

An aerial photograph of a large cargo ship navigating a section of the Rhine river. The ship is heavily loaded with multi-colored shipping containers (red, blue, orange, and white) from various companies like Hamburg Süd, NioDutch, and CMA CGM. The river is surrounded by lush green banks and dense forests with autumn-colored trees. The sky is clear and blue.

**DEREGLEMENT**

**CLIMATIQUE :**

**QUELS IMPACTS**

**POUR LE RHIN ?**

**COMMENT S'ADAPTER ?**

avec Vazken Andréassian

et avec la participation de Frédéric Doisy, PAS  
et de Jean-Nicolas Beisel, ENGEE

## Sommaire

Le mot de la Présidente - - - - - 3  
**Françoise Schaetzel**, Présidente de l'ADEUS

Dérèglement climatique :  
Quels impacts pour le Rhin ?  
Comment s'adapter ? - - - - - 4

Avec :  
**Vazken Andréassian**, Directeur de l'Unité de recherche HYCAR à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et enseignant à Sorbonne Université, l'École nationale des ponts et chaussées, CentraleSupélec et l'École des mines.

et Avec la participation de :  
**Frédéric Doisy**, Directeur général délégué du Port autonome de Strasbourg

et de **Jean-Nicolas Beisel**, Professeur, enseignant et chercheur à l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (ENGEES) et rattaché au Laboratoire image ville environnement (LIVE).

## CYCLE EAU ET CLIMAT

### ⇒ 1/2 - Sécheresse, inondations : quels risques pour le Rhin supérieur ? Comment y faire face ?

le 12 octobre 2021 avec **Emma Haziza**, Docteur de l'École des mines de Paris, hydrologue et experte dans le développement de stratégies pour la résilience des territoires face au risque inondation.

### ⇒ 2/2 - Dérèglement climatique : quels impacts pour le Rhin ? Comment s'adapter ? - le 16 décembre 2021

avec **Vazken Andréassian**, Directeur de l'Unité de recherche HYCAR à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et enseignant à Sorbonne Université, l'École nationale des ponts et chaussées, CentraleSupélec et l'École des mines.

## Le mot de la Présidente



**Françoise Schaezel**  
Présidente de l'ADEUS

Nous poursuivons notre cycle Eau et Climat avec une conférence sur le Rhin ; l'eau c'est la vie, c'est la vie des humains, c'est la vie de la faune, c'est la vie de la flore. L'eau permet d'aborder beaucoup de thèmes : évidemment les questions de sobriété, les questions de santé, ainsi que celles liées notamment aux inégalités socio-économiques. C'est un sujet tout à fait important qui permet, compte tenu de la situation d'urgence dans laquelle nous sommes, de traiter les questions de changement climatique.

Alors oui, l'eau est une ressource rare, mais à l'heure actuelle au vu de la situation dans laquelle nous nous trouvons, il y a des risques, mais il y a aussi des leviers d'action. Ceux-ci se situent aux niveaux international, européen et national mais aussi au niveau local, sur lequel nous avons aussi les pouvoirs d'agir sur les questions d'urbanisme, d'aménagement du territoire, de mobilité, de régulation thermique, de zones humides et de biodiversité au travers des politiques publiques.

L'eau est un bien commun qu'il nous faut protéger, qu'il nous faut aborder par la résilience de nos territoires en lien avec le vivant pour le bien des générations actuelles et futures. Je remercie chaleureusement Vazken Andréassian, Directeur de l'Unité de recherche à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, d'avoir accepté de venir nous éclairer sur le sujet. Je remercie également Frédéric Doisy, Directeur délégué du Port autonome de Strasbourg ainsi que Jean-Nicolas Beisel, Enseignant chercheur à l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement. Je suis persuadée que nous allons apprendre beaucoup de choses et que les échanges seront riches et fructueux.

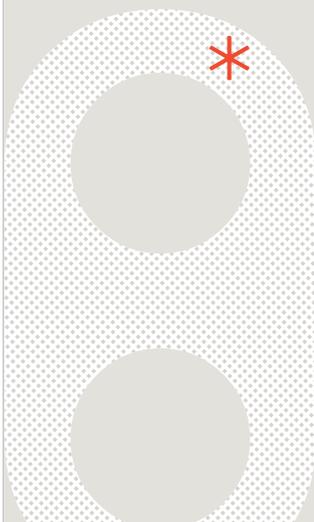


# Dérèglement climatique : quels impacts pour le Rhin ? Comment s'adapter ?



## Vazken Andréassian

Directeur de l'Unité de recherche HYCAR à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et enseignant à Sorbonne Université, l'École nationale des ponts et chaussées, CentraleSupélec et l'École des mines.



