aurait eu lieu en fin des années 90 début des années 2000, ce qui peut expliquer l'apparition de l'écrevisse de Louisiane dans le périmètre de la ville d'Allal Tazi en 2008 (Saguem *et al.*, 2019). Et s'approche de l'acte d'introduction supposé réalisé par la société espagnole ALFOCAN en 2007 (Qoraychy *et al.*, 2015a). Cependant même si *P. clarkii* est une espèce à stratégie r, il est difficile de penser que l'espèce a pu coloniser tout le secteur en une année pour arriver de la Merja Zerga où elle aurait été libérée en 2007 au périmètre de la ville d'Allal Tazi où elle fut observée en 2008 pour la première fois. Ceci nous amène à suggérer deux hypothèses, la première est que l'introduction de 2007 s'est déroulée bien avant, et la seconde est qu'un autre acte d'introduction aurait été réalisé dans le périmètre d'Allal Tazi. Les pêcheurs locaux indiquent que depuis, l'écrevisse de Louisiane est de plus en plus abondante avec une explosion exceptionnelle de la population vers l'année 2010. Au moment de l'enquête en 2018, l'écrevisse de Louisiane est toujours abondante au niveau de la région du Gharb. Concernant la région des marais du bas Loukkos au niveau de Larache nous n'avons pas trouvé de trace ni de témoignage qui confirme l'action d'introduction à part une population d'écrevisse *P. clarkii* dont la description de l'évolution est plus au moins la même avec le même incident de pullulation vers l'année 2010 décrit dans la zone de la Merja Zerga et des marais du Loukkos où les plans d'eau étaient infestés d'écrevisses rouges.

1.2. Matériel et méthode

Pour évaluer les stocks et estimer la répartition géographique de *P. clarkii*, l'approche méthodologique adoptée s'est basée sur l'évaluation directe. Le principe général repose sur la réalisation, d'une série d'opérations de prospection et de prélèvement d'échantillons par piégeage à travers les différents types d'habitats dont certains en marge du site, afin de collecter les données nécessaires à la quantification des stocks en plus d'affiner l'aire de présence de l'écrevisse.

1.2.1. Estimation de la répartition géographique

Dans un premier temps une campagne de prospection incluant le questionnement des pêcheurs et des populations locales ainsi que le piégeage (Figure 139), est menée au nord-ouest du Maroc au niveau de deux zones, la plaine du Gharb (Figure 140) et les marais du

Loukkos (Figure 141). Le choix des zones est basé sur les travaux d'El Qoraychy *et al.* (2015), elle concerne les endroits susceptibles d'accueillir *P. clarkii*. Ceci dans l'optique d'affiner son aire de répartition.



Figure 139 : Campagne de prospection et pose des pièges dans le canal Nador et les rizières du Gharb

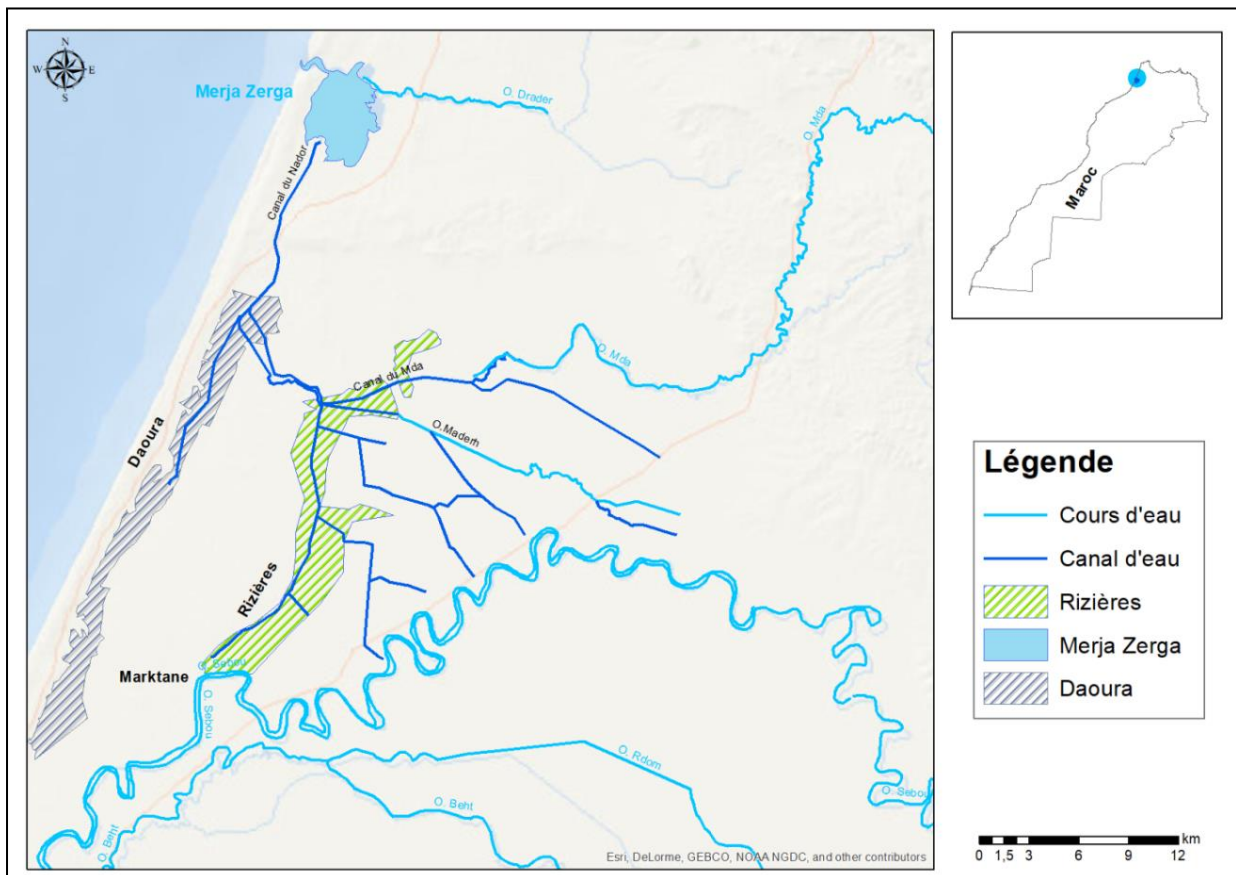


Figure 140 : Zone de prospection au niveau de la plaine du Gharb

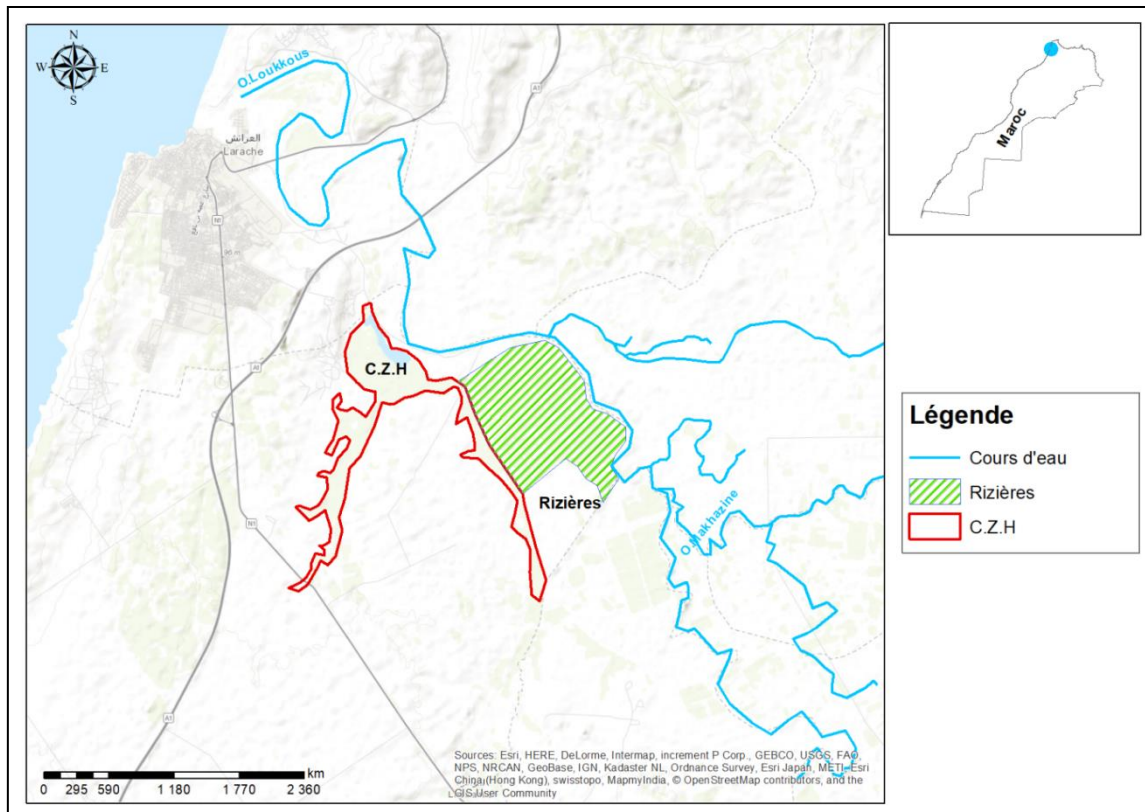


Figure 141 : Zone de prospection au niveau des marais du Loukkos

1.2.2. Estimation des stocks

En l'absence d'une méthode standardisée de l'estimation du stock des écrevisses de Louisiane *P. clarkii*, nous avons essayé la méthode de capture-marquage-recapture appliquée entre autres à l'estimation des stocks d'écrevisses (Mollard & Faure, 2017).

Cette technique consiste à capturer à la main tous les individus observés en deux sessions, une première pour la capture et le marquage et une deuxième pour la recapture. Sur la station d'étude choisie, plusieurs passages sont nécessaires afin de maximiser l'effort de capture. L'équipe de prélèvement doit être identique pour les deux sessions de captures afin de ne pas modifier l'effort de capture.

L'effectif total présent sur la station est estimé grâce à la formule de Petersen :

$$M_t / N_T = r_m / R_t \text{ avec un écart type : } \sigma^2 = N_t^2[(N_T - M_t).(N_T - R_t)] / m_t.R_t (N_t - m_t)$$

Avec :

N_T : effectif total de la population

m_t : nombre d'individus marqués au premier passage

R_t : nombre d'individus capturés au second passage

r_m : nombre d'individus marqués capturés au second passage

On obtient donc :

$$NT = (mt * Rt) / rm$$

Pour l'application de cette formule les conditions suivantes doivent être respectées :

- la population doit être stationnaire,
- la probabilité de capture doit être la même pour tous les individus,
- la recapture doit être un échantillonnage aléatoire,
- le marquage doit être pérenne, sans influencer la probabilité de capture,
- l'effectif marqué lors de la première nuit doit être suffisamment important afin de maximiser la précision de l'estimation (diminuer l'écart type).

Dans notre cas, vu les conditions du terrain, la capture a été réalisée grâce aux pièges. Le marquage a été fait par des colliers de serrage en plastique (Figure 142).



Figure 142 : Marquage des écrevisses

Cette méthode s'est avérée inefficace pour l'estimation de la biomasse des écrevisses de Louisiane. En effet, la nature du terrain et la turbidité de l'eau empêchent une prospection à la main, de plus même en utilisant les cages aucune écrivain n'a été recapturée, sur une centaines d'écrevisses marquées, que ce soit dans le second ou le troisième échantillonnage. Ceci s'explique par le comportement errant et fouisseur de l'écrivain de Louisiane (population non stationnaire) additionné à la nature des sites d'échantillonnage (ouverts offrant plusieurs cachettes).

Alors pour les besoins de l'étude nous avons pris en compte tous ces paramètres pour déterminer une autre méthode d'estimation du stock. La méthode proposée est basée sur le

principe que la capture la plus importante d'une série réalisée constitue le maximum d'individus pouvant être capturés rapportée à la surface couverte par le piège. La série de piégeage porte sur une durée d'un mois (août 2017). Cette période de piégeage fait partie des moments pendant l'année, où la température de l'eau permet une activité suffisante des écrevisses de Louisiane. La relève des nasses est effectuée tous les jours par des personnes habitant sur place chargées de noter les effectifs d'écrevisses capturées par piège.

L'estimation du périmètre d'influence du piège tient compte des observations du comportement alimentaire de l'écrevisse et des recommandations de Paillisson *et al.* (2011) sur :

- la durée de piégeage qui a été fixée à 24 h afin de limiter les risques de disparition d'écrevisses capturées dans les pièges et d'avoir une idée moins biaisée sur la structure de la fraction de la population échantillonnée ;
- L'influence du piège, qui a été déterminée à une surface échantillonnée (a_i) de 100 m^2 , puisqu'il a été recommandé de placer un piège tous les 10 m pour avoir une estimation fiable.

C'est ainsi, pour un site (ou strate) donné (i), l'estimation de la biomasse (B_i) du stock en nombre et ou en poids s'effectue selon la formule suivante :

$$B = N_i * A_i/a_i * 1/X_e$$

B_i : Biomasse du stock (en nombre et/ou en poids)

N_i : l'indice d'abondance (en nombre ou en poids)

A_i : surface totale du site ou de la strate

a_i : surface de prélèvement des échantillons (surface des quadrats par site)

X_e : facteur d'échappement de l'espèce considérée. Pour l'écrevisse de Louisiane le facteur d'échappement concerne les individus dont le diamètre est inférieur aux mailles des nasses ainsi que ceux qui n'ont pas un comportement alimentaire favorable à la méthode de capture, ce type d'individus constitue le stock non exploitable, et qui n'est pas concerné par l'objectif de description en vue d'une exploitation.

En vue des objectifs de l'étude la correction par le facteur d'échappement ne sera pas réalisée afin d'estimer uniquement le stock exploitable (susceptible d'être capturé). Ainsi la formule devient :

$$B_i = N_i * A_i/a_i$$

Les indices d'abondance sont calculés en nombre et en poids par unité de surface (m²), au niveau de chaque zone prospectée.

Pour obtenir une estimation de l'abondance et de la biomasse totales, nous avons procédé à l'extrapolation de l'indice d'abondance moyen ou de la densité moyenne obtenus à la totalité de la zone concernée. L'estimation de la surface totale du site est basée sur l'utilisation de l'application *Google Earth Pro*.

Les séries de piégeage sont réalisées au niveau de quatre postes, choisis sur la base des résultats de la campagne de prospection. Les stations de piégeage concernent deux types d'habitats :

- habitats en eau courante situés au niveau de la plaine du Gharb ;
- habitats en eau stagnante, composés de marais et de rizières, situés respectivement au niveau du bas Loukkos et plaine du Gharb.

Pour la première zone (plaine du Gharb), l'échantillonnage a été effectué sur trois stations (Figure 143), comme indiqué ci-dessous :

- station 1 - canal Nador le long de la ville d'Ould Mesbah, aux coordonnées 34° 48'48,8 "N et 6° 17'54,7" O ;
- station 2 - rizières Gharb près de la ville d'Allal Tazi, aux coordonnées 34 ° 33'19,7 " N et 6° 18'58,9" O ;
- station 3 - « Hofrat Al Majour » point de déversement dans l'oued Sebou du canal principale de vidange des rizières du Gharb près de la ville d'Allal Tazi, aux coordonnées 34°53' 84.6 "N et 6° 33' 21.4" O.

Concernant la deuxième zone, la station d'échantillonnage est située dans le marais du bas Loukkos près de la province de Larache, entre la ville d'Ain Chouk et Dhiria, aux coordonnées 35° 08' 12.2" N et 6° 06' 30.5" O (Figure 144). Cette zone fait partie d'un complexe de zones humides appartenant à la plus grande zone humide d'Ain Chouk, Baggara et Boucharene.



Figure 143: Station d'échantillonnage au niveau de la zone du Gharb (Google maps 2019)



Figure 144 : Station d'échantillonnage au niveau de la zone du marais du Bas Loukkos (Google maps 2019).

1.3. Résultats

1.3.1. Répartition géographique

La campagne de prospection menée a permis d'établir la répartition des populations d'écrevisse de Louisiane dans :

- La région du Gharb (Figure 145) :

- entre Merja Zerga et Dlalha (oued Drader) au Nord ;
- Lalla Mimouna (oued Mda) et Souk El Arbaa du Gharb (canaux d'irrigation) à l'Est ;
- Allal Tazi (rive droite du Sebou) au sud ;
- et Daoura (Merja de Benmansour) à l'Ouest.

Dans cette zone l'espèce occupe toute catégorie de pièces d'eau : lagune, canaux d'irrigation et de drainage, Merjas temporaires, rizières ...

- La région du Bas Loukkos (Figure 146) : dans le complexe de zones humides, les rizières de Larache et partie de l'estuaire du Loukkos.

