REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES



MÉMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de master En

Ecologie et environnement

***Spécialité* : ECOLOGIE**

Présenté et par :

Melle Benharkat Milina Hadil et Melle Ferrah Kaouthar

Thème

Évaluation des effets chroniques du chlorure de sodium sur les paramètres biologiques de *Daphnia magna*.

Soutenue publiquement le :28/06/2025 devant le jury composé de :

Présidente	**Mme. Nabi. F**	**M.C.A**	**UYF-Medea**
Examinateur	**Mr.Maamri .I**	**M.C.B**	**UYF-Medea**
Promoteur	**Mr. Belhadj. H**	**M.C.B**	**UYF-Medea**
Co-promoteur	**Mr. Boudjebbour. A**	**M.C.B**	**UYF-Medea**

***Année universitaire* : 2024/2025**


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Avant toute chose, nous adressons nos louanges à Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements les plus sincères vont à notre directeur de mémoire, ***Monsieur Belhadj Hichem,*** *pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique, ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de cette étude. Sa patience et son implication ont été d'un grand soutien, et ont grandement enrichi ce travail.*

Nous exprimons également notre reconnaissance à Monsieur ***Boudjebbour Abdelmadjid,*** *notre co-encadreur, pour son aide précieuse, ses orientations pertinentes et sa contribution active à la qualité de ce mémoire. Sans lui, ce travail n'aurait pas eu la même portée.*

Nos vifs remerciements s'adressent aussi aux membres du jury, ***Madame Nabi M. et Monsieur Maamri*** *pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.*

Une mention spéciale à Monsieur ***Masmoudi M****., dont l'engagement pédagogique, les conseils et le soutien tout au long de notre parcours universitaire ont été particulièrement précieux.*

Ce mémoire est le fruit d'un effort collectif, et nous sommes profondément reconnaissants envers toutes les personnes qui y ont contribué, de près ou de loin.

Dédicace

À ma précieuse famille,

Merci pour votre amour inconditionnel, votre patience, votre soutien moral et vos encouragements constants. Votre présence a été ma plus grande source de force et d'inspiration tout au long de ce parcours.

À ma binôme Milina,

Pas seulement une partenaire de travail, mais une véritable sœur de cœur. Ensemble, on a ri, on a stressé, on a partagé des doutes, des idées, des galères… et surtout, on ne s'est jamais lâchées. Merci pour ta loyauté, ton énergie, ton écoute et ta présence constante. Cette aventure n'aurait pas eu la même saveur sans toi.

À mes amis sincères,

Khadija, Milina, Bouchra, Hadil, Amal, Maroua. Ceux qui ont su trouver les mots justes, qui m'ont soutenue dans les moments de doute, et qui ont partagé rires, conseils et encouragements. Merci d'avoir été là



Kaouthar

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la capacité d'accomplir ce travail.

À ma maman et à mon papa,
Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre présence constante à chaque étape de ma vie. Merci d'avoir cru moi-même quand je doutais.

À ma sœur Alae, mon double, mon pilier et mon âme rassurante.

À Kaouthar,

Ma précieuse binôme, ma complice dans cette aventure aussi belle qu'exigeante.
Ta rigueur, ton calme, et ton humour ont souvent été des bouées dans l'océan de stress.
Tu as su rendre ce chemin plus humain, plus léger, et surtout, inoubliable.
Ta présence a transformé chaque difficulté en un défi à relever ensemble.

À ma chère docteure Djouher Mezdad,

Merci pour ta disponibilité, ta patience et tes mots toujours justes. Ta confiance m'a portée dans les moments de doute

À mes amis,
Mohamed, Kaouthar, Karaouen, Riheb, Bochra, Hadil, Marwa
Merci pour chaque sourire, chaque mot, chaque moment partagé qui a rendu cette période plus douce.
Un merci tout particulier à Mohamed, qui a été un véritable pilier depuis mes premiers pas à l'université.Ton soutien indéfectible, ton écoute sincère et ta présence ont toujours été d'un grand réconfort.

Et à Asmaa,
Pour toutes ces nuits où tu es restée à mes côtés, sans rien attendre, juste par affection.
Ton amitié a été une lumière dans l'obscurité de la fatigue et du doute.
Ce mémoire garde aussi le doux souvenir de ta présence, simple et réconfortante, dans les moments où j'en avais le plus besoin.



Milina

RESUME

En écotoxicologie, *Daphnia magna* est largement reconnue comme une espèce bioindicatrice fiable, particulièrement sensible aux variations de salinité, ce qui en fait un modèle privilégié pour l'évaluation des pollutions salines. Ce type de pollution résulte principalement des activités anthropiques telles que l'agriculture et l'urbanisation, qui contribuent à l'augmentation des concentrations en chlorure de sodium (NaCl) dans les écosystèmes aquatiques. La présente étude évalue les effets chroniques de différentes concentrations de NaCl (0,1 ; 2,7 ; 3,21 et 3,98 g/L) sur divers paramètres biologiques de *Daphnia magna*, notamment la survie, la croissance et la reproduction.

Les résultats obtenus révèlent une diminution marquée de plusieurs traits du cycle de vie : la survie, la taille des femelles adultes et des juvéniles à la première reproduction, la longévité, la taille et le nombre des pontes, ainsi que le sexe ratio. D'autre part, des allongements ont été observés pour l'intervalle entre les pontes, l'âge à la maturité et à la première reproduction, en particulier à la concentration la plus élevée (3,98 g/L). Ces altérations sont directement liées à l'augmentation de la salinité, qui agit comme un facteur de stress limitant le développement et la performance reproductive de l'espèce.

Mots clés : pollution aquatique **,** écotoxicologie , salinité , NaCl,, Bioindicateur, *Daphnia magna* , médéa

ملخص

في علم السموم البيئية ، يتم التعرف على (دافنيا ماجنا) في نطاق واسع على أنها نوع من المؤشرات الحيوية الموثوقة ، حساسة بشكل خاص لتغيرات الملوحة ، مما يجعلها نموذجا متميزا لتقييم التلوث الملحي. ينتج هذا النوع من التلوث بشكل رئيسي عن الأنشطة البشرية مثل الزراعة والعمران ، والتي تساهم في زيادة تركيزات كلوريد الصوديوم في النظم البيئية المائية. تقيم الدراسة الحالية التأثيرات المزمنة لتركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (0.1 ؛ 2.7 ; 3.21 و 3.98 غ / لتر) على مختلف العوامل البيولوجية (لدافنيا ماجنا) ، ولا سيما البقاء والنمو والتكاثر .

تكشف النتائج التي تم الحصول عليها عن انخفاض ملحوظ في العديد من سمات دورة الحياة: البقاء على قيد الحياة ، وحجم الإناث البالغات والأحداث عند التكاثر الأول ، وطول العمر ، وحجم وعدد الولادات ، وكذلك نسبة الجنس. من ناحية أخرى ، لوحظت استطالة للفترة الفاصلة بين وضع البيض ، والعمر عند النضج وعند التكاثر الأول ، ولا سيما عند أعلى تركيز (3.98 غ /لتر). ترتبط هذه التعديلات ارتباطا مباشرا بزيادة الملوحة ، والتي تعمل كعامل إجهاد يحد من نمو الأنواع وأدائها الإنجابي.

الكلمات المفتاحية :التلوث المائي، السُمِّية البيئية، الملوحة، كلوريد الصوديوم(NaCl) ، الكائنات الحيوية المؤشرة، دافنيا ماغنا .(Daphnia magna) المدية .

ABSTRACT

In ecotoxicology, *Daphnia magna* is widely recognized as a reliable bioindicator species, particularly sensitive to salinity variations, making it a preferred model for the assessment of saline pollution. This type of pollution mainly results from anthropogenic activities such as agriculture and urbanization, which contribute to increased concentrations of sodium chloride (NaCl) in aquatic ecosystems.

The present study evaluates the chronic effects of different NaCl concentrations (0.1; 2.7; 3.21; and 3.98 g/L) on various biological parameters of *Daphnia magna*, including survival, growth, and reproduction.

The results obtained reveal a marked decrease in several life cycle traits: survival, size of adult females and juveniles at first reproduction, longevity, clutch size and number, as well as sex ratio. On the other hand, increases were observed in the interval between clutches, age at maturity, and age at first reproduction, particularly at the highest concentration (3.98 g/L). These alterations are directly linked to the increase in salinity, which acts as a stress factor limiting the species' development and reproductive performance.

Keywords: aquatic pollution, ecotoxicology, salinity, NaCl, bioindicator, *Daphnia magna*, medea.

Sommaire

Resume 6
Liste des tableaux 13
Introduction 15
Chapitre i: biologie et ecologie de daphnia magna 1
1.1. Description de Daphnia magna 5
1.2. Classification et Position Systématique 5
1.3. Morphologie de Daphnia magna 5
1.4. Nutrition et Alimentation 7
1.5. Reproduction 7
- Reproduction asexuée 8
- B. Reproduction sexuée 8

1.6. Développement et Longévité 9
1.8 Exigences physico chimiques : 12
- L'oxygène 12
- La température 12
- Les besoins alimentaires 12

1 .10 Répartition géographique : 13
1.11 Communication et Perception : 14
1.12 Intérêt Écotoxicologique de Daphnia magna 14
1.13. L'importance de Daphnia magna 15
1.13.1. Chaîne trophique 15
1.13. 2. Bioindicateur en écotoxicologie 16
1.13.3. Contribution à la recherche scientifique 16
1.13.4. Implications pour la gestion des écosystèmes 17
1.14. Toxicité aiguë et toxicite chronique du chlorure de sodium (NaCl) sur Daphnia magna 17
CHAPITRE II : LA SALINITE 18
1.1 Définition de la salinité de l'eau 19
1.2 Origines de la salinité de l'eau 19
1.3. Le chlorure de sodium (Na Cl) 20
1.4. Classification des eaux selon la salinité 22
- Eau douce 22
- Eau saumâtre 22
- Eau salée 22

1.5. Facteurs influençant la salinité de l'eau 22
 Facteurs physico-chimiques influençant la salinité 22
 Facteurs liés à l'irrigation et aux pratiques agricoles 22
1.6.L'effet du sel sur les propriétés de l'eau 23
1.7. Effets de la salinité sur les écosystèmes aquatiques 23
CHAPITRE III : Matériel et méthodes 25
3.1. Matériel 26
3.1.1. Matériel biologique (bio indicateur) 26
3.2. Matériel expérimental 27
3.3.1. Culture de Daphnia magna 28
3.2.2. Préparation de l'infusion de l'épinard 28
3.2.3. Mode opératoire 28
3.2.4. Analyses statistiques 30
Chapitre IV : Résultats 26
1.1.1 L'effet de NaCl sur la survie 32
1.1.2L'effet de NaCl sur la longévité 32
1.2.1 L'effet de NaCl sur la taille des femelles adultes à la première ponte 34
1.2.2L'effet de NaCl sur la taille des femelles adultes à la deuxième ponte 34
1.2.3L'effet de NaCl sur la Taille des femelles à la fin du test 36
1.2.4 L'effet de NaCl sur Poids des femelles à la fin du test 36
1.3.1L'effet de NaCl sur l'Age à la maturité 38
1.3.2L'effet de NaCl sur l'Age de la première ponte 38
1.3.3 L'effet de NaCl sur l'intervalle de ponte 40
1.3.4 L'effet de NaCl sur le nombre de pontes par mère durant le test 40
1.3.4 L'effet de Na Cl sur la taille des juvéniles à la première ponte 42
1.3.5 L'effet de NaCl sur la taille des juvéniles à la deuxième ponte 42
1.3.6 L'effet de NaCl sur La grandeur de ponte 44
1.3.7 Comparaison entre la taille de la 1ère et la 2ème ponte 44
1.3.8 le sexe ratio 46
Chapitre V :Discussion 47
Conclusion et perspectives 51
Références bibliographiques 55
annexes 64

Liste de figures

Figure 01 :Anatomie de Daphnia 17

Figure 02 : Cycle de vie de *Daphnia magna* 18

Figure 03 : Reproduction de la *D. magna* par parthénogénèse 19

Figure 04 : Éphippies de *D. magna* 20

Figure 05 : Stades de développement embryonnaire 21

Figure 06 : Les deux sexes de *Daphnia magna* 22

Figure 07 : Structure chimique du NaCl 23

Figure 08 : Richesse en espèces selon la salinité 24

Figure 09 : Effets de la salinisation sur les communautés 24

Figure 10 : Étapes du test chronique 28

Figure 11 : Effet du NaCl sur la survie 32

Figure 12 : Variation de la longévité 32

Figure 13 : Taille des femelles à la 1ère ponte 34

Figure 14 : Taille des femelles à la 2e ponte 34

Figure 15 : Taille à la fin du test 36

Figure 16 : Poids à la fin du test 36

Figure 17 : Âge à la maturité 38

Figure 18 : Âge à la 1ère ponte 38

Figure 19 : Intervalle de ponte 40

Figure 20 : Nombre de pontes par mère 40

Figure 21 : Taille des juvéniles à la 1ère ponte 42

Figure 22 : Taille des juvéniles à la 2e ponte 42

Figure 23 : Grandeur de ponte 43

Figure 24 : Comparaison 1ère/2e ponte …….....44

Figure 25 : Sexe ratio 45

Liste des tableaux

Tableau 01 : Comparaison entre toxicité aiguë et chronique……17

Tableau 02 : Structure chimique du chlorure de sodium (Nacl)……21

Liste abréviation

NaCl	Chlorure de sodium
D. magna	Daphnia magna
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
AFNOR	Association Française de Normalisation
mg/L	Milligramme par litre
°C	Degré Celsius
Mm	Millimètre
g/L	Gramme par litre
ISO	Organisation internationale de normalisation
EC50	Concentration efficace médiane (Effective Concentration 50%)
$p < 0,05$	Niveau de signification statistique
%	Pourcentage
µ.g	microgramme

INTRODUCTION

Les milieux d'eau douce, longtemps considérés comme des réservoirs naturels de biodiversité et de ressources hydriques, subissent aujourd'hui des pressions environnementales croissantes dues aux activités humaines. Parmi les multiples formes de pollution qui les affectent, la salinisation progressive des écosystèmes aquatiques constitue une problématique particulièrement préoccupante. Ce phénomène, souvent négligé dans les évaluations de risque écotoxicologique, résulte principalement de l'irrigation agricole excessive, des apports en sels de déneigement, des rejets domestiques et industriels, ainsi que de la remontée des eaux salines dans les zones semi-arides **(Zeroual, 2016 ;Sidibe, 2017).** Ces apports anthropiques conduisent à une augmentation des concentrations en sels dissous, notamment en chlorure de sodium (NaCl), dans les cours d'eau, les étangs, les lacs et même les nappes phréatiques. La salinité, bien qu'un facteur abiotique naturel dans certains environnements, devient un agent de stress écologique lorsqu'elle dépasse les tolérances physiologiques des organismes dulçaquicoles. Elle modifie la pression osmotique du milieu, perturbe l'homéostasie cellulaire, et peut impacter le comportement, la croissance, la reproduction et la survie des espèces aquatiques **(Martínez-Jerónimo, 2007).**

Parmi ces organismes affectés par la salinisation , le cladocère *Daphnia magna* représente un modèle biologique de choix pour les études écotoxicologiques. En effet, cette espèce est largement reconnue pour sa sensibilité aux polluants, sa reproduction rapide par parthénogenèse, et sa réponse rapide aux changements environnementaux **(Zeroual, 2016 ; Martínez-Jerónimo, 2007)**. Elle est ainsi couramment utilisée pour évaluer la toxicité aiguë et chronique de divers contaminants, y compris les sels dissous. Les travaux de **Sidibe (2017)** ont montré que *Daphnia magna* réagit de manière significative à l'élévation de la salinité, même à des faibles concentrations. Ces réactions se traduisent par des modifications du taux de survie, une réduction de la croissance, un allongement du délai avant la première reproduction, une diminution du nombre de jeunes produits par femelle, et parfois des anomalies morphologiques. **El-Deeb & El-Shenawy (2009)** ont également souligné que la salinité provoque une baisse significative de la reproduction de *Daphnia magna* à partir de seuils très faibles, ce qui pourrait compromettre la résilience des communautés aquatiques exposées de manière chronique. De plus, **Martínez-Jerónimo (2007)** a mis en évidence une diminution nette du taux de croissance et du taux intrinsèque d'accroissement des populations exposées à long terme à différentes concentrations de NaCl. Ces effets peuvent se cumuler au fil des générations, conduisant à un effondrement des populations dans les milieux naturels fortement salinisés.

Plusieurs études récentes ont exploré les impacts de la salinité sur *Daphnia magna* à travers le monde : **Khudr, M. S., Purkiss, S. A., & Hager, R. (2020) ; Parlato, B., & Kopp, R. (2020) ; Nogueira, A. J. A., et al. (2022); Huang, J., et al. (2022); Wersebe, M. J., et al. (2023); Li, Y., et al. (2023); Brans, K. I., et al. (2024) ; Mažuran, N., et al. (2025) .** En Algérie, des recherches ont été menées sur la salinité des eaux intérieures, notamment : **Semsari & Haït-Amar. (2009) ; Sidibe. (2016) ; Blal. (2020) ; Touati & Samraoui. (2019) ; Kerdoun, R. M., et al. (2024)**

Cependant, et à notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur l'effet chronique du NaCl sur *Daphnia magna* dans la région de Médéa. Notre recherche constitue donc une première contribution dans ce domaine au niveau local.

Dans ce contexte, notre étude s'inscrit dans une démarche visant à évaluer les effets chroniques du NaCl sur le cycle de vie de *Daphnia magna*. À travers une exposition prolongée à différentes concentrations de sel, nous nous proposons d'observer les réponses biologiques de cet organisme au niveau de la survie, de la reproduction et de la croissance, dans des conditions contrôlées. Une attention particulière sera portée à l'identification des seuils de tolérance et aux effets sublétaux, souvent ignorés dans les analyses classiques de toxicité aiguë, mais pourtant essentiels à la compréhension des impacts à long terme de la salinisation sur les populations aquatiques.

Ainsi, cette recherche contribuera non seulement à renforcer les connaissances sur la sensibilité écologique de *Daphnia magna*, mais également à alimenter les réflexions autour de la gestion des milieux aquatiques a l'échelle local face aux changements globaux et à l'augmentation des pressions anthropiques.

