

Les communautés de moustiques dans 6 bassins routiers de Lorraine

Suivi 2023



Rapport d'étude

Avril 2024

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

Crédits photographies de la page de couverture :

- Photo bassin de Montigny-lès-Metz : Émilie BUSSON / Cerema
- Photo larve moustique : Pierre MAZUER / Cerema
- Photo moustique adulte : Wikimedia Commons : *Culex*, Elst (Gld) - De Park, the Netherlands

Rapport d'étude du Cerema

Les communautés de moustiques dans 6 bassins routiers de Lorraine en 2023

Mots clés : route, eaux pluviales, traitement, bassin routier, moustique, biologie, biodiversité, macro-invertébrés, méthode.

Affaire suivie par

Pierre MAZUER - Département TMI – Groupe Biodiversité, aménagement et nature en ville (BANV)
Tél. : 03 87 20 46 34
Courriel : pierre.mazuer@cerema.fr
Site de Metz : Cerema Est – Bâtiment C, Île du Saulcy, CS 30855, 57045 Metz Cedex 1 - Tél : +33 (0)3 87 20 43 00

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
v1	20/03/24	Établi par Pierre MAZUER, après prise en compte des relectures internes Cerema - Est
v2	19/04/24	Après prise en compte des contributions des relecteurs externes au Cerema

Origine de la commande et référence étude

CEREMA (Pôle assainissement routier) avec la participation de la DGITM (Ministère). N° NOVA : 22-HF-0445.

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Pierre MAZUER (Cerema)	Février 2024	
Avec la participation de	Émilie BUSSON (prélèvements, relecture), Sylvain COLLON (collecte de données, prélèvement, cartes) - (Cerema tous les deux)	–	
Relecture	Alexandre SERVIER (Cerema, Assainissement routier)	27/03/24	
	Émilie PRYGIEL (Cerema, Biodiversité)	29/03/24	
	Jérôme EHRHARD (DIR – CEI de Luneville)	10/04/24	
	Adel BEN SALEM (DIR-Est, SIR /ETN5)	12/04/24	
	Emmanuel INDRIGO (DIR – CEI de Pouilly)	16/04/24	
	Eric GARDAIS (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires /DGITM/DMR)	19/04/24	
Contrôlé par	Luc CHRETIEN (Cerema)		
Validé par	Luc CHRETIEN (Cerema)		

Conditions de diffusion : libre. Ce document peut être reproduit en totalité ou en partie sans autorisation expresse, en citant la source de la manière suivante / This document may be reproduced in whole or in part without express permission, quoting the source as follows : « Cerema, 2024 - Les communautés de moustiques dans 6 bassins routiers de Lorraine en 2023 – Auteur : Pierre MAZUER - Metz - 70 p »

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire CeremaDoc, via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Public ciblé par ce rapport : il s'adresse aux personnes intéressées par la gestion, le traitement des eaux pluviales routières et leurs impacts potentiels (gestionnaires des réseaux routiers, services de contrôles des pollutions, gestionnaires des écosystèmes aquatiques ...). Il demande un niveau scientifique de base, notamment sur la pollution des eaux et la biologie. Les abréviations et certains termes scientifiques sont définis dans le chapitre « Glossaire et abréviations ». Il est rappelé que les définitions de tous les termes scientifiques sont facilement accessibles sur Internet.

Remerciements : nous remercions a) les CEI de la Dir-Est de nous avoir permis de réaliser les prélèvements de moustiques sur les bassins routiers ; b) la DIR-Est et ses CEI pour les informations fournies sur les axes routiers et les systèmes de traitement.

Photographies : les photographies du Cerema fournies dans ce rapport, notamment celles de macro-invertébrés, sont des documents de travail, non retravaillés.

Résumé

Notre objectif est d'évaluer les communautés de larves et nymphes de moustiques dans des bassins routiers de Lorraine, incluant leur ouvrage de sortie. Les bassins routiers étudiés sont conçus pour avoir une hauteur d'eau permanente d'au moins 40 cm.

L'abondance de larves de moustiques est extrêmement faible dans tous les types de bassins routiers suivis en 2023.

Ce suivi confirme :

- l'étude réalisée en 2022 par le Cerema, qui avait déjà montré ces faibles abondances en larves de moustiques. Nous avons expliqué cette faible abondance par l'importance de la prédation par les macro-invertébrés dans les bassins.

- que l'année 2022, chaude et sèche, n'était pas une année particulière. L'année 2023 est chaude et humide, et les résultats sont comparables.

Les caractéristiques des 6 bassins routiers, c'est-à-dire l'occupation des sols autour des bassins, leur morphologie, la présence d'herbiers d'hélophytes et d'hydrophytes, la circulation routière,... et notamment la présence d'une grosse agglomération (Metz, Lunéville), n'ont pas d'impacts manifestes. La prédation par les autres macro-invertébrés, nettement mise en évidence dans le suivi 2022, reste l'explication essentielle à la faible abondance des moustiques.

Les abondances dans les bassins à proximité de grandes agglomérations et celles dans les bassins en milieu rural sont du même ordre de grandeur. Par contre, un ouvrage de sortie proche d'une grande agglomération peut être le lieu de plus fortes abondances ponctuelles l'été. Le caractère aléatoire de ces pics (relatifs) d'abondance reste à expliquer.

Notons que la pollution par les hydrocarbures et la salinité due au traitement hivernal ne semblent pas, sur notre jeu de données, constituer des facteurs ayant un impact sur l'abondance des larves.

Bien que nos estimations soient grossières, nous trouvons en moyenne, pour nos 6 bassins routiers et les 7 campagnes de prélèvements, une densité variant, en fonction des habitats, de 0,47 à 17 moustiques par m², tous stades aquatiques confondus (larvules, larves et nymphes). Cette densité est extrêmement faible par rapport à celles des prédateurs aquatiques du groupe des macro-invertébrés (étudiés dans le suivi 2022) pouvant s'attaquer aux moustiques.

La densité de moustiques sous forme de larves aquatiques ne traduit pas la densité de moustiques adultes et donc l'intensité de la nuisance subie par la population humaine. A la prédation sur les larves dans le milieu aquatique, s'ajoute celle sur les adultes de moustiques autour du plan d'eau, exercée par les libellules adultes, les araignées, via leur toile, les oiseaux, les chauves-souris ... L'importance de cette prédation sur les adultes va donc dépendre de l'environnement proche du bassin routier.

Une bonne manière de diminuer la nuisance par les moustiques est donc, 1) d'entretenir les bassins en laissant des herbiers en quantité suffisante dans l'eau, pour permettre le développement de communautés de macro-invertébrés aquatiques diversifiées, 2) d'avoir un environnement terrestre hospitalier pour les prédateurs des moustiques adultes.

Un autre résultat de notre étude nous semble important, bien que calculé sur un faible nombre de sites. Lors des plus fortes abondances estivales de moustiques, une seule réserve d'eau pluviale, de surface au miroir de 0,32 m² d'une maison individuelle produit globalement le même nombre de moustiques adultes qu'un bassin routier avec volume mort de 1 600 m² avec 25 % d'hélophytes. Le nombre de maisons avec une réserve d'eau étant considérablement plus important que celui des bassins routiers, la proportion des moustiques issus des bassins routiers devient donc insignifiante.

L'apport des bassins routiers, à la fois comme facteur d'expansion des moustiques sur un territoire, ou comme site de prolifération, apparaît donc négligeable vis à vis de tous les points d'eau, volontaires ou non, qui ne comportent ni habitats aquatiques diversifiés, ni prédateurs pour les moustiques. Nous pouvons penser aux déchets (pneus) ou récipients divers abandonnés partout sur le territoire, ou alors à toutes les zones aménagées par l'Homme, comme les avaloirs, les vides sanitaires humides sous les habitations, les points bas de surfaces imperméabilisées (friches urbaines, fossés bétonnés...). Ce type de point d'eau favorable aux moustiques est présent autant en milieu rural ou qu'en milieu urbain.

Abstract

Mosquito communities in 6 Lorraine road basins in 2023

Keywords : road, stormwater, treatment, road basin, mosquito, biology, biodiversity, macro-invertebrates, method.

Our objective is to evaluate the communities of larvae and nymphs communities in road basins in Lorraine, including their exit structure. The road basins studied are designed to have a permanent water height of at least 40 cm. The abundance of mosquito larvae is low in all types of road basins monitored in 2023.

This monitoring confirms :

- the study carried out in 2022 by Cerema, which had already shown the low abundance of mosquito larvae. We had explained this low abundance by the importance of predation by macro-invertebrates in the basins.*
- that 2022, which was hot and dry, was not a special year. The year 2023 is hot and humid, and the results are comparable.*

The characteristics of the 6 road basins - land use around the basins, their morphology, the presence of beds of helophytes and hydrophytes, road traffic, etc., and in particular the presence of a large conurbation (Metz, Lunéville) - have no obvious impact. Predation by other macro-invertebrates, clearly demonstrated in the 2022 monitoring, remains the essential explanation for the low abundance of mosquitoes.

Abundances in reservoirs near large conurbations and those in reservoirs in rural areas are of the same order of magnitude. On the other hand, an outlet close to a large conurbation may be the site of higher point abundances in summer. The random nature of these (relative) peaks in abundance remains to be explained.

It should be noted that hydrocarbon pollution and salinity due to winter treatment do not appear, in our data set, to be factors having an impact on larval abundance.

Although our estimates are rough, the average density for our 6 road basins and 7 sampling campaigns varied, depending on the habitat, from 0.47 to 17 mosquitoes per m², all aquatic stages combined (larvae and pupae). This density is extremely low compared with those of aquatic predators in the macro-invertebrate group (studied in the 2022 monitoring) that can attack mosquitoes.

The density of mosquitoes in the form of aquatic larvae does not reflect the density of adult mosquitoes and therefore the intensity of the nuisance suffered by the human population. In addition to predation on larvae in the aquatic environment, there is also predation on adult mosquitoes around the body of water, by adult dragonflies, spiders via their webs, birds, bats, etc. The extent of this predation on adults will therefore depend on the environment around the road basin.

A good way of reducing the nuisance caused by mosquitoes is therefore 1) to maintain the ponds by leaving sufficient grass beds in the water to allow the development of diverse

communities of aquatic macro-invertebrates, and 2) to provide a hospitable terrestrial environment for the predators of adult mosquitoes.

Another result of our study seems important, although calculated on a small number of sites. During the peak of summer mosquito abundance, a single rainwater reservoir with a mirror surface area of 0.32 m² in a single-family home produced roughly the same number of adult mosquitoes as a roadside reservoir with a dead volume of 1,600 m³ and 25% helophytes. As the number of houses with a water reserve is considerably greater than the number of roadside ponds, the proportion of mosquitoes from roadside ponds becomes insignificant.

The contribution of road basins, both as a factor in the spread of mosquitoes over an area and as a site for their proliferation, is therefore negligible compared with all the watering places, whether voluntary or not, which contain neither diverse aquatic habitats nor predators for mosquitoes. We can think of waste (tyres) or various containers abandoned all over the country, or all the areas developed by Man, such as drains, damp crawl spaces under houses, low points of impermeable surfaces (urban wastelands, concrete ditches, etc.). This type of mosquito-friendly watering place is found in both rural and urban areas.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version), modified.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	4
ABSTRACT.....	6
1 CONTEXTE, OBJET ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	10
2 ÉCOLOGIE DES ESPÈCES IDENTIFIÉES DANS NOS RELEVÉS.....	11
3 RÉSUMÉ DU PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENT.....	11
4 PRÉSENTATION DES SECTEURS D'ÉTUDES.....	14
4.1 Critères de choix des secteurs.....	14
4.2 Présentation générale des bassins routiers retenus.....	15
4.2.1 Secteurs retenus.....	15
4.2.2 Caractéristiques des secteurs.....	17
4.2.3 Photographies des bassins.....	20
5 PRÉLÈVEMENTS ET DÉTERMINATIONS TAXONOMIQUES.....	23
5.1 Prélèvements et observations de terrain.....	23
5.1.1 Date de prélèvement et situation climatique.....	23
5.1.2 Méthode d'échantillonnage utilisée.....	28
5.1.3 Conditions d'application du protocole en 2023.....	28
5.1.4 Type d'ouvrage de sortie échantillonné.....	28
5.2 Traitement des échantillons.....	29
6 EXPLOITATION DES DONNÉES.....	30
6.1 Résultat global et par campagne.....	30
6.2 Comparaison entre bassins, ouvrages de sortie et chasses.....	35
6.2.1 Bassins routiers (hors placettes de chasses) :.....	35
6.2.2 Ouvrages de sortie (aval du voile siphonoïde).....	35
6.2.3 Placettes de chasses.....	36
6.3 Analyse par substrat.....	38
6.4 Comparaison entre la production en adultes de moustiques d'un bassin routier et d'un réservoir d'eau d'une maison individuelle.....	40
6.5 Analyse par espèce.....	41
6.6 Analyse par bassin.....	41
6.7 Comparaison avec 2022 sur les trois bassins communs.....	42
6.8 Facteurs de présence de moustiques.....	42
6.9 Synthèse technique des résultats.....	49
6.10 Conclusion sur le protocole d'échantillonnage.....	50
7 CONCLUSION.....	51

GLOSSAIRE.....	53
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	54
BIBLIOGRAPHIE.....	56
ANNEXE A - FICHES DE TERRAIN ET LISTES FAUNISTIQUES.....	57
ANNEXE B – CODE DES BASSINS.....	57
ANNEXE C – PRÉSENCE DE MILIEUX AQUATIQUES AUTOUR DES BASSINS ROUTIERS.....	58
ANNEXE D - DIFFICULTÉS DE DÉTERMINATION TAXONOMIQUE.....	59
ANNEXE E - COMPARAISON ENTRE LA PRODUCTION EN ADULTES DE MOUSTIQUES D’UN BASSIN ROUTIER ET D’UN RÉSERVOIR D’EAU D’UNE MAISON INDIVIDUELLE.....	61
ANNEXE F - ANALYSE DES PICS D’ABONDANCE DANS LES OUVRAGES DE SORTIE.....	63
ANNEXE G – PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENTS EN BASSINS ROUTIERS ISSU DE L’EXPÉRIENCE DU SUIVI 2023.....	66
ANNEXE H – UTILISATION DU PROTOCOLE SUR UNE MARE PRÉSENTANT UNE FORTE DENSITÉ EN LARVES DE MOUSTIQUES.....	73

1 Contexte, objet et objectifs de l'étude

Cette étude a pour objectif d'évaluer les communautés éventuelles de larves et nymphes de moustiques dans les bassins routiers, incluant leur ouvrage de sortie. Ces ouvrages permettent le traitement des eaux de pluies routières. Les bassins routiers étudiés sont conçus, selon le guide technique SETRA-2007, pour avoir une hauteur d'eau permanente d'au moins 40 cm.

La présente étude fait suite à celle de même type, menée en 2022, intitulée : « *Les communautés de moustiques dans 4 bassins routiers et 3 mares de référence situés en Lorraine* ».

Note : cette étude est disponible sur la plate-forme documentaire Internet du Cerema : <https://doc.cerema.fr/> en frappant les mots-clés : moustiques, 2024 (date de publication) et Mazuer).

Voici un extrait de la conclusion de l'étude de 2022 :

« Nos résultats montrent que ce type de bassin routier ne constitue pas un risque de prolifération de moustiques, dans notre zone d'étude (Moselle et Meurthe-et-Moselle). Les moustiques ne sont présents qu'en densités extrêmement faibles, sans aucune mesure avec les densités présentes dans d'autres milieux sur la même zone géographique [...]. Le critère principal qui nous semble expliquer la faible abondance de moustiques est la prédation par les autres macro-invertébrés. [...].

Le seul cas de relative abondance est dans l'ouvrage de sortie de Metz-MagnyQ100 lors de la campagne de juillet [...]. La prédation est peut-être plus faible dans ces ouvrages de sortie, ayant comme seul habitat aquatique une surface uniforme en béton. Toutefois, ce type d'ouvrage en béton n'est pas spécifique aux bassins routiers ».

La présente étude de 2023 a pour objectif :

- de confirmer les résultats de 2022, et de vérifier qu'il n'y a pas eu une situation climatique exceptionnelle en 2022 ;
- de voir l'effet éventuel de la proximité d'agglomérations densément peuplées, en choisissant des bassins situés à des distances variables d'agglomérations.

Note 1 : en comparaison de l'étude de 2022, nous n'avons utilisé que le protocole spécifique 'moustiques' en 2023 (en non le protocole 'tous macro-invertébrés').

Note 2 : la bibliographie sur la pollution dans les bassins routiers et sur l'écologie générale des moustiques, figurant dans le rapport 2022, ne sont pas repris ici.

Cette étude est réalisée complémentirement avec celle du Cerema Hauts-de-France. Les deux études donnent les mêmes résultats, c'est à dire de faibles abondances de moustiques dans les bassins routiers.

2 Écologie des espèces identifiées dans nos relevés

Les données écologiques proviennent de l'ouvrage de Becker, 2020. Les espèces *Anopheles maculipennis* et *Culex pipiens* ont déjà été décrites dans le rapport de suivi 2022.

Nous donnons dans ce chapitre des éléments d'écologie de *Culex hortensis*, la seule nouvelle espèce relativement abondante en 2023 et de *Culiseta annulata*, en abondance moindre.

Culex hortensis : peu de données sont disponibles sur cette espèce, qui semble avoir une répartition géographique limitée. Elle est plus répandue dans le sud de la France et généralement de l'Europe, ainsi qu'en Afrique du nord. Elle est présente dans les petits étangs contenant de la végétation, mais aussi les puits inutilisés ou les pots de jardin. Les espèces de vertébrés piquées par cette espèce ne sont pas indiquées dans l'ouvrage de Becker, ni les risques épidémiologiques liés à cette espèce.

Une note sur les difficultés de détermination taxonomique de cette espèce est en annexe C. Nous pensons que c'est bien cette espèce qui est présente dans nos relevés.

Culiseta annulata : cette espèce a une large distribution mondiale, incluant toute l'Europe. Elle vit dans des milieux aquatiques permanents ou semi-permanents. Son habitat est varié, des mares aux petits récipients manufacturés (réserves d'eau, déchets ...). La larve tolère les eaux saumâtres et la pollution azotée. La durée totale entre l'éclosion des œufs et l'émergence de l'adulte est de 18 jours à 20–23 °C et de 16 jours à 24–27°C. La larve meurt au-dessus de 31°C. L'émergence des adultes se fait au début du printemps. L'espèce peut avoir deux à trois générations par an. Les femelles s'attaquent aux mammifères, dont les humains. L'hibernation de la femelle est sous forme adulte. L'espèce est vectrice du virus de Tahyna (Ribeiro 1988), provoquant des syndromes bénins d'allure pseudogrippale, et peut transmettre certains plasmodium (protozoaires) d'oiseaux (Gutsevich et al. 1974).

Les autres espèces vues en 2023 sont anecdotiques en abondance : *Aedes intrudens*, *Culex territans*, *Culex theileri*, *Culiseta longiareolata* et *Culiseta litorea*.

Note : nous n'avons pas eu dans nos relevés d'espèce exotique invasive, comme le moustique tigre, *Aedes albopictus*.

3 Résumé du protocole de prélèvement

Le protocole s'est affiné au cours de l'étude. En phase finale, il se résume de la manière suivante :

Objectif : évaluer la présence de larves de moustiques dans les bassins routiers et leur ouvrage de sortie.

Paramètre mesuré : présence de larves de moustiques.

Localisation et critères de choix des secteurs : six bassins retenus, présentant un gradient de distance des grandes zones urbaines.

Dates et durée du suivi : 7 campagnes de prélèvements, d'avril à octobre 2023.

Conditions du suivi : situation climatique antérieure, si possible : environ 10 jours sans pluie significative. Absence de pluie ou de houle due au vent fort.

Choix des placettes de prélèvements : si possible dans le 1/3 aval du bassin, sur un secteur représentatif de la morphologie du bassin. Les prélèvements élémentaires sont séparés si possible d'une distance de 1 à 2 m, en fonction de l'espacement maximum disponible. La terminologie utilisée ici est la suivante, par exemple : 6 coups de louche dans des hélophytes correspondent à 6 échantillons élémentaires, correspondant à un seul échantillon-substrat appelé « hélophytes ».

Matériel de prélèvement : a) bocal de diamètre d'ouverture 8,5 cm et de profondeur 10,5 cm (environ 600 ml), manipulé au bout d'un manche de 2 mètres, appelé « louche », b) passoire avec vide de maille 1 mm, de diamètre 18 cm et profondeur 7 cm, c) haveneau avec cadre d'ouverture d'une base de 25 cm et de hauteur 20 cm, équipé d'un filet d'un vide de maille 0,5 mm. Le matériel et les techniques sont à adapter aux habitats ci-dessous.

Protocole d'échantillonnage (choix des habitats échantillonnés, nombre d'échantillons élémentaires et techniques d'échantillonnage) :

a) trois substrats en bassins, numérotés M1 à M3.

M1 : hélophytes, sinon autres végétaux : hydrophytes (incluant les algues Characées), algues filamenteuses ou chevelus racinaires de végétaux, y compris de ligneux. Prioritairement en berge, sinon, où se trouvent les végétaux.

M2 : surfaces uniformes dures en berge (béton, enrochement, membrane ...), sinon a) autres substrats minéraux en berge (pierres, graviers, sables), sinon, b) autres substrats en berge.

M3 : sub-surface de l'eau (à plus de 30 cm de la rive ou de substrats émergents).