Je suis hydrologue à l'INRAE (ancien INRA). J'étais ingénieur des eaux et forêts, j'ai travaillé sur l'eau à peu près toute ma carrière et j'ai beaucoup coopéré avec la Commission hydrologique du Rhin qui regroupe des instituts scientifiques de l'ensemble des bassins du Rhin. C'est dans ce cadre, qu'il y a environ une dizaine d'années, j'ai eu l'occasion de travailler sur un projet, le premier de cette envergure à être mené, sur l'avenir du Rhin et l'impact des dérèglements climatiques. J'ai contribué à ce projet et vous présente des résultats qui datent d'il y a dix ans. Au siècle dernier, dix ans c'était très peu de choses ; aujourd'hui on a l'impression que des résultats qui datent de dix ans devraient être absolument renouvelés. Mais je pense qu'avec les cycles de prévision du GIEC qui affinent régulièrement les prévisions climatiques, les résultats du projet *Rheinblick* sont encore tout à fait valables.

Le Rhin en perspective de l'hydrologie française est l'un des trois grands fleuves français avec la Loire et le Rhône. Ce dernier est le fleuve le plus abondant du point de vue de son écoulement en France : il atteint dans le delta 1 750 mètres cubes par seconde. Le Rhin à Strasbourg, c'est en moyenne 1 000 mètres cubes. Mais le Rhin en fait n'est pas encore arrivé à la mer et si on l'accompagnait jusqu'aux Pays-Bas, il battrait le Rhône. Le Rhin est un fleuve tout à fait important par son débit, important aussi par la caractéristique



LE RHIN ENTRE STRASBOURG ET KEHL

de son bassin versant et le fait qu'il constitue une frontière naturelle comme les Pyrénées et les Alpes. Le Rhin est une des seules frontières qui soit matérialisée par une rivière ; son alimentation provient pour une petite partie seulement du territoire français et pour l'essentiel, elle vient de Suisse, d'Autriche, d'Allemagne et du Liechtenstein. En France, il reçoit peu d'eau de ses voisins. Il y a bien l'écoulement du Rhône via le Léman qui entre en France mais pour l'essentiel, ses frontières sont imperméables sans échange d'eau. Les bassins de la Moselle, de la Meuse et les petits cours d'eau des Flandres sont exportateurs d'eau vers les voisins.

L'eau du bassin du Rhin vient essentiellement de pays étrangers ; il est donc difficile de comptabiliser

cette eau parmi les ressources de la France. Cependant, ce qui est tout à fait important et facile à comptabiliser, c'est la capacité de la route liquide que représente le Rhin qui est très importante pour le commerce fluvial français. Nous avons tous appris à l'école que les fleuves viennent d'une source, or c'est une simplification outrancière car les fleuves ne viennent pas des sources, ils ne viennent pas d'un point, ils proviennent d'une surface qui collecte les eaux appelées « bassin versant ». En fait, ils sont la véritable source d'alimentation du Rhin. Le bassin du Rhin est un bassin transnational qui s'étend essentiellement en Suisse, Autriche, Allemagne, Luxembourg et en France. Le débit du Rhin s'accroît progressivement de la surface en partant de la source et en allant vers Rotterdam aux Pays-Bas.



Il s'accroît régulièrement grâce aux affluents qui, de ce point de vue, le rendent unique et à la fois assez similaire de son jumeau le Rhône. Ces deux grands fleuves sont alimentés par des précipitations très importantes qui s'abattent sur les Alpes et qui sont également régulées de façon tout à fait naturelle par un très grand lac situé en tête du bassin : pour le Rhin c'est le lac de Constance, pour le Rhône c'est le lac Léman.

