

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 اوت 1955 - سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option: Ecotoxicologie Animale

Intitulé :

**Effet de nanoparticule de dioxyde de titane (TiO_2) sur le
developpement des larves des moustiques *Aedes detritus*
(Haliday, 1833)**

Présenté Par : - HADEF Rayane - DAKHIL Fatima Zohra Souha
- GUERFI Asma - BOURAS Sana

Membres de Jury:

Dr Benzazia S	MCA	Président	Université 20 août 1955- Skikda
Dr Boulkenafet F	MCA	Directeur du mémoire	Université 20 août 1955- Skikda
Dr Nadji S	MCA	Examinatrice	Université 20 août 1955- Skikda

Année universitaire 2024/2025

Remercîments :

En premier lieu, nous remercions Allah le tout-puissant de nous avoir aidés durant toute notre vie, sans lui ce manuscrit n'aurait pas pu voir le jour.

Nos remerciements s'adressent aussi à notre encadreur DR BOULKENAFE Fouzi , enseignant et chercheur à l'Université de 20 Aout 1955 Skikda , Pour avoir accepté de nous diriger et guider dans cette recherche, pour son soutien inconditionnel, et avec qui nous avons établi une relation de confiance. Nous tenons également à le remercier pour sa grande disponibilité.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury DR NADJI Safia et DR BENZAZIA Samia pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail.

Nous adressons nos remerciements à tous nos amis(es) et à toute notre famille, tout particulièrement nos parents Nos sœurs et frères et pour leur soutien et leurs encouragements.

Enfin à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire

Merci.

Dédicas :

Maman, Papa,

*Votre amour silencieux a été mon moteur,
Votre confiance en moi, ma plus grande force.
Merci pour vos sacrifices, votre patience infinie,
Et pour avoir cru en moi même quand je doutais.*

Ce diplôme est le vôtre autant que le mien.

Je vous dois tout.

Avec tout mon cœur, merci.

À toi, mon grand frère, mon pilier, mon complice de toujours,

Tu as été ma force quand je pensais m'écrouler.

Merci de m'avoir écouté, conseillé, parfois grondé,

Merci d'avoir cru en moi, même quand je perdais espoir.

Tu es bien plus qu'un frère... Tu es mon héros,

Et je t'aime bien plus fort que tous les mots.

je t'aime trop. Ce diplôme est aussi le tien.

À ma bande de fous, mes sauveurs de soirées d'angoisse ce mémoire

est aussi le vôtre. Merci d'avoir transformé mes 'je n'y arriverai

jamais' en 'on est ensemble'. Je vous aime.

Rayane

Dédicas :

À ma maman et mon papa mes premiers supporteurs et ma plus grande force. Merci pour votre présence, votre soutien, et surtout votre amour

À ma sœur Chaima, ma raison de vivre merci pour votre soutien dans mes doutes et amie fidèle des premières heures ; tu as su, par ta présence constante, ta bonne humeur et ton écoute attentive, illuminer mes journées les plus longues de travail .

À ma Amani ma compagne discrète et lumineuse, toujours présente dans les coulisses de ma vie ; tu as su trouver les mots justes dans mes moments de doute ton soutien silencieux, ta gentillesse et ta sincérité ont été une source constante de force .

À mon s partenaire de vie mon meilleur allié, pour son soutien affectif, son écoute attentive et sa patience inébranlable Tu as su apaiser mes doutes, célébrer mes réussites et être là dans les moments les plus difficiles.

À mes amis Kanza, Yousra, Hadjer , Rim et Aya pour leurs conseils votre amitié est un trésor précieux qui a transcendé mes journées les plus longues.

Souha

Dédicas :

« Et dis : Ô mon Seigneur, accrois mes connaissances. » (Sourate Taha, verset 114)

Je dédie ce modeste travail avant tout à mes parents bien-aimés. À mon cher père et à ma douce mère, les piliers de ma vie, mes sources inépuisables d'amour, de soutien et de sacrifices. Vous avez toujours cru en moi, même lorsque moi-même je doutais. Votre patience, vos prières et vos encouragements ont été ma lumière dans les moments les plus sombres. Aucun mot ne saurait exprimer à quel point je vous suis reconnaissante. Que Dieu vous protège, vous comble de santé et vous accorde une vie pleine de bonheur et de sérénité.

À mes deux précieuses sœurs, Imen et Lina, mes compagnes de vie, de rires, de peines et de réussites. Merci pour votre soutien, votre écoute, vos mots réconfortants et vos encouragements constants. Vous êtes bien plus que des sœurs, vous êtes mes trésors et mes alliées dans cette vie.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude et mon amour à ma tante bien-aimée et à ses enfants, qui ont toujours été présents pour nous, avec bienveillance, tendresse et générosité. Votre présence à nos côtés a toujours été d'un grand réconfort.

Un remerciement tout particulier à Madame Battez Hassiba, qui, avec une immense patience et beaucoup de compréhension, m'a accompagnée dans mon apprentissage du Saint Coran. Merci de m'avoir laissé avancer à mon rythme, sans jamais me faire sentir la pression. Que Dieu vous récompense pour votre bonté et votre bienveillance.

Qu'Allah protège ma famille, mes parents et mes sœurs, qu'Il leur accorde la réussite, la santé, la paix et le bonheur dans cette vie et dans l'au-delà.

Sana

Dédicas :

*À ceux qui ont semé en moi l'amour du savoir et la volonté
d'avancer...*

*À ma mère bien-aimée, source inépuisable de tendresse et de prières
silencieuses,*

*À mon père, mon premier repère, qui m'a appris la patience et la
persévérance,*

*À mes frères et sœurs : Hocine, Khawla, Ahsane, Chaïma, Mouad et
Hamza,*

vous êtes ma force, mon refuge, et ma fierté.

*À mon mari Hussein, mon pilier, mon soutien dans chaque étape de ce
parcours.*

*Et à mes deux petits trésors, mes oiseaux du cœur, Soujoud et Israe,
vous êtes la lumière de mes jours.*

*À toute ma famille, proche et lointaine, pour leur amour et leurs
encouragements.*

*À mes amis fidèles, compagnons de route dans les moments de doute
comme de joie.*

*Je vous dédie ce travail, avec toute ma reconnaissance et tout mon
amour.*

Asma

Résumé :

Les moustiques sont des vecteurs majeurs de maladies graves, causant plus de 700 000 décès par an, notamment dans les régions tropicales. En Algérie, malgré les efforts de lutte, certaines espèces persistent et résistent aux insecticides classiques, posant un risque épidémique accru.

Cette étude explore l'effet larvicide écologique des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) sur les larves d'*Aedes detritus*. L'étude a été réalisée à l'Université du 20 Août 1955 de Skikda, en utilisant différentes concentrations de NPs TiO₂ (100, 200, 300 et 400 µg/mL) et en mesurant la mortalité après 24, 48 et 72 heures.

Les résultats montrent une relation dose-réponse claire, avec une efficacité accrue à forte concentration et sur des durées d'exposition prolongées et La CL50 a été estimée à 246,5 µg/mL et la CL90 à 625,3 µg/mL après 72h.

Ces résultats suggèrent leur potentiel pour remplacer les insecticides chimiques, sous réserve d'évaluer leur impact environnemental

Mot clés : nanoparticules , les larves , *Aedes detritus* , CL50 , CL90

ملخص:

يُعدّ البعوض ناقلاً رئيسياً لأمراض خطيرة، إذ يتسبب في وفاة أكثر من 700,000 شخص سنوياً، لا سيما في المناطق الاستوائية. في الجزائر، ورغم جهود مكافحة، لا تزال بعض الأنواع موجودة وتقاوم المبيدات الحشرية التقليدية، مما يُشكل خطراً وبائياً متزايداً.

تكشف هذه الدراسة التأثير البيئي المُبيد لليرقات لجسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية (TiO_2) على يرقات بعوضة *Aedes detritus*. أُجريت الدراسة في جامعة 20 أغسطس 1955، سكيكدة، باستخدام تراكيز مختلفة من جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية (100، 200، 300، و400 ميكروغرام/مل)، وقيست معدلات الوفيات بعد 24، 48، و72 ساعة.

تُظهر النتائج وجود علاقة طردية بين الجرعة والاستجابة، مع زيادة الفعالية عند التركيزات العالية وعلى مدى فترات التعرض الطويلة. قُدِّرَت قيمة التركيز القاتل (CL 50) بـ 246.5 ميكروغرام/مل، و التركيز القاتل (CL 90) بـ 625.3 ميكروغرام/مل بعد 72 ساعة.

تشير هذه النتائج إلى إمكانية استبدال المبيدات الحشرية الكيميائية، رهناً بتقييم أثرها البيئي.

الكلمات المفتاحية: الجسيمات النانوية، اليرقات، *Aedes detritus*، CL90، CL50

Abstract:

Mosquitoes are major vectors of serious diseases, causing more than 700,000 deaths annually, particularly in tropical regions. In Algeria, despite control efforts, some species persist and are resistant to conventional insecticides, posing an increased epidemic risk.

This study explores the ecological larvicidal effect of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles on *Aedes detritus* larvae. The study was conducted at the University of August 20, 1955, Skikda, using different concentrations of TiO₂ NPs (100, 200, 300, and 400 µg/mL) and measuring mortality after 24, 48, and 72 hours.

The results show a clear dose-response relationship, with increased efficacy at high concentrations and over extended exposure times. The LC₅₀ was estimated at 246.5 µg/mL and the LC₉₀ at 625.3 µg/mL after 72 hours.

These results suggest their potential to replace chemical insecticides, subject to an assessment of their environmental impact.

Keywords: nanoparticles, larvae, *Aedes detritus*, LC₅₀, LC₉₀

Sommaire :

Remercîments	
Dédicas	
Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction :	13
Introduction :	14
CHAPITRE 1 :	16
Revue Bibliographique.....	16
I.1 Les moustiques :	17
I.1.1. Qu'ès qu'un moustique ? :	17
I.1.2. La morphologie :	17
I.1.3. Cycle de vie :	20
I.2. Les nanoparticules :	23
I.2.1. Qu'es qu'une nanoparticule ? :	23
I.2.2. Principaux type des nanoparticules :	24
I.2.3. Les propriétés des nanoparticules :	27
I.2.4. Application des nanoparticules :	28
CHAPITRE 2 :	30
Matériel et Méthodes.....	30
II-1 Le site d'étude :	31
II-2 Matériel biologique : <i>Aedes detritus</i>	31
II.2.1. Échantillonnage des larves :	32
II.2.2. Élevage des moustiques :	32
II.2.3. Montage et identification des larves :	32
II-3 Matériel chimique :	33
II.3.1. Mode opératoire :	33
II.3.1. Protocole de synthèse de la poudre :	34
II.3.2. Protocole Expérimental - Effet Larvicide des Nanoparticules de TiO ₂ :	35
II.3.3. Test de toxicité :	36
II.3.4. Méthode d'Exploitation Statistique des Résultats :	37

CHAPITRE 3 :	38
Résultats et Discussion.....	38
III.1. Résultats d'identification des larves :.....	39
III.2. Analyse de nanoparticule de dioxyde de titane TiO ₂ :.....	39
III.3. Evaluation d'effet de NPs TiO ₂ :.....	41
III.4. La discussion :.....	46
Conclusion et Perspectives :.....	50
Références Bibliographiques :.....	52

Liste des figures :

