

Projet de Fin d'Études (PFE) 2022-2023

Baignade et écosystèmes, quelles interactions ?

Quels sont les impacts de la baignade humaine sur les écosystèmes aquatiques ?



Source : myloirevalley.com

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnels, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer tout ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Remerciements à Madame Catherine BOISNEAU pour son accompagnement et sa direction lors de ces deux années de projet de fin d'étude en compagnie de Madame Bénédicte METAIS de l'Agence Tourangelle d'Urbanisme pour la proposition de ce sujet et de nous avoir convié aux différentes tables rondes sur les questions de baignade en Loire.

Remerciements à Monsieur Denis MARTOUZET pour ses conseils et son point de vue suite aux oraux de PFE de 4A.

Remerciements à Margaux GLASSON, élève ingénieure de Polytech'Tours pour sa coopération sur ce sujet et la répartition du travail avec ce présent mémoire.

Remerciements à la municipalité de la ville d'HIRSON (02) pour avoir donné accès à un ancien musée concernant l'histoire de la ville et de ses rivières.

Remerciements à Jean-Claude OLEJARZ et Sébastien OLEJARZ respectivement pour son témoignage sur l'historique de la baignade en milieu fluvial et ses contacts pour la municipalité d'HIRSON.

Remerciements à Flavie OLEJARZ pour ses conseils sur la collecte des données.

Remerciements à Janellhya SNICK pour son soutien lors de la réalisation du travail.

Remerciements à Céline OLEJARZ pour la relecture de cet ouvrage pour la vérification de l'orthographe

Table des matières

Introduction :	6
1) Contexte de la baignade en France : historique	7
2) La première phase du travail : définitions des termes du sujet	8
3) Recherches Bibliographiques : Méthodologie et état des lieux	10
3.1) Recherches littéraires	10
3.2) Recherches Bibliographiques et sitographiques	11
3.2.1) La démarche suivie	11
3.2.2) Synthèse	12
3.3) Problèmes rencontrés	13
3.3.1) Nombres d'articles scientifiques sur le sujet	13
3.3.2) Littérature bibliographique	13
3.4) Réorientation du sujet	14
4) Focus sur deux taxons : le castor et la faune piscicole	14
4.1) Inversion du point de vue : vision de la menace humaine par des espèces cibles	14
4.2) Le castor : conséquence d'un empiètement de l'être humain sur son habitat	14
4.2.1) Nager avec l'être humain	14
4.2.2) Synthèse des dangers de la baignade sur le cycle de vie du castor	15
4.3) Généralités de la faune et flore aquatique : impact des nanoparticules contenues dans les huiles solaires et les textiles	18
4.3.1) Les nanoparticules de polystyrène, impact sur des vertébrés aquatiques par la chaîne trophique	19
4.3.2) L'impact des nanoparticules d'Argent sur des invertébrés d'eau douce (Jennifer Andreï, 2018)	23
5) Discussion des résultats	30
5.1) Phase de recherche des articles	30
5.2) Point de vue du castor	31
5.3) Résultats des études sur les nanoparticules et application à la baignade	31
5.3.1) Nanoparticules de polystyrène	31
5.3.2) Nanoparticules d'Argent	32
6) Conclusions à tirer de l'analyse et ouverture	33
7) Annexes	34
8) Bibliographie	36

Introduction :

Le sujet qui sera traité dans cet ouvrage sera « Baignades et écosystèmes, quelles interactions ? » Proposé par Catherine Boisneau, enseignante au Département Aménagement et Environnement de Polytech Tours, avec Bénédicte Métails de l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours (ATU37). Ce sujet est décrit sur plusieurs points thématiques, comme par exemple les perceptions que les riverains peuvent avoir sur la Loire et sur les autres milieux fluviaux propices à la baignade ; mais encore sur l'interrogation de la place de l'humain dans ces milieux et aussi sur un autre point de vue qui serait légèrement désaxé et atypique par rapport à la norme d'une analyse scientifique classique.

Ce travail est réalisé en collaboration avec Margaux Glasson, élève ingénieure à Polytech' Tours également, qui traitera les interactions de l'être humain sur les écosystèmes terrestres environnant les zones de baignades. Ce rapport axera quant à lui son objet d'étude sur les impacts de la baignade sur les milieux aquatiques et sur les habitants de ces milieux. Cette lecture sera complémentaire de l'ouvrage de ma collègue.

Actuellement en 5^e année d'école d'ingénieur, une partie du travail a déjà été réalisée l'année passée sur ce sujet pour en définir les mots clés, les termes du sujet et obtenir des interactions avec différents acteurs référant à la baignade et à ses environnements. C'est également lors de cette première phase que la division du travail entre Margaux et moi-même a été effectuée, en fonction des cursus scolaires de chacun. La problématique et la reformulation du sujet ont également été réalisées lors de cette année, d'où la question suivante : « Quelles sont les impacts de la baignade humaine sur les écosystèmes aquatiques et leurs habitants ? »

Ayant réalisé des recherches bibliographiques primaires l'année passée (Antonin Olejarz, 2022), l'objectif du travail de cette année est de compléter, d'enrichir ces recherches pour analyser plus en profondeur ce thème d'interaction entre baignade et écosystèmes afin de répondre à la problématique établie précédemment.

Ce rapport sera hiérarchisé en plusieurs parties majeures. Dans un premier temps, une contextualisation rapide de la baignade en France sera établie, puis dans un second temps un focus sera fait sur la définition des termes du sujet.

Une troisième partie explicitera la méthodologie de recherche des articles et des données sur la baignade et ses interactions, avant de terminer avec une quatrième partie qui se focalisera sur deux taxons principaux, le castor et la faune piscicole en général.

Outre la quantification et l'analyse des impacts probables étudiés dans la bibliographie, il sera aussi important d'étudier les problèmes rencontrés lors de ces recherches. Ces problèmes rencontrés feront partie intégrante de nos résultats.

Ces derniers, issus des articles bibliographiques seront donc analysés et discutés afin d'en extraire un maximum d'informations objectives, aussi variées soient-elles, afin d'en déduire des solutions et/ou compromis envisageables, ou encore d'autres problématiques qui pourraient survenir lors de cette analyse. Le but de ce PFE est d'ouvrir et d'éclairer un sujet d'actualité, liant récréation et rafraîchissement tout en prenant en compte le sujet scientifique.

1) Contexte de la baignade en France : historique

L'histoire de la baignade remonte à l'époque du Moyen-Age où les rois pratiquaient des « bains » une à deux fois par an en rivière pour un soucis d'hygiène.

Cet historique se poursuit désormais en se concentrant sur le site d'étude choisi et sur l'agglomération tourangelles.

Les plages ligériennes sont devenues dès la fin du 19ème siècle un espace de loisir prisé par les familles en quête de détente et d'évasion. Les aménagements proposés évoquaient tout ce qui pouvait se trouver habituellement sur les bords de mer : cabines, bateaux et pédalos entre autres. En 1900, un français sur 400 se rendait effectivement à la mer en été. Les bords de Loire représentaient donc souvent le lieu de repli idéal pour celles et ceux qui n'avaient pas les moyens de s'y rendre.

Jusque dans les années 1960, les plages de Loire restent très populaires. Cependant, ce succès cache, au cours de cette première moitié de XXème siècle, différents problèmes qui vont entraîner un déclin progressif de cette mode. En effet, les maires, responsables de la sécurité de leurs administrés, font face à de plus en plus d'accidents de noyade et sont confrontés aux difficultés techniques de sécurisation des plages. Les panneaux et arrêtés d'interdictions se multiplient sur les plages de Loire. Ensuite, le développement du secteur industriel et la pollution qu'il engendre posent de nombreuses questions de salubrité et d'hygiène publique. Enfin, les habitudes changent : avec le développement automobile, il devient beaucoup plus aisé pour les familles de se rendre à la mer avec ce moyen de locomotion.

Mais l'évènement qui viendra mettre un terme à cette baignade ligérienne sera le drame de Juigné-sur-Loire, près d'Angers, le 18 Juillet 1969 où 19 enfants, en sortie avec un centre aéré de Mûrs-Erigné, ont péri, noyés dans les bras du fleuve, piégés par le fort courant.

Depuis cette date, les autorités compétentes avaient le choix donc d'encadrer très strictement la baignade par des zones, des accès, etc... soit de l'interdire totalement. La deuxième alternative a été choisie à l'époque par question de simplicité et de facilité de mise en place.

Aujourd'hui, la baignade en plan d'eau sur certaines autres rivières est autorisée mais une enquête de Santé Publique France montre, via *L'enquête NOYADES*, réalisée tous les 3 ans sur la France métropolitaine et outre-mer que « *Les résultats ont rapporté 1 480 noyades accidentelles dont 27% ont conduit à un décès. Si la baignade comporte des risques, les noyades sont pour la plupart évitables. Aussi, la mise en œuvre d'actions de prévention, spécifiques selon l'âge et les circonstances de survenue, reste une priorité de santé publique* ». De plus, une précision est apportée sur les lieux de noyades, avec les plans d'eau et cours d'eau détenant le plus de noyades mortelles, devant les noyades en mer : « *Concernant les lieux de survenue des noyades, 47 % des noyades accidentelles ont eu lieu en mer, 26 % en piscine tous types confondus, 23 % en cours d'eau ou plan d'eau et 4 % dans d'autres lieux (par exemple baignoires ou bassins). La proportion de décès était plus élevée parmi les noyades ayant lieu en plan d'eau (49 %) et en cours d'eau (41 %) alors qu'elle était de 25 % en mer, 15 % en piscine tous types confondus et 14 % dans d'autres lieux.* » Le danger est donc bien présent en eau douce, et l'envie de se reconnecter est croissante, en témoigne la table ronde « Envies de Loire », conduite par l'ATU (notes personnelles) le 05/03/2022.

En effet, le Parlement de Loire a organisé avec ATU, des réunions de type « tables rondes », où de nombreux points de vues étaient abordés : tous avaient un point

commun, une volonté de ré-autoriser la baignade en Loire, légalement parlant. Cette ré-autorisation fut régulièrement accompagnée d'une proposition de rééducation aux plus jeunes de la Loire ainsi que de ses dangers afin d'éviter les accidents tragiques au maximum. Comme le témoigne l'enquête noyades, c'est en milieu fluvial que le danger semble le plus présent.

Suite à ces réunions, (une seconde avait eu lieu au mois d'avril), webinaires retransmis sur internet, la définition des mots clés du sujet et de tous les mots qui peuvent graviter autour constituera la première partie du travail.

2) La première phase du travail : définitions des termes du sujet

Dans ce rapport, la définition de termes clés du sujet est nécessaire pour la compréhension correcte de tous lors de l'emploi futur de ces termes. Par conséquent, nous allons voir les définitions des mots centraux du sujet, à savoir **Baignade, écosystèmes et Interactions**. Nous nous concentrons cette année sur les impacts de la baignade sur les écosystèmes aquatiques, par conséquent la définition du mot **Impact** sera nécessaire dans l'appréhension de l'analyse future.

Plusieurs définitions du mot **baignade** peuvent exister sur Internet ou encore dans le dictionnaire :

- « *La notion de baignade désigne toutes les formes de natation, ou d'ablutions, pratiquée dans le milieu naturel, ou dans un bain ou un bassin. Elle peut être pratiquée en tant que telle ou de manière associée à d'autres activités (randonnée, navigation de plaisance, canoë, pêche, kayak, aviron, etc.)* » (Wikipédia ; consulté en 2022).
- « *Action de se baigner, de s'immerger dans l'eau, généralement en eau courante (rivière, etc.) et pour son plaisir. Par extension, endroit d'une rivière aménagé de façon sommaire pour la baignade.* » » (Larousedictionnaire.fr, site consulté en mars 2022)

La **baignade** est donc associée à une idée de loisirs mais aussi à d'autres activités entraînant la baignade indirectement. Par conséquent, les activités, majoritairement liées au tourisme, ont des impacts sur les écosystèmes.

Le mot **impact** peut avoir plusieurs définitions sur internet comme dans le dictionnaire, le sens premier de ce mot est « *Fait pour un corps, un projectile de venir en frapper un autre ; choc* » mais qui ici prend plus son sens dans la définition suivante :

- « *Effet produit par quelque chose ; contrecoup, influence* » (Larousedictionnaire.fr, site consulté en mars 2022)

Par conséquent ici, lorsque le mot impact sera employé, dans le sens de l'influence, l'effet produit de la baignade humaine sur les écosystèmes fluviaux et leurs habitants, tout en gardant en tête cette notion de « choc » qui peut être plus imagée dans ce cas de figure pour ces écosystèmes.

Plusieurs définitions d'**écosystèmes** sont possibles selon les différentes sources et sont plus ou moins complètes et fournies.

Un écosystème « *désigne un ensemble dynamique où des organismes vivants interagissent entre eux et avec leur milieu. Plus concrètement, un écosystème se*

compose essentiellement de deux éléments. Un environnement, avec ses caractéristiques physiques telles que l'eau, le climat, la lumière, la matière organique : c'est le biotope. Et d'autre part la biocénose, qui englobe les êtres vivants spécifiques à ce milieu comme les plantes, les animaux et les micro-organismes. Certains écosystèmes sont gigantesques comme les océans ou la forêt amazonienne, mais une simple flaque d'eau renferme elle aussi un véritable petit monde. Les écosystèmes se caractérisent par l'interaction entre une flore et une faune spécifique. » (Consevation-nature.fr, site consulté en 2022).

Un écosystème, est un système fonctionnel qui inclut une communauté d'êtres vivants et leur environnement. Un écosystème est une unité relativement stable et intégrée qui repose sur des organismes photosynthétiques. Il est considéré comme une sorte d'entité collective, faite d'individus transitoires. Une fois son équilibre atteint, il peut durer des siècles sans se modifier (sauf en cas d'accidents naturels majeurs ou d'intervention violentes de l'Homme) (NEDJAI, 2022).