Le matériel de prélèvement est adapté à chaque cas. La technique d'échantillonnage recommandée est :

- Pour la louche et la passoire : un échantillon-habitat de chaque substrat, s'il est présent, est réalisé de manière à représenter une surface minimum d'environ 1/20 m² (0,05 m²), correspondant à six 'coups de louche', ou correspondant à 2 traits de passoire, chacun sur 15 cm,.

- Pour le haveneau, l'échantillon est réalisé en tirant le haveneau sur 2 mètres, ce qui représente 0,5 m².

b) un substrat dans l'ouvrage de sortie à l'aval du voile siphonoïde (substrat théoriquement préservé de la pollution due aux hydrocarbures flottants), numéroté **M4** : « **Surface uniforme dure** ».

c) une ou plusieurs chasses (recherche et prélèvement de moustiques sur des placettes de faibles superficies, non représentatives morphologiquement du bassin, mais potentiellement favorable aux larves), si besoin, dans le bassin ou dans un ouvrage, chacune correspondant à un substrat : n°**C1 à Cn** à **définir sur le terrain**, s'il semble que des habitats possibles sont présents : placette abritée non représentative, derrière un obstacle ou de la végétation non représentative ...

Surface d'échantillonnage minimum : variable selon le matériel de prélèvement (voir tableau 1) Il est conseillé de noter, si cela est possible :

- la surface d'échantillonnage sur l'habitat prélevé. Elle est au minimum de 1/20 m² pour le bocal et la passoire. Cette surface peut être augmentée, en cas d'absence de larves. La

surface d'échantillonnage est si possible à noter, ainsi que sa proportion de recouvrement de la masse d'eau.

- le recouvrement de l'habitat sur la masse d'eau (en pourcentage).

Par exemple, il est noté les informations suivantes : *Bassin n°1 d'une surface au miroir de 1 000 m² - Substrat hélophytes avec un recouvrement de 10 % de la superficie totale - échantillonnage des hélophytes d'une superficie de 1/20 m²*. Toutes les superficies sont estimées.

Tableau 1 - Résumé des méthodes d'échantillonnage :

Habitat	Matériel conseillé (1)	Surface échantillonnée (2)
M1 : hélophytes	Bocal avec manche, passoire	1/20 m ² (0,05 m ²), correspondant grossièrement à six 'coups de louche' ou 2 traits de passoire, chacun sur 15 cm, 0,5 m ² pour un trait de haveneau 2 mètres
M2 : surfaces uniformes dures en berge	Bocal avec manche, passoire (haveneau)	
M3 : sub-surfaces de l'eau (à plus de 30 cm de la rive)	Bocal avec manche, haveneau	
M4 : surfaces uniformes dures dans l'ouvrage de sortie	Bocal avec manche, passoire (haveneau)	
C1 à Cn : « chasses »	Tous	Variable (à noter, si possible)

Légende : (1) Le matériel entre parenthèse est possible mais plus long à mettre en œuvre.

Précautions d'échantillonnage : pour éviter que les larves de moustique ne plongent et échappent au prélèvement, il est important, si possible :

- d'approcher de la placette de prélèvement face au soleil ;
- de travailler sans créer de remous, de vague ou de bruit en plongeant ou retirant l'appareil d'échantillonnage.

Pour les prélèvements dans les bassins, le manche de l'appareil doit être assez long, au moins un mètre, pour la même raison.

Ce protocole est légèrement modifié par rapport à celui de 2022. Le prélèvement par bocal est généralisé et à utiliser en priorité sur tous les habitats, ce qui n'empêche pas de faire des contrôles par les autres modes de prélèvements (passoire, haveneau), en cas de doute sur l'efficacité de l'échantillonnage (tableau 1).

Figure 3-1 - Matériel de prélèvements de larves de moustiques :

Bassin routier de Metz-Magny Q100 (septembre 2022). A gauche : Prélèvement à l'aide d'un bocal muni d'un manche, appelé « louche ». A droite : Prélèvement dans le regard de sortie à l'aide d'une passoire (Photos : Cerema / Émilie Busson).



Commentaires sur le protocole d'échantillonnage :

1- L'échantillonnage avec un bocal avec manche, aussi appelé louche de par son mode d'utilisation ('coup de louche') a été développé dès 1949 (Boyd, dans Papierok, 1975). Elle est devenue la principale méthode utilisée actuellement pour le suivi épidémiologique, en raison de son efficacité et de sa simplicité (Becker, 2020 – chapitre 4.2 p56). Papierok utilise une louche de 1 litre, Becker recommande 350 ml (ouverture de 11 cm).

2- Les 3 habitats M1 à M3 sont individualisés par une ligne dans le tableau 5.

3- Attention pour tous les calculs de densités par habitat : ils sont approximatifs, car il est difficile de savoir à quelle superficie exacte correspond un coup de louche. Il peut y avoir une grande variation dans l'efficacité de l'échantillonnage selon de multiples critères (angle d'approche et de prise, fuite des larves ...). Nous avons considéré qu'il faut au maximum 6 coups de louche pour prélever 1/20 m². Cette surface d'échantillonnage correspondant à celle de la norme AFNOR NF T90-333, de prélèvement des macro-invertébrés aquatiques. Il est possible que seuls 5, voir 4 coups de louche suffisent. Dans ce cas, les densités en moustiques dans les bassins, calculées sur la base de 6 coups de louche pour 1/20 m², sont sur-estimées de 15 à 35 %. La fuite des larves de moustiques reste dans tous les cas une source d'incertitude pour le calcul des densités.

4 Présentation des secteurs d'études

4.1 Critères de choix des secteurs

Une phase importante de cette étude est de choisir des sites adaptés aux questions posées.

Les conditions suivantes sont retenues :

- 1) bassin routier avec volume mort d'au moins 40 cm (environ) et perenne, notamment sans assec estival,

- 2) axe de circulation avec au minimum 10 000 véhicules par jour,
- 3) absence de pollution autre que la pollution routière (par exemple absence d'industrie pouvant engendrer des dépôts polluants, dans un rayon de 300 mètres).
- 4) bassin routier alimenté uniquement par un bassin versant provenant de l'emprise routière (par exemple, pas de raccordement d'un bassin versant agricole amont, pas de ruisseau ou source se jetant dans le bassin routier).
- 5) dans le cadre particulier de cette étude 2023, a) gradient de distance par rapport à une grande agglomération, b) conservation de 3 bassins de 2022, pour voir un éventuel impact interannuel.

Un premier lot de 3 bassins permet de faire un gradient de distance par rapport à une agglomération de 17 000 habitants (Lunéville) : Moncel-lès-Lunéville, Bénaménil-Ouest et Chazelles-sur-Albe, situés respectivement à 1,5 km, 9 et 20 km de Lunéville. Bénaménil-Ouest faisait partie du suivi 2022.

Un deuxième lot de 3 bassins est situé à proximité de l'agglomération de Metz (220 000 habitants) : Montigny-lès-Metz, Metz-MagnyQ2 et Q100, situés pour le premier à 80 m des premiers lotissements et pour les deux suivants à 750 mètres de Metz-Magny. Les deux bassins de Metz-Magny étaient suivis en 2022.

4.2 Présentation générale des bassins routiers retenus

4.2.1 Secteurs retenus

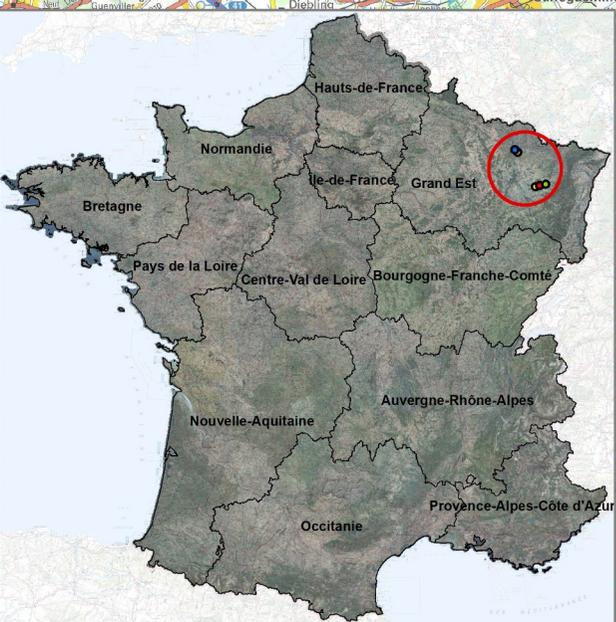
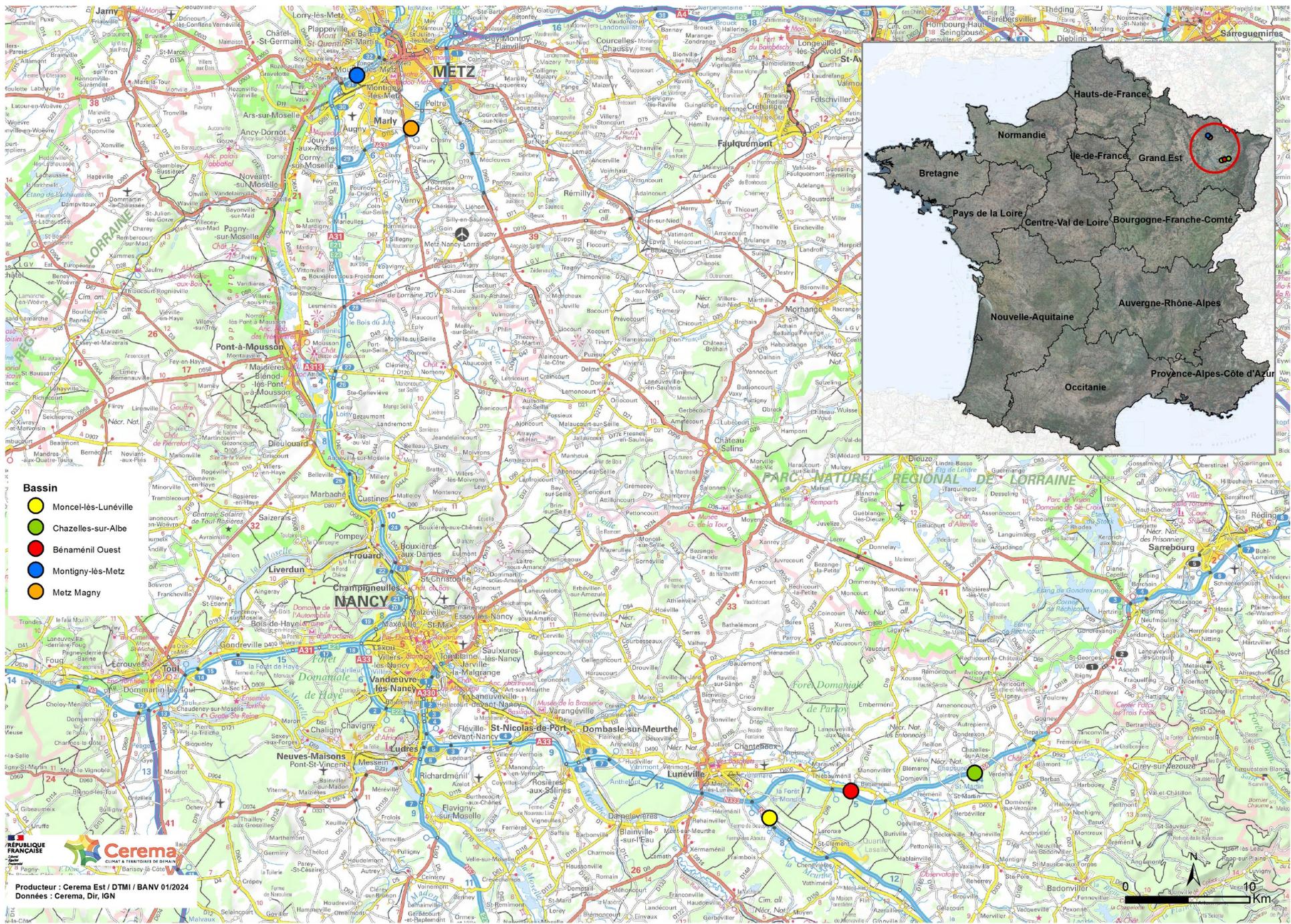
Localisation : les 6 bassins routiers sont situés sur une ligne courbe allant de Metz à Lunéville puis vers Sarrebourg (figure 4-1).

Climatologie : Nancy, proche du secteur d'étude, est à 48°69'Nord. Les bassins ont une altitude d'environ 310 mètres (Chazelles-sur-Albe) à environ 170 mètres (Montigny-lès-Metz).

Le climat est de type océanique atténué à influence continentale. Les saisons sont contrastées et bien marquées. En fonction des vents dominants peuvent se succéder des périodes de précipitations (influence océanique) ou de fortes amplitudes thermiques (influence continentale). A Metz-Frescaty (tableau 3), la température moyenne du mois le plus chaud (juillet) atteint 20,1 °C. Celle du mois le plus froid (janvier) est de 2,7 °C. Les précipitations sont régulières toute l'année (de 45 mm en avril à 77 mm en décembre).

Figure 4-1 - Localisation des 6 bassins routiers :

(page suivante)



- Bassin**
- Moncel-lès-Lunéville
 - Chazelles-sur-Albe
 - Bénaménil Ouest
 - Montigny-lès-Metz
 - Metz Magny



4.2.2 Caractéristiques des secteurs

Le tableau 2 permet de résumer les caractéristiques et les principales différences entre les routes et les bassins routiers. Les codes DIR des bassins figurent en annexe B.

Les bassins routiers supportant les plus fortes pressions de pollution routière sont, dans l'ordre décroissant de pression, 1) Montigny-lès-Metz (75 000 véh/j), 2) Metz-Magny Q2 (27 000 véh/j), 3) Moncel-lès-Lunéville (17 000 véh/j), 4 et 5) Bénaménil-Ouest et Chazelles-sur-Albe (10 000 véh/j), 6) Metz-MagnyQ100 (récupérant les eaux épurées de Metz-Magny Q2).

Les bassins sont peu profonds, excepté le bassin de Chazelles-sur-Albe qui est au contraire profond, avec peu d'hélophytes.

Le bassin de Moncel-lès-Lunéville a lui-aussi peu d'hélophytes, en raison de son fond et de ses bas de berges bétonnés. Par contre, des herbiers d'hydrophytes et d'algues filamenteuses, ainsi qu'un fort recouvrement par des lentilles d'eau (figure 4-3), sont présents la majeure partie du printemps et de l'été.

Le bassin de Montigny-lès-Metz est entièrement bétonné (fond et berge) et trop récent pour être colonisé par des herbiers. Il a la particularité d'avoir, au centre du bassin, deux ouvrages cadres bétonnés fixés sur le fond, ouvert sur la partie supérieure, rempli d'eau, encadrant chacun un clapet de décharges de nappes (figure 6-3). L'espace à l'intérieur de ces cadres, non accessible aux prédateurs (voir le rapport sur le suivi 2022 sur l'impact de la prédation) est particulièrement favorable aux larves de moustiques (voir la suite du présent rapport).

Il y a une probablement une présence forte de poissons à Chazelles-sur-Albe, en raison de la profondeur et de l'ancienneté de ce bassin.

Figure 4-2 - Loche franche (*Barbatula barbatula*), jeune individu.

Prédateur possible de moustiques trouvé dans le bassin routier peu profond de Metz-MagnyQ2, (Photo : Sylvain COLLON / Cerema) :



Tableau 2 - Principales caractéristiques des routes et des bassins routiers retenus pour l'étude :

Caractéristique	Moncel-lès-Lunéville (1)	Bénaménil-Ouest	Chazelles-sur-Albe	Montigny-lès-Metz	Metz-MagnyQ2	Metz-MagnyQ100
Route	N59	N4	N4	A31	N431	N431
Type de route	2x2 inter-urbaine fluide	2x2 inter-urbaine fluide	2x2 inter-urbaine fluide	2x3 urbaine lente à fluide	2x2 péri-urbaine, fluide	
Trafic véh/j (et % de poids lourds)	17 000 (13 %)	10 000 (31 %)	10 000 (31%)	75 000 (12 %)	27 000 (14 %)	
Chaussée collectée par le bassin (ha)	1,68 (surface de chaussée) (3)	4,6 (surface active)	2,84 (surface de chaussée)	0,86 (surface active) 0,95 (surface de chaussée)	4,8 (surface de chaussée)	
Fond du réseau de collecte des eaux pluviales	Bétonné	Enherbé	Enherbé	Bétonné	Bétonné	
Année de mise en service du bassin	1992 ou 1993	2006	2006	2022 (été)	Déc 2016	déc 2004, modifié en déc 2016
Type de bassin	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Pollution	Hydraulique
Pluie de dimensionnement du bassin	Q10 (3)	Q10	Q10 (3)	Q2 : traitement pollution Q10 : rétention hydraulique	Q2	Q100
Superficie au miroir bassin routier (m ²)	1 250	1 600	1 600	220	800	1 040
Profondeur moyenne du volume mort (m)	0,4	0,4	> 1,5 m (prélèvements à partir de la berge)	0,4	0,4	0,4
Fond et berge	Berge naturelle, pied de berge et fond bétonnés	Couche de graviers sur argiles	Naturel (argile probable)	Berge naturelle, pied de berge et fond bétonnés	béton	argile

Recouvrement d'hélophytes %	1	70	2	0	14	90 % dont 5 % en eau (4)
Présence de poissons	Faible	Faible	FORTE (Probable)	non	Faible	Faible
Distance à une grande agglomération	1,5 km de Lunéville (19 000 hab)	9 km de Lunéville (19 000 hab)	20 km de Lunéville (19 000 hab) + 25 km de Sarrebourg (12 000 hab)	0,08 de Metz (220 000 hab)	0,75 km de Magny et 1,4 km de Marly, en continuité avec Metz (220 000 hab)	
Occupation des sols, rayon de 0,3 km	Naturelle à 68 % (forêts, eaux, prairies), Anthropisée à 32 % (bâti, cultures)	Naturelle à 90 % (prairies, forêts), Anthropisée à 10 % (route, cultures)	Naturelle à 92 % (prairies, forêts), Anthropisée à 8 % (route, cultures)	Naturelle à 57 % (forêts, eaux), Anthropisée à 43 % (bâti)	Anthropisée à 85 % (cultures, bâti) Naturelle à 15 % (prairies, forêts),	
Occupation des sols, rayon de 5 km	Naturelle à 65 % (forêts, prairies), Anthropisée à 35 % (cultures, bâti)	Naturelle à 75 % (prairies, forêts), Anthropisée à 25 % (cultures, bâti)	Naturelle à 67 % (prairies, forêts), Anthropisée à 33 % (cultures, bâti)	Anthropisée à 58 % (bâti) Naturelle à 42 % (forêts, prairies)	Anthropisée à 59 % (cultures, bâti) Naturelle à 41 % (forêts, prairies)	
Nombre de mares (2) + bassins routiers, rayon de 5 km	43 + 13	61 + 4	42 + 6	35 + 8	34 + 6	
Alimentation autre que eaux pluviales	NON	NON	NON	NON	Source captée par le drainage routier	Bassin amont de Metz-Magny Q2
Principales sources de pollution, autre que Eaux pluviales	Carrière à 850 m au nord-ouest	Néant	Néant	Agglomération de Metz	Culture intensive	Culture intensive
Suivi Moustiques en 2022	non	OUI	non	non	OUI	OUI

Légende : Les caractéristiques nettement différentes des autres bassins sont en police rouge. Type de bassin. Mixte : assure les deux fonctions de dépollution et de rétention hydraulique. (1) 1^{er} bassin le 26 avril et 2^{ème} bassin à partir du 24 mai 2023 (voir chapitre 5.1.3) ; (2) données du CEN ; (3) estimation du CEI de Moncel-lès-Luneville ; (4) Les hélophytes couvrent environ 90 % de la superficie du bassin dont 5 % en eau en permanence. Le reste (85 %) doit être probablement hors eau en quasi-permanence.

En complément à ce tableau 2, pour tous les bassins :

- les abords des tronçons sont ouverts (ils ne s'opposent pas à la dispersion des polluants),
- les enrobés sont non drainants,
- la pente des tronçons routiers est faible,
- aucun déversement polluant lors d'un accident routier n'a été porté à la connaissance des Directions interdépartementales des routes depuis la création des bassins (informations des DIR, CEI de Pouilly et de Moncel-lès-Luneville),
- Il n'y a eu aucun curage depuis au moins 10 ans (informations des DIR, CEI de Pouilly et de Moncel-lès-Luneville)

Tous les bassins sont assez anciens pour héberger une communauté de macro-invertébrés stabilisée, excepté le bassin de Montigny-lès-Metz, récent (mise en eau en été 2022).

Les bassins reçoivent une quantité de sels dépendant de la rigueur de l'hiver, qui a été très doux en 2022-2023. L'impact éventuel de la salinité pourrait se voir principalement sur la campagne d'avril. Néanmoins, notre étude de 2022 montre qu'il n'est pas possible de mettre en évidence l'impact du sel dans les bassins sur les abondances de moustiques.

Les caractéristiques des bassins pouvant influencer la présence de moustiques sont commentées au chapitre 6.8 .

4.2.3 Photographies des bassins

Figure 4-3 - Bassin pluvial routier de Moncel-lès-Lunéville sur la N59

gauche : vue depuis l'ouvrage de sortie (Photos : Cerema / Sylvain COLLON, mai 2023) ;

droite : vue depuis l'ouvrage d'entrée (Photos : Cerema / Pierre MAZUER, février 2024) :



Légende : voir aussi figure 6-2.