Pour ce qui concerne l'impact du dérèglement climatique sur le Rhin, je ne reviendrai pas dans le détail sur les conséquences de l'élévation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère qui favorise les précipitations torrentielles, Madame Emma Haziza est intervenue sur ce sujet avec la première conférence de ce cycle. Aujourd'hui, 99 % des Français et sans doute plus encore de Strasbourgeois ont accepté l'idée d'une évolution du climat notamment liée à l'évolution de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Les catastrophes naturelles que l'on a observées ces derniers temps viennent attirer notre attention et parfois même nous effrayer sur les conséquences possibles de l'intensification du régime climatique parce qu'avec l'élévation de la température c'est bien à une intensification à laquelle on assiste. Une atmosphère plus chaude peut entreposer plus de vapeur d'eau et peut donc décharger cette vapeur à l'occasion d'évènements climatiques générant plus de pluie avec des intensités plus importantes. C'est quelque chose qui est observé classiquement en climatologie. Les intensités de pluie sont très liées à la température moyenne de l'environnement. Il ne faut pas être grand hydrologue pour comprendre l'impact qu'elles peuvent avoir sur l'intensité du ruissellement. Les intensités importantes sont des facteurs aggravants des crues, mais il y a également une autre extrémité dans cette intensification qui s'explique avec des modèles climatiques : **c'est l'évolution des périodes de sécheresse qui a tendance à s'allonger.** On peut avoir à la fois plus de pluie pendant les périodes pluvieuses et à la fois moins de pluie pendant les périodes sèches comme en témoignent les sécheresses de 1921 et de 1976.

De récents épisodes de sécheresse ont perturbé notablement le trafic des péniches sur le Rhin en juillet/août 2018 alors même que l'été est en général la période des hautes eaux du Rhin. Le bassin du Rhin et le nord de l'Europe n'ont pas l'exclusivité des évènements extraordinaires.

LA SITUATION AVANT/APRÈS LA TEMPÊTE ALEX DANS LA VILLE DE SAINT-MARTIN-VÉSUBIE (ALPES-MARITIMES)



Inondation en France  
Alpes-Maritimes  
Saint-Martin-Vésubie

Situation avant l'événement  
Observation le 21/05/2016

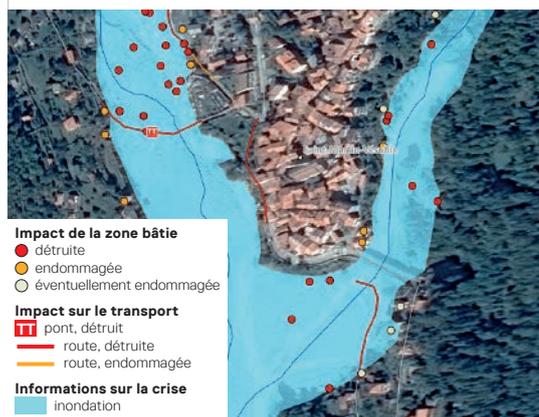
Copyright  
ESRI World Imagery  
© 2016 DigitalGlobe, Inc., a Maxar company.



Inondation en France  
Alpes-Maritimes  
Saint-Martin-Vésubie

Situation après l'événement  
Observation le 05/10/2016

Copyright  
Pliades-1B  
© CNES 2020, distributed by Airbus DS



**Impact de la zone bâtie**  
● détruite  
● endommagée  
○ éventuellement endommagée

**Impact sur le transport**  
■ pont, détruit  
■ route, détruite  
■ route, endommagée

**Informations sur la crise**  
■ inondation

Inondation en France  
Alpes-Maritimes  
Saint-Martin-Vésubie

Situation après l'événement  
Observation le 05/10/2016

Copyright  
Pliades-1B  
© CNES 2020, distributed by Airbus DS



Rappelons-nous de la tempête Alex qui, après avoir balayé les côtes bretonnes, est passée en Méditerranée pour revenir sur les Alpes maritimes. Les images aériennes de ces événements sont impressionnantes mais rien ne nous dit dans ces images que c'est l'effet du changement climatique. Là il faut faire confiance aux climatologues et aux modèles climatiques. Ces événements extrêmes et leur fréquence se déroulent dans de nombreux pays du monde, ils ne sont pas le fait de la désinformation des médias, ils se mesurent facilement avec cet outil extrêmement simple qu'est le pluviomètre qui en gros est un sceau un peu amélioré qui a l'avantage de la simplicité par rapport à un modèle climatique. Grâce au pluviomètre, on a des séries de données qui vont au-delà du siècle et qui montrent bien une évolution des pluies particulièrement intenses en France notamment dans le bassin méditerranéen. Nous avons donc des preuves aujourd'hui, grâce aux enregistrements climatiques et aux enregistrements post-pluviométriques de ces changements. Aujourd'hui, plus personne ne met en doute l'évolution des températures, la température, c'est encore plus simple à mesurer que la pluviométrie, nous disposons de longues chroniques qui nous montrent cette évolution récente.