Figure 1. Type des moustiques.....	17
Figure 2. Constitution de moustique	19
Figure 3. Cycle biologique d' <i>Aedes albopictus</i>	20
Figure 4. Œufs de moustique.....	21
Figure 5. Larve de moustique	22
Figure 6. Nymphe de moustique	22
Figure 7. Moustique adulte.....	23
Figure 8. Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques	24
Figure 9. Schéma des nanoparticules organiques.....	25
Figure 10. Schéma des nanoparticules inorganiques.....	25
Figure 11. Schéma des nanoparticules métalliques.....	26
Figure 12. Localisation de université 20 aout 1955 skikda	31
Figure 13. <i>Aedes detritus</i>	31
Figure 14. Précurseurs.....	34
Figure 15. Broyeur planétaire.....	34
Figure 16. Schéma représentatif des différentes étapes des synthèses des poudres	35
Figure 17. Balance de précision	35
Figure 18. Sonicateur	36
Figure 19. Test de toxicité	36
Figure 20. Critères morphologiques d'identification d'espèce <i>Aedes detritus</i>	39
Figure 21. Spectre de diffraction.....	39
Figure 22. Courbe representatif de les mortalités corrigées des larves d' <i>Aedes detritus</i> par rapport au doses de NPs TiO ₂	45

Liste des tableaux :

Tableau 1: Les différents domaines d'application des nanoparticules.....	28
Tableau 2 : Les précurseurs communs	33
Tableau 3 : Paramètres cristallins de NPs TiO ₂	40
Tableau 4 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO ₂) sur la mortalité des moustiques après 24h.....	41
Tableau 5 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO ₂) sur les larves de <i>Aedes detritus</i> après 24h	41
Tableau 6 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO ₂) sur la mortalité des moustiques après 48h.....	42
Tableau 7 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO ₂) sur les larves de <i>Aedes detritus</i> après 48h	43
Tableau 8 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO ₂) sur la mortalité des moustiques après 72h.....	44
Tableau 9 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO ₂) sur les larves de <i>Aedes detritus</i> après 72h.....	44

Introduction :

Introduction :

Les moustiques (Diptera : Culicidae) représentent l'une des principales menaces pour la santé publique en raison de leur capacité à transmettre des agents pathogènes responsables de maladies graves, telles que le paludisme, la dengue, le chikungunya, la fièvre jaune et le virus Zika (OMS, 2022). Selon les estimations de l'OMS, ces maladies vectorielles causent plus de 700 000 décès annuels, touchant particulièrement les régions tropicales et subtropicales, mais aussi certaines zones tempérées en raison des changements climatiques et de l'urbanisation accélérée (OMS, 2022).

En Algérie, malgré les progrès significatifs dans l'élimination du paludisme, des espèces vectrices comme *Anopheles*, *Aedes* et *Culex* persistent, notamment dans les milieux humides et urbains, augmentant les risques d'épidémies (IAP, 2018). Pour lutter contre ces vecteurs, les méthodes conventionnelles, notamment les insecticides chimiques (pyréthrinoides, DDT), ont été largement utilisées. Cependant, leur efficacité est compromise par l'émergence de résistances génétiques et physiologiques chez les moustiques, ainsi que par leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine (Benelli, 2018).

Face à ces défis, la recherche se tourne vers des alternatives plus écologiques et durables, parmi lesquelles les nanotechnologies offrent des perspectives prometteuses. Les nanoparticules, en raison de leurs propriétés physico-chimiques uniques (taille nanométrique, surface réactive élevée), présentent une activité larvicide efficace tout en minimisant les impacts écologiques (Roni et al., 2015). Parmi ces nanoparticules, le dioxyde de titane (TiO₂) a démontré une forte toxicité contre les larves de moustiques en perturbant leur développement et en induisant une mortalité élevée (Dinesh et al., 2015).

Cette étude, vise à évaluer l'effet larvicide des nanoparticules de dioxyde de titane TiO₂ sur les larves des moustiques *Aedes detritus*.

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres dont le premier se veut une revue bibliographique divisé par 2 parties . La première partie concerne les Culicidae en général (définition ,la morphologie, le cycle de vie). La deuxième partie consacrée aux nanoparticules (définition , les types des nanoparticules leur propriétés et les différentes domaine d'application des nanoparticules) .

Le deuxième chapitre matériel utilisé de même que les différentes méthodes effectuées lors de la réalisation de nos expérimentations.

Le troisième chapitre , il regroupe les résultats , interprétation et la discussion des résultats obtenus par rapport aux études précédemment menées dans d'autres régions . Et finalement nous finalisons notre travail par une conclusion.

CHAPITRE 1 :

Revue Bibliographique

I.1 Les moustiques :

I.1.1. Qu'ès qu'un moustique ? :

Les moustiques, des diptères primitifs mesurant entre 3 et 10 mm, appartiennent à la famille des Culicidés, qui regroupe environ 3 300 espèces décrites. En Algérie, 48 espèces ont été recensées, appartenant principalement aux genres *Anopheles*, *Aedes* et *Culex* (BRUNHES et al., 2000 in Chaoui et Draa, 2020). Cette famille se subdivise en deux sous-familles : les Anophelinae et les Culicinae, qui comprennent les trois genres principaux : *Anopheles*, *Culex* et *Aedes* (figure 1).

Les femelles des Culicidés, hématophages à l'âge adulte, jouent un rôle majeur dans la transmission de nombreuses zoonoses. Elles représentent un problème de santé publique mondial, indépendamment du contexte socio-économique des pays concernés.

Bien que toutes les maladies transmises par ces vecteurs ne soient pas mortelles, beaucoup d'entre elles entraînent des handicaps et génèrent des conséquences sanitaires et économiques considérables (Chaoui et Draa, 2020).

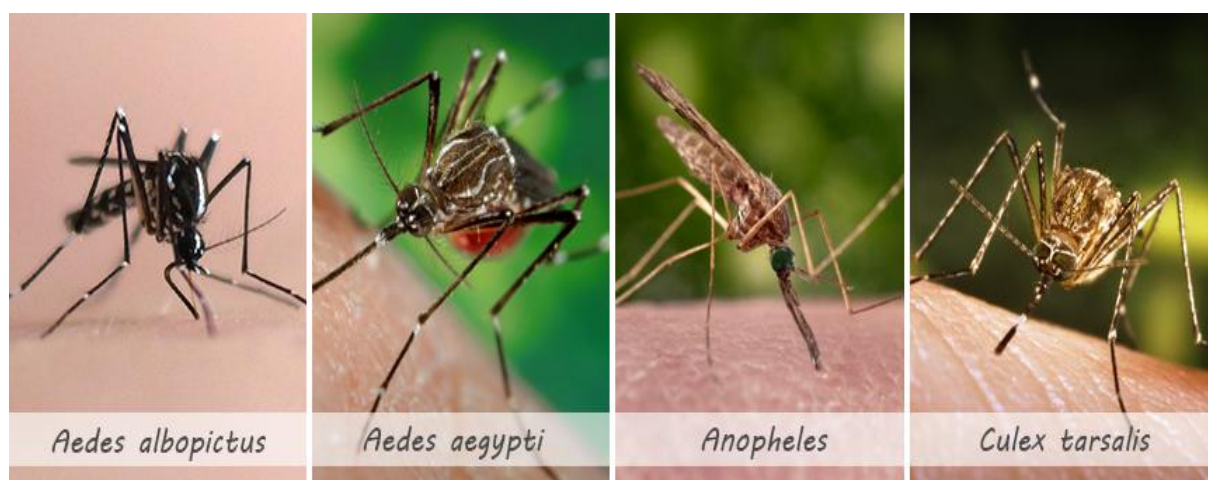


Figure 1. Type des moustiques (Biogents, 2020)

I.1.2. La morphologie :

Les anophèles adultes présentent un corps élancé composé de trois parties principales : la tête, le thorax et l'abdomen.

a. La tête :

La tête, de forme globuleuse et distincte du thorax, est soutenue par un cou étroit. Les yeux, particulièrement volumineux et de forme réniforme, sont constitués d'ommatidies juxtaposées et occupent une grande partie de la tête. Les antennes, situées dans la région faciale, se composent de plusieurs segments, dont un scape globuleux à la base. Le deuxième segment, appelé torus, est allongé et abrite l'organe auditif de Johnstone (plus développé chez le mâle). Enfin, le flagellum (ou flagelle) est formé d'articles dont le nombre varie selon le sexe (Boulkenafet, 2006).

*Chez les femelles, ces articles portent des soies courtes (antennes glabres), tandis que chez les mâles, les soies sont très longues (antennes plumeuses).

Le proboscis (ou trompe), situé dans la partie inféro-médiane, diffère entre les sexes :

- Chez la femelle hématophage, il comprend :

3 pièces impaires : épipharynx, hypopharynx et labium (de haut en bas).

4 pièces paires : deux mandibules supérieures et deux maxilles inférieures. Lors de la piqûre, toutes ces pièces pénètrent dans la peau, sauf le labium, qui se replie en formant une gaine protectrice.

- Chez le mâle (se nourrissant de sucres végétaux), seuls l'épipharynx et le labium persistent, les autres structures étant atrophiées.

Les palpes maxillaires, situés de part et d'autre de la base du proboscis, servent d'organes tactiles et sont constitués de 3 ou 4 articles. Leur longueur est équivalente à celle de la trompe, avec une extrémité aplatie en forme de raquette chez les mâles (Rioux, 1958 in Boulkenafet, 2006).

a) Le thorax :

Il est formé de trois segments soudés : prothorax, mésothorax et métathorax, chacun portant une paire de pattes. Le mésothorax, particulièrement développé, supporte les ailes. Son tergite se divise en trois parties : prescutum, scutum et scutellum (ce dernier étant simple chez les anophélins).

Le métathorax porte les balanciers (organes d'équilibration), ainsi que trois paires de pattes articulées et les ailes. Ces dernières, longues et étroites, sont constituées de deux membranes reliées, renforcées par des nervures longitudinales (costales, sous-costales, radiales, médianes, cubitales, anales)(figure 2) et transversales (humérale, radiomédiane, médio-cubitale). Ces nervures sont recouvertes d'écailles colorées, plumeuses ou squameuses, dont l'agencement est utilisé en taxonomie. La membrane alaire est parsemée de soies courtes, et le bord postérieur présente une frange d'écailles (Rioux, 1958 in Boulkenafet, 2006).

b. L'abdomen :

Il se compose de dix segments, dont huit sont visibles extérieurement. Les sept premiers segments sont similaires, avec des pleurites flexibles abritant les stigmates respiratoires. Généralement dépourvu d'écailles, l'abdomen voit ses derniers segments modifiés en raison des organes génitaux et de leurs appendices.

- Chez la femelle, le dernier segment porte les cerques, avec l'orifice anal positionné dorsalement par rapport à l'orifice vaginal.
- Chez le mâle, une rotation de 180° des segments VIII, IX et X se produit entre la 12e et la 24e heure après l'éclosion (phénomène décrit par Christopher en 1915).

Cette rotation place l'orifice anal en position ventrale et l'orifice génital en position dorsale(Boulkenafet, 2006).

Le IXe segment forme un anneau chitineux, avec une échancrure ventrale entre deux lobes épineux. Sa partie dorsale porte une paire de crochets articulés, composés :

-D'un coxite à la base.

-D'un style à l'extrémité distale.

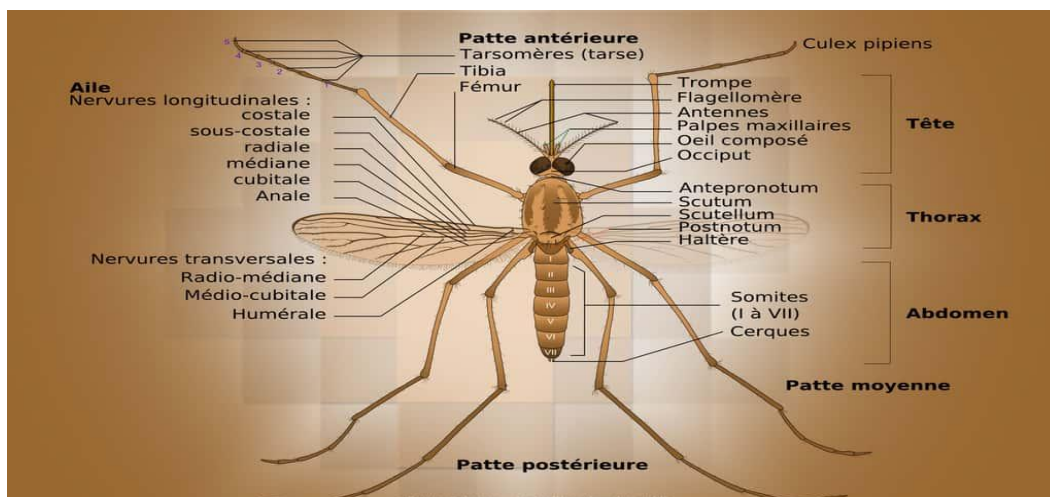


Figure 2. Constitution de moustique (Futura-Sciences, 2023)

I.1.3. Cycle de vie :

Le cycle de vie du moustique (figure3) comprend deux phases distinctes : une phase aquatique et une phase aérienne. La femelle dépose ses œufs à la surface de l'eau, où ils éclosent et donnent naissance à des larves. Celles-ci traversent successivement quatre stades larvaires avant de se transformer en nymphe, ultime phase aquatique précédant l'émergence de l'adulte ailé.