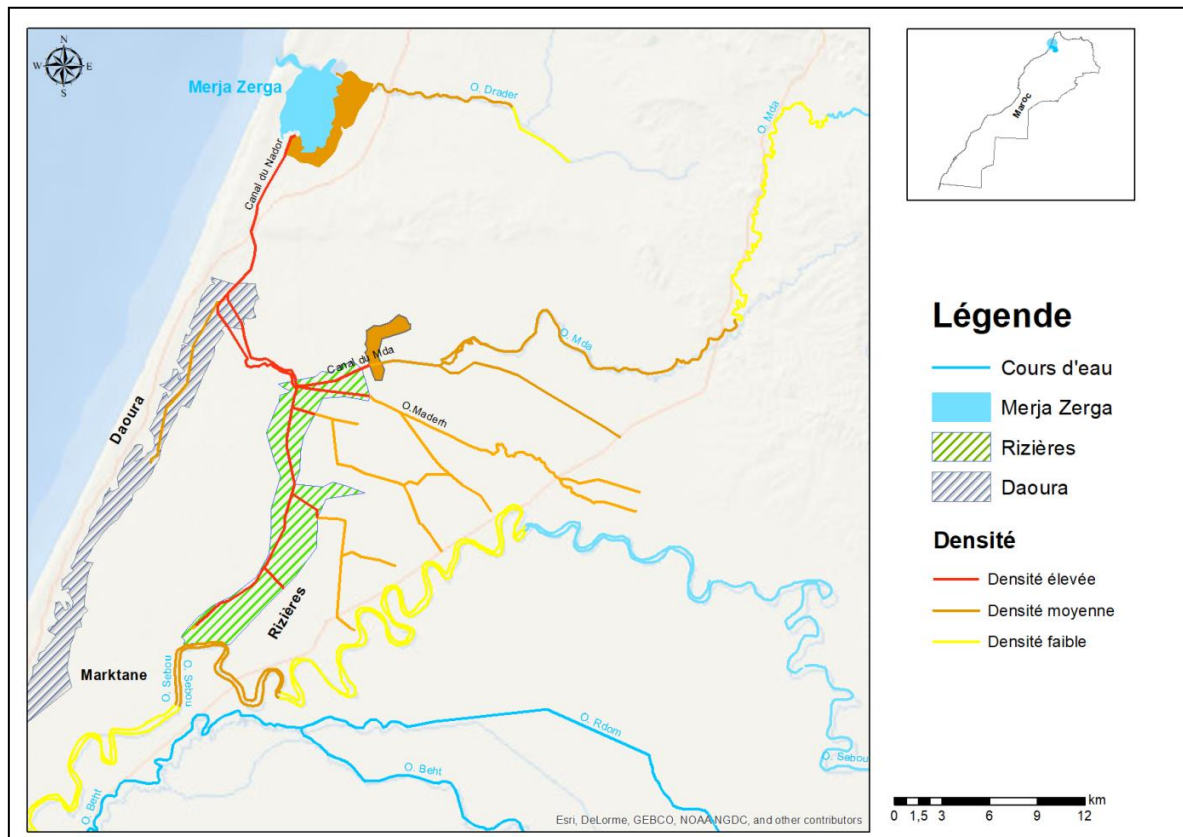


Figure 145 : Répartition de *P. clarkii* dans la région du Gharb.

Au niveau de la zone du Gharb suite à la libération de *P. clarkii* dans la Merja Zerga cette dernière s'est probablement reproduite et a colonisé progressivement le réseau hydrographique particulièrement interconnecté, profitant des périodes où le débit est bas pour remonter les oueds et les canaux de drainage et d'irrigation. Ainsi *P. clarkii* s'est propagée vers l'Est via l'Oued Drader. Et vers le Sud puis le Sud-Est par le canal Nador rejoignant par conséquent les canaux d'irrigation et le réseau de drainage des rizières du Gharb qui communiquent directement avec l'Oued Mda. Pour se retrouver finalement dans l'Oued

Sebou à cause du refoulement d'une partie d'eau de drainage des rizières au niveau de Hofrat Al Majour près de la ville de Allal Tazi.

Au niveau de la zone du Bas Loukkos nous n'avons pas d'idée précise sur le point où *P. clarkii* fut libérée. Ce qui est certain c'est que toute la zone du complexe zone humide et des rizières est hydrologiquement connectée ce qui a facilité sa colonisation. A l'instar du Sebou, le Loukkos reçoit les eaux de drainage des rizières il est donc fort probable que *P. clarkii* s'y est retrouvée aussi à cause du déversement de ces eaux.

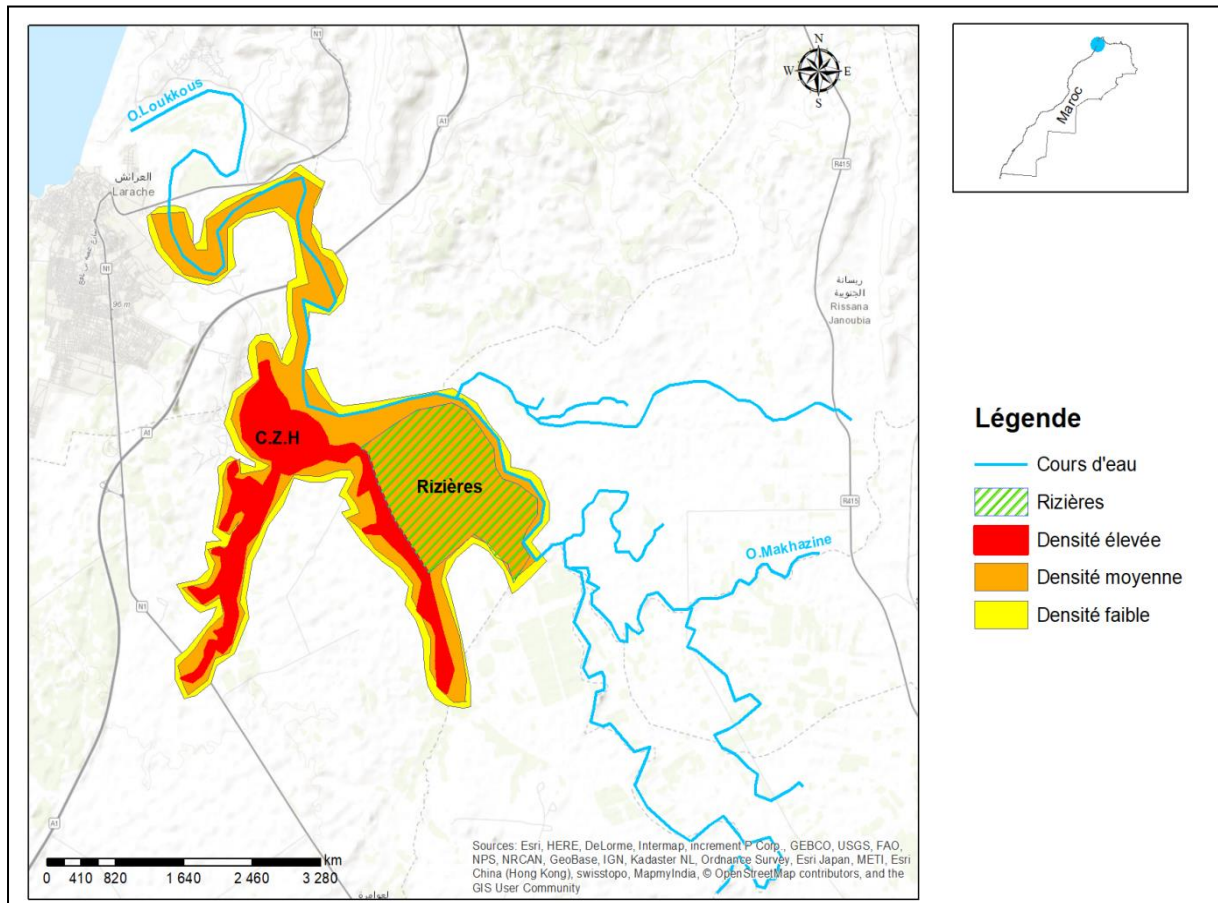


Figure 146 : Répartition de *P. clarkii* dans la région de Larache : complexe zone humide (CZH) et rizières.

1.3.2. Estimation des stocks

Les résultats retenus pour l'estimation de la biomasse sont basés sur le principe que la capture la plus importante de la série réalisée constitue le maximum d'individus pouvant être capturé reporté à la surface d'influence du piège (100 m²).

Le tableau ci-dessous (Tableau 43), présente un extrait des séries de captures dans les quatre stations de piégeage régulier au niveau de la plaine du Gharb (3 stations) et Zones humides du Bas Loukkos (1 station).

Tableau 43: Extrait des séries de captures (nombre d'individus / 24h) réalisées au niveau du canal Nador, Hofrat Al Majour, les Rizières et Zones humides du Bas Loukkos

Date	Hofrat Al Majour * 2017	Rizières du Gharb 2017	Canal Nador 2017	Zones Humides du Bas Loukkos 2017
10/08	30	10	19	28
11/08	50	11	37	22
12/08	40	15	12	16
13/08	50	29	36	28
14/08	60	16	17	9
15/08	70	14	8	10
16/08	80	19	25	14
17/08	80	16	19	30
18/08	40	12	22	17
19/08	50	30	9	18
20/08	60	13	24	15
21/08	70	28	17	29
22/08	80	15	28	13
23/08	60	10	8	20
24/08	80	7	18	10

* Les captures au niveau de ce site ne sont pas considérées pour l'estimation du stock car c'est une zone de regroupement d'écrevisses refoulées par pompage lors de la vidange des étangs de riziculture.

1.3.2.1. Plaine du Gharb

Cette zone concerne les rizières de la région d'Allal Tazi et le canal Nador qui draine les rizières situées au niveau de la plaine du Gharb. Les résultats de l'estimation de la biomasse sont regroupés dans le tableau ci-dessous (Tableau 44):

Tableau 44 : Estimation de la biomasse (Bi) en nombre et en poids pour la plaine du Gharb

Paramètres d'estimation de la biomasse	Site	
	Canal Nador	Rizières
Ni (Nombre / piège)	37	30
Ni (poids / piège)	856 g	696 g
Ai (Surface totale du site)	550 000 m ²	8 000 000 m ²
ai (Surface échantillonnée)	100 m ²	100 m ²
Bi (Biomasse en nombre)	203 500	2 400 000
Bi (Biomasse en poids)	4,71 t	55,68 t

1.3.2.2. Bas Loukkos

Cette zone est composée de marais et de rizières, situées au niveau de la zone humide du Bas Loukkos. Les résultats de l'estimation de la biomasse du bas Loukkos sont regroupés dans le Tableau 45 ci-dessous :

Tableau 45 : Estimation de la biomasse (Bi) pour les sites de la zone humide du Bas Loukkos

Paramètres d'estimation de la biomasse	Zone humide du Bas Loukkos
Ni (Nombre /piège)	30
Ni (poids /piège)	429 g
Ai (Surface totale du site)	7 070 000 m ²
ai (Surface échantillonnée)	100 m ²
Bi (Biomasse en nombre)	2 121 000
Bi (Biomasse en poids)	30,33 t

1.4. Discussion

L'évolution de la distribution géographique mondiale de *P. clarkii* a connu un grand élargissement depuis le siècle dernier. Au départ (avant 1950) restreinte uniquement en Amérique du nord et en Asie, l'aire de répartition de *P. clarkii* s'est élargie pour atteindre l'Amérique du sud, l'Afrique et l'Europe avec une dissémination importante en Europe et en Asie (Figure 147).

Du fait de son important succès commercial, *P. clarkii* a rapidement été introduite dans plusieurs pays. Actuellement, c'est l'espèce d'écrevisse d'eau douce la plus produite dans le monde (FAO, 2018) avec une production en 2017 de plus d'un million de tonnes (FAO, 2019a). Le commerce de cette espèce comme animal de compagnie (Cruz et Rebelo, 2007 ; Chucholl, 2011b ; Ramalho et Anastácio, 2015), a aussi contribué à l'expansion rapide de son aire de distribution. *P. clarkii* affectionne les eaux chaudes et est particulièrement adaptée à la vie dans les zones humides saisonnières inondées. Cependant, elle pourrait être en mesure de faire face à des climats plus froids (ex : Europe centrale et orientale) (Chucholl, 2011a ; Maciaszek, 2019). Une fois introduite, *P. clarkii* s'établit très vite et peut alors parcourir jusqu'à 4 km par jours (Gherardi et Barbaresi, 2000).

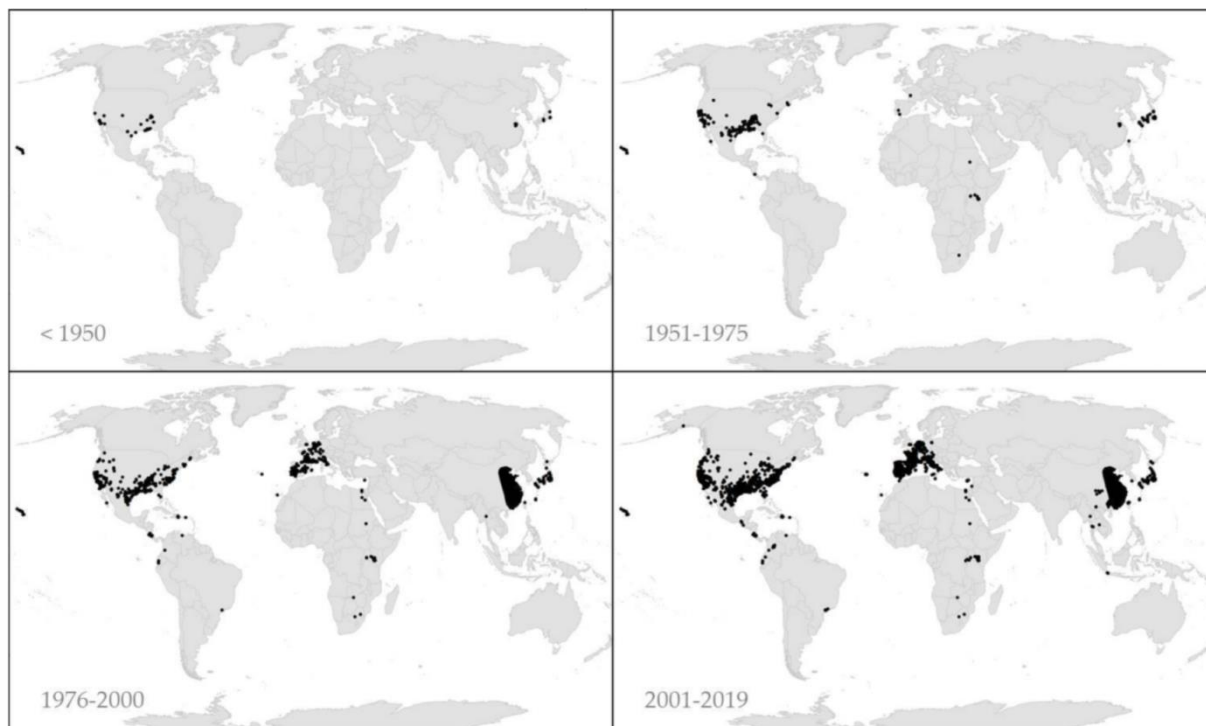


Figure 147 : Evolution de la distribution géographique mondiale de *P. clarkii* avant 1950, entre 1951- 1975, entre 1976-2000 et entre 2001-2019 (Oficialdegui, 2019).

Au Maroc l'aire de répartition établie lors de la présente étude est cohérente avec les propositions d'hypothèses d'introduction susmentionnées. En effet, l'aire de répartition des populations de *P. clarkii* est constituée de deux zones parfaitement distinctes qui correspondent à l'opération d'introduction proposée par la littérature (El Qoraychy *et al.*, 2015 ; Benyahkoub *et al.*, 2019b).

La comparaison de l'aire de répartition décrite par la présente étude avec la littérature (El Qoraychy, 2016 ; Saguem & El Alami, 2019 ; Saguem *et al.*, 2020) (Figure 148) montre une cohérence dans la distribution de *P. clarkii* dans la zone de la plaine du Gharb principalement au niveau de la Merja Zerga et des rizières dans le périmètre de la ville d'Allal Tazi avec une proposition d'élargissement de l'aire de distribution vers le sud (Mograne, Lmnassra et Merja El Fouarate près de la ville de Kénitra) , l'Est (Souk El Arbaa, Mchraa Bel Lakssiri, Nourat et Haouafat) et le Sud-Est (Sid El Kamel et Dar Lguedari). Concernant la zone du bas Loukkos tout le monde s'accorde sur la présence de *P. clarkii* au niveau du complexe zones humides et des rizières. La présente étude démontre en plus la présence de l'écrevisse de Louisiane dans la partie de l'estuaire du Loukkos en aval des rizières. Et les travaux de Saguem susmentionnés signalent la présence de *P. clarkii* au niveau de la Merja du plateau de Rmel qui se trouve une zone intermédiaire entre Merja Zerga et le complexe zones humides du Bas Loukkos.

L'aire de répartition décrite dans la présente étude va continuer à s'étendre d'avantage grâce à la capacité de colonisation de *P. clarkii* (stratégie r, déplacement sur de grande distance) et son adaptation aux conditions environnementales difficiles (sécheresse, pollution ...). D'autres éléments comme le commerce d'animaux de compagnie et le commerce pour l'alimentation humaine peuvent contribuer à l'introduction de *P. clarkii* dans d'autres zones du Maroc. En effet, les investigations sur le terrain ont démontré que l'écrevisse de Louisiane est disponible vivante pour un usage ornemental en aquarium, les propriétaires d'animaleries peuvent s'approvisionner à Casablanca pour revendre dans toutes les villes du pays. Concernant l'alimentation humaine nous savons que l'écrevisse de Louisiane se retrouve proposée vivante dans des marchés de poissons et par des vendeurs aux restaurants à Kénitra. Une enquête menée au niveau de la région du Gharb a démontré l'existence d'un marché au niveau local, les écrevisses sont vendues entre 10 et 50 dirhams le Kg aux vendeurs de poissons et aux touristes (Saguem *et al.*, 2020).