L'écosystème aquatique est le résultat d'un équilibre entre un milieu naturel et les espèces animales et végétales qui y vivent.

Un écosystème aquatique se décompose en 4 parties : les habitats (substrats variables selon les pentes, vitesses de courants, etc..) ; les populations végétales ; les populations animales ainsi que les composantes physico-chimiques de ce milieu. Pour résumer, l'écosystème aquatique, comme tout type d'écosystème, se constitue d'une composante biotique et abiotique. Ils sont influencés par les même types de composantes : biotique avec les activités humaines notamment (comme la baignade par exemple ou encore activités professionnelles). D'autres influences abiotiques comme le climat (températures, ensoleillement, etc..) ou la géologie sous-jacente.

Les cours d'eau sont donc des écosystèmes ouverts, c'est-à-dire largement dépendants des écosystèmes terrestres qui les bordent, et ils sont aussi des écosystèmes hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils ont pour source principale d'énergie la matière organique produite ailleurs, cette matière organique exogène étant constituée de débris apportés par la végétation terrestre.

Ces définitions nous démontrent les variations possibles de chaque compartiment lors de la baignade, qui peut être perçue comme une intrusion, perturbation du milieu aquatique.

Le mot **interaction** maintenant, partie intégrante du sujet : selon le dictionnaire *Larousse*, une interaction est un nom féminin, signifiant « *action réciproque, interdépendance* ». Cela induit donc que lors de la pratique de la baignade, l'Homme produit donc un effet sur les écosystèmes dans lesquels il se baigne mais vice-versa. Les écosystèmes ont aussi une action sur l'Homme au cours de la baignade.

Les mots les plus importants du sujet maintenant décrits, la suite de ce rapport fera part de la méthodologie de la recherche d'articles et de données, sur la base de ces mots clés. D'autres mots seront bien évidemment employés pour ces recherches, ayant déjà été définis dans le rapport de la première phase de travail que vous êtes invité à consulter pour plus de précision.

Quant à ce sujet de précision, dans ce rapport, lorsque le terme Homme avec un « H » sera employé, on considèrera l'intégralité des genres de l'espèce humaine : homme, femme, non binaire, il s'agira du sens universel de l'Homme.

3) Recherches Bibliographiques : Méthodologie et état des lieux

La phase de recherche bibliographique constitue la majeure partie du temps de ce travail de fin d'étude. On peut catégoriser les recherches en plusieurs grandes parties :

- Les recherches bibliographiques littéraires : ouvrages scientifiques, revues, sous formes physique, dans des établissements bibliothécaires par exemple.
- Les recherches Sitographiques : articles scientifiques publiés en ligne, sites pour la biodiversité, etc...
- Autres types de recherches : témoignages, aiguillage par connaissances vers des sources de données, etc...

Parmi ces grandes catégories, nous veillerons à toujours vérifier la véracité des informations collectées, car les témoignages n'ont pas de valeur scientifiques dans un rapport. Ils n'ont pas fait l'objet du protocole des sociologues pour qu'ils soient considérés comme propos scientifiques ou tout aussi véritables. Ces derniers peuvent toutefois influencer notre méthode de recherche et nous donner des indices sur l'impact de l'humain sur les écosystèmes aquatiques lors de la baignade : pourquoi le faisaient-ils ? Pourquoi ne le font-ils plus aujourd'hui ?

Nous verrons par la suite toute la méthodologie utilisée dans la recherche de ces données et des constats réalisés suite à ces recherches.

3.1) Recherches littéraires

Ces recherches ont été réalisées parmi les premières, l'université et le département Aménagement de l'Environnement ayant à disposition de nombreux ouvrages. Une seconde bibliothèque a été consultée dans le département de mon domicile à savoir l'Aisne (02).

Dans les deux cas, la démarche suivie pour la recherche de données intéressantes fut identique :

- Consultation de la personne qualifiée responsable de la bibliothèque
- Consultation, du moteur de recherche sur l'Environnement Numérique de Travail de l'Université de Tours.

La bibliothèque consultée dans l'Aisne ne possédait pas de moteur de recherche informatisé, par conséquent, seul l'entretien avec la personne responsable était possible.

Pour l'utilisation du moteur de recherche de la bibliothèque de l'Université de Tours, la méthode sera explicitée dans la partie de recherche des articles en ligne.

Dans les deux cas, aucun n'article, livre, revue scientifique ne traitait à ce jour (dernière consultation en septembre 2022) les impacts de la baignade sur les écosystèmes aquatiques.

Par conséquent, la démarche de recherche se poursuit avec une recherche sur internet et avec différents moteurs de recherches. Ces plateformes en lignes regroupent aujourd'hui bien plus d'informations, et ce à toutes les échelles, internationales, nationales, régionales.

3.2) Recherches Bibliographiques et sitographiques

3.2.1) La démarche suivie

Le protocole de recherche de données sur internet va passer par plusieurs phases :

- Les moteurs de recherches
- Les mots clés
- La sélection des articles

Tout d'abord le choix du moteur de recherche est important. Il est vrai que selon les plateformes, le nombre de références associées à un ou plusieurs mots clés peuvent différer. Par conséquent dans le cadre de notre étude, les moteurs de recherche sélectionnés ont été Google, GoogleScholar, SCINAPSE, CAIRN. Ces quatre derniers ont été sélectionnés pour plusieurs raisons, leur pertinence et leur réputation comme GoogleScholar, spécialisé dans les références universitaires et scientifiques. Google a aussi été testé pour son aspect généraliste. CAIRN sera également pris en considération de par son approche anthropocentrée, basée sur les concepts de sciences humaines et sociales. Cette approche peut être intéressante afin d'observer si l'Homme perçoit les dangers et les impacts qu'il pourrait causer sur les milieux aquatiques qu'il emprunte aux habitants de ces derniers le temps d'une baignade. SCINAPSE enfin, conseillée par Flavie Olejarz, étudiante en école de Kinésithérapeute en Belgique. Cette base de données est une plateforme où les articles sont majoritairement rédigés en anglais mais possède une portée internationale et une certaine rigueur scientifique. Il sera donc intéressant d'observer si des articles seront renseignés dans ce moteur de recherche.

Puis une fois ces moteurs de recherches sélectionnés, nous allons rentrer ces mots clés dans la barre de recherche et ensuite noter le nombre de références trouvées par la plateforme. Attention, le nombre de références trouvées ne témoignera en aucun cas de la pertinence de ces dernières, il faudra donc procéder à une sélection des potentiels articles intéressants à ce sujet. Quant aux mots clés, ils ont été déterminés en partie lors du travail de l'année précédente à savoir :

« *Baignade en eau douce, Interaction baignade et écosystème, Baignade et poisson quel impact, Impact micropolluant baignade poisson, Impact de la baignade sur le Castor, Impact Homme sur Castor, Impact of human bath on fish, etc...* ».

Tous ces mots clés ont été agencés de manière différente, avec des mots de liaison du type « et », « sur », « avec », « de la/ du/ de l' », aux pluriels et singuliers.

Troisième étape de la démarche suivie : la sélection par pertinence des articles.

Elle se déroule comme tel : parmi tous les articles/références trouvés sur un moteur de recherche, on regarde en partant de la première référence (censée être la plus en adéquation avec nos mots clés), les articles, à leurs titres, afin d'identifier la pertinence de ces derniers ou non. Si l'observation de ces titres d'articles s'avère pertinente à la fin de la première page des références trouvées, il faut continuer avec une deuxième page. Sinon, la démarche de sélection s'arrête à la première page du moteur de recherche. Ensuite sur cette première page, parmi les titres d'articles intéressants, une lecture brève et l'observation de la table des matières de cet article sera réalisée. Si dans cette table des matières, un des titres de chapitre/résultat adhère totalement au sujet (ce qui concerne les milieux aquatiques et les résultats de tel test sur la qualité des eaux par exemple), il faut regarder le contenu de ce chapitre. Si le contenu est assez intéressant pour traiter du sujet et pour venir appuyer notre démarche de collecte des informations sur l'impact de la baignade humaine sur les milieux

aquatiques, l'article est sélectionné. Ces articles seront donc exploités, plus ou moins selon le degré de pertinence de chacun pour cibler et recenser les impacts potentiels d'une baignade l'Homme sur les écosystèmes aquatiques fluviaux.

3.2.2) Synthèse

Pour synthétiser toutes nos recherches et notre démarche explicitée ci-dessus, nous obtenons le tableau suivant :

Tableau 1 : Méthode employée pour la recherche d'articles

Mots clés	Type de moteur de recherche/platforme	Références trouvées (au 20/12/2022)	Articles en lien avec le sujet
Baignade en eau douce	Google Scholar	19 500	1 potentiel
	CAIRN	277	0
Interaction baignade et écosystème	Google Scholar	3590	2 potentiels
	CAIRN	76	0
Baignade et poisson quel impact	Google Scholar	5860	1 potentiel
	Google	3.7M	1 potentiel
	CAIRN	94	0
Impact micropolluant baignade poisson	Google Scholar	510	0
	CAIRN	5	0
Impact de la baignade sur le Castor	Google Scholar	589	0
	CAIRN	5	0
Impact Homme sur Castor	Google Scholar	6590	1 potentiel
Nager avec le castor	Google	888 000	1 site
Nuisances baignade de l'Homme	Google Scholar	2750	0
Impact of human bath on fish	SCINAPSE	11 000	1 potentiel
	Google Scholar	212 000	0
	CAIRN	11	0
Crèmes solaires en eau douce	Google Scholar	7010	1 potentiel
	Google	531 000	0
	CAIRN	107	0

Comme mentionné précédemment, cette recherche par mot clés a elle aussi été complétée d'une organisation différente de ces mêmes mots clés, dans l'ordre, le désordre, avec ou sans mots de liaison. Cependant nous pourrions déduire plusieurs faits suite à ces recherches, notamment de certains problèmes recensés.

3.3) Problèmes rencontrés

Dans cet encart, nous traiterons une analyse de la recherche bibliographique et littéraire. Pour les deux cas, le constat semble similaire.

3.3.1) Nombres d'articles scientifiques sur le sujet

En analysant correctement nos recherches, on s'aperçoit que sur des gros moteurs de recherches comme Google, on peut trouver un nombre de référence important pour des mots clés comme « impact de la baignade sur les poissons » ou « Baignade et poissons, quel impact », qui revient à une recherche similaire, comme expliquée dans le paragraphe précédent. En revanche, la quasi-totalité des articles trouvés n'avaient pas de rapport concret avec le sujet de la baignade humaine interagissant avec les écosystèmes aquatiques. Manque de Rigueur scientifique, faible nombre d'article intéressant (9 références, une est redondante, pouvant avoir une relation directe ou par déduction avec notre sujet) sont au tableau. En effet, il est déjà rare d'observer la présence de tous les mots clés entrés dans l'article proposé par la plateforme : nous pouvons nous retrouver avec un article traitant sur la qualité des eaux de baignade en piscine ou même en lac mais on observe souvent un rapport de l'Homme à l'Homme. C'est-à-dire que la majeure partie des articles trouvés en rapport avec les eaux de baignade traitent des seuils bactériologiques, des cyanobactéries en particulier : la dégradation de la qualité de l'eau pour l'Homme et non pour les écosystèmes aquatiques et leur habitants permanents.

C'est ce problème majeur qui aura été identifié à travers ces recherches, malgré parfois des articles pertinents que l'on pourrait analyser pour essayer d'en déduire des impacts, par analogie.

3.3.2) Littérature bibliographique

On entend par « littérature bibliographique », les ouvrages physiques comme des livres, encyclopédie, revues scientifique. Et dans la bibliothèque de l'université de Tours, après avoir demandé au personnel qualifié de la bibliothèque, aucun ouvrage de ce type ne peut être trouvé, de même pour la Bibliothèque située dans l'Aisne, à Hirson (02). Le choix premier a été de demander aux personnes agréées à donner des renseignements sur la présence de ce genre d'ouvrage, avant de vouloir rechercher sur les moteurs de recherche propres aux bibliothèques. Mais n'ayant aucune connaissance d'ouvrages de ce genre, il fut donc inutile de chercher sur le moteur de recherche de la bibliothèque.

Par conséquent, cela montre qu'aucun article, a fortiori n'a encore été publié physiquement sur le sujet. Il devient donc compliqué d'obtenir des données sur la quantification et la qualification des impacts de la baignade humaine sur les habitants des écosystèmes aquatiques.

Il devient donc nécessaire de se questionner sur ce sujet et d'ouvrir une piste de réflexion autre que celle envisagée au départ. Elle n'en demeurera pas moins pertinente et nous montrera même d'autres résultats intéressants.

3.4) Réorientation du sujet

Nous avons pu observer que la faible présence d'articles scientifiques à ce sujet nous a permis de réfléchir sur ce dernier : pourquoi ne pas essayer de changer notre point de vue anthropocentré par un point de vue autre, plus centré sur les habitants des cours d'eau impactés par l'Homme lorsque ce dernier s'immisce « chez eux ». C'est pourquoi, malgré le peu de références bibliographique trouvées, il serait intéressant de traiter le sujet en se focalisant sur des taxons : espèces précises ou grande classe taxonomique ?

4) Focus sur deux taxons : le castor et la faune piscicole

4.1) Inversion du point de vue : vision de la menace humaine par des espèces cibles

Dans le but d'avoir une cohérence avec le travail de Margaux Glasson, le castor a été choisi, puisqu'il est un animal vivant sur les deux écosystèmes, terrestre et aquatique. Il en devient donc une espèce charnière sur le comportement qu'il peut adopter, ce qu'il peut subir et vivre lorsqu'il observe des êtres humains se baigner non loin de son terrier et de son lieu d'alimentation par exemple. Il est nécessaire également d'analyser le « ressenti » des habitants purement aquatiques, c'est-à-dire la faune piscicole : comment peuvent-ils percevoir l'intrusion de l'Homme dans leurs propriétés ? Tirer-ils des bénéfices ou sont-ils désavantagés par cette espèce humaine leur empruntant leur milieu à des fins récréatives ?