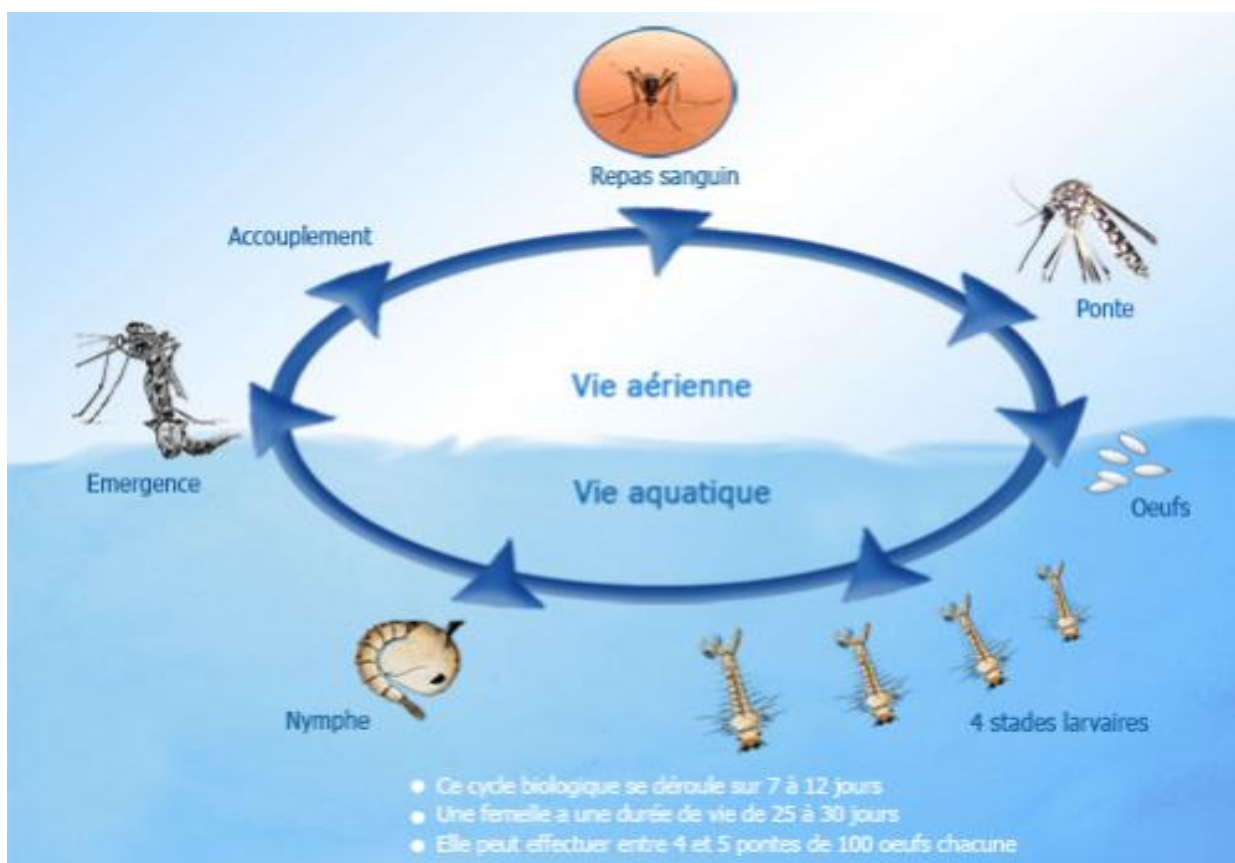


Figure 3. Cycle biologique d'*Aedes albopictus* (Chaoui et Draa, 2020)

a. Œuf :

De nombreux moustiques, comme *Culex quinquefasciatus*, pondent leurs œufs (figure 4) à la surface de l'eau douce ou stagnante. L'eau peut se trouver dans des boîtes de conserve, des tonneaux, des abreuvoirs, des bassins d'agrément, des piscines, des flaques d'eau, des ruisseaux, des fossés, des puits ou des zones marécageuses. Les moustiques préfèrent les eaux abritées du vent par l'herbe et les mauvaises herbes (AMCA, 2025).

Les moustiques *Culex* pondent généralement leurs œufs la nuit, les collant les uns aux autres pour former un radeau de 100 à 300 œufs. Un radeau ressemble à un grain de suie flottant sur l'eau et mesure environ 6 mm de long et 3 mm de large. Une femelle moustique peut pondre un radeau toutes les trois nuits au cours de sa vie (AMCA, 2025).

Les anophèles et de nombreux autres moustiques pondent leurs œufs individuellement à la surface de l'eau. Les moustiques *Aedes* et *Ochlerotatus* pondent leurs œufs individuellement, généralement sur un sol humide. Les œufs d'*Aedes* et d'*Ochlerotatus* sont plus résistants au dessèchement (certains nécessitent un séchage complet avant l'éclosion) et n'éclosent que lorsqu'ils sont inondés (marées hautes salées, pâturages irrigués, trous d'arbres inondés par les pluies, fonds de cours d'eau inondés). Les œufs d'*Anopheles*, de *Culex* et de *Mansonia* sont sensibles au dessèchement lors de sécheresses prolongées (AMCA, 2025).

De minuscules larves de moustiques (1er stade larvaire) émergent des œufs en 24 à 48 heures, presque simultanément.



Figure 4. Œufs de moustique (AMCA, 2025)

b. Larve :

Les larves de moustiques (figure 5), communément appelées « wigglers », vivent dans l'eau de 4 à 14 jours selon la température de l'eau.

Les larves de presque toutes les espèces doivent remonter à la surface à intervalles réguliers pour s'oxygéner grâce à un tube respiratoire appelé siphon. Les larves de *Coquillettidia* et de *Mansonia* possèdent des siphons modifiés qui leur permettent de percer les tiges des végétaux émergents dans l'eau et d'y puiser leur oxygène. Les larves se nourrissent constamment, car leur maturation nécessite une énorme quantité d'énergie et de nourriture. Elles sont suspendues, la tête baissée, les brosses situées près de leur bouche, filtrant tout ce qui est suffisamment petit pour être mangé pour nourrir les larves en croissance. Elles se nourrissent d'algues, de plancton, de champignons, de bactéries et d'autres micro-organismes.

Elles respirent à la surface de l'eau, le tube respiratoire vers le haut, brisant ainsi la tension superficielle de l'eau. (AMCA, 2025).

Les larves de quelques espèces de moustiques sont cannibales et se nourrissent de larves d'autres moustiques : les *Toxorhynchites* et certains *Psorophora*, les plus grands

moustiques connus, sont des prédateurs des larves d'autres moustiques partageant leur habitat. Leurs larves sont beaucoup plus grandes que celles des autres moustiques. (AMCA, 2025).

Pendant sa croissance, la larve mue (se dépouillant) quatre fois. Les stades entre les mues sont appelés stades larvaires. Au 4e stade larvaire, la larve atteint généralement une longueur de près de 1,25 cm et cesse de se nourrir vers la fin de ce stade. Lorsque la larve du 4e stade mue, elle se transforme en nymphe (AMCA, 2025).



Figure 5. Larve de moustique (AMCA, 2025)

c. Nymphe :

Les nymphes de moustiques (figure 6), communément appelées « culbuteurs », vivent dans l'eau de 1 à 4 jours, selon l'espèce et la température.

Plus légère que l'eau, la nymphe flotte donc à la surface. Elle s'oxygène grâce à deux tubes respiratoires appelés « trompettes ». La nymphe ne mange pas, mais ce n'est pas un stade inactif. Lorsqu'elle est dérangée, elle plonge dans un mouvement saccadé et culbutant vers un abri, puis remonte à la surface.

La métamorphose du moustique en adulte (figure 6) s'effectue dans l'enveloppe nymphale. Cette enveloppe sert ainsi d'usine au moustique pour transformer une larve en adulte. Le moustique adulte fend l'enveloppe nymphale et émerge à la surface de l'eau où il se repose jusqu'à ce que son corps sèche et durcisse (AMCA, 2025).

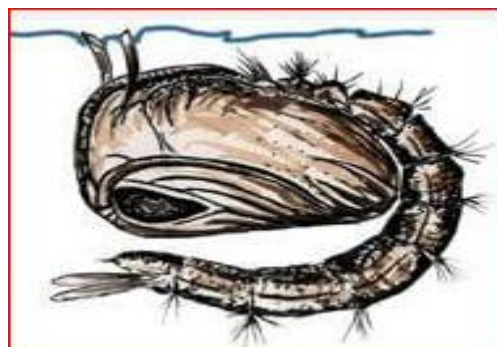


Figure 6. Nymphe de moustique (AMCA, 2025)

d. Adulte :

Seules les moustiques femelles se nourrissent de sang et piquent les animaux, à sang chaud ou froid, et les oiseaux. Les stimuli qui influencent la piqûre (alimentation sanguine) comprennent une combinaison de dioxyde de carbone, de température, d'humidité, d'odeur, de couleur et de mouvement. Les moustiques mâles ne piquent pas, mais se nourrissent de nectar de fleurs ou d'autres sources de sucre appropriées. Un repas de sang (protéine) est essentiel à la production d'œufs, mais la plupart des moustiques adultes (figure 7) mâles et femelles se nourrissent de nectar. Les femelles *Toxorhynchites* ne peuvent pas se nourrir de sang et se limitent à un régime nectarifère. Parmi les moustiques femelles capables de se nourrir de sang, les repas de sang humain sont rarement leur premier ou deuxième choix. Les chevaux, les bovins, les petits mammifères et/ou les oiseaux sont leurs aliments préférés (AMCA, 2025).

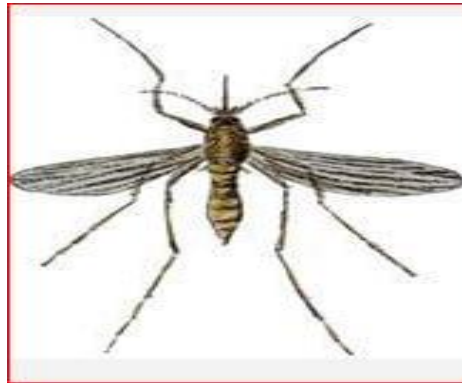


Figure 7. Moustique adulte (AMCA, 2025)

I.2. Les nanoparticules :**I.2.1. Qu'est qu'une nanoparticule ? :**

Une nanoparticule (NPs) est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes. Cette définition exclut donc les objets dont la plus petite dimension est comprise entre 100 et 1000 nm. A titre de comparaison avec les structures organiques naturelles, les nanoparticules se situent principalement dans la gamme de taille correspondant aux protéines (figure 8) . La plupart des nanoparticules sont des agrégats de petites molécules ou d'atomes (Belfennache, 2012).