Cette étude soulève plusieurs questions :

– Quels sont les impacts à long terme du NaCl sur la survie, la reproduction et la croissance de Daphnia magna ?

– À partir de quelles concentrations apparaissent des effets sublétaux ?

– Quels indicateur de cycle biologiques permettent d'évaluer au mieux ces effets chroniques ?

En y répondant, ce travail vise à combler un vide scientifique au niveau local et à contribuer à une meilleure compréhension de l'espèce des risques écotoxicologiques liés à la salinisation croissante des milieux dulçaquicoles spécifiquement dans la région.

Ce mémoire a été structuré de la manière suivante :
Le premier chapitre présente les aspects biologiques et écologiques de *Daphnia magna*, en mettant l'accent sur ses caractéristiques morphologiques, son cycle de vie et son importance en écotoxicologie.

Le deuxième chapitre est dédié à la notion de salinité, ses sources, ses effets sur les écosystèmes aquatiques, ainsi que son impact potentiel sur les organismes dulçaquicoles.

Le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes adoptés pour la réalisation de l'expérimentation.
Le quatrième chapitre est consacré à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats obtenus.
Enfin, le mémoire se conclut par une synthèse générale des travaux effectués, mettant en évidence les principales conclusions de l'étude et quelques perspectives.

CHAPITRE I: BIOLOGIE ET ECOLOGIE DE DAPHNIA MAGNA

1.1. Description de *Daphnia magna*

Daphnia magna, connu également sous le nom de "puce d'eau" est un micro-crustacé de l'ordre des Cladocères fréquemment rencontrés dans les eaux douces des climats tempérés. Largement répandu dans l'hémisphère Nord, cet organisme est susceptible de coloniser une variété importante de types d'eaux douces: mares (temporaires ou non), étangs, lacs, canaux, cours d'eau à faibles débits et bassins riches en matière organique et peu oxygénés **(Santiago et al. 2002; Cauzzi, 2007; Boillot, 2008).** Herbivore ou décomposeur, ce cladocère assure une fonction importante dans les transferts de matière et d'énergie des écosystèmes aquatiques. Ils prennent part à l'alimentation des poissons planctonophages ou omnivores, mais également à celle des alevins et invertébrés aquatiques**(Santiago et al. 2002)**(Figure 01). Dans la nature les individus n'atteignent fréquemment que 1-2 mm, mais peuvent atteindre 5 mm, le poids sec variant de 50 à 400 µ.g **(Margalef, 1983)**

1.2. Classification et Position Systématique

Selon **(Pacaud, 1939)** La classification de la daphnie est la suivante :

Embranchement	Arthropodes
Classe	Crustacés
Sous-classe	Brachiopodes
Ordre	Cladocera
Famille	Daphnidae
Genre	*Daphnia*
Espèce	*Daphnia magna*

1.3. Morphologie de *Daphnia magna*

Selon **Manar(2008)** , *Daphnia magna* est un micro-crustacé de taille varie entre 3 et 5 mm à l'âge adulte largement distribué dans les eaux douces non courantes des zones climatiques tempérées. La figure 1 présente un schéma d'une daphnie.

Elle est subdivisée en 2 parties : la tête et le corps.

La tête : comporte les yeux, la bouche et 2 antennes qui servent à la locomotion.

Le corps : est protégé par une carapace transparente qui est changée lors des mues. Cette carapace est terminée par une épine apicale.

Le tube digestif : traverse tout le corps de la daphnie et se termine au niveau de la griffe post-abdominale.

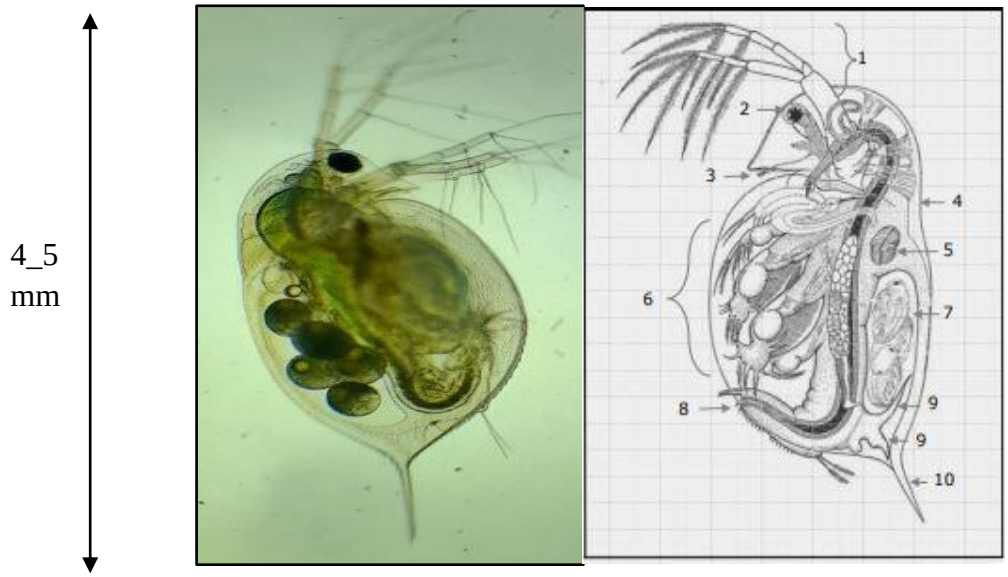
La partie ventrale : est équipée d'appendices qui filtrent le phytoplancton.

La partie dorsale : est constituée d'une cavité qui joue le rôle d'une chambre de maturation pour les œufs.

Le cœur : est situé au-dessus de la chambre de maturation. Quant aux ovaires, ils sont placés de part et d'autre de l'intestin.

Le système nerveux : est caractérisé par un ganglion cérébral, localisé entre l'œil et le début du tube digestif.

Le système circulatoire : est lacunaire et le transport de l'oxygène se fait à l'aide d'hémoglobine



a b

Figure 01 : a. Photo de Daphnia magna, femelle adulte. b. Anatomie de Daphnia

. Antennes **(1)** ; Œil **(2)** ; Antennules **(3)** ; Carapace **(4)** ; Cœur **(5)** ; Appendices Thoraciques **(6)** ; Poche incubatrice **(7)** ; Anus **(8)** ; Appendices caudaux **(9)** ; Epine apicale **(10)(d'après Ebert, 2005 in Manar, 2008) ,** modifié**.**

1.4. Nutrition et Alimentation

Daphnia magna est capable de survivre dans des milieux aquatiques riches en nutriments, notamment lors des blooms algaux, qui fournissent une abondance de glucides et de protéines. Son alimentation repose principalement sur les microalgues et les bactéries, avec une certaine préférence pour ces dernières dans certaines conditions environnementales spécifiques **(Jürgens & Matz, 2002).**

La qualité nutritionnelle de la nourriture joue un rôle essentiel dans le développement de Daphnia, influençant non seulement son taux de croissance et de reproduction, mais aussi sa résistance aux polluants présents dans son environnement **(Boeing et al., 2004 ; Martin-Creuzburg et al., 2011).** Par exemple, une alimentation à base de diatomées, qui sont riches en acides gras essentiels, permettrait aux daphnies d'être mieux armées face aux substances toxiques, comparativement à une alimentation composée uniquement d'algues vertes **(Von Elert & Martin-Creuzburg, 2006; Taipale et al.,2016).**

1.5. Reproduction

Selon les conditions du milieu la daphnie peut se reproduire en deux modes de reproduction (sexuée et asexuée) (Figure 02) :

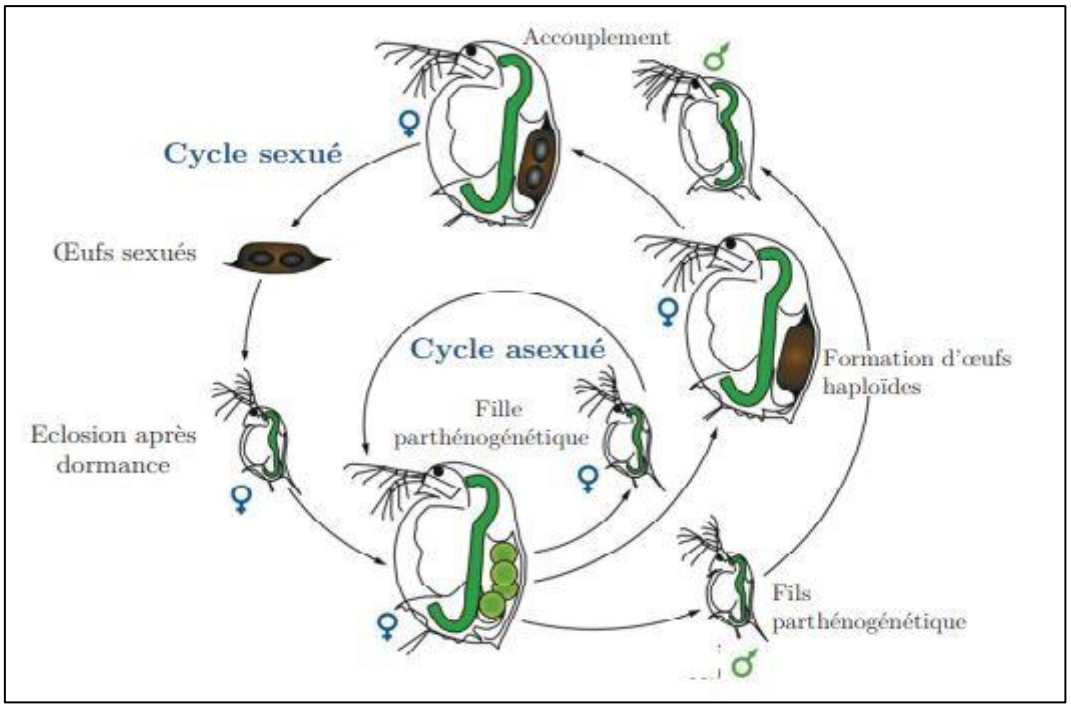


Figure 02 : Cycle de vie de D. magna **(Ebert,2005))**

- **Reproduction asexuée**

Lorsque les conditions du milieu sont favorables la reproduction des daphnies est asexuée(sans faire intervenir la fusion de deux gamètes mâle et femelle), ce qu'on appelle la reproduction par parthénogenèse D. magna donne au cours de ce type de reproduction six pontes **(Zeman, 2008)** et qui sont toutes des femelles **(Ebert, 2005)**, (Fig 3).

- **B. Reproduction sexuée**

Quand les conditions de vie deviennent défavorables (froid, manque de nourriture, stress, forte densité de population, anoxie, dystrophisation), les daphnies donnent naissance à une génération composée de deux sexes mâles et femelle. Après la fécondation, deux œufs dits «éphippie» ou œufs de durée de 200 µm (Figure 04), qui donnent naissance à une population génétiquement différente des daphnies mères composée de mâles et de femelles **(Chèvre, 2000).**

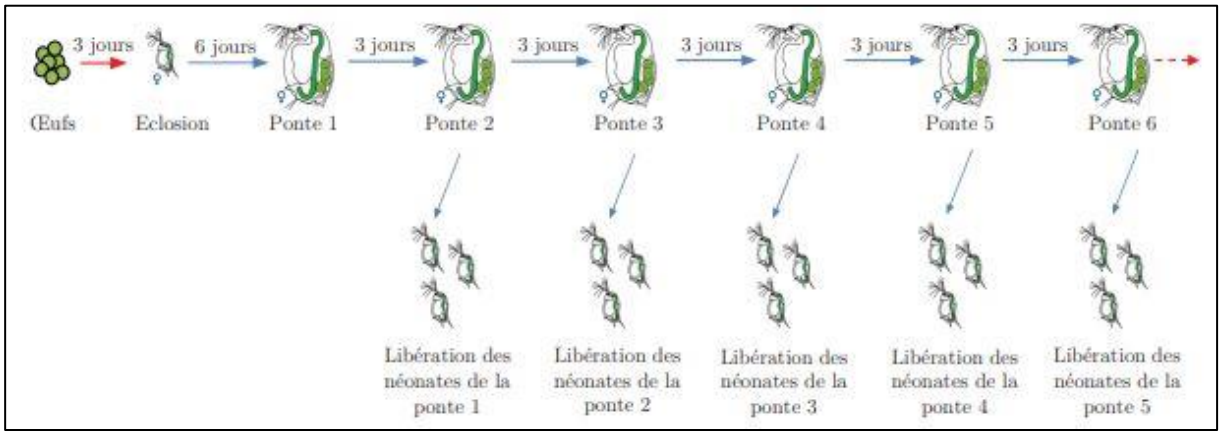


Figure 03 : Reproduction de la D. magna par parthénogénèse

(**Parisot ,2015)**

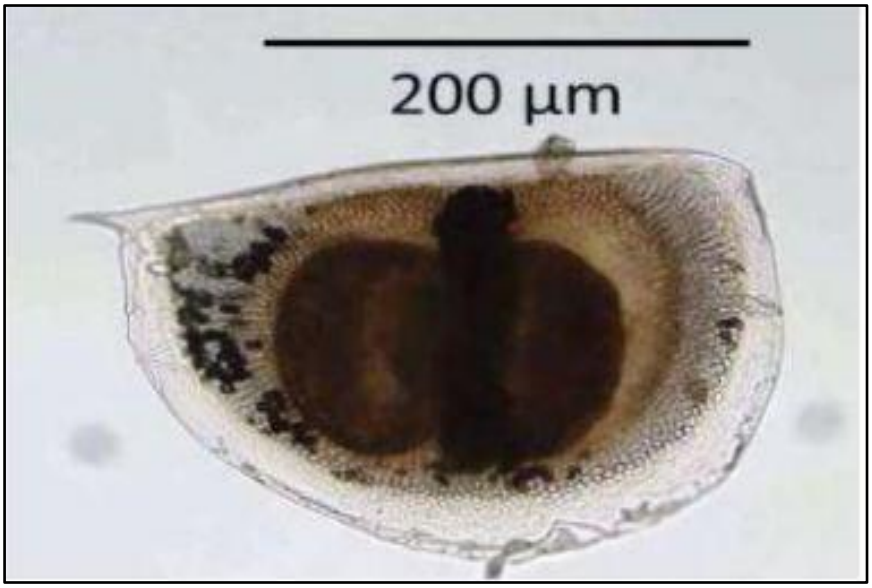


Figure04 : éphippies de D.magna

(Boehler et al., 2012).

1.6. Développement et Longévité

La longévité de la daphnie change en fonction de la température .Selon **Starke et al. (2021)** la longévité de D. magna varie considérablement avec la température : à des températures inférieures à 5 °C, les individus peuvent vivre bien au-delà de six mois, tandis qu'à des températures supérieures à 25 °C, la durée de vie diminue rapidement.L'augmentation de la température cause une augmentation de la vitesse du métabolisme. Ainsi l'animal va épuiser son énergie rapidement et meurt plus tôt **(Touati & Samraoui, 2002 ; Chakri, 2007).**

D'après **Kast-Hutcheson et al (2001) ,** les étapes du développement d'un embryon normal chez les daphnies sont divisées en 6 stades distincts (Figure 5).

Stade 1 : clivage, l'embryon est parfaitement sphérique, pas de différentiation cellulaire. Ce stade se déroule entre 0 et 15 heures.

Stade 2 : gastrulation, début de la différentiation cellulaire, présence du blastopore et l'embryon devient =asymétrique. Ce stade se déroule entre 15 et 25 heures.

Stade 3 : maturation embryonnaire précoce, la tête et l'antenne secondaire sont différenciés. Ce stade se déroule entre 25 et 35 heures.

Stade 4 : maturation embryonnaire moyenne, présence de l'œil pigmentée et développement des antennes qui restent collés à la seconde membrane embryonnaire. Ce stade se déroule entre 35 et 45 heures.

Stade 5 : maturation embryonnaire tardive, rupture de la seconde membrane embryonnaire, extension partielle de l'antenne secondaire et l'épine est pliée sous la carapace. Ce stade se déroule entre 45 et 50 heures.

Stade 6 : développement complet du nouveau-né, développement des antennules et l'épine est bien décollée de la carapace. L'organisme commence à nager .

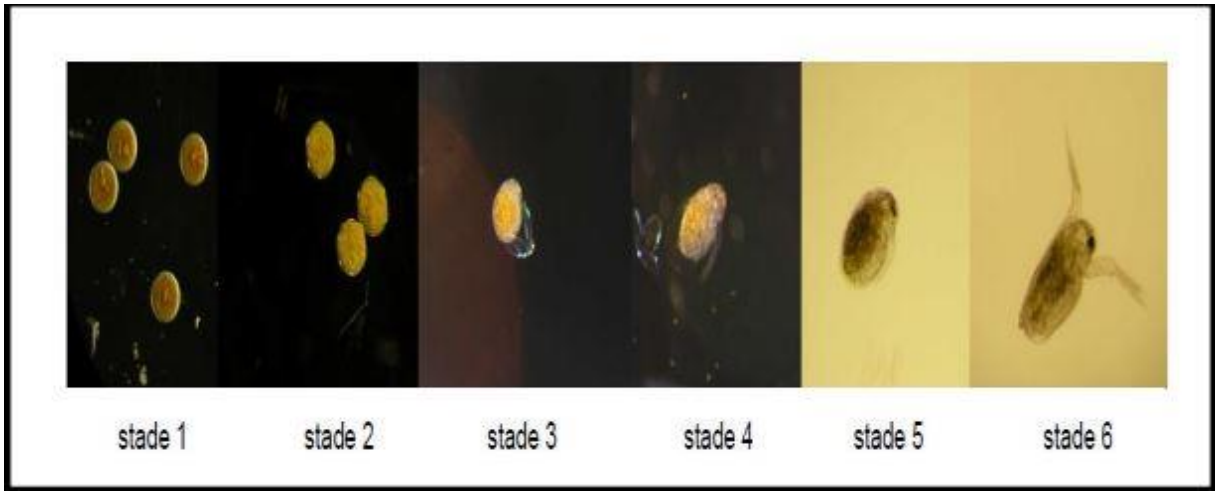


Figure 05 : Différents stades de développement embryonnaire

Chez Daphnia magna **(KastHutcheson et al, 2001).**

1.7. Différences entre les Mâles et les Femelles :

La différenciation sexuelle chez les Daphnies se produit pendant la maturation reproductive. Le sexe des Daphnies nouvellement nées peut être mieux distingué par les premières antennes plus longues des mâles, qui augmentent rapidement en taille par rapport à la taille des Daphnies pendant la maturation. **(Toumi et al. 2013)** Les mâles sont plus petits que les femelles (généralement seulement 2 mm de long alors que les femelles mesurent 3 à 5 mm de long) mais ils ont des antennes plus longues et des premiers appendices modifiés, semblables à des crochets, utilisés pour serrer les femelles pendant l'accouplement. **(Clare, 2002;Ebert, 2005;Haney, 2010) .** Les mâles évoluent de manière plus lente et ont une taille corporelle plus petite et ils restent aussi plus profondément dans la colonne d'eau **(Brewer, 1998;Spaak et Boersma, 2001)**

D'après **Brewer (1998),** les mâles de Daphnia nagent plus rapidement que les femelles, et sur un plan horizontal, orthogonal à la direction de natation dominante des femelles.