Cette approche désaxée sera traitée dans les paragraphes à venir et sera appuyée de quelques citations/références tirés des articles trouvés.

4.2) Le castor : conséquence d'un empiètement de l'être humain sur son habitat

La vision de l'Homme par le castor sera le point de vue principal au cours de cette partie. De par les connaissances sur le castor, son cycle de vie, ses comportements, cette focalisation sur cette espèce permettra de recenser les problématiques qu'un castor peut éprouver face à l'apparition d'un être humain devant lui.

4.2.1) Nager avec l'être humain

Ces mots clés ont été rentrés dans la plateforme Google « Nager avec le castor ». Le site internet du *Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF)* nous fournit de nombreuses informations quant au comportement que peut adopter un castor face à des humains se baignant. Par déduction, l'article rédigé sur ce site nous permet également, en tant qu'être humain, d'apprendre le comportement à adopter lorsque l'on s'introduit sur le terrain de vie du castor.

Le point de vue anthropocentré du site sur « *Comment devriez-vous vous comporter si vous rencontrez un castor dans l'eau ?* » (CSCF, consulté le 12/12/22) nous permet par inversion du point de vue de se demander « Que ferions-nous à la place d'un castor en cas d'approche d'un humain lors de nos déplacements, sortie du

terrier/hutte ? ». Comme vous pouvez l'imaginer, personne ne se sent rassuré et en confiance lorsqu'une ou plusieurs personnes s'introduisent dans notre propriété, par conséquent, nous êtres humains serions sur nos gardes.

Tout comme le castor qui lui peut « *se diriger souvent vers vous, pour voir ce qui se trouve devant eux dans l'eau* » (CSCF, 2022) voire même ces derniers peuvent « *parfois, frapper l'eau avec la queue et plonger vers le bas. C'est un comportement très naturel pour avertir les membres de la famille ou pour effrayer la menace possible.* » (CSCF, 2022).

Ce mécanisme est une alerte classique, mais cela montre qu'un castor ne se sent pas en sécurité face à l'approche d'un Homme, il le perçoit donc comme un prédateur vis-à-vis également de sa progéniture. Par conséquent, il en devient perturbé et fuit la plupart du temps, l'empêchant de réaliser ce qu'il voulait faire. Si ce dernier retourne à son terrier et que les êtres humains le suivent (par curiosité la plupart du temps), le niveau de menace devient alors plus élevé : par analogie, c'est comme si un être humain voyait se diriger d'autres personnes inconnus vers sa maison où se trouve ses enfants en bas âge : il va donc les empêcher d'entrer, par simple instinct de protection de sa progéniture et par territorialité.

De ce fait, « *Si un castor en sort à ce moment précis, un accident peut se produire. En 2017, il y a eu deux incidents entre un castor et deux nageurs à Schaffhouse* » (CSCF, 2022) en Suisse. En effet, l'Homme a peut-être perdu cet instinct de défense, mais le castor reste un animal sauvage, et « *comme tous les autres animaux sauvages : s'ils se sentent menacés, ils peuvent se défendre.* » Cette défense paraît alors totalement légitime si l'Homme se met à la place du castor, il engendre une perturbation première du castor par dérangement : un Homme n'a pas comme habitat celui d'un castor. Une seconde menace, s'il le suit ou tombe nez à nez avec ce dernier en face de son terrier. « *Les castors sont habitués à la présence humaine dans les zones de baignade. Ils savent que l'homme n'est pas un danger pour eux. A condition que nous, les humains, nous nous comportions correctement.* » (CSCF, 2022).

Cette phrase résume parfaitement l'impact de l'Homme sur le castor. Ce dernier est tolérant, il s'habitue petit à petit à la présence de l'Homme sur les zones de baignade, mais si un des baigneurs dérive du comportement à adopter, la perception de l'Homme par le castor change, comme l'explique cet article sur le site du CSCF. Cet article, traitant le sujet pour les zones de baignade en Suisse, peut tout à fait s'appliquer aux zones de baignade en France et particulièrement sur la Loire où le castor est bien présent en quantité (voir figure 2 après). Nous savons désormais que l'Homme représente un danger selon la perception du castor, mais nous allons, dans la partie suivante, nous intéresser d'avantage aux perturbations qu'un castor peut éprouver, lors d'autres situations que celles vues précédemment. Son alimentation et la protection de sa progéniture seront les perturbations majeures de son cycle de vie lors de la baignade humaine.

4.2.2) Synthèse des dangers de la baignade sur le cycle de vie du castor

Afin de visualiser et de mentionner les dangers de la baignade humaine sur le castor, le cycle de vie présenté ci-dessous, issu du site internet du Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parc de Québec, nous montre que le castor passe la majeure partie de l'année à l'élevage des jeunes, qui naissent à la mi-juin. Par conséquent, deux grandes parties vont être étudiées ici, à savoir l'élevage des jeunes, qui passe donc par leur alimentation, ainsi que leur protection par les parents. On s'aperçoit qu'en naissant à la mi-juin, cela correspond probablement aux premières grosses affluences

des baigneurs à proximité de leurs habitations. Il sera donc intéressant d'en déduire les perturbations ressenties par le castor durant la période Juin-Juillet-Août, période estivale et potentiellement la plus perturbatrice pour eux.

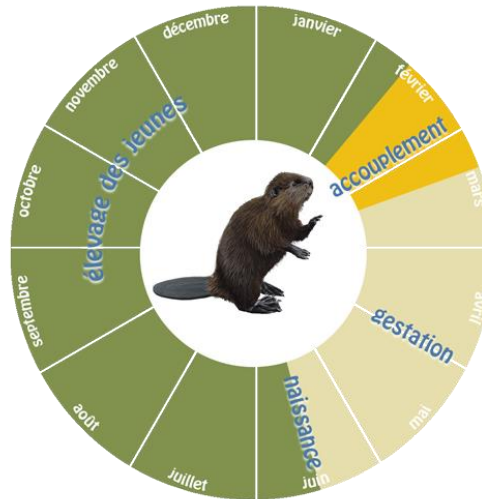


Figure 1 : Cycle de vie du Castor Européen (Source : MFPP.gouv)

De plus, comme le témoigne l'OFB, le castor est majoritairement présent sur les rives de Loire (figure 2) et du Rhône, fleuves susceptibles d'accueillir un nombre important de baigneurs et de zones de baignade. N'ayant pas de réels articles scientifiques quantifiant et qualifiant les effets de la baignade sur les castors, nous pouvons toutefois émettre des hypothèses quant à la perturbation de ces mammifères semi-aquatique par l'être humain.

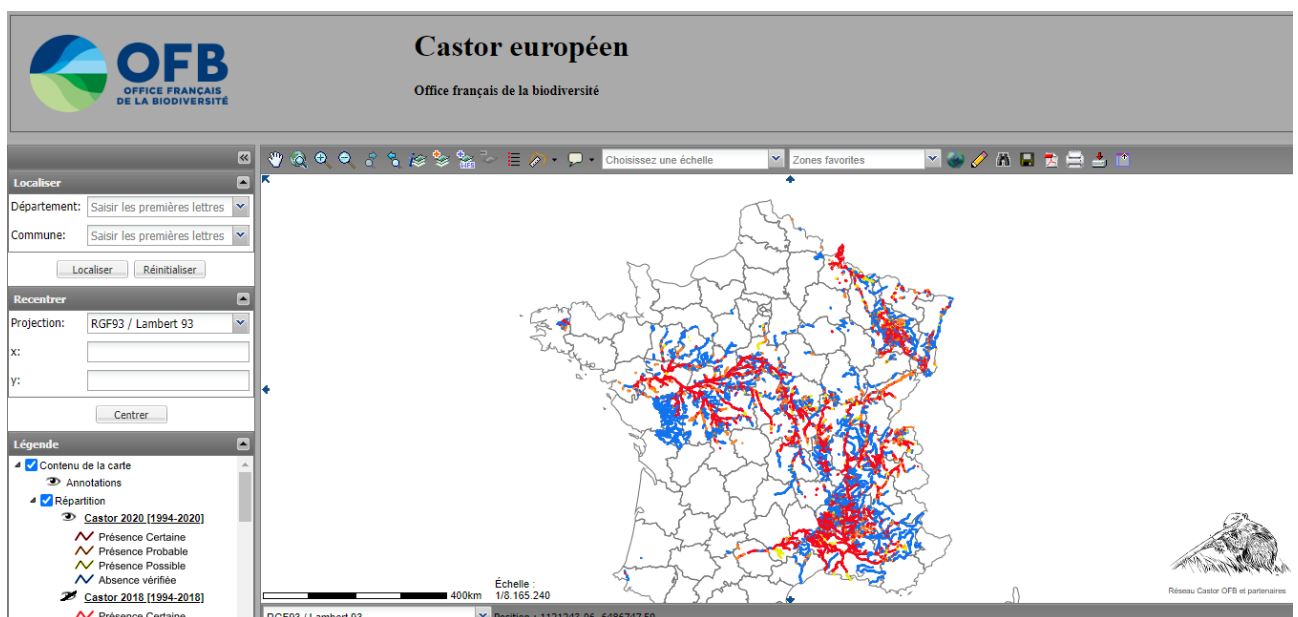


Figure 2 : Capture d'écran de la répartition du Castor en France (source : OFB, 2022)

Voici donc deux étapes du cycle de vie du castor qui pourrait être amenées à être perturbée par la baignade humaine :

- **S'alimenter en présence d'humain ET Protéger sa progéniture**

Le castor européen (*Castor fiber*) se nourrit principalement de fibres végétales, et d'écorce d'arbres se trouvant sur les berges des cours d'eau. L'Homme pouvant parfois nager et s'éloigner de la zone principale de baignade peut se retrouver face à un castor sur une rive en fin de journée à l'été : le castor peut alors se sentir bloqué par l'être humain, l'empêchant de rejoindre sa hutte, généralement de l'autre côté du rivage et peut employer alors le système d'alerte vu précédemment. On peut alors se poser la question du comportement que pourrait avoir ce mammifère aquatique si plusieurs de ses jeunes seraient à proximité de l'humain.

Les jeunes étant en plein apprentissage, ils peuvent être les premières victimes, surtout si le baigneur est accompagné de son chien. *« Contrairement aux humains, les chiens représentent un grand danger pour les jeunes castors. Les jeunes castors sont régulièrement tués par des chiens. Les jeunes castors naissent entre avril et juin et quittent le terrier à l'âge d'un mois pour la première fois. Ils pèsent alors 1 à 2 kg et dépendent de la protection de leurs parents. Avec les parents, ils partent à la recherche de nourriture et mangent fréquemment dans un endroit calme et protégé sur la rive.*

Un chien qui descend le long du remblai et saute dans l'eau, signifie le niveau de danger le plus élevé pour les castors - ils passent à l'attaque. Il y a eu plusieurs fois des incidents graves entre chiens et castors en Suisse. Même les chiens de la taille d'un Labrador ne font pas le poids contre un castor adulte et ils finissent souvent chez le vétérinaire. » (CSCF, 2022).

Ce site nous montre clairement un impact indirect de l'Homme sur ce dernier : le chien étant l'animal de compagnie majoritaire des humains, il est donc fréquent d'observer une baignade entre un maître et son chien.

C'est aussi pour cela que le maître du chien doit être sensibilisé à cette perturbation possible et se doit de tenir son chien en laisse sur la période de dépendance des juvéniles de castors. De plus, si le maître et le chien se baladent en marchant dans le cours d'eau, ils peuvent « prendre au piège » le castor, qui lui en été, apprécie les *« prairies proches de la rive pour manger de l'herbe. Il en résulte des couloirs typiques, situés le plus souvent perpendiculairement à la rive. »* comme le montre la photographie issue du site de la CSCF en figure 3 ci-dessous.



Figure 3 : Les traces de « pâturage » du castor sont témoins de ses interactions entre milieux aquatiques et milieux terrestres. (Source : CSCF.gouv, site consulté le 10/12/2022)

Il est donc naturel que ce mammifère soit désorienté s'il se fait surprendre par un être humain, seul ou avec son chien, en plein repas. Ces nuisances, répétitives pourrait-on l'imaginer ? – provoquer une crainte plus présente chez le castor pour se nourrir et donc engendrer une alimentation moins correcte que s'il n'était pas perturbé.

Certes le castor a tendance à s'alimenter en fin de journée, le soleil descendant, mais il est également fréquent que des groupes de personnes restent flâner sur les rives des cours d'eau tard le soir pour avoir un pique-nique, un repas. Ces personnes peuvent alors, de par des baignades tardives (souvent appréciées lors de fortes chaleurs) ou par des moments de convivialité et de réunions, perturber inconsciemment le rythme de vie du castor et le forcer à aller s'alimenter plus loin. Ces hypothèses sont plausibles au vu des recherches effectuées.

Si l'on résume cette partie, nous nous sommes aperçus que l'être humain, pensant se divertir, se rafraîchir à la saison estivale peut être la source directe ou indirecte de perturbations du rythme de vie et du comportement du castor. Les sorties baignades en bord de Loire pourraient donc constituer un danger pour ces habitants des écosystèmes aquatiques, d'autant plus si ces sorties sont accompagnées des animaux de compagnies de ces êtres humains. L'éducation au comportement à adopter vis-à-vis des occupants principaux des cours d'eaux semblerait donc la voie prioritaire pour permettre une « cohabitation » temporaire de l'Homme avec le castor, et non pas du castor avec l'Homme.

Nous pouvons maintenant nous interroger sur les mêmes problématiques pour la faune piscicole.

4.3) Généralités de la faune et flore aquatique : impact des nanoparticules contenues dans les huiles solaires et les textiles.