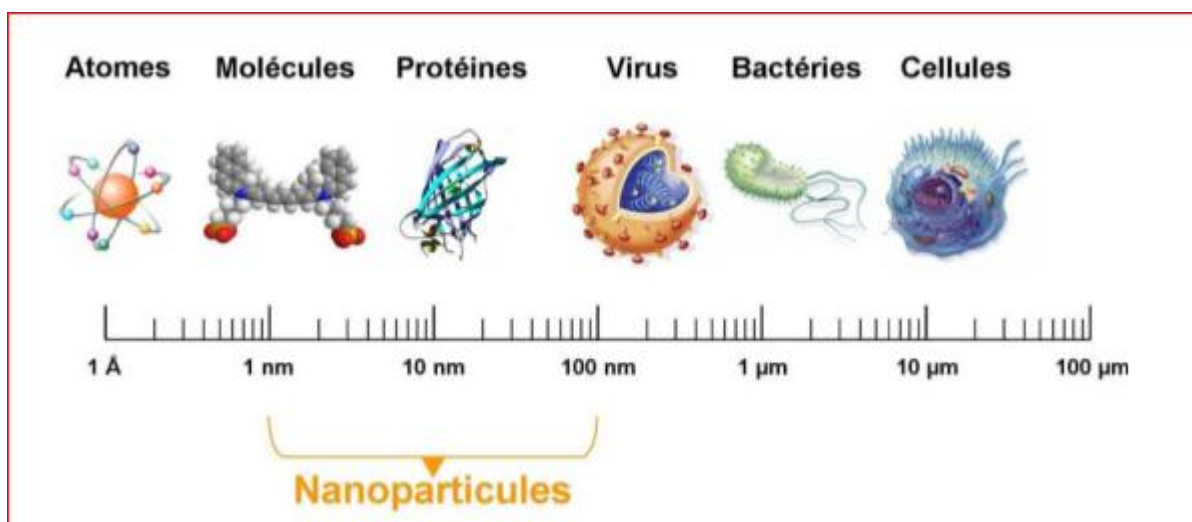


Figure 8. Gamme de tailles des nanoparticules comparées à celles des principales structures chimiques et biologiques (Belfennache, 2012)

I.2.2. Principaux type des nanoparticules :

Les nanoparticules sont classées en quatre catégories selon leur morphologie structurelle : organiques, inorganiques, à base de carbone et composites. Voici les types les plus importants :

➤ Nanoparticules organiques :

Les nanoparticules organiques (figure 9), dérivées de composés tels que les protéines, les glucides, les lipides et les polymères, incluent les micelles, dendrimères, liposomes, nanogels, nanoparticules polymériques et ferritine. Généralement non toxiques et biodégradables, elles peuvent avoir un cœur creux (comme les liposomes) et sont sensibles aux radiations thermiques et électromagnétiques. Formées par des interactions non covalentes, ces nanoparticules labiles sont facilement éliminées par l'organisme (Dehmchi et Bouafia, 2024).

Sous forme de nanosphères ou nanocapsules (appelées collectivement "nanoparticules polymorphes"), elles présentent : un rapport surface/volume élevé , une stabilité et inertie chimique , une facilité de fonctionnalisation et des propriétés optiques, électriques et magnétiques uniques (Dehmchi et Bouafia, 2024).

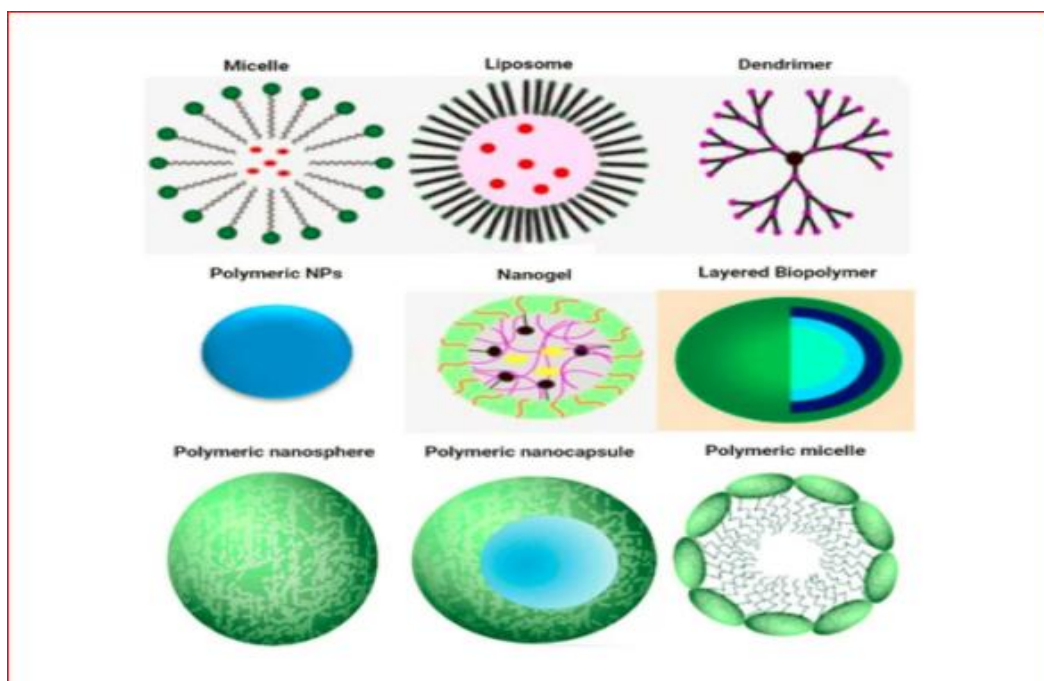


Figure 9. Schéma des nanoparticules organiques (Basmah-Alshammari et *al.*, 2023 in Dehmchi et Bouafia, 2024)

➤ **Nanoparticules inorganiques :**

Exemptes d'atomes de carbone, ces nanoparticules (figure 10) sont hydrophiles, non toxiques et biocompatibles, offrant une résistance mécanique et une stabilité élevées. Leur taille, forme et composition peuvent être précisément contrôlées pour des applications biomédicales ciblées (propriétés électriques, optiques ou magnétiques ajustables) (Dehmchi et Bouafia, 2024).



Figure 10. Schéma des nanoparticules inorganiques (Basmah-Alshammari et *al.*, 2023 in Dehmchi et Bouafia, 2024)

➤ Nanoparticules métalliques :

Produites à partir de métaux (Al, Cd, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Ag, Zn)(figure 11) via des méthodes destructives ou constructives (taille : 10–100 nm), elles présentent des propriétés optoélectroniques uniques grâce à la résonance plasmonique de surface. Les métaux nobles (Cu, Ag, Au) absorbent particulièrement la lumière visible (Dehmchi et Bouafia, 2024).



Figure 11. Schéma des nanoparticules métalliques (Basmah-Alshammari et *al.*, 2023 in Dehmchi et Bouafia, 2024)

➤ Nanoparticules d'oxyde métallique :

Issues de la modification des nanoparticules métalliques, elles sont utilisées dans : la fluorescence et capteurs optiques , la catalyse et biomédecine et les piles à combustible (Dehmchi et Bouafia, 2024).

➤ Nanoparticules céramiques :

Résistantes aux stress environnementaux, elles sont composées de composés inorganiques (silice, alumine) ou d'oxydes métalliques. Leur taille et composition de surface peuvent être modifiées pour échapper au système réticulo-endothélial (Dehmchi et Bouafia, 2024).

➤ **Nanoparticules lipidiques :**

De taille (10–100 nm), elles comprennent :

- Liposomes : Bicouche phospholipidique améliorant la solubilité et stabilité des médicaments.
- Nanoparticules lipidiques solides (50–1000 nm) : Alternatives prometteuses pour l'administration de principes actifs (Dehmchi et Bouafia, 2024).

➤ **Nanoparticules semi-conductrices :**

Hybrides entre métaux et non-métaux, elles présentent : une activité catalytique accrue et des effets de confinement quantique (Dehmchi et Bouafia, 2024).

➤ **Nanoparticules à base de carbone :**

Cinq matériaux principaux :

- a. **Graphène** : Structure hexagonale 2D, conductivité thermique/électrique exceptionnelle.
- b. **Fullerènes**(ex. C60) : Sphères de carbone utilisées en imagerie médicale et thérapie photodynamique.
- c. **Nanotubes de carbone (CNTs)** : SWCNT (monofeuillet) : Conductivité électrique élevée et MWCNT (multifeuillets) : Robustesse mécanique.
- d. **Fibres de carbone et carbone noir** (Dehmchi et Bouafia, 2024).

➤ **Nanoparticules composites :**

Combinaison de plusieurs composants pour des propriétés sur mesure. Trois catégories :

- Hybrides simples : Mélange de matériaux sans hiérarchie structurale.
- Structures cœur/coquille : Propriétés ajustables (ex. atténuation d'ondes électromagnétiques).
- Nanoparticules quantiques multifonctionnelles : Applications en biosensing, catalyse et séparations (Mandodan et *al.*, 2023 in Dehmchi et Bouafia, 2024).

I.2.3. Les propriétés des nanoparticules :

- Propriétés mécaniques : La structure nanométrique améliore la résistivité mécanique (Khemissat et Alloune, 2021).

- Propriétés électriques : La conductivité électrique de matière est modifiée par l'utilisation des Nanoparticules ou les nanotubes (Khemissat et Alloune, 2021).
- Propriétés optiques : Les Nanoparticules peuvent améliorer la transparence de la matière grâce à ces dimensions : Dimension de la nanoparticule < longueurs d'onde de la lumière visible(Khemissat et Alloune, 2021).
- Propriétés de transfert thermique : La présence des Nanoparticules peut améliorer la conductivité thermique de matière(Khemissat et Alloune, 2021).
- Propriétés magnétiques : Les cristallins (nanomatériaux de dimension 0) peuvent effectuer d'une manière importante le comportement magnétique des matières (Khemissat et Alloune, 2021).
- Propriétés catalytiques : Il existe des nanomatériaux qui peuvent jouer le rôle d'un catalyseur pour une réaction spécifiée par exemple : les nanoparticules d'or avec la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone (CO) (Khemissat et Alloune, 2021).

I.2.4. Application des nanoparticules :

Les nanoparticules trouvent des applications dans des nombreux domaines grâce a leur propriétés unique (tableau 1).

Tableau 1: les différents domaines d'application des nanoparticules (Greena et *al.*, 2011)

Domaine	Exemple d'application
Automobile et aéronautique	matériaux plus légers et plus résistants, peintures anti-rayures, anticorrosion.
Chimie et matériaux	pigments, poudres céramiques, inhibiteurs de corrosion, vitres antisalissures, textiles, revêtements antibactériens.
Pharmacie, biomédical	- médicaments et agents actifs - Des pansements dits « argentiques » contiennent des nanoparticules d'argent colloïdales, adsorbées sur leur surface - les crèmes, leurs applications et retraits quotidiens sont moins douloureux pour le patient. - Des cathéters urinaires, vasculaires et péritonéaux été fabriques a partir de polymères imprègnes d'argent sous forme métallique ou oxydée.....etc. - Des masques chirurgicaux contenant

	des nanoparticules d'argent.
Cosmétiques	-Crèmes solaires, pâtes dentifrice (abrasif) maquillage (meilleur tenue)
Environnement et énergie	-filtration eau de mer, analyseurs chimiques, pesticides et fertilisants plus efficace - Cellules photovoltaïques, batteries, fenêtres.
Défense	-détecteurs d'agents chimiques, systèmes de surveillance miniaturisés, système de guidage, textiles auto-réparateurs
agro-alimentaire et le traitement de l'eau	- matériaux de contact ou d'enrobage, additifs, auxiliaires de production ,biodétecteurs - Des équipements en argent sont utilisés pour la manipulation d'huiles essentielles, de sirops et de jus de fruits - Des boites plastiques pour le stockage de denrées alimentaires - des systèmes de filtration de l'air.
Autres applications : hygiène et désinfection	- Vêtements et textiles : Fibres et fils, Chaussettes, tenue de sport, baskets, Serviettes de toilette, sac de couchage, matelas . - Hygiène des personnes : Produits cosmétiques Spray pour chaussures, Sièges des toilettes publiques . - Technologies : Ordinateurs, Combines téléphoniques, calculatrice, clavier d'ordinateurs. - Désinfection des Surfaces Peintures murales, revêtements de sol, Revêtement de surfaces d'acier inoxydable pour équipements médicaux.