La carapace de la femelle recouvre presque entièrement le corps, tandis que celle du mâle peut varier. Le bord de la carapace antérieure sous le bouclier céphalique est entouré de soies. **(Mittmann et al. 2014)**

Les femelles montrent des signes de développement de soies (poils) sur leurs antennes, mais la fonction de ces soies n'a pas été prouvée. **(Mittmann et al. 2014)**

L'une des caractéristiques marquantes de la maturation reproductive chez les femelles est le développement de la chambre de ponte et du processus abdominal associé (Le processus abdominal forme la limite postérieure mobile de la chambre de ponte).

La première antenne des mâles et le processus abdominal des femelles ont été sélectionnés comme caractéristiques sexuelles secondaires représentatives parce qu'ils étaient distinctifs à chaque sexe et pouvaient être mesurés facilement et objectivement. **(Allen et al. 2000)**

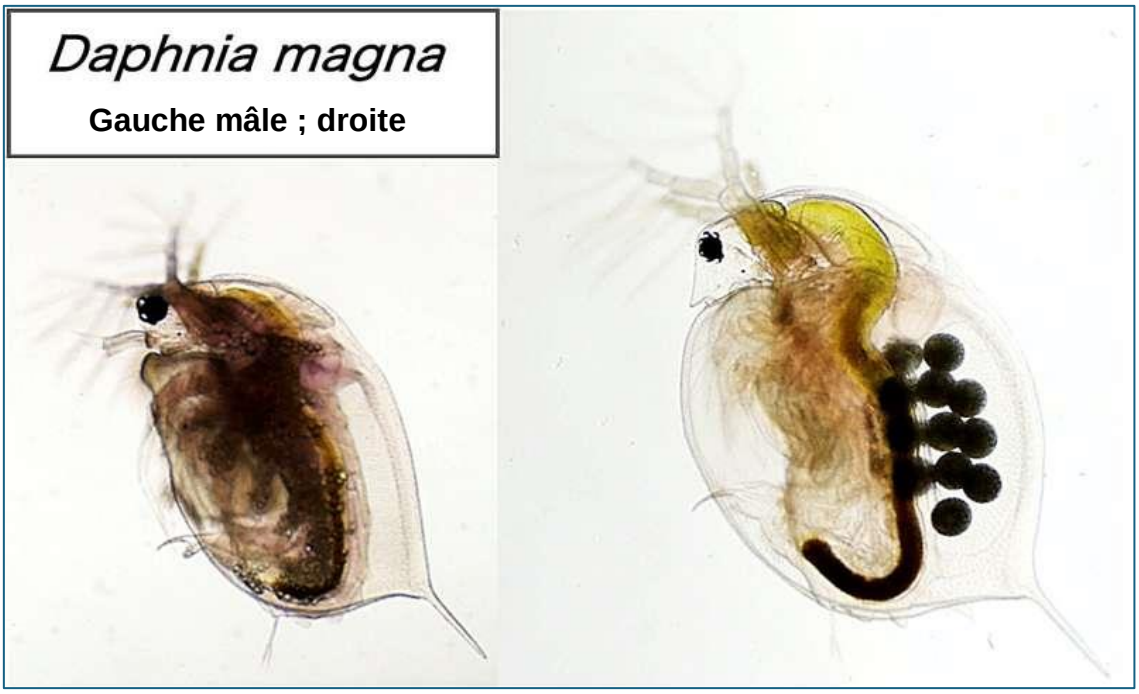


Figure 06 : Photos des deux sexes de *Daphnia magna* : le mâle et la femelle révélés **(japan Science and Technology Agency, 2024)**

1.8 Exigences physico chimiques :

Les daphnies sont des organismes d'eau douce, quelques souches sont trouvées en eau saumâtre

- **L'oxygène**

La capacité à fournir de l'hémoglobine, leur permet de survivre dans des eaux à faible teneur en oxygène(le taux d'oxygène peut varier de 0,6 mg/L à la saturation), la daphnie s'adapte à une brusque variation du taux d'oxygène dissous. Cette capacité à produire de l'hémoglobine semble également dépendre de la température et de la densité des daphnies en présence dans le milieu **(Betini et al., 2019).**

- **La température**

Selon **Amoros (1984),** La fourchette des températures n'altérant pas le cycle de vie des daphnies et elle est très importante puisqu'elle peut varier de 0 °C à 30 °C selon les espèces. La température optimale se situe entre 18 et 22 °C. *Daphnia magna* supporte mal les températures supérieures à 22 °C. Cette précision est un élément important dans le choix des souches pour les aquariophiles qui maintiennent des cultures dans des écloseries intérieures, notamment en été.

- **Les besoins alimentaires**

D.magna est adaptée à la survie dans les blooms algaux, qui sont riches en protéines et en carbohydrates, où elle se nourrie d'algues et de bactéries malgré sa préférence pour les bactéries **(Ganf, 1983 ; Hadas et al.1983).** La qualité et la quantité de la nourriture affectent la sensibilité de Daphnia aux polluants et son taux de reproduction. (**Keating et Dagbusan, 1986**) ont montré que les daphnies nourries par les diatomées sont plus tolérantes aux polluants que celles nourrie par les algues vertes seulement. Mais, en général les réserves lipidiques sont un bon indicateur des conditions de nutrition chez les daphnies **(Tessier et Goulden ; 1982**.**Holm et Shapiro, 1984**).

1.9 Ecologie générale

Selon **Döring et al. (2022)** D. magna est une espèce clé dans de nombreux habitats d'eau calme. On la trouve dans les lacs et étangs peu profonds avec des sédiments riches en matière organique. Il existe de nombreux prédateurs naturels connus pour induire des réponses phénotypiques plastiques. En présence de kairomones, Daphnia spp. Le résultat est une structure protectrice supérieure, comme une colonne vertébrale fine et une grande taille corporelle. En réponse aux différences de température, D. magna présente une plasticité phénotypique et une évolution génétique pour faire face au stress thermique causé par le réchauffement des eaux urbaines. Les populations de daphnies sont également devenues plus résistantes aux insecticides locaux. Un autre facteur qui influence la plasticité phénotypique et comportementale de D. magna est la salinité de son environnement. D. magna est un important consommateur primaire et la proie de nombreux poissons planctivores. Les autres prédateurs invertébrés sont *Macrocyclops albidus*, les larves du moucheron fantôme Chaoborus et des hémiptères (Notonecta) et des triops. La grande taille des adultes les protège de la prédation par certains invertébrés planctivores.

La distribution et l'habitat de *D.magna* est répandu dans tout l'hémisphère nord, en particulier dans l'Arctique. On la trouve dans les plans d'eau douce et d'eau salée de toutes tailles, des lacs aux étangs et aux piscines rocheuses éphémères près du bord de mer. D. magna peut tolérer des salinités plus élevées (jusqu'à un cinquième de la salinité de l'eau de mer) que la plupart des autres espèces du genre. *D.magna* vit principalement dans la zone pélagique de la colonne d'eau, car elle se nourrit principalement de particules en suspension dans la colonne d'eau (principalement des algues, mais aussi des bactéries et des détritus). Cependant, comparé aux autres espèces de *Daphnia*, on le trouve plus souvent avec le substrat, où elle est capable d'exploiter les sources de nourriture benthiques telles que le périphyton et les sédiments. D. magna a une capacité qui peut offrir un avantage concurrentiel à cette espèce par rapport aux filtreurs strictement pélagiques dans certains milieux où les sources d'aliments en suspension pourraient être limitées dans le temps.

1 .10 Répartition géographique :

Daphnia magna possède une répartition géographique mondiale puisqu'on a découvert des populations en Europe, en Russie, en Afrique, en Asie et en Amérique du nord où on la retrouve depuis le nord du Mexique jusqu'à l'océan arctique. Les environnements où peut vivre D. magna s'échelonnent depuis les milieux désertiques jusqu'aux milieux arctiques.

Gelas et meester(2005) , montrent qu'il existe relativement peu de 8 variations génétiques entre des populations de *D.magna* originaires de différents continents prouvant qu'il s'agit bien d'une seule espèce. Ainsi cette espèce cosmopolite et eurytherme est capable de s'adapter à de nombreuses niches thermiques spécifiques. **(Chopelet,2006)**

1.11 Communication et Perception :

Selon **Elenbaas (2013)**, ces puces d'eau ont un œil de contrôle qui répond aux stimuli légers, transmettent différentes longueurs d'onde de couleur et peuvent également suivre les mouvements. Elles utilisent également des repères biologiques et chimiques pour les aider à déterminer et évaluer les sources alimentaires, les caractéristiques et les prédateurs. Elles communiquent principalement à travers des canaux chimiques et visuels, et perçoivent leur environnement grâce à des signaux visuels, chimiques et tactiles

1.12 Intérêt Écotoxicologique de *Daphnia magna*

Les connaissances biologiques et physiologiques acquises chez D. magna ont contribué au choix de cette espèce comme modèle biologique de référence dans les domaines de la toxicologie et de l'écotoxicologie, en particulier, concernant la gestion des risques environnementaux liés aux produits chimiques. Aujourd'hui, *D.magna* est recommandée en tant qu'espèce standard dans différents tests d'écotoxicité **(OECD, 2008).**

Selon **Parisot. (2015)** La daphnie a une longue histoire dans l'évaluation toxicologique. Les premières études toxicologiques portant sur Daphnia magna remontent au début du 20ème siècle. Cette espèce a véritablement émergé comme un modèle biologique de référence suite à la publication de travaux intitulés « Application de *Daphnia magna* (Starus) comme animal d'essai à des fins expérimentales ». Depuis lors, l'utilisation de *Daphnia magna* dans le domaine des essais toxicologiques et écotoxicologiques n'a cessé de croître. Aujourd'hui, cette espèce représente environ 8 % de l'ensemble des données aquatiques expérimentales disponibles dans la littérature scientifique.

Selon **Ebert (2005)**, l'emploi de la daphnie comme organisme modèle est justifié par divers attributs biologiques et écologiques : sa petite taille, son cycle de vie court, sa reproduction parthénogénétique (qui permet d'obtenir des individus génétiquement identiques), sa fécondité élevée et sa sensibilité à une large gamme de produits chimiques. Ces caractéristiques font de la daphnie un organisme facile à maintenir en laboratoire et

particulièrement adapté pour évaluer les effets toxiques et génotoxiques de divers polluants sur plusieurs générations.

Grâce à ses caractéristiques distinctives, la daphnie est utilisée dans différents domaines scientifiques tels que la biologie évolutive, l'écologie, la modélisation écologique et toxicologique, la radioprotection, ainsi que la génétique et l'épigénétique. Actuellement, *Daphnia magna* fait l'objet d'un projet de séquençage complet de son génome, ce qui témoigne de son importance en recherche scientifique **(Colbourne et al 2011).** La transversalité de ces thématiques contribue à une meilleure compréhension des mécanismes de toxicité à différentes échelles (moléculaire, cellulaire, individuelle et populationnelle) chez *Daphnia magna*. **(Ebert, 2005)**

1.13. L'importance de Daphnia magna

Daphnia magna joue un rôle crucial dans les écosystèmes aquatiques. Voici quelques fonctions de cette espèce :

1.13.1. Chaîne trophique

Daphnia magna occupe une position centrale dans la chaine alimentaire aquatique. Elle se nourrit de phytoplancton et de détritus organiques, servant de lien entre les producteurs primaires (algues) et les consommateurs secondaires (poissons, invertébrés prédateurs) **(Lampert,2006)**

- **Régulation des blooms algaux**

En consommant du phytoplancton, *Daphnia magna* contribue à réguler la croissance excessive des algues, prévenant ainsi les phénomènes d'eutrophisation. **(Sarnelle, 1992)**

- **Recyclage des nutriments**

Par son role de filtration, *Daphnia magna* contribue au recyclage des nutriments (azote, phosphore) dans les écosystèmes aquatiques, favorisant ainsi la productivité primaire. **(Sterner & Elser,2002).**

1.13. 2. Bioindicateur en écotoxicologie

Daphnia magna est largement utilisée comme organisme modèle pour évaluer la qualité de l'eau et la toxicité des polluants. Ses avantages incluent :

- **Sensibilité aux polluants**

Daphnia magna réagit rapidement aux changements de qualité de l'eau, ce qui en fait un excellent bioindicateur pour détecter la présence de contaminants chimiques (métaux lourds, pesticides, etc.). **(OCDE ,2004).**

- **Tests standardisés**

Des protocoles internationaux (comme ceux de l'OCDE) utilisent Daphnia magna pour évaluer la toxicité aiguë et chronique des substances chimiques. **(EPA ,2002).**

- **Facilité d'élevage :**

Son cycle de vie court et sa reproduction asexuée (parthénogenèse) en font un organisme facile à cultiver en laboratoire pour des tests écotoxicologiques. **(Ebert,2005).**

1.13.3. Contribution à la recherche scientifique

Daphnia magna est un modèle biologique important pour étudier :

- **Les interactions prédateur-proie :**

Elle permet d'étudier les dynamiques des populations et les stratégies d'adaptation face aux prédateurs. : **(Tollrian & Harvell,1999).**

- **La réponse au stress environnemental**

Daphnia magna est utilisée pour comprendre les mécanismes de réponse au stress (changements de température, acidification, pollution). **(Colbourne et al ,2011)**

- **La génomique et l'évolution**

Le génome de *Daphnia magna* a été séquencé, offrant des insights sur l'évolution et l'adaptation aux environnements changeants. **(Orsini et al,2016)**

1.13.4. Implications pour la gestion des écosystèmes

- **Surveillance de la qualité de l'eau**

Daphnia magna est utilisée dans les programmes de surveillance environnementale pour évaluer l'impact des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. **(Schamphelaere& Janssen,2004).**

- **Restauration des écosystèmes**

La présence de Daphnia magna est souvent un indicateur de la santé des écosystèmes aquatiques et peut guider les efforts de restauration. **(Schamphelaere& Janssen,2004).**

1.14. Toxicité aiguë et toxicite chronique du chlorure de sodium (NaCl) sur *Daphnia magna*

Selon **Bensakhria (2018),** La toxicité chronique regroupe l'ensemble des effets délétères qui touchent un organisme vivant suite à une exposition ou à une administration réitérée d'un toxique à des doses multiples non létales. Ces doses, individuellement, sont insuffisantes pour provoquer un effet immédiat. L'exposition doit être répétée sur une longue période pour causer des effets néfastes.

La toxicité aiguë est définie comme la capacité d'un agent chimique à provoquer un effet nocif en un court laps de temps après une exposition unique ou de courte durée **(Ineris. s.d.)**

Tableau 01 : Comparaison entre toxicité aiguë et chronique(Gauthier et al 2005).

Toxicité aiguë	**Toxicité chronique**
Effets rapides à forte concentration	Effets lents mais persistants à faible concentration.
Déshydratation osmotique sévère	Perturbation de la reproduction et de la croissance.
Risques immédiats	Risques pour les dynamiques de population

CHAPITRE II : LA SALINITE

1.1 Définition de la salinité de l'eau

La salinité désigne la concentration totale en sels dissous dans l'eau, principalement des ions comme le sodium (Na^+), le chlorure (Cl^-), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}) et le sulfate (SO_4^{2-}). Elle s'exprime généralement en grammes de sels par kilogramme d'eau (g/kg) ou en pour mille (‰). La salinité moyenne de l'eau de mer est d'environ 35 ‰. Cette mesure, bien que standardisée, peut varier selon les conditions climatiques, l'évaporation, les apports d'eau douce ou l'activité humaine. La salinité influence fortement les propriétés physiques et biologiques de l'eau, telles que la densité, la conductivité électrique ou la pression osmotique **(Millero, 2013).**

1.2 Origines de la salinité de l'eau

Selon **Benfatma (2017),** la salinisation des sols est un processus anthropogénique, alors que la salinité du sol est un élément naturel et un facteur écologique constitué par la teneur en sel (NaCl : représente un facteur limitant de première importance car, au-delà d'environ 5 pour 1 000, il interdit le développement des plantes) des eaux ou des sols. C'est un facteur limitant de nombreux écosystèmes. L'excès de sel dans les sols empêche le développement d'une végétation normale, seules quelques plantes halophiles pouvant y croître. À l'opposé, la carence en sel des sols peut entraver le développement de certaines populations animales.

On a ainsi pu mettre en évidence que la déficience en chlorure de sodium édaphique s'accompagnait de très faibles densités de population de campagnols dans les prairies naturelles. **(Ramade, 2008).** La salinisation est contrôlée par un ensemble de facteurs liés aux conditions environnementales (climat, hydrologie), l'approvisionnement en eau et aux systèmes de contrôle (irrigation, drainage), et aux pratiques culturales (type et la densité du couvert végétal et les caractéristiques d'enracinement). Ces facteurs influent sur l'équilibre en eau du sol et donc le mouvement et l'accumulation de sels dans le sol. Les études **d'Abrol (1988)** sur la remontée des sels ont distingué que l'infiltration des eaux est plus fréquente le long des canaux d'irrigation, à proximité des réservoirs d'eau et les étangs de ferme, ce qui provoque la formation des croûtes de sel dans et autour des plantes. En collaboration avec l'excédent de l'eau d'irrigation appliquée au-dessus des besoins de cultures, et les mauvais entretiens des voies de drainage et les suintements contribuent à l'élévation de niveau de l'eau et qui peuvent former une nappe perchée.