Prenons une journée type d'un évènement de baignade : plein été, soleil radieux avec une trentaine de degré. Une zone de baignade est aménagée sur un cours d'eau X ou Y, délimitée par des bouées, surveillée, etc... Ces zones de baignades sont majoritairement placées dans des zones lenticules avec une certaine profondeur. La majorité des baigneurs, adultes comme enfants, s'appliquent des protections solaires types huiles ou crèmes solaires avant d'aller se baigner. Revenant de baignade, la crème solaire présente sur leur peau auparavant est majoritairement partie dans le milieu. Ces huiles, aux composés multiples arrivent donc à proximité de la faune et flore aquatique : algues microscopique, phytoplancton, zooplancton, crustacés et poissons.

Cependant, de nombreuses molécules peuvent être toxiques pour l'environnement, notamment les nanoparticules, de plastiques, d'argent, de titanes et bien d'autres encore. Nous pouvons nous poser la question du devenir de ces nanoparticules introduites sur le lieu de vie de la faune et flore fluviale.

La rédaction sera appuyée prochainement de deux articles scientifiques étudiant respectivement l'impact des nanoparticules de polystyrène sur le métabolisme lipidique des poissons ayant ingérés ces nanoparticules et sur l'impact des nanoparticules d'Argent sur la famille des Gammaridés. Nous concentrerons donc notre attention sur la pollution chimique des eaux due à la baignade humaine. A noter que ces nanoparticules de polystyrène et d'Argent ne sont pas uniquement présentes dans les huiles solaires mais peuvent être retrouvées dans de nombreux produits de cosmétiques et d'hygiène, qui sont eux aussi couramment utilisés et donc susceptibles d'être présents sur les lieux de baignade.

4.3.1) Les nanoparticules de polystyrène, impact sur des vertébrés aquatiques par la chaîne trophique

Les nanoparticules de polystyrène font partie de la grande catégorie des micro/nano plastiques. Ces derniers sont omniprésents, dans l'eau des bouteilles d'eau, les habits, l'alimentation, les produits d'hygiène et bien d'autres encore. Cette catégorie de molécules fait l'objet de nombreuses recherches sur leur toxicité et leur écotoxicité, c'est-à-dire leur potentiel à causer des dommages sur des êtres vivants d'un écosystème. Une étude (Cedervall et al., 2012) s'intéresse à l'accumulation de ces nanoparticules de polystyrène au sein d'une chaîne trophique qui est la suivante : algues vertes (*Scenedesmus* sp.), Daphnies (*Daphnia magna*), poisson (*Carassius carassius*) en tant que « top-consumer » ou plus gros consommateur. Le but étant de savoir si les nanoparticules sont transmises et accumulées dans l'organisme des poissons, ici une variété de carpe, par le biais de leur nourriture.

Méthode :

Pour plus de détails, veuillez consulter les travaux de Cedervall et al., 2012 ; mais une culture témoin d'algue verte sera élevée pendant 24h (image C figure 4) tandis qu'une culture d'algue verte en présence de cette nanoparticule sera élevée d'un autre côté (image A). Afin de visualiser les résultats de la contamination des algues par les nanoparticules, ces dernières ont été marquées par une fluorescence. Puis, à la fin de ces 24h, les algues test et témoins ont été observées, après avoir été nettoyées, par une certaine imagerie : comme on peut le voir sur la figure 4, les algues témoins ne sont pas visibles à l'imagerie (image D) alors qu'une fluorescence nette des algues test est visible sur l'image B. Puis ces mêmes algues, ont été fournies respectivement à des daphnies témoins (algues « saine » ou témoins) et à des daphnies test (algues ayant été exposées au nanoparticules). Au bout de 24h également, les daphnies de chaque lot sont nettoyées à l'eau claire et sont analysées par une méthode d'imagerie afin d'observer ou non la présence de fluorescence à l'intérieur d'elles, qui serait témoins d'une ingestion des nanoparticules de polystyrène. Comme le montre l'image E et F de la Figure 4, les daphnies sont bien fluorescentes en comparaison des daphnies témoins, nourries avec les algues n'ayant pas été exposées au nanoparticules, en image G et H. La fluorescence faible visible en G et H est une fluorescence dite naturelle.

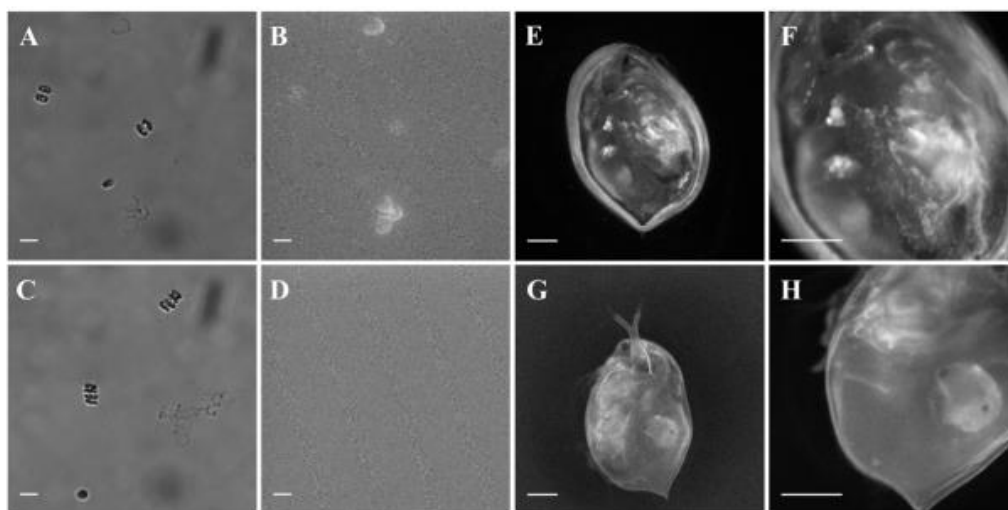


Figure 4 : Images en fluorescence et en champ lumineux des algues d'essai et de contrôle et des Daphnies (Source : Cedervall et al., 2012)

Cette étape nous montre une première chose : les plantes et le zooplancton sont respectivement directement et indirectement impactés par la présence de nanoparticules de polystyrène dans le milieu. Par conséquent, avant même de se demander si ces nanoparticules ont un impact sur la faune piscicole, on apprend que ces nanoparticules passent par le biais des algues et du zooplancton au sein de l'écosystème fluvial qu'est le cours d'eau.

Dans la suite de cette expérience explicitée dans cet article, les daphnies test et témoins seront donc données, en quantité limitée, à deux groupes de poissons, témoins (daphnies non contaminées) et test (daphnies comportant les nanoparticules). Ces poissons seront nourris pendant plus d'un mois avec les mêmes quantités, toujours en facteur limitant afin qu'il puisse éprouver la faim pour faire fonctionner leur métabolisme et mobiliser leurs réserves énergétiques. Les carassins, comme d'autres cyprinidés, se nourrissent de zooplancton comme les daphnies, l'expérience visera donc à savoir si l'apparition des nanoparticules de plastique comme le polystyrène peut avoir un effet indésirable sur les organismes des poissons.

Trois paramètres physiologiques seront suivis tout au long de l'expérience à savoir : le rapport triglycérides/cholestérol dans le sérum du sang du carassin, l'évolution de poids entre deux prises de mesures et le taux de cholestérol dans le foie et dans les muscles de ces derniers. Ces informations seront importantes pour en déduire l'efficacité du métabolisme des lipides des carassins test et témoins. Rappelons ici que le métabolisme des lipides est un processus très important chez tous les êtres vivants animaux, puisqu'il permet, via les triglycérides, de produire l'énergie nécessaire au bon fonctionnement des cellules. Ce métabolisme est explicité en Annexe 1.

Le suivi du poids permettra de savoir si le poisson utilise ses réserves énergétiques, puisqu'il sera sous-nourri, il devra mobiliser ses réserves lipidiques, donc faire travailler son métabolisme pour rester en bonne santé.

Résultats :

Voici en Figure 5, les résultats obtenus pour ces paramètres suivis :

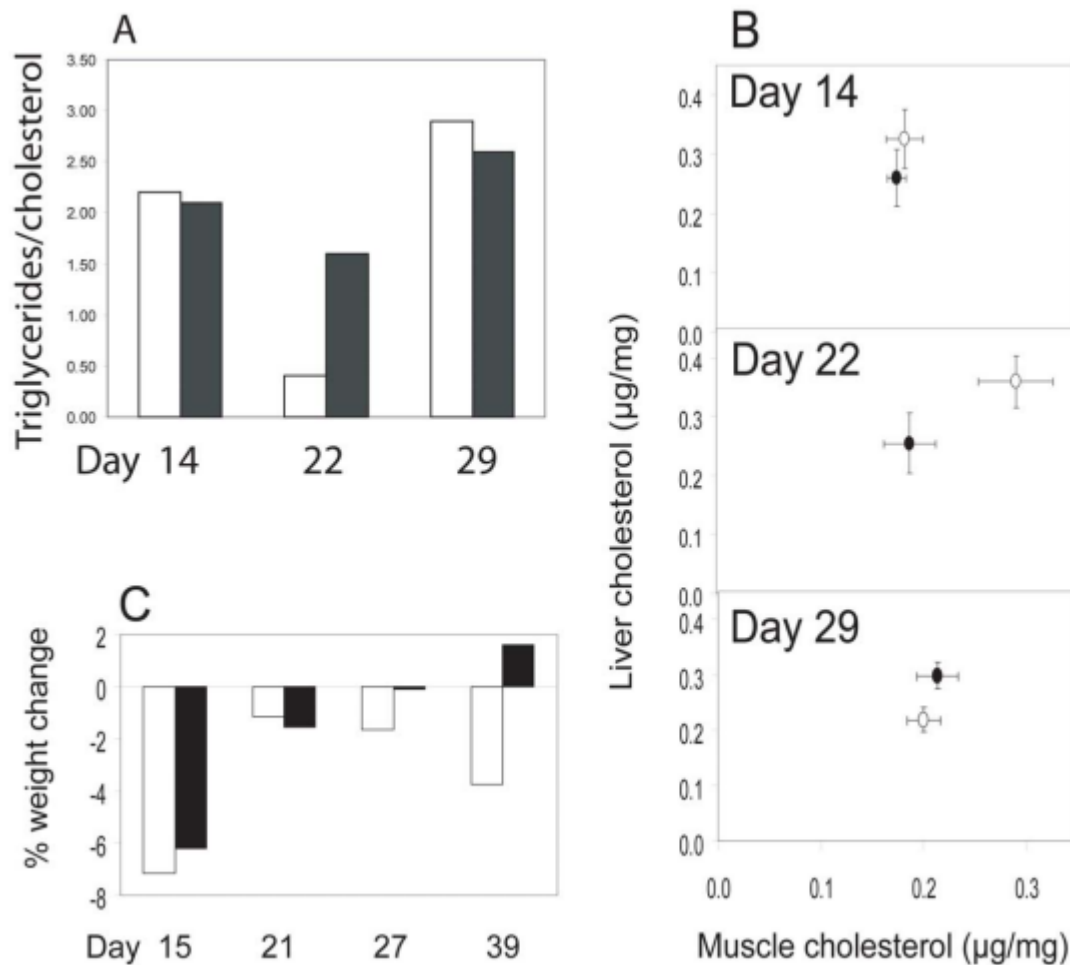


Figure 5 : Evolution de trois paramètres A : rapport triglycérides/cholestérol ; B : Taux de cholestérol dans les muscles et dans le foie des Carassins au jour 14/22/29 après la première alimentation, C : Evolution du poids des poissons au fil du temps.
(Source : Cedervall et al. 2012)

Selon Cedervall et al., (2012), « Une perte de poids importante a été observée tant chez le groupe témoin que chez le groupe témoin entre la première alimentation et le 15e jour de l'expérience (figure 5C). Entre les jours 15 et 21, la perte de poids a ralenti pour les deux groupes. Après cela, le groupe témoin a continué à perdre du poids alors que le poisson d'essai a effectivement pris du poids à la fin de l'expérience. Une explication probable est qu'au début de l'expérience, les poissons témoins et les poissons d'essai utilisaient les mêmes réserves d'énergie, ce qui a entraîné une perte de poids.

Plus tard, à partir du 15e jour, les poissons témoins ont continué d'utiliser les réserves d'énergie et ont donc continué à perdre du poids. Cependant, les poissons d'essai ont été empêchés d'utiliser les réserves d'énergie en raison d'une accumulation de nanoparticules. »

Les nanoparticules pourraient donc influencer le métabolisme des lipides. Pour ces paramètres, « Deux différences distinctes ont été observées entre le groupe témoin et le groupe test. Les rapports triglycérides/cholestérol dans le sérum sanguin étaient semblables après 14 jours (Figure 5A). Après 22 jours, le rapport était très faible chez

les poissons témoins, alors qu'il n'y avait qu'une légère diminution chez les poissons test.