Revenons au bassin du Rhin. D'autres chroniques observées et simulées, nous présentent un ensemble de stations sur le Rhin, de Bâle à la frontière néerlandaise, avec une prévision en moyenne saisonnière d'évolution du régime de l'écoulement du Rhin calculée par les modèles hydrologiques qui finalement sont proches du régime actuel mesuré du Rhin. C'est rassurant, ça veut dire qu'on peut dans une certaine mesure faire confiance à ces modèles. **Ce régime du Rhin ne ressemble pas à celui des rivières méditerranéennes, c'est un régime qui a des hautes eaux plutôt au début de l'été qui sont liées clairement à la fonte des neiges dans les Alpes.**

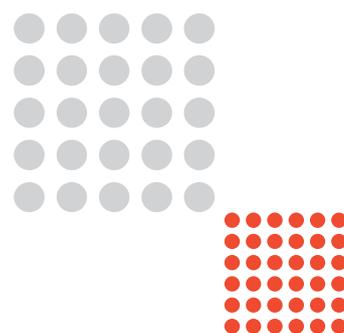
Lorsqu'on se décale vers le futur, à l'horizon 2050 et 2100, on observe que le régime du Rhin va se modifier selon les simulations basées sur des modèles hydrologiques qui ont été alimentés par les modèles météorologiques. On observe que cette forme d'écoulement concentré a tendance à changer et à s'étaler ; ceci est lié à l'élévation des températures et au manque de neige. Moins de neige cela signifie que l'eau des précipitations n'est plus stockée en attendant la fin de l'hiver pour fondre et rejoindre les rivières en été, on aura des écoulements du Rhin plus importants en hiver. Le premier effet du changement climatique est bien le changement de régime du Rhin. On pourrait dire, soit, c'est sans doute plus étalé, mais finalement qu'est-ce que cela changera ?

**Cela changera très certainement pour les écosystèmes et pour les utilisateurs de l'eau qui auront moins d'eau au moment où elle est en fait la plus nécessaire.**

Du point de vue cependant de l'hydroélectricien, ce serait peut-être une bonne affaire compte tenu de la variabilité du prix de l'électricité avec une tendance à la hausse en hiver ; plus d'eau en hiver pourrait permettre de produire plus d'électricité au moment où le courant se vend cher.

**Les sécheresses à répétition vont demander le développement de l'irrigation pour l'agriculture dans le bassin du Rhin** pour laquelle il est beaucoup plus avantageux d'avoir un maximum d'alimentation en eau au début de l'été et en été plutôt qu'en hiver.

Ce qui est assez remarquable lorsque l'on regarde cette courbe de régime du Rhin, c'est que la nature a fait dans le bassin du Rhin l'équivalent de plusieurs fois le barrage de Serre-Ponçon. En fait, ce stockage naturel de la neige rend l'eau du Rhin particulièrement utilisable et finalement, **le changement climatique vient détruire cette capacité de stockage qui nous était donnée gratuitement mais qui finalement va disparaître ou va être réduite considérablement.**



Les modèles climatiques ont représenté l'évolution des précipitations et des températures sur un ensemble de stations sur le Rhin à l'horizon 2050-2100. Cette évolution a été traduite en évolution du débit du Rhin par des modèles hydrologiques s'appuyant sur les meilleures données climatologiques disponibles au moment de la conduite du projet et l'on voit que **l'on aura très probablement une augmentation des crues à un horizon assez lointain, avec des premiers signaux vers 2050, et des signaux plus forts vers 2100.**

Concernant la question des étiages et des basses eaux du Rhin, il y a eu un débat récent suscité par un groupe de scientifiques du *Joint Research Center* d'Ispra en Italie, qui a publié un article dans lequel ils se réjouissaient du changement climatique qui allait réduire les basses eaux du Rhin et donc améliorer la navigabilité. C'est quelque chose qui a fait beaucoup discuter dans la communauté car on sortait d'une très forte sécheresse, celle de 2018. C'était un peu fort, (même si bien sûr, on n'est jamais à l'abri d'un événement qui soit complètement aléatoire) mais on a quand même tendance à avoir, non seulement dans le Rhin mais aussi dans les bassins de l'est de la France, des successions de sécheresse et donc cela semblait quand même tout à fait douteux. C'est dans ce contexte, et