Figure 4-4 - Bassin pluvial routier de Bénaménil-Ouest sur la N4

(photographies, à gauche, avril 2022, Émilie BUSSON / Cerema et à droite, juillet 2022, Pierre MAZUER / Cerema) :



Figure 4-5 - Bassin pluvial routier de Chazelles-sur-Albe sur la N4

À gauche : vue de l'ouvrage de sortie, à droite, vue de la route (photographies, mars 2023, Sylvain COLLON / Cerema) :



Figure 4-6 - Bassin pluvial routier de Montigny-lès-Metz (direction Metz) sur l'A31 :

A gauche au premier plan, buse de sortie de l'ouvrage d'entrée. A droite : zone favorable aux moustiques : pente faible, détritits en plastiques, litières (Photos : Pierre MAZUER / Cerema, avril 2023)



Légende : Voir aussi photo de couverture du présent rapport et figure 6-3

Figure 4-7 - Bassin pluvial routier de Metz-MagnyQ2 sur la N431

(à gauche : vue depuis l'ouvrage de sortie vers l'amont. A droite : amont de la sortie. Photographies, à gauche, Émilie BUSSON et à droite, Pierre MAZUER / Cerema, avril 2022)



Figure 4-8 - Bassin pluvial routier de Metz-MagnyQ100 sur la N431

A gauche : vue depuis l'ouvrage de sortie de Metz-MagnyQ2, qui est aussi l'ouvrage d'entrée de Metz-MagnyQ100. Chenal allant de ce dernier ouvrage à l'ouvrage de sortie de Metz-MagnyQ100. A droite : vue du bassin de Metz-MagnyQ100 depuis l'ouvrage d'entrée (photographies Émilie BUSSON / Cerema, avril 2022).



5 Prélèvements et déterminations taxonomiques

5.1 Prélèvements et observations de terrain

5.1.1 Date de prélèvement et situation climatique

Le suivi est environ mensuel, d'avril à octobre. Les 7 campagnes de prélèvement réalisées sont les suivantes : 26 avril, 24 mai, 28 juin, 8 août, 30 août, 26 septembre, 31 octobre 2023.

L'objectif, atteint, est de réaliser les prélèvements à une même date par campagne sur les 6 bassins.

La température moyenne de l'année 2023 dépasse de 1,2 degré la moyenne interannuelle (tableau 3). Les moyennes mensuelles de juin et de septembre dépassent d'environ 3 degrés les moyennes interannuelles.

La pluviosité annuelle de l'année 2023 est plus importante que la moyenne interannuelle. Les périodes de plus fort dépassement sont essentiellement entre juillet et novembre.

Tableau 3 - Relevés météorologiques à la station de Metz-Frescaty :

Mois	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	déc	Année
Température interannuelle moyenne 1991- 2020 (en °C)	2.7	3.6	7	10.5	14.5	17.9	20.1	19.7	15.7	11.3	6.5	3.5	11.1
Température moyenne année 2022 (TMM)	3.0	6.1	7.2	9.8	16.3	19.7	21.8	22.5	15.0	13.9	8.6	4.1	12,3
Température moyenne année 2023 (TMM)	5.0	4.5	7.8	9.4	15.5	21.2	20.0	19.3	18.5	12.9	7.6	6.0	12,3
Précipitation cumulée interannuelle moyenne 1991- 2020 (en mm)	61.9	56	51.1	45.1	56.9	56.1	59.8	59.3	61.5	64.8	64.5	76.5	713,5
Précipitation année 2022 (RR_ME)	57,2	46,1	28,6	63	22,6	57,3	9,9	22,8	68	92,3	67,2	51,2	586,2
Précipitation année 2023 (RR_ME)	65.4	5.0	118.7	52.0	27.8	14.0	75.1	126.9	16.6	116.6	116.4	74.2	808,7

Légende : d'après les données de Météo-France. TMM : température moyenne mensuelle des températures moyennes quotidiennes (en °C et 1/10) ; RR_ME : cumul mensuel estimé des hauteurs de précipitation (en mm et 1/10). Les valeurs des moyennes interannuelles les plus humides ou froides sont surlignées en bleu, celles sèches ou chaudes en jaune. Les valeurs de température de 2023 nettement au-dessus des valeurs interannuelles sont surlignées en orange. Les valeurs de précipitation de 2023 nettement au deçà des valeurs interannuelles sont surlignées en orange, celles nettement au-dessus en bleu.

La situation climatique peut avoir un impact sur les communautés de moustiques. Elle est analysée selon les critères suivants (tableau 3) :

1) températures les deux mois précédant le prélèvement : les valeurs mensuelles sont-elles proches des moyennes interannuelles ou au contraire exceptionnelles ? ;

L'augmentation des températures accélère la vitesse de développement des larves, jusqu'à une valeur limite propre à chaque espèce, provoquant une mortalité (par exemple 31°C pour *Culiseta annulata*).

Excepté pour les mois de juin (+3,3°C) et de septembre (+2,8°C) 2023, l'écart entre les valeurs mensuelles et les valeurs interannuelles est modeste. Seules les communautés de moustiques du 28 juin et 26 septembre peuvent donc être impactées par une température dépassant de plus de 2°C la moyenne interannuelle.

2) conditions pluviométriques avant et pendant le prélèvement :

a) les valeurs mensuelles sont-elles proches des moyennes mensuelles ou au contraire exceptionnelles ?

Les prélèvements du 24 avril sont réalisés pendant une pluviosité proche de la moyenne interannuelle. Les autres campagnes sont effectuées pendant deux situations exceptionnelles, vu la forte fluctuation de pluviosité en 2023 :

- soit après un mois nettement sous la moyenne interannuelle : 24 mai, 28 juin, 26 septembre,
- soit nettement au-dessus de la moyenne interannuelle : 8 et 30 août, 31 octobre.

b) la présence d'une forte pluie est-elle pénalisante pour les moustiques, par exemple en créant une vitesse de l'eau trop forte dans les ouvrages de sortie ? (voir les figures 5-1 et 5-2).

Note : des pluies qui ne sont pas trop importantes sont favorables à l'étude, car elles apportent de la pollution routière dans les bassins (sels, hydrocarbures ...).

L'année 2023 est pluvieuse, mais avec des pluies d'intensité limitées, dépassant rarement 20 mm par jour.

Analyses des pluies à la station de St-Maurice-aux-Forges (référence pour les 3 bassins à l'est de Moncel-les-Luneville) :

Les 3 premières campagnes ne sont pas concernées par de fortes pluies (26 avril, 24 mai et 26 juin).

Les pluies sont modestes avant les prélèvements des 8, 30 août et 26 septembre.

Une pluie importante a lieu le 29 et 30 octobre, respectivement de 39 et 15 mm, la veille du prélèvement du 31 octobre.

Analyses des pluies à la station de Metz-Frescaty (référence pour les 3 bassins proches de Metz) :

Une pluie importante proche de 46 mm, a lieu le 8 mars, soit 49 jours avant les prélèvements du 26 avril. Cette pluie est trop ancienne pour avoir une influence sur la présence de larves de moustiques dans l'ouvrage de sortie.

Comme pour le secteur de Lunéville, les 3 premières campagnes ne sont pas concernées par de fortes pluies (26 avril, 24 mai et 26 juin).

La pluie du 31 juillet au 3 août, de 56 mm cumulés sur les 4 jours, est 5 jours avant les prélèvements du 8 août.

La pluie du 14 au 16 août, de 50 mm cumulés sur les 3 jours, est de 14 à 16 jours avant les prélèvements du 30 août.

Il n'y a pas de pluie supplémentaire significative avant les prélèvements du 26 septembre.

Une série de pluies modestes a eu lieu avant les prélèvements du 31 octobre, dont la dernière de 17 mm le 29 octobre, soit un jour avant les prélèvements.

L'influence climatique éventuelle sur les communautés de moustiques est discutée au chapitre 6.9 .

Figure 5-1 - Pluviométrie journalière sur la station de Saint-Maurice-aux-Forges (à 15 km de Bénaménil) lors de la période d'étude, de mi-février à fin octobre 2023 :

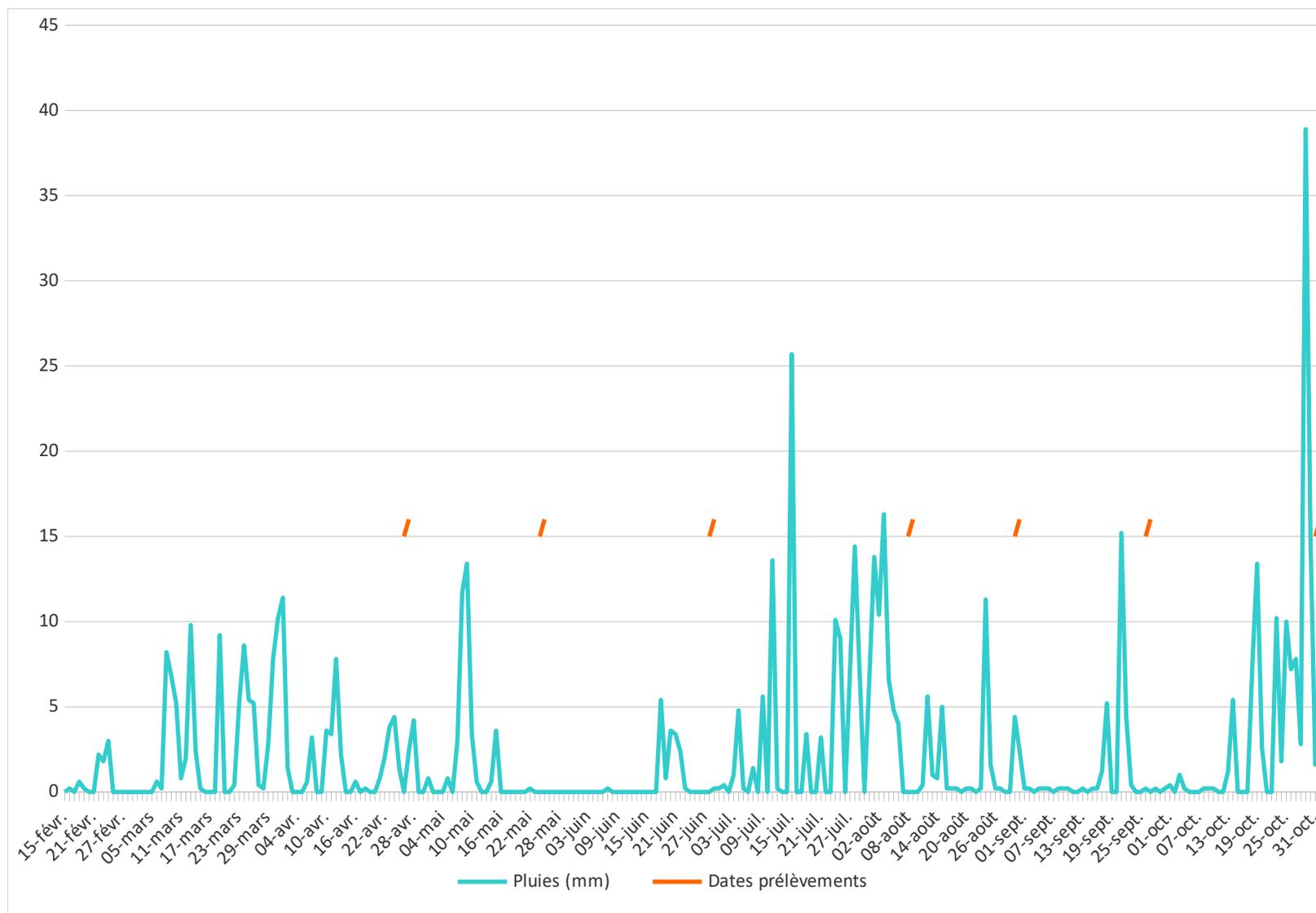
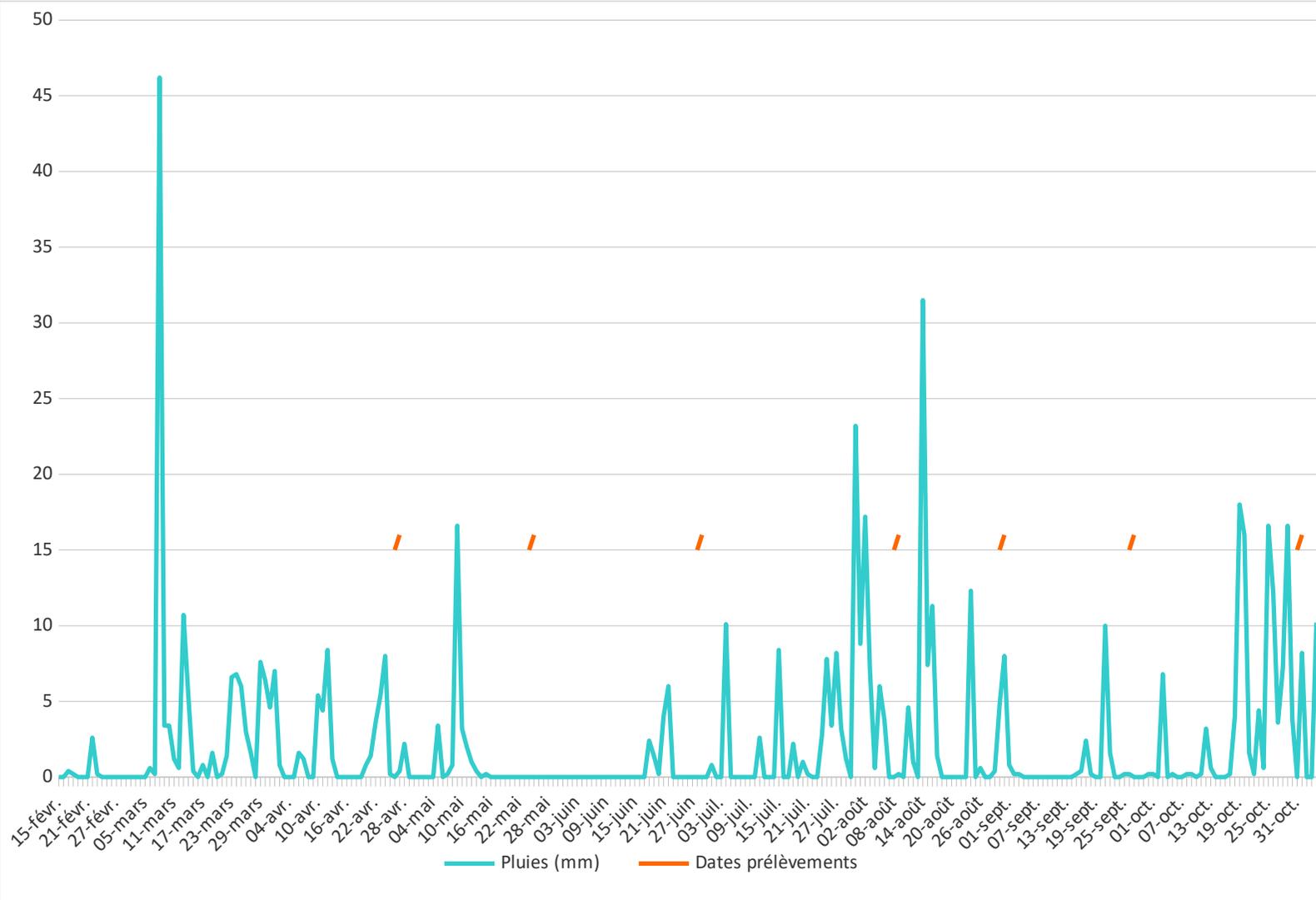


Figure 5-2 - Pluviométrie journalière sur la station de Metz-Frescaty lors de la période d'étude, de mi-février à fin octobre 2023 :



5.1.2 Méthode d'échantillonnage utilisée

Elle est décrite au chapitre 3.

5.1.3 Conditions d'application du protocole en 2023

Pour toutes les stations et les campagnes, les conditions d'accès et de prélèvement sont globalement bonnes, excepté pour le bassin de Moncel-lès-Luneville en avril 2023.

Sur Moncel, un premier bassin est prélevé le 26 avril sur un seul habitat depuis la berge, car l'accès au fond du bassin est trop dangereux (géomembrane glissante sur les fortes pentes des berges et risque de rupture de la géomembrane en marchant sur le fond). De plus, il est impossible de soulever le caillebotis de l'ouvrage de sortie sans matériel. A partir du 24 mai, ce 1^{er} bassin est remplacé par un 2^{ème} bassin, prélevé sur la même route et la même direction, environ 800 mètres au sud-est.

Il n'a pas été possible de prélever tous les échantillons élémentaires dans le tiers aval du bassin, comme souhaité dans le protocole. Les localisations des prélèvements élémentaires sont les suivantes :

- 1) Moncel-lès-Luneville : proche du regard d'entrée, en raison de l'importance des lentilles d'eau sur le reste du bassin, la majeure partie de l'année,
- 2) Bénaménil-Ouest : proche du regard de sortie, comme souhaité,
- 3) Chazelles-sur-Albe : proche du regard de sortie, comme souhaité,
- 4) Montigny les Metz : à mi-distance entre l'entrée et la sortie,
- 5) Metz-Magny Q2 : proche du regard de sortie, comme souhaité,
- 6) Metz-Magny Q100 : proche du regard d'entrée, car c'est le seul endroit où le substrat « surface dure en berge » est présent.

Les localisations exactes ont pu varier selon les campagnes (lors d'essai de localisation des moustiques).

Cependant, l'abondance des larves de moustiques ne semble pas diminuée par la proximité de l'entrée de la pollution. Par exemple, une « chasse » (voir le chapitre 3 pour la définition de ce type de prélèvement des moustiques) à Moncel, réalisée le 28 juin à l'intérieur de la buse de sortie de l'ouvrage d'entrée, montre un pic d'abondance de moustiques (tableau 4). De même, les prélèvements lors des « chasses » à Montigny-lès-Metz sont proches de l'ouvrage d'entrée (notamment dans les 2 coins à proximité de la buse) et les larves de moustiques sont bien présentes du 8 août au 26 septembre.

5.1.4 Type d'ouvrage de sortie échantillonné

Il est décrit dans le rapport de suivi 2022 (voir figure 6-1). Un ouvrage de sortie est un ouvrage en béton, de petite dimension mais variable, de l'ordre de 1,7 à 1,8 m² au miroir (2,4 m² pour le bassin de Bénaménil-Ouest). La forme au miroir est circulaire ou rectangulaire. Il est accessible par un regard équipé d'une échelle d'accès. Ce type d'ouvrage est en eau toute l'année, pour nos bassins routiers.

5.2 Traitement des échantillons

Sur le terrain, chaque échantillon élémentaire est versé dans une bassine à fond clair. Il est examiné, si besoin avec une loupe serre-tête x2. Les larves ou nymphes de moustiques, se repérant facilement grâce à leur forme, leur type de mouvement et leur taille, sont récupérées à la pipette pasteur en plastique (avec bout coupé pour être plus large) ou une cuillère pliée en L. Les moustiques sont ensuite placés dans un pilulier alcoolisé avec une étiquette indiquant le lieu, la date et l'habitat.

Note : en cas de doute, par exemple risque de confusion avec des nymphes de Chironomes, tous les individus sont mis en pilulier et contrôlés au laboratoire.

Figure 5-3 - Récupération de larves de moustiques dans le bassin routier de Montigny-lès-Metz

Matériel de prélèvement : bocal avec manche. Matériel de tri : cuvette à fond clair, cuillère en L ou pipette Pasteur en plastique à embout raccourci. (Photo : Pierre MAZUER / Cerema) :



Au laboratoire, les larves de moustiques sont déterminées sous la binoculaire au grossissement x160 . Les déterminations à l'espèce sont faites pour les larves au stade IV (à partir de 8 mm), mais aussi pour certaines espèces au stade III (entre 6 et 8 mm) s'il n'y a pas de confusion possible. Les larves plus petites, non déterminées à l'espèce, sont appelées larvules. Concernant les nymphes, nous n'avons une clé de détermination qu'au niveau taxonomique du genre.

Les fiches de terrain et les listes taxonomiques sont en annexe A.

Cas de l'espèce *Anopheles maculipennis*.

Tous les individus déterminés dans cette étude sont à considérer comme *Anopheles maculipennis lato sensus*, c'est-à-dire au sens large (voir le suivi de 2022).

6 Exploitation des données

6.1 Résultat global et par campagne

Le résultat du traitement des échantillons et de la détermination taxonomique des larves et nymphes de moustiques figurent dans le tableau 4. Le tableau 5 présente des données de synthèse.

Les abondances sont données ci-dessous pour la superficie d'échantillonnage estimée dans le chapitre 3.

a) Pour les bassins, les abondances pour chacun des 3 habitats (hélrophytes, surfaces dures en berge et sub-surfaces de l'eau), sont obtenues par 6 prélèvements élémentaires réalisés chacun avec un 'coup de louche'. L'ensemble de ces 6 prélèvements élémentaires correspond à une superficie d'échantillonnage d'environ à $1/20 \text{ m}^2$ au total. Pour les 3 habitats, nous avons donc un échantillonnage total de 18 échantillons élémentaires, couvrant $3/20 \text{ m}^2$ (soit $0,15 \text{ m}^2$). L'effort d'échantillonnage est plus faible s'il manque un des 3 habitats.

b) Dans les ouvrages de sortie, les abondances sont plus difficiles à relier à une superficie. Les conditions de prélèvements sont difficiles et la méthode est adaptée à chaque situation, en fonction de l'accès, de la profondeur d'eau parfois faible, de la possibilité ou non de prélever sur tout le périmètre de regard, etc. Nous avons essayé de donner une idée juste de l'abondance des larves de moustiques dans les ouvrages.

c) Les abondances dans les 'chasses' sont informatives car les habitats prélevés sont variables, de superficies anecdotiques et non représentatifs du bassin.