1.3. Le chlorure de sodium (Na Cl)

Selon **Millero (2013),** Le chlorure de sodium, plus connu sous le nom de sel de table, est l'un des composants principaux de la salinité de l'eau. Sur le plan chimique, il est constitué de 40% de sodium (Na^+) et de 60 % de chlore (Cl^-). Une fois dissous dans l'eau, ces deux éléments se dissocient et circulent sous forme d'ions libres. Bien que le chlorure de sodium soit prédominant, il n'est pas le seul contributeur à la salinité : plus de 60 des 92 éléments du tableau périodique peuvent participer, à divers degrés, à la composition ionique de l'eau

Ces éléments proviennent de la dissolution des roches, des apports atmosphériques ou des activités humaines, formant ensemble ce que l'on nomme la **salinité totale**. À l'état solide, le chlorure de sodium forme une structure cristalline reconnaissable sous forme de cristaux blancs.

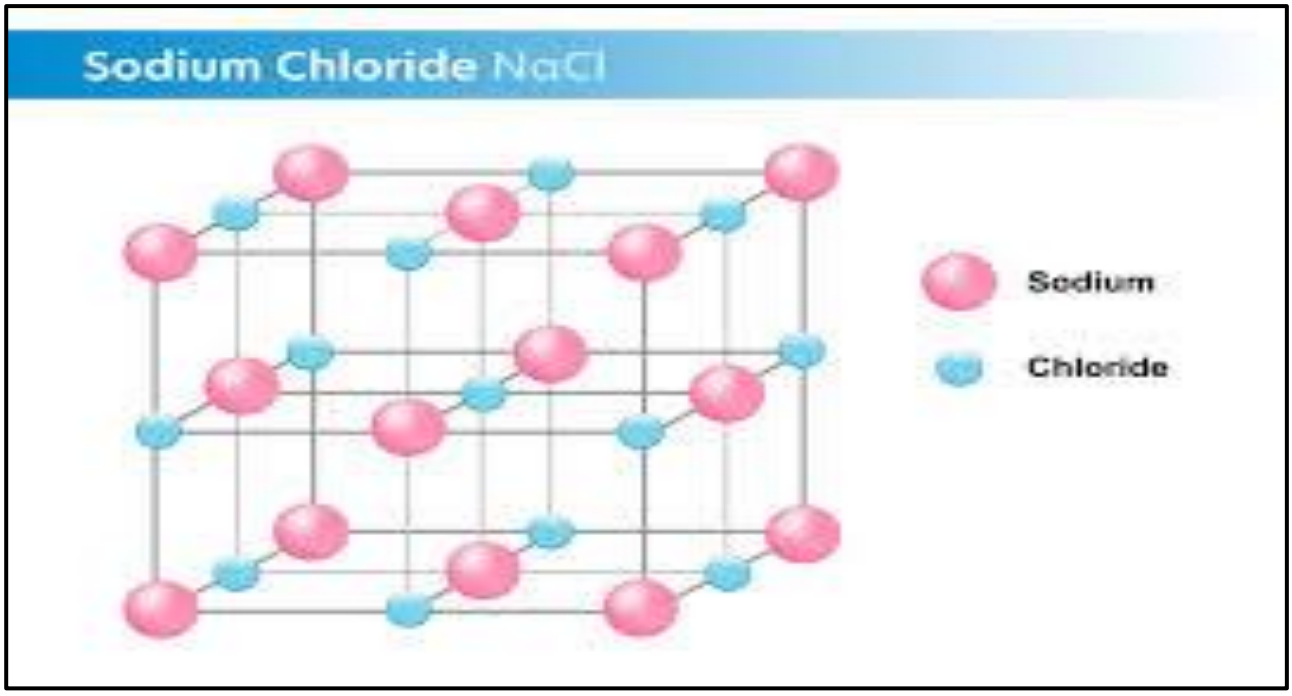


Figure 07 : structure chimique da la molécule de chlorure de sodium **(pamai s.d.)**

Tableau 02 : Structure chimique du chlorure de sodium (NaCl) (Gupta, 2018).

Propriété	Détail
Nom IUPAC	Chlorure de sodium
Formule chimique	NaCl
Autres noms	Sel de cuisine, sel gemme
Type de liaison	Liaison ionique
État à température ambiante	Solide cristallin
Structure cristalline	Cubique à faces centrées (type halite)
Arrangement 3D	Chaque ion Na^+ est entouré de 6 ions Cl^- et vice versa
Réseau cristallin	Cubique
Masse molaire	58,44 g/mol
Point de fusion	801 °C
Point d'ébullition	1 465 °C
Densité	2,17 g/cm³
Solubilité dans l'eau	Très soluble (359 g/L à 25 °C)
Couleur	Blanc
Odeur	Inodore
Conductivité électrique	Solide : non conductrice ; en solution ou fondu : conductrice
Chaleur spécifique	Environ 0,854 J/g·K
Conductivité thermique	7,5 W/m·K
Stabilité	Stable dans les conditions normales
Réactivité	Réagit avec acides forts ou ions spécifiques
Réaction de formation	$2Na\ (s) + Cl_2\ (g) \rightarrow 2NaCl\ (s)$
Toxicité	Faible à modérée selon la dose
Numéro CAS	7647-14-5
Classification GHS	Non dangereux
Applications	Additif alimentaire, dégivrage, industrie chimique, médical, conservation

1.4. Classification des eaux selon la salinité

La salinité permet de distinguer différents types d'eaux en fonction de la concentration en sels dissous. On définit généralement trois catégories :

- **Eau douce** : avec une salinité inférieure à 1 g/L, elle correspond aux eaux continentales, telles que les rivières, les lacs et les nappes phréatiques. L'eau douce représente environ 2,5 % de l'eau totale sur Terre, essentielle pour la consommation humaine et l'agriculture **(Gleick, 2003).**
- **Eau saumâtre** : il s'agit d'eaux de transition dont la salinité varie entre 1 et 10 g/L. Elles se situent souvent dans les zones estuariennes, où l'eau douce rencontre l'eau salée, et jouent un rôle écologique important **(Bricker et al., 2007).**
- **Eau salée** : cette catégorie regroupe toutes les eaux avec une salinité supérieure à 10 g/L, notamment les océans et les mers, qui constituent la majorité de l'hydrosphère (environ 97,5 %). Le chlorure de sodium (NaCl) y est le sel majoritaire **(Millero, 2013)**

1.5. Facteurs influençant la salinité de l'eau

- **Facteurs physico-chimiques influençant la salinité**

Selon **Boutemine (2013)** , le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes ioniques ou moléculaires selon la nature du solvant et les conditions physico-chimiques du milieu.

- **Facteurs liés à l'irrigation et aux pratiques agricoles**

Selon **Tahraoui (2019),** Parmi les facteurs qui peuvent entraîner une augmentation de la salinité du sol, on retrouve l'utilisation d'engrais minéraux ainsi que l'irrigation avec une eau chargée en sels. Même si la fertilisation à base de phosphore et d'azote est essentielle pour le développement des plantes, elle peut, à long terme, contribuer à l'accumulation de sels dans le profil du sol, surtout en cas de mauvaise gestion de l'irrigation ou d'absence de drainage efficace.

1.6.L'effet du sel sur les propriétés de l'eau

Selon **Beisel et al (2011),** le sel dissous a une grande capacité de modifier certaines propriétés habituelles de l'eau , telle que :

- Dissolution : l'eau salée a une moins grande capacité de dissolution que l'eau douce
- Densité : l'eau salée est plus dense que l'eau douce, c'est-à-dire que sa masse volumique est plus grande que celle de l'eau douce.
- Congélation : le point de congélation de l'eau salée est plus bas que celui de l'eau douce (-1,9°C au lieu de 0°C), tandis que son point d'ébullition est plus élevé (101,5°C au lieu de 100°C).
- Conductivité : l'eau salée est plus conductrice d'électricité.

1.7. Effets de la salinité sur les écosystèmes aquatiques

Il est reconnu que la richesse écologique constitue un bon indicateur de la qualité des écosystèmes aquatiques, et ce, depuis les années 1990. De nombreuses études ont été menées afin de déterminer le seuil à partir duquel la salinité commence à avoir un impact mesurable sur les communautés d'eau douce. Toutefois, les résultats obtenus restent parfois contradictoires. Une tendance générale se dégage néanmoins : plus la salinité augmente, plus la diversité de la faune aquatique diminue (Figure 08) **(Hart et al**,**1991**).

selon **Hart et al. (1991**), les communautés biologiques les plus sensibles à la salinisation des rivières sont principalement les macro-invertébrés et les plantes aquatiques. Ils estiment que les effets néfastes commencent à apparaître dès une concentration d'environ 1 g/L. De leur côté, **Beisel et al. (2011)** précisent que ces effets négatifs ne se traduisent pas toujours immédiatement par la mort des organismes, bien que celle-ci devienne inévitable lorsque les niveaux de salinité deviennent trop élevés. Il faut rappeler que certains ions, tout comme certains métaux lourds tels que le cuivre ou le zinc, sont nécessaires à la vie, mais peuvent devenir toxiques dès que leurs concentrations dépassent les seuils tolérés par les espèces (Figure 03) .

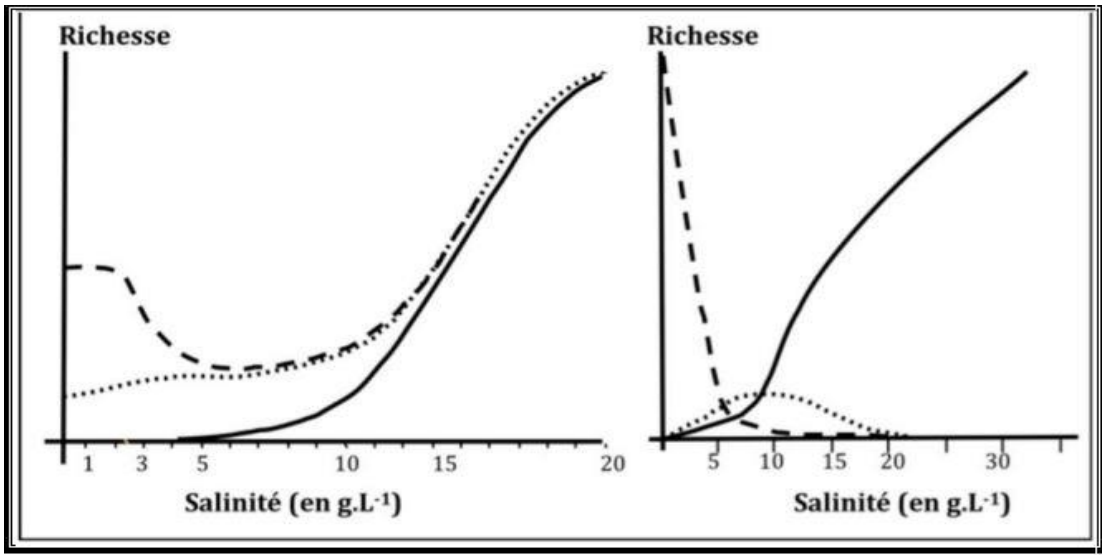


Figure 08 : La richesse en espèces : d'eaux douce (- -), d'eaux saumâtre (..) et marines (─) en fonction de la salinité d'après Mordukai. **(1964) (àdroite) et (àgauche) Remane. (1934)**

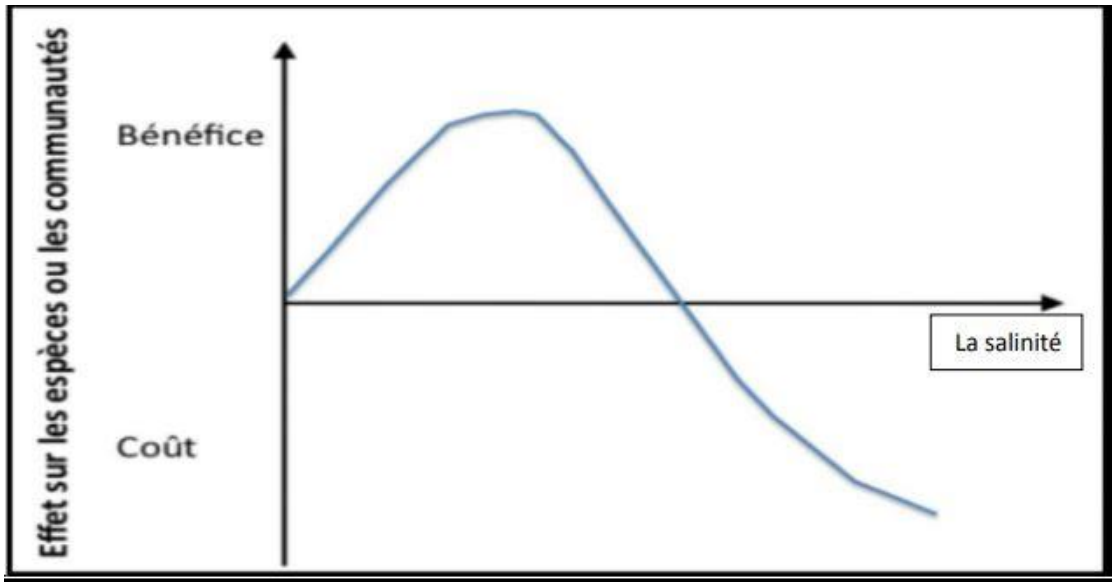


Figure 09 : L'effet général de la salinisation sur les communautés **(Modifié de Hart et al. 1990)**

CHAPITRE III : Matériel et méthodes

3.1. Matériel

3.1.1. Matériel biologique (bio indicateur)

Dans le cadre de cette étude, l'espèce la plus utilisée est *Daphnia magna* qui fait l'objet d'un test normalisé par l'AFNOR(2009),. Ce micro crustacé été recommandé en tant qu'espèce modèle dans différents bio essais standardisés pour évaluer les risques chimiques [ISO 6341, 1996]. Lorsque les conditions sont favorables la population des daphnies compose uniquement de femelles qui pondent des œufs parthénogénétiques et on constate que l'apparition d'éphippies (reproduction par voie sexuée) quand les conditions deviennent défavorables. Ce modèle biologique a été choisi pour les tests écotoxicologiques parce qu'elle présente plusieurs vertus :

- Leur mode de reproduction (par parthénogenèse) assure une population stable génétiquement. L'élevage de la population de *Daphnia magna* est facile.
- Fécondité régulière et importante de juvéniles utilisés pour les tests. Leur taille est relativement petite.
- Joue un rôle très important dans l'écosystème aquatique (consommateurs primaires).

3.2. Matériel expérimental



Aquarium en verre.



Un microscope.



Pompe et diffuseur d'oxygène.



Tubes à essais

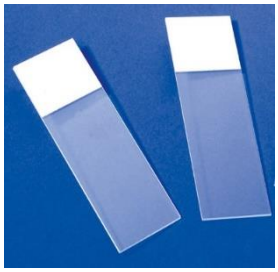


Boites de pétrie

Pipette



Bécher 100ml



Lames



Thermomètre



Loupe de précision



Chlorure de sodium



Balance

3.3. Méthodes

Ce travail a été réalisé au niveau de laboratoire du département de Biologie –Écologie. Il vise à étudier les effets de la salinité par le chlorure de sodium (Na Cl) sur les paramètres de cycle de vie de D. magna pendant une période de 14 jours (test chronique)

3.3.1. Culture de Daphnia magna

L'élevage de la population a été initié par des daphnies prélevées à partir d'une ferme aquacole dans la commune de Benchicao, à 20 km à l'est de wilaya de Médéa mises dans un aquarium remplis au 2/3 de leur hauteur avec l'eau minérale et l'eau de pluie. L'aquarium est équipé par une pompe qui diffuse l'oxygène nécessaire pour la croissance de ces daphnies . L'élevage est effectué dans une chambre de culture qui assure une température fixée ‡ 20 ± 22°C et une photopériode de 16 heures d'éclairage et 8 heures d'obscurité.

Le milieu d'élevage utilisé est une eau minérale diluée constituée de 80% d'eau minérale Saida et de 20% d'eau de pluie

Cet élevage est entretenu par un régime constitué de l'extrait de l'épinard (Beta vulgari smaritima), **(Touati et Samraoui, 2002)**

3.2.2. Préparation de l'infusion de l'épinard

Une boite de 1kg d'épinard lavée, découpée et bouillie dans un litre d'eau de robinet, l'infusion est filtrée dans une bouteille, et conservé dans le réfrigérateur à 4 °C et sera utilisé ultérieurement. **(Chakri et al, 2010)**

3.2.3. Mode opératoire

Dans notre travail nous avons adopté un test parmi plusieurs en écotoxicologie, qui est le test chronique ou test à long terme, un essai de reproduction sur 14 jours, qui consiste à évaluer l'effet de notre substance chimiques sur la capacité reproductive de D. magna **(OECD, 1998).** Les jeunes femelles de D. magna âgées de moins 24 heures au début de l'essai sont exposées à différente concentration de Na Cl (témoin :0,1-2.7-3.21-3.98 mg/l de Na Cl). Après avoir mis individuellement les juvéniles de D. magna dans des tubes a essai de 30 ml. On utilise trois 3 répliquas pour chaque concentration

Les daphnies obtenues pendant le test sont observées et mesurés. La longueur des daphnies (du haut de la tête jusqu'à la base de son épine apicale) est mesurée par un

micromètre. Le sexe et la morphologie des nouveau-nés sont observés par microscope. Le sexe ratio est défini comme le pourcentage du nombre total des males divisé par le nombre total des juvéniles.

Les paramètres exploites sont :

I. Effet du NaCl sur la survie

_ L'effet de NaCl sur la survie

_ La longévité (la moyenne en nombre de jours pendant laquelle les mères sont restées en vie sur la durée du test)

II. Effet du NaCl sur la croissance

_ Taille des femelles adultes à la première ponte (mm)

_ Taille des femelles adultes à la deuxième ponte (mm)

_ Taille des femelles à la fin du test

_ Poids des femelles à la fin du test

III. Effet du Na Cl sur la reproduction

_ Âge à la maturité

_ Âge à la première ponte

_ Intervalle de ponte (moyenne en jours)

_ Nombre de pontes par mère durant le test de 14 jours

_ Taille des juvéniles à la première ponte (nouveau-nés) en mm

_ Taille des juvéniles à la deuxième ponte (nouveau-nés) en mm

_ La grandeur de ponte (nombre moyen des petits cumulés par mère à la fin du test)

_ Comparaison entre la 1ère et la 2ème ponte

_sexe ratio



Figure 10 : Etape d'un test chronique en cours de la réalisation.