CHAPITRE 2 :

Matériel et Méthodes

II-1 Le site d'étude :

Notre étude a été effectuée dans l'Université du 20 Août 1955 qui est située précisément à environ 5 km du centre-ville de Skikda, en Algérie, dans un laboratoire de biologie animale.

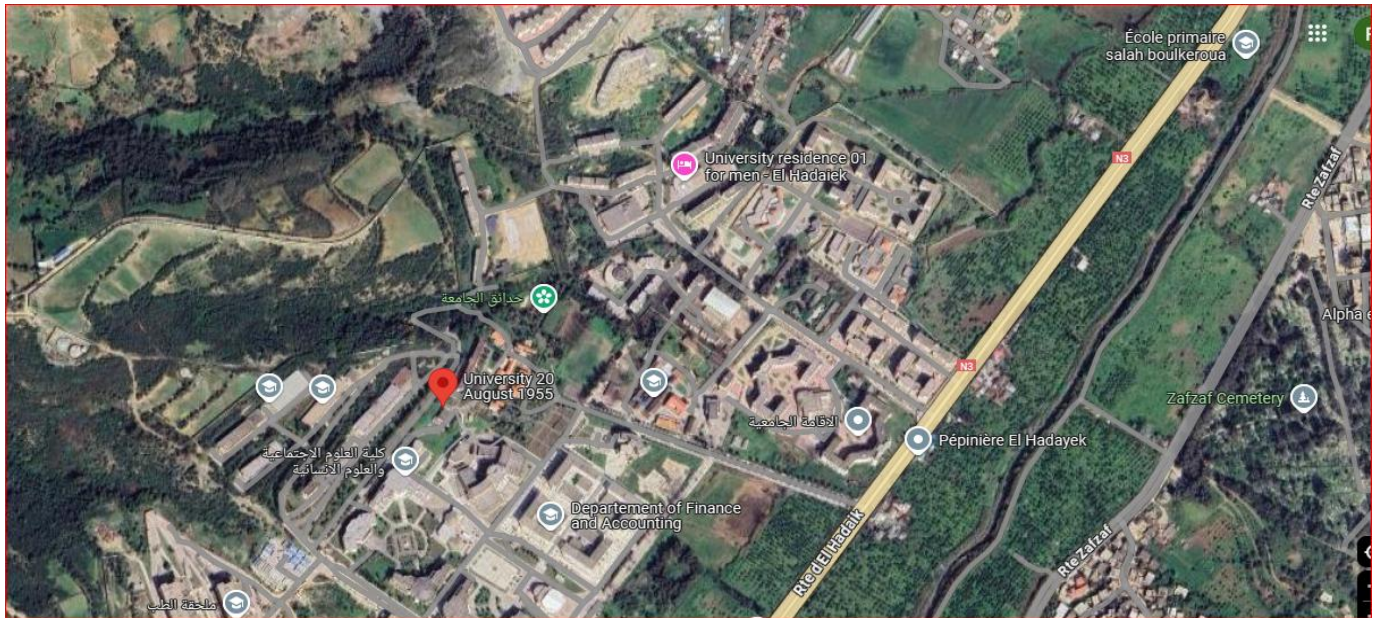


Figure 12. Localisation de université 20 aout 1955 skikda (Google Map, 2025)

II-2 Matériel biologique : *Aedes detritus*

L'étude a été menée sur des individus adultes d'*Aedes detritus* (figure 13), un des moustiques les plus présents et nuisants des marais halophiles du littoral méditerranéen. C'est un moustique sans motif particulier, le thorax est recouvert d'écailles jaunâtres, les pattes n'ont pas d'ornementation et l'abdomen est segmenté par des bandes transversales d'écailles blanches (EID-Med, 2025).



Figure 13. *Aedes detritus* (EID-Med, 2025)

II.2.1. Échantillonnage des larves :

L'échantillonnage des larves est effectué selon la méthode du « coup de louche » (Dipping) décrite par Rioux et al. (1965). Cette technique consiste à prélever des échantillons d'eau à l'aide d'une louche standardisée d'un litre, fixée à un manche en bois. Pour assurer la fiabilité des prélèvements, l'opérateur se place face au soleil et reste immobile à environ un mètre du gîte larvaire quelques instants avant l'immersion, permettant ainsi aux larves de reprendre leur activité normale. La louche est ensuite plongée délicatement dans l'eau, puis retirée d'un mouvement régulier afin d'éviter les perturbations. Les larves sont alors dénombrées directement lors de l'écoulement de l'eau par le bec verseur (Boulkenafet, 2006)

II.2.2. Élevage des moustiques :

Pour obtenir un grand nombre d'individus d'*Aedes detritus*, un élevage a été réalisé à partir d'un groupe initial de moustique adultes. Les insectes ont été maintenus dans des conditions contrôlées de températures variant entre 17°C et 25°C pendant une durée d'un mois. Ces conditions ont permis un développement continu et une ponte régulière des femelles.

À la fin de cette période, la population a dépassé le millier d'individus. Parmi les différents stades de développements, 375 larves ont été sélectionnées pour des observations ou des expérimentations spécifiques (CNRS, 2011).

II.2.3. Montage et identification des larves :

Seules les larves de quatrième stade ont été utilisées afin de garantir une identification fiable. Après leur récolte, les larves sont placées dans des petits tubes en plastique de transport, soigneusement étiquetés et classés par gîte, puis conservées dans de l'alcool éthylique à 70°. Elles sont ensuite traitées au KOH (10 %) pendant 12 à 24 heures pour un éclaircissement optimal. Cette étape est suivie de bains successifs dans différentes concentrations d'alcool (70°, 90°, 100°), avant d'être immergées dans du créosote de hêtre pendant au moins une heure (Boulkenafet, 2006).

Pour le montage, les larves sont sectionnées au niveau du 7^{ème} segment abdominal à l'aide d'une fine aiguille, séparant ainsi la partie antérieure (montée face dorsale vers le haut) de la partie postérieure (montée latéralement). Les échantillons sont ensuite disposés entre lame et lamelle dans une goutte de baume du Canada (Boulkenafet, 2006).

Pour la détermination, nous avons utilisé le logiciel d'identification des moustiques de l'Afrique méditerranéenne (Brhunes et *al.*, 1999).

II-3 Matériel chimique :

Les nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2) sont des particules dont la taille est généralement inférieure à 100 nanomètres. Elles présentent des propriétés physiques et chimiques uniques telles qu'une grande surface spécifique et une réactivité élevée.

II.3.1. Mode opératoire :

Cette opération a été effectuée dans l'institut polytechnique à Constantine dans le laboratoire technologie des matériaux avancés.

- **Sel fondu :** La synthèse par sel fondu, l'une des méthodes de préparation des poudres céramiques, consiste à utiliser un sel fondu comme milieu pour préparer des oxydes complexes.

Le terme « sel fondu » désigne tout milieu ionique composé d'anions et de cations, composés inorganiques, entre lesquels de fortes interactions électrostatiques assurent la cohésion du liquide.

- **Précurseurs utilisés (matière première) :**

Lors de l'élaboration des céramiques, nous commençons par l'élaboration de la poudre. Nous prêtons attention à la granulométrie et à l'homogénéité des composés : (TiO_2)

Tableau 2 : les précurseurs communs

Potassium chloride KCl
Sodium chloride NaCl
Methanol CH_4O



Figure 14. Précurseurs (photo originale)

II.3.1. Protocole de synthèse de la poudre :

La poudre a été broyée pendant 10 minutes à une vitesse de 200 tr/min, puis 2 heures avec du méthanol et 3 heures avec des sels par broyage planétaire (figure 15) à une vitesse de 150 tr/min afin d'obtenir un mélange très homogène.



Figure 15. Broyeur planétaire (photo originale)

- ✓ Le mélange a été séché à 80 °C pendant 12 heures pour éliminer tout le méthanol.
- ✓ La poudre obtenue a été calcinée pendant 4 heures à 750 °C.
- ✓ La dernière étape consiste à filtrer la poudre par sédimentation pour éliminer les sels.
- ✓ L'absence de sels est vérifiée par du nitrate d'argent, puis la poudre est séchée une fois de plus à 100 °C pendant 2 minutes, puis broyée une fois sèche.

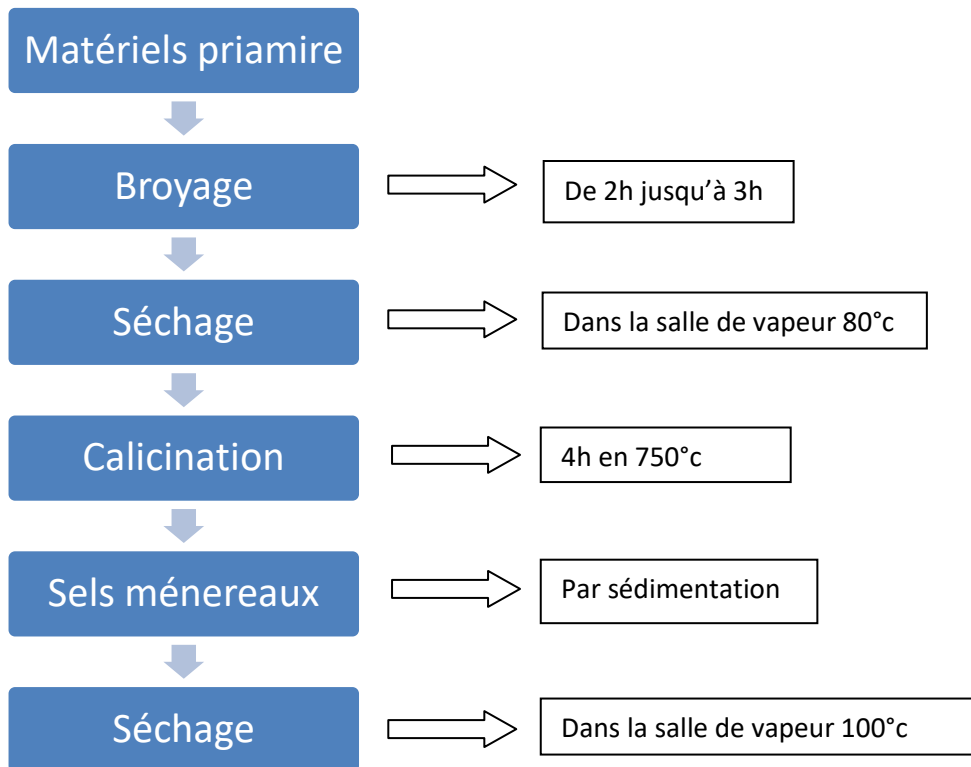


Figure 16. Schéma représentatif des différentes étapes des synthèses des poudres

II.3.2. Protocole Expérimental - Effet Larvicide des Nanoparticules de TiO₂ :

a) Préparation de la suspension mère :

1. Peser 200 mg de nanoparticules de TiO₂ dans la balance de précision (figure 19)
2. Dissoudre dans 100 mL d'eau de la source → solution mère à 1 à µg/mL.
3. Agiter ou soniquer 15-30 min pour homogénéisation (figure 18).
4. Stocker à température ambiante et à l'abri de la lumière.