Cependant, après 22 jours, les concentrations de cholestérol dans le groupe témoin étaient élevées dans les muscles et le foie (Figure 5B). Après 29 jours, la distribution du cholestérol était de nouveau semblable. » Par conséquent, on voit que des changements s'opèrent dans le métabolisme respectif des carassins testés et témoins. Un paramètre, phénotypique lui, sera donc témoin et arbitre de cette modification ou non du métabolisme lipidique par les nanoparticules : le temps d'alimentation. En effet, sur cette expérience, le comportement des carassins a été étudié : ils ont été chronométrés sur la durée d'alimentation, pour consommer 95% des daphnies fournies. Voici le résultat en figure 6 :

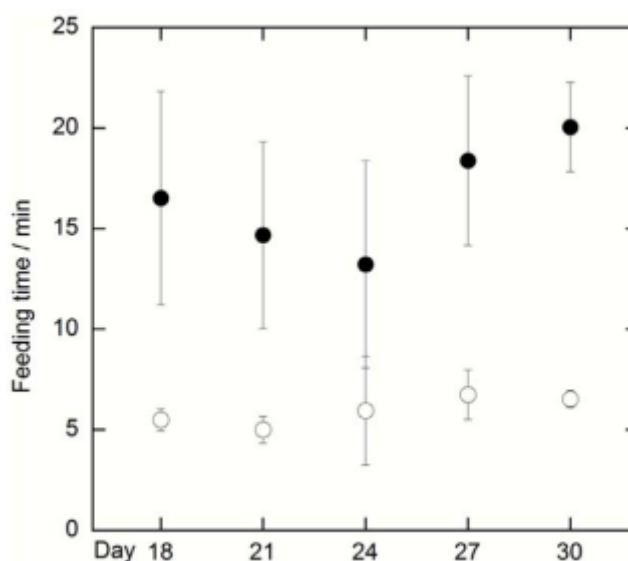


Figure 6 : Temps moyen d'alimentation nécessaire au carassin pour réduire la nourriture de 95% : les points noirs sont les poissons test (nourries aux daphnies contaminées par les nanoparticules) et les points blancs sont les poissons contrôle (Source : Cedervall et al. 2012)

Le constat est clair et statistiquement significatif, des poissons s'étant nourrit de daphnies elles même s'étant nourries auparavant d'algues vertes contaminées par des nanoparticules de polystyrène sont jusqu'à plus de deux fois plus lents à se nourrir par rapport aux poissons témoins, se nourrissant de daphnies non « contaminées » aux nanoparticules. Il est donc flagrant ici, que les nanoparticules pouvant être rejetées accidentellement dans les cours d'eau via les produits d'hygiène, crèmes solaires et autres ont un impact sur le métabolisme et la santé des poissons.

De plus Cedervall et al. Ont également observé que « *les poissons test laissent les daphnies entrer et sortir de leur bouche sans essayer de les manger. Ces données suggèrent une forte perturbation du comportement des poissons après avoir consommé des aliments contenant des nanoparticules.* ».

Non seulement ces expériences prouvent l'écotoxicité des nanoparticules de plastique, mais elles pointent un deuxième problème. Les poissons peuvent très bien ne pas être présents sur les lieux de contamination (zones de baignade) le jour même, mais très bien être impactés si ces derniers arrivent par migration, pour se nourrir de daphnies ayant consommé les algues vertes présentes sur ces zones de baignade et qui, comme nous le savons, ont tendance à proliférer aisément en période estivale.

C'est donc tout une chaîne trophique qui s'en retrouve impactée, comme le montre la figure 7 ci-dessous qui sera un récapitulatif de cette partie : les nanoparticules ont un puissant impact du producteur primaire (algues vertes) au consommateur secondaire (poissons).

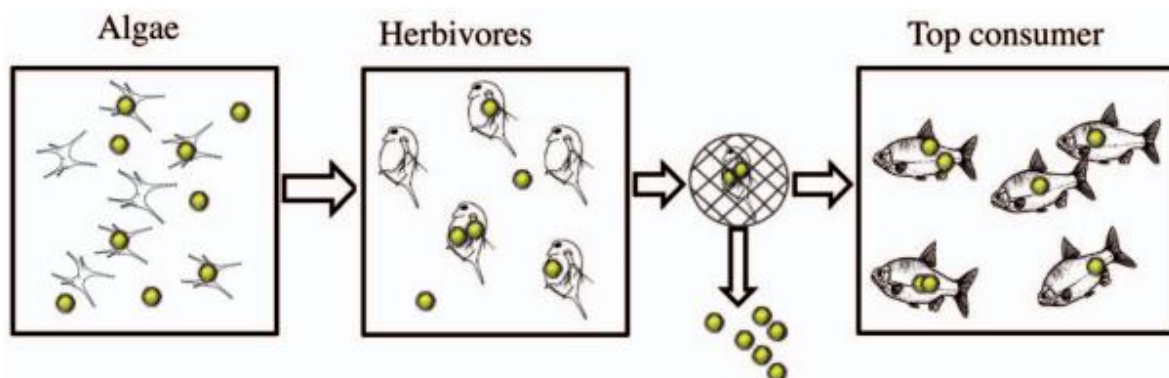


Figure 7 : Accumulation des nanoparticules de polystyrène au sein d'une chaîne trophique d'un écosystème aquatique (Source : Cedervall et al. 2012).

4.3.2) L'impact des nanoparticules d'Argent sur des invertébrés d'eau douce (Jennifer Andreï, 2018).

L'article précédemment étudié a mis en avant l'impact des nanoparticules de polystyrène sur le métabolisme lipidique des consommateurs secondaires, à savoir les poissons.

Il pointe également le fait que les nanoparticules transitent tout au long de la chaîne alimentaire pour finalement s'accumuler dans les organismes de ces vertébrés aquatiques et les rendre moins actifs et moins mobiles. Mais la question de l'impact des nanoparticules sur les consommateurs primaires peut aussi se poser, et c'est le sujet de la thèse de « Jennifer Andreï. Effets (sub)individuels et fonctionnels des nanoparticules manufacturées sur des Crustacés Gammaridae. Ecotoxicologie. Université de Lorraine, 2015. Français. » (Jennifer Andreï, 2018).

« Face à la production et à l'utilisation croissante des nanoparticules, les questions relatives d'une part à l'évaluation des rejets de nanoparticules dans l'environnement et d'autre part à leurs effets potentiels sur les organismes et les écosystèmes sont désormais devenues des questions majeures qui animent la communauté des écologues et écotoxicologues. »

Dans les cosmétiques, les nanoparticules de dioxyde de titane peuvent également être trouvées dans les crèmes solaires de par leur propriétés anti-UV. (Jennifer Andreï, 2018).

On apprend donc, à travers cette thèse que les nanoparticules d'Argent ou « nAg », sont omniprésentes dans la vie quotidienne de l'Homme comme le montre la Figure 8. Par conséquent, si ces nanoparticules se retrouvent dans de nombreux produits du quotidien, elles peuvent alors se retrouver très rapidement dans les écosystèmes aquatiques lors de la pratique de la baignade. Cet article rapporte même qu'« Elles sont maintenant incorporées dans les vêtements de tous les jours comme les

chaussettes et permettent d'éliminer les micro-organismes qui sont responsables des mauvaises odeur ».

Présentes dans les textiles, cosmétiques, produits de santé pour leur propriétés désinfectante et cicatrisante, elles ont par déduction un effet de « biocide » sur certains organismes. Nous verrons donc par la suite les effets de ces particules sur des espèces de Gammaridés, invertébrés d'eau douce.

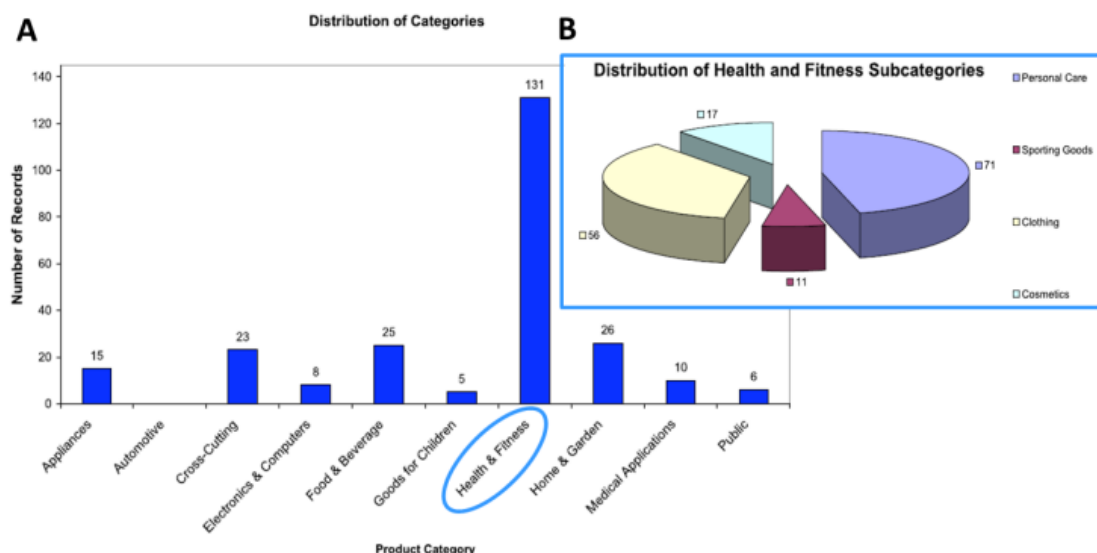


Figure 8 : Répartition des nanoparticules d'Argent (nAg) dans les produits manufacturés (Source : Jennifer Andreï, 2018)

L'expérience menée ici dans une partie de la thèse de Jennifer Andreï, vise à étudier l'impact de l'exposition de ces nanoparticules retrouvées dans nos produits cosmétiques, textiles et d'hygiène, sur trois espèces du genre *Gammarus*, à savoir l'espèce *G. roeseli*, *G. fossarum* et *G. pulex*. Ces trois espèces sont des espèces de gammarus vivant à différents endroits du cours d'eau : les deux dernières vivent préférentiellement dans des zones en tête de bassin dans des eaux bien oxygénées et fraîche tandis que *G. roeseli* possède une gamme de tolérance plus élevée des température d'eau, de pollution et de clarté des eaux et vit plus principalement en milieu de bassin versant, zone potentielle de baignade, rappelons-le.

Méthode :

Ces trois espèces ont donc été élevées sous différentes cultures, en présence de feuilles d'aulne pour leur alimentation. Pour chaque espèce, un groupe témoins (non exposé aux nanoparticules d'argent), un groupe exposé à 0.5ug/L d'argent dissout, un groupe exposé à 0.5ug/L d'argent sous formes nano particulaire, un groupe exposé à 5ug/L d'argent dissout et un dernier groupe exposé à 5ug/L d'argent sous forme nano particulaire ont été testés. Le but ici est d'observer si l'argent sous forme dissoute a un impact plus important que l'argent sous forme nano particulaire, ce qui nous intéresse ici dans le cadre de notre projet.

En résumé c'est donc pour chacune des trois espèces, 5 groupes dont 1 groupe de contrôle, qui seront testés à l'exposition de différentes formes d'argent et de différentes concentrations.

Ces trois espèces seront donc élevées pendant 72h dans chacun des milieux définis (Jennifer Andreï, 2018) et les scientifiques de cet article ont suivi plusieurs paramètres :

- Cellulaires : impact de la contamination aux nAg sur l'activité des transporteur MXR
- Physiologiques : osmolalité de l'hémolymph de ces crustacés
- Comportemental : ventilation, locomotion et production de FPOM (Matière Organique Fine en suspension, leur fèces)

Les transporteur MXR au sein d'une cellule sont des pompes membranaires permettant l'expulsion des xénobiotiques (substances étrangères détectées par l'organisme, ni produites par ce dernier, ni par son alimentation naturelle) arrivant dans l'organisme. Par conséquent, une augmentation de l'activité de ces transporteurs témoignera de la détection des nAg ou de l'argent sous forme dissoute (AgNO_3) comme substances toxiques et entrainera un processus de détoxification chez l'espèces augmentant cette activité. (Jennifer Andreï, 2018)

L'osmolalité de l'hémolymph de gammarus est un témoin de l'état de stress des organismes suite à la détection d'un polluant ou contaminant.

Enfin la ventilation, la locomotion et la production de FPOM, autrement dit de fèces par rapport à la quantité d'alimentation sont des témoins phénotypiques, observable de l'impact des nanoparticules d'argent sur les gammarus (Jennifer Andreï, 2018).

Résultats :

Après mise en culture de 72h de ces gammarus, alimentés par des disques de feuille, voici en Figure 9, 10, 11, 12 et 13 respectivement les résultats des paramètres suivis : activité de transport MXR, osmolalité de l'hémolymph, ventilation, locomotion et production de FPOM par rapport à la quantité de feuilles consommées.

Transport MXR :

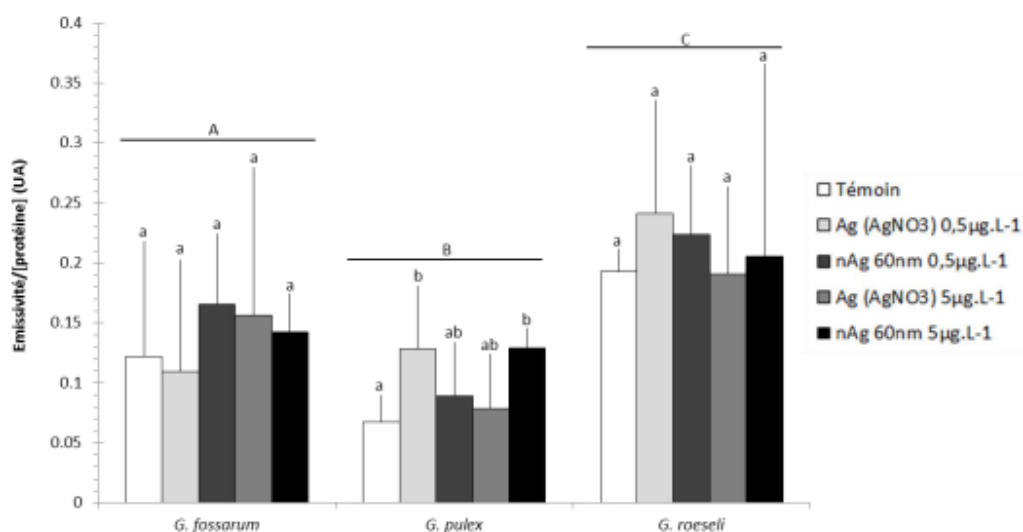


Figure 9 : Moyennes des activités de transport MXR mesurées dans les 3 espèces de gammarus après 72h d'une exposition au AgNO_3 et aux nAg de 60nm (Source : Jennifer Andreï, 2018)

On remarque sur ce graphique que l'activité du transport MXR est faible pour *G.fossarum* et *G.pulex* contrairement à *G.roeseli*, même si au sein même de l'espèce les variabilités selon les traitement ne sont pas statistiquement significatives. Comme cité précédemment, *G.roeseli* est une espèce de gammare plus tolérante aux pollutions, par conséquent, même après un temps d'adaptation, cette activité, 1,5 à 2,8 fois plus importante est une « signature » de son milieu de vie dans lequel il a été prélevé. Les deux premières espèces vivant en tête de bassin, moins soumises aux pollutions que pour la partie plus aval d'un bassin versant, ont une activité de transport MXR plus faible. Nous ne pouvons donc pas tirer d'informations précises (mise à part qu'il n'y a que *G.pulex* qui augmente son activité MXR pour les nAg, il détecte donc ces particules comme contaminant et entame un processus de détoxification) de l'impact direct des nanoparticules d'argent sur le métabolisme des gammarès, qu'en est-il pour le reste des paramètres ?