Étant donné que *P. clarkii* est connue pour ses impacts négatifs dans de nouveaux habitats, plusieurs menaces potentielles pour les écosystèmes naturels marocains peuvent être attendues. Tout impact direct de *P. clarkii* sur d'autres organismes entraîne des effets négatifs indirects sur l'écosystème via les cascades trophiques (Souty-Grosset *et al.*, 2016). De plus, une pression plus élevée sur d'autres macroinvertébrés, amphibiens et poissons pourrait conduire à des chaînes alimentaires déséquilibrées et à la disparition définitive de petits lacs et étangs en raison de leur eutrophisation (Reshetnikov, 2003 ; Souty-Grosset *et al.*, 2016). Au niveau des rizières *P. clarkii* creuse des trous et des galeries pour se réfugier, et ces derniers ont pour effet d'endommager les berges et favoriser la perte d'eau (Saguem & El Alami, 2019). Devant cette situation les agriculteurs utilisent des pesticides dans le bas Loukkos, même action signalée par Saguem *et al.*, (2020) dans la plaine du Gharb. Même si cette action se révèle efficace, elle pourrait endommager l'environnement naturel, en particulier affecté les crustacés indigènes (Lidova *et al.*, 2019). D'autres méthodes peuvent être utilisées pour le contrôle des populations de *P. clarkii* comme la lutte biologique, représentée par l'introduction de prédateurs naturels serait une solution. Cependant elle risque de perturber d'avantage l'équilibre de zones avoisinantes fragiles (telle que Merja Zerga). Selon les connaissances actuelles sur les actions d'éradication, les méthodes biotechnologiques telles que la technique de libération masculine stérile pourraient être un moyen temporaire efficace pour la gestion des espèces invasives, car elles sont sûres pour l'environnement et déjà testées principalement sur *P. clarkii* (Johović *et al.*, 2019 ; Manfrin *et al.*, 2019 ; Sandodden, 2019).

Outre les méthodes de gestion conventionnelles, une autre voie plus durable et moins coûteuse existe. Si on regarde de près le contexte socio-économique qui caractérise l'aire de répartition de *P. clarkii*, il s'avère que les populations locales sont constituées principalement d'agriculteurs et de pêcheurs. En capitalisant sur cela, la lutte contre l'invasion par l'écrevisse de Louisiane ne devrait pas demander un budget aux autorités de gestions ou bien peser sur les dépenses des agriculteurs, mais plutôt apporter de la valeur ajoutée grâce à la mise en place d'un système d'exploitation durable. Au niveau des rizières par un système de rotation (ex : riz-écrevisse-riz) et au niveau des autres zones (canaux d'irrigation et marais) en encourageant la pêche à la main ou par des nasses. Il est à savoir que l'opportunité liée à la récupération de l'écrevisse de Louisiane dans les rizières du Gharb présenteraient une valeur estimée entre 1 505 MAD / ha et 3 010 MAD / ha (soit 138,34 € / ha et 276,68 € / ha) (Saguem & El Alami, 2019), sans compter les économies à faire sur les pesticides et la diminution des pertes d'eau. Ceci aura pour effet de contrôler les populations d'écrevisse d'une part et d'apporter une source de protéine et de revenu supplémentaire d'autre part. Cette solution peut à moyen terme évoluer vers un système plus complexe englobant des unités de conditionnement et de commercialisation dans le cadre de la nouvelle stratégie de développement du secteur agricole du Maroc "Génération Green 2020-2030". La gestion ou l'exploitation des populations de *P. clarkii* ne pourra se faire que si un cadre juridique adapté est mis en place. Rajoutant à cela qu'il faudra dépasser la barrière administrative qui fait que la riziculture dépend du ministère de l'agriculture, mais que la pisciculture est sous la juridiction du département des Eaux et Forêts.

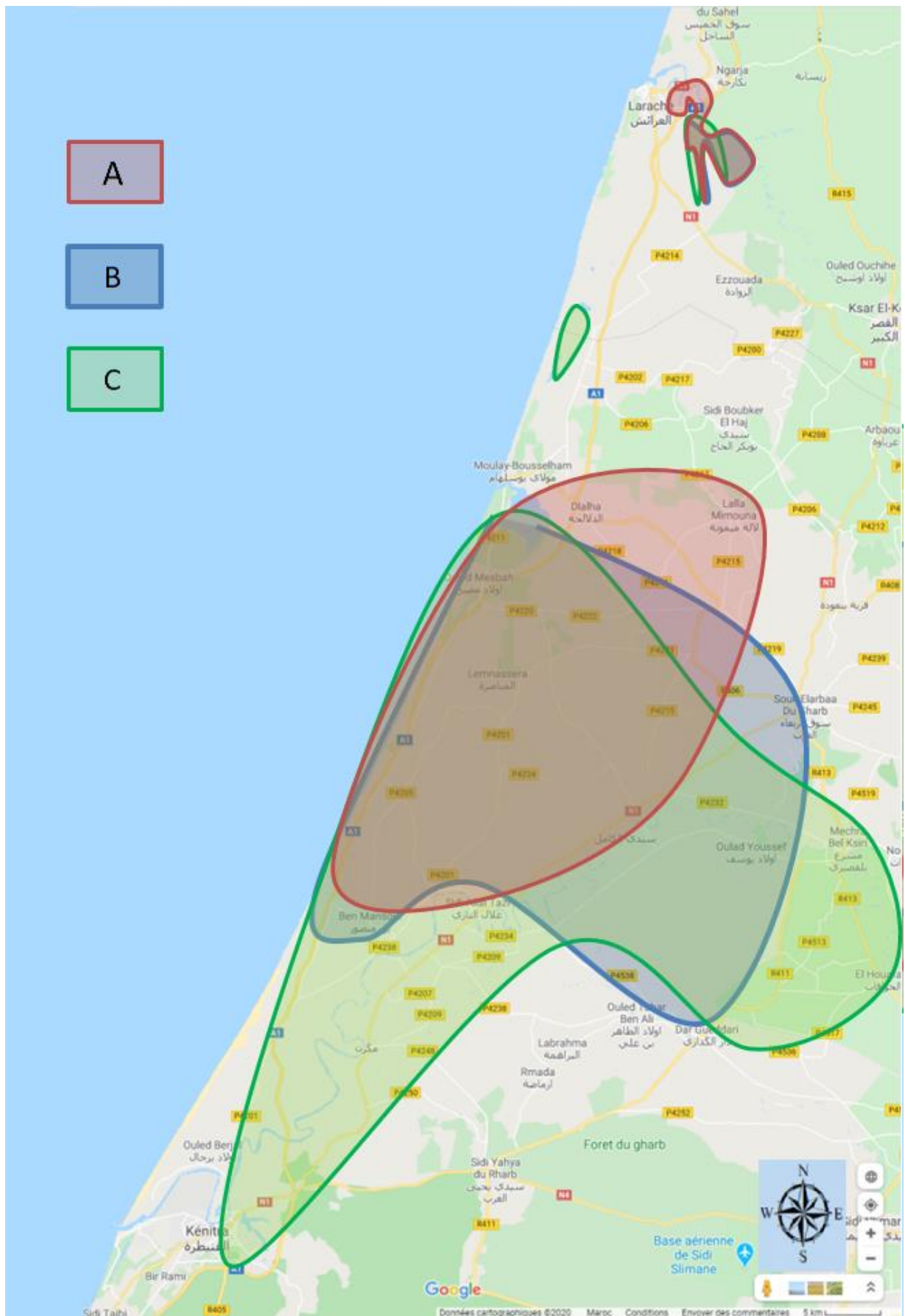


Figure 148 : Aire de répartition de *P. clarkii* : A) présente étude, B) Proposition d'El Qoraychy (2016) et C) travaux de Saguem *et al* 2019 ; Saguem *et al* 2020.

1.5. Conclusion

L'évolution de la distribution géographique mondiale de *P. clarkii* a connu un grand élargissement depuis le siècle dernier. Et pour cause la production pour l'alimentation humaine, la vente comme animal de compagnie et sa grande capacité d'adaptation aux conditions les plus rudes.

Au Maroc il s'est avéré que l'écrevisse de Louisiane *P. clarkii* a été introduite volontairement et illégalement, vers la fin des années 90 début des années 2000, par le propriétaire Espagnole d'une installation d'élevage d'anguille à Kenitra en libérant au niveau de la partie basse du canal Nador près de la Merja Zerga (région du Gharb) et dans la zone du Bas Loukkos des juvéniles de *P. clarkii*.

Pour coloniser les zones où elle a été introduite, l'écrevisse de Louisiane a profité des réseaux d'irrigations et du fait que ses zones disposent d'un système hydrologique connecté. L'aire de répartition est constituée de deux zones, la première dans la région du Gharb :

- entre Merja Zerga et Dlalha (oued Drader) au Nord ;
- Lalla Mimouna (oued Mda) et Souk El Arbaa du Gharb (canaux d'irrigation) à l'Est ;
- Allal Tazi (rive droite du Sebou) au sud ;
- et Daoura (Merja de Benmansour) à l'Ouest.

La deuxième zone, est dans La région du Bas Loukkos : dans le complexe de zones humides, les rizières de Larache et la partie de l'estuaire du Loukkos en aval des rizières.

Étant donné que *P. clarkii* est connue pour ses impacts négatifs dans de nouveaux habitats, plusieurs menaces potentielles pour les écosystèmes naturels marocains peuvent être prédites. Au niveau des rizières *P. clarkii* creuse des trous et des galeries pour se réfugier, mais ces derniers ont pour effet d'endommager les berges et favoriser la perte d'eau (Saguem & El Alami, 2019). Devant cette situation les agriculteurs utilisent des pesticides dans le bas Loukkos et la plaine du Gharb, ce qui pourrait endommager l'environnement naturel.

Souvent à proximité de centre urbains, l'aire de répartition de *P. clarkii* connaît une population locale constituée principalement d'agriculteurs et de pêcheurs, qui contribuent à l'existence d'un marché local pour cette écrevisse. Ce contexte socio-économique est propice à la mise en place d'un système d'exploitation durable pour une meilleure gestion, qui au lieu de demander un budget, va d'une part, permettre le contrôle des populations d'écrevisse, et

d'autre part, apporter une source de protéine et de revenu supplémentaire. Avec des stocks estimés à 60,39 tonnes (équivalent à 2 603 500 écrevisses) entre canal Nador et les rizières du Gharb et 30,33 tonnes (équivalent à 2 121 000 écrevisses) dans le complexe zones humides du bas Loukkos.

Il est important de mettre en place rapidement un cadre juridique adapté pour la mise en place, d'un système d'exploitation durable et intégré. Ceci constituera le point de départ pour le développement de la recherche, afin que la gestion de *P. clarkii* soit une source de revenu au lieu de s'ajouter aux nombreux problèmes environnementaux que connaît le Maroc.

2. Valorisation des populations de *Procambarus clarkii*

2.1. Introduction

Devant une espèce invasive, introduite probablement d'une manière illégale et dont la propagation est connue pour impacter négativement l'environnement et l'économie. La mise en place d'un mode de gestion efficace est primordiale. En vue des résultats de l'étude, il s'avère que les caractéristiques relatives à la biométrie et à l'aire de répartition de *P. clarkii*, combinées au contexte socio-économique, présentent un cadre prometteur pour la mise en place d'un système de gestion basé sur la valorisation. En effet, les populations d'écrevisses étudiées présentent des tailles supérieures ou égales aux populations d'écrètes en Louisiane et en Europe. De plus, elles sont localisées le plus souvent dans des zones caractérisées par une grande activité de riziculture et de pêche. Et donc, l'exploitation commerciale des stocks estimés, présente une solution pertinente qui va permettre entre autres de :

- contrôler le développement des populations d'écrevisses de Louisiane tout en limitant les impacts négatifs qui en découlent ;
- réduire l'usage des pesticides utilisés pour lutter contre l'écrevisse de Louisiane dans les exploitations de riz ;
- ouvrir la porte vers de nouveaux modes de production comme les systèmes culturaux intégrés combinant l'agriculture et la pisciculture ;
- apporter de la valeur ajoutée à l'économie locale, par le développement de la filière écrevisses, à petite, moyenne et grande échelle ;
- amélioration des conditions sociales des populations locales, par la création d'une dynamique autour de l'exploitation d'écrevisses de Louisiane (opportunité d'emploi, amélioration des revenus des pêcheurs/collecteurs, augmentation du rendement financier des exploitations rizicoles ...).

Dans un premier temps une analyse SWOT permettra d'avoir une vision globale des différents aspects qui entourent la valorisation de l'écrevisse de Louisiane dans le périmètre étudié (Akça *et al.*, 2006 ; García-Arberas *et al.*, 2009 ; FranceAgriMer, 2018). Ensuite, nous nous intéresserons à la description de la filière notamment la structure, les modes de production et les voies de commercialisation. Cette démarche nous permettra d'aboutir à des propositions pour la valorisation.

2.2. Analyse SWOT de la valorisation de l'écrevisse de Louisiane

2.2.1. Définition de l'analyse SWOT

La matrice SWOT, acronyme anglophone de Strengths (forces), Weaknesses (faiblesses), Opportunités (opportunités) et Threats (Menaces), est définie par les services de la Commission Européenne comme un outil d'analyse stratégique qui combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation, d'un programme, d'un secteur... avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. Cette analyse permet d'obtenir une vision synthétique d'une situation en rassemblant et croisant les analyses interne (forces et faiblesses) et externe (opportunités et menaces) avec les environnements micro et macro du projet ou action prévue. Cette analyse est un excellent outil d'appui au processus de planification stratégique qui contribuent à l'étude de la pertinence et de la cohérence d'une action future et permet de se faire une idée initiale des options possibles, elle doit être entamée alors dans les premières phases.

Le terme SWOT est un acronyme issu de l'anglais (Figure 149) :

- Strengths (forces) ;
- Weaknesses (faiblesses) ;
- Opportunities (opportunités) ;
- Threats (menaces).

2.2.2. Les axes de l'analyse SWOT

L'analyse SWOT repose sur deux axes, un diagnostic interne et un diagnostic externe. Le premier diagnostic permet d'avoir une vue des caractéristiques d'origine interne de l'action ou du projet prévu. Cet axe oppose les forces constituées par les points positifs procurant un avantage, aux faiblesses constituées par les points négatifs nécessitant une amélioration. Le deuxième diagnostic offre une vision des éléments d'origine externe qui peuvent avoir un impact (positif ou négatif) sur l'action ou le projet prévu. Il s'agit alors d'exposer les facteurs extérieurs dont on peut tirer parti et qui constituent les opportunités, ainsi que les problèmes,

obstacles ou freins internes qui peuvent nuire au développement et qui constituent les menaces. L'analyse SWOT peut être représentée sous forme de matrice, tel que présenté dans la Figure 149 ci-dessous :

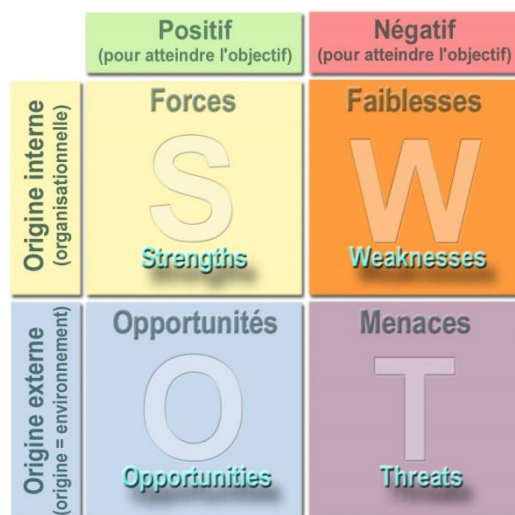


Figure 149 : Présentation de l'analyse SWOT sous forme de matrice (Dhainaut *et al.*, 2015)

2.2.3. Analyse SWOT appliquée à la valorisation des écrevisses de Louisiane dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos

L'analyse SWOT de la valorisation des écrevisses de Louisiane dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos est représentée sous forme de matrice dans le tableau ci-dessous (Tableau 46) :

Tableau 46 : Matrice de l'analyse SWOT appliquée à la valorisation de l'écrevisse de Louisiane

Strengths/forces	Weaknesses/faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Espèce connue est vendue au niveau international ; • Espèce compatible avec différents modes de production (capture dans le milieu naturel, aquaculture seule ou combinée à d'autres cultures) ; • Espèce disponible naturellement dans un grand périmètre incluant des secteurs compatibles avec des procédures d'amodiation (canal Nador, oued Drader...) ; • Espèce invasive très prolifique ne pouvant pas être soumise à des restrictions de quantité ni à un système de quotas ; • La collecte ne nécessite pas une main d'œuvre qualifiées ; • Espèce résistante qui peut supporter le conditionnement et le transport vivante. • Offre une multitude de forme de produit final (vivante, décortiquée, surgelée, en plat préparés ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilité de la production en quantité et qualité en fonction des conditions environnementales ; • La chair représente une petite proportion du poids total en comparaison avec d'autre crustacé ; • Nécessite un système de valorisation des coproduits ; • Espèce peu connue, et faiblement demandée au niveau national ; • Une fois morte, la qualité se dégrade rapidement si les conditions de conservation ne sont pas adéquates ;

Opportunities/opportunités	Threats/menaces
<ul style="list-style-type: none"> • Contexte socioéconomique de l'aire de répartition de l'espèce caractérisé par une population d'agriculteurs, d'ouvriers agricoles et de pêcheurs ; • Présence de l'écrevisse de Louisiane dans les grands périmètres rizicoles favorable à l'intégration d'aquaculture de l'espèce ; • Diminution importante de la disponibilité des crevettes accompagnée d'une augmentation de leur prix ; • Modification des habitudes de consommation avec une tendance vers l'augmentation de la consommation des produits de la pêche ; • Présence d'une filière marocaine de décorticage des crevettes ; • Contexte marocain de relance économique caractérisé par plusieurs dispositifs d'accompagnement pour le soutien et la création d'entreprises («Fonds d'appui au financement de l'entrepreneuriat», «Small Business Act» , «Génération green 2020-2030», CAP 22 ...) ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'un cadre juridique clair et spécifique à l'espèce ; • Refus culturel de la consommation d'écrevisse de Louisiane ; • Grande production chinoise en constante augmentation qui peut faire varier les prix ; • L'usage de pesticides irai à l'encontre de la productivité dans les exploitations de production combinée riz-écrevisses dans un contexte de système hydraulique partagé ;

D'après l'analyse SWOT, il est clair que les points de forces et les opportunités sont prometteurs pour le développement d'une filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane, avec un potentiel qui permet de compenser les points de faiblesses avec une certaine résilience face aux éventuelles menaces.