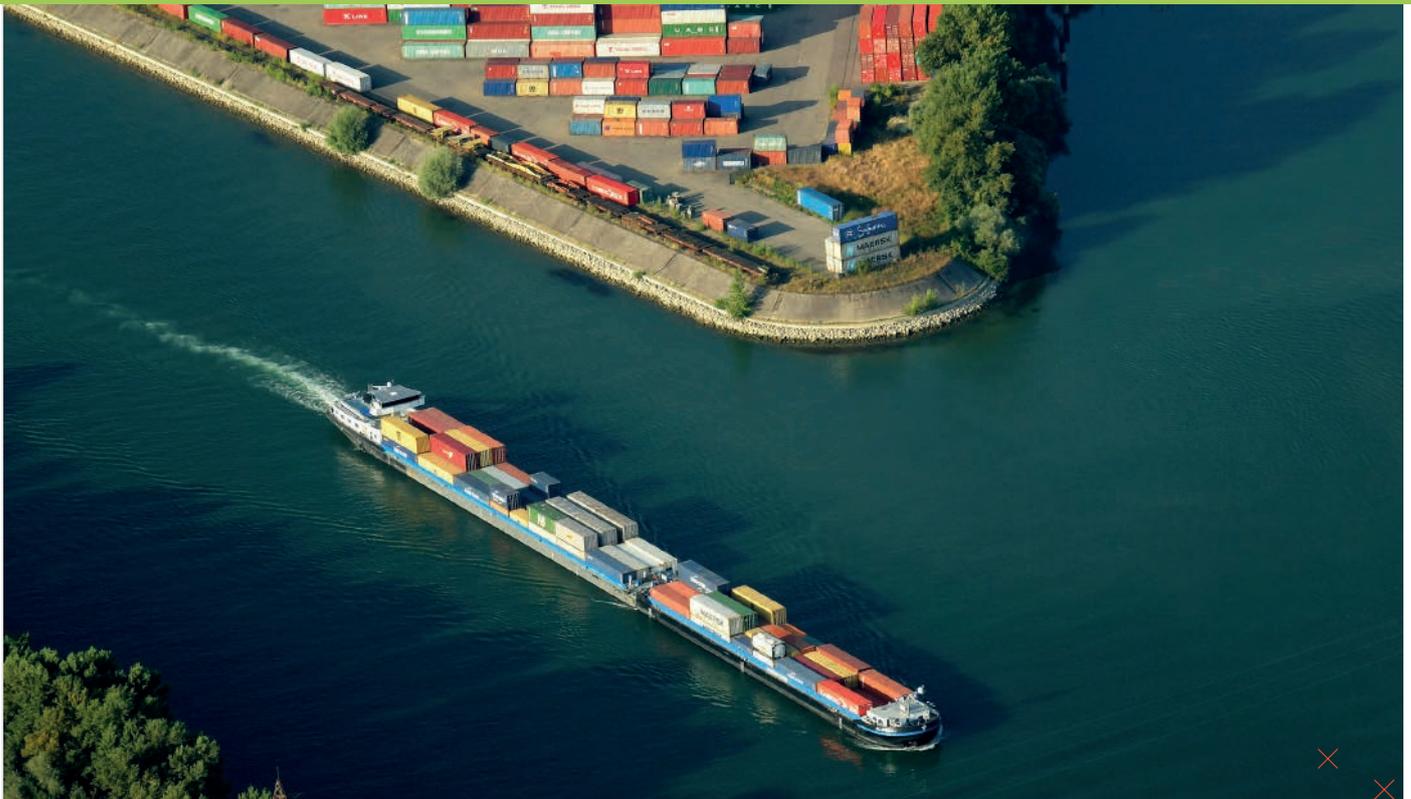
d'après les chiffres que j'avais produits à l'époque, où l'on voit que jusqu'à 2050, il n'y a soit pas de changement, soit une légère augmentation des bas débits. Cela est lié à l'effet de décalage des hauts débits qui ne sont plus uniquement des hauts débits de fonte des neiges mais plutôt des bas débits hivernaux augmentés. Les bas débits hivernaux ne sont pas ceux qui posent le plus de