Les abondances de moustiques trouvées sont faibles. Pour les 6 sites (bassins hors chasses, ouvrages de sortie et chasses au niveau de points singuliers) et les 7 campagnes de prélèvements, nous avons au total 772 larvules, larves ou nymphes de moustiques, appartenant à 9 espèces.

Dans les bassins (hors prélèvements de chasses), seulement 54 individus sont obtenus grâce à l'échantillonnage dans les 3 habitats du protocole de base (hélrophytes, surfaces dures en berge et sub-surfaces de l'eau), donc hors ouvrages de sortie et hors chasses. Cette abondance est obtenue pour 42 opérations de prélèvements (6 bassins et 7 campagnes).

Nous avons par contre 252 individus dans les ouvrages de sortie (milieux de petites superficies) et surtout 466 individus dans les chasses (voir ci-dessous le chapitre 6.2.3 pour ce cas particulier).

Des moustiques sont trouvés pendant toute la période de suivi, d'avril à octobre. Les abondances, pour l'ensemble des prélèvements (bassins, ouvrages de sortie et chasses), varient souvent de 15 à 50 moustiques par campagne, avec un pic de 418 moustiques le 28 juin, s'atténuant à 157 moustiques le 8 août. Les pics d'abondance sont toujours dus aux larvules.

Nous rappelons ici que les larves et adultes subissent une forte prédation par les autres macro-invertébrés aquatiques (voir l'étude Cerema, AERM, 2024) et que leur chance de devenir des adultes volants est particulièrement faible.

Nous pouvons observer (tableau 5) que si les nombres de larvules et de larves sont faibles et sensiblement équivalents dans les bassins, la situation est bien différente dans les ouvrages de sortie et les points singuliers lors des chasses. Les ouvrages de sortie semblent être des lieux particulièrement favorables aux larvules (respectivement 242 larvules et 10 larves). Les pontes doivent se faire dans ces ouvrages et les larvules sont probablement mieux protégées de la prédation.

Pour les placettes de chasses, la proportion larvules / larves / nymphes est de 379 / 73 / 15.

L'analyse des différentes situations est faite dans les chapitres suivants.

Trois observations peuvent être faites au préalable :

- à aucun moment, même au printemps et en été, au cours de nos 42 opérations de terrain, nous n'avons été importunés par des moustiques adultes, y compris à l'intérieur des ouvrages de sortie. Ce point confirme la faible abondance de moustiques larvaires.
- l'effet éventuel de la plus forte salinité dans les bassins routiers, suite aux traitements des chaussées routières pendant l'hiver, qui devrait, d'après la bibliographie, être favorable aux moustiques, au moins pendant les campagnes d'avril à mai, ne peut pas être observé dans notre jeu de données.
- nous pouvons enlever tout de suite l'hypothèse de l'impact de la pollution par hydrocarbures pour le bassin de Moncel (17 000 véh/j), en raison du grand nombre de larves en sortie de l'ouvrage d'entrée de ce bassin le 28 juin. Ce point est confirmé dans l'analyse des facteurs de présence de moustiques au chapitre 6.8 pour les autres bassins. Les hydrocarbures, pouvant former à forte concentration un voile de surface, sont pourtant cités dans la bibliographie comme limitant l'émergence des moustiques. Il semble que la concentration en hydrocarbures dans nos bassins routiers soit trop faible pour empêcher leur présence.

Tableau 4 - Espèces ou genres et abondance de larves de moustiques déterminés lors des 7 campagnes de prélèvements par bassin routier :

(page suivante)

	Ouvrage de sortie (passoire ou bocal)	0	0	Culex sp : 65	Culex sp : 150 <i>Culex pipiens</i> : 1	<i>Culex sp</i> : 4 <i>Culex hortensis</i> : 2	<i>Culex sp</i> : 1	<i>Culex hortensis</i> : 1	224
	Chasse (divers)	-	0	0	<i>Culex sp</i> (N) 3, <i>Cu. pipiens</i> 5, <i>Cu. hortensis</i> : 2	<i>Culex sp</i> : 2 <i>Cu. pipiens</i> : 11	<i>Cu. hortensis</i> : 11	0	34
	Chasse : espace entre les murets de protection des vannes de nappe	<i>Culex sp</i> : 21	<i>Culex sp</i> : 9 <i>Culex hortensis</i> : 3	<i>Culex sp</i> : 1 <i>Culex pipiens</i> : 5, <i>Culex hortensis</i> : 4	0	<i>Culex sp</i> : 1	<i>Culex sp</i> : 1N + 7 larvules <i>Culex hortensis</i> : 6	<i>Culex sp</i> : 9N + 1 larvule, <i>Culex hortensis</i> : 2	70
Metz (Magny) Q2 sur la RN431	Hélophytes (bocal)	0	0	0	0	<i>Culex sp</i> : 2	0	0	2
	Surface minérale dure en berge (bocal)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Surface de l'eau (bocal)	0	0	0	0	<i>An. mac.</i> : 1	0	0	1
	Ouvrage de sortie (passoire ou bocal)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chasse (divers)	-	0	0	0	0	0	-	0
Metz (Magny) Q100 sur la RN431	Hélophytes (bocal)	0	0	0	0	<i>An. sp</i> : 1	0	0	1
	Surface minérale dure en berge (bocal)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Surface de l'eau (bocal)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ouvrage de sortie (passoire ou bocal)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chasse (divers)	-	0	0	0	0	0	-	0

Légende : '-' = pas de prélèvement. N : nymphe. An : Anopheles ; An. mac. : Anopheles maculipennis au sens large. Cu : Culex ; Cs : Culiseta ; sp : espèces indéterminées (larvules) ; chasse : correspondant à des zones particulières (angle de bassin ...) ; (1) En raison de difficulté de prélèvement, le bassin d'avril n'a pas été conservé (voir chapitre 5.1.3) ; 0 : aucun individu de moustique trouvé ; Les substrats absents de certains bassins ont été supprimés du tableau : Hélophytes à Montigny-lès-Metz et Moncel-les-Lunevilles, Surfaces minérale dures à Bénaménil-Ouest

Tableau 5 - Cumul des abondances des moustiques déterminés lors des 7 campagnes de prélèvements pour tous les bassins :

Total	Taxon	26/04/23 (1)	24/05/23	28/06/23	08/08/23	30/08/23	26/09/23	31/10/23	Total
Bassins, ouvrages de sortie et chasses	Toute espèce	45	15	418	187	50	33	24	772
	Toute espèce : larvule / larve / nymphe	23/22/0	9/6/0	405/13/0	157/25/5	16/34/0	10/22/1	6/9/9	626/131/15
	<i>Anopheles maculipennis</i> (larvule probable) / larve	(22) / 0	0	0	(7) / 7	(7) / 15	5	(2) / 0	(38) / 27
	<i>Culex hortensis</i> (larve)	0	3	4	2	2	17	3	31
	<i>Culex pipiens</i> (larve)	0	0	5	9	13	0	0	27
	<i>Culex sp</i> (larvule)	21	9	395 dont 310 : chasse (OE) à Moncel et 65 OS à Montigny	150 dont 150 : OS de Montigny	9	9	1	603
	<i>Culex sp</i> (nymphe)	0	0	0	5	0	1	9	15
	<i>Culiseta annulata</i> ou <i>longiareolata</i> larve (que pour Bénaménil-Ouest)	0	3	1	5	1	1	10	21
	Autres espèces ou situations	0	0	13	7	0	0	0	20
Bassins seuls	Toute espèce dont (larvule / larve / nymphe)	4 (2/2/0)	0	7 (7/0/0)	12 (5/7/0)	26 (3/23/0)	6 (1/5/0)	0	55 (18/37/0)
Ouvrages de sortie seuls	Toute espèce dont (larvule / larve / nymphe)	0	0	83 et 65 : OS à Montigny (83/0/0)	155 dont 150 : OS de Montigny (153/2/0)	6 4/2/0	1 1/0/0	7 (1/6/0)	252 (242/10/0)
Chasses seules	Toute espèce dont (larvule / larve / nymphe)	41 (41/0/0)	15 (9/6/00)	328 dont 310 : chasse (OE) à Moncel (315/13/0)	20 (2/13/5)	18 3/15/0	26 8/17/1	19 (1/9/9)	467 (379/73/15)

Légende : OE et OS : ouvrage d'entrée et de sortie ; (1) abondance sous-estimée en raison de la difficulté à Moncel-lès-Luneville (voir chapitre 5.1.3).

6.2 Comparaison entre bassins, ouvrages de sortie et chasses

Les résultats figurent dans les sous-totaux 1 à 3 du tableau 5. Une analyse par substrats est faite dans le chapitre 6.3.

6.2.1 Bassins routiers (hors placettes de chasses) :

Les abondances obtenues sur les 3 habitats les plus favorables aux moustiques (hélrophytes, surfaces uniformes dures en berge et sub-surfaces de l'eau) sont extrêmement faibles dans les bassins routiers. Ce résultat confirme :

- l'étude réalisée en 2022 par le Cerema Est. Nous avons expliqué cette faible abondance par l'importance de la prédation dans les bassins (voir les deux rapports : Cerema, 2024 et Cerema, AERM, 2024 – voir Bibliographie).

- que l'année 2022 n'était pas une année particulière, notamment en raison d'une climatologie chaude et sèche. L'année 2023 est au contraire chaude et humide, et les résultats sont comparables.

Les seuls bassins routiers, pour les 7 campagnes de prélèvement, ayant une abondance d'au moins 4 individus dans les 3 substrats, sont Bénaménil-Ouest (9 individus) et Chazelles-sur-Albe (40 individus). L'espèce dominante est *Anopheles maculipennis*, présente pendant la période estivale (campagnes des 8 et 30 août).

6.2.2 Ouvrages de sortie (aval du voile siphonide)

Les abondances sont faibles. Sur 6 ouvrages et 7 saisons, soit 42 occurrences, nous avons seulement deux cas de plus fortes abondances, dues à des larvules de *Culex*, dans l'ouvrage de Montigny-lès-Metz, fin juin (65 individus) et début août 2023 (151 individus). Secondairement, l'abondance est aussi un peu plus forte à Bénaménil-Ouest (19 individus réparti de fin juin à fin octobre).

Ce résultat confirme les résultats de 2022 : les ouvrages peuvent être le lieu de plus fortes abondances ponctuelles. En 2022, nous avons un seul cas de prolifération sur 14 opérations de prélèvements.

Nous remarquons que ces plus fortes abondances en 2022 et 2023 sont l'été (fin juin à août) et dans des bassins proches d'agglomérations.

Figure 6-1 - Ouvrage de sortie exigüé de Metz-MagnyQ100, d'environ 1,7 m².

(Photo : Pierre MAZUER / Cerema) :



6.2.3 Placettes de chasses

Des recherches de moustiques supplémentaires ont été faites sur tous les bassins, dans des habitats marginaux, des situations très variées et non comparables entre bassins. Le résultat est uniquement informatif. Malgré l'effort d'échantillonnage, les abondances sont faibles.

Les cas de plus fortes abondances sont dans les situations suivantes :

1- Moncel-lès-Lunéville, fin juin, à l'intérieur de la buse menant dans le bassin (ouvrage d'entrée des eaux pluviales). Il est trouvé 310 larvules de *Culex*. Le radier de cette buse est immergé de plusieurs cm toute l'année (figure 6-2). Les conditions favorables semblent être les suivantes : faible profondeur, surface minérale dure, obscurité, éloignement des zones de prédation. Il est surprenant de constater que l'abondance est nulle ou très faible à l'occasion des 6 autres campagnes de prélèvement.

Figure 6-2 - Buse de sortie de l'ouvrage d'entrée du bassin de Chazelles-sur-Albe

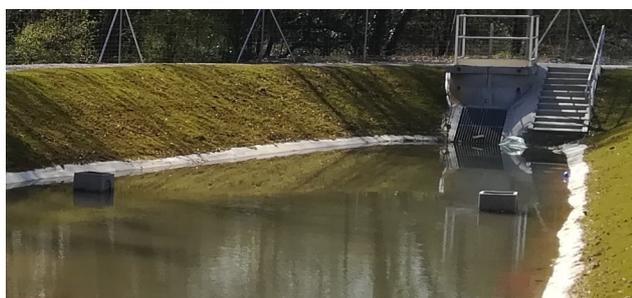
(Photos : Pierre MAZUER / Cerema, juin 2023) :



2- Bénaménil-Ouest, dans un habitat marginal en superficie du bassin routier, sous un ombrage important de Saules. Les conditions favorables semblent être les suivantes : faible profondeur (3 cm), faible luminosité, fond de litières, éloignement des zones de prédation. Le nombre d'individus reste faible mais relativement constant de fin avril à fin octobre, variant de 1 à 8 individus par campagne, pour un total de 27 individus. Si l'abondance est supérieure à celle présente dans le reste du bassin, elle reste modeste. Notons que c'est le seul des 6 bassins où nous trouvons des *Culisera*, notamment *annulata*.

3- Montigny-lès-Metz, dans l'espace entre les murets de protection des clapets de décharge de la nappe phréatique (voir figure 6-3). Les conditions favorables semblent être les suivantes : faible luminosité (milieu encaissé), surface minérale dure, éloignement des zones de prédateurs (l'intérieur des regards est isolé, hydrologiquement, du reste du bassin). Les abondances sont supérieures à celles trouvées dans le bassin mais restent modestes (de l'ordre de 10 à 20 individus), malgré un échantillonnage facile dans ce petit milieu. Nous avons essentiellement des larvules de *Culex* et des *Culex hortensis*. Il est surprenant que, à l'inverse des autres campagnes, l'abondance soit pratiquement nulle les 8 et 30 août.

Figure 6-3 - Deux ouvrages de protection des clapets de nappes dans le bassin de Montigny-lès-Metz (Photos : Pierre MAZUER / Cerema), avril 2023) :



4- Montigny-lès-Metz, dans un habitat marginal en superficie du bassin routier : les deux angles au droit de l'ouvrage d'entrée (voir figure 4-6). Il est difficile de définir simplement l'habitat : il est proche du bord (surface minérale dure), avec une faible profondeur (moins de 5 cm), au droit d'un mélange de litières, limons, déchets plastiques, de touffes de jeunes hélophytes et leur chevelu racinaire. Il est possible que la plus faible prédation sur les moustiques, due à la jeunesse du bassin (mis en eau pendant l'été 2022) et à l'absence d'hélophytes, leur soit favorable. Les espèces sont *Culex pipiens* et *C. hortensis*, essentiellement du 8 août au 26 septembre.

En conclusion, ces plus fortes abondances dépendent donc de situations particulières : réduction de la pression des prédateurs, faible lame d'eau, présence d'une faible luminosité.

6.3 Analyse par substrat

Trois substrats ont été systématiquement prélevés dans les bassins : M1 : Hélophytes, M2 : Surfaces minérales dures en berge et M3 : Sub-surfaces de l'eau.

Attention pour tous les calculs de densités par habitat : voir le commentaire en fin de chapitre 3 . Il est possible que les densités en moustiques dans les bassins, présentées ci-dessous, soient sur-estimées de 15 à 35 %.

A) Situation dans les bassins :

Les abondances trouvées par habitat sont présentées dans le tableau 6 :

Tableau 6 - Moyenne des densités en moustiques par habitat dans les 6 bassins :

Habitat	Densité, en moyenne annuel (Nombre d'individus par m ²)	Densité lors du pic estival (Nombre d'individus par m ²)
M1 : Hélophytes	17	72
M2 : Les surfaces uniformes dures en berge (bétonnées)	0,71	–
M3 : La sub-surface de l'eau	0,48	–
Comparaison avec une réserve d'eau d'une maison individuelle (voir suivi 2022)	100	3000

Détail des calculs du tableau 6 :

M1 : Les hélophytes sont présents sur 5 bassins sur les 6 (elles sont absentes dans le bassin récent de Montigny-lès-Metz). De plus, sur le bassin de Moncel-lès-Lunéville, ce substrat n'est prélevé que lors des 4 dernières campagnes. Nous avons donc 32 opérations de prélèvements (4 bassins x 7 campagnes + 1 bassin x 4 campagnes) et donc 192 échantillons élémentaires (32x6). Sur les 32 opérations de prélèvements, nous avons des larves dans 7 cas, pour un total de 27 moustiques. L'abondance est donc faible, avec une moyenne de 0,8 larvule ou larve par 1/20 de m². Nous pouvons en conclure que nous avons environ, en moyenne sur l'année, 17 moustiques par m² de cet habitat, tout stade aquatique confondu (larvules, larves, nymphes).

Nous pouvons comparer ce résultat avec les densités trouvées en 2022 dans les hélophytes des quatre bassins routiers avec le protocole 'tous macro-invertébrés', lors des 2 campagnes d'avril et juillet. Nous avons dans chaque bassin, deux prélèvements élémentaires dans les hélophytes, de 1/20 m² chacun (prélèvement au Surber) et un total de 17 individus pour 16 échantillons de 1/20 m². La densité est donc d'environ 1 moustique par 1/20 de m², soit 20 moustiques par m². Les résultats sont donc proches de ceux de 2023, malgré un matériel de prélèvement très différent (Surber en 2022, bocal avec manche en 2023).

Pour avoir une approche d'une abondance lors du pic saisonnier de 2023, nous pouvons faire le même raisonnement pour la campagne du 30 août, présentant le maximum de larves (principalement *Anopheles maculipennis*). Les hélophytes sont sur 5 bassins. Nous avons donc 5 opérations de prélèvements (5 bassins pour une campagne de prélèvements) et donc 30 échantillons élémentaires (5x6). Sur les 5 opérations de prélèvements, nous avons 18 larves de

moustiques, soit en moyenne 72 moustiques par m² de cet habitat, tout stade aquatique confondu (larvules, larves, nymphes).

Cette densité est faible par rapport à la réserve d'eau pluviale d'une habitation étudiée dans le rapport de 2022, d'une superficie de 0,32 m² : la densité alors relevée est de l'ordre de 100 moustiques à, lors du pic estival, 3000 moustiques par m².

M2 : Les surfaces uniformes dures en berge (bétonnées) sont prélevables dans 5 bassins sur 6. Elles ne manquent qu'à Bénaménil-Ouest, bassin entièrement colonisé en berge par les hélophytes. Nous avons 35 opérations de prélèvements (5 bassins x 7 campagnes) et donc 210 échantillons élémentaires (faits en général à la louche). Nous avons 27 moustiques pour 5 opérations de prélèvements. La presque totalité est à Chazelles-sur-Albe (26 moustiques sur 4 opérations de prélèvement). Ce cas est particulier car le prélèvement se situe au niveau de blocs en berge, représentant seulement un mètre linéaire sur la totalité du périmètre du bassin, de 200 mètres. En excluant Chazelles-sur-Albe (que nous aurions pu classer en « chasse » vu le caractère anecdotique de cet habitat dans ce bassin), nous pouvons en conclure que nous avons environ 0,71 larves de moustiques par m² de cet habitat. Nous n'avons aucun moustique dans cet habitat en 2022.

M3 : La sub-surface de l'eau prélevée en général au bocal avec manche n'apporte qu'une seule larve de moustique sur 42 opérations de prélèvement et les 252 prélèvements élémentaires (6 opérations élémentaires par opération de prélèvement, 6 plans d'eau et 7 campagnes). La densité est donc de 0,48 larves de moustiques par m². Aucun moustique n'a été trouvé dans cet habitat en 2022.

En conclusion, dans les bassins routiers, les moustiques sont essentiellement trouvés dans les hélophytes (Chazelles-sur-Albe est un cas particulier). L'abondance reste faible dans les 3 habitats, comparée à la réserve d'eau pluviale étudiée en 2022.

B) Situation dans les ouvrages de sortie :

M4 : surfaces uniformes dures dans les ouvrages de sortie : elles comportent un nombre de larves variant de 0 (campagnes d'avril et mai) à un nombre faible de 1 à 7 individus (3 dernières campagnes du 30 août au 31 octobre) et jusqu'à une abondance plus marquée pour les deux campagnes de 28 juin et 8 août, de respectivement 83 et 155 individus. Les deux pics sont dus uniquement à des larvules dans l'ouvrage urbain de Montigny-lès-Metz. Les ouvrages de sortie ont, en général, une surface au miroir faible, de l'ordre de 1,7 à 1,8 m². Pour les 6 bassins et les 7 campagnes de prélèvements (42 opérations de prélèvements) nous avons 418 moustiques. L'abondance moyenne est faible, notamment par rapport à la réserve d'eau d'une habitation citée ci-dessus.

6.4 Comparaison entre la production en adultes de moustiques d'un bassin routier et d'un réservoir d'eau d'une maison individuelle.

Une estimation de cette production d'adultes de moustiques est réalisée en annexe E. Elle est approximative en raison de nombreuses incertitudes concernant l'efficacité précise de l'échantillonnage et le faible jeu de données.

Nous constatons qu'une seule réserve d'eau d'une maison individuelle (celle étudiée en 2022), de surface au miroir de 0,32 m², produit, pendant le pic d'abondance estival, un nombre d'adultes de moustiques comparable à celui d'un bassin de 1 600 m², dont 25 % sont couverts par des hélophytes.

Le nombre de maisons individuelles avec une réserve d'eau pluviale étant considérablement plus important que celui des bassins routiers, la proportion des moustiques issus des bassins routiers devient donc négligeable.