2.3. Description de la filière

Pour la description de la filière nous nous sommes inspirés de l'approche filière exposée par la FAO dans les modules EASYPol, plus spécialement les modules ESYPol 043 et 048 par Bockel et Tallec (2005 a et b). EASYPol est une banque de ressources multilingues portant sur l'élaboration des politiques dans les domaines de l'agriculture, du développement rural et de la sécurité alimentaire. Les ressources de la série sont composées d'études sur les résultats des politiques, d'outils méthodologiques et de matériels de renforcement des capacités en matière d'élaboration des politiques.

2.3.1. Structure fonctionnelle

La filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane peut s'organiser selon la structure fonctionnelle décrite dans le tableau ci-dessous (Tableau 47) :

Tableau 47 : Structure fonctionnelle de la filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane

Stade	Fonction	Intervenants	Produit
Production d'écrevisses	– Elevage – Pêche	– Eleveurs – Collecteurs/Amodiataires – Pêcheurs	Ecrevisse vivantes
Commercialisation primaire	Vente aux conditionneurs / transformateurs	– Collecteurs (ex : Ste de négoce ou coopératives) – Commerçants forains	Ecrevisses vivantes livrées aux conditionneurs / transformateurs
Conditionnement/transformation	Préparation du produit fini	– Industrie agroalimentaire – Ateliers locaux – Coopératives	– Ecrevisses vivantes conditionnées – Produits de transformations d'écrevisses
Commercialisation	– Vente en gros – Exportation – Vente en détail	– Distributeurs – Exportateurs – Détaillants	– Ecrevisses vivantes conditionnées ou en vrac – Ecrevisses surgelées, décortiquées, cuites, en poudre...

La structure décrite représente une ligne de base pour la mise en place d'une filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos, elle peut varier suivant le développement du secteur ou pour s'adapter à des conditions spécifiques relatives à la réglementation entres autres.

2.3.2. Mode de production d'écrevisses de Louisiane

L'écrevisse de Louisiane est la deuxième espèce de crustacés la plus produite, elle représente 12% de la production aquacole mondiale (FAO, 2018). Les principaux pays producteurs sont les États-Unis d'Amérique avec 63 626 tonnes et la Chine avec 1 128 708 tonnes pour l'année 2017 (FAO, 2019a). L'analyse de l'évolution de la production aquacole mondiale entre 2008 et 2017 (Tableau 48) montre que la quantité a triplé alors que la valeur a été multiplié fois 5, ce qui signifie non seulement que le marché est en pleine croissance mais aussi que la demande est plus importante avec une augmentation du prix d'où la différence entre l'évolution de la quantité et celle de la valeur. En ce qui concerne la pêche (Tableau 49), les estimations de la FAO (2019b) indiquent des quantités faibles par rapport à la production aquacole, avec un total mondial de 5,6 mille tonnes issues principalement de l'Espagne et de

l'Égypte. Cependant, les quantités issues de la pêche de *P. clarkii*, elles ont plus que triplé pour passer de 1,5 mille tonnes en 2008 à 5,6 mille tonnes en 2017.

Tableau 48 : Production de l'aquaculture de *Procambarus clarkii* entre 2008 et 2017 (FAO, 2019a)

	Chine (t)	Italie (t)	USA (t)	Quantité (t)	Valeur (1000 USD)
2008	364 619	-	53 285	417 904	2 059 103
2009	471 590 F	-	46 717	518 307	2 694 931
2010	543 382 F	9	52 942	596 333	3 393 729
2011	459 619 F	33	53 435	513 087	3 408 218
2012	505 301 F	5	43 437	548 743	4 013 168
2013	548 659 F	7	48 500	597 166	4 654 992
2014	598 411 F	7	60 858	659 276	5 375 948
2015	656 388 F	8 F	63 690	720 086	5 829 951
2016	827 107	10 F	67 592	894 709	7 381 926
2017	1 129 708	10 F	63 626	1 193 344	10 003 537

F : Estimations de la FAO

La capacité d'adaptation et de colonisation des milieux font que *P. clarkii* peut être produite en aquaculture seule ou intégrée dans des système agricoles en combinaison avec d'autre culture comme le riz ou le soja (FAO, 2009). Elle peut aussi être pêchée dans les milieux naturels.

Tableau 49 : Capture de *Procambarus clarkii* entre 2008 et 2017 (FAO, 2019b)

	Egypte (t)	Kenya (t)	Espagne (t)	Suisse (t)	Quantité (t)
2008	-	19	1500 F	-	1519 F
2009	-	16	1500 F	-	1516 F
2010	-	20	1500 F	-	1520 F
2011	-	18	1500 F	-	1518 F
2012	-	22	1500 F	-	1522 F
2013	-	24	1500 F	-	1524 F
2014	-	27	1500 F	-	1527 F
2015	2 520	24	1500 F	-	4044 F
2016	3 659	24	1500 F	1	5184 F
2017	4 100 F	-	1500 F	-	5600 F

F : Estimations de la FAO

2.3.2.1. Aquaculture des écrevisses de Louisiane

La production en aquaculture des écrevisses peut se faire selon deux d'approches fondamentales. Une approche basée sur la monoproduction (ou monoculture) dans laquelle les

écrevisses constituent l'unique produit récolté. Une deuxième approche est basée sur un système de culture intégrée, il s'agit d'une production en rotation, dans lequel le riz, ou parfois d'autres récoltes, sont cultivés en permutation avec les écrevisses. Les deux approches sont présentées ci-dessous d'après les fiches d'information sur les espèces aquatiques cultivées développées par la FAO (2009).

2.3.2.1.1. Monoculture

La monoculture d'écrevisses est la méthode de production adoptée dans les petites exploitations ou dans les endroits où les terres marginales sont disponibles et ne conviennent pas à d'autres récoltes. Les étangs permanents sont typiquement employés. L'avantage principal d'une stratégie de monoculture est que les producteurs peuvent réaliser une production maximale sans se préoccuper de l'effet de pesticide, limitations saisonnières et d'autres contraintes liées à la culture en rotation.

Les rendements d'écrevisses dans les systèmes de monoculture varient entre moins de 225 kg/ha dans les grands étangs avec le minimum d'intrants, à plus de 1 300 kg/ha dans les systèmes d'étangs intensifs. Le rendement de certains étangs est plus de 2 800 kg/ha.

Pour le démarrage de la production, les étangs sontensemencés avec un stock au printemps à une densité de 45-89 kg/ha. Puisque les populations d'écrevisses sont indépendantes, le stockage est d'habitude nécessaire uniquement dans les nouveaux étangs, quand un étang est vide pendant une année ou plus ou après la rénovation extensive. Les récoltes ultérieures se basent sur le stock de reproduction survivant d'un cycle précédent. Les stocks d'alevins se composent simplement d'écrevisses rouges de marais récoltées à partir des milieux naturels ou d'étangs d'élevage où un pourcentage élevé d'individus sont sexuellement matures.

Après les pluies d'automne, les producteurs surveillent la population d'écrevisses avec les pièges amorcés et commencent la récolte quand les captures et les conditions de commercialisation sont favorables. Après la récolte, chaque année, les étangs sont complètement vidangés. La végétation cultivée ou qui pousse spontanément se développe dans le fond d'étangs pendant l'été quand ils sont asséchés et servira de fourrage pour le cycle suivant.

Les inconvénients de l'approche de la monoculture sont généralement :

- La nécessité de construire des étangs réservés uniquement à l'astaciculture ;

- Les frais d'exploitation, les frais généraux et les frais de bien-fonds doivent être amortis pendant la saison ;
- La surpopulation des écrevisses survient souvent après plusieurs cycles annuels, en particulier dans les plus petits étangs ; ainsi, les rendements se composent de petites écrevisses (à croissance freinée) et à faible prix difficiles à commercialiser.

2.3.2.1.2. Systèmes de culture en rotation (culture intégrée)

Nous distinguons deux principaux systèmes d'élevage d'écrevisses de Louisiane en rotation (Figure 150). Le premier constitué de deux périodes présente un cycle sur une année, il alterne la production de riz et d'écrevisse. Le second constitué de trois périodes présente un cycle sur deux ans alternant le riz, les écrevisses et le soja (ou la mise en jachère). Dans les deux systèmes, la période l'élevage des écrevisses vient après celle de la production du riz et donc les plantes fourragères utilisées dans l'élevage des écrevisses se composent de résidu agricole et des chaumes de riz développés après la récolte de graines.

Le premier système (riz-écrevisses) permet d'obtenir deux produits en un an dans le même champ en profitant de la saisonnalité de chaque culture. Ainsi le riz est cultivé et récolté pendant l'été et les écrevisses sont élevées pendant l'automne, l'hiver et début printemps. L'ensemencement des écrevisses est réalisé une fois au démarrage de l'élevage. Les écrevisses sont introduites directement dans la riziculture environ 6 semaines suivant la plantation. Après la récolte des graines, le résidu du chaume de riz est souvent fertilisé avec un engrais à base d'azote et irrigué pour assurer une culture de repousses fourragères. Le champ est inondé en automne et les procédures de gestion sont alors semblables à celle du système de monoculture, à l'exception que la saison de croissance et de récolte est courte pour préparer la prochaine culture du riz.

Le deuxième système (riz- écrevisse- soja ou jachère) permet d'obtenir trois récoltes dans le même champ sur 2 ans. La différence principale dans ce système est que le riz n'est pas cultivé dans le même champ pendant deux années consécutives, ceci contribue au contrôle des maladies du riz et des mauvaises herbes et optimise le rendement. Selon plusieurs facteurs, certains producteurs peuvent choisir de planter une récolte différente (foin, pâturage ou grains de sorgho) ou de laisser simplement le champ se reposer après la fin de la saison d'écrevisses.

Les principaux avantages des systèmes d'élevage en rotation sont l'optimisation de l'utilisation de la terre, la main d'œuvre et des équipements de l'exploitation ainsi que l'amortissement des coûts de production sur plusieurs récoltes.

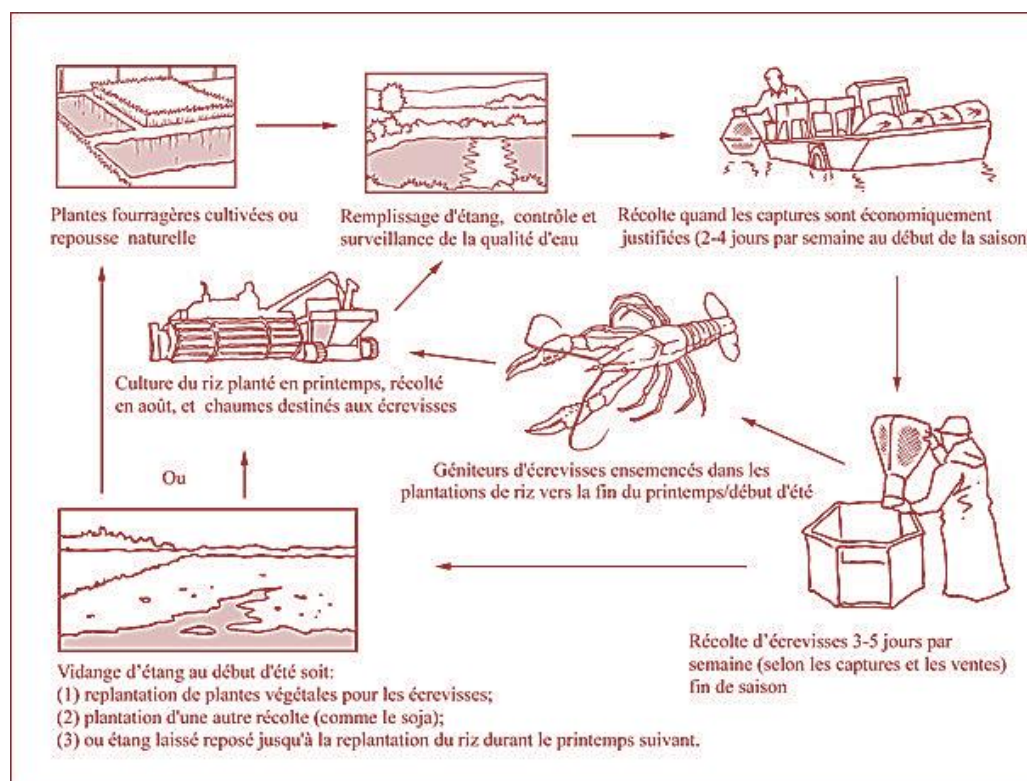


Figure 150 : Cycle de production en rotation de *Procambarus clarkii* (FAO, 2009)

Avec une superficie qui a atteint plus de 8000 ha en 2018 (MAPMDREF), le périmètre d'étude constitue la principale zone de riziculture au Maroc et offre ainsi de grandes potentialités pour la production d'écrevisses de Louisiane dans le cadre de système de culture en rotation, en adoptant principalement le système écrevisses-riz.

2.3.2.2. Pêche des écrevisses

Les méthodes de pêches les plus utilisées sont passives et se basent principalement sur le piégeage, ceci consiste à inciter ou contraindre les écrevisses à entrer dans une caisse ou un compartiment d'où il leur sera difficile, voire impossible, de s'échapper. La capture des écrevisses se fait généralement par des nasses. Et donc, deux types d'engins peuvent être utilisés en fonction des caractéristiques physiques et hydrauliques du lieu de pêche, il s'agit des casiers et des verveux.

2.3.2.2.1. Casiers

Le principe général de la pêche au casier, est d'attirer les écrevisses avec des appâts. Pour atteindre l'appât, l'écrevisse peut entrer par un ou plusieurs orifices (FAO, 2005). Les casiers

peuvent avoir plusieurs formes, ils peuvent être rectangulaires, coniques, cylindriques, semi cylindrique (Figure 151) ou de forme pyramidale. Les casiers destinés aux écrevisses sont de petite taille. Les orifices d'entrée aux casiers ont habituellement la forme d'un entonnoir ou d'un cône, de sorte que les écrevisses puissent entrer assez facilement dans le casier, mais ont peu de chances de s'échapper. Différents matériaux peuvent servir à la fabrication des casiers, mais généralement ils sont constitués par une structure métallique doublée de nappe de filet, de grillage ou de plastique (Figure 151). Les cassiers peuvent aussi être fabriqués à base de roseaux qui sont abondants dans la zone d'étude.

Les casiers sont déposés sur le fond avec un repère à la surface, ce dernier peut être une ligne de flottaison ou un point d'amarrage sur les berges, ils sont laissés dans l'eau toute la nuit. Les casiers peuvent être appâtés par des poissons, notamment les sardines qui se sont révélées très attractives pour l'écrevisse de Louisiane, une solution plus écologique consiste à utiliser la proportion non comestible récupérée au niveau des marchés aux poissons.

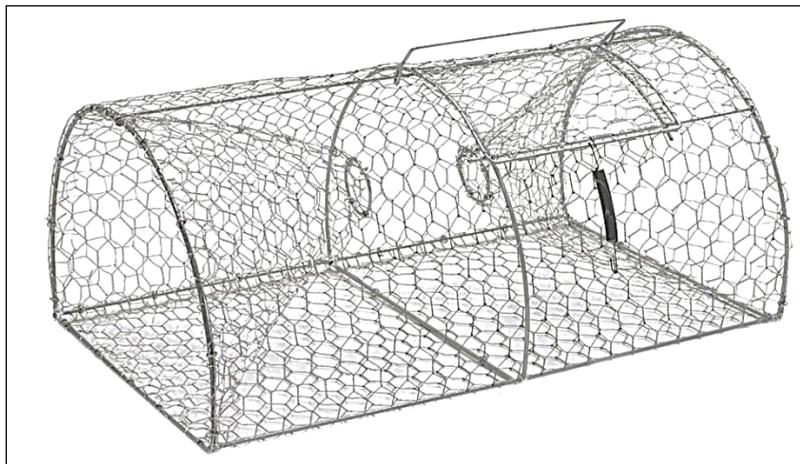


Figure 151 : Casier pour la pêche d'écrevisses

2.3.2.2.2. Verveux

La pêche au verveux est utilisée en eau douce souvent pour la pêche de l'anguille, cependant elle permet aussi de capturer efficacement les écrevisses de Louisiane. La pêche au verveux consiste à capturer les écrevisses en les dirigeant vers l'intérieur du piège, puis dans un compartiment conçu de façon à les retenir et où ils ont peu de chances de s'échapper.