Osmolalité :

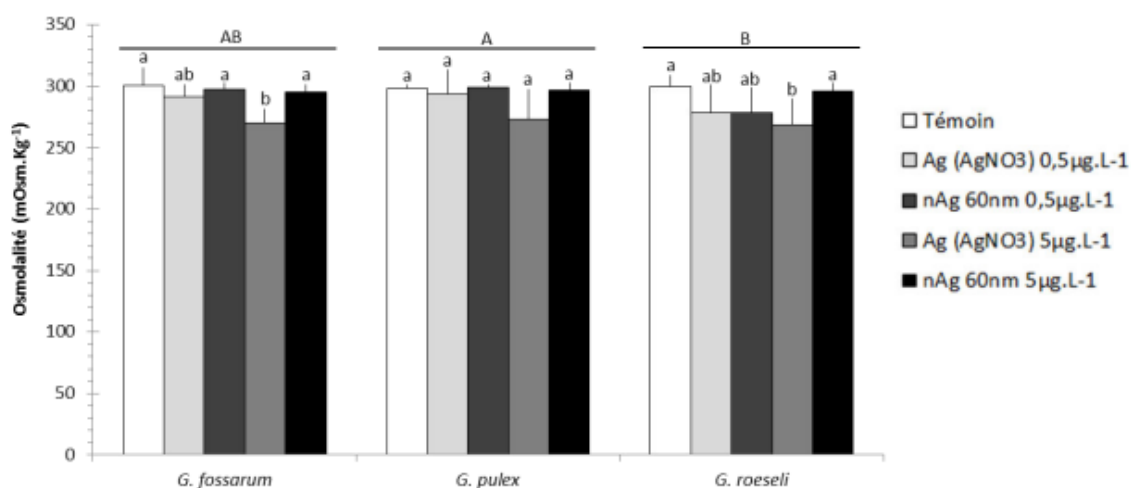


Figure 10 : Moyennes des valeurs de l'osmolalité de l'hémolymphes mesurées dans les 3 espèces de gammarès après 72h d'exposition au AgNO3 et nAg pour différentes concentrations (Source : Jennifer Andreï, 2018)

Aucune différence statistiquement significative nous informe sur l'état de stress des gammarès selon les types de particules ou même les concentrations appliquées.

Ventilation :

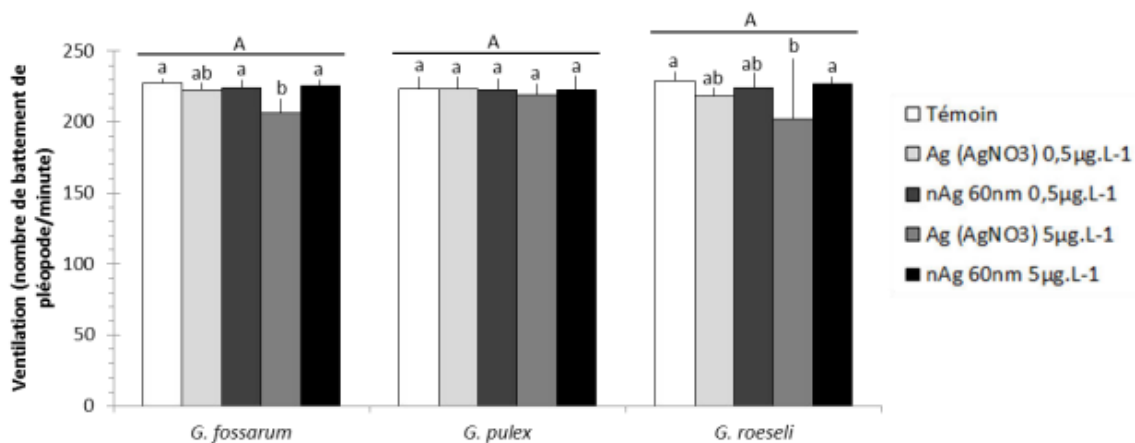


Figure 11 : Moyennes des mesures de ventilations chez les 3 espèces de gammarus après exposition de 72h au AgNO3 et au nAg de différentes concentrations (Source : Jennifer Andreï, 2018)

« Aucune différence statistique n'a été observée entre les 3 espèces. En revanche, l'exposition a engendré des modifications de ventilation chez deux des trois espèces étudiées. En effet, chez *G. fossarum* et *G. roeseli* l'exposition a 5 µg. L-1 d'AgNO3 a induit une baisse significative des battements de pléopodes des gammarus alors qu'aucune modification n'a été observée chez *G. pulex*. » (Jennifer Andreï, 2018) Voir en Annexe 2 le schéma de l'anatomie d'un gammare pour les pléopodes.

Voyons maintenant les résultats sur la locomotion des gammarus exposées aux nanoparticules d'Ag et AgNO3 :

Locomotion :

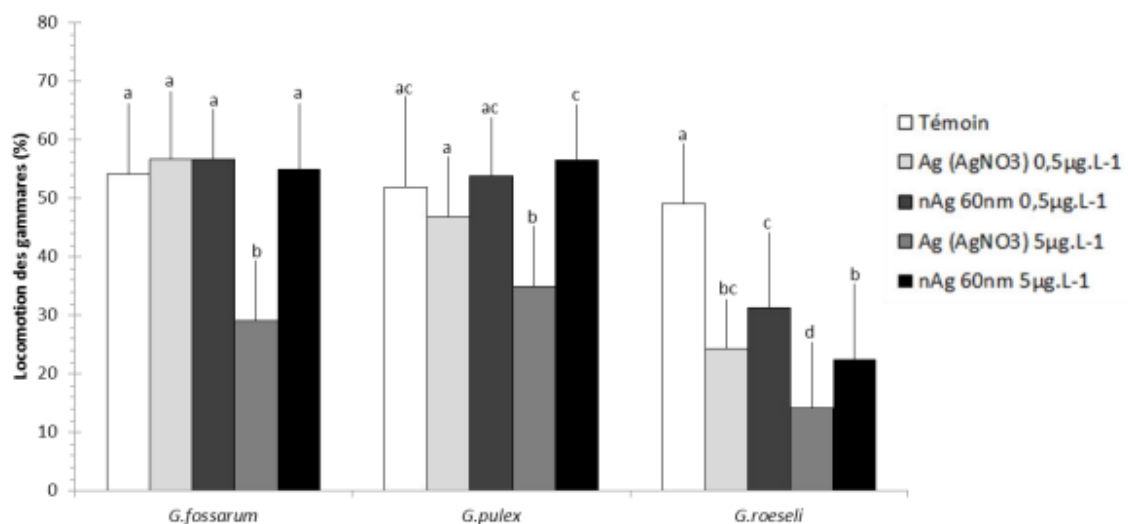


Figure 12 : Moyennes des mesures de locomotion chez les 3 espèces de gammarus après 72h d'exposition au AgNO3 et au nAg de 60nm pour des concentrations différentes (Source : Jennifer Andreï, 2018)

Pour *G. roeseli*, on observe une baisse d'activité dès la concentration de 0,5ug/L de nAg et également pour 5ug/L de nAg. De manière générale, *G. roeseli* semble impactée par l'exposition à ces nanoparticules et réduit sa locomotion. La réduction de

l'activité locomotrice est un phénomène pouvant présenter des conséquences non négligeables, comme une augmentation de la dérive de ces êtres vivant dans les courants, les rendant donc plus vulnérables à la prédation par les poissons. Le dernier paramètre suivi est donc la production de FPOM par rapport à la quantité de feuilles consommées. Ce paramètre permet donc d'évaluer l'efficacité de la digestion des gammares et de leur capacité à éliminer les déchets.

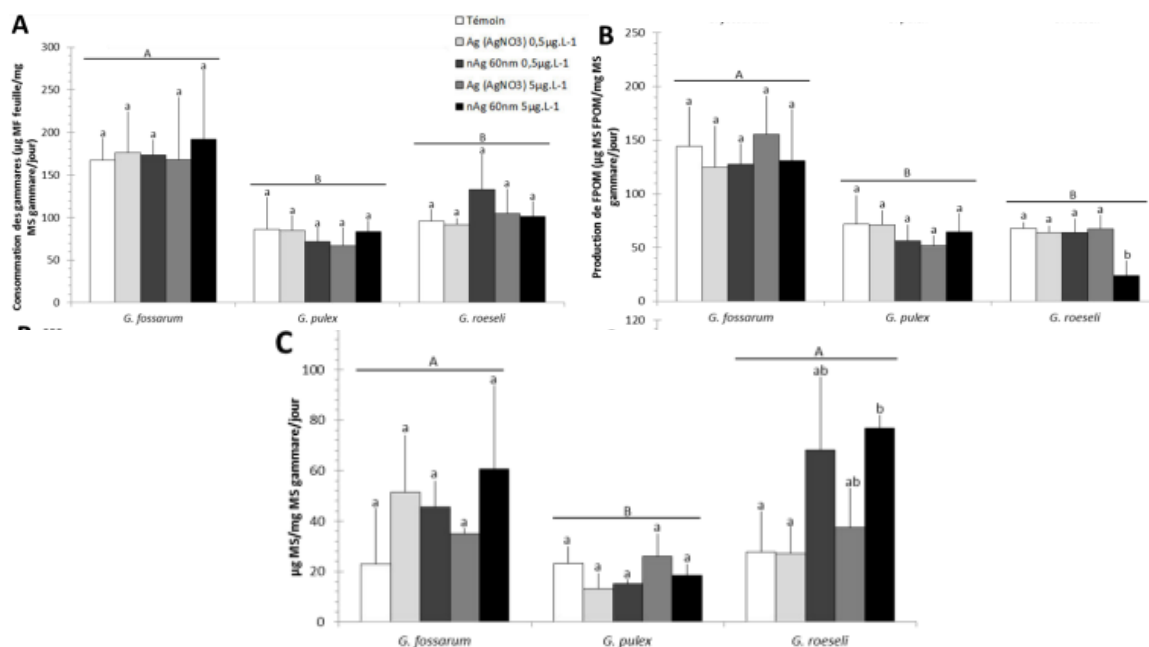


Figure 13 : A : Moyennes de consommation de feuille, B : Moyennes de production de FPOM, C : Différence entre consommation et FPOM produites (Source : Jennifer Andreï, 2018)

Pour résumer cette partie, les biomarqueurs étudiés au niveau cellulaire (activité de transport MXR), physiologique (osmolalité de l'hémolymphe) et pour les biomarqueurs comportementaux de la ventilation, les nAg n'ont pas entraînés d'effet probant sur les 3 espèces de gammares malgré des niveaux d'activité parfois différents (activité de transport MXR). Au contraire la locomotion ainsi que la production de FPOM (Figure 13) a également montré l'existence d'effets dus à la contamination de l'argent sous forme nano particulaire et a également montré que ces effets n'étaient observables que pour l'espèce *G. roeseli* qui apparaît alors comme étant la plus sensible face aux nAg. La perturbation de leurs performances fonctionnelles pourrait entraîner des modifications du fonctionnement du cycle de la matière organique dans les écosystèmes d'eau douce.

Par conséquent, cette partie de la thèse de Jennifer Andreï, de 2018, vient clairement illustrer les problématiques que peut rencontrer un poisson autour des zones de baignade. Les êtres humains se baignant à la saison estivale les dérangent momentanément par le bruit et déversent à travers leur produits d'hygiène, cosmétiques et même par pollutions accidentelles, des nanoparticules, de plastiques et même d'Argent, se déposant donc sur le sol, les plantes. Les macro-invertébrés présents sur cette zone de baignade s'alimentent donc de ces plantes contaminées par les nano particules. Par conséquent, comme vu dans les résultats, les gammares

une fois nourris de nombreux jours à proximité de ces zones de contaminations, peuvent devenir moins mobiles, et plus vulnérables aux yeux des poissons, qui se nourriront plus facilement de ces invertébrés contenant de nombreuses nanoparticules.

C'est donc une cascade de réactions au sein de la chaîne trophique (Cedervall et al., 2012) qui se déroule suite à la baignade d'un nombre important d'êtres humains. Puisque de nombreux invertébrés ingéreront des nanoparticules sur cette zone, ou légèrement en aval avec la dérive du courant, on peut supposer que la part d'invertébrés accumulant ces nanoparticules augmente et donc attire plus facilement la faune piscicole, puisque ces gammarès, ou daphnies moins mobiles nécessiteront donc moins d'effort à court terme pour l'alimentation des poissons. Ces derniers se verront donc probablement perturbés dans leur comportement à moyen et long terme, à cause de la bioaccumulation de ces nanoparticules toxiques et seront donc eux aussi plus vulnérables face à d'autres prédateurs, ou tout simplement seront de moins en moins aptes à se nourrir et pourraient venir à en mourir.

Ce sont des hypothèses que nous pouvons formuler suite aux travaux réalisés par Cedervall et al., en 2012 et par Jennifer Andreï en 2018, qui mettent clairement en évidence l'écotoxicité de ces nanoparticules d'origine anthropique.