Figure 6-4 - Exemple de prolifération de moustiques dans la réserve d'eau de Pagny-sur-Moselle servant de référence, à l'été 2022 :

Photographies Pierre MAZUER / Cerema



Légende : à droite : échantillon pris dans cette réserve d'eau, contenant probablement plus d'un millier de moustiques

Les ouvrages de sortie n'ont pas été intégrés à ce calcul, car ce type d'ouvrage n'est pas spécifique aux bassins routiers. Des ouvrages équivalents (zones imperméables pouvant accumuler de l'eau au moins une semaine) peuvent se trouver dans toutes les zones aménagées par l'Homme, et notamment dans les villes, par exemple au niveau des avaloirs, des trottoirs, dans les vides sanitaires sous les habitations, dans les points bas de surfaces imperméabilisées (friches urbaines, parc de stationnement ...).

Les chasses n'ont pas été intégrées non plus, car les valeurs sont pour des cas particuliers, propres à chaque bassin.

Ces chiffres de larvules ou de larves ne traduisent pas encore la nuisance subie par la population humaine, en raison de la prédation qu'elles subissent.

Une première prédation sur les moustiques dans le milieu aquatique est réalisée par les macro-invertébrés aquatiques (voir rapport Cerema, AERM, 2024). A cette prédation s'ajoute celle sur les adultes de moustiques, exercée par les libellules adultes, les araignées, via leur toile, les oiseaux, les chauves-souris ... Cette prédation va donc dépendre de l'environnement proche du bassin routier ou de la réserve d'eau pluviale.

Une bonne manière de diminuer la nuisance par les moustiques est donc, en plus de laisser des herbiers en quantité suffisante dans l'eau, d'avoir un environnement terrestre hospitalier pour les prédateurs des moustiques adultes : haie au niveau des clôtures autour des bassins routiers, bosquet à proximité, prairies ... permettant à ces prédateurs de vivre et d'avoir des gîtes.

6.5 Analyse par espèce

Anopheles maculipennis est essentiellement présente dans le bassin le plus éloigné des grandes agglomérations (Chazelles-sur-Albe). Elle est présente toute l'année. L'abondance est faible, avec une augmentation le 30 août.

Culex pipiens est essentiellement présente dans le bassin urbain de Montigny-lès-Metz (ouvrage de sortie et chasses). Elle est identifiable à l'espèce entre fin juin et début août.

Culex hortensis est limitée au bassin urbain de Montigny-lès-Metz (ouvrage de sortie et chasses). Elle est identifiable à l'espèce à partir de mai jusqu'à octobre.

Culiseta annulata est limitée au bassin de Bénaménil-Ouest et à la chasse sous les saules en berge, située dans une zone ombragée, avec une faible lame d'eau et un fond de litières. Ce taxon est trouvé uniquement dans ce site, sur les deux années de suivi.

Les autres espèces sont toutes dans le bassin de Bénaménil-Ouest et sont anecdotiques, en abondance : *Aedes intrudens*, *Culex territans*, *Culex theileri*, *Culiseta litorea* et *Cs. longiareolata*.

Il est rappelé que nous n'avons pas eu d'espèces exotiques, comme le moustique tigre, *Aedes albopictus*.

6.6 Analyse par bassin

Moncel-lès-Lunéville sur la N59 : peu de moustiques sont présents sur l'année, excepté une forte abondance de larvules à l'intérieur de la buse de sortie de l'ouvrage d'entrée.

Bénaménil-Ouest sur la N4 : peu de moustiques présents sur l'année, excepté dans la chasse, correspondant à un habitat particulier (zone ombragée avec faible lame d'eau). L'ouvrage de sortie peut contenir des larves, plus abondantes que dans le bassin lui-même.

Chazelles-sur-Albe sur la N4 : c'est le bassin présentant les plus fortes abondances (mais modérées), par la présence d'*Anopheles maculipennis*.

Montigny-lès-Metz sur l'A31 : les 3 habitats du bassin ne comportent presque pas de moustiques. Les moustiques sont présents dans l'ouvrage de sortie, avec une forte abondance de larvules en juin et début août. Ce bassin présente de plus la particularité d'avoir deux ouvrages particuliers au centre des bassins, qui protègent chacun un clapet

de décharge de la nappe phréatique (figure 6-3). L'espace entre ces murets, toujours en eau mais séparés physiquement du reste du bassin, est particulièrement favorable aux larves. Des *Culex* sont trouvés toute l'année, des larvules, des larves (*Culex hortensis* et *pipiens*) mais aussi des nymphes. Enfin, des chasses fructueuses, réalisées dans les angles proches de l'ouvrage d'entrée (litières et morceaux de plastiques flottants) montrent la présence de *Culex hortensis* et *C. pipiens*.

Metz-MagnyQ2 et Q100 sur la RN431 : ces deux bassins n'ont presque aucun moustique sur l'année.

6.7 Comparaison avec 2022 sur les trois bassins communs

Trois bassins sur les 6 ont aussi été suivis en 2022, lors de 4 campagnes : 20 et 21 avril, 10 mai, 4 au 7 juillet et 26 septembre (cette dernière campagne uniquement sur les deux bassins de Metz-Magny).

Bénaménil-Ouest : dans le bassin, les situations de 2022 et 2023 sont proches, avec une faible abondance. Dans l'ouvrage de sortie, l'abondance (19 individus) est faible en 2023, alors qu'elle était nulle en 2022. La chasse sous ombrage en 2023 apporte 27 individus, dont des *Culiseta*.

Metz-MagnyQ2 : dans le bassin, les abondances sont extrêmement faibles les deux années. Dans l'ouvrage de sortie, il n'y a aucun moustique les deux années.

Metz-MagnyQ100 : dans le bassin, les conclusions sont identiques que pour Metz-MagnyQ2. La seule différence est que le pic d'abondance dans l'ouvrage de sortie en juillet 2022 ne se reproduit pas en 2023.

La comparaison entre les deux années 1) permet de voir que la situation est proche pour les bassins *sensus-stricto* et 2) confirme le caractère « aléatoire » des pics d'abondance dans les ouvrages de sortie.

6.8 Facteurs de présence de moustiques

Comme dans le rapport 2022, nous listons et analysons ci-dessous les différents facteurs de présence de moustiques.

Notre objectif est de comprendre ce qui pourrait expliquer les faibles abondances de larves de moustiques dans nos bassins routiers, notamment par rapport à celles trouvées dans d'autres milieux aquatiques, comme les réservoirs d'eau sans habitats aquatiques.

La méthode d'échantillonnage :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances en moustiques dans les bassins.

Le matériel de prélèvement et la technique du 'coup-de-louche' sont utilisés depuis plus de 50 ans dans de nombreux pays (Becker, 2020). D'autres appareils de prélèvements ont aussi été testés par le Cerema Est, notamment en 2022.

Les substrats choisis sont les plus hospitaliers pour les larves de moustiques.

Le nombre d'échantillons élémentaires est suffisant : 6 par habitats M1 à M3 (soit 18 par bassin), sans compter ceux dans l'ouvrage de sortie et les chasses.

La période et la fréquence d'échantillonnage sont suffisantes : 7 campagnes, d'avril à octobre.

Les conditions climatiques générales de l'année 2023 :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances, pour les 3 critères ci-dessous :

1) températures de l'air (moyennes mensuelles) les deux mois précédant le prélèvement :

Les communautés de moustiques du 28 juin et 26 septembre pourraient éventuellement être impactées par une chaleur supérieure à 2°C au dessus de la moyenne interannuelle. Or, dans les bassins, les abondances augmentent modestement en fin juin à fin août. Les pics relatifs d'abondance dans les ouvrages de sortie sont répartis sur fin juin et début août, mais ne sont pas plus marqués fin juin.

2) conditions pluviométriques (moyennes mensuelles) avant et pendant le prélèvement :

Les cumuls mensuels de pluies ne semblent pas avoir un impact sur les abondances. Par exemple, le 28 juin suit une pluviosité nettement sous la moyenne interannuelle et 8 août nettement au dessus, or ces deux campagnes obtiennent des abondances comparables. Dans tous les cas, il y a une abondance plus forte l'été.

3) la vitesse du courant dans l'ouvrage de sortie lors d'un évènement pluvieux :

Analyse des pluies à la station de St-Maurice-aux-Forges (référence pour les 3 bassins à l'est de Moncel-les-Luneville) :

Seule une pluie importante a eu lieu les 29 et 30 octobre, respectivement de 39 et 15 mm, la veille du prélèvement du 31 octobre. Il y a des moustiques uniquement dans l'ouvrage de sortie de Bénaménil-Ouest. Dans ce bassin, l'abondance est comparable le 31 octobre avec celles des mois secs (28 juin, 8 août). L'impact éventuel d'une forte vitesse du courant n'est donc pas décelable.

Analyse des pluies à la station de Metz-Frescaty (référence pour les 3 bassins proches de Metz) :

La pluie du 31 juillet au 3 août, de 56 mm cumulée sur les 4 jours, est survenue 5 jours avant les prélèvements du 8 août. C'est pourtant le 8 août que nous avons une forte abondance dans l'ouvrage de sortie de Montigny-lès-Metz. L'impact éventuel d'une forte vitesse du courant n'est donc pas décelable.

Une analyse plus détaillée de l'impact de la vitesse du courant figure en annexe F.

L'occupation des sols autour des bassins :

1) la présence de milieux aquatiques autour des bassins routiers : Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances. Il n'est pas facile d'avoir une vision exhaustive de la présence de milieux aquatiques avec les couches SIG disponibles. Les informations se recoupent plus ou moins (voir annexe C). Nous pouvons tout de même conclure que nos 6 bassins routiers sont entourés de fortes densités de milieux aquatiques, autant en petits milieux (couche des mares fournies par le CEN), que d'étangs et de gravières (couche SIG BDTopage de l'IGN). Les bassins de Metz-Magny sont moins

entourés de milieux aquatiques. Leur richesse en moustiques est faible mais guère plus que celle de Moncel, par exemple.

2) la présence de zones de cultures intensives et d'utilisation d'insecticides :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances. Comme en 2022, seuls les deux bassins de Metz-Magny sont entourés de cultures. Or les abondances sont proches de celles du bassin de Moncel, en secteur plus naturel.

3) la proximité d'une grande agglomération :

Ce facteur semble dépendre de l'espèce de moustique. Il reste délicat à interpréter avec notre faible nombre de données.

Le nombre d'*Anopheles maculipennis* augmente légèrement en s'éloignant de Lunéville, pour les 3 bassins étudiés. Il est possible que cette abondance dépende de la proximité de bétail au alentour : présence de prairies jouxtant le bassin, occupées par des chevaux à Bénaménil-Ouest et par des bovins à Chazelles.

Le nombre de *Culex sp* (larvules) semble être favorisé par la proximité d'une grande ville, mais uniquement dans des ouvrages de sortie (ou d'entrée) : un pic d'abondance est visible dans la chasse (ouvrage d'entrée) du bassin le plus proche de Lunéville (Moncel) et dans l'ouvrage de sortie de Montigny-lès-Metz. Par contre, il est surprenant que les deux bassins de Metz-Magny, proches de Metz, contiennent aussi peu de moustiques. Une forte abondance dans l'ouvrage de sortie du bassin de Metz-MagnyQ100 avait pourtant été observée juillet 2022.

Les caractéristiques morphologiques des bassins routiers :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances.

1) La profondeur : tous les bassins sont en eau en permanence, sur environ 40 cm de profondeur minimum.

Un seul bassin est nettement plus profond que les autres, celui de Chazelles. L'abondance en moustiques est un peu plus importante dans ce bassin mais nous ne pensons pas que la profondeur soit en cause, d'autant que la profondeur est souvent aussi associée à une meilleure densité en poissons, donc une meilleure prédation.

2) La superficie du bassin (volume mort) : elle varie de 220 à 1600 m² au miroir (tableau 2). Il n'y a pas de relation avec l'abondance en larves de moustiques (tableau 4).

Le recouvrement par les hélophytes :

Ce point est traité dans le chapitre 6.3 . Les larves de moustiques sont essentiellement trouvées dans les hélophytes mais l'abondance reste faible, comparée à la réserve d'eau pluviale étudiée en 2022 ou à une mare forestière de 50 m² (voir annexe H).

La pollution des eaux de ruissellement routières :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances. Le niveau de pollution dans un bassin est lié au trafic routier, d'après le guide du SETRA, 2007. Une hypothèse pourrait donc être que l'abondance en larves de moustiques est limitée par la pollution routière, notamment en raison du voile d'hydrocarbures à la surface de l'eau qui pourrait être amené par le ruissellement des eaux pluviales sur la chaussée. Les bassins subissant théoriquement, d'après le trafic routier, la plus forte pollution sont ceux de Montigny et de

Metz-MagnyQ2 (tableau 2). Inversement, ceux qui pourraient potentiellement être les moins impactés sont ceux de Bénaménil-Ouest et Chazelles (ayant à la fois le plus faible trafic et un réseau de collecte avec fond enherbé, retenant une partie de la pollution en amont du bassin routier).

Nous comparons ci-dessous l'abondance totale en larves de chaque bassin, mais aussi les abondances des espèces présentes, en fonction de leur polluosensibilité.

Sur nos 9 espèces, 5 disposent, d'après Internet Freshwaterecology.info, d'informations sur l'affinité à la pollution (tableau 8, 6 colonnes de droite).

Des valeurs d'affinités à la pollution sont attribuées à chaque espèce selon deux critères :

1) l'affinité à la pollution organique (système des saprobies, voir la formule de calcul dans le glossaire), selon le gradient présenté dans le tableau 7 ;

Tableau 7 - Saprobies, niveaux et valeurs retenues pour le traitement des données :

Niveau de saprobie	Degré de pollution	Valeur de X ou de IS (pour la méthode allemande)	Niveau intermédiaire Valeur X retenue pour cette étude
Xénosaprobe	nulle	0	Sans objet
Oligosaprobe	faible	1	Sans objet
<i>Intermédiaire 'oligo-béta'</i>	<i>Faible à modérée</i>	-	1,3 à 1,7
Béta-mésosaprobe	modérée	2	1,8 à 2,2
<i>Intermédiaire 'béta-alpha'</i>	<i>Modérée à forte</i>	-	2,3 à 2,7
Alpha-mésosaprobe	forte	3	2,8 à 3,2
Polysaprobe	Très forte	4	Sans objet

Légende : X : valence saprobique de l'espèce *i* (polluosensibilité) ; IS : indice saprobique pour une communauté de macro-invertébrés.

2) la sensibilité à la pollution toxique (indice SPEAR). Chaque espèce se voit attribuer l'indice SPEAR 1 si elle est sensible à cette pollution, sinon l'indice 0. La valeur attribuée à chaque espèce est donc peu précise et binaire (sensible / non sensible).

Notons dès maintenant que les 5 espèces de moustiques ayant un indice SPEAR (tableau 8) sont résistantes à la toxicité (indice SPEAR = 0). Il n'est donc pas possible de comparer les bassins sur la base de l'indice SPEAR.

Ces deux méthodes sont longuement présentées dans le rapport Cerema, AERM, 2024.

Les deux situations suivantes sont analysées :

1) Pollution dans les bassins routiers, soumis à la pollution directe, par exemple les hydrocarbures et les métaux, apportée par les eaux pluviales.

Note : voir le tableau 8. Les abondances dans les chasses, entre parenthèses, n'apportent qu'une information qualitative vu le protocole d'échantillonnage particulier.

Le bassin de Chazelles contient le plus de larves de moustiques et c'est aussi le moins pollué, théoriquement, d'après l'importance du trafic (10 000 véh/j). L'espèce présente,

Anopheles maculipennis, est sensible à la pollution organique (indice de 1,3 : pollution faible à modérée).

Cependant, le bassin de Bénaménil-Ouest, avec le même trafic routier, a une abondance en larves beaucoup plus faible. De même, le bassin de MetzQ100, censé recevoir de l'eau épurée par le bassin de MetzQ2, ne comporte aucun moustique. Si la pollution était le facteur limitant, il devrait aussi y avoir plus de moustiques dans ces deux bassins.

Enfin, le bassin de Montigny a une abondance relativement plus forte de larves, de l'espèce *Culex pipiens*. Cette espèce, supportant une forte pollution (indice de 3,3 : pollution très forte), se trouve dans le bassin censé être le plus pollué (75 000 véh/jour). Elle est accompagnée par une espèce moins polluo-résistante *Culex hortensis* (indice de 1,8 : pollution modérée).

Sur nos bassins, l'augmentation du niveau de pollution des eaux pluviales (importance du trafic) n'a pas d'influence sur la réduction des abondances de moustiques. L'hypothèse d'un voile d'hydrocarbures, limitant l'abondance des moustiques, n'est pas visible. Par contre, nous avons un phénomène plus classique de sensibilité à la pollution organique, car l'espèce la plus polluosensible (*A. maculipennis*), est dans l'un des bassins avec le moins fort trafic routier, et l'espèce la moins polluosensible (*Culex pipiens*) est présente dans le bassin avec le plus fort trafic.

2) Pollution dans l'ouvrage de sortie, à l'aval du voile siphonoïde retenant les hydrocarbures flottants.

Note : voir le tableau 8. Il y a peu de larves déterminées à l'espèce. Nous avons donc ajouté à ce tableau les larvules déterminées au genre, qui n'ont pas de valeurs de polluosensibilité.

Au niveau spécifique, il est difficile de trouver une relation entre l'importance du trafic et le nombre de larves de moustiques. En effet, les deux bassins ayant le plus de larves sont à la fois l'un de ceux avec le plus faible trafic (Bénaménil-Ouest) et celui avec le plus fort trafic (Montigny).

Au niveau du genre (larvules), l'ouvrage de sortie avec les plus fortes abondances de moustiques est celui de Montigny, l'un des plus pollués potentiellement. Même si les hydrocarbures sont censés être bloqués par le voile siphonoïde, les autres polluants ne semblent pas avoir un impact sur la forte présence de larvules dans le bassin de Montigny.

En conclusion, la faible abondance des larves de moustiques dans les bassins routiers n'est pas expliquée pour nos bassins par le niveau théorique de pollution (trafic routier) et notamment par un voile d'hydrocarbures à la surface de l'eau.

Par contre, les espèces présentent semblent affectées par le niveau de pollution organique. *Culex pipiens* (le « moustique urbain »), peu polluosensible, est favorisé par le niveau de pollution organique. De même, l'espèce polluosensible *Anopheles maculipennis* est favorisée par une plus faible pollution théorique, dans les bassins à faible trafic routier.

Tableau 8 - Liste des espèces, abondances brutes (cumuls bassins et chasses dans les bassins, pour les 7 campagnes) et indices biologiques :

Taxon	Moncel	Bénaménil -ouest	Chazelles	Montigny (hors regard de nappe)	Metz Magny -Q2	Metz Magny- Q100	Saprobie « 3 » Autriche valeur	sp de valence intermédiaire (X=1,3 à 1,7)	sp Béta- mésosaprobe (1,8 à 2,2)	sp de valence intermédiaire (=2,3 à 2,7)	sp Alpha- mésosaprobe (2,8 à 3,2)	SPEAR valeur
Trafic véh/j (et % de poids lourds)	17 000 (13 %)	10 000 (31 %)	10 000 (31%)	75 000 (12 %)	27 000 (14 %)							
Fond du réseau de collecte des eaux pluviales	Bétonné	Enherbé	Enherbé	Bétonné	Bétonné							
Pluie de dimensionnement du bassin	Q10	Q10	Q10	Q2 : traitement pollution Q10 : rétention hydraulique	Q2	Q100						
<i>Aedes intrudens</i>		(3)										
<i>Anopheles maculipennis</i>	1 (+1)	2	24 (+20)		1		1,3	1				0
<i>Culex hortensis</i>				13 ((+15))			1,8		1			0
<i>Culex pipiens</i>	(2)	(2)		16 ((+5))			3,3				1	0
<i>Culex territans</i>		(1)					1,5	1				0
<i>Culex theileri</i>		(1)										
<i>Culiseta annulata</i>		(8)					2,7			1		0
<i>Culiseta litorae</i>												
<i>Culiseta longiareolata</i>		(1)										
Totaux :	1 (+3)	2 (+16)	24 (+20)	29 ((+20))	1	0	_	2	1	1	1	

Légende : valeurs entre parenthèses : chasses dans les bassins. Valeurs entre double parenthèses : chasse particulière dans le regard de nappe. Indices biologiques : données disponibles sur le site Internet <https://www.freshwaterecology.info/>. Pour la pollution organique : paramètre « saprobie (3) », pour la pollution toxique : « paramètre SPEAR pesticides (5) ».

Tableau 9 - Liste des espèces et genres, des abondances brutes (ouvrages de sortie, pour les 7 campagnes) et des indices biologiques :

Taxon	Moncel	Bénaménil -ouest	Chazelles	Montigny (hors regard de nappe)	Metz Magny -Q2	Metz Magny- Q100	Saprobie « 3 » Autriche valeur	sp de valence intermédiaire (X=1,3 à 1,7)	sp Béta- mésosaprobe (1,8 à 2,2)	sp de valence intermédiaire (=2,3 à 2,7)	sp Alpha- mésosaprobe (2,8 à 3,2)	SPEAR valeur
Trafic véh/j (et % de poids lourds)	17 000 (13 %)	10 000 (31 %)	10 000 (31%)	75 000 (12 %)	27 000 (14 %)							
Fond du réseau de collecte des eaux pluviales	Bétonné	Enherbé	Enherbé	Bétonné	Bétonné							
Pluie de dimensionnement du bassin	Q10 (3)	Q10	Q10 (3)	Q2 : traitement pollution Q10 : rétention hydraulique	Q2	Q100						
<i>Aedes intrudens</i>												
<i>Anopheles maculipennis</i>							1,3	1				0
<i>Culex hortensis</i>				3			1,8		1			0
<i>Culex pipiens</i>		1		1			3,3				1	0
<i>Culex territans</i>							1,5	1				0
<i>Culex theileri</i>												
Culex sp	(8)			(120)								
<i>Culiseta annulata</i>		2					2,7			1		0
<i>Culiseta litorae</i>		2										
<i>Culiseta longiareolata</i>												
Culiseta sp		(3)										
Totaux :	0 (+8)	5 (+3)	0	4 (+120)	0	0	_	2	1	1	1	

Légende : voir tableau 8. Les larvules sont indiquées entre parenthèses au niveau du genre, soit *Culex* sp et *Culiseta* sp.