Comparés aux casiers, les verveux sont plus grands et ne sont pas appâtés. Ils sont placés de façon à former des constructions (souvent en forme de V) pour retenir les écrevisses emmenées avec le courant ou qui se déplacent (Figure 152). Les verveux sont constitués en nappe de filet, avec de longs filets lestés qui forment des entonnoirs. En effet, les écrevisses se retrouvent bloquées de toutes parts : sur les côtés par les filets plombés, au-dessus par la

surface de l'eau et au-dessous par le fond. Elles sont guidées alors du compartiment extérieur au compartiment du milieu, puis au compartiment intérieur (Figure 152). Différentes dispositions existent, elles peuvent concerner un seul ou plusieurs verveux et filets.

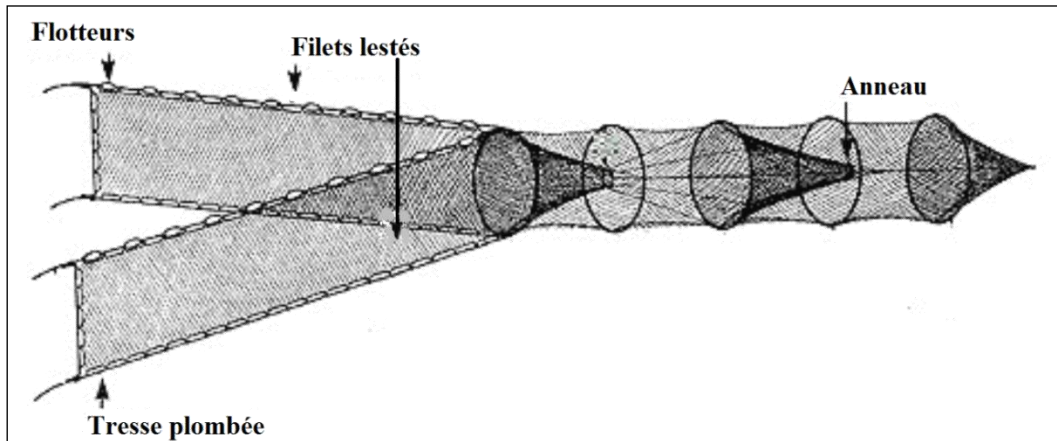


Figure 152 : Disposition d'un verveux à deux filets

Le principal problème lié à l'usage des verveux est la capture d'anguilles en dehors des périodes autorisées. Cette situation peut être évitée par l'adaptation des verveux avec une petite modification technique, elle consiste à rajouter un dispositif d'échappement des anguilles sur les verveux. L'étude menée sur le Lac de Grand-Lieu en France (Belhamiti *et al.*, 2015) a permis la mise au point de ce dispositif. Il s'agit d'un tube de 63 mm de diamètre et de 100 mm de long, installé en s'enfonçant de 20-30 mm et muni d'un croisillon en ficelle (Figure 153). Ce dernier est localisé dans le compartiment terminal du verveux. Ce système a démontré une grande efficacité présentant un taux d'échappement des anguilles de plus de 80% à 24 heures et qui peut atteindre 98% à 72 heures avec un taux de mortalité inférieur à 5%. Ceci en maintenant un taux d'échappement d'écrevisses de Louisiane inférieur à 10%.



Figure 153 : Dispositif d'échappement des anguilles (Belhamiti *et al.*, 2015)

2.3.3. Conditionnement et transformation

Le conditionnement et la transformation peuvent être effectués dans des petits ateliers au niveau local ou dans de grandes unités industrielles. L'écrevisse offre une multitude de modes de production, elle peut être conditionnée en vie, fraîche, ou bien transformée. Nous présenterons dans cette partie quelques modes de conditionnement et de transformation.

2.3.3.1. Ecrevisses conditionnées vivantes

Les écrevisses vivantes constituent généralement la totalité des ventes initiales et la proportion la plus importante des ventes finales. Elles peuvent être conditionnées dans des sacs en plastique à mailles ouvertes qui supportent environ 18 kg d'écrevisses (Figure 154). Les écrevisses en bonne santé peuvent être entreposées dans des températures humides de 4-8 °C pendant 6 ou 7 jours. Une variante plus élaborée des écrevisses vivantes sont les écrevisses vivantes purgées, il s'agit de faire passer les écrevisses dans de l'eau claire afin d'éliminer l'eau qui se trouve dans la cavité branchiale, souvent turbide.



Figure 154 : Écrevisses de Louisiane conditionnées vivantes dans des sacs en plastique à mailles ouvertes

2.3.3.2. Ecrevisses transformées

Qu'elles soient d'origine sauvage ou d'élevage, la transformation des écrevisses de Louisiane conduit à l'élaboration de plusieurs produits qui peuvent être regroupés en 4 catégories telles que présentées ci-dessous :

- Ecrevisses cuites entières : les écrevisses vivantes peuvent être cuites entière avec ou sans assaisonnement dépendamment des objectifs de production. En France par exemple, des ateliers de production présentent des écrevisses dites ultrafraîches. Après être capturées vivantes, la même journée les écrevisses sont nettoyées puis plongées vivantes dans de l'eau chaude, ensuite elles sont emballées et transportées directement vers les restaurants où elles seront intégrées dans des préparations gastronomiques plus complexes ;
- Ecrevisses décortiquées : après être triées nettoyées et souvent cuites, les écrevisses sont déveinées et décortiquées à la main ou à la machine. Par la suite elles seront conditionnées en surgelé (Figure 155) pour la vente finale ou bien serviront d'élément de base pour l'élaboration d'autres produits ;
- Plats préparés : les plats préparés (Figure 155) sont le plus souvent élaborés à base d'écrevisses décortiquées. Cette forme de production contribue à accroître la distribution de la viande d'écrevisses transformées à travers des produits à valeur ajoutée ;
- Produit dérivés : comme le beurre ou la sauce d'écrevisses qui peuvent servir à plusieurs préparations culinaires. La sauce est une forme de valorisation des coproduits car elle peut être fabriquée à base de la carapace, tête, pattes, pinces... Un autre produit dérivé est la farine qui est utilisée pour la fabrication d'appâts pour la pêche, elle a la particularité d'améliorer leur attractivité.



Figure 155 : Écrevisses de Louisiane décortiquées et cuites

2.3.4. Commercialisation

La commercialisation de l'écrevisse de Louisiane peut se faire de la même manière que les autres produits d'origine aquatiques. En suivant les circuits de distribution classiques, passant par les halles aux poissons et les détaillant ou vendu directement aux usines et ateliers de

transformation, elle peut aussi être vendue dans les petits marchés locaux ou les grandes surfaces. Le plus avec l'écrevisse de Louisiane c'est qu'elle peut être maintenue en vie plus longtemps et plus facilement que les autres espèces de crustacées ce qui permet de maintenir sa fraîcheur plus longtemps. Le prix de l'écrevisse de Louisiane vivante est influencé principalement par le jeu de l'offre et la demande, ainsi les écrevisses sont plus chères au début et à la fin de la saison où la production est faible, et sont moins chères en milieu de saison quand elles sont abondantes. Le prix varie entre 5,9\$ et 12,99\$/ Kg pour la production chinoise et entre 7 à 10 €/kg en Europe, quant à la production de la Louisiane elle est proposée entre 5\$ et 11\$/ la livre ce qui revient à un prix au Kg entre 11 et 24,5\$. Concernant les écrevisses transformées (cuites, décortiquées ou en plats ...), elles sont souvent proposées en petit paquets entre 100 et 200 g jusqu'à 1 kg pour un prix entre 35 et 45 €/kg sur le marché européen.

Le prix de vente de l'écrevisse de Louisiane au Maroc, peut s'établir en fonction de deux paramètres, le prix de vente dans les autres pays et celui des autres espèces de crustacés dans le marché national (Tableau 50). Et donc, l'écrevisse de Louisiane peut être positionnée dans la même gamme que la petite cigale et la langoustine dont les prix sont compris entre 90 à 120 dirhams, cette fourchette est cohérente avec celle appliquée au niveau régional (Espagne, Portugal, France...). Pour les produits de transformation, ils seront destinés en grande partie à l'export, notamment vers l'Europe, pour être compétitifs ils devront être proposés à des prix similaires ou inférieurs à ceux de la concurrence (35 et 45 €/kg).

Tableau 50 : Prix de vente moyen en dirhams des crustacés dans les halles au Maroc (Source : ONP)

ESPECES DE CRUSTACES	2016	2017
Crevette caramote	121,94	106,27
Crevette de vase	55,40	124,29
Crevette dorée	43,63	42,05
Crevette flèche	32,18	36,48
Crevette grise	128,66	119,15
Crevette nylon armée	102,33	132,05
Crevette rose du large	47,93	57,75
Crevette rouge	132,43	140,37
Gambon écarlate	54,39	50,39
Homard européen	90,80	98,92
Langouste rose	172,11	138,36
Langouste rouge	117,06	78,17
Langouste royale	138,48	171,01

Langoustine	128,68	121,02
Petite cigale	94,43	90,01

Pour la réussite de la commercialisation de l'écrevisse de Louisiane au Maroc il faut tirer les leçons de l'échec que connaît le Tilapia. Possédant un fort potentiel, la commercialisation du Tilapia n'a pas connu de succès pour plusieurs raisons dont les plus importantes sont la faiblesse de l'effort de commercialisation et l'absence de campagne marketing. Pour éviter de répéter l'histoire du Tilapia et profiter pleinement des potentialités offertes par l'écrevisse de Louisiane, il est impératif de déployer un effort de commercialisation soutenu par une campagne marketing efficace. Cette campagne devrait inclure entre autres, une bonne communication et promotion autour de la valeur culinaire et nutritionnelle. Les médias classiques ainsi que le canal digital présentent un atout majeur.

2.3.5. Organismes de support et de gestion

La filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane nécessite l'intervention de plusieurs organismes de support et de gestion. Ses organismes sont présentés ci-dessous (Figure 156) avec une indication sur le rôle qu'ils sont amenés à jouer.



Figure 156 : Organismes de support et de gestion

2.3.5.1. Département des eaux et forêts

Le département des eaux et forêts est en charge du cadrage réglementaire de l'activité, il assure l'autorisation et l'encadrement de l'activité de la pêche. Au niveau de l'arrêté annuel de la pêche, le département des eaux et forêts fixe les dispositions réglementaires régissant l'activité, notamment les périodes d'ouverture et de fermeture de la pêche, les tailles minimales de pêche, le nombre d'individus à prélever, les types d'engins à utiliser... Au niveau de l'exploitation de la pêche il intervient en cadrant l'activité à travers un contrat d'amodiation du droit de pêche autorisant un tiers à pêcher en exclusivité pendant une durée de bail. Il fixe ainsi, les conditions et les engagements à respecter pour exercer ce droit. Le département, de par ses missions, intervient également dans la police de la pêche à travers ses agents, et s'assure de la traçabilité des produits depuis leurs captures jusqu'à leurs commercialisations.

2.3.5.2. Département des pêches maritimes

Le Département de la Pêche Maritime à travers la Direction des Industries de la Pêche (DIP) est l'autorité compétente chargée de l'octroi des agréments sur le plan sanitaire aux établissements agroalimentaires dont les produits seront destinés à l'export tels que les usines de décorticage et de transformation des crustacés.

2.3.5.3. L'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA)

L'ONSSA exerce, pour le compte de l'Etat, les missions et attributions relatives à la protection de la santé du consommateur et à la préservation de la santé des animaux. Il délivre ainsi les agréments ou les autorisations sanitaires pour les établissements et les entreprises alimentaires. Les écrevisses fraîches ou transformées doivent être présentées à l'inspection de la salubrité et de la qualité prévue à l'article 3 du dahir portant loi n°1-75-291 avant leur mise en vente, aux fins d'attester qu'ils sont propres à la consommation.

2.3.5.4. Département de l'agriculture

Chargé d'élaborer et de mettre en œuvre la politique du gouvernement dans le domaine de l'agriculture et du Développement rural. Le département de l'agriculture est un acteur incontournable dans l'intégration de la production d'écrevisses de Louisiane dans les systèmes d'agriculture classique afin d'ouvrir les portes vers de nouveaux modes de

production combinant aquaculture et agriculture. A travers ses nombreuses attributions, le département de l'agriculture peut entre autres, contribuer à l'élaboration des textes juridiques, conduire des études prospectives pour les débouchés des produits, élaborer et participer aux études et projets de transformation et de valorisation et mettre en œuvre les politiques de promotions des produits.

2.3.5.5. Agence pour le développement agricole (ADA)

Avec un rôle exécutif complémentaire à celui du département de l'agriculture, l'agence pour le développement agricole dotée de l'autonomie financière a pour mission de participer à la mise en œuvre de la stratégie adoptée par le gouvernement en matière de développement agricole. Elle est notamment chargée de proposer aux autorités gouvernementales les plans d'action relatifs au soutien des filières agricoles à haute valeur ajoutée dans une perspective d'amélioration de la productivité. Dans ce cadre l'agence peut soutenir la valorisation de l'écrevisse de Louisiane grâce à son rôle d'incitation à travers l'équipement des exploitations, l'encouragement du conditionnement et l'accompagnement pour la commercialisation.

2.3.5.6. Agences de bassin hydraulique

La valorisation de l'écrevisse de Louisiane est fortement liée à l'usage des ressources en eau et à l'exploitation du domaine public hydraulique. Il s'emble alors qu'au regard de ses missions, l'agence de bassin hydraulique est impliquée directement dans cette activité. Dans le cadre de son activité l'agence de bassin est chargée entre autres :

- D'assurer le suivi de la qualité de l'eau ;
- D'élaborer les plans d'aménagement et de gestion des ressources en eau ;
- De délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique ;
- D'assurer la gestion, la protection et la préservation du domaine public hydraulique ;
- De donner son avis sur tout projet pouvant avoir un impact sur les ressources en eau et le domaine public hydraulique.

L'implication de l'agence de bassin hydraulique contribuera donc à un usage rationnel des ressources, en plus de la prise en compte de la valorisation de l'écrevisse de Louisiane dans les plans d'aménagement et des politiques élaborés par l'agence. Ceci aura pour effet de faciliter l'obtention des accords et autorisations.

2.3.5.7. Département de l'environnement

La protection de la biodiversité fait partie des préoccupations du département de l'environnement. La valorisation de l'écrevisse de Louisiane a pour objectif principale de contrôler son invasion pour éviter les impacts négatifs, incluant ceux qui concernent la biodiversité. Le département de l'environnement peut soutenir la valorisation de l'écrevisse de Louisiane à travers les mesures incitatives qu'il propose. Ainsi elle pourrait être prise en compte dans la réalisation de programmes et de projets pilotes en matière de développement durable visé par le département. Aussi elle peut bénéficier du fond national de l'environnement (FNE) destiné au financement des actions de protection de l'environnement et du développement durable dans les secteurs autres que ceux de l'industrie. Le champ d'action du département de l'environnement est très large ce qui fait de lui un partenaire important dans le développement de l'activité de valorisation de l'écrevisse de Louisiane, la nature de l'intervention dépendra alors des caractéristiques et des demandes spécifiques à chaque projet.

2.3.5.8. Centres régionaux d'investissement

Les centres régionaux d'investissement sont chargés de contribuer à la mise en œuvre de la politique de l'Etat en matière de développement, d'incitation et de promotion des investissements et d'accompagnement global des entreprises. Ces centres ont un rôle de conseil et d'accompagnement jusqu'à l'aboutissement du projet constituant un guichet unique pour la création des entreprises facilitant les procédures. Le périmètre d'étude se trouve dans la zone d'action de deux centres régionaux d'investissement, le centre d'Investissement de la région Tanger-Tétouan-Al Hoceima et de la région Rabat - Salé – Kénitra.

2.3.5.9. Collectivités territoriales

Le Maroc a initié depuis une décennie la réforme de la régionalisation avancée qui s'est concrétisée par l'adoption de trois textes de loi, le projet de loi organique 111-14 relative aux régions, le projet de loi organique 112-14 concernant les préfectures et les provinces et le projet de loi organique 113-14 sur les communes. Cette évolution a octroyé aux régions des prérogatives plus larges qui en font de vrais acteurs de développement économique, social et culturel. Ainsi et pour réaliser des projets de développement, les collectivités territoriales peuvent mobiliser leurs ressources propres ou font recours à des accords de partenariat entre elles, avec l'Etat et les entités publiques ou encore avec le secteur privé. Dans ce cadre la

valorisation de l'écrevisse de Louisiane peut constituer pour les collectivités territoriales une grande opportunité pour le développement économique et sociale dans le périmètre d'étude, ce dernier pourrait devenir à moyen et long terme, un pôle de production et d'exportation de l'écrevisse de Louisiane s'appuyant sur les structures portuaires et les zones franches de Kénitra et Tanger.