3.2.4. Analyses statistiques

Pour chaque paramètre, nous avons calculé la moyenne et l'écart type. Nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal Walis à la place de l'ANOVA pour tester l'impact de la salinité sur les paramètres de cycle de vie de D. magna. La différence significative est établie à$P<0,05$.

Chapitre IV : Résultats

1.1. L'effet du NaCl sur la survie de *Daphnia magna*

1.1.1 L'effet de NaCl sur la survie

La figure 11 illustre l'effet de différentes concentrations de NaCl sur le taux de survie (%) chez *Daphnia*. Les moyennes de survie sont relativement similaires autour de 50±57,74 % pour le témoin, et les concentrations 2,7 g/L et 3,21 g/L**.** La survie chute à 0% pour la troisième concentration 3 ,98g/L indiquant une intolérance pour *Daphnia* à ce niveau de salinité. Selon **Barcelo (2017),** l'augmentation de la salinité peut entraîner une réduction marquée de la survie chez les organismes aquatiques, notamment à des concentrations élevées de NaCl. L'analyse des données ne révèle pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements et le témoin ($p > 0,05$), suggérant que l'effet du NaCl n'est pas marqué

1.1.2L'effet de NaCl sur la longévité

Selon la figure 12 qui évalue l'effet du NaCl sur la longévité de *Daphnia magna,* les individus témoins présentent une durée de vie moyenne de 12±3,37 jours. Cette durée reste relativement stable aux concentrations de 2,7 g/L et 3,21 g/L, respectivement de 11,57±2,63 jours et 11,5±2,89 jours, ce qui suggère une certaine tolérance de l'espèce à ces niveaux de salinité. Cependant, à une concentration de 3,98 g/L, une légère diminution de la longévité est observée, avec une moyenne d'environ 10±2,22 jours. Cela pourrait indiquer que cette concentration atteint un seuil critique affectant la survie. Selon l'étude de **Martínez-Jerónimo (2012),** une salinité excessive perturbe l'homéostasie osmotique de *Daphnia magna,* entraînant une altération des fonctions physiologiques vitales, ce qui peut réduire leur espérance de vie. Les analyses statistiques ne révèlent pas une différence significative entre le témoin et les groupes traités avec le NaCl ($p < 0,05$)

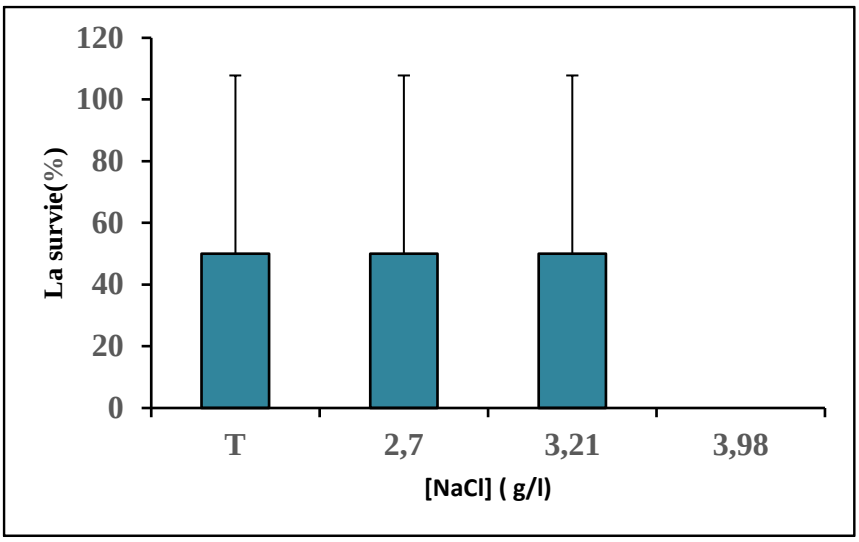


Figure 11 : Variation de l'effet la salinité du NaCl
Sur le taux de survie de *Daphnia magna.*

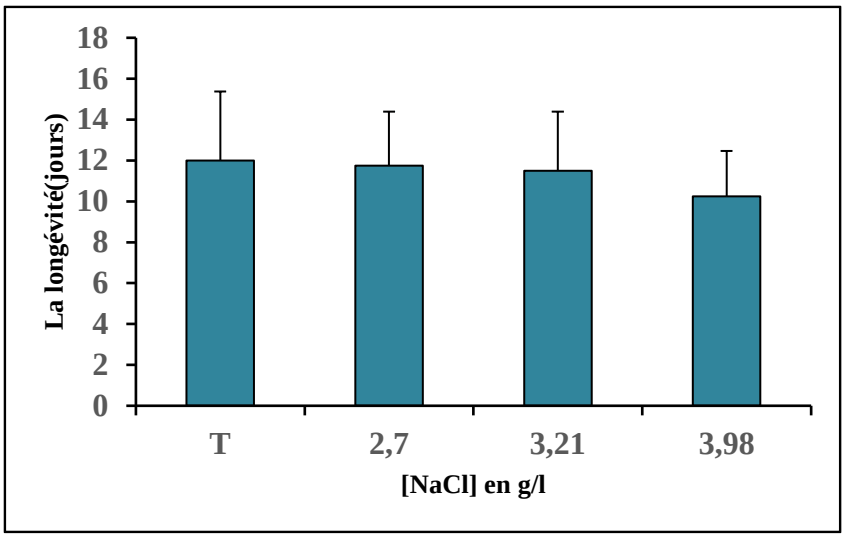


Figure 12: Variation de l'effet la salinité du NaCl
Sur la longévité de *Daphnia magna.*

1.2. L'effet de du NaCl sur la croissance

1.2.1 L'effet de NaCl sur la taille des femelles adultes à la première ponte

La figure 13 met en évidence l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la taille moyenne des femelles de *Daphnia magna* à la première ponte. Les résultats montrent que la taille est maximale chez le témoin 2,5±0,41 mm, puis diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration en NaCl. À 2,7 g/L, la taille moyenne des femelles chute légèrement à 2,13±0,12 mm et cette tendance se poursuit à 3,21 g/L de (2±0 mm). Cependant la valeur la plus faible est observée à 3,98 g/L (1,65±0,21 mm), indiquant une diminution notable par rapport au témoin . Ce constat rejoint les travaux de **Barata et al , (2008)** qui ont montré que l'exposition à des sels peut perturber la régulation osmotique et détourner l'énergie vers la survie plutôt que vers la croissance. Les résultats indiquent que les effets des concentrations de NaCl testées sur *Daphnia magna* ne diffèrent pas de manière significative de ceux observés chez le témoin ($p > 0,05$), suggérant une absence d'impact statistiquement prouvé aux concentrations utilisées.

1.2.2L'effet de NaCl sur la taille des femelles adultes à la deuxième ponte

La figure 14 illustre l'effet de différentes concentrations de NaCl sur la taille des femelles à la deuxième ponte. Il apparaît que la taille moyenne est plus élevée chez le témoin(0,1g/L), atteignant 1,5±1,73 mm . À partir de la concentration de 2,7 g/L, on observe une diminution progressive de la taille moyenne des femelles (1,05±1,22 mm,) et cette tendance se poursuit pour les concentrations 3,21 g/L (1,03±1,18mm) et 3,98 g/L (0,95±1,1mm) , Selon **Barcelo (2017),** la salinité accrue peut perturber le métabolisme et la croissance chez les espèces aquatiques sensibles, ce qui pourrait expliquer la réduction apparente de la taille des femelles observée dans cette étude. La comparaison des données ne met pas en évidence de différence significative entre le groupe témoin et les traitements au NaCl ($p > 0,05$), ce qui indique que les différences observées ne sont pas statistiquement concluantes.

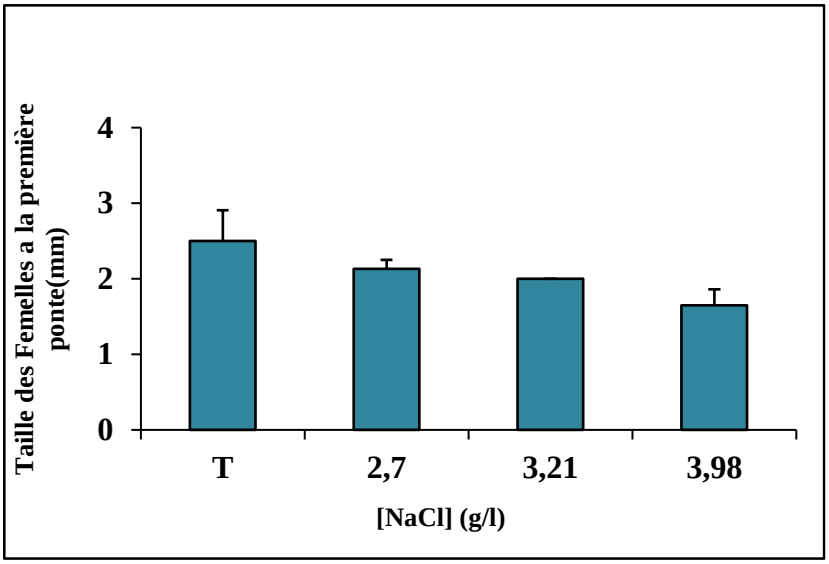


Figure 13 : Variation de la taille des femelles adultes à la 1ere ponte chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

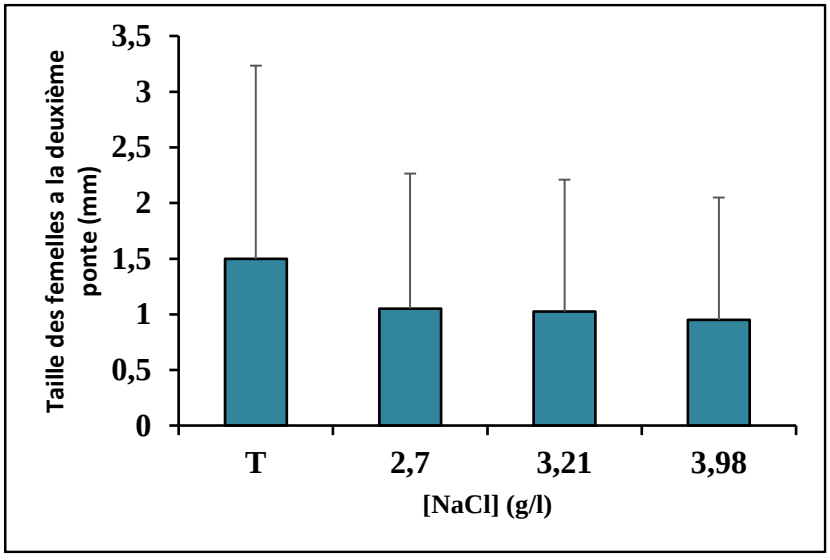


Figure 14 : Variation de la taille des femelles adultes à la 2eme ponte chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

1.2.3L'effet de NaCl sur la Taille des femelles à la fin du test

La figure 15 met en évidence l'effet de différentes concentrations de NaCl sur la taille finale des femelles de *Daphnia magna*. Les résultats montrent que la taille moyenne des femelles diminue légèrement avec l'augmentation de la concentration en sel. Le témoin (0 ;1g/L) présente une taille moyenne de 1,68±1,94 mm qui est supérieure à celle des concentrations 2,7 g/L et et mm et 3,21 g/L respectivement de1,3±1,5 mm 1,18±1,36 mm . Cependant aucune valeur de taille moyenne des femelles a la fin du test n'est relevépour la concentration 3,98 g/L.vu la mortalité de ces femelles entre le 8eme et le 13 jours a la fin du test. Selon **Roux (2017),** un environnement salin limite l'absorption d'éléments essentiels, ralentissant ainsi la croissance des organismes aquatiques. L'analyse des données ne révèle aucune différence statistiquement significative entre les différents traitements et le témoin ($p > 0,05$), ce qui suggère que le NaCl, aux concentrations testées, n'a pas eu d'effet marqué sur l'espèce étudiée.

1.2.4 L'effet de NaCl sur Poids des femelles à la fin du test

La figure 06 montre la variation du poids moyen des femelles *Daphnia magna* à la fin de l'exposition au NaCl. Une diminution progressive est observée entre le témoin, avec une valeur moyenne de 0,06±0,08 mg, et les concentrations croissantes de 2,7 g/L et 3,21 g/L, qui présentent respectivement des poids moyens de 0,04±0,06 mg et 0,02±0,03 mg. À la concentration maximale de 3,98 g/L, le poids est nul, indiquant une absence totale de survie ou de développement. Cette chute marquée pourrait refléter un effet toxique accru du NaCl sur la croissance et la survie des femelles. D'après **Lefèvre (2018),** un stress osmotique important peut perturber l'équilibre métabolique des organismes aquatiques, inhibant leur développement normal et réduisant considérablement leur masse corporelle. Les tests statistiques n'ont pas mis en évidence de divergence significative des réponses biologiques entre le témoin et les organismes exposés aux différentes concentrations de NaCl ($p > 0,05$), indiquant une réponse biologique similaire entre les groupes.

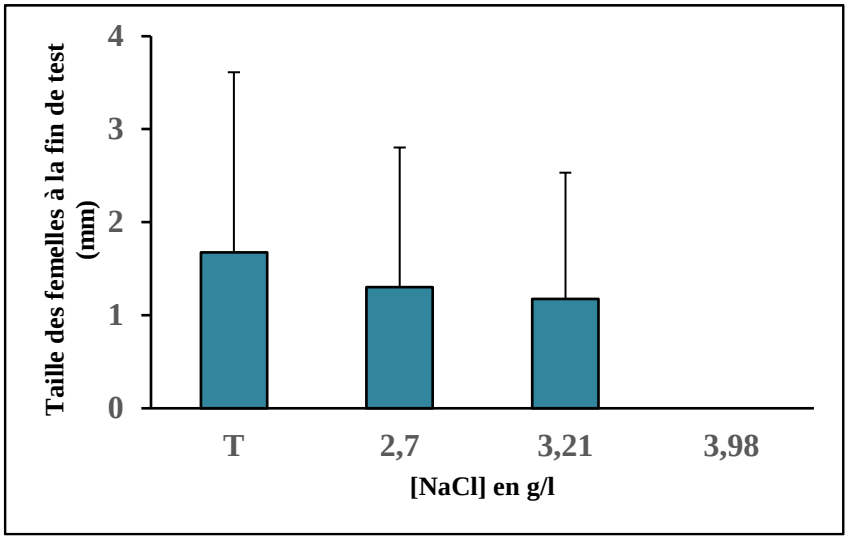


Figure 15 : Variation de la taille des femelles adultes à la fin de test Chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

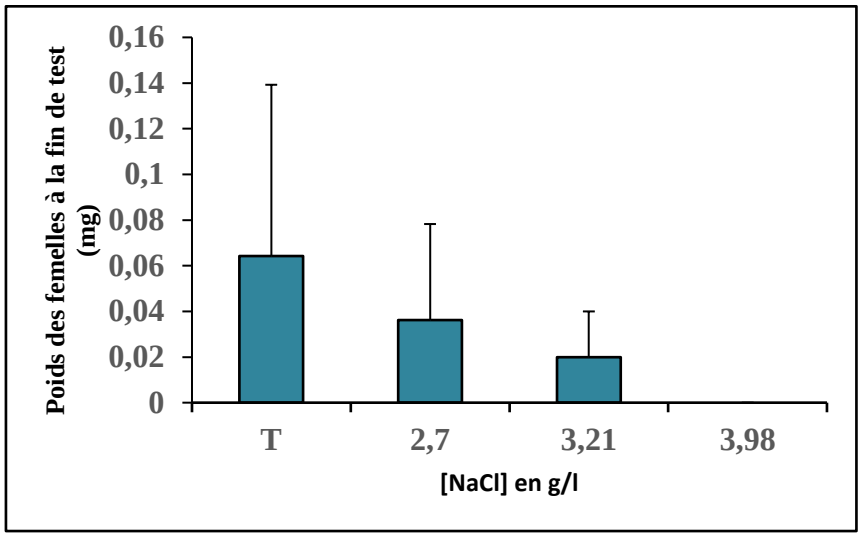


Figure 16 : Variation de poids des femelles adultes à la fin de test Chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

1.3. Effet du Na Cl sur la reproduction

1.3.1L'effet de NaCl sur l'Age à la maturité

La figure 17 présente l'influence du NaCl sur l'âge moyen de maturité de *Daphnia magna*. On observe une augmentation progressive de l'âge de maturité avec l'élévation de la concentration en sel. Le témoin (0 ;1g/L) et la concentration de 2,7 g/L affichent des âges identiques 6±0 jours. Tandis qu'à 3,21g/L est de 6,5±0,58 jours. Concernant la troisième concentration l'âge moyen atteint est de 7,5±1 jours. Selon **Delcourt (2018),** une salinité accrue peut allonger le cycle de développement des daphnies, en réduisant la disponibilité énergétique pour la reproduction. Une différence hautement significative a été observée entre le témoin et les autres concentrations de NaCl sur *daphnia magna* ($p < 0,05$).

1.3.2L'effet de NaCl sur l'Age de la première ponte

La figure 18 illustre l'effet des différentes concentrations de NaCl sur l'âge moyen à la première ponte chez *Daphnia magna*. Les résultats montrent que l'âge moyen à la première ponte reste relativement stable entre le témoin et les concentrations de 2,7 g/L et 3,21 g/L, avec des valeurs respectives de 7,5 ± 0,3 jours, 7,3 ± 0,4 jours et 7,4 ± 0,5 jours. Pour la concentration la plus élevée (3,98 g/L), un léger retard est observé de l'âge moyen atteignant 7,8 ± 0,6 jours. Cette variation reste toutefois modérée. Selon **Gonçalves et al. (2007),** une exposition chronique à des concentrations élevées de NaCl peut entraîner un retard dans la maturité sexuelle chez *Daphnia magna*, en raison du stress osmotique affectant les processus physiologiques liés à la reproduction. Les analyses statistiques **ne révèlent pas de différence significative** entre le témoin et les groupes traités par le NaCl ($p > 0,05$), ce qui suggère que les traitements n'ont pas induit de variation notable sur les paramètres mesurés.