La prédation par les autres macro-invertébrés :

Ce facteur est celui qui semble le plus probable, bien que ces modalités restent à définir, notamment dans les bassins récents, sans végétation. Les rapports précédents (Cerema, 2024 et Cerema, AERM, 2024) montrent la faible densité des larves de moustiques dans 4 bassins routiers, par rapport à l'ensemble des macro-invertébrés et des prédateurs potentiels. L'importance des hélophytes dans la forte abondance des prédateurs a aussi été mise en évidence. L'étude de l'ensemble des macro-invertébrés n'a pas été faite pour les 3 nouveaux bassins de Moncel, Chazelles et Montigny. Dans tous les cas, l'abondance en moustiques est faible et seule celle du bassin de Chazelles est un peu plus forte. En prenant en compte la chasse, Montigny et Bénaménil-Ouest ont une abondance un peu plus marquée.

Le fait que le bassin de Montigny, récent, sans hélophytes, ait aussi peu de moustiques nous amène à nous interroger sur les modalités de cette prédation. Elle serait à étudier dans le cas de bassins sans hélophytes (bassins mis en service récemment ou ayant subi un curage total, y compris des hélophytes). Est-ce que les prédateurs de type hétéroptères s'installent suffisamment rapidement pour limiter la prolifération de moustiques ? Est-ce aussi le cas des copépodes, crustacés planctoniques consommateurs de moustiques ? Si c'est le cas, les hélophytes n'auraient pas un rôle pour limiter la prolifération de moustiques mais seulement un intérêt pour la biodiversité aquatique, ce dernier rôle est clairement démontré dans l'étude Cerema, AERM, 2024.

Note : d'autres explications sont possibles pour un bassin neuf comme celui de Montigny mais seraient à étudier : le rôle des nutriments (les concentrations sont-elles limitantes dans un bassin neuf ?), l'importance de la houle (notamment en l'absence d'hélophytes) ...

Enfin, il serait intéressant, pour comprendre les phénomènes d'augmentation d'abondance de larvules de moustiques dans les ouvrages de sortie, d'étudier à l'avenir l'ensemble des macro-invertébrés dans les ouvrages de sortie, pour évaluer l'importance de la prédation.

La prédation par les tritons et les salamandres :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances. Nous considérons que la présence de ces taxons est nulle ou négligeable sur nos 6 bassins.

Note : comme expliqué dans le rapport du suivi 2022, les grenouilles sont des prédateurs négligeables pour les adultes de moustiques.

La prédation par les poissons :

Ce facteur n'est pas retenu pour expliquer les faibles abondances. Seul le bassin de Chazelle peut avoir un peuplement de poissons important. Or c'est celui qui présente la plus forte abondance (relative) en moustiques.

6.9 Synthèse technique des résultats

Les éléments importants dans nos résultats de 2023 sont :

1) dans les bassins (hors ouvrages de sortie et chasses) :

Nous constatons une faible présence de larves dans les bassins routiers, hors ouvrage de sortie et chasse. Il n'y a pas d'écart significatif d'abondance des espèces de moustiques dans les différents types de bassin. Les caractéristiques relevées dans le tableau 2 - l'occupation des sols autour des bassins, leur morphologie, la présence d'herbiers

d'hélophytes et d'hydrophytes, la circulation routière ... et notamment la présence d'une grosse agglomération (Metz, Lunéville) - n'ont pas d'impact manifeste, pour les 6 bassins étudiés.

Il y a une légère augmentation d'*Anopheles maculipennis* dans le bassin le plus éloigné des centres urbains (Chazelles-sur-Albe). Ce point serait à confirmer par d'autres études. Cette espèce s'attaque préférentiellement au bétail, et secondairement aux humains.

Il n'y a pas de prolifération d'espèces urbaines, comme *Culex pipiens*, dans les bassins de Montigny-lès-Metz, Metz-MagnyQ2 et Q100, voir Moncel-lès-Lunéville, déjà à 1,5 km des lisières de Lunéville (voir cependant le point suivant sur les ouvrages de sortie).

La prédation par les autres macro-invertébrés, nettement mise en évidence dans le suivi 2022, reste l'explication essentielle. La prédation par les poissons ne peut pas être évoquée dans le cas du nouveau bassin de Montigny-lès-Metz. Néanmoins, les raisons exactes des faibles abondances de moustiques sont à préciser dans une étude ultérieure. Il est probable que se mettent en place des prédateurs, arrivant rapidement dans les bassins, de type micro-crustacés copépodes ou hétéroptères, mais cela reste à démontrer.

2) dans les ouvrages de sortie :

Les abondances sont faibles dans la grande majorité des cas. Nous avons deux pics (relatifs) de larvules à Montigny-lès-Metz, les 28 juin et 8 août. L'explication la plus probable nous semble la proximité d'une grande ville.

La forte fluctuation d'abondance dans ce type d'ouvrage reste à expliquer.

3) dans les prélèvements dans des contextes particuliers de la morphologie des bassins (prélèvements appelés 'chasses') :

Une abondance supérieure à celle des bassins est mise en évidence dans les cas suivants :

a- Moncel-lès-Lunéville : présence dans la buse de sortie de l'ouvrage d'entrée,

b- Montigny-lès-Metz : présence dans les cadres en béton, protégés de la prédation.

Les autres abondances plus fortes dans les chasses sont moins significatives, vu l'effort d'échantillonnage particulier des chasses. Nous pouvons remarquer néanmoins que les larves sont trouvées dans des conditions particulières : secteurs ombragés, faibles lames d'eau ...

6.10 Conclusion sur le protocole d'échantillonnage

Suite à cette campagne de suivi 2023, nous pouvons confirmer que le suivi de l'habitat « sub-surfaces éloignées des berges » n'apporte que peu de moustiques. Ce substrat est en général largement le principal en superficie, dans un bassin routier. Vu les résultats 2022 et 2023, nous recommandons de passer ce prélèvement en optionnel, sauf si l'objectif est d'avoir une idée de la production totale d'un bassin en moustique.

A l'inverse, les rares pics d'abondances sont observés à l'intérieur de l'ouvrage de sortie. Comme il est difficile de connaître les facteurs de pics d'abondance dans ces ouvrages, irréguliers, nous recommandons de prélever un échantillon dans l'ouvrage d'entrée, si celui-ci est accessible et en eau. Ces ouvrages d'entrée sont conçus pour être à sec, mais ce n'est pas toujours possible en raison de la pente du site ou de la topographie.

Un nouveau protocole, synthétisant celui du chapitre 2 et les propositions d'amélioration du présent chapitre figurent en annexe G. L'annexe H apporte des précisions sur l'efficacité des différents matériels.

7 Conclusion

Ce travail de 2023 permet de confirmer le résultat du suivi en 2022 sur des bassins routiers de Lorraine.

L'abondance de larves de moustiques est extrêmement faible dans tous les types de bassins routiers suivis en 2023.

Ce suivi confirme :

- l'étude réalisée en 2022 par le Cerema Est, qui avait déjà montré ces faibles abondances en larves de moustiques. Nous avons expliqué cette faible abondance par l'importance de la prédation par les macro-invertébrés dans les bassins.

- que l'année 2022, chaude et sèche, n'était pas une année particulière. L'année 2023 est chaude et humide, et les résultats sont comparables.

Les caractéristiques des 6 bassins routiers, c'est-à-dire l'occupation des sols autour des bassins, leur morphologie, la présence d'herbiers d'hélophytes et d'hydrophytes, la circulation routière ... et notamment la présence d'une grosse agglomération (Metz, Lunéville), n'ont pas d'impacts manifestes. La prédation par les autres macro-invertébrés, nettement mise en évidence dans le suivi 2022, reste l'explication essentielle à la faible abondance de moustiques.

Les abondances dans les bassins à proximité de grandes agglomérations et celles dans les bassins en milieu rural sont du même ordre de grandeur. Par contre, un ouvrage de sortie proche d'une grande agglomération peut être le lieu de plus fortes abondances ponctuelles l'été. Le caractère aléatoire de ces pics (relatifs) d'abondance reste à expliquer.

Notons que la pollution par les hydrocarbures et la salinité due au traitement hivernal ne semblent pas, sur notre jeu de données, des facteurs ayant un impact sur l'abondance des larves.

En prenant l'exemple de l'habitat 'hydrophytes', nous trouvons en moyenne, pour nos 6 bassins routiers et les 7 campagnes de prélèvements, une densité de 17 moustiques par m², tous stades aquatiques confondus (larvules, larves et nymphes). Cette densité est extrêmement faible par rapport à celles des prédateurs aquatiques du groupe des macro-invertébrés (larves de libellules, coléoptères, etc, présentés dans le suivi 2022) pouvant s'attaquer aux moustiques. La prédation par les poissons ne peut pas être évoquée dans le cas du nouveau bassin de Montigny-lès-Metz et est peu probable dans la majorité des autres bassins.

Cette densité de moustiques au stade aquatique ne traduit pas l'intensité de la nuisance subie par la population humaine.

À la prédation dans le milieu aquatique, s'ajoute celle qui porte sur les adultes de moustiques, exercée par les libellules adultes, les araignées, via leur toile, les oiseaux, les chauves-souris, ... L'importance de cette prédation sur les adultes va donc dépendre de l'environnement proche du bassin routier.

Une bonne manière de diminuer la nuisance par les moustiques est donc, 1) d'entretenir les bassins en laissant des herbiers en quantité suffisante dans l'eau, pour permettre le

développement de communautés de macro-invertébrés aquatiques diversifiées, 2) d'avoir un environnement terrestre hospitalier pour les prédateurs des moustiques adultes (haie au niveau des clôtures autour des bassins routiers, bosquet à proximité, etc) permettant à ces prédateurs de vivre et d'avoir des gîtes.

Une autre réflexion possible est d'aménager différemment les ouvrages de sortie, comme par exemple aménager, à l'intérieur du regard, l'espace à l'aval du muret de surverse, afin que celui-ci reste à sec. Ce n'est pas le cas de nos 6 bassins.

Un autre résultat de notre étude nous semble important, bien que calculé sur un faible nombre de sites : lors des plus fortes abondances estivales de moustiques, une seule réserve d'eau pluviale, de surface au miroir de 0,32 m² d'une maison individuelle produit globalement le même nombre de moustiques adultes qu'un bassin routier avec volume mort de 1 600 m² avec 25 % d'hélophytes.

Le nombre de maisons avec une réserve d'eau étant considérablement plus important que celui des bassins routiers, la proportion des moustiques provenant des bassins routiers devient donc négligeable. L'apport des bassins routiers, à la fois comme facteur d'expansion des moustiques sur le territoire, ou comme site de prolifération, apparaît négligeable vis-à-vis de tous les points d'eau volontaires ou non, ne comportant, ni habitats aquatiques diversifiés, ni prédateurs pour les moustiques. Nous pouvons penser aux déchets ou récipients divers abandonnés partout sur le territoire, ou alors à toutes les zones aménagées par l'Homme, comme les avaloirs, les vides sanitaires sous les habitations, les points bas de surfaces imperméabilisées (friches urbaines, fossés bétonnés...).

Ce travail, réalisé en Lorraine, ouvre des perspectives de recherches :

- 1) évaluation des abondances de moustiques dans les bassins routiers sur une autre région française ; par exemple le secteur de Lyon, la côte méditerranéenne ou la côte atlantique-sud ;
- 2) évaluation des abondances de moustiques dans des secteurs géographiques particuliers de la région Grand-Est présentant de fortes abondances en moustiques ;
- 3) évaluation de la prédation, par des relevés d'abondance en moustiques et de l'ensemble des macro-invertébrés dont les prédateurs, dans un bassin routier neuf, ne possédant pas encore des herbiers de végétaux ;
- 4) compréhension des mécanismes d'augmentation d'abondance dans les ouvrages de sortie, en étudiant toute la communauté de macro-invertébrés et la prédation.

Glossaire

Bassin : désigne dans ce rapport les bassins pluviaux routiers (appelé aussi bassin d'orage). Ils peuvent être simples (bassins de traitement et de rétention, conçus pour une pluie Q10 par exemple) ou en série (succession de bassins, avec un premier bassin de traitement dimensionné à Q2 suivi d'un bassin de rétention à Q100).

CEI : Centre d'entretien et d'intervention de la DIR.

CEN : Conservatoire des espaces naturels. Associations de protection de la nature, participant à la gestion et à la protection de la biodiversité et des espaces naturels de France.

Cerema : Centre d'Études et d'Expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. Établissement public à caractère administratif (EPA) créé le 1er janvier 2014.

Chasse : technique de recherche et de prélèvement de moustiques dans des zones particulières, non représentatives morphologiquement du bassin, en général de faibles superficies, mais potentiellement favorable aux larves.

DIR : Direction interdépartementale des routes.

Hélophyte : plante (du grec helos, « marais », et phytos, « plante »), se développant dans les substrats gorgés d'eau (vase, limon, tourbe, berge de lac ou de rivière). La base de la tige est souvent immergée mais la tige et les feuilles sont au-dessus de l'eau.

Q2, Q10 et Q100 : fréquences de pluies, de retour statistique, respectivement 2, 10 et 100 ans, utilisées pour le dimensionnement des bassins routiers avec volume mort.

Miroir (surface au miroir) : surface occupée par l'eau.

Saprobie : affinité des taxons à la pollution organique, dans une gamme variant de la xénosaprobie (milieu sans pollution organique) à la polysaprobie (milieu avec forte pollution organique).

L'indice saprobique IS correspond à la moyenne pour toutes les espèces i de $IS(i)$:

$$IS(i) = \text{somme} (X \times G \times H) / \text{somme} (H \times G)$$

avec

X : valence saprobique de l'espèce i (polluosensibilité) ;

G : poids de sa valeur indicatrice ;

H : abondance de l'espèce i .

Taxon : entité de classification des êtres vivants, à un rang quelconque (ordre, famille, genre, espèce, etc) et/ou unité (ou niveau) de détermination correspondante.

Volume mort d'un bassin pluvial routier : volume restant toujours en eau dans un bassin, permettent une bonne sédimentation des matières en suspension.

Liste des tableaux et des figures

Index des tableaux

Tableau 1 - Résumé des méthodes d'échantillonnage :.....	13
Tableau 2 - Principales caractéristiques des routes et des bassins routiers retenus pour l'étude :.....	18
Tableau 3 - Relevés météorologiques à la station de Metz-Frescaty :.....	24
Tableau 4 - Espèces ou genres et abondance de larves de moustiques déterminés lors des 7 campagnes de prélèvements par bassin routier :.....	31
Tableau 5 - Cumul des abondances des moustiques déterminés lors des 7 campagnes de prélèvements pour tous les bassins :.....	34
Tableau 6 - Moyenne des densités en moustiques par habitat dans les 6 bassins :.....	38
Tableau 7 - Saprobies, niveaux et valeurs retenues pour le traitement des données :.....	45
Tableau 8 - Liste des espèces, abondances brutes (cumuls bassins et chasses dans les bassins, pour les 7 campagnes) et indices biologiques :.....	47
Tableau 9 - Liste des espèces et genres, des abondances brutes (ouvrages de sortie, pour les 7 campagnes) et des indices biologiques :.....	48
Tableau 10 - Validation interne Cerema des annexes :.....	57
Tableau 11 - Code des bassins :.....	57
Tableau 12 - Présence de milieux aquatiques autour des bassins routiers :.....	58
Tableau 13 - Comparaison entre la production d'adultes de moustiques d'un bassin routier et d'un réservoir d'eau d'une maison individuelle :.....	63
Tableau 14 - Caractéristiques des 4 pics d'abondance dans les ouvrages d'entrée ou de sortie des bassins routiers :.....	65
Tableau 15 - Protocole de prélèvement - substrat et code :.....	68
Tableau 16 - Résumé des méthodes d'échantillonnage (habitats, matériels et surface échantillonnée) :.....	69
Tableau 17 - Abondance dans la mare, pour chaque méthode : :.....	73
Tableau 18 - Abondance par méthode dans le plan d'eau :.....	75

Index des figures

Figure 3-1 - Matériel de prélèvements de larves de moustiques :.....	14
Figure 4-1 - Localisation des 6 bassins routiers :.....	15
Figure 4-2 - Loche franche (<i>Barbatula barbatula</i>), jeune individu.....	17
Figure 4-3 - Bassin pluvial routier de Moncel-lès-Lunéville sur la N59.....	20
Figure 4-4 - Bassin pluvial routier de Bénaménil-Ouest sur la N4.....	21
Figure 4-5 - Bassin pluvial routier de Chazelles-sur-Albe sur la N4.....	21
Figure 4-6 - Bassin pluvial routier de Montigny-lès-Metz (direction Metz) sur l'A31 :.....	22
Figure 4-7 - Bassin pluvial routier de Metz-MagnyQ2 sur la N431.....	22
Figure 4-8 - Bassin pluvial routier de Metz-MagnyQ100 sur la N431.....	23
Figure 5-1 - Pluviométrie journalière sur la station de Saint-Maurice-aux-Forges (à 15 km de Bénaménil) lors de la période d'étude, de mi-février à fin octobre 2023 :.....	26
Figure 5-2 - Pluviométrie journalière sur la station de Metz-Frescaty lors de la période d'étude, de mi-février à fin octobre 2023 :.....	27
Figure 5-3 - Récupération de larves de moustiques dans le bassin routier de Montigny-lès-Metz.....	29
Figure 6-1 - Ouvrage de sortie exigüe de Metz-MagnyQ100, d'environ 1,7 m ²	36
Figure 6-2 - Buse de sortie de l'ouvrage d'entrée du bassin de Chazelles-sur-Albe.....	36
Figure 6-3 - Deux ouvrages de protection des clapets de nappes dans le bassin de Montigny-lès-Metz.....	37
Figure 6-4 - Exemple de prolifération de moustiques dans la réserve d'eau de Pagny-sur-Moselle servant de référence, à l'été 2022 :.....	40
Figure 1 - larve de <i>Culex hortensis</i> (à gauche) et détail de la queue :.....	59
Figure 2 - larve de <i>Culex hortensis</i> , détail de la queue :.....	59
Figure 1 - Matériel de prélèvements de larves de moustiques :.....	69
Figure 1 - Mare forestière à Boucq, contenant une forte densité de larves de moustiques :	74
Figure 2 - Plan d'eau à Boucq, à proximité de la mare précédente :.....	75

Bibliographie

AFNOR, NF T 90-333:2016 - Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.

Direction interrégionale des routes, Service systèmes et réseaux, 2020 – Observatoires des trafics 2019 – 15 p.

Becker *et al.*, 2020 – Mosquitoes, identification, ecology and control – Ed Stringer, 3ème Ed – 570p

Cerema, 2021 – Qualification et caractérisation des pollutions chroniques routières – réalisé par Céline Gibelin – Trappes – 90p

Cerema, 2023 - Suivi des larves de moustiques dans les bassins d'assainissement routier de la DIR, Proposition de protocole et suivi 2022 – réalisé par Émilie PRYGIEL– 33 p.

Cerema, 2023 - Les bassins routiers sont-ils des foyers à moustiques ? Synthèse des suivis 2022 – Nord et Est de la France - réalisé par Émilie PRYGIEL et Pierre MAZUER – 8p.

Cerema, Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2024 - Approche expérimentale sur les macro-invertébrés comme bio-indicateurs des bassins routiers, Biodiversité dans 4 bassins routiers et 3 mares de référence en Lorraine - réalisé par Pierre MAZUER et Julian PICHENOT – Metz.

Cerema, 2024 - Les moustiques dans quatre bassins routiers et trois mares de référence situés en Lorraine (2022) - réalisé par Pierre MAZUER - Metz - 59 p

Papierok (B) et col., 1975 – Estimation de l'effectif des populations larvaires d'*Aedes cataphylla* Dyar, 1916 (Diptera, Culicidae), 2- Méthode utilisant le « coup de louche » ou « dipping » – Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. Méd. Et Parasitol., vol. XIII, n°1, 1975 : 45 – 51.

SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes), 2007 – Pollution d'origine routière, conception des ouvrages de traitement des eaux - Guide technique - 83p

Annexe A - Fiches de terrain et listes faunistiques

Le modèle des tableaux de présentation des opérations de prélèvement est celui de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse. Les fiches de terrain, très volumineuses (168 tableaux de 1 à 3 pages A4), sont uniquement sous format de tableaux informatiques. Chaque opération de prélèvement est dans un fichier qui comporte 4 tableaux (onglets) : 1) onglet orange : description de la station ; 2) onglet vert : grille d'échantillonnage ; 3) onglet gris : description des prélèvements élémentaires, ; 4) onglet gris : liste taxonomique.