2.4. Proposition pour la valorisation de l'écrevisse de Louisiane

Le périmètre d'étude concerne deux zones présentant un grand potentiel pour la valorisation de l'écrevisse de Louisiane. Comme l'ont démontré les résultats de la présente étude, la plaine du Gharb et le Bas Loukkos renferment un stock important d'écrevisse de Louisiane avec une vaste répartition géographique. Pour valoriser cette ressource, il serait judicieux de capitaliser sur le contexte socioéconomique de la zone, caractérisé par une population rurale dont les activités principales sont la pêche et l'agriculture. De plus ces zones se trouvent à proximité de centres urbains dotés de structures de commercialisation et de distribution ainsi que des unités industrielles de transformation et conditionnement des produits aquatiques. A tout cela s'ajoutent les grandes structures portuaires favorisant le développement d'activités liées à l'export.

En prenant en compte ses paramètres, nous proposons la mise en place d'un système de valorisation par la création d'un projet pilote regroupant à petite échelle toutes les étapes de la filière, de la production à la commercialisation. Ceci permettra d'avoir une expérience reproductible, à partir de laquelle verront le jour des lignes de spécialisation dans les différentes activités de la filière (pêche, décorticage, distribution...). Ainsi cette dernière pourrait se développer progressivement pour augmenter de taille.

D'autres mesures peuvent accompagner la mise en place de la filière de valorisation telles que :

- Subvention pour la création de projets liés à la filière ;
- Exonération ou taux d'imposition avantageux ;
- Facilitation et accélération des mesures d'autorisation et de lancement des activités (guichet unique par exemple) ;
- Accompagnement et conseil pour la mise en place et le développement des activités liées à la filière ;
- Gratuité des permis de pêche à l'écrevisse et réduction des droits d'amodiation ;

- Equipement des ateliers de conditionnement et de transformation ;
- Convention avec la grande distribution pour la commercialisation ;
- Mise en place d'incitation financière pour encourager l'export ...etc.

De nombreuses propositions pour la mise en place de la filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane peuvent être formulées. Mais le point le plus important reste l'implication et le soutien des acteurs étatiques encadrant l'activité.

2.5. Conclusion et perspectives

L'analyse SWOT révèle que les points de forces et les opportunités identifiés permettent de compenser les points de faiblesses et sont prometteurs pour le développement d'une filière de valorisation de l'écrevisse de Louisiane. Cette filière peut être structurée autour des activités de la production, le conditionnement/transformation et la commercialisation. Ces activités peuvent être le moteur d'une grande dynamique locale avec l'intervention de plusieurs acteurs ou agents économiques. Il existe une multitude d'organismes de support et de gestions pouvant être concernés directement par la valorisation de l'écrevisse de Louisiane et qui doivent être sollicités pour profiter de cette opportunité.

La valorisation de l'écrevisse de Louisiane a de grandes perspectives de développement passant à moyen terme d'une petite activité à l'échelle locale à une production plus importante au niveau régional puis à une filière solide capable d'être compétitive au niveau international. Cette filière ouvre aussi la voie pour l'émergence de mode de production combinant l'aquaculture (pisciculture) à l'agriculture augmentant la productivité et le rendement des exploitations agricoles.

Afin de garder son objectif premier de contrôle des populations des écrevisses de Louisiane, dans une optique de protection de l'environnement et de la biodiversité, il est impératif de veiller à ce que la valorisation de cette espèce se mette en place et évolue dans le cadre d'une démarche respectant les principes du développement durable.

Conclusion générale

Les écrevisses des populations étudiées sont caractérisées par une taille entre 70 et 110 mm avec un poids entre 10 et 30 g pour le canal Nador, entre 60 et 100 mm avec un poids entre 3 et 20 g pour l'oued Drader, et entre 70 et 100 mm avec un poids entre 3 et 30 g pour le marais du Loukkos. Les différences entre les populations des écrevisses sont significatives et présentent le même classement en fonction des sites pour tous les paramètres. Les écrevisses les plus grandes et les plus massives (valeurs les plus élevées enregistrées entre janvier et mars) sont celles de la population de canal Nador. Viennent ensuite les écrevisses de la population du marais Loukkos (valeurs les plus élevées enregistrées en février et août). Et enfin les écrevisses de l'oued Drader qui sont les plus petites et les moins massives (valeurs les plus élevées enregistrées en juin, juillet et septembre). La différence entre les sexes est caractérisée principalement par la longueur du périopodes et des pinces qui sont tous les deux significativement plus grands chez les mâles par rapport aux femelles en adéquation avec le fait que ceci soit un critère caractérisant le dimorphisme sexuel chez cette espèce. L'évolution des paramètres décrits en fonction des paramètres clés (longueur totale et longueur du céphalothorax) ne montre pas de différences remarquables entre les populations des trois sites. Le sex-ratio présente un léger déséquilibre en faveur des femelles, avec un écart plus important au niveau du site canal Nador, et une tendance inversée (en faveur des mâles) au niveau du marais Loukkos. L'évolution des paramètres de longueurs et de poids pendant l'année, suit une tendance différente pour chaque site, caractérisée par une succession de variations opposées pour le site canal Nador, une variation cyclique pour l'oued Drader et une variation en deux phases pour le marais Loukkos. En générale les moyennes de tailles restent supérieures à 65 mm pendant toute l'année pour tous les sites. Concernant la reproduction, *P. clarkii* présenterait un cycle de vie multivoltin avec deux périodes principales au printemps et en automne. Les populations d'écrevisses présentent des éléments pathologiques synonymes d'infections fongiques, mais qui ne semblent pas être très répandus.

Au Maroc il s'est avéré que l'écrevisse de Louisiane *P. clarkii* a été introduite volontairement et illégalement, vers la fin des années 90 début des années 2000, par le propriétaire Espagnole d'une installation d'élevage d'anguille à Kenitra en libérant au niveau de la partie basse du canal Nador près de la Merja Zerga (région du Gharb) et dans la zone du Bas Loukkos des juvéniles de *P. clarkii*. Pour coloniser les zones où elle a été introduite, l'écrevisse de Louisiane a profité des réseaux d'irrigations et du fait que ses zones disposent d'un système

hydrologique connecté. L'aire de répartition est constituée de deux zones, la première dans la région du Gharb :

- entre Merja Zerga et Dlalha (oued Drader) au Nord ;
- Lalla Mimouna (oued Mda) et Souk El Arbaa du Gharb (canaux d'irrigation) à l'Est ;
- Allal Tazi (rive droite du Sebou) au sud et
- Daoura (Merja de Benmansour) à l'Ouest.

La deuxième zone, est dans La région du Bas Loukkos : dans le complexe de zones humides, les rizières de Larache et la partie de l'estuaire du Loukkos en aval des rizières.

Étant donné que *P. clarkii* est connue pour ses impacts négatifs dans de nouveaux habitats, plusieurs menaces potentielles pour les écosystèmes naturels marocains peuvent être prédites. Au niveau des rizières *P. clarkii* creuse des trous et des galeries pour se réfugier, qui ont pour effet d'endommager les berges et favoriser la perte d'eau. Devant cette situation les agriculteurs utilisent des pesticides dans le bas Loukkos et la plaine du Gharb, ce qui pourrait endommager l'environnement naturel et plus particulièrement les habitats des espèces de poissons endémiques des eaux continentales du Maroc.

Avec des stocks estimés à 60,39 tonnes (équivalent à 2 603 500 écrevisses) entre canal Nador et les rizières du Gharb et 30,33 tonnes (équivalent à 2 121 000 écrevisses) dans le complexe zones humides du bas Loukkos, l'aire de répartition de *P. clarkii* se trouve à proximité de centres urbains et connaît une population locale constituée principalement d'agriculteurs et de pêcheurs, qui contribuent à l'existence d'un petit marché local pour cette écrevisse. Ce contexte socio-économique est propice à la mise en place d'un système d'exploitation durable pour une meilleure gestion. Au lieu de nécessité des budgets comme les techniques de gestion conventionnelles, la valorisation va d'une part apporter de la valeur ajoutée, et d'autre part permettre le contrôle des populations d'écrevisses. En vue de la structure des populations décrites, le site de canal Nador serait le site de premier choix pour l'exploitation de cette espèce, et plus particulièrement grâce à la grande taille des d'écrevisses qu'il abrite, suivi par le site du marais Loukkos, et en dernier lieu le site de l'oued Drader. Aussi les grandes surfaces cultivées par le riz dans la plaine du Gharb et le Bas Loukkos représentent un grand potentiel pour le développement d'une filière d'exploitation combinée "riz-écrevisse".

La valorisation de l'écrevisse de Louisiane a de grandes perspectives de développement. Elle peut être initiée par un projet pilote destinée à évoluer en passant d'une petite activité

experimentale à l'échelle locale, à une production plus importante au niveau régional puis à une filière solide, avec un écosystème économique complet, capable d'être compétitif au niveau international. Cette filière ouvre aussi la voie pour l'émergence de mode de production combinant l'aquaculture (pisciculture) à l'agriculture augmentant la productivité et le rendement des exploitations agricoles.

Le présent travail est une première étape qui ouvre les voies aux autorités de gestion et aux exploitants, pour la mise en place d'un mode de gestion en commun basé sur la valorisation, afin de contrôler efficacement les populations de *P. clarkii* tout en limitant leurs impacts généralement négatifs sur l'environnement et les activités humaines. Dans l'optique que l'introduction de *P. clarkii*, ne soit plus un problème, mais devient une opportunité.

Références bibliographiques

- Ackefors H., 1999. The positive effects of established crayfish introductions in Europe. In: Crayfish in Europe as alien species: how to make the best of a bad situation? (Gherardi F., Holdich D. M., eds), A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands :49-62.
- Akca H., Kayim M. & Sayili M., 2006. SWOT analysis of fishery sector in turkey. *Journal of applied sciences*. 6 (8): 1863–1867.
- Alcorlo P., Geiger W. & Otero M., 2004. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity. *Crustaceana*, 77: 435-453.
- Alcorlo P., Geiger W. & Otero M., 2008. Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population. *Fundamental and Applied Limnology*, 173: 197-212.
- Ameyaw-Akumfi C. & Hazlett B.A., 1975. Sex recognition in the crayfish *Procambarus clarkii*. *Science*, 190: 1225-1226.
- Anastácio P.M., 1993. *Ciclo biológico e produção do la-gostim vermelho da Louisiana (Procambarus clarkii, Girard 1852) na região do Baixo Mondego*. PhD Thesis. Universidade de Coimbra, Coimbra. 110 pp.
- Anastácio P.M. & Marques J.C., 1997. Crayfish, *Procambarus clarkii*, effects on initial stages of rice growth in the lower Mondego River valley (Portugal). *Freshwater Crayfish*, 11: 608-617.
- Anastácio P.M., Frias A.F. & Marques J.C., 2000. Impact of crayfish densities on wet seeded rice and the inefficiency of a non-ionic surfactant as an ecotechnological solution. *Ecological Engineering*, 15: 17-25
- Anastácio P.M., Parente V. & Correia A.M., 2005. Crayfish effects on seeds and seedlings: identification and quantification of damage. *Freshwater Biology*, 50 : 697 – 704
- Ando S. & Tanaka Y., 1996. Carotenoid forms in the exoskeleton of crayfish and kuruma prawn. Fisheries Kagoshima University,45, 5–12. In SCHUSTER G. A. 2020. Review of crayfish color patterns in the Family Cambaridae (Astacoidea), with discussion of their possible importance. *Zootaxa* 4755 (1): 063–098.
- Angeler D.G., Sanchez-Carrillo S., Garcia G. & Alvarez-Cobelas M., 2001. The influence of *Procambarus clarkii* (Cambaridae, Decapoda) on water quality and sediment characteristics in a Spanish floodplain wetland. *Hydrobiologia*. (464). 89-98.
- Aquiloni L., Brusconi S., Cecchinelli E., Tricarico E., Mazza G., Paglianti A. & Gherardi F., 2010. Biological control of invasive populations of crayfish: the European eel (*Anguilla anguilla*) as a predator of *Procambarus clarkii*. *Biological Invasions*, 12: 3817-3824.

- Aquiloni L., Ilhéu M. & Gherardi F., 2005. Habitat use and dispersal of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* in ephemeral water bodies of Portugal. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 38(4): 225-236
- Arrignon J.C.V., Huner J.V. & Laurent P.J., 1990. L'écrevisse Rouge des Marais. *Paris, Maisonneuve et Larose*, 87p.
- Aulagnier S., Aayed A., Cuzin F. & Thevenot, M., 2015. Mammifères du Maroc : extinctions et régressions au cours du XXème siècle. *Travaux de l'Institut Scientifique, Série Générale*, 2015, N° 8, 53-67
- Ayache F., Thompson R., Flower J., Boujarra J., Rouatbi F. & Makina H., 2009. Environmental characteristics, landscape history and pressures on three coastal lagoons in the Southern Mediterranean Region: Merja Zerga (Morocco), Ghar El Melh (Tunisia) and Lake Manzala (Egypt). *Hydrobiologia* 622: 15–43.
- Baouab R. E., 2008. Composition avifaunistique et fonctionnement des rizières de la province de Sidi Kacem (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 2008, n°30, 37- 44.
- Barbaresi S. & Gherardi F., 2006. Experimental evidence for homing in the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Bulletin Français de la pêche et la pisciculture*, 380-381: 1145-1154.
- Barbaresi S., Santini G., Tricarico E. & Gherardi F., 2004. Ranging behaviour of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard). *Journal of Natural History*, 38: 2821-2832.
- Barbaresi S., Gherardi F., Mengoni A. & Souty-Grosset C., 2007. Genetics and invasion biology in fresh waters: a pilot study of *Procambarus clarkii* in Europe. In *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*. Dordrecht: Springer, pp. 381–400.
- Belhamiti N., Gillier J.M., Le Floc'h E., Porcher N. & Macé D., 2015. *Procambarus clarkii* sur le lac de Grand-Lieu : Etude de sa population - Efficacité et sélectivité de pêche - Valorisation. Rapport d'étude AADPPMEDLA. 110 p.
- Benyahkoub Y., Fekhaoui M., El Abidi A. & Yahyaoui A., 2019a. Study of metallic trace elements and pesticides in the Louisiana crawfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) in the Gharb and the Low Loukkos regions, Morocco. *AACL Bioflux*, 12 (5): 1929-1937.
- Benyahkoub Y., Fekhaoui M., El Qoraychy I. & Yahyaoui, A., 2019b. Current state of knowledge on Louisiana crawfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) in Morocco. *AACL Bioflux*, 12 (2): 618-628.
- Blatter O., 2013. Vers une meilleure connaissance de l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*, Girard, 1852) *Fédération de l'Yonne pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique dans le département de l'Yonne 26 avenue Pierre de Courtenay - 89 000 Auxerre*. Rapport d'étude. 91p.

- Bockel L. & Tallec F., 2005a. Exercice d'analyse de filière : analyse de la sous-filière maraîchage péri-urbain de Bamako (Mali). Étude de cas et rapports : Module EASYPol 048. *Service de soutien aux politiques agricoles, division de l'assistance aux politiques*, FAO.
- Bockel L. & Tallec F., 2005b. L'approche filière : analyse fonctionnelle et identification des flux. Outils analytiques : Module EASYPol 043. *Service de soutien aux politiques agricoles, division de l'assistance aux politiques*, FAO.
- Boets P., Lock K., Cammaerts R., Plu D. & Goethals P. L. M., 2009. Occurrence of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Belgium (Crustacea: Cambaridae) *Belgian Journal of Zoology*. 139(2). JUL 2009. 173-175.
- Bolser R.C., Hay M.E., Lindquist N., Fenical W. & Wilson D., 1998. Chemical defenses of freshwater macrophytes against crayfish herbivory. *Journal of Chemical Ecology*, 24, 1639–1657.
- Bonvillain C. P., 2012. Red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in the Atchafalaya River Basin: biotic and abiotic effects on population dynamics and physiological biomarkers of hypoxic stress. *LSU Doctoral Dissertations*. 157 p.
- Bouaoud M.W., Charfi-Cheikhrouha F. & El Gtari M., 2020. First record of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Astacidea: Cambaridae) in Tunisia. *BioInvasions Records* 8 (in press).
- Bravo M.A., Duarte C.M. & Montes C., 1994. Environmental factors controlling the life history of *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae) in a temporary marsh of the Doñana National Park, (SW Spain). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte limnologie*, 25, 2450-2453.
- Buck T.L., Breed G.A., Pennings S.C., Chase M.E., Zimmer M. & Carefoot T.H., 2003. Diet choice in an omnivorous salt-marsh crab: different food types, body size, and habitat complexity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 292: 103-116.
- Carruesco C., 1989 Genèse et évolution de trois lagunes du littoral atlantique, depuis l'Holocène : Oualidia, Moulay Bousselham (Maroc) et Arcachon (France). PhD Thesis d'Etat, University Bordeaux I, p. 458.
- Chucholl C., 2011a. Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 401: 29.
- Chucholl C., 2011b. Disjunct distribution pattern of *Procambarus clarkii* (Crustacea, Decapoda, Astacida, Cambaridae) in an artificial lake system in Southwestern Germany. *Aquatic Invasions*, 6: 109–113.
- Chucholl C., 2013. Invaders for sale: trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biol Invasions* 15: 125–141.