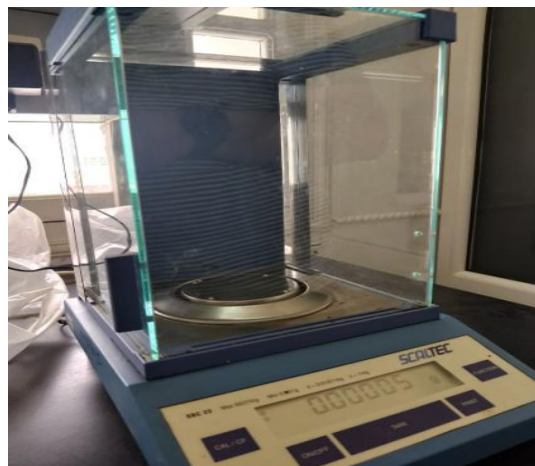


Figure 17. Balance de précision (photo originale)



Figure 18. Sonicateur (photo originale)

Pour préparer différentes concentrations de la suspension de nanoparticules, il faut partir d'une solution mère (stock) de concentration connue, puis effectuer des dilutions pour obtenir les concentrations souhaitées.

**Remarque : Utiliser un agitateur magnétique ou un sonicateur pour une bonne dispersion.

b) Réalisation des dilutions :

➤ Préparation des dilutions :

Préparer des concentrations de 100 , 200 , 300 et 400 $\mu\text{g/mL}$. Chaque solution doit être fraîchement préparée avant usage.

II.3.3. Test de toxicité :

1. Placer 25 larves L3 dans chaque gobelet contenant 100 mL de chaque dilution.(figure 19)
2. Inclure un groupe témoin (eau sans TiO_2).
3. Effectuer les tests en triplicat (3 gobelet par concentration).
4. Ne pas nourrir les larves pendant le test.
5. Observer la mortalité après 24 h, 48 h et 72 h.



Figure 19. Test de toxicité (photo originale)

➤ **Critères d'évaluation :**

- Une larve est considérée morte si elle ne répond pas au toucher.
- Calculer la mortalité (%) pour chaque concentration.
- Si la mortalité dans le témoin dépasse 10 %, le test doit être annulé.
- Corriger les mortalités avec la formule d'Abbott si nécessaire

II.3.4. Méthode d'Exploitation Statistique des Résultats :

Pour l'exploitation statistique des résultats, nous avons utilisé l'analyse de la variance ANOVA et les comparaisons multiples par la méthode de Tukey, MINITAB 2017 et GraphPad PRISM6

➤ **L'analyse de la variance :**

C'est un test d'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe, basé sur le test de FISHER. Il permet de calculer la probabilité de mettre en évidence les différences significatives (P : seuil de signification).

On compare la valeur de P avec $\alpha = 0.05$.

Si $P > 0.05$ alors il n'existe pas de différences significatives entre les doses.

Si $P \leq 0.05$ (*) il existe des différences significatives entre les doses.

Si $P \leq 0.01$ (**) différences hautement significatives.

Si $P \leq 0.001$ (***) différence très hautement significatives. (DAGNELIE, 1999)

CHAPITRE 3 :

Résultats et Discussion

III.1. Résultats d'identification des larves :

L'identification des larves récoltées au niveau du gîte, nous a permis d'identifier l'espèce *Aedes detritus*, cette identification est basée sur les critères morphologiques suivants (figure 20):

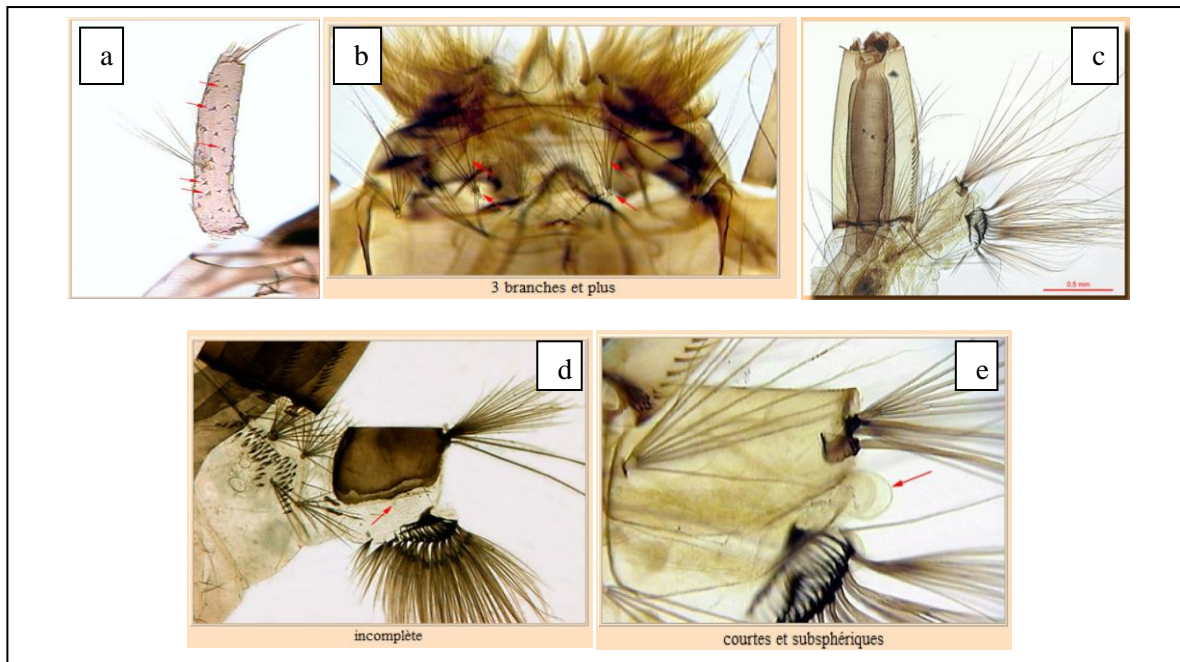


Figure 20. Critères morphologiques d'identification d'espèce *Aedes detritus* : a)Tête : ornementation du tégument de l'antenne (nettement spiculé), b)Tête : nombre de branches de la soie 6-C, c)Abdomen : ornementation dosale du siphon (absence de sois dorsales), d)Abdomen : forme de selle, e)Abdomen : taille et form des papilles anales.

III.2. Analyse de nanoparticule de dioxyde de titane TiO_2 :

L'analyse de le NPs TiO_2 par le diffractomètre a parmi du tracer le spectre qui représente Le diffractogramme de rayons X (XRD). (figure 21) :

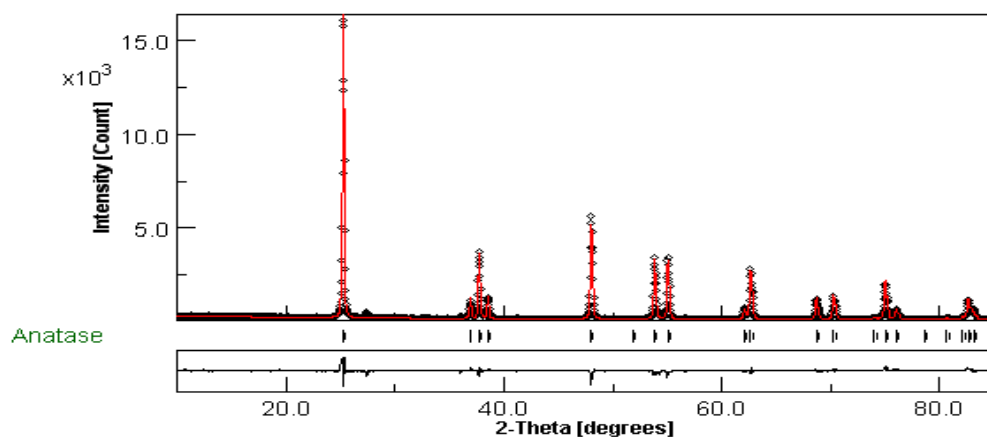


Figure 21. Spectre de diffraction

Sa morphologie attendue montre des pics étroits et intenses, cohérents avec les propriétés structurales mesurées. Ces observations confirment l'excellente qualité du matériau.

L'analyse de graphique précédent permet de réaliser tableau des paramètres cristallins (Tableau 3).

Tableau 3 : paramètres cristallins de NPs TiO₂ .

sig= 1.17	N°	Parameters cristallins						
		$a(A^\circ)$	$c(A^\circ)$	$\alpha(A^\circ)$	$\beta(A^\circ)$	$\gamma(A^\circ)$	Taille crystallite (nm)	Contrainte (%)
TiO ₂	COD database code: 9008214	3.7858	9.5256	90	90	90	214.4	4.728E-4
Tetragonal								

L'analyse révèle une phase TiO₂ anatase pure, de symétrie tétragonale (groupe spatial *I4₁/amd*), validée par la base de données COD (référence 9008214). Les paramètres de maille sont : $a = 3,7858 \text{ \AA}$, $c = 9,5256 \text{ \AA}$, avec des angles $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Ces valeurs correspondent aux standards structuraux de l'anatase, confirmant l'absence d'impuretés cristallines.

La taille des cristallites atteint 214,4 nm, indiquant une cristallinité élevée. Cette dimension dépasse largement le seuil critique de 100 nm, caractéristique d'un matériau peu défectueux et thermodynamiquement stable. Parallèlement, la contrainte interne est extrêmement faible ($4,728 \times 10^{-4} \%$), révélant un réseau cristallin quasi-parfait, exempt de déformations significatives.

En résumé : TiO₂ anatase haute pureté, structure optimisée pour des performances fonctionnelles supérieures.

III.3. Evaluation d'effet de NPs TiO₂ :

Les résultats obtenus dans cette étude révèlent l'impact significatif des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) sur les larves d'*Aedes detritus* dans la région de Skikda. Les tests en laboratoire ont permis d'évaluer le taux de mortalité larvaire, en fonction de diverses concentrations de TiO₂.

Les données collectées montrent une relation dose-dépendante, avec une augmentation notable de la toxicité à des concentrations élevées.

Après 24h :

Tableau 4 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO₂) sur la mortalité des larves après 24h

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	72,151	24,0504	66,13	0,000
Error	8	2,910	0,3637		
Total	11	75,061			

DF : degrees of freedom (degrés de liberté).

Adj SS: Sum of Squares (Somme des Carrés).

Adj MS : Mean Square (Carré Moyen).

Valeur F : Le rapport entre le Carré Moyen du Facteur et le Carré Moyen de l'Erreur .

Valeur p : Indique la probabilité d'observer ces résultats si l'hypothèse nulle (aucune différence entre les groupes) était vraie.

Les résultats issus de l'analyse de la variance (tableau 3) montrent qu'il y a une différence très hautement significative dans les mortalités des larves ($p= 0,000$) , entre les différentes concentrations par rapport au témoin après 24h d'exposition aux NPs TiO₂.

Tableau 5 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO₂) sur les larves de *Aedes detritus* après 24h.

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
200 - 100	3,410	0,492	(1,833; 4,987)	6,93	0,001
300 - 100	5,037	0,492	(3,459; 6,614)	10,23	0,000
400 - 100	6,617	0,492	(5,039; 8,194)	13,44	0,000
300 - 200	1,627	0,492	(0,049; 3,204)	3,30	0,043
400 - 200	3,207	0,492	(1,629; 4,784)	6,51	0,001
400 - 300	1,580	0,492	(0,003; 3,157)	3,21	0,050

Les résultats des comparaisons multiples de Tukey après 24h, révèlent un effet létal dose-dépendant significatif du NPs dioxyde de titane (TiO₂) sur les mortalités des larves d'*Aedes detritus*. L'analyse montre que toutes les doses testées (200, 300 et 400 µg/mL) induisent une mortalité significativement plus élevée par rapport à la plus faible dose (100 µg/mL) (p=0.001),(p=0.000) et (p=0.000) respectivement . Les comparaisons entre les différentes concentrations des NPs montrent que la plus forte dose 400 µg/mL induit une mortalité qui varie entre significatives (p≤0,050) et hautement significative (p=0.001) par rapport aux 300 et 200 respectivement.

Après 48h :

Tableau 6 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO₂) sur la mortalité des larves après 48h

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	1369,40	456,468	1926,30	0,000
Error	8	1,90	0,237		
Total	11	1371,30			

Les résultats issus de l'analyse de la variance (tableau 5) montrent qu'il y a une différence très hautement significative dans les mortalités des larves ($p=0,000$), entre les différentes concentrations par rapport au témoin après 48h d'exposition aux NPs TiO_2 .