L'Homme peut donc être directement perçu comme un danger pour les individus habitant les écosystèmes fluviaux comme le castor, mais ils peuvent aussi perturber la faune aquatique indirectement, en favorisant la bioaccumulation des nanoparticules au sein d'invertébrés devenant par la suite vulnérables à leurs yeux. On peut donc se demander si les poissons pourraient associer la présence humaine dans les cours d'eau à l'été à une source de nourriture plus facile d'accès certes, mais malsaine et parfois létale ?

5) Discussion des résultats

5.1) Phase de recherche des articles

Cette phase aura été une phase relativement complexe de par le peu de références disponibles sur les différentes plateformes. En effet, seulement quelques articles potentiels ont été trouvés lors de ces recherches malgré la multitude de mots clés utilisés et leur agencement. Ce résultat n'est pas cependant à négliger ni à sous-estimer mais il rend compte aussi d'un manque d'attention porté sur les nuisances de l'Homme directement sur les écosystèmes après une baignade. Malgré la dimension historique de la baignade en eau douce, sur « Loire » personnifiée (Tables rondes, notes personnelles 2022) comme partout ailleurs en France, il semblerait que l'être humain n'ait relativement pas perçu les menaces qu'il pourrait consister aux yeux des habitants principaux des cours d'eau qu'il fréquente lors d'une activité récréative, souvent estivale.

Les résultats des recherches peuvent évoluer dans le temps, mais ces derniers affirment qu'en France comme à l'échelle internationale, peu d'étude précises ont été réalisées sur l'impact de la baignade sur les écosystèmes en général mais encore moins sur des espèces ciblées vivant au sein de ces écosystèmes.

Les recherches en bibliothèques auraient pu être approfondies en variant les zones de recherche et en travaillant d'avantage avec les moteurs de recherche même si les personnes gérant ces bâtiments ont affirmé ne pas avoir connaissance de tels ouvrages en relation avec le sujet. Les recherches par mots clés divaguait rapidement sur d'autres sujet contenant le mot baignade : qualité des eaux de baignade, algues vertes dans les eaux de baignade, contaminations en matières fécales des eaux de baignade (Méry Ndione, 2022), etc...

Cela montre également que les qualités des eaux sont normées, par l'Homme pour l'Homme et pas pour les habitants principaux de ces écosystèmes. C'est en adoptant ce point de vue décalé que nous pouvons nous interroger à l'avenir sur la détermination de seuil à respecter pour une eau de baignade pour les êtres vivants dans leur propre habitation...

De nombreux témoignages ont également été récoltés au cours de ces recherches et m'ont fait comprendre que cette question d'impact sur les rivières n'était parfois même pas envisagée par les interlocuteurs, à l'exemple de mon grand-père Jean Claude Olejarz, témoignant du fait que dans les années 40-50, c'était sur les bord de l'Oise que tout le village se rassemblait le dimanche pour apprendre aux jeunes à nager, plonger. « La baignade aurait un impact sur les rivières ? » me questionnait-il à l'annonce du sujet que je traitais. Cela témoigne donc une prise de conscience actuelle bien réelle puisque les prémices d'études scientifiques montrent bel et bien des dysfonctionnement suite à l'intrusion humaine dans le cadre de vie des poissons et mammifères aquatiques.

Elle sera donc l'avenir et probablement source de nombreuses recherches afin d'estimer au mieux les déséquilibre qu'un être humain peut provoquer en s'introduisant dans un écosystème qui n'est pas originellement le sien...

5.2) Point de vue du castor

Dans les données que nous avons pu collecter sur divers site internet comme le site du Centre Suisse de Cartographie de la Faune et du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parc au Québec montre que le castor peut être impacté fortement par la présence de l'Homme sur son territoire, d'autant plus si des juvéniles sont présents à proximité du chien en promenade en rivière avec son maître. Ce point de vue que nous avons adopté sur ce que pourrait ressentir un castor est subjectif mais il mériterait réellement de faire l'objet de recherches plus approfondies : c'est en se mettant à la place de l'autre que l'on apprécie réellement ce que l'autre peut endurer.

5.3) Résultats des études sur les nanoparticules et application à la baignade

5.3.1) Nanoparticules de polystyrène

Les résultats montrés dans l'expérience de Cedervall et al., 2012, que les nanoparticules de polystyrènes ralentissaient les poissons contaminés, ayant accumulé ces dernières dans leurs muscles mais aussi leur foie, mais qu'elles transitaient également à travers tout une chaîne trophique avant d'arriver et de s'accumuler dans l'organisme du consommateur secondaire. Cela montre en effet que les poissons comme les carassins ici testés sont impactés par le rejet de ses nanoparticules dans les cours d'eau, qui, dans le cas de la baignade se fait la majeure partie du temps involontairement. Il est vrai que sur une population de baigneurs, peu sont au courant que dans leur crèmes solaires, maquillages, déodorant, se trouve ce genre de particules néfastes pour les occupants des rivières. Mais bien moins encore savent que ces particules relâchées involontairement au cours de leur activité de rafraîchissement, transitent à tous les niveaux de la chaîne trophique d'un écosystème, qui n'est pas le leur. Toutefois, la quantification de ces matières est difficilement chiffrable si l'on veut être objectif, il devient donc difficile d'estimer le réel impact que peut avoir les rejets d'huiles solaires sur une journée pour une zone de baignade ayant contenu 200 baigneurs par exemple. Le problème de chiffrage peut alors se poser ici, à partir de quelle quantité de baigneur ayant mis de la crème solaire, du parfum, du maquillage, etc... cela deviendrait-il nocif pour l'écosystème aquatique ? Est-ce qu'un groupe d'une dizaine de baigneurs par jour peut amener à des résultats sensibles à ceux vus précédemment ? Ou en faut-il une centaine ? Un millier ? C'est malheureusement une des limites de l'étude, malgré le fait qu'elle souligne l'impact réel de ces nanoparticules sur le métabolisme lipidique des poissons.

Toutes ces questions de quantifications des matières rejetées, de la puissance des effets de ces dernières sur les poissons, et à partir de quelles quantités en milieu naturel pourraient-elles être susceptible de créer des déséquilibres dans les populations habitantes de ces écosystèmes, mériteraient de faire l'objet d'études et d'expériences plus approfondies afin de s'assurer qu'une baignade humaine ne serait pas « une perturbation de la nature » plutôt qu'une reconnexion à la nature, reconnexion tant souhaitée de nos jours suite à la crise sanitaires du covid et des confinements à répétitions.

5.3.2) Nanoparticules d'Argent

Les résultats sont en partie à nuancer puisque les gammares ont été testé à des concentrations bien précises, et pas forcément celles qui seront présentes en milieu naturel, comme pour les nanoparticules de polystyrènes. Il est également mentionné qu'à ce jour, les méthodes et les moyens d'échantillonnage des particules étudiées ne sont pas encore au point pour connaître leur provenance et leur concentrations exacte (Jennifer Andreï, 2018). Après avoir vu l'impact des nanoparticules sur les poissons et obtenu l'information que ces nanoparticules transitaient tout au long de la chaîne trophique de l'écosystème aquatique, nous avons également des éléments qui permettent de confirmer le fait que ces nanoparticules, cette fois ci d'Argent, ont également des conséquences sur le comportement des crustacés d'eau douce comme les gammares. Même si la problématique de la quantité et de la durée d'exposition reste la même que celle évoquée dans le paragraphe du dessus, il n'en demeure pas moins que cette écotoxicité reste présente, d'autant plus qu'elle s'intègre quasiment à coup sûr, à chaque baignade d'un être humain, étant donné l'omniprésence de ces nanoparticules dans notre quotidien. Il serait dans ce cas judicieux ici et envisageable, si les techniques le permettent, d'approfondir ce champ d'expérience afin de comprendre les mécanismes et les impacts réels de ces nanoparticules sur les organismes aquatiques.

6) Conclusions à tirer de l'analyse et ouverture

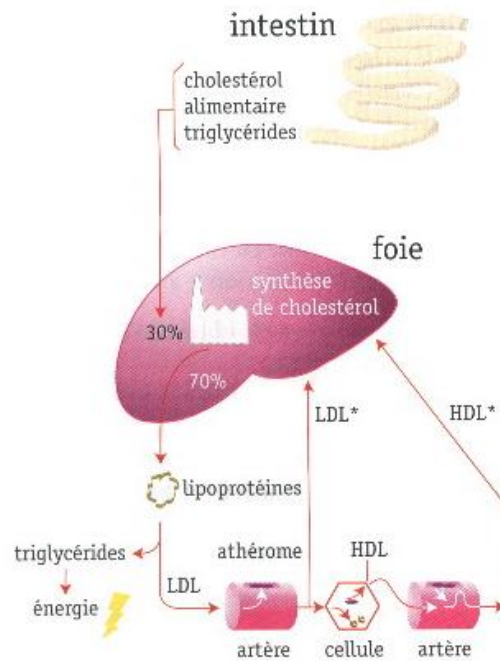
Ce projet de fin d'étude fut basé sur des recherches bibliographiques afin de tenter d'estimer, de quantifier et de qualifier les impacts à travers les interactions qu'un être humain pourrait avoir avec l'écosystème dans lequel il se plonge lors d'une baignade. Il en ressort plusieurs résultats, les premiers sont que peu de recherches scientifiques à ce jour semblent avoir traité le sujet, ce qui laisse un champ des possibles important pour la recherche dans les années à venir. Les seconds et troisièmes résultats apparaissent lorsque l'on se focalise sur une espèce en particulier, à savoir le castor, les poissons et les macro-invertébrés d'eau douce. L'intrusion de l'Homme sur leur territoire (en adoptant ce point de vue moins anthropocentré), a permis, de par des témoignages, des observations de recenser des impacts réels. Ces derniers peuvent être directs sur les espèces concernées et issus de maladresse de la part des baigneurs. L'exemple d'un maître et son chien se baignant à proximité de terrier de castors, où les jeunes commencent à sortir pour se nourrir en est un exemple concret. D'autres impacts non négligeables sont provoqués indirectement par les baigneurs : le rejet inconscient et invisible de matière invisible comme les micro plastiques et les nanoparticules, peuvent transiter dans tout l'écosystème et provoquer de graves nuisances si la quantité devient importante et récurrente.

Les majeurs problèmes rencontrés dans ce projet de fin d'étude sont en effet l'épreuve d'affronter des recherches infructueuses à de nombreuses reprises, mais aussi le fait d'apprendre à rattacher une thématique traitée au sujet de la baignade, comme les nanoparticules manufacturées.

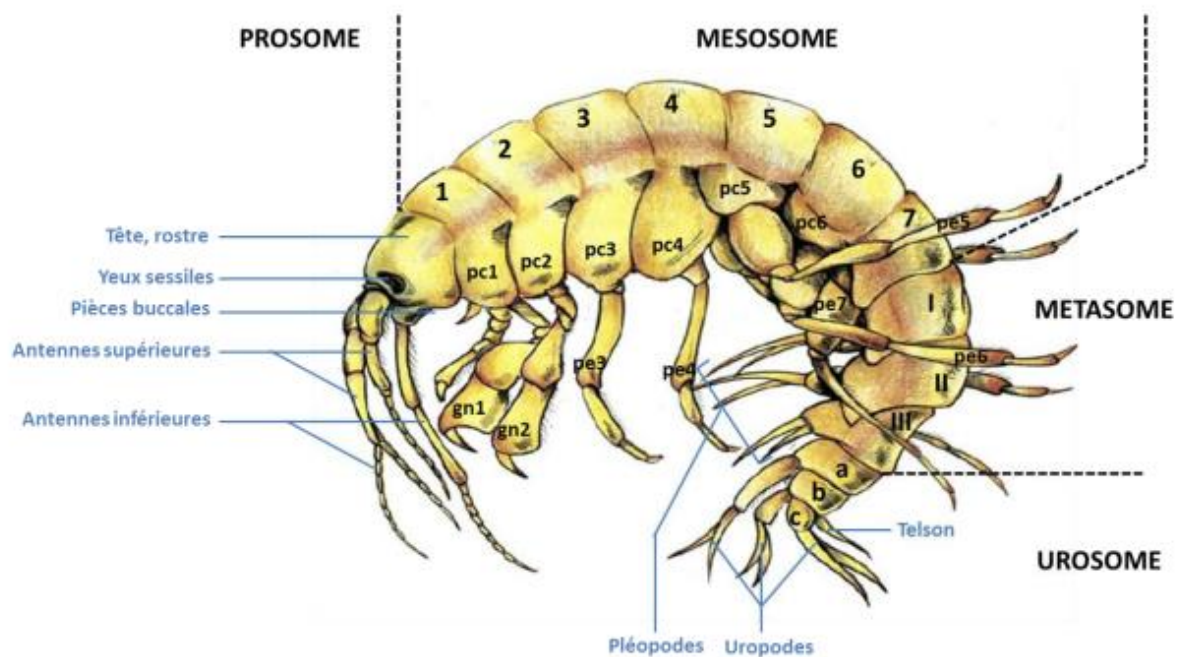
Finalement, après avoir réfléchi sur une problématique majeure à savoirs « quels sont les impacts de la baignade sur les écosystèmes aquatiques ? », il en ressort plus de questions à la fin de ce rapport qu'au début : quelles quantités de nanoparticules sont nécessaires à une nuisance visible et quantifiable sur les crustacés d'eau douce ? Sur les poissons ? A partir de combien de baigneurs sur un site de baignade peut-on estimer que les nanoparticules pourraient être rejetées en assez grande quantité pour provoquer des impacts ? Y-a-t-il des effets directs de ces particules sur les producteurs primaires qui les absorbent avant de les retransmettre plus haut dans la chaîne trophique ? L'Homme, voulant se reconnecter à la nature par la baignade en milieu naturel, ne fait-il pas pire que mieux pour les habitants du fleuve ? En est-il conscient ? Comment le castor et les poissons perçoivent réellement l'intrusion de l'Homme sur leur territoire ? Seraient-ils prêts à cohabiter le temps d'une baignade ?