- Cirujano S., Camargo J.A. & Gomez-Cordoves C., 2004. Feeding preferences of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard) on living macrophytes in a Spanish wetland. *J. Freshwat. Ecol.*, 19, 219–226.
- Collas M., Chambry F., Walter Loeffel W. & Lafon S., 2008. L'écrevisse rouge de Louisiane (*Procambarus clarkii*). Première observation en Lorraine. Onema, Décembre 2008.
- Correia A.M., 1993. Situation de l'acclimatation de l'écrevisse rouge des marais *Procambarus clarkii* au Portugal. *L'Astaciculteur de France* 35. 2 – 9.
- Correia A.M., 2002. Niche breadth and trophic diversity: feeding behavior of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) towards environmental availability of aquatic macroinvertebrates in a rice field (Portugal). *Acta Oecologica*, 23: 421-429.
- Correia A.M. & Ferreira Ó., 1995. Burrowing behavior of the introduced red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) in Portugal. *Journal of Crustacean Biology*, 15: 248-257.
- Correia A.M. & Anastacio P. M., 2008. Shifts in aquatic macroinvertebrate biodiversity associated with the presence and size of an alien crayfish. *Ecological Research*. 23(4). JUL 2008. 729-734.
- Costa C.A., Correia A.M. & Rodrigues M.L., 1996. Monitoring a population of *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae) in São Miguel (Azores, Portugal). *Freshwater Crayfish*, 11, 203-212.
- Crandall K.A., 2010. "*Procambarus clarkii*". IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.2 (3.1). *International Union for Conservation of Nature*. Retrieved April 13, 2011.
- Crandall K.A. & Buhay J.E., 2008. Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae, and Parastacidae Decapoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 295-301.
- Cristescu M.E., 2015. Genetic reconstructions of invasion history. *Mol Ecol* 24: 2212–2225.
- Cronin G., Lodge D.M., Hay M.E., Miller M., Hill A.M., Horvath T., Bolser R.C., Lindquist N. & Wahl M., 2002. Crayfish feeding preferences for fresh water macrophytes: The influence of plant structure and chemistry. *Journal of Crustacean Biology* 22(4):708-718
- Cruz M.J. & Rebelo R., 2005. Vulnerability of Southwest Iberian amphibians to an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*. *Amphibia-Reptilia*, 26: 293-303.
- Cruz M.J., & Rebelo R., 2007. Colonization of freshwater habitats by an introduced crayfish, *Procambarus clarkii*, in Southwest Iberian Peninsula. *Hydrobiologia*, 575: 191–201.
- Cruz M.J., Segurado P., Sousa M. & Rebelo R., 2008. Collapse of the amphibian community of the Paul do Boquilobo Natural Reserve (central Portugal) after the arrival of the exotic American crayfish *Procambarus clarkii*. *Herpetol. J.*, 18, 197–204.

- Dakki M., 1997. Etude Nationale sur la Biodiversité : Faune aquatique continentale (Invertébrés et Poissons). *Observatoire national de l'environnement du Maroc*. Rapport d'étude. 121 p.
- Dakki M., 2002. Eléments pour un plan de gestion du complexe de zones humides du bas Loukkos. Rapp. inédit, Projet "Conservation des Marais de Larache : étude de faisabilité (2001-2002)". *GREPOM/Inst. Sci./CICONIA* 24 pp.
- Dakki M. & El Agbani M.A., 1993. Recensement hivernal d'Oiseaux d'eau au Maroc. *Documents de l'institut scientifique*, Rabat, 16, 16 pp.
- Dakki M. & El Agbani M.A., 2003. Recensements hivernaux d'oiseaux d'eau au Maroc : Résultats du suivi de 1983-2000 et leur application à l'évaluation des sites inscrits ou proposés pour inscription sur la liste Ramsar. Rapport. inédit, Projet WWF International "Inscription de nouveaux sites marocains sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale". HCEFLCD/Institut scientifique/WWF/Bur. Ramsar, 15 pp.
- Dakki M. & El Agbani M.A., 2010. Guidelines pour la conduite d'un diagnostic pour l'aménagement et la gestion d'une zone humide: cas du complexe du Bas Loukkos (Maroc). *Publications du GREPOM, Rabat, n° 1*.
- Dakki M., El Agbani M.A., Qinba A. & Benhoussa A., 1995. Recensement hivernal d'Oiseaux d'eau au Maroc : janvier 1995. *Documents de l'institut scientifique*, 18, 32 pp.
- Dakki M., El Agbani M.A., Qinba A. & Benhoussa A., 2003. Recensement hivernal d'Oiseaux d'eau au Maroc : 1996-2000. *Travaux de l'institut scientifique*, Rabat, série Zool., 45, 28 pp.
- De Groot R.S.; Wilson M.A. & Boumans R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecology Economics*, 41: 393-408
- De Moor I., 2002. Potential impacts of alien freshwater crayfish in South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 27: 125–139
- Delibes M. & Adrian I., 1987. Effects of crayfish introduction on Otter *Lutra lutra* food in the Doñana National Park, Spain. *Biological Conservation*, 42: 15
- Delmastro GB & Laurent P-J, 1997. Récentes avancées des écrevisses américaines en Italie. *L'Astaciculture de France*, Bulletin Publié par L'Association des Astaciculteurs de France 50: 2-8.
- Dhainaut J-F, Bassompierre F, Misse C, Diebolt V, Pouletty-Lefèbvre B, Baker A, Borel T, Braunstein D, Demotes J, François B, Huet S, Micallef J, Molon A, Rascol O, Ravoire S, Schwartz B, Donne N, Fusai G, Pouletty P & Vicaut E. 2015. Quelle stratégie française dans le cadre H2020 ? *Therapies*, Volume 70, Issue 1, pages 95-102.

- Dorn N. & Wojdak J., 2004. The role of omnivorous crayfish in littoral communities. *Oecologia*, 140: 150-159.
- Dörr A.J.M., La Porta G., Pedicillo G. & Lorenzoni M., 2006. Biology of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Lake Trasimeno. *Bull. Fr. Pêche. Piscic.*, 380-381, 1155–1170.
- Duarte C.M., 2000. Marine biodiversity and ecosystem services: an elusive link. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 117-131.
- Durland Donahou, A., 2020. *Procambarus acutus acutus* (Girard, 1852): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL, <https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=216>, Access Date: 4/15/2020.
- El Agbani M.A., Dakki M., Beaubrun P.C. & Thévenot M., 1996. L'hivernage des Anatidés (Anatidae) au Maroc (1990-94) : Effectifs et sites d'importance internationale et nationale. *Gibier Faune Sauvage, Game Wildl.*, 13, pp. 233-249.
- El Qoraychy I., Fekhaoui M., El Abidi A. & Yahyaoui A., 2015. Biometry and demography of *Procambarus clarkii* in Rharb Region, Morocco. *AACL Bioflux* 8(5):751-760.
- EL Qoraychy I., 2016. Etude Biologique et Ecotoxicologique de l'Ecrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) après son introduction dans la plaine du Gharb, Maroc. Université Mohammed V, faculté des sciences de Rabat. Thèse de doctorat. 134 p.
- Elvira B., Nicola G. G. & Almodóvar A., 1996. Pike and red swamp crayfish: a new case on predator-prey relationship between aliens in central Spain. *Journal of Fish Biology*, 48:437-446.
- El Zein G., 2005. Introduction and impact of the crayfish *Procambarus clarkii* in the Egyptian Nile. *L'Astaciculteur de France*, 84: 1-12.
- Estoup A. & Guillemaud T., 2010. Reconstructing routes of invasion using genetic data: why, how and so what? *Mol Ecol* 19: 4113–4130.
- FAO, 2005. Guide du gestionnaire des pêcheries : Les mesures d'aménagement et leur application. (Cochrane K. L., ed). FAO document technique sur les pêches n°424, 246 p.
- FAO, 2009. *Procambarus clarkii*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by McAlain, W.R. and Romaine R.P. Valerio Crespi and Michael New (eds). Available at : http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/I1129m/file/fr/fr_redswampcr awfish.htm
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the Sustainable Development Goals., Rome. (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO).
- FAO, 2019a. Year book : fishery and aquaculture statistics. Aquaculture production. 253 pp.
- FAO, 2019b. Year book : fishery and aquaculture statistics. Capture production. 639 pp.
- Faulkes Z., 2015. The global trade in crayfish as pets. *Crustacean Res* 44: 75–92.

- Fekhaoui M., 1998. Etude Nationale sur la Biodiversité : biodiversité des amphibiens et reptiles. *Observatoire national de l'environnement du Maroc*. Rapport d'étude. 121 p.
- Figler M.H., Finkelstein J.E., Twum M. & Peeke H.V.S., 1995. Intruding male red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, immediately dominate members of established communities of smaller, mixed-sex conspecifics. *Aggressive Behavior*, 21(3): 225-236.
- Figler M.H., Blank G.S. & Peeke H.V.S., 1997. Maternal aggression and post-hatch care in red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard): the influences of presence of offspring, fostering and maternal molting. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 30: 173-194.
- Fishar D.M.R., 2006. Red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in River Nile, Egypt. Biodiversity Monitoring and Assessment Project. Cairo, Ministry of State for Egyptian Environmental Affairs Agency.
- Foster J. & Harper D., 2007. Status and ecosystem interactions of the invasive Louisianan red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in East Africa. p. 91-101. In: F. Gherardi (ed), *Biological Invaders in Inland Waters: Profiles, distribution, and threats*. Rotterdam, Springer.
- FranceAgriMer, 2018. Étude sur la valorisation économique des espèces invasives d'eau douce en France. Rapport final, 96 pages.
- Franchimont J. & Saadaoui E-M., 2001. Etude nationale sur la biodiversité. *Observatoire national de l'environnement du Maroc*. Rapport de synthèse. 156 p.
- Füreder L. & Machino Y., 2002. A revised determination key of freshwater crayfish in Europe. *Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischer Verein Innsbruck*, 89, 169–178.
- García-Arberas L., Rallo A. & Antón A., 2009. The future of the indigenous freshwater crayfish *Austropotamobius italicus* in Basque Country streams: Is it possible to survive being an inconvenient species ? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 394-395, 19.
- Gaudé P., 1986. Ecology and production of Louisiana red swamp crawfish *Procambarus clarkii* in Southern Spain. *Freshwater Crayfish*, 6: 111-130.
- Geiger W., Alcorlo P., Baltanas A. & Montes C., 2005. wetlands; food webs; ecological invasion; introduced species; *Procambarus clarkii*; community ecology; invasive species; crayfish; Mediterranean region. *Biological invasions* 2005 v.7 no.1 49-73.
- Gherardi F., 2001. Behaviour. p. 258-290. In: D.M. Holdich (ed.), *Biology of Freshwater Crayfish*. Oxford, Blackwell Science.
- Gherardi F., 2006. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39: 175-191.

- Gherardi F., 2007. Understanding the impact of invasive crayfish. In: Biological invaders in inland waters: profiles, distribution, and threats. Springer, Dordrecht. pp. 507-542.
- Gherardi F. & Barbaresi S., 2000. Invasive crayfish: activity patterns of *Procambarus clarkii* in the rice fields of the Lower Guadalquivir (Spain). *Archiv für Hydrobiologie*, 150,153-168.
- Gherardi F. & Panov V., 2006. Data sheet: *Procambarus clarkii*. DAISIE (Delivering Alien Invasive Species inventories for Europe) Available at: http://www.europe-aliens.org/pdf/Procambarus_clarkii.pdf. Accessed: July, 2019.
- Gherardi F. & Acquistapace P., 2007. Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshw Biol* 52: 1249–1259.
- Gherardi F. & Barbaresi S., 2007. Feeding preferences of the invasive Crayfish, *Procambarus clarkii*. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 38, 07-20.
- Gherardi F., Barbaresi S. & Salvi G., 2000. Spatial and temporal patterns in the movement of *Procambarus clarkii*, an invasive crayfish. *Aquatic Science*, 62: 179 – 193.
- Gherardi F., Acquistapace P., Tricarico E. & Barbaresi, S. 2002. Ranging behaviour of the red swamp crayfish in an invaded habitat: the onset of hibernation. *Freshwater Crayfish*, 14: 330-337.
- Gherardi F., Souty-Grosset C., Vogt G., Diéguez-Uribeondo J. & Crandall K.A., 2010. Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Crustacea, Brill Leiden-Boston. Chapter Infraorder Astacidea Latreille, 1802 Volume 9 (61) Part A: 269-423.
- Goddard J-S & Hogger J-B., 1986. The current status and distribution of freshwater crayfish in Britain. *Field Stud* 6: 383–396.
- Gurnell A.M., Oosterhout M.P.V., Vlieger B.D. & Goodson J.M., 2006. Reach-scale interactions between aquatic plants and physical habitat: River Frome, Dorset. *River Research and Applications*, 22: 667-680.
- Gutierrez-Yurrita P.J., 1997. El papel ecológico del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*), en los ecosistemas acuáticos del el Parque Nacional de Doñana. Una perspectiva ecosiológica y bioenergética. Ph.D. Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. 348 pp.
- Gutierrez-Yurrita P.J. & Montes C., 1999. Bioenergetics and phenology of reproduction of the introduced red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in Donana National Park, Spain, and implications for species management. *Freshwater Biology* 42: 561-574.
- Gutiérrez-Yurrita P.J., Sancho G., Bravo M.Á., Baltanás Á. & Montes C., 1998. Diet of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in natural ecosystems of the Doñana National Park temporary freshwater marsh (Spain). *Journal of Crustacean Biology*, 18: 120-127.

- Gutiérrez-Yurrita P.J, Martínez JM, Ilhéu M, Bravo-Utrera MA, Bernardo JM. & Montes C., 1999. The status of crayfish populations in Spain and Portugal. *Crustacean Issues* 11: 161–192.
- Habsburgo-Lorena AS., 1978. Present situation of exotic species of crayfish introduced into Spanish continental waters. *Freshw Crayfish* 4: 175–184.
- Hammada S., 2007. Etudes sur la végétation des zones humides du Maroc : Catalogue et Analyse de la Biodiversité Floristique et Identification des principaux Groupements Végétaux. Université Mohammed V, faculté des sciences de Rabat. Thèse de doctorat d'état. 199 p.
- Hammada S, Dakki M, Tattou MI, Ouyahya S. & Fennane M., 2004. Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc - Flore rare, menacée et halophile. *Acta Botanica Malacitana* 29: 43-66.
- Hamasaki K, Osabe N, Nishimoto S, Dan S, Kitada S., 2020. Sexual dimorphism and reproductive status of the red swamp crayfish *Procambarus clarkia*. *Zoological Studies* 59:7. doi:10.6620/ZS.2020.59-07.
- Harper D.M., Smart A.C., Coley S., Schmitz S., de Beaugard, A.G., North R., Adams C., Obade P. & Kamau M., 2002. Distribution and abundance of the Louisiana red swamp crayfish *Procambarus clarkii* Girard at Lake Naivasha, Kenya between 1987 and 1999. *Hydrobiologia*, 488: 143-151.
- Henttonen P. & Huner J.V., 1999. The introduction of alien species of crayfish in Europe: A historical introduction. p. 13-22. In: F. Gherardi and D.M. Holdich (eds), *Crayfish in Europe as Alien Species: How to Make the Best of a Bad Situation?* Rotterdam, A.A. Balkema.
- Hickley P., North R., Muchiri S. M. & Harper D. M., 1994. The diet of largemouth Bass, *Micropterus salmoides*, in lake Naivasha, Kenya. *Journal of Fish Biology*. 44, 607 – 619.
- Hisyam M., Hestirianoto T. & Jaya I., 2020. Sound characteristic of *Procambarus clarkii*. *IOP Conference series : earth and environmental science* 429 (2020) 012036. doi:10.1088/1755-1315/429/1/012036.
- Hobbs H.H., 1974. Synopsis of the families and genera of crayfishes (Crustacea, Decapoda). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 164: 1-32.
- Hobbs H.H., Jass J., & Huner JA., 1989. A review of global crayfish introductions with particular emphasis on two North American species (Decapoda , Cambaridae). *Crustaceana* 56: 299–316.
- Holdich D.M., 1999. The negative effects of established crayfish populations. p. 31-48. In: F. Gherardi and D.M. Holdich (eds), *Crayfish in Europe as Alien Species: How to Make the Best of a Bad Situation?* Rotterdam, A.A. Balkema.
- Holdich D.M. & Lowery R.S., 1988. *Freshwater crayfish: biology, management and exploitation*. London, *Croom Helm*, 440p.