Tableau 7 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO_2) sur les larves de *Aedes detritus* après 48h.

Différence of Levels	Différence of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
200 - 100	21,450	0,397	(20,177;22,723)	53,97	0,000
300 - 100	23,097	0,397	(21,824;24,370)	58,11	0,000
400 - 100	27,727	0,397	(26,454;29,000)	69,76	0,000
300 - 200	1,647	0,397	(0,374; 2,920)	4,14	0,014
400 - 200	6,277	0,397	(5,004; 7,550)	15,79	0,000
400 - 300	4,630	0,397	(3,357; 5,903)	11,65	0,000

L'analyse des comparaisons multiples de Tukey (tableau 6) révèle des différences hautement significatives ($p < 0,0001$) dans la mortalité des larves d'*Aedes detritus* après 48 heures d'exposition aux NPs dioxyde de titane (TiO_2), démontrant un effet létalement clairement dose-dépendant. Les résultats montrent que toutes les concentrations testées (200, 300 et 400 $\mu\text{g/mL}$) provoquent une augmentation très significative de la mortalité larvaire par rapport au contrôle (100 $\mu\text{g/mL}$) ($p=0,000$).

La concentration la plus élevée (400 $\mu\text{g/mL}$) se distingue particulièrement, induisant une mortalité très hautement significative par rapport aux concentrations (200 et 300 $\mu\text{g/mL}$) ($p=0,000$).

Après 72h :

Tableau 8 : Tableau d'analyse de variance (ANOVA) : effet des différentes doses de NPs dioxyde de titane (TiO₂) sur la mortalité des larves après 72h

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	10823,6	3607,87	7680,95	0,000
Error	8	3,8	0,47		
Total	11	10827,4			

Les résultats issus de l'analyse de la variance (tableau 7) montrent qu'il y a une différence très hautement significative dans les mortalités des larves ($p= 0,000$), entre les différentes concentrations par rapport au témoin après 72h d'exposition aux NPs TiO₂.

Tableau 9 : Comparaisons multiples par la méthode de Tukey des effets létaux du dioxyde de titane (TiO₂) sur les larves de *Aedes detritus* après 72h

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
200 - 100	42,017	0,560	(40,224; 43,809)	75,08	0,000
300 - 100	66,050	0,560	(64,258; 67,842)	118,03	0,000
400 - 100	78,803	0,560	(77,011; 80,596)	140,82	0,000
300 - 200	24,033	0,560	(22,241; 25,826)	42,95	0,000
400 - 200	36,787	0,560	(34,994; 38,579)	65,74	0,000

400 - 300	12,753	0,560	(10,961; 14,546)	22,79	0,000
-----------	--------	-------	------------------	-------	-------

Les résultats des tests de Tukey (tableau 8) révèlent une augmentation hautement significative ($p < 0.0001$) de la mortalité des larves d'*Aedes detritus* après 72 heures d'exposition au NPs dioxyde de titane, démontrant une cinétique d'action prolongée particulièrement marquée.

Les comparaisons par paires montrent que toutes les différences doses sont statistiquement très hautement significatives ($p = 0.000$). Ceci indique qu'avec le temps, même des écarts de concentration plus faibles comme la dose 100 µg/mL deviennent biologiquement déterminants.

Ces résultats suggèrent que le TiO₂ agit via plusieurs voies toxiques synergiques dont l'impact s'amplifie avec la durée d'exposition

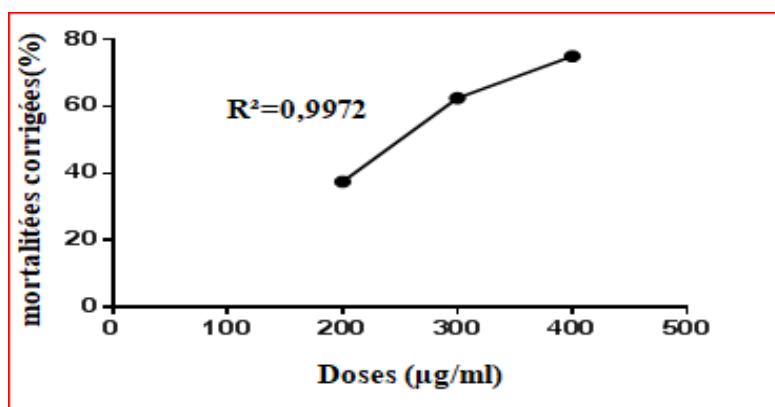


Figure 22. Courbe représentative de la mortalité corrigée des larves d'*Aedes detritus* par rapport aux doses de NPs TiO₂

L'efficacité larvicide des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) a été évaluée sur les larves du moustique *Aedes detritus* par la détermination des concentrations létales 50 (CL50) et 90 (CL90). Ces concentrations correspondent respectivement aux doses induisant la mortalité de 50% et 90% des larves après une exposition de 72h.

L'analyse de la courbe (figure 24), montre que la CL50 est de 246.5 µg/mL, tandis que la CL90 est de 625.3 µg/mL. Ces valeurs indiquent une efficacité dose-dépendante des nanoparticules de TiO₂ sur la mortalité larvaire. La mortalité observée augmente significativement avec la concentration des nanoparticules, confirmant leur potentiel larvicide.

Ces résultats démontrent que les nanoparticules de TiO_2 peuvent être considérées comme un agent efficace pour le contrôle des populations larvaires de *Aedes detritus*

III.4. La discussion :

Aedes detritus est une espèce de moustique côtier principalement présente en Europe occidentale et sur les côtes nord de l'Afrique. C'est une espèce capable de s'adapter aux environnements de marais salés et aux bassins à salinité modérée, décrite comme multigénérationnelle et selon Medlock et al. (2005) cette espèce peut se reproduire toute l'année dans des conditions favorables .

Bien que *Aedes detritus* ne soit pas classé parmi les espèces les plus connues pour la transmission de maladies, comme *Aedes aegypti*, plusieurs études ont confirmé qu'il représente une menace potentielle pour la santé publique, particulièrement dans les zones côtières. Une expérience menée par Medlock et al. (2010) au Royaume-Uni a montré que cette espèce peut transmettre le virus du Nil occidental (West Nile Virus) en conditions de laboratoire, le virus ayant été détecté dans la salive des moustiques 17 jours après exposition à une température de 21 °C.

De plus, une étude plus récente réalisée par Brugman et al. (2017) a démontré que *Aedes detritus* peut également transmettre le virus de l'encéphalite japonaise (Japanese Encephalitis Virus), avec un taux d'infection variant entre 13 % et 25 %, ce qui indique sa capacité à jouer un rôle de vecteur réel dans certaines conditions climatiques.

En ce qui concerne l'impact direct sur l'homme, cette espèce est considérée comme l'une des plus nuisibles dans les zones côtières, avec une forte densité de piqûres enregistrée durant les saisons du printemps et de l'automne, provoquant un véritable trouble pour les populations locales ainsi que pour les touristes (Snow, 1990). Bien que la majorité de ses piqûres ne conduisent pas à des maladies connues en conditions normales, son danger réside dans son rôle de vecteur silencieux pouvant entraîner l'apparition d'épidémies si les conditions environnementales et virales sont réunies.

Les résultats des recherches récentes démontrent une efficacité notable et bien établie des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2) dans la lutte contre les larves de moustiques, ce qui en fait une option prometteuse pour les programmes modernes de lutte biologique. Ces nanoparticules ont montré leur capacité à provoquer des taux de mortalité élevés chez diverses

espèces de moustiques, même à des concentrations relativement faibles, reflétant ainsi la puissance de leur action et leur rapidité d'interaction avec les tissus cibles (Saini et al., 2024).

Cette efficacité est attribuée à leurs propriétés uniques, notamment leur petite taille leur permettant de traverser les barrières cellulaires, et leur capacité à produire des espèces réactives de l'oxygène (ROS) endommageant la structure cellulaire et entraînant la mort des larves (Nel et al., 2006). L'utilisation de NPs TiO₂ sous forme de formulations vertes ou biosynthétisées, comme le montre l'étude de Govindarajan et al. (2021), renforce encore cette efficacité tout en réduisant les effets secondaires.

Par ailleurs, cette technologie constitue une alternative écologique attrayante aux insecticides chimiques traditionnels, grâce à sa sélectivité accrue et à son moindre risque de résistance. Toutefois, l'efficacité des NPs TiO₂ dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille, la concentration, la forme des particules et la durée d'exposition, ce qui nécessite un contrôle précis de leurs conditions d'utilisation.

Ainsi, l'intégration des nanoparticules de TiO₂ dans les stratégies de lutte antivectorielle représente une avancée significative en santé publique, à condition qu'elle soit accompagnée d'une évaluation environnementale rigoureuse, notamment en raison des impacts observés sur d'autres espèces aquatiques telles que les poissons et les daphnies (Federici et al., 2007), afin de garantir un équilibre entre efficacité et sécurité biologique.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'exploration des effets des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) sur les larves de moustiques, spécifiquement celles du genre *Aedes detritus*. d'évaluation des effets toxiques de TiO₂ à différentes concentrations (100, 200, 300 et 400 µg/mL) et sur différentes durées d'exposition (24, 48 et 72 heures), afin de mieux comprendre la relation entre la concentration, la durée de l'exposition et le taux de mortalité des larves .Au bout de 24 heures, une augmentation progressive du taux de mortalité a été observée, avec des résultats les plus faibles au niveau de la concentration 100 µg/mL, et les plus élevés à 400 µg/mL. Ce modèle a été amplifié après 48 et 72 heures, confirmant la relation dose-réponse entre la concentration et l'effet létal.

Premièrement, leur taille nanométrique leur permet de pénétrer les membranes cellulaires, d'accumuler dans les tissus, et d'induire la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), qui causent des dommages oxydatifs menant à la mort cellulaire (Nel et al., 2006).

Deuxièmement, plusieurs recherches, notamment celles de Saini et al. (2024), ont démontré non seulement un effet létal chez les larves de moustiques, mais aussi un effet génotoxique, provoquant des anomalies chromosomiques et la fragmentation de l'ADN chez *Culex quinquefasciatus*, même à de faibles concentrations (50 µg/mL).

Enfin, l'analyse toxicologique sur d'autres espèces aquatiques, comme les poissons et les daphnies, a révélé des effets négatifs sur le comportement, la croissance et la reproduction, confirmant l'impact transversal des nanoparticules (Federici et al., 2007).

Bien que de nombreuses études aient démontré les effets toxiques des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) sur divers organismes aquatiques, y compris les larves de moustiques, certaines recherches remettent en question la généralisation de ces résultats.

D'abord, le type cristallin des nanoparticules joue un rôle clé dans leur toxicité. Les formes anatase sont plus réactives et potentiellement toxiques en présence de lumière UV, tandis que la forme rutile est considérée comme plus stable et moins toxique (Warheit et al., 2007).

De plus, plusieurs chercheurs soulignent que les concentrations utilisées dans les expériences en laboratoire sont souvent très élevées (souvent supérieures à 1000 mg/L), et ne reflètent pas nécessairement les concentrations réelles trouvées dans les milieux naturels. Ainsi, l'impact environnemental réel des TiO₂ NPs pourrait être surestimé (Keller et al., 2013).

Par ailleurs, dans certaines études, aucun effet toxique significatif n'a été observé sur des organismes comme les algues, les daphnies ou certaines espèces de vers aquatiques, surtout en l'absence d'irradiation UV ou en présence de matière organique, ce qui suggère un contexte écologique modulateur du risque (Hund-Rinke & Simon, 2006).

Un autre facteur est l'agglomération des nanoparticules dans l'eau, qui réduit leur surface active et donc leur capacité à interagir avec les membranes cellulaires, diminuant leur potentiel toxique (Kahru & Dubourguier, 2010).