Tableau 10 - Validation interne Cerema des annexes :

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Pierre MAZUER (Cerema)	Janvier 2024	
Avec la participation de	Émilie BUSSON (prélèvements), Sylvain COLLON (collecte de données, cartes, prélèvements), (tous deux du Cerema)	–	
Contrôlé par	Luc CHRETIEN (Cerema)		
Validé par	Luc CHRETIEN (Cerema)		

Annexe B – Code des bassins

Chaque bassin possède un code unique de reconnaissance, attribué par la DIR. Ils figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 - Code des bassins :

Bassin routier	n°
Moncel-lès-Lunéville sur la N59 (avril)	NA540059 0040712-1
Moncel-lès-Lunéville sur la N59 (mai à octobre)	NA540059 0050573-1
Bénaménil-Ouest sur la N4	NA540004 0470799 2
Chazelles-sur-Albe sur la N4	NA540004_0580515-1
Montigny-lès-Metz sur l'A31	ME570031 3000572 1
Metz (Magny) Q2 sur la RN431	ME570431_0070785 1
Metz (Magny) Q100 sur la RN431	Idem ci-dessus

Annexe C – Présence de milieux aquatiques autour des bassins routiers

Tableau 12 - Présence de milieux aquatiques autour des bassins routiers :

Caractéristique	Moncel-lès-Lunéville	Bénaménil-Ouest	Chazelles-sur-Albe	Montigny-lès-Metz	Metz-MagnyQ2	Metz-MagnyQ100
Nombre de mares (1) + bassins routiers, rayon de 5 km	43 + 13 = 56	61 + 4 = 65	42 + 6 = 48	35 + 8 = 43	34 + 6 = 40	
Superficie milieux aquatiques (km ²) (cours d'eau, plans d'eau), rayon de 5 km (2)	2,64 (Meurthe, gravières)	0,13	0,38	3,89 (Moselle, gravières, canal)	0,17	
Longueur de cours d'eau (km), rayon de 5 km (3)	130	120	130	88	100	

Légende : (1) données du CEN : couche utile pour les petits milieux aquatiques. Insuffisant pour traduire la présence des eaux stagnantes d'où (2)., (2) Couche SIG BDTopage : superficie cumulées des plans d'eau et des cours d'eau de grandes superficies mais il manque la couche du CEN et les petits ruisseaux d'où (3) ; (3) Couche SIG BD Topage : linéaire de tous les cours d'eau.

Annexe D - Difficultés de détermination taxonomique

Culex hortensis : bien que cette espèce soit répertoriée dans le sud de la France, nous maintenons cette détermination en raison des critères observés suivants : a) sur le siphon, la 1^{ère} touffe de soies 1S dépasse, à son point d'insertion, deux fois la largeur du siphon ; b) le peigne à la base du siphon dépasse l'insertion de la 1^{ère} touffe de soies 1S, c) les soies à l'apex du siphon sont nettement en crochet.

Figure 1 - larve de *Culex hortensis* (à gauche) et détail de la queue :

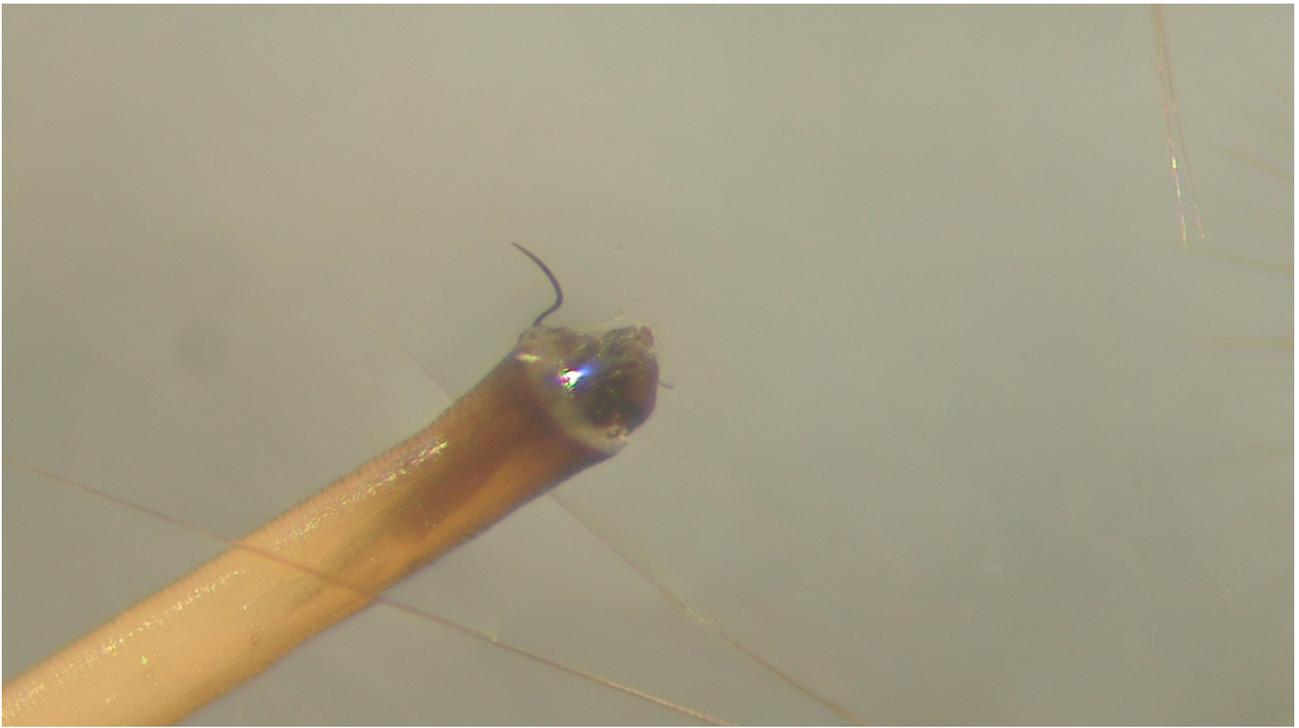
Bassin routier de Montigny-lès-Metz, août 2023 (photographies Pierre MAZUER / Cerema)



Figure 2 - larve de *Culex hortensis*, détail de la queue :

(au dessus : totalité du siphon, avec les grandes soies et le peigne partant de la base du siphon, au dessous : détail de l'apex du siphon, avec soies en crochet. Bassin routier de Montigny-lès-Metz, mai 2023 (photographie Pierre MAZUER / Cerema)





Annexe E - Comparaison entre la production en adultes de moustiques d'un bassin routier et d'un réservoir d'eau d'une maison individuelle.

Nous pouvons essayer d'estimer et comparer, grossièrement, combien d'adultes volants sont produits en moyenne dans un bassin routier et dans une réserve d'eau d'une maison individuelle.

Avertissement :

1) les chiffres utilisés sont issus d'un nombre faible de cas (6 bassins routiers et une seule réserve d'eau). Ils permettent une comparaison, mais les résultats sont bien à considérer comme une simple estimation.

2) il faut aussi prendre avec précaution les chiffres utilisés et ne pas en déduire que les moustiques sont favorisés par la présence d'hélophytes. Nous n'avons pas assez de connaissances pour conclure sur ce point et notamment sur l'intensité de la prédation sur les moustiques sans hélophytes. La prédation dans un bassin sans hydrophytes pourrait être étudiée dans le suivi 2024, en faisant la détermination taxonomique de toute la communautés de macro-invertébrés.

Il est aussi important de comprendre que les hélophytes sont le substrat le plus hospitalier pour la faune, comme l'a clairement démontré le rapport Cerema, AERM, 2024. Ce substrat a donc un rôle important pour la biodiversité, et notamment la présence de prédateurs. Enlever tous les hélophytes d'un bassin routier, en pensant lutter contre les moustiques, pourrait être contre-productif. Il est en effet probable qu'il y ait un déplacement des prédateurs, présents dans les hélophytes, vers les autres substrats.

Même s'il y a plus de moustiques dans les hélophytes, par rapport aux deux autres substrats échantillonnés, l'abondance reste faible en valeur absolue par rapport à la réserve d'eau étudiée. L'étude de la présente annexe montre clairement qu'une réserve d'eau de maison individuelle de 0,32 m², sans prédateurs, a un poids comparable sur la production de moustiques adultes qu'un bassin routier de 1 600 m² avec une surface de 25 % d'hydrophytes.

Les calculs sont faits avec les données présentées dans le chapitre 6.3 et les hypothèses suivantes :

1) L'intensité de la prédation :

- **dans les bassins routiers.** Sur les 27 moustiques trouvés dans l'habitat hélophytes sur 32 opérations de prélèvements, nous n'avons que 12 larves (le reste étant des larvules). Ces 12 larves restantes vont encore subir une prédation lors de 3 étapes : les derniers jours des stades larvaires III et IV, les 1 à 2 jours d'étape de nymphe, et enfin au moment de l'émergence de l'adulte à la surface de l'eau. Nous estimons grossièrement (1) qu'il ne restera que 10 % des 12 larves, soit environ qu'un seul adulte volant. Cela représente environ 3,7 % des individus trouvés en moyenne dans nos échantillons.

Note : (1) nous n'avons pas trouvé dans la bibliographie des pourcentages de prédation par stades. De plus, nous n'avons pas différencié les 4 stades larvaires dans nos déterminations taxonomiques.

En appliquant ce rapport de 3,7 % d'adultes potentiels, nous avons donc la production suivante d'adultes volants par m² (moyenne sur l'année) :

M1 : hélrophytes : pour 17 individus par m², il reste 0,63 adulte par m²,
M2 : surface minérale en berge : pour 0,71 individu par m², il reste 0,026 adulte par m²,
M3 : pour les sub-surfaces de l'eau : pour 0,48 individu par m², il reste 0,018 adulte par m².

Pour le pic du 30 août, avec le même abattement, cela nous donne :

M1 : hélrophytes : sur 72 individus par m², il reste 2,66 adultes par m².

M2 et M3 : il n'y a pas de pic estival. Nous rappelons que nous avons exclu Chazelles dans le chapitre 6.3 , pour le calcul des abondances de M2.

- **dans la réserve d'eau d'une maison individuelle à Pagny-sur-Moselle** (voir le rapport 2022). Cette prédation est pratiquement nulle car il n'y a aucun macro-invertébré prédateur. De plus, comme nous avons prélevé à la passoire de vide de maille 1 mm et qu'il manque donc les premiers stades, nous considérons grossièrement que tous les individus trouvés (larves des stades III et IV) arrivent à l'état adulte, soit 100 adultes par m² hors pic estival, et avec un pic estival de 3 000 adultes par m².

Note : nous rappelons ici les caractéristiques de ce réservoir d'eau : 1) situé sur les côtes de Moselle en lisière de forêt ; 2) en plastique de 200 L ; 3) ouverture circulaire non fermée de 64 cm de diamètre, 4) orientation plein sud. Il est resté plein et n'a pas été vidé depuis plusieurs années. Le fond contient des particules fines.

2) Cas d'un bassin routier d'une superficie au miroir de 1 600 m² avec 25 % de recouvrement par des hélrophytes :

Les hélrophytes (2) ont une surface de recouvrement particulièrement variable dans un bassin routier. La surface des hélrophytes peut être nulle (bassin récent – cas du bassin de Montigny-lès-Metz - ou ayant eu un entretien ne laissant pas de végétaux), ou être de 70 % (cas du bassin de Bénaménil-Ouest). Nous prenons dans le calcul ci-dessous le cas d'un recouvrement de 25 % d'hélrophytes.

Note : (2) le raisonnement peut être étendu à l'ensemble des végétaux : hydrophytes, algues filamenteuses ...

Le substrat 'surfaces uniformes dures' en berge, négligeable en superficie, n'est pas pris en compte pour simplifier les calculs.

Calcul :

- Pour les sub-surfaces : $1600 \times 0,75 \text{ m}^2$ et $0,018 \text{ adulte par m}^2 = 22 \text{ adultes}$.
- Pour les hélrophytes hors pic estival : $1600 \times 0,25 \text{ m}^2$ et $0,63 \text{ adultes / m}^2 = 252 \text{ adultes}$.
- Pour les hélrophytes avec pic d'abondance estival : $1600 \times 0,25 \text{ m}^2$ et $2,66 \text{ adultes / m}^2 = 1064 \text{ adultes}$.

Nous pouvons comparer ces abondances avec celle de la réserve d'eau pluviale d'une maison individuelle dans le tableau 13.

Tableau 13 - Comparaison entre la production d'adultes de moustiques d'un bassin routier et d'un réservoir d'eau d'une maison individuelle :

	Production d'adultes	Nbre de réservoirs d'eau pour produire autant qu'un bassin routier	Production d'adultes	Nbre de réservoirs d'eau pour produire autant qu'un bassin routier
	moyenne sur l'année		pic estival	
Réservoir d'eau d'habitation (cas de Pagny) de 0,32 m ²	30	Sans objet	1000	Sans objet
Bassin routier de 1600 m ² avec 25 % d'hélophytes	274	9,1	1086	1,1

Légende : (1) : attention, voir le commentaire sur les moustiques et les hélophytes en tête de ce chapitre.

Les conclusions de cette annexe sont dans le chapitre 6.4 .

Annexe F - Analyse des pics d'abondance dans les ouvrages de sortie.

A) Résultats obtenus

Les ouvrages de sortie permettent des pics d'abondance, mais uniquement pendant la période estivale.

Sur les 6 bassins et 7 campagnes de prélèvement, soit 42 opérations de prélèvements, nous avons deux pics d'abondance, soit une occurrence de seulement 4,8 %.

Ces deux pics sont uniquement dans le bassin le plus urbain de Montigny-lès-Metz et uniquement pendant la période estivale.

En 2022, pour 4 bassins (2 péri-urbains Metz-ManyQ2 et Q100 et 2 ruraux : Bénaménil-Ouest et Est), nous avons un seul pic d'abondance sur les 14 opérations de prélèvements, soit une occurrence d'environ 7 %. Le pic est dans l'un des deux bassins péri-urbain (Metz-MagnyQ100). Sur les 2 bassins péri-urbains et la seule campagne estivale (7 juillet), nous avons 1 pic pour 8 opérations de prélèvement, soit une occurrence de 12,5 %.

Les résultats de 2022 et 2023 apportent une information similaire sur les abondances dans les ouvrages de sortie des bassins routiers :

- pas de forte abondance en milieu rural ;
- des pics d'abondance en milieu urbain ou péri-urbain, uniquement en période estivale (juin à août). Sur ce type d'ouvrage de sortie, il serait pertinent de mettre en place une étude spécifique avec une fréquence plus serrée des campagnes de prélèvements (par exemple tous les 15 jours).

Les moustiques sont soit des larvules de *Culex* en 2023, soit *Culex pipiens* en 2022.

B) Problématique : comment évaluer l'impact d'une pluie, sur l'abondance en moustiques dans les ouvrages de sortie, avec nos données ?

Les ouvrages de sortie ont été choisis pour ce suivi 2023 car ils sont toujours en eau (jamais en assec estival sur nos bassins, à l'inverse de certains ouvrages d'entrée) et souvent plus facilement accessibles que les ouvrages d'entrée.

Mais l'évaluation de l'impact d'une pluie dans un ouvrage de sortie, donc à l'aval d'un bassin routier qui fait office de tampon hydrologique, est difficile. Un bassin routier peut, en effet, être plus ou moins rempli avant une pluie. Le débordement dans l'ouvrage de sortie ne se fait qu'au-delà du remplissage du bassin. Une fois le niveau du trop-plein atteint, le débordement dans l'ouvrage de sortie dépend du volume de pluie, même si le bassin garde tout de même un pouvoir tampon en fonction de sa taille.

De plus, même en cas de débordement, il est difficile de juger de l'importance de la vitesse du courant en tout point à l'intérieur de l'ouvrage de sortie, notamment où les larves de moustiques pourraient se réfugier (par exemple derrière les échelles d'accès, dans les 4 coins d'ouvrages parallélépipédiques ...).

De plus, à l'intérieur de l'ouvrage de sortie, il y a sans doute une différence d'hospitalité pour les larves de moustiques entre l'amont du muret interne lors d'une pluie (avec une élévation du niveau jusqu'au débordement éventuel au sommet du muret, mais possible aspiration des larves par la buse située dans le muret) et son aval (turbulence en sortie de la vanne et vitesse du courant importante vers la sortie de l'ouvrage). La situation varie aussi en fonction de la présence d'eau en permanence ou non, à l'aval du muret.

Nous avons tout de même regardé s'il y a une relation entre les quatre pics d'abondance constatés en 2022 et 2023 et la pluviosité (tableau 14).

En dehors du taux de remplissage du bassin et de sa taille, il y a plusieurs moyens d'aborder l'impact potentiel de la pluviosité sur la vitesse du courant à l'intérieur d'un ouvrage de sortie : a) le pic de pluie maximum avant un délai sans pluie, b) un cumul de pluies, avant un délai sans pluie.

Nous avons choisi de prendre en compte un événement pluvieux d'au moins 20 mm sur une durée de 2 jours ou moins. Nous pensons que la fin de la pluie doit survenir au moins dans les 10 jours avant le prélèvement, pour avoir un impact sur les moustiques. Cependant, nous avons indiqué dans le tableau 14 les dernières pluies avant le prélèvement :

Le cas du 8 août à Montigny-lès-Metz montre qu'il est possible ; dans un ouvrage de sortie, après une pluie significative 4 jours avant les prélèvements, d'une intensité de 56 mm sur 4 jours et à l'aval d'un bassin probablement plein en raison des pluies de juillet 2023, d'avoir tout de même un pic de larvules de moustiques.

Il est donc peu probable que les pluies, sauf des pluies extrêmes, provoquent une vitesse du courant dans les ouvrages de sortie capables de réduire l'abondance des moustiques.

Pour les ouvrages d'entrée en eau, il nous manque des données pour conclure. Une étude complémentaire serait à réaliser pour cela.

L'explication des pics d'abondance de moustiques dans les ouvrages de sortie n'est pas à rechercher dans l'hydrologie. Nous remarquons par contre que les quatre situations observées sont situées en ville ou à proximités d'une ville. Nous pouvons en déduire que ce critère est important mais qu'il ne suffit pas à expliquer à lui-seul les pics d'abondance, car il n'y a pas en permanence des fortes abondances.

Tableau 14 - Caractéristiques des 4 pics d'abondance dans les ouvrages d'entrée ou de sortie des bassins routiers :

Bassin / Ouvrage	Date, abondance et espèce	Station météo de référence	Jours sans pluie entre le dernier événement pluvieux et le prélèvement (1)	Description de l'évènement pluvieux	Effet tampon du bassin probable
Metz-MagnyQ100 (sortie)	7/07/22, 76 moustiques (2)	Metz-Frescaty	11	26 mm sur 3 jours (19,7 mm le 8 juin, 3 mm le 25 juin et 3,2 mm le 26 juin)	OUI (Bassin non plein, car un mois sans pluie, avant l'évènement du 8 juin)
Moncel-lès-L (entrée)	28/06/23 – 310 <i>Culex sp</i>	St-Maurice	49	25 mm sur 2 jours (11,7 mm le 8 mai et 13,4 mm le 9 mai)	OUI (Bassin non plein, car un mois sans pluie)
Montigny-lès-Metz (sortie)	28/06/23 – 65 <i>Culex sp</i>	Metz-Frescaty	48	20 mm sur 2 jours (16,6 mm le 9 mai et 3,2 mm le 10 mai)	OUI (Bassin non plein, car un mois sans pluie)
Montigny-lès-Metz (sortie)	8/08/23 – 150 <i>Culex sp</i>	Metz-Frescaty	4	56 mm sur 4 jours (23 mm le 31 juillet, 9 mm le 1 ^{er} août, 17 mm le 2 août et 7 le 3 août)	NON (Bassin plein, car environ 40 mm en juillet, avant l'évènement de 56 mm)

Légende : (1) : un évènement pluvieux est pris en compte à partir de 20 mm sur 2 jours ou moins. ; (2) : 68 *Culex pipiens*, 4 *Culex impudicus*, 4 *An. Maculipennis*, dont beaucoup de larvules

Annexe G – Protocole de prélèvements en bassins routiers issu de l'expérience du suivi 2023

Objectif : évaluer la présence de larves de moustiques dans les bassins routiers et leurs ouvrages d'entrée et/ou de sortie.

Paramètre mesuré : présence de larves et nymphes de moustiques.

Localisation et critères de choix des secteurs : bassins à choisir en fonction des objectifs de l'étude.

Critères recommandés pour le choix du bassin :

- 1) volume mort d'au moins 40 cm (environ) et perenne, notamment sans assec estival,
- 2) axe de circulation avec au minimum 10 000 véhicules par jour (pour étudier l'impact éventuel des hydrocarbures),
- 3) absence de pollution autre que la pollution routière (par exemple absence d'industrie pouvant engendrer des dépôts polluants, dans un rayon de 300 mètres).
- 4) alimentation uniquement par un bassin versant provenant de l'emprise routière (par exemple, pas de raccordement d'un bassin versant agricole amont, pas de ruisseau ou source importante se jetant dans le bassin routier)
- 5) fond solide (béton, argile) et non constitué d'une géomembrane en plastique (pour des raisons de sécurité lors du déplacement dans le bassin).
- 6) berge accessible (circulation possible autour du bassin).
- 7) critères éventuels, propres à l'étude de l'année en cours.

Dates et durée du suivi : il est conseillé au moins une campagne de prélèvements par mois, sur la période de présence des larves.

Conditions du suivi : situation climatique antérieure a) au moins 10 jours sans pluie exceptionnelle (par exemple centennale) avant les prélèvements b) absence de pluie ou de vent fort le jour du prélèvement.

Choix des placettes de prélèvements : Elles sont réalisées sur un secteur représentatif de la morphologie du bassin, excepté pour la chasse. Les prélèvements élémentaires sont séparés si possible d'une distance de 1 à 2 m, en fonction de l'espacement maximum disponible pour le substrat échantillonné.