- Holdich D.M., Reynolds J.D., Souty-Grosset C. & Sibley P.J., 2009. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 11: 1-46.
- Huner J.V., 1981. Information about the biology and culture of the red swamp crawfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Cambaridae) for fisheries managers in Latin America. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 8: 43-50.
- Huner J.V., 1988. *Procambarus* in North America and elsewhere. p. 239-261. In: D.M. Holdich and R.S. Lowery (eds), *Freshwater Crayfish: biology, management and exploitation*, London, Croom Helm.
- Huner J.V., 1992. Experiences with the supplemental stocking of red swamp, *Procambarus clarkii*, and white river, *Procambarus zonangulus*, crayfishes for growout purposes. *Finnish Fisheries Research*, 14,53-59.
- Huner J.V., 1994. Freshwater crayfish culture. p. 5-89. In: J.V. Huner (ed), *Freshwater Crayfish Aquaculture in North America, Europe and Australia*. Binghamton, NY, Food Products Press.
- Huner J.V., 1995. Ecological observations of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) and White crayfish, *Procambarus zanangulus* (Hobbs & Hobbs, 1990) as regards their cultivation in earthen ponds. *Freshwater Crayfish*, 10: 456-468.
- Huner J.V., 2002. *Procambarus*. In: Holdich D.M. (ed.), *Biology of Freshwater Crayfish*, Blackwell Scientific Press, Oxford, 541–574.
- Huner J.V. & Romaine R.P., 1978. Size at maturity as a means of comparing populations of *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustacea, Decapoda) from different habitats. *Freshwater Crayfish*, 4,53-64.
- Huner J.V. & Barr J.E., 1991. *Red Swamp Crawfish: Biology and Exploitation*; Louisiana Sea Grant College Program. Center for Wetland Resources, Louisiana State University.
- Ilhéu M. & Bernardo J.M., 1993. Aspects of trophic ecology of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) in Alentejo, south of Portugal. p. 417-423. In: *Actas VI Congreso Español de Limnología*, Granada, Spain.
- Ilhéu M. & Bernardo J.M., 1995. Trophic ecology of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard) — preferences and digestibility of plantfoods. *Freshwater Crayfish*, 10: 132-139.
- Ilhéu M, Acquistapace P, Benvenuto C. & Gherardi F., 2003. Shelter use of the red-swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in dry-season stream pools. *Archiv für Hydrobiol* 157:535–546.
- Issa F.A., Adamson D.J. & Edwards D.H., 1999. Dominance hierarchy formation in juvenile crayfish *Procambarus clarkii*. *The Journal of Experimental Biology*, 202: 3497-3506.

- ITIS, 2020. *Procambarus clarkii* (Girard, 1852). Taxonomic Serial No: 97491. Available at : https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=97491#null. Accessed: Marsh, 2020.
- Jacoby D. & Gollock M., 2014. *Anguilla anguilla*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2014: e.T60344A45833138. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en>. Downloaded on 09 April 2020.
- Jin S, Jacquin L, Huang F, Xiong M, Li R, Lek S, Li W, Liu J. & Zhang T., 2019. Optimizing reproductive performance and embryonic development of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* by manipulating water temperature. *Aquaculture* 510 (2019) 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.066>
- Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M., 1994. Organisms as ecosystems engineers. *Oikos*, 69: 373-386.
- Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M., 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystems engineers. *Ecology*, 78: 1946-1957.
- Kaldre K., Haugärv K., Liiva M. & Gross R., 2015. The effect of two different feeds on growth, carapace, colour, maturation and mortality in marbled crayfish (*Procambarus fallax f. virginalis*). *Aquaculture International*, 23, 185–194.
- Kent W.J., 1901. The colors of the crayfish. *American Naturalist*, 35, 933–936. <https://doi.org/10.1086/278030>
- Latscha T., 1989. The role of astaxanthin in shrimp pigmentation. *Advances in Tropical Aquaculture*, 9, 319–325.
- Laurent P.J., Leloir H. & Neveu A., 1991. Remarques sur l'acclimatation en France de *Procambarus clarkii* (Decapoda Cambaridae). *Publ Soc Linn Lyon* 60: 166–173.
- Lidova J., Buric M., Kouba A. & Velisek J., 2019. Acute toxicity of two pyrethroid insecticides for five non-indigenous crayfish species in Europe. *Veterinární medicína* 64: 125–133.
- Lindqvist O.V. & Huner J.V., 1999. Life history characteristics of crayfish: What makes some of them good colonisers? In Gherardi, F. & Holdich, D.M. (eds.) *Crustacean Issues 11: Crayfish in Europe as Alien Species (How to make the best of a bad situation?)* A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands: 23-31.
- Lodge D.M., Mungai B.N., Rosenthal S.K., Mkoji G.M., & Mavuti K.M., 2005. Louisiana crayfish (*Procambarus clarkii*) (Crustacea: Cambaridae) in Kenyan ponds: non-target effects of a potential biological control agent for schistosomiasis. *African Journal of Aquatic Science*, 30: 119-124.
- Longshaw M., 2011. Diseases of crayfish: a review. *Journal of Invertebrate Pathology*, 106: 54-70.
- Loureiro TG., Anastácio PMSG., Araujo PB., Souty-Grosset C. & Almerão MP. 2015. Red swamp crayfish: biology, ecology and invasion – an overview. *Nauplius* 23:1–19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-64972014002214>

- Maciaszek R., Bonk M. & Strużyński W., 2019. New records of the invasive red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) from Poland. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 420, 39.
- Maezono Y. & Miyashita T., 2004. Impact of exotic fish removal on native communities in farm ponds. *Ecological Research*, 19: 263-67.
- Manfrin C., Souty-Grosset C., Anastácio P., Reynolds J. & Giulianini P., 2019. Detection and control of invasive freshwater crayfish: From traditional to innovative methods. *Diversity* 11: 5.
- Matsuzaki S.S., Usio N., Takamura N. & Washitani I., 2009. Contrasting impacts of invasive engineers on freshwater ecosystems: an experiment and meta-analysis. *Oecologia*, 158: 673-686.
- Meineri E., Rodriguez-Perez H., Hilaire S. & Mesleard F., 2014. Distribution and reproduction of *Procambarus clarkii* in relation to water management, salinity and habitat type in the Camargue. *Aquatic conservation marine freshwater ecosystems*. 24, 312–323. <https://doi.org/10.1002/aqc.2410>.
- Mikkola H., 1996. Alien freshwater crustacean and indigenous mollusk species with aquaculture potential in eastern and southern Africa. *Southern African Journal of Aquatic Sciences*, 22: 90-99.
- Mollard D. & Faure J-P., 2017. Etat des lieux des populations d'écrevisses à pattes blanches : ruisseaux des Planches et de Rocheardon. Rapport d'étude réalisé pour la fédération du Rhône et de la métropole de Lyon pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 53p.
- Mouslih M., 1987. Introductions de poissons et d'écrevisses au Maroc. *Hydrobiologie Tropicale* 20, 65-72.
- Mueller G.A., Carpenter J. & Thornbrugh D., 2006. Bullfrog tadpole (*Rana Catesbeiana*) and red swamp crayfish (*Procambarus Clarkii*) predation on early life stages of endangered razorback sucker (*Xyrauchen Texanus*)," *The Southwestern Naturalist* 51(2), 258-261. [https://doi.org/10.1894/0038-4909\(2006\)51\[258:BTRCAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1894/0038-4909(2006)51[258:BTRCAR]2.0.CO;2).
- Nagy R., Fusaro A., Conard W., & Morningstar C., 2020, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852): U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL, <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=217>, Access Date: 15/04/2020
- Nicola G.G., Almodovar A. & Elvira B., 1996. The diet of introduced large-mouth bass, *Micropterus salmoides*, in the natural park of the Ruidera Lakes, Central Spain *Polskie Archiwum Hydrobiologii*. 43 179-84.
- Noblitt S.B., Payne J.F. & DeLong M., 1995. A comparative study of selected physical aspects of the eggs of the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) and *P. zonangulus* Hobbs & Hobbs, 1990 (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, 68(5): 575-582.

- Oficialdegui F.J., 2019. The invasion of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*): introductions, impacts and management. PhD Thesis. Universidad de Sevilla, Seville, Spain. 193 p.
- Oficialdegui F.J., Clavero M., Sanchez M.I., Green A.I., Boyero L., Michot T.C., Klose K., Kawai T. & Lejeusne C., 2019. Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshwater Biology* 64:1382–1400.
- Oficialdegui F.J., Sánchez M.I., Lejeusne C., Pacini N., & Clavero M., 2020. Brought more than twice: the complex introduction history of the red swamp crayfish into Europe. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2020, 421, 2.
- Oliveira J. & Fabião A., 1998. Growth responses of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* Girard, to several diets under controlled conditions. *Aquaculture Research* 29: 123-129.
- Paillisson J-M., Roussel J-M., Tréguier A., Surzur G. & Damien J-P., 2011. Préservation de la biodiversité face aux invasions de l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*). Rapport d'étape, ONEMA INRA, Partenariat 2011, Fonctionnement des écosystèmes et changements globaux – Action A10-1.
- Parkyn S.M., Kevin J.C. & Hicks B.J., 2001. New Zealand stream crayfish: functional omnivorous but trophic predators? *Freshwater Biology*, 46: 641-652.
- Patoka J., Rímalová-Kadlecová K., Bílý M. & Koščo J., 2013. Frequency of new marble-colored morph in wild population of *Austropotamobius torrentium* (Decapoda: Astacidae). *Biologia*, 68, 707–711. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0208-0>
- Patoka J., Kalous L. & Kopecky O., 2014. Risk assessment of the crayfish pet trade based on data from the Czech Republic. *Biol Invasions* 16: 2489–2494.
- Penn G.H., 1943. A Study of the Life History of the Louisiana Red-Crawfish, *Cambarus clarkii* Girard. *Ecology*, 24(1): 1-18.
- Qninba A., Dakki M., El Agbani M.A., Benhoussa A. & Thévenot M., 1999.- Hivernage au Maroc des Gravelots et Pluviers (Aves, Charadrii, Charadriinae) et identification des sites d'importance internationale. *Alauda*, 67, 3, pp. 161-172.
- Qninba A, Rguibi Idrissi H., Himmi O., Benhoussa A., El Agbani M.A. & Thévenot M., 2008. Nouveaux cas de nidification d'oiseaux dans le complexe de zones humides du Bas Loukkos (Nord-Ouest du Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 2008, n°30, 45-50.
- Ramalho R. & Anastácio P., 2015. Factors inducing overland movement of invasive crayfish (*Procambarus clarkii*) in a rice field habitat. *Hydrobiologia*, 746: 135–146.
- Reshetnikov A.N., 2003. The introduced fish, rotan (*Perccottus glenii*), depresses populations of aquatic animals (macroinvertebrates, amphibians, and afish). *Hydrobiologia* 510: 83–90.

- Rodríguez C. F., Becares E. & Fernandez-Alaez M., 2003. Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Hydrobiologia* 506–509: 421–426, 2003.
- Rodríguez C. F., Bécares E., Fernández-Aláez M. & Fernández-Aláez C., 2005. Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish. *Biological Invasions*. 7(1). January 2005. 75-85.
- Roos A., Loy A., de Silva P., Hajkova P. & Zemanová B., 2015. *Lutra lutra*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2015: e.T12419A21935287. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T12419A21935287.en>. Downloaded on 09 April 2020.
- Roqueplo C., Laurent P.J., & Neveu A., 1995. *Procambarus clarkii* Girard (écrevisse rouge des marais de Louisiana). Synthèse sur les problèmes posés par cette espèce et sur les essais pour contrôler ses populations. *L 'Astaciculteur de France* 45:2- 17. Rose, R.D. 1986.
- Saguem S. & El Alami M., 2019. Study on the spread of *Procambarus clarkii* at Gharb (Morocco) and its impact on rice growing. *Journal of agricultural science and technology A*, n°9 (2019): 81-92. doi: 10.17265/2161-6256/2019.02.002
- Saguem S., JDI E.H. & El Alami M., 2019. Spatial distribution of red-swamp crayfish *Procambarus clarkii* (girard, 1852) in wetland Ramsar sites in Morocco. *International journal of engineering, science and mathematics*. Vol.8 Issue 11.
- Saguem S., Sahli A., Madi A., Jdi E.H. & El Alami M., 2020. Socioeconomic impact following the introduction of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard,1852) in Morocco. *International journal of engineering, science and mathematics*. Vol.9 Issue 2.
- Salvador A., Donaire-Barroso D., Slimani T., Mouden E-H. & Geniez P., 2004. *Pelobates varaldii*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2004:e.T58054A11723994. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T58054A11723994.en>. Downloaded on 09 April 2020.
- Sandodden R., 2019. Eradication of invasive alien crayfish: past experiences and further possibilities. In Veitch CR, Clout MN, Martin AR, Russel JC, West CJ, ed. *Island invasives : scaling up to meet the challenge*. Gland: IUCN, pp. 405–409.
- Scalici M., Chiesa S., Scuderi S., Celauro D. & Gibertini G., 2010. Population structure and dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in a Mediterranean brackish wetland (Central Italy). *Biological Invasions*12: 1415–1425.
- Schleifstein M. & Fedeli D., 2003. Louisiana crawfish invade ponds across the globe. *New Orleans Times-Picayune* (April 14).
- Schuster G.A., 2020. Review of crayfish color patterns in the Family Cambaridae (Astacoidea), with discussion of their possible importance. *Zootaxa* 4755 (1): 063–098. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4755.1.3>

- Smart C.A., Harper D.M., Malaisse F., Schmitz S., Coley S. & Beauregard A.C.G., 2002. Feeding of the exotic Louisiana red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Crustacea, Decapoda), in an African tropical lake: Lake Naivasha, Kenya. *Hydrobiologia*, 488: 129-142.
- Sommer T.R., 1984. The biological response of the crayfish *Procambarus clarkii* to transplantation into California ricefields. *Aquaculture*, 41: 373-384.
- Sousa R., Freitas F.E., Mota M., Nogueira A.J. & Antunes C., 2013. Invasive dynamics of the crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in the international section of the River Minho (NW of the Iberian Peninsula). *Aquatic conservation.*, 23, 656–666.
- Souty-Grosset C., Holdich D. M., Noel P. Y., Reynolds J. D. & Haffner P. (eds), 2006 Atlas of Crayfish in Europe. Museum national d'Histoire naturelle, Paris, Patrimoines naturels 64, 187 pp.
- Souty-Grosset C., Anastacio P.M., Aquiloni L., Banha F., Choquer J., Chucholl C. & Tricarico E., 2016. The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologica* 58: 78–93.
- Sukô T., 1953. Studies on the development of the crayfish. I. The development of secondary sex characters in appendages. *The Science Reports of Saitama University*, 1B: 77-96.
- Thacker R.W., Hazlett B.A., Esman L.A., Stafford C.P. & Keller T.A., 1993. Color morphs of the crayfish *Orconectes virilis*. *American Midland Naturalist*, 129, 182–199. <https://doi.org/10.2307/2426447>
- Taketomi Y., Murata M. & Miyawaki M., 1990. Androgenic gland and secondary sexual characters in the crayfish *Procambarus clarkii*. *Journal of Crustacean Biology*, 10: 492-497.
- Taylor C.A., 2002. Taxonomy and Conservation of Native Crayfish Stocks. p. 236-257. In: D.M. Holdich (ed), *Biology of Freshwater Crayfish*. New York, Wiley-Blackwell.
- Thévenot M. & Qninba A., 2003. Oiseaux d'eau nicheurs du Maroc. Rapp. inédit, Projet WWF International "Inscription de nouveaux sites marocains sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale". HCEFLCD/Inst. Sci./WWF/Bur. Ramsar, 89 pp.
- Timmermans T., Sistler F.E. & Lawson T.B., 1995. Predicting crawfish molting with machine vision. *Journal of World Aquaculture Society*, 26, 234–239. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1995.tb00251.x>
- Troschel H.J. & Dehus P., 1993. Distribution of crayfish species in the Federal Republic of Germany, with special references to *Austropotamobius pallipes*. *Freshwater Crayfish*, 9, 390-398.
- Trouilhé M.C., 2006. Etude biotique et abiotique de l'habitat préférentiel de l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) dans l'ouest de la France.

Implications pour sa gestion et sa conservation. Ecologie, Environnement. Université de Poitiers. 262 p.

- Vogt G. & Tolley L., 2004. Brood care in freshwater crayfish and relationship with the offspring's sensory deficiencies. *Journal of Morphology*, 262: 566-582.
- Walker M.L., Austin C.M. & Meewan M., 2000. Evidence for the inheritance of blue variant of the Australian fresh-water crayfish *Cherax destructor* (Decapoda: Parastacidae) as an autosomal recessive. *Journal of Crustacean Biology*, 20, 25–30. <https://doi.org/10.1163/20021975-99990013>
- Weiperth A., Gál B., Kuříková P., Langrová I. & Kouba A., 2019. Risk assessment of pet-traded decapod crustaceans in Hungary with evidence of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the wild. *North-Western J. Zool.* 15: 42–47.
- Yahyaoui A. & Azeroual A., 2005. Diagnostic sur les Poissons du Complexe des Zones Humides du Bas Loukkos. Projet Gestion intégrée du complexe de Zones Humides du Bas Loukkos (Larache, Maroc), financé par la fondation Ciconia, Lichtenstein et géré par le GREPOM. 47p.
- Yamamoto Y., 2010. Contribution of bioturbation by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* to the recruitment of bloom-forming cyanobacteria from sediment. *Journal of Limnology*, 69: 102-111.
- Yue G.H., Li J., Bai Z., Wang C.M. & Feng F., 2010. Genetic diversity and population structure of the invasive alien red swamp crayfish. *Biological Invasions*. 12(8). 2697-2706