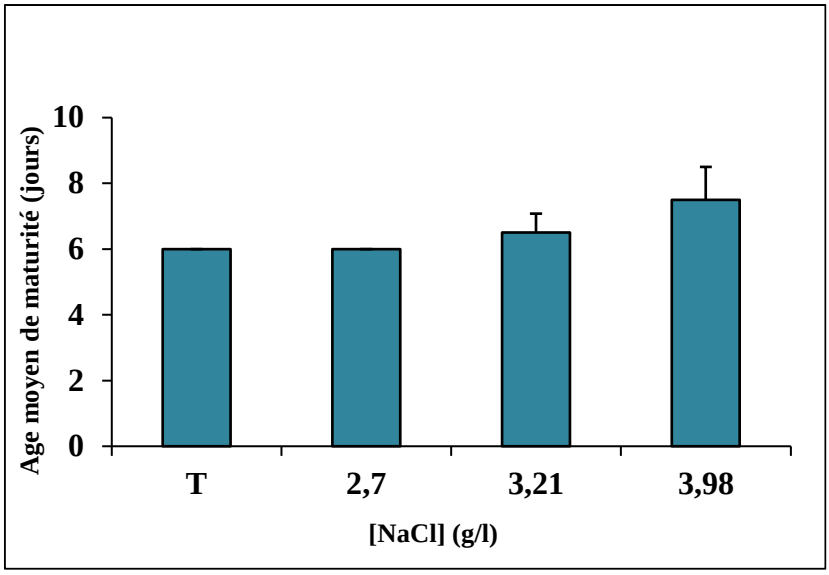


Figure 17 : Variation de l'âge à la maturité chez D. magna pour Les concentrations variées du NaCl

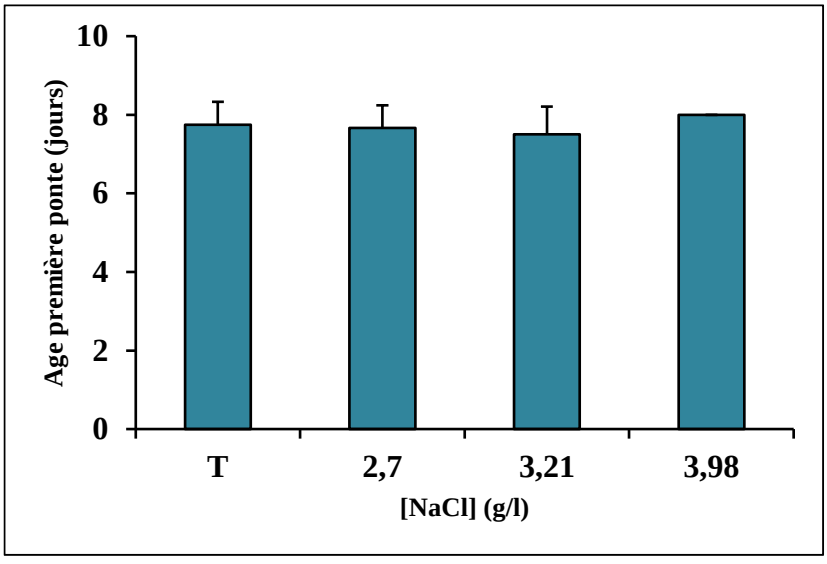


Figure 18 : Variation de l'âge à la première ponte n chez D. magna Pour les concentrations variées du NaCl.

1.3.3 L'effet de NaCl sur l'intervalle de ponte

La figure 19 illustre l'effet de différentes concentrations de NaCl sur l'intervalle de ponte chez *Daphnia magna* au bout de 14 jours. Les résultats montrent que les valeurs moyennes restent relativement constantes entre le témoin qui est 2±1,41et les concentrations 3,21g/Let 3,98 g/L , avec des valeurs respectives de1,5±1,73 et 1,75±2 ;06 jours. Bien qu'une légère augmentation soit notée à 2,7 g/l avec une moyenne varie entre2±1,41. Cependant. D'après **Lemoine (2016),** ce type de variation pourrait s'expliquer par une réponse physiologique adaptative non uniforme à des niveaux modérés de stress osmotique. Les résultats indiquent que les effets des concentrations de NaCl testées **ne diffèrent pas de manière significative** de ceux du témoin ($p > 0,05$), ce qui montre une absence d'effet statistiquement prouvé aux concentrations étudiées.

1.3.4 L'effet de NaCl sur le nombre de pontes par mère durant le test

La figure 20 montre le nombre moyen de pontes par femelle selon la concentration de NaCl. Le témoin et la concentration de 2,7 g/l présentent les moyennes les plus élevées environ 1,5±1,29 pontes/femelle et 1,75±1,26 ponte/femelle, tandis qu'un diminition est observé à 3,21 et 3,98 g/l des moyenne respective de 1±1,15 ponte/femelle . Cette réduction pourrait refléter une altération du rythme reproducteur sous stress salin. Selon **Giraud (2019),** une exposition prolongée à des concentrations modérées à élevées de NaCl peut entraîner une réduction du nombre de cycles reproducteurs chez *Daphnia magna*, probablement en raison d'un stress métabolique. La comparaison des données ne met pas en évidence de variation significative entre le groupe témoin et les traitements au NaCl ($p > 0,05$), suggérant que les différences observées ne sont pas statistiquement significatives.

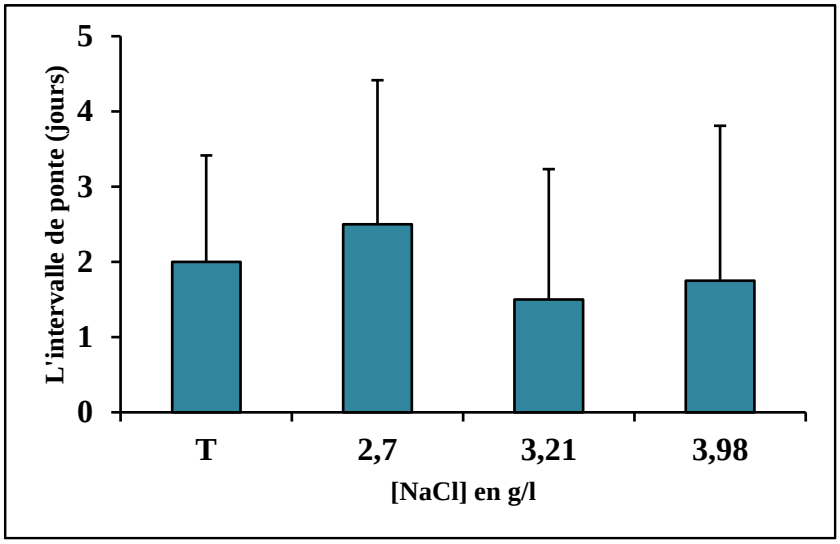


Figure 19 : Variation de l'intervalle de ponte chez D. magna Pour les concentrations variées du NaCl.

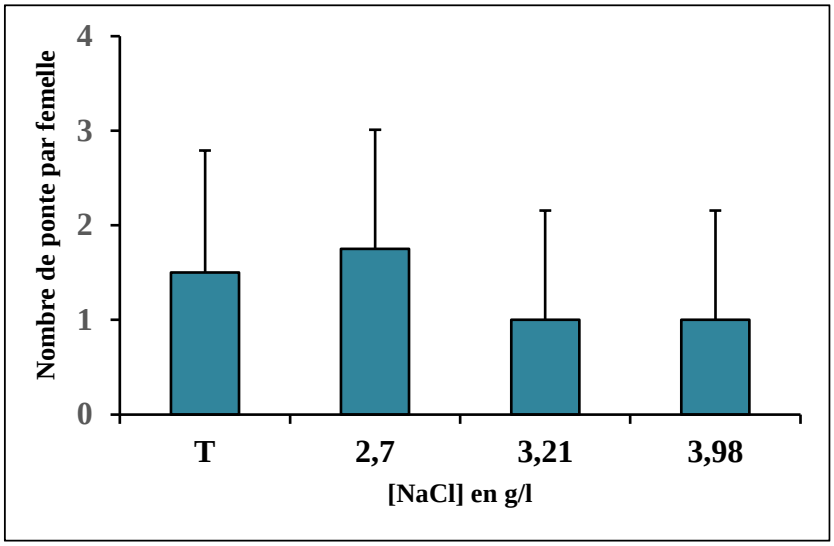


Figure 20 : Variation de nombre de pontes par mère durant le test Chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

.

1.3.4 L'effet de Na Cl sur la taille des juvéniles à la première ponte

la figure 21 montre l'effet de différentes concentrations de NaCl sur la taille moyenne des juvéniles de *Daphnia magna* au moment de la première ponte. On observe que la taille est maximale chez le témoin environ 0,38±0,5 mm, puis diminue progressivement avec l'augmentation de la salinité : 2,7 g/L environ 0,25±0,17 mm et dans la concentration 3,21 g/L 0,15±0,17mm et atteint sa plus faible valeur à 3,98 g/L de moyenne 0,15±0,1mm. Cette diminution indique un impact négatif du stress salin sur le développement des individus, probablement en raison de la réallocation des ressources énergétiques vers la survie plutôt que vers la croissance somatique. Selon **Heugens et al. (2001),** l'exposition à des stress environnementaux tels que des polluants ou des variations de salinité peut entraîner une réduction de la taille corporelle chez les juvéniles de *Daphnia magna*. L'analyse des données ne met pas en lumière de différence statistiquement significative entre les différents traitements de NaCl et le témoin ($p > 0,05$), ce qui n'indique aucun effet marqué du NaCl aux concentrations testées.

1.3.5 L'effet de NaCl sur la taille des juvéniles à la deuxième ponte

La figure 22 illustre l'évolution de la taille des juvéniles à la deuxième ponte. Les tailles moyennes sont relativement similaires pour le témoin et la concentration de 2,7 g/l 0,2±0,23 mm. Une légère baisse de taille est constatée à 3,21 et 3,98 g/L respectivement de 0,15±0,17mm 0,15±0,17mm . Cette tendance suggère un impact modéré mais croissant du NaCl sur le développement postnatal. Selon **Barcelo (2017),** l'augmentation de la salinité pourrait inhiber légèrement la croissance des juvéniles. Les tests statistiques ne confirment pas de divergence significative des réponses biologiques entre le témoin et les organismes exposés aux différentes concentrations de NaCl ($p > 0,05$), indiquant une réponse biologique globalement similaire entre les groupes.

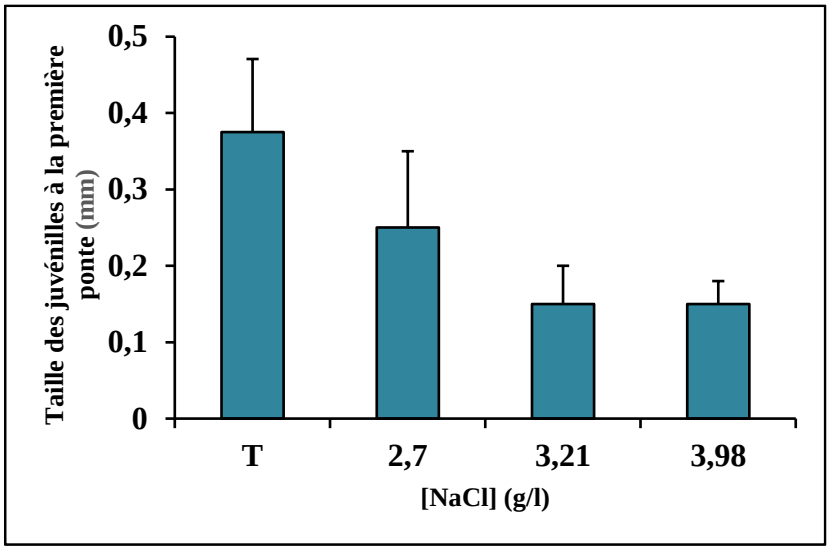


Figure 21 : Variation de taille des juvéniles à la première Ponte chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

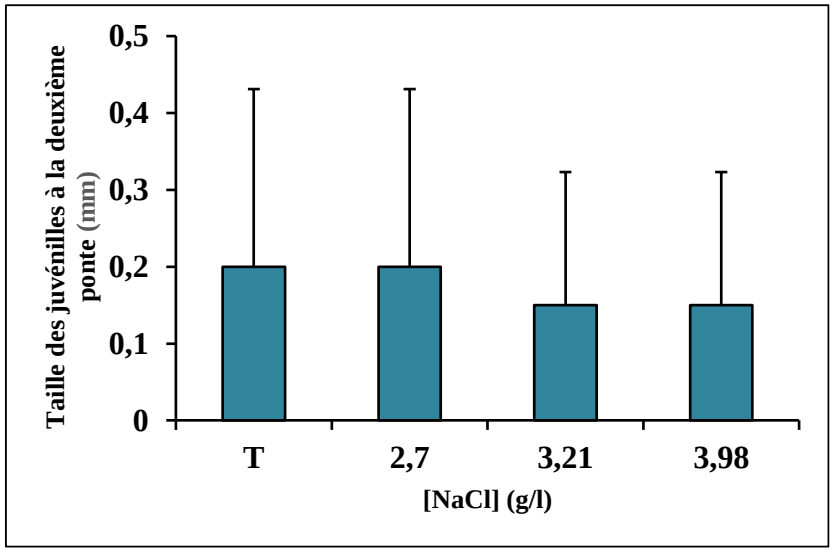


Figure 22 : Variation de taille des juvéniles à la deuxième Ponte chez D. magna pour les concentrations variées du NaCl.

1.3.6 L'effet de NaCl sur La grandeur de ponte

La figure 23 illustre l'effet du NaCl sur la grandeur de ponte. Le témoin (T) montre une grandeur de ponte nettement plus élevée que les autres concentrations, avec une valeur moyenne de 3,75±2,99 œufs/femelles. À partir de 2,7 g/l, une diminution marquée est observée 2 ±1,41 œufs/femelles, atteignant un minimum à 3,98 g/l. Cette tendance indique que la salinité croissante pourrait réduire la capacité reproductive des femelles. Selon **Pereira (2015),** une concentration élevée en sels dissous peut compromettre la reproduction chez les organismes dulçaquicoles en altérant les mécanismes physiologiques liés à la production d'œufs. Les analyses statistiques ne révèlent pas de différence significative entre le témoin et les groupes de daphnies traités par le NaCl ($p > 0,05$), ce qui suggère que le traitement n'a pas induit d'effet mesurable sur les paramètres étudiés.

1.3.7 Comparaison entre la taille de la 1ère et la 2ème ponte

La figure 24 illustre la différence moyenne de taille entre la taille de la première et la deuxième ponte chez *Daphnia magna* en fonction de différentes concentrations de NaCl. Une diminution progressive de cette différence est observée avec l'augmentation de la salinité. Le témoin présente une valeur moyenne de 0,08±0,10 mm, qui diminue à 0,05±0,10 mm pour 2,7 g/l, puis à 0,03±0,05 mm pour 3,21 g/l, traduisant un ralentissement du développement. Toutefois, une légère augmentation inattendue à 0,04±0,06 mm est notée à la concentration la plus élevée (3,98 g/l), suggérant une variabilité individuelle importante. Cette tendance pourrait refléter un effet perturbateur du NaCl sur la croissance progressive, notamment chez les juvéniles. D'après **Hamidi (2020),** un stress salin peut entraver la croissance continue, entraînant des fluctuations marquées dans les mesures morphométriques. Les résultats indiquent que les effets des concentrations testées ne diffèrent pas de manière significative de ceux du témoin ($p > 0,05$), mettant en évidence une réponse comparable entre les groupes exposés et le groupe témoin.

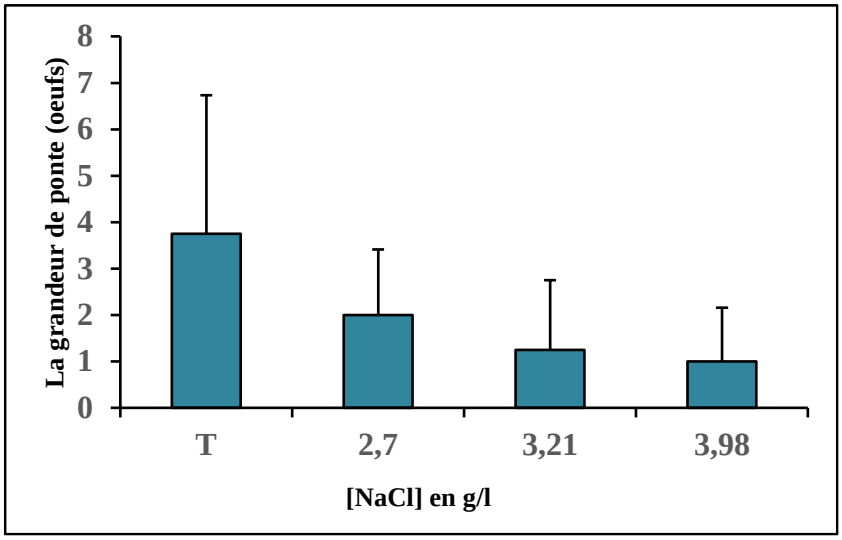


Figure 23 : Variation de la grandeur de ponte chezD. magna pour les concentrations variées du NaCl.

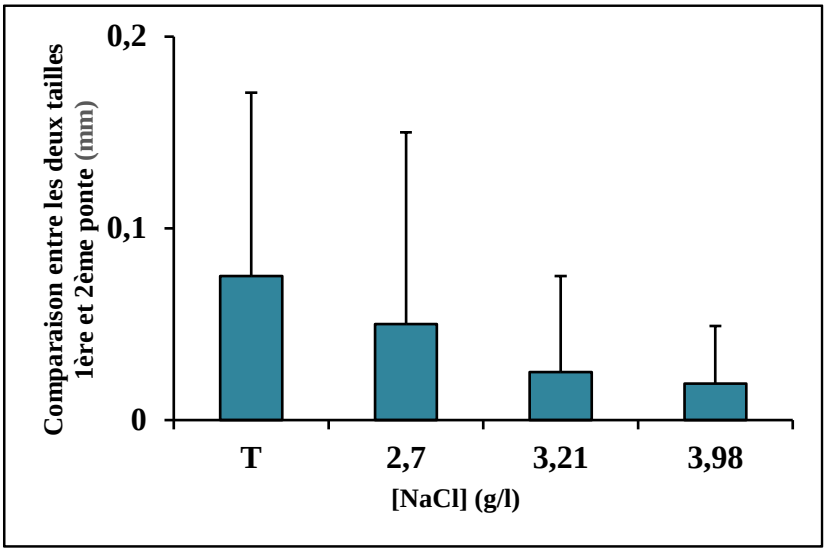


Figure 24 : Comparaison entre la 1ère et la 2ème ponte Chez D. magna

1.3.8 le sexe ratio

La figure 25 montre une forte augmentation du sexe ratio (pourcentage des mâles) à partir de la concentration de 3,21 g/l, atteignant un maximum à 3,98 g/l. Aucun mâle n'est observé dans les groupes témoin et 2,7 g/l. Ce résultat indique une masculinisation significative de la population sous l'effet de fortes concentrations en NaCl. Selon **Fontaine (2016),** le stress environnemental, comme l'augmentation de la salinité, peut induire une modification du sexe ratio chez *Daphnia magna*, favorisant la production de mâles dans un but adaptatif. La comparaison des données ne met pas en évidence de différence significative entre le groupe témoin et les traitements au NaCl ($p > 0,05$), suggérant que le NaCl n'a pas provoqué de modifications statistiquement détectables sur les paramètres mesurés.