En résumé, bien que la toxicité du TiO₂ soit bien documentée dans des conditions contrôlées, plusieurs éléments limitent l'extrapolation directe de ces résultats à l'environnement réel. Ces controverses soulignent l'importance de considérer les paramètres

environnementaux (pH, lumière, matière organique, forme cristalline) dans l'évaluation des risques nanotoxicologiques.

Les valeurs de CL_{50} (246 $\mu\text{g/mL}$) et de CL_{90} (625 $\mu\text{g/mL}$) obtenues dans cette étude illustrent une toxicité progressive et dose-dépendante des nanoparticules de TiO_2 vis-à-vis des larves d'*Aedes detritus*. Une CL_{50} aussi basse indique qu'une concentration relativement faible suffit à tuer 50 % de la population larvaire, ce qui reflète une bonne efficacité larvicide. De même, la valeur de CL_{90} montre qu'à partir de 625 $\mu\text{g/mL}$, on atteint une mortalité de 90%, ce qui confirme la puissance toxique du TiO_2 à forte dose. Comparées aux résultats de Govindarajan et al. (2021), qui ont rapporté une CL_{50} de 458 $\mu\text{g/mL}$ contre *Aedes aegypti*, nos résultats montrent une efficacité supérieure. Cette différence pourrait être due aux conditions expérimentales, à la souche ciblée, ou aux propriétés physico-chimiques des nanoparticules utilisées.

D'autres travaux, tels que ceux de Suganya et al. (2023), ont mis en évidence une CL_{50} de 4370 mg/mL pour *Anopheles subpictus* et de 4680 $\mu\text{g/mL}$ pour *Culex quinquefasciatus*, à l'aide de TiO_2 biosynthétisé à partir d'algues marines, traduisant une toxicité modérée. De même, Ramar et al. (2020) ont observé une CL_{50} de 13200 $\mu\text{g/mL}$ contre *Aedes aegypti* à l'aide de nanoparticules issues de *Euphorbia hirta*, confirmant l'influence du procédé de synthèse sur l'efficacité. Enfin, Soundararajan et al. (2019) ont rapporté des valeurs de CL_{50} comprises entre 3400 $\mu\text{g/mL}$ et 3700 $\mu\text{g/mL}$ pour trois espèces majeures : *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* et *Culex quinquefasciatus*. Ces données confirment que les NPs TiO_2 présentent une efficacité variable selon l'espèce ciblée, la méthode de synthèse et les conditions expérimentales.

Les résultats des recherches récentes démontrent une efficacité notable et bien établie des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2) dans la lutte contre les larves de *Ades diturus*, ce qui en fait une option prometteuse pour les programmes modernes de lutte biologique. Ces nanoparticules ont montré leur capacité à provoquer des taux de mortalité élevés chez diverses espèces de moustiques, même à des concentrations relativement faibles, reflétant ainsi la puissance de leur action et leur rapidité d'interaction avec les tissus cibles (Saini et al., 2024).

Conclusion et Perspectives :

L'étude menée sur l'effet des nanoparticules d'oxyde de titane (TiO₂) sur les larves de moustiques a permis de mettre en évidence leur potentiel toxique croissant en fonction de la concentration et du temps d'exposition. Les résultats expérimentaux obtenus ont clairement démontré que les concentrations élevées ($\geq 300 \mu\text{g/mL}$) entraînent une mortalité significative des larves, notamment après 48h et 72h, ce qui suggère une relation dose-réponse et temps-réponse fortement marquée.

En effet, l'analyse des données montre que plus la dose augmente, plus la mortalité larvaire s'accroît, et cet effet devient encore plus prononcé lorsque le temps d'exposition est prolongé. Cette dynamique est confirmée par les valeurs de la concentration létale : la CL50 est estimée à $246,5 \mu\text{g/mL}$, tandis que la CL90 atteint $625,3 \mu\text{g/mL}$ après 72h d'exposition. Cela reflète une efficacité larvicide notable des nanoparticules de TiO₂ contre *Aedes detritus*. Cette étude démontre que les nanoparticules de dioxyde de titane représentent une alternative écologique, efficace et prometteuse pour la lutte anti-larvaire contre *Aedes detritus*, notamment dans les zones humides.

- Application à grande échelle dans la lutte antivectorielle :

Poursuivre les études en milieu naturel (zones humides, marais salés) pour tester l'efficacité des nanoparticules de TiO₂ dans des conditions environnementales réelles. Cela permettrait d'envisager leur intégration dans les programmes nationaux de lutte biologique contre les moustiques résistants aux insecticides chimiques.

- Comparaison avec d'autres types de nanoparticules ou de méthodes biosourcées : Étudier et comparer l'effet larvicide d'autres types de nanoparticules (Ag, ZnO, CuO...) ou de nanoparticules biosynthétisées (à partir de plantes, algues, etc.), afin d'identifier les solutions les plus efficaces, écologiques et économiquement viables.

- Évaluation des effets écotoxicologiques sur les écosystèmes aquatiques : Mener des recherches approfondies sur les effets des nanoparticules de TiO₂ sur d'autres organismes aquatiques non cibles (daphnies, poissons, algues) afin d'assurer une utilisation sûre et durable, et d'éviter des impacts écologiques indésirables.

Références Bibliographiques :

- American Mosquito Control Association (AMCA). (2025). Mosquito biology. <https://www.mosquito.org/mosquito-biology/>. (Consulté le 03/06/2025).
- Bar-Ilan, O., Louis, K. M., Yang, S. P., Pedersen, J. A., Hamers, R. J., Peterson, R. E., & Heideman, W. (2013). Titanium dioxide nanoparticles produce phototoxicity in the developing zebrafish. *Nanotoxicology*, 7(4), 387–395.
- Benelli, G. (2018). Behavioral resistance to insecticides : Current understanding and challenges for vector control. *Acta Tropica*, 182, 1–5.
- Belfennache, D. E. (2012). Elaboration et étude de nanoparticules Au/TiO₂ et Ag/TiO₂ .Thèse de doctorat, Université des frères Mentouri Constantine. Faculté des sciences exactes , Département de Physique.94.
- Brugman, V., Medlock, J. M., & Sutherland, S. L. (2017). *Aedes detritus* and its role as a vector of Japanese Encephalitis Virus. *Journal of Vector Biology*, 20(3), 102–110.
- Brunhes J., Rhaim A., Geoffroy B., Angel G., Hervy J-P., 1999 – Les moustiques de l'Afrique méditerranéenne. Logiciel d'identification et d'enseignement. IRD édition.
- Boulkenafet, F. (2006). Contribution à l'étude de la biodiversité des Phlébotomes (Diptera : Psychodidae) et appréciation de la faune Culicidienne (Diptera : Culicidae) dans la région de Skikda .Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine. Faculté des sciences de la nature et de la vie , Département des sciences de la nature et de la vie .191.
- BIOGENTS. (2025)Espèces de moustiques,<https://eu.biogents.com/especes-de-moustiques/?lang=fr> . (Consulté le 03/06/2025).
- Chaoui, R., & Draa, I. (2020). Étude comparative des méthodes utilisées dans l'identification taxonomique de l'espèce *Aedes albopictus* et sa répartition géographique en Algérie .Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine. Faculté des sciences de la nature et de la vie , Département biologie animale .78.
- Dehmchi, R., & Bouafia, K. (2023). *The use of nanoparticles as control tool for vector borne diseases: A comprehensive literature review* .Mémoire de master, Université 20 Aout 1955 Skikda. Faculté des sciences de la nature et de la vie , Département des sciences de la nature et de la vie.62.
- Dinesh, D., Murugan, K., Madhiyazhagan, P., Panneerselvam, C., Nicoletti, M., Jiang, W., Benelli, G., Chandramohan, B., & Suresh, U. (2015). Mosquitocidal and antibacterial activity of green-synthesized silver nanoparticles from *Aloe vera* extracts: Towards an effective tool against the malaria vector *Anopheles stephensi*? *Parasitology Research*, 114(4), 1519–1529.

- Entente Interdépartementale pour la Démoustication (EID) Méditerranée. (2025). *Aedes detritus*. <https://www.eid-med.org/especes/aedes-detritus/>. (Consulté le 03/06/2025)
- Federici, G., Shaw, B. J., & Handy, R. D. (2007). The effects of manufactured nanoparticles on aquatic organisms: A review of the current data. *Ecotoxicology*, 16(7), 514-530.
- Futura-Sciences. (2023). Moustique et sa trompe piqueuse. <https://www.futura-sciences.com/planete/photos/zoologie-voyage-decouverte-coulisses-anatomie-animale-2209/moustique-moustique-trompe-piqueuse-16583/>. (consulté le 03/06/2025).
- Govindarajan, M., Rajeswary, M., Hoti, S. L., & Benelli, G. (2021). Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using *Desmostachya bipinnata* leaf extract and their mosquitocidal properties against *Aedes aegypti*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11336-11347.
- Greena, J. Sarah, Ndegwaa., (2011). Les nanotechnologies. NCCFEH. pp 2-4.
- Hund-Rinke, K., & Simon, M. (2006). Ecotoxic effect of photocatalytic active nanoparticles (TiO₂) on algae and daphnids. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(4), 225-232.
- Institut d'Aménagement du Territoire (IAP). (2018). Étude sur les risques sanitaires liés aux vecteurs en Algérie. Rapport technique.
- Kahru, A., & Dubourguier, H. C. (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, 269(2-3), 105-119.
- Keller, A. A., McFerran, S., Lazareva, A., & Suh, S. (2013). Global life cycle releases of engineered nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(6), 1692.
- Khemissat, G., & Alloune, M. (2020). Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide d'extrait de menthe. Mémoire de master académique, Université Kasdi Merbah Ouargla. Faculté des sciences appliquées, Département de Génie des procédés.62.
- Medlock, J. M., Snow, K. R., & Sutherland, S. L. (2005). *Aedes detritus*: A new vector of West Nile virus. *Journal of Vector Biology*, 10(3), 76-80.
- Medlock, J. M., Snow, K. R., & Sutherland, S. L. (2010). Transmission of West Nile virus by *Aedes detritus* in the United Kingdom. *Journal of Vector Biology*, 15(2), 112-115.
- Nel, A., Xia, T., Mädler, L., & Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 311(5761), 622-627.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Maladies à transmission vectorielle. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>

- Ramar, M., Priyanka, S., & Chandrasekaran, M. (2020). Eco-friendly synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Euphorbia hirta* plant extract and its larvicidal activity against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Materials Letters*, 264, 127353.
- Roni, M., Murugan, K., Panneerselvam, C., & Subramaniam, J. (2015). Characterization and biotoxicity of *Hypnea musciformis*-synthesized silver nanoparticles as potential eco-friendly control tool against *Aedes aegypti* and *Plutella xylostella*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 31–38.
- Saini, A., & Ahluwalia, K. K. (2024). Titanium dioxide nanoparticles-induced genotoxic effects in mosquito *Culex quinquefasciatus*. *Toxics*, 12(12), 871.
- Snow, K. R. (1990). Ecology of *Aedes detritus* and its impact on coastal communities. *Environmental Entomology*, 13(5), 327-335.
- Suganya, M., Saranya, J., & Rajendran, S. (2023). Larvicidal and histopathological effects of biosynthesized titanium dioxide nanoparticles using *Sargassum wightii* seaweed extract against malaria and filarial vectors. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100731.
- Soundararajan, M., Ramar, M., & Dhanasekaran, D. (2019). Larvicidal efficacy of biosynthesized TiO₂ and ZnO nanoparticles against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Journal of Cluster Science*, 30(6), 1451–1461.
- University 20 August 1955. (2025). *Google Maps*.<https://www.google.com/...> (Consulté le 16/06/2025)
- Warheit, D. B., Hoke, R. A., Finlay, C., Donner, E. M., Reed, K. L., & Sayes, C. M. (2007). Development of a base set of toxicity tests using ultrafine TiO₂ particles as a component of nanoparticle risk management. *Toxicology Letters*, 171(3), 99-110.