Note : la localisation des placettes de prélèvement à l'intérieur du bassin, proche ou pas de l'ouvrage d'entrée, ne nous semble pas avoir une influence sur les abondances en moustiques. Il est néanmoins conseillé de noter cet emplacement.

Matériel de prélèvement :

a) obligatoire : bocal avec manche, appelé 'louche'.

Taille recommandée : bocal de diamètre d'ouverture 8,5 cm et de profondeur 10,5 cm (environ 600 ml), manipulé au bout d'un manche de 2 mètres en bois léger. Il permet de donner des 'coups de louche' sans trop s'approcher de la placette à échantillonner.

Ce matériel est le plus efficace parmi ceux testés. Il permet souvent, lorsqu'il est plongé dans l'eau, de faire une « aspiration », compensant en partie la fuite des larves. Il ne permet pas de prélever efficacement à une profondeur faible, qui peut varier entre 5 et 10 cm selon la nature du substrat benthique (entrée de terres ou de vases, difficulté pour manipuler l'appareil ...).

b) utile : passoire.

Taille recommandée : passoire de diamètre 18 cm et vide de maille 1 mm ou moins si possible. La passoire peut être montée sur un manche télescopique.

Attention pour l'interprétation des résultats si le vide de maille est de 1 mm, les plus jeunes larves ne sont pas prélevées. Pour éviter cette perte, un mini-troubleau de diamètre d'ouverture 18 mm ou moins, avec un filet de vide de maille 0,5 mm peut éventuellement être fabriqué, mais il doit être aussi maniable que la passoire ci-dessus, pour se glisser dans les coins des ouvrages.

Une passoire permet parfois d'accéder dans des recoins non accessibles avec la louche, ou alors à des profondeurs inférieures à 10 cm, difficilement prélevables avec la louche. Si elle n'a pas de manche télescopique, l'agent-préleveur s'approche souvent trop de la placette à prélever, provoquant la fuite des larves de moustiques.

c) utile : haveneau.

Taille recommandée : haveneau avec cadre d'ouverture d'une base de 25 cm et de hauteur 20 cm, équipé d'un filet d'un vide de maille 0,5 mm.

Ce matériel permet de prélever une grande surface, ce qui peut être utile si l'abondance de moustiques est faible. La surface de l'eau doit être libre, sans herbiers, branchages, déchets ... et la berge facilement praticable pour avancer de plusieurs mètres. Il est donc difficilement utilisable à proximité de la rive, en milieu naturel (présence d'hélophytes ou de ripisylves).

D'autres matériels de ce type peuvent être utilisés. En cas d'utilisation d'un filet, le vide de maille ne peut pas être supérieur à 1 mm. Dans ce cas, il doit bien être noté que les jeunes stades sont absents.

Le matériel et les techniques sont à adapter aux habitats du tableau 15.

Protocole d'échantillonnage (choix des habitats échantillonnés, nombre d'échantillons élémentaires et techniques d'échantillonnage) :

Une reconnaissance du plan d'eau est faite pour repérer les substrats à échantillonner et leur pourcentage de recouvrement respectif, par rapport à la superficie au miroir.

L'échantillonnage se déroule en 3 phases (voir tableaux 15 pour les substrats et 16 pour l'effort d'échantillonnage) :

a) Phase 1 : trois substrats en bassin : 1) végétaux (si possible proche de la rive), 2) Substrat dominant non végétal proche de la rive, avec un fond à faible profondeur et 3) sub-surfaces de l'eau, à plus de 30 cm de la rive ou de substrats émergents.

Note : ils sont prélevés sur des secteurs représentatifs de la morphologie du bassin (représentant une superficie d'au moins à **0,1 %** de la superficie totale du bassin, sinon, ils sont réalisés en tant que chasse). Le prélèvement en sub-surface est optionnel pour une recherche prospective de moustiques. Il doit par contre être fait pour estimer la production de moustiques d'un site.

Si un substrat ci-dessus, absent, n'est pas réalisé, il est remplacé par un substrat sub-dominant proche de la rive, de manière à avoir 18 échantillons-élémentaires par bassin.

b) Phase 2 : un substrat dans l'ouvrage d'entrée et/ou de sortie en accédant à l'eau par le regard. Le prélèvement dans l'ouvrage aval est normalement à l'aval du voile siphonide (substrat théoriquement préservé de la pollution due aux hydrocarbures flottants).

c) Phase 3 : chasses : un nombre d'échantillons-habitats variables peut être réalisé, en cherchant les zones particulières, non représentatives morphologiquement du bassin, en

général de faibles superficies, mais potentiellement favorables aux larves de moustiques. Ces conditions sont : 1) au plus proche de la rive, 2) faible profondeur, 3) substrat benthique de litières, 4) fort ombrage. Ces placettes peuvent avoir une superficie extrêmement faible à l'échelle du bassin. Il est conseillé d'évaluer la superficie de ces zones particulières.

d) ouvrages annexes : si besoin, des ouvrages de type (filtre à sable, fossé, etc) peuvent être échantillonnés.

Tableau 15 - Protocole de prélèvement - substrat et code :

Type de substrat	Commentaire	Code (1)
Phase 1 :		
Végétaux	Au sein de l'herbier, le substrat dominant parmi : hélrophytes , hydrophytes (incluant les Characées), algues filamenteuses, chevelus racinaires, y compris de ligneux. Litières ...	HE HY AL RA LI etc
Substrats dominants (non végétaux) <u>proche de la rive</u> (fond à faible profondeur)	Au plus proche de la rive (jusqu'à 10 cm), le substrat dominant parmi : Surfaces uniformes dures pour les bassins routiers (béton, enrochement, géomembrane ...), autre substrat minéral de berge (cailloux, graviers, sables ...) et organiques morts (litières, vases ...).	SU CA GR SB ect
Sub-surfaces de l'eau éloignée de la rive	<u>Optionnel. A faire si l'objectif est de connaître la production d'un site en moustiques.</u> Éloigné de plus de 10 cm de la berge ou des herbiers.	SS
Phase 2 :		
Ouvrage d'entrée (surface uniforme dure)	<u>Optionnel (par exemple si besoin de connaître l'impact des évènement pluvieux).</u> <u>Si hauteur d'eau suffisante.</u> Accès par le regard. Prélever comme l'ouvrage de sortie. Si le prélèvement ne peut se faire que par la buse de sortie vers le bassin, le noter en chasse.	OE
Ouvrage de sortie (surface uniforme dure)	Accès par le regard pour être à l'aval du voile siphonide. Répartir, si possible, les échantillons - élémentaires entre l'amont et l'aval du muret interne de surverse. Prélever au minimum les parties les plus éloignées des buses d'entrée et de sortie dans le regard (par exemple les coins d'un ouvrage rectangulaire). Prélever aussi derrière l'échelle d'accès.	OS
Phase 3 :		
Chasses	<u>A faire si l'agent-préleveur estime que c'est pertinent.</u> Classer en chasse les substrats ayant une surface au miroir inférieure à 0,1 %. Privilégier des placettes contre la rive, avec une faible lame d'eau, une faible luminosité, et un fond de litières, sans freins à la prédation par les autres macro-invertébrés.	C suivi d'un code ci-dessus

Légende : (1) : les codes proposés ici remplacent ceux de la présente étude (M1 à M4). Prendre les deux premières lettres des substrats de la norme AFNOR NF T90-333.

Le matériel de prélèvement est adapté à chaque cas. La méthode recommandée est dans le tableau 16. La terminologie utilisée ici est la suivante : par exemple, 6 coups de louche dans des hélophytes correspondent à 6 échantillons élémentaires, correspondant à un seul échantillon-substrat appelé « hélophytes ».

Tableau 16 - Résumé des méthodes d'échantillonnage (habitats, matériels et surface échantillonnée) :

Habitat	Matériel conseillé (1)	Surface échantillonnée
Végétaux	Louche, passoire	1/20 m ² (0,05 m ²), correspondant grossièrement à six 'coups de louche' ou à 2 'traits de passoire', chacun sur 15 cm,
Substrats de berges	Louche, passoire (haveneau)	
Sub-surface	Louche, haveneau	
OE ou OS	Louche, passoire (haveneau)	0,5 m ² pour un 'trait de haveneau' de 2 mètres
C1 à Cn : « chasses »	Tous	Variable (superficie par chasse à noter, si possible)

Légende : (1) Le matériel entre parenthèses est possible mais plus long à mettre en œuvre.

Figure 1 - Matériel de prélèvements de larves de moustiques :

A gauche : Prélèvement à l'aide d'un bocal muni d'un manche. A droite : Prélèvement dans un regard de sortie à l'aide d'une passoire (Photos : Cerema / Émilie Busson).



Surface d'échantillonnage minimum : variable selon le matériel de prélèvement (voir tableau 16) Il est conseillé de noter, si cela est possible :

- la surface d'échantillonnage sur l'habitat prélevé. Elle est au minimum de 1/20 de m² pour le bocal et la passoire. Cette surface peut être augmentée, en cas d'absence de larves. La surface d'échantillonnage est si possible à noter, ainsi que sa proportion de recouvrement de la masse d'eau.
- le recouvrement de l'habitat sur la masse d'eau (en pourcentage). Attention : le pourcentage de recouvrement est évalué pour la sub-surface et une profondeur maximum de 10 cm et non pour les substrats du fond (à l'inverse de la méthode NF T90-333).

Par exemple, il est noté les informations suivantes : *Bassin n°1 d'une surface au miroir de 1 000 m² - Substrat hélophytes avec un recouvrement de 10 % de la superficie totale - échantillonnage des hélophytes réalisé sur une superficie de 1/20 m²*. Toutes les superficies sont estimées.

Les superficies des substrats sont estimées à 1 % près, jusqu'au minimum de 1 %. Si elles sont inférieures à 1 %, elles sont estimées, au plus proche des valeurs suivantes : 0,5 %, 0,1 % ou 0,01 %. Dans ce cas, la somme des substrats peut ne pas faire exactement 100 %.

Précautions d'échantillonnage : pour éviter que les larves de moustiques plongent avant l'échantillonnage, il est important, si possible :

- d'approcher de la placette de prélèvement face au soleil ;
- de travailler sans créer de remous, de vague ou de bruit en plongeant ou en retirant l'appareil d'échantillonnage.

Pour les prélèvements dans les bassins, le manche de l'appareil doit être assez long, au moins deux mètres, pour la même raison.

Remplissage des fiches de prélèvement :

Pour chaque opération de prélèvement, trois fiches sont remplies :

- 1) Description de la station (dont une partie peut être pré-remplie au bureau).
- 2) Grille d'échantillonnage.
- 3) Description des prélèvements élémentaires.

Les modèles de fiches sont disponibles au Cerema-Est.

Traitement des échantillons sur le terrain :

Chaque échantillon élémentaire est versé dans une bassine à fond clair. Il est alors examiné, si besoin avec une loupe serre-tête x2. Les larves ou nymphes de moustiques, se repérant facilement grâce à leur forme, leur type de mouvement et leur taille, sont récupérées à la pipette pasteur en plastique (avec bout coupé pour être plus large) ou une cuillère pliée en L. Si l'abondance est importante, ils sont estimés. Dans ce dernier cas, un minimum de 20 individus doit être récupérés pour la détermination à l'espèce, pour chacune des trois classes de taille suivantes : 1) environ < 8 mm, pour les larvules, parfois difficile à déterminer à l'espèce) et 2) larves supérieures à 8 mm et 3) nymphes. Les moustiques sont ensuite placés dans un pilulier alcoolisé avec une étiquette indiquant :

- 1) le lieu (par exemple : bassin routier de Montigny), 2) la date et 3) l'habitat (voir tableau 15), avec toutes les précisions utiles permettant de ne pas mélanger des prélèvements (par exemple : Ouvrage de sortie - aval muret central - bordure).

Note : en cas de doute, par exemple risque de confusion avec des nymphes de Chironomes, tous les individus sont mis en pilulier et contrôlés au laboratoire.

Conservation et transport des échantillons :

Comme indiqué ci-dessus, les échantillons sont immédiatement fixés à l'éthanol (concentration finale 70 à 80 % environ). Dans le véhicule de transport, les échantillons sont placés de manière à ce que les invertébrés restent en permanence dans la solution

alcoolisée. En période estivale, il est recommandé d'installer les échantillons dans une glacière réfrigérée, dans le véhicule.

Matériel pour une opération de prélèvement :

Clés d'accès aux bassins fournies par le gestionnaire.

Pantalon de pêche et gants de protection imperméables montants.

Matériel de prélèvement : bocal de 0,6 litre minimum avec manche, passoire de vide de maille 1 mm maximum, haveneau avec filet de vide de maille 0,5 mm.

Seau, cuvette à fond clair, loupe serre-tête, pipette Pasteur raccourcie, cuillère pliée en L.

Pincettes, piluliers de 25 ml, éthanol, étiquettes en papier bristol et crayons, marqueurs indélébiles, boîtes de rangements pour les étiquettes, les piluliers ...

Fiches de prélèvement à renseigner.

Optionnel : lunettes anti-reflet, télémètre, jumelles, GPS, appareil photographique, table pliante, perche étalonnée pour estimer la profondeur, glacière réfrigérante, sonde de mesure des paramètres physico-chimiques ...

Annexe 1 : commentaires sur le protocole d'échantillonnage :

1- L'échantillonnage avec un bocal avec manche, aussi appelé aussi louche de par son mode d'utilisation ('coup de louche') a été développé dès 1949 (Boyd, dans Papierok, 1975). Elle est devenue la principale méthode utilisée actuellement pour le suivi épidémiologique, en raison de son efficacité et de sa simplicité (Becker, 2020 – chapitre 4.2 p56). Papierok utilise une louche de 1 litre, Becker recommande 350 ml (ouverture de 11 cm).

2- Les habitats du tableau 15 sont, en théorie, propices aux moustiques.

3- Attention pour tous les calculs de densités par habitat : ils sont approximatifs, car il est difficile de savoir à quelle superficie exacte correspond un coup de louche. Il peut y avoir en grande variation dans l'efficacité de l'échantillonnage selon de multiples critères (angle d'approche et de prise, fuite des larves ...). Nous avons considéré qu'il faut au maximum 6 coups de louche pour prélever 1/20 m². Cette surface d'échantillonnage correspondant à celle de la norme AFNOR NF T90-333, de prélèvement des macro-invertébrés aquatiques. Il est possible que seuls 5, voir 4 coups de louche suffisent. Dans ce cas, les densités en moustiques dans les bassins, calculées sur la base de 6 coups de louche pour 1/20 m², sont sur-estimées de 15 à 35 %. La fuite des larves de moustiques reste dans tous les cas une source d'incertitude pour le calcul des densités.

Annexe 2 : informations minimums à fournir sur les bassins :

Route (numéro). Type de route (inter-urbaine, intra-urbaine, fluide, lente ...). Trafic véh/j (et % de poids lourds). Chaussée collectée par le bassin (ha). Année mise en service du bassin. Fond du réseau de collecte des eaux pluviales (bétonné, herbacé ..). Type de bassin (mixte, de pollution, hydraulique). Pluie de dimensionnement du bassin (Q2 à Q100). Superficie au miroir du volume mort du bassin (m²). Profondeur moyenne du volume mort (m). Matériau du fond et de la berge (béton, géomembrane ...). Recouvrement d'hélophytes (%). Présence de poissons. Distance à une grande agglomération (début des premiers lotissements). Occupation des sols, dans un rayon de 0,3 km (urbain, culture intensive, prairie, forêt ... si possible avec pourcentages au moins

approximatifs). Occupation des sols, rayon de 5 km (urbain, culture intensive, prairie, forêt ... si possible avec pourcentages au moins approximatifs).. Alimentation du bassin autre que eaux pluviales (ruisseau, source, nappe). Principales sources de pollution, autres que celles provenant de la route.

Ce protocole est consolidé par l'essai réalisé dans une mare comportant de fortes abondances en larves en moustiques (voir annexe H).

Annexe H – Utilisation du protocole sur une mare présentant une forte densité en larves de moustiques.

Objectif : évaluer la densité de larves de moustiques en testant l'efficacité relative de 3 matériels cités en annexe G : louche, passoire, haveneau en sub-surfaces.

Essai réalisé le 25/03/2024 dans la forêt de la Reine, à environ à 33 km à l'ouest du centre de Nancy. La mare et le plan d'eau sont à 3 km à vol d'oiseaux au nord-ouest du village de Boucq.

La forêt de la Reine est une grande forêt de feuillus, dans la cuvette argileuse de la Woèvre. Les fortes pluies en Lorraine d'octobre 2023 à mars 2024 ont remplies les nombreuses mares de cette forêt. La seule pollution potentielle du site est celle des routes D908 et D147, routes peu fréquentées à 2 voies.

Rappel du matériel testé et des surfaces échantillonnée :

- 1) louche : 6 coups de louche, représentant au total (et au minimum) $1/20 \text{ m}^2$ (= 0,05 m^2)
- 2) passoire : 2 traits de 15 cm, représentant environ $1/20 \text{ m}^2$.
- 3) haveneau tiré sur 1,5 ou 2 m, représentant une surface de 0,375 m^2 ou 0,5 m^2 .

Essai sur la mare contenant une forte abondance de larves de moustiques.

Description (voir photographies ci-après) : mare entièrement ombragée, de surface d'environ 50 m^2 , de profondeur moyenne 40 cm, berge à pente douce. Le fond est recouvert à 95 % par des litières et 5 % par des grosses branches. La mare est située à environ 8 mètres au sud de la route D908 et 100 mètres à l'est de la D147.

Tableau 17 - Abondance en larves de moustiques dans la mare, pour chaque méthode : :

Matériel	Habitat	Abondance en moustiques	Densité estimée (m^2)	Moyenne (m^2)
Louche	Sub-surface (proche berge)	10	200	320
		22	440	
Passoire		2	40	13
		0	0	
		0	0	
Louche		Sub-surface (éloignée berge)	2	40
haveneau	7		19	19

Légende : Proche berge (= < 30 cm). Éloignée berge (= 1 à 2 m).

Même si le nombre d'essai est limité par la taille de la mare, la conclusion est nette :

- le nombre de larves de moustiques collecté est important, nettement plus important que celui trouvé dans des bassins routiers. Les deux espèces trouvées sont *Aedes rusticus* et *Culiseta morsitans*.

- pour les prélèvements de berge : la louche est largement plus efficace que la passoire, probablement ici parce que les larves ont le temps de fuir pour deux raisons : 1) l'accès de l'agent-préleveur au bord de la berge provoque des mouvements de branches dans l'eau et 2) la faible longueur du manche permet aux larves de repérer l'agent-préleveur. Les larves de moustiques, se réfugie sous les feuilles.

- pour les prélèvements éloignés de la berge : la louche reste plus performante que le haveneau.

La louche est le matériel à privilégier autant que possible.

Il est remarquable que, même pour une si petite mare, les larves ont une abondance nettement plus importante à proximité de la rive qu'au centre.

Note : l'abondance des moustiques dans la forêt de la Reine est connue. Elle est due aux conditions particulière de cette zone (mise en eau temporaire de mares forestières...). Ces mares possèdent par ailleurs des abondances importantes de tritons alpestres, crêtés et palmés, ainsi que de larves de salamandres. Ces espèces jouent un rôle important pour la prédation des larves de moustiques.

Figure 1 - Mare forestière à Boucq, contenant une forte densité de larves de moustiques :

(Photos : Cerema / Pierre MAZUER).



Essai supplémentaire : plan d'eau entouré de mares contenant une forte abondance de larves de moustiques.

Un grand plan d'eau, entourée de ces mares, étant présent sur le site, la même expérience est réalisée sur ce plan d'eau.

Description (voir photographie ci-après) : plan d'eau sans ombrage (large bande herbacé sur la rive autour du plan d'eau), de surface d'environ 25 400 m², de profondeur moyenne probablement supérieure à 2 mètres. Les rives sont colonisées à moitié d'hélophytes et de ripisylves basses. La berge est abrupte, y compris la partie immergée. La sub-surface représente plus de 99 % de la surface, le reste étant occupé par les hélophytes. Le fond

est probablement recouverts de limons ou de vase. Le plan d'eau est situé à environ 12 mètres au nord de la route D908 et 20 mètres à l'est de la D147 et à 30 mètres environ de la mare précédente.

Tableau 18 - Abondance en larves de moustiques par méthode dans le plan d'eau :

Matériel	Habitat	Abondances en moustiques	Densité estimée (m ²)
Louche	Hélophytes (en berge)	0	0
Louche	Sub-surface (en berge abrupte)	0	0
Passoire		0	0
Louche	Sub-surface (éloignée berge)	0	0
haveneau		0	0

Cet essai n'apporte aucune information d'efficacité du matériel vu l'absence de moustiques dans les prélèvements. Il est cependant intéressant de noter le fait que, malgré les fortes abondances de moustiques dans les nombreuses petites mares aux alentours (la mare testée ci-dessus est à peine à 33 mètres de ce plan d'eau), un grand plan d'eau de ce type comporte une faible abondance en moustiques. Les conditions écologiques (prédation par les autres macro-invertébrés ?) ne sont visiblement pas favorables aux larves de moustiques.

Figure 2 - Plan d'eau à Boucq, à proximité de la mare précédente :

(Photos : Cerema / Pierre MAZUER).





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Siège social : Cité des mobilités - 25 avenue François Mitterrand - CS 92 803 - 69674 Bron Cedex -
Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30 – www.cerema.fr

Cerema-Est, Bâtiment C, Île du Saulcy, CS 30855, 57045 Metz Cedex 1 - Tel : +33 (0)3 87 20 43 00