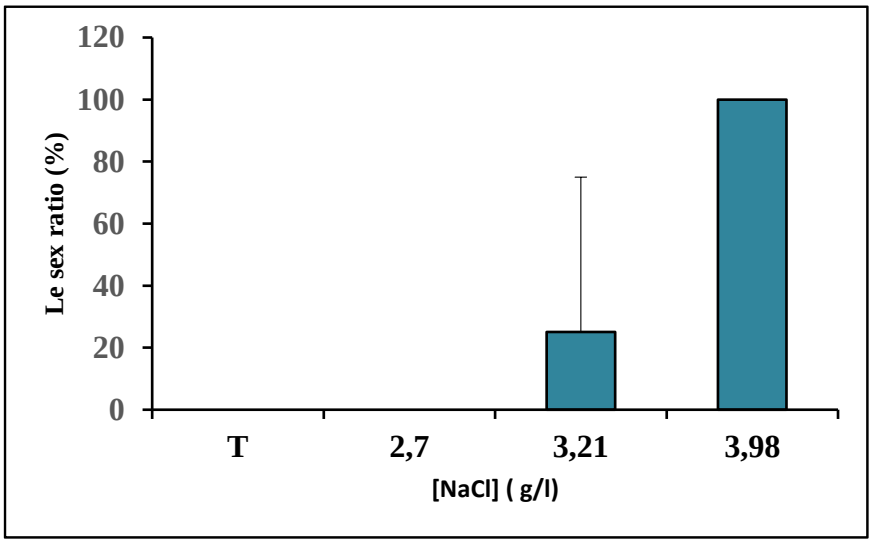


Figure 25 : Variation de sexe ratio en pourcentage des males
Du *Daphnia magna*

Chapitre V :Discussion

De nos jours, les activités anthropiques tels que l'agriculture et l'industrie et leurs différents rejets ont beaucoup contribué à l'augmentation des polluants dans les environnements aquatiques. La salinisation due a des sels produits par ces activités peut affectée fortement la faune aquatique, en particulier les crustacés, qui, en raison de leur faible mobilité, ne peuvent fuir ces conditions défavorables. *Daphnia magna*, un cladocère typique des eaux douces, est néanmoins représenté par certaines souches capables de tolérer des environnements légèrement saumâtres. L'intérêt pour l'utilisation de *D. magna* en tant qu'organisme modèle dans les tests écotoxicologiques ne cesse de croître, notamment pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques.

Les résultats de cette étude pourraient contribuer à une meilleure compréhension de l'impact de la salinité sur les paramètres du cycle biologique de *D. magna.*

De manière générale et selon la littérature, une augmentation de la salinité entraîne généralement une diminution de la survie, de la croissance et du taux de reproduction chez les daphnies adultes. Bien que *D. magna* soit naturellement adaptée à des conditions de faible salinité, certaines études, comme celle de **Ghazi (2003),** ont montré que certaines souches peuvent survivre à des salinités dépassant 62 ‰. L'élévation de la salinité peut ainsi affecter plusieurs paramètres du cycle de vie de *daphnia magna*. Cependant les résultats de nos études ont montré une réduction significative de ces traits en présence de chlorure de sodium a différentes concentrations

Nos résultats montrent une mortalité complète des daphnés (100%) à la concentration de 3,98 g/L, confirmant une forte sensibilité de cette espèce à des niveaux élevés de salinité. Cette tendance est conforme aux travaux de **Martínez-Jerónimo (2007)** et **Sidibe (2016),** qui ont également observé une baisse progressive de la survie avec l'augmentation de la salinité. Par exemple, **El-Deeb & El-Shenawy (2009)** rapportent une réduction de la survie de 95 % à 43 % entre 0 et 5 g/L, ce qui est comparable à notre observation d'une survie passant de 100 % à 0 % respectivement pour 0,1 et 3,9 g/L a la fin du test.

En outre, La longévité diminue nettement avec l'augmentation de la concentration en Na Cl, atteignant 7 jours à 3,98 g/L, contre 14 jours pour le témoin. Cela est en accord avec les résultats de **Zeroual (2016)** et **Sidibe (2016),** ces derniers notent également aussi une réduction de la durée de vie de cette espece sous stress salin. Par ailleurs, la taille des femelles adultes a la première ponte diminue progressivement durant ce test, passant de 3,77 mm à 1,5 mm respectivement pour les concentrations de 0,1 et 3,98 g/L. Cette tendance a également été

observée chez **El-Deeb & El-Shenawy (2009),** où la taille moyenne chute de 3,74 mm à 2,17 mm au fur et à mesure que la salinité augmente.

les paramètres de reproduction sont également affectés durent cette étude . Le nombre de pontes par mère passe de 3 pour le temoin à 2 pour la concentration la plus élevé de NaCl, la taille des juvéniles diminue a la première ponte de 0,4 mm à 0,3 mm pour (3,9g s/L). Ces effets sont similaires à ceux rapportés par **Gonçalves et al. (2007),** qui ont observé une réduction drastique de la reproduction à haute salinité. La taille moyenne de ponte dans notre étude atteint seulement 2 œufs à 3,98 g/L, contre 70 œufs dans l'étude de **Sidibe (2016)** à plus faibles concentrations.

L'intervalle de ponte est aussi raccourci à 2 jours, indiquant un stress physiologique pouvant accélérer le cycle de vie mais avec un rendement reproductif nettement réduit. La taille des juvéniles et des femelles adultes à la deuxième ponte confirme cette tendance. Ces effets sont similaires à ceux rapportés par **Sidibe, (2016)** qui à observer plus la salinité est élevée, plus les tailles sont réduites, ce qui traduit une altération significative du développement.

L'âge à la maturité et à la première ponte augmente légèrement avec la salinité (jusqu'à 8 jours), mais reste dans la fourchette observée dans d'autres études. Cette maturation retardée est également mise en évidence par **Teschner (1995),** qui décrit un développement plus lent chez des clones de *D. magna* en milieux saumâtres.

Ces résultats confirment que la salinité, en particulier sous forme de NaCl, agit comme facteur limitant pour la survie et la reproduction de *D. magna*, et peut donc impacter la structure des communautés zooplanctoniques en milieu naturel. Comme le soulignent **Nielson et al. (2003) et Bailey et al. (2004),** une salinité croissante peut provoquer un remplacement des taxons d'eau douce par des espèces halotolérantes.

Ainsi, nos observations soutiennent l'idée que *D. magna*, malgré sa sensibilité au sel, peut tolérer des salinités modérées inférieures à 4 g/L, ce qui est en accord avec les résultats de **Schuytema et al. (1997).** Toutefois, au-delà de cette limite, la survie, la croissance et la reproduction sont sévèrement compromises, mettant en péril la persistance de l'espèce.

Il convient également de souligner que certains paramètres environnementaux présents durant l'expérimentation pourraient avoir influencé les réponses biologiques de *Daphnia magna* face au stress salin. En effet, l'intensité de la lumière, la température ambiante, ainsi

que la qualité de l'eau et le régime alimentaire sont autant de facteurs susceptibles de moduler la sensibilité des individus. Par ailleurs, la présence observée de *Macrocyclops albidus*, un copépode prédateur, dans les récipients expérimentaux a pu impacter la survie des juvéniles, ces derniers constituant une cible privilégiée de ce type de zooplancton carnivore. Ce facteur biotique pourrait avoir contribué à une mortalité supplémentaire indépendante de la salinité, en particulier chez les larves nouvellement écloses. De même, une variation même minime de la température ou de la lumière pourrait entraîner un stress physiologique supplémentaire, amplifiant les effets du Na Cl sur les paramètres de croissance et de reproduction. Ainsi, bien que l'objectif principal ait été d'évaluer l'effet du chlorure de sodium, il est important de considérer que ces éléments environnementaux combinés ont pu interagir et influencer les résultats obtenu

Conclusion et perspectives

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) sur divers paramètres biologiques et reproductifs de *Daphnia magna*, afin de déterminer sa tolérance au stress salin. En analysant la survie, la croissance, la reproduction et le développement, l'étude visait à mieux comprendre les limites physiologiques de cette espèce face à l'augmentation de la salinité dans les écosystèmes d'eau douce.

La survie de *Daphnia magna* diminue de manière significative à partir d'une concentration de 3,98 g/L de NaCl, indiquant que cette espèce présente une tolérance limitée à des niveaux élevés de salinité. Une salinité modérée semble encore supportable, mais la létalité devient totale à des concentrations élevées.

La longévité reste relativement stable jusqu'à 3,21 g/L, mais une légère diminution à 3,98 g/L montre un seuil critique. Cela suggère que le NaCl à haute concentration affecte l'équilibre osmotique de l'organisme et réduit son espérance de vie.

La taille des femelles diminue progressivement avec l'augmentation du NaCl, reflétant une redistribution énergétique vers la survie plutôt que vers la croissance, dès les premières phases reproductives.

La diminution continue de la taille lors de la deuxième ponte indique que l'effet du stress salin est cumulatif et affecte les épisodes reproductifs successifs.

L'absence de croissance à forte salinité (3,98 g/L) due à une mortalité précoce confirme que des concentrations élevées entravent complètement le développement corporel de *Daphnia magna*.

Le poids décroît avec l'augmentation de la concentration, allant jusqu'à une absence totale à 3,98 g/L. Cela confirme un effet toxique global du NaCl sur les fonctions métaboliques de l'espèce.

L'augmentation de l'âge de la maturité à partir de 3,21 g/L témoigne d'un retard de développement dû à un stress environnemental, qui affecte directement le calendrier reproductif.

L'effet du NaCl sur l'âge à la première ponte est modéré, mais un léger retard est observé à 3,98 g/L, suggérant que même des variations faibles peuvent perturber les fonctions reproductrices.

Malgré de légères variations, l'intervalle de ponte reste globalement stable, ce qui peut traduire une adaptation ponctuelle à un stress osmotique modéré.

Une réduction du nombre de pontes est observée aux concentrations les plus élevées, signalant une atteinte au rythme reproductif et à la capacité de reproduction sous stress salin.

La taille des juvéniles diminue progressivement avec l'augmentation du NaCl, soulignant une limitation de la croissance postnatale due à une priorisation de l'énergie pour la survie.

Une légère réduction supplémentaire de taille montre un effet persistant du NaCl sur la descendance, même au-delà du premier cycle de reproduction.

La réduction du nombre moyen d'œufs par ponte suggère une altération de la fécondité liée directement au niveau de salinité.

La diminution de la différence de taille entre les deux pontes montre un ralentissement du développement, potentiellement lié à un épuisement énergétique progressif causé par le stress.

La masculinisation de la population à partir de 3,21 g/L illustre une réponse adaptative marquée à un stress intense, possiblement destinée à favoriser la reproduction sexuée en environnement hostile.

L'analyse statistique révèle que la plupart des différences observées ne sont pas significatives, à l'exception de l'âge de maturation qui présente une variation significative. Cela suggère que, mis à part ce paramètre, le NaCl n'a pas exercé d'effet statistiquement prouvé sur *Daphnia magna*

Afin de compléter et d'approfondir les résultats obtenus, des perspectives de recherche s'ouvrent sur plusieurs plans. Il serait pertinent d'évaluer l'impact du NaCl sur plusieurs générations de *Daphnia magna*, afin de déterminer les effets transgénérationnels du stress salin. De plus, des études combinant la salinité à d'autres facteurs environnementaux tels que les variations de température, de pH ou la présence de polluants organiques ou métalliques permettraient de mieux simuler les conditions naturelles et de comprendre les interactions multiples entre stress environnementaux. Une comparaison avec d'autres espèces de cladocères ou avec différentes souches géographiques de *Daphnia magna* pourrait enrichir les connaissances sur la variabilité adaptative intra- et interspécifique face à la salinisation croissante des milieux aquatiques. Par ailleurs, l'exploration des mécanismes physiologiques et moléculaires sous-jacents à la tolérance au sel, tels que l'expression différentielle de gènes liés à l'osmorégulation ou au stress oxydatif, offrirait une compréhension plus fine des réponses adaptatives. Des approches en écotoxicologie intégrée, incluant des biomarqueurs

comportementaux (mobilité, alimentation, reproduction) et biochimiques, pourraient aussi permettre de détecter précocement les effets sublétaux. Enfin, le recours à la modélisation écologique prédictive permettrait d'anticiper les impacts à long terme de la salinisation sur les populations de *Daphnia* et, plus largement, sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Références bibliographiques

Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., & Massoud, F.I. (1988). *Salt-Affected Soils and Their Management*. FAO Soils Bulletin No. 39. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN: 92-5-102686-6.

Allen, Y. T., et al. (2008). *Salinity tolerance and osmoregulatory capacity of Daphnia magna exposed to varying NaCl concentrations*. Journal of Experimental Aquatic Toxicology, 24(2), 145–152.

Al-Seria, M. H. M. (2019). Salinity effects on survival and life history of Daphnia magna. *International Journal of Aquatic Science*, 10(1), 19–26.

Arnott, S. E., et al. (2020). Lake water chemistry and local adaptation shape NaCl toxicity in Daphnia species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1923), 20200175.

Bailey, H. C., Miller, J. L., Miller, M. J., Wiborg, L. C., Deanovic, L., & Shed, T. (2004). Salinity tolerance of cold- and warm-water fish species: A literature review and analysis of research gaps. *Final Report, California State Water Resources Control Board*.

Barata, C., Baird, D.J., Medina, M., Albalat, A., & Soares, A.M.V.M. (2008). Determining the ecotoxicological mode of action of toxicants from measurements of life-history traits in Daphnia magna. Ecotoxicology and Environmental Safety, 70(3), 446–453.

Barcelo, J. (2017). *Développement juvénile chez les daphnies sous contrainte saline*. Environ. Biol. Aquat., 8(2), 65–73.

Beisel J.N., Peltre M.C., &Usseglio.P.,(2011). Impact de la pollution saline sur la biocénose aquatique de la Moselle. Université de Metz,France, 59p.

Benfatma (2017). *Caractérisation de l'état actuel de la salinité. Perspectives d'amélioration de la gestion hydro-agricole au niveau d'une parcelle située dans le périmètre irrigué de la Mina, Relizane* (Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie)

Bensakhria, A. (2018). *Toxicité chronique*. Dans *Toxicologie générale* (Chapitre 3)

Betini, G. S., Wang, X., & Avgar, T. (2019). La disponibilité de nourriture module les effets dépendants de la température sur la croissance, la reproduction et la survie chez Daphnia magna. Écologie et Évolution, 9(21), 11960–11970

Bianchini, A., & Wood, C. M. (2008). Sodium uptake in different life stages of crustaceans: the water flea Daphnia magna Strauss. *Journal of Experimental Biology*, 211(4), 539–547. Lien

Blal, A. (2020). Culture des Daphnies (Daphnia magna) et Effets de la pollution sur son comportement. Mémoire de Master, Université Djillali Liabes, Sidi Bel Abbès.

Boehler, J. A., Keller, T. S. et Krieger, K. A., (2012). Taxonomic Atlas of the Water Fleas, Cladocera (Class Crustacea). National Center for Water Quality Research Heidelberg University Tiffin, USA 44883.

Boeing, W. J., et al. (2004). Food quality and zooplankton reproduction: a comparison of two freshwater crustaceans. *Freshwater Biology*, 49(5), 546–556.

Boillot C., (2008). Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques : Contribution à l'amélioration de la phase "caractérisation des effets". Mémoire en Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain. Lyon: INSA de Lyon et LSEENTPE, 292 p.

BOUTEMINE, N. (2013). *Étude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre de la Mitidja Est*. Mémoire de Master, Université de Blida

Brewer, M. C. (1998). *Mating behaviours of Daphnia pulicaria, a cyclic parthenogen: comparisons with copepods*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 353(1369), 805–815

Bricker, S.B., et al. (2007). *Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change*. Harmful Algae, 8(1), 21-32

Cauzzi N., (2007). Evaluation de l'éco-compatibilité de sédiments contaminés, traités et non traités par un procédé physico-chimique, dans le cadre d'un scénario de dépôt en gravièreEtude en microcosmes aquatiques. Mémoire en Sciences et Techniques du Déchet. Villeurbanne et Vaulx-en-Velin: INSA de Lyon et LSE-ENTPE, 341 p.

Chakri, K., (2007). Contribution à l'étude écologie de Daphnia magna (Branchiopoda : Anomopoda) dans la Numidie, et inventaire des grands Branchiopodes en Algérie. Thèse de doctorat d'état en Biologie animale. Université Badji Mokhtar- Annaba.

Chakri.K ., TOUATI. L., ALFARHAN A. H., Al-rasheid K.A.S., &Ssamraoui B., (2010). Effect of vertebrate and invertebrate kairomones on the life history of Daphnia magna (Crustacea: Branchiopoda). ComptesRendusBiologie,333(11-12): 836-840

Chèvre H., (2000). Etude et modélisation des effets écotoxiques d'un micropolluant organique sur Daphnia magna et Pseudo kirchneriella subcapitata. Thèse en Ecole Polytechnique Fédérale. Département de Génie rural, Lausanne, 127 p.

Chopelet, J. (2006). *Variations clonales de la croissance et adaptations locales du métabolisme chez des populations de daphnies originaires d'environnements thermiques différents* (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski).

Clare, G. (2002). *Daphnia: A common water flea*. Freshwater Ecology Series.