Tant de questions qui restent à traiter par des analyses purement scientifiques comme dans les articles cités, mais aussi par des analyses comportementales, adoptant ce point de vue excentré que l'on a essayé d'adopter au maximum lorsqu'il s'agissait de considérer les êtres vivants des écosystèmes aquatiques. Cette vision de l'Homme par les animaux serait probablement une voie de recherche pour se reconnecter vraiment à la nature afin de la préserver, en cette période de réchauffement climatique, affectant aussi les niveaux d'eau des rivières et leur qualité.

7) Annexes



Annexe 1 : Métabolisme des lipides au sein de l'organisme (Source : Distrimed.com, site consulté en 2023)



Annexe 2 : Schéma de l'anatomie d'un gammare (Source : Jennifer Andreï, 2018)

Organismes	Espèces	Contaminations	Tailles des nAg	Concentrations initiales en argent (nAg)	Conditions expérimentales	Effets des nAg observés	Références
Bactéries	• Bactéries autotrophes et hétérotrophes (<i>Escherichia coli</i>)	nAg • sphérique • enrobage : alcool polyvinylique (PVA) Ag (AgNO ₃) et AgCl	• 14 ± 6 nm	• de 0 à 1 mg.L ⁻¹	• bouillon nutritif • 20 h d'exposition	• Inhibition de croissance d' <i>E. coli</i> • Inhibition de la respiration des bactéries autotrophes	Choi et al., 2008
	• Bactéries nitrifiantes (aliquot)	nAg • sphérique • enrobage : alcool polyvinylique (PVA) Ag (AgNO ₃) et AgCl	• de 5 à 70 nm	• de 0 à 1 mg.L ⁻¹	• Bouillon nutritif 30 min d'exposition	• Interaction : contamination /inhibition de croissance (nAg < 5 nm) • Interaction : taille des nAg/toxicité sur les bactéries • Interaction : inhibition de croissance/stress oxydant	Choi et Hu, 2008
	• Communauté bactérienne d'une eau d'une rivière	nAg • sphérique • enrobage : polyvinylpyrrolidone (PVP) AgNO ₃	• 21 ± 17 nm	• de 0 à 75 mg.L ⁻¹	• eau de rivière • 8 jours d'exposition	• Baisse de la respiration due aux nAg < baisse due à l'AgNO ₃ Effet en partie dû à la dissolution des nAg	Colman et al., 2012
	• Communauté bactérienne prélevées en rivière	nAg • enrobage : polyacrylate • fonctionnalisation : carboxy AgNO ₃	• de 1 à 10 nm	• 0 à 10 mg.L ⁻¹	• eau de 9 rivières • de 1 à 48 h d'exposition	• Baisse de la production bactérienne en fonction du temps, de la concentration et du milieu • LOEC de 8 à 66 µg.L ⁻¹ • Très faible dissolution (<10%)	Das et al., 2012
	• <i>Escherichia coli</i>	nAg (3 formes) • sphérique • en bâtonnet • nanoplaque triangulaire tronquée	• 39 nm • 36 et 100 nm • 40 nm	• de 1 à 100 µg d'Ag dans 100 mL de bouillon nutritif	• Bouillon nutritif • 26 h d'exposition	• Baisse de la croissance et du nombre de <i>E. coli</i> • Effets des nAg dépendants de leur forme • Toxicité plus importante pour les nanoplaques triangulaires tronquées	Pal et al., 2007
Bactéries, algues et invertébrés d'eau douce	• <i>Vibrio fischeri</i> • <i>Desmodesmus subspicatus</i> • <i>Daphnia magna</i>	nAg • sphérique • 2 tailles issues par synthèse chimique • 2 types issues d'une synthèse biologique par des végétaux	20 et 200 nm • 23 et 27 nm	• de 0,003 à 300 mg.L ⁻¹ • selon les tests	• <i>V. fischeri</i> : solution isotonique ; 30 min • <i>D. subspicatus</i> : milieu de culture ; 72 h • <i>D. magna</i> : eau Volvic ; 48 h d'exposition	• Effets toxiques des nAg sur les 3 espèces • Effets dépendants de la taille, de la voie de synthèse et de la chimie de surface des nAg (nAg 27 nm plus toxique) • <i>D. magna</i> : nAg 20, 23 et 200 nm observées dans la lumière intestinale (aggrégat) • Entrée des nAg 200 nm dans l'espace intercellulaire de la couche épithéliale via la membrane de l'intestin des <i>D. magna</i> (NanoSIMS) • Dissolution des nAg n'expliquant pas la totalité des effets	Georgantzopoulou et al., 2013

Annexe 3 : Tableau récapitulatif de l'écotoxicité prouvée de certaines nanoparticules sur différents organismes vivants (Source : Jennifer Andreï, 2018)

Invertébrés d'eau douce	• <i>Daphnia magna</i>	nAg • sphérique • 3 types selon les fournisseurs AgNO ₃	• de 5 à 25 nm	• de 0,001 à 0,32 mg.L ⁻¹	• Milieu M4, test OCDE • 48 h d'exposition	• Toxicité dépendante de la dose et des types de nAg • Ingestion et accumulation des nAg sous la carapace, sur l'extérieur du corps et les appendices • Comportement de nage anormal	Asghari et al., 2012
	• <i>Daphnia magna</i> (juvéniles)	nAg • enrobage : polyacrylate • fonctionnalisation : carboxy	• de 1 à 10 nm	• de 0,5 à 5 µg.L ⁻¹	• Test OCDE méthode 202, milieu, eau déminéralisée • 24 h et 48 h d'exposition	• NOEC = 0,75 µg.L ⁻¹ • LOEC = 1,3 µg.L ⁻¹ • CL50 _{48h} = 2,75 µg.L ⁻¹	Das et al., 2013
Invertébrés et poisson d'eau douce	• <i>Daphnia magna</i> • <i>Cyprinus carpio</i>	nAg micro-Ag	• 35 nm • 0,6 à 1,6 µm	• de 0 à 10 mg.L ⁻¹	• Eau du protocole standard U.S. EPA (test Daphnie) • Eau du robinet déchlorée • 96 h et 21 jours	• <i>D. magna</i> : CL50 _{48h} = 0,1 mg.L ⁻¹ • <i>Cyprinus carpio</i> : concentration en argent mesurées dans l'intestin, le foie, la vésicule biliaire et les branchies • Toxicité et distribution tissulaire nAg > micro-Ag • Dissolution des nAg n'expliquant pas la totalité des effets	Gaiser et al., 2010
	• <i>Daphnia magna</i> • <i>Pimephales promelas</i>	nAg et Ag colloïdal (8 types) • 4 tailles de nAg sphériques • nAg enrobage citrate • nAg enrobage polyvinylpyrrolidone (PVP) • nAg enrobage éthylène diamine tétra-Acétique (EDTA) Boisson commerciale Ag colloïdale AgNO ₃	• de 10 à 80 nm	• Gamme de concentrations de 0 à plus de 100 µg.L ⁻¹	• Eau moyennement dure U.S. EPA • 48 h d'exposition	• <i>D. magna</i> : CL50 _{48h} = de 2 à 97 µg.L ⁻¹ (8 types nAg) • <i>P. promelas</i> : CL50 _{48h} = de 9 à 126 µg.L ⁻¹ (8 types nAg) • CL50 _{48h} AgNO ₃ << nAg (8 types) • Toxicité plus forte pour l'argent colloïdal et plus faible pour les nAg-PVP • Grande importance de la dissolution des nAg sur les effets observés	Kennedy et al., 2010
	• <i>Daphnia magna</i> • <i>Pimephales promelas</i>	nAg • sphérique • sans enrobage AgNO ₃	de 10 à 200 nm	• <i>D. magna</i> : de 0,1 à 100 µg.L ⁻¹ • <i>P. promelas</i> : de 0,01 à 1000 µg.L ⁻¹	• Eau (IAC) De 48 à 96 h d'exposition	• <i>D. magna</i> : CL50 _{48h} = de 4,31 à 30,36 µg.L ⁻¹ (toxicité plus importante pour les plus petites tailles) • <i>P. promelas</i> : CL50 _{96h} = 89,4 µg.L ⁻¹ (nAg de 10 nm) • CL50 AgNO ₃ << CL50 nAg	Hoheisel et al., 2012

Annexe 4 : Tableau récapitulatif de l'écotoxicité prouvée de certaines nanoparticules sur différents organismes vivants (Source : Jennifer Andreï, 2018)

8) Bibliographie

ANDREI Jennifer. *Effets (sub)individuels et fonctionnels des nanoparticules manufacturées sur des Crustacés Gammaridae*. Ecotoxicologie. Université de Lorraine, 2015. Français.

Cedervall T et al. *Food Chain Transport of Nanoparticles Affects Behaviour and Fat Metabolism in Fish*. Vipul Bansal, RMIT University, Australia, 2012. English

NDIONE Méry. *Dynamique et identification des sources de contamination fécale dans un espace littoral connaissant des pratiques de tourisme et de loisirs : l'exemple de la baie d'Aytré*. Sciences agricoles. Université de La Rochelle, 2022. Français.

OLEJARZ Antonin. *Baignade et écosystèmes, quelles interactions ?* Projet de Fin d'Etude. Ingénierie des Milieux Aquatiques. Université de Tours, 2022, 14p.

Sitographie :

Conservation-nature.fr. *Écosystème : une multitude de mondes à découvrir* [En ligne][réf.de 2022] Disponible sur : <https://www.conservation-nature.fr/ecosysteme/> (site consulté en mars 2022)

Contributeurs de Wikipédia. *Baignade, Wikipédia, l'encyclopédie libre*. [En ligne][réf. Du 2 juillet 2022] Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Baignade&oldid=195007469> (site consulté le 15 mars 2022)

Distrimed. *Le cholestérol, la rubrique cœur et santé* [En ligne]. [réf. de janvier 2023]. Disponible sur : <https://www.distrimed.com/ffc/ffc06.php> (site consulté le 15/01/23).

France. *Enquêtes noyades 2021* [en ligne] (réf.de 2021) Disponible sur : <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/traumatismes/noyade/articles/enquete-noyades-2021> (site consulté le 10/12/2022)

Larousse Dictionnaire. *Impact définition français* [En ligne] [réf de 2022] Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/impact/41780> (site consulté en mars 2022)

Larousse Dictionnaire. *Interaction définition français* [En ligne] [réf de 2022] Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/interaction/43595> (site consulté en mars 2022)

MyLoireVallée. *Baignade en Val de Loire 2016 – Les sites incontournables !* [En ligne]. [réf. Du 23 juin 2016] Disponible sur : <https://www.my-loire-valley.com/2016/06/baignade-en-val-de-loire-2016-les-sites-incontournables/> (site consulté le 05/01/23)

NEDJAI. *Cours-Fonctionnement-globale-des-écosystèmes*. [En ligne] Cours de M1 eau et environnement. Chlef : Université de Chlef, 2022, 99p. Disponible sur : <https://www.univ-chlef.dz/fsnv/wp-content/uploads/Cours-Fonctionnement-globale-des-%C3%A9cosyst%C3%A8mes-Mr.-Nedjai-M1-eau-et-environnement.pdf>

OFB. *Castor européen, Office français de la Biodiversité* [En ligne]. [réf. de janvier2023] Disponible sur : <https://carmen.carmencarto.fr/38/Castor.map> (site consulté le 06/01/23)

Quebec. *Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec* [en ligne] (réf. De 2016, mise à jour en 2022) Disponible sur : <https://mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/piegees/castor.jsp> (site consulté le 09/12/2022)

Suisse. *Info fauna – CSCF : Centre Suisse de Cartographie de la Faune* [en ligne] (réf. De 2018) Disponible sur : <http://www.cscf.ch/cscf/home/biberfachstelle/newsarchiv/baden-mit-dem-biber.html#:~:text=Parlez%20%C3%A0%20haute%20voix%20au,devant%20eux%20dans%20l'eau>. (site consulté le 10/12/2022)

Directrice de recherche : Catherine Boisneau

Antonin Olejarz

Antonin Olejarz
PFE/DAE5
GAE/IMA
2022-2023

Baignade et écosystèmes, quelles interactions ?

Résumé : Le réchauffement climatique aujourd'hui amène de plus en plus régulièrement la question du rafraîchissement de l'humain en ville comme en campagne. Après la période de pandémie de COVID-19 et de confinements à répétitions, les habitants riverains ou plus éloignés des cours d'eau ont ressenti un besoin plus important de se reconnecter à leur environnement proche, notamment les cours d'eau afin d'allier rafraîchissement et loisirs de baignade. Suite à cette « *Envie de Loire* » en Touraine récemment, la question de l'impact de l'être humain sur les écosystèmes des rives de Loire comme des cours d'eau en général s'est posé dans ce projet de fin d'étude. En collaboration étroite avec l'Agence Tourangelle d'Urbanisme via Bénédicte METAIS et Catherine BOISNEAU, enseignante chercheuse de l'université de TOURS (37), le travail de recherche bibliographiques a été séparé en deux grandes parties, une sur les impacts de la baignade sur les écosystèmes terrestres proches et connectés aux cours d'eau et une seconde sur les impacts de la baignade sur les écosystèmes aquatiques et leurs habitants. L'homme souvent placé au centre des réflexions se verra ici remis en question, l'adoption du point de vue d'un être vivant de ces écosystèmes sera très intéressante pour analyser en profondeur ce sujet. Le milieu ligérien étant point de départ de l'analyse, les autres milieux fluviaux et côtiers pourront également venir compléter une analyse succincte des impacts causés, ouvrant le champ des possibles sur de nouvelles études plus approfondies sur une thématique particulière.

Mots Clés : Baignade, Baignade en eau douce, Castor, Ecosystèmes, Dérangement, Homme, Humain, Impact, Impact micropolluant baignade poissons, Interactions, Milieux aquatiques, Nanoparticules, Poisson, Rivière, *Impact of human bath on fish, Human impact on the beaver.*