Colbourne, J. K., Pfrender, M. E., Gilbert, D., Thomas, W. K., Tucker, A., Oakley, T. H., Tokishita, S., Aerts, A., Arnold, G. J., Basu, M. K., Bauer, D. J., Cáceres, C. E., Carmel, L., Casola, C., Choi, J. H., Detter, J. C., Dong, Q., Dusheyko, S., Eads, B. D., ... Boore, J. L. (2011). The ecoresponsive genome of *Daphnia pulex*. *Science*, 331(6017), 555–561.

De Gelas, K., & De Meester, L. (2005). Phylogeography of *Daphnia magna* in Europe. *Molecular Ecology*, 14(3), 753–764.

De Schamphelaere, K. A. C., & Janssen, C. R. (2004). Effects of dissolved organic carbon concentration and source, pH, and water hardness on chronic toxicity of copper to *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(5), 1115–1122.

Delcourt, J. (2018). *Développement et salinité chez les cladocères*. Environnement & Biologie, 9(1), 33–39.

Dodson, S. I. (2005). *Introduction to limnology*. McGraw-Hill Education.

Döring, F., Guse, A. H., & Scholz, S. (2022). Web-based histology reference atlas for the freshwater crustacean *Daphnia magna*. *bioRxiv*.

Ebert D., (2005). Ecology, *Epidemiology, and Evolution of Parasitism in Daphnia*. Bethesda (MD) : National Center for Biotechnology Information (US).

Ebert, D. (2005). *Ecology, Epidemiology, and Evolution of Parasitism in Daphnia*. National Center for Biotechnology Information (NCBI).

El-Deeb, G. H., & El-Shenawy, N. S. (2009). Impact of salinity on survival, growth and reproduction of the freshwater crustacean Daphnia magna. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 3290–3296.

Elenbaas, M. (2013). *Daphnia magna*. Animal Diversity Web. Consulté le 11 mai 2025, à l'adresse

Fontaine, R. (2016). *Facteurs environnementaux influençant la différenciation sexuelle chez Daphnia*. J. Repro. Aquat. Sci., 6(4), 42–50.

Ganf, G.G., (1983). An ecological relationship between Aphanizomenon and Daphnia pulex. AustralianJournal of Marine and Freshwater Research, 34 : 755-773.

Gauthier, J. M., & McCarty, L. S. (2005). Comparative assessment of acute and chronic ecotoxicity of water-soluble fractions of biodiesel and diesel to *Daphnia magna* and *Aliivibrio fischeri*. *Science of The Total Environment, 339*(1–3), 87–100

Ghazi, S. (2003). Effets de la salinité sur la croissance et la reproduction de *Daphnia magna*. *Mémoire de Magistère*, Université de Constantine.

Giraud, M. (2019). *Salinité et rythmes reproductifs des crustacés planctoniques*. Aquat. Toxicol. Appl., 11(4), 58–64.

Gleick, P.H. (2003). *Water Use*. Annual Review of Environment and Resources, 28, 275-314.

Gliwicz, Z. M., & Pijanowska, J. (1989). The role of predation in zooplankton succession. In U. Sommer (Ed.), *Plankton ecology: succession in plankton communities* (pp. 253–296). Springer.

Gonçalves, A. M. M., Castro, B. B., & Gonçalves, F. (2007). The effects of salinity on Daphnia magna: survival, growth and reproduction. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 43(1), 61–67.

Gonçalves, A. M. M., et al. (2009). Salinity effects on survival and life history of two freshwater cladocerans (Daphnia magna and Daphnia longispina). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 43(1), 13–20.

Gonçalves, A.M.M., Castro, B.B., Pardal, M.A., & Gonçalves, F. (2007). Salinity effects on survival and life history of two freshwater cladocerans (Daphnia magna and Daphnia

Green, J. (1954). Daphnia, The water flea. New biology 23: 48-65.

Gupta, S. K., & Gupta, I. C. (2018). *Salt-affected soils: Reclamation and management*. Scientific Publishers. ISBN 9789388043489.

Hadas O., Bachrach U., Kott Y., Cavari B.Z., (1983).. Assimilation of E. coli cells by Daphnia magna on the whole organism level, Hydrobiologia, 102 : 163-169.

Hamidi, N. (2020). *Effets morphométriques du NaCl sur Daphnia*. Bull. Sci. Environ., 15(4), 88–95.

Haney, J. F. (2010). *An Image-Based Key to the Zooplankton of North America*. University of New Hampshire Center for Freshwater Biology.

Hart B.T., Bailey P., Edwards R., Hortle K., James K., McMahon A., Meredith C., &Swadling K.,(1991).A review of the salt sensitivity of the Australian freshwater biota.Hydrobiologia,210 : 105-144.

Heugens, E. H. W., Hendriks, A. J., Dekker, T., Van Straalen, N. M., & Admiraal, W. (2001). A review of the effects of multiple stressors on aquatic organisms and analysis of uncertainty factors for use in risk assessment. Critical Reviews in Toxicology, 31(3), 247–284.longispina). Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 43(1), 13–20.

Heugens, E. H. W., Hendriks, A. J., Dekker, T., Van Straalen, N. M., & Admiraal, W. (2001). A review of the effects of multiple stressors on aquatic organisms and analysis of uncertainty factors for use in risk assessment. *Critical Reviews in Toxicology*, 31(3), 247–284.

Holm N.P., Shapiro J., (1984). An examination of lipid reserves and the nutritional status of Daphnia pulex fed Aphanizomenon flos-aquae, Limnology and Oceanography, 29 : 1137-1140.

Huang, J., et al. (2022). Size-specific sensitivity of cladocerans to freshwater salinization: Evidences from the changes in life history and population dynamics. *Environmental Pollution*, 296, 118770.

japan Science and Technology Agency. (2024, June 28). *Osaka University discovers sex differences in Daphnia magna gene isoforms* — Selection according to the environment. Science Japan

Jürgens, K., & Matz, C. (2002). Predation as a shaping force for the phenotypic and genotypic composition of planktonic bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81(1–4), 413–434.

Kast-Hutcheson K., Rider C.V., & LeBlanc G.A., (2001). The fungicide propiconazole interfereswith embryonic development of the crustacean Daphnia magna. Environnement. Toxicology. 20 : 502-509.

Kaushal, S. S., Groffman, P. M., Likens, G. E., Belt, K. T., & Stack, W. P. (2005). Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13517–13520.

Lampert, W. (2006). *Daphnia : modèle d'herbivore, de prédateur et de proie*. *Polish Journal of Ecology*, 54(4), 607–620.

Lampert, W. (2011). *Daphnia: Development of a model organism in ecology and evolution*. International Ecology Institute.

Lefèvre, P. (2018). *Réponse pondérale chez Daphnia en conditions salines variables*. Hydrobiologia Comparata, 10(3), 101–108.

Lemoine, A. (2016). *Impacts physiologiques du sel chez les crustacés dulçaquicoles*. Rev. Écotox. Aquat., 12(3), 45–52.

Li, Y., et al. (2023). Can long-term salinity acclimation eliminate the inhibitory effect of salinization on anti-predation defense of Daphnia? *Environmental Pollution*, 316, 120420.

Manar R. (2008). Effets populationnels du chlordane sur les microcrustaces cladoceres Daphnia Sp. dans une perspective d'évaluation des Risques. Thèse de doctorat. Univ. Metz.

Margalef R., (1983). Limnologia. Ediciones Oméga, S.A., Platon, 26, Barcelona-6, 1010 p.

Martin-Creuzburg, D., Beck, B., & Freese, H. M. (2011). Food quality of heterotrophic bacteria for Daphnia magna: evidence for a limitation by sterols. *FEMS Microbiology Ecology*, 76(2), 301–307.

Martínez-Jerónimo, F. (2007). Chronic effect of NaCl salinity on a freshwater strain of *Daphnia magna* Straus (Crustacea: Cladocera): A demographic study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(3), 411–416.

Martínez-Jerónimo, F. (2007). Comparative tolerance of three cladoceran species to salinity: An assessment of the ecological impact from effluents of geothermal plants in Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 127(1–3), 377–388.

Millero, F.J. (2013). *Chemical Oceanography* (4th ed.). CRC Press.

Mittmann, B., Ungerer, P., Klann, M., Stollewerk, A., & Wolff, C. (2014). *Development and staging of the water flea Daphnia magna (Straus, 1820; Cladocera, Daphniidae) based on morphological landmarks*. *EvoDevo*, 5(1), 12.

Mordukhai-Boltovskoï F.D., (1964). Caspian fauna beyond the Caspian Sea. International Revue der GesamtenHydrobiologie .49 : 139-176.

Mount, D. I., Hoke, R. A., & Gauthier, J. M. (1997). Détermination de la CL50 de *Daphnia magna* exposée à divers sels. Environmental Toxicology and Chemistry, 16(9), 1817–1821.

Nielson, D. L., Brock, M. A., Rees, G. N., & Baldwin, D. S. (2003). Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*, 51(6), 655–665.
Nogueira, A. J. A., et al. (2022). Nutritional context modulates the salinity tolerance of freshwater invertebrates. *Aquatic Ecology*, 56, 905–915.

OCDE. (2004). *Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, n° 202 : Daphnia sp., essai d'immobilisation aiguë*. Organisation de coopération et de développement économiques.

OCDE. (2008). Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, n° 211 : *Daphnia magna*, essai de reproduction. Organisation de coopération et de développement économiques

Olmstead, A. W., & LeBlanc, G. A. (2000). *Effets des produits chimiques actifs sur le système endocrinien sur le développement des caractéristiques sexuelles de Daphnia magna*. Environmental Toxicology and Chemistry, 19(8), 2107–2113

Organization for Economic Cooperation and Development, (1998). OECD Guidelines for Testing of Chemicals: Daphnia magna Reproduction Test. Procedure 211.Paris, France

Orsini, L., Gilbert, D., Podicheti, R., Jansen, M., Brown, J. B., Solari, O. S., Spanier, K. I., Colbourne, J. K., Rusch, D. B., Decaestecker, E., Asselman, J., De Schamphelaere, K. A. C., Ebert, D., Haag, C. R., Kvist, J., Laforsch, C., Petrusek, A., Beckerman, A. P., Little, T. J., Chaturvedi, A., Pfrender, M. E., De Meester, L., & Frilander, M. J. (2016). *Daphnia magna* transcriptome by RNA-Seq across 12 environmental stressors. *Scientific Data*, 3, 160030.

Pacaud A., (1939). Contribution à l'écologie des cladocères. Bulletin. Bibliologique. France et Belgique, suppliment. 24 : 260 p.

Parisot, F. (2015). *Étude mécaniste des effets transgénérationnels des radiations ionisantes alpha et gamma chez Daphnia magna* [Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université]. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

Parisot, F., Alonzo, F., & Gilbin, R. (2015). DNA alterations and effects on growth and reproduction in *Daphnia magna* during chronic exposure to gamma radiation over three successive generations. *Aquatic Toxicology*, 163, 27–36.

Pereira, L. (2015). *Stress salin et reproduction chez Daphnia*. J. Limnol. Expérimentale, 7(2), 71–78.

Ramade, F. (2008). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Paris : Dunod.

Roux, C. (2017). *Croissance et salinité chez les microcrustacés dulçaquicoles*. J. Ecol. Aquatique, 5(1), 21–27.

Santiago S., Becker Van Slooten K., Chèvre N., Pardos M., Benninghoff C., Dumas M., Thybaud E. et Garrivier F., (2002). Guide pour l'utilisation des tests écotoxicologiques avec les daphnies, les bactéries luminescentes et les algues vertes, appliqués aux échantillons de l'environnement. Soluval Santiago. Suisse: Soluval Santiago, Institut F- Forel (Université de Genève), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Santos, M. A. P. F., Vicensotti, J., & Monteiro, R. T. (2007). Sensibilité de quatre organismes de test (*Chironomus xanthus, Daphnia magna, Hydra attenuata* et *Pseudokirchneriella subcapitata*) au NaCl : un toxique de référence alternatif. Environmental Toxicology and Chemistry, 26(10), 2186–2193

Sarnelle, O. (1992). *Daphnia as keystone predators: Effects on phytoplankton diversity and grazing resistance*. *Journal of Plankton Research*, 14(9), 1229–1242

sasirin pamai. (S.d.). *Chlorure de sodium, chimie de la structure NaCl [Illustration vectorielle]*. Vecteezy.

Schuytema, G. S., Nebeker, A. V., & Griffis, W. L. (1997). Effects of sodium chloride on the toxicity of five pesticides to three aquatic invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(1), 62–67.

Semsari, S., & Haït-Amar, A. (2009). Effets de la salinité et de la dureté de l'eau sur la toxicité des métaux vis-à-vis de Daphnia magna Strauss. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*.

Sidibe, A. (2016). Effet du chlorure de sodium sur la biologie de reproduction de *Daphnia magna*. *Mémoire de Master*, Université de Ouagadougou.

Sidibe, H. M. (2016). Effet chronique de la salinité de l'eau de mer naturelle sur Daphnia magna. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma.

Sidibe, M. H. (2017). *Effet de la salinité sur quelques paramètres biologiques de Daphnia magna*. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma.

Smolders, R., Bervoets, L., & Blust, R. (2005). The use of in situ bioassays with Daphnia magna and Chironomus riparius for the assessment of water quality in an effluent-impacted river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 306–317.

Spaak, P., & Boersma, M. (2001). *The influence of fish kairomones on the induction and vertical distribution of sexual individuals of the Daphnia galeata species complex*. Hydrobiologia, 442(1), 185–193.

Starke, A., et al. (2021). Interactive effects of water temperature and stoichiometric food quality on *Daphnia pulicaria*. *Hydrobiologia*, 848, 123–135.

Sterner, R. W., & Elser, J. J. (2002). *Écologie stœchiométrique : La biologie des éléments, des molécules à la biosphère*. Princeton University Press.

Szklarek, S., et al. (2022). The effect of road salt (NaCl) treatment on the hatching success of Daphnia magna and Thamnocephalus platyurus. *Authorea*.

Tahraoui, S. (2019). *Contribution à l'optimisation de la fertilisation phospho-azotée en zone aride : cas de la culture du blé dur dans la région de Biskra*. Thèse de Doctorat, Université de Biskra.

Taipale, S. J., et al. (2016). Differential allocation and biosynthesis of PUFAs in Daphnia exposed to algal diets of varying fatty acid composition. *Ecology and Evolution*, 6(19), 7016–7031.

Teschner, M. (1995). Adaptation of Daphnia to salinity stress: Differences in plasticity between parthenogenetic and sexual reproduction. *Hydrobiologia*, 307(1–3), 225–233.

Tessier A.J., Goulden C. E., (1982). Estimating food limitation in cladoceran populations. Limnology and Oceanography, 27 : 707-717.

Tollrian, R., & Harvell, C. D. (Éds.). (1999). *The ecology and evolution of inducible defenses*. Princeton University Press.

Touati L.&SamraouiB., (2002). The ecology of Daphnia chevreuxiRichard in NortheastAlgeria (Crustacea: Anomopoda). Spécial Biologie, Scienceset Technologie. 17 : 75-81

Touati L., et Samraoui B., (2002). The ecology of Daphnia chevreuxi Richard in Northeast Algeria (Crustacea: Anomopoda). Spécial Biologie, Sciences et Technologie. 17 : 75-81

Touati, L., & Samraoui, B. (2019). Effets toxiques de la salinité (NaCl) sur un microcrustacé des eaux douces Daphnia pulex. Communication orale, Séminaire International Environnement et Toxicologie, Université des Frères Mentouri, Constantine 1

Toumi, H., Boumaiza, M., Millet, M., Radetski, C. M., Felten, V., Fouque, C., & Férard, J. F. (2013). *Effets de la deltaméthrine (insecticide pyréthrinoïde) sur la croissance, la reproduction, le développement embryonnaire et la différenciation sexuelle chez deux souches de Daphnia magna (Crustacea, Cladocera)*. *Science of the Total Environment*, 458–460, 47–53.

U.S. Environmental Protection Agency. (2002). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms* (5e éd.). EPA 821-R-02-012. Office of Water, Washington, D.C.

Von Elert, E., & Martin-Creuzburg, D. (2006). Absence of sterols constrains the reproduction of Daphnia magna. *Ecology*, 87(9), 2461–2467.

Wersebe, M. J., et al. (2023). Does salinization impact long-term Daphnia assemblage dynamics? Evidence from the sediment egg bank in a small hard-water lake. *Limnology and Oceanography Letters*.

Williams, D. D., et al. (2003). *Effets comportementaux et physiologiques d'une exposition aiguë à des concentrations élevées de NaCl sur *Daphnia magna*. Journal of Ecotoxicology, 19(4), 1-12.

Zeman F., (2008). Toxicité d'un mélange binaire sur la daphnie Daphnia magna : Etude des effets biologiques de l'uranium et du sélénium seuls et en mélange. Thèse de doctorat en évolution. Ecologie. Université Montpellier II., 210 p.

Zeroual, A. (2016). Effet de la salinité sur le développement et la reproduction de *Daphnia magna*. *Mémoire de Master*, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen.

Zeroual, C. E. (2016). *Effet du sel (NaCl) sur le développement embryonnaire de Daphnia magna*. Mémoire de Master, Université Frères Mentouri Constantine 1.

Zhao, Y., et al. (2023). Rapidly evolving zooplankton in a salinizing world: To what extent does microevolutionary adaptation to one salt increase tolerance to another one? *Limnology and Oceanography*.

annexes

Le test de Kruskal Walis

	Age moyen de maturation par jour	Age première ponte par jour	Taille des femelles à la première ponte en mm	Taille des femelles à la deuxième ponte en mm	Taille entre la première et la deuxième ponte	Taille des juvéniles à la première ponte en mm	Taille des juvéniles à la deuxième ponte en mm
Khi-deux	8,209	1,215	6,954	,780	1,522	6,875	,833
ddl	3	3	3	3	3	3	3
Signification asymptotique	**,042**	**,749**	**,073**	**,854**	**,677**	**,076**	**,841**

	Nombre de ponte par femelle	Intervalle de ponte	La grandeur de ponte	Longévité (en jours)	Taille des femelles à la fin du test en mm	Poids des femelles à la fin du test en mg
Khi-deux	1,378	,919	3,768	1,615	3,262	3,262
ddl	3	3	3	3	3	3
Signification asymptotique	**,711**	**,821**	**,288**	**,656**	**,353**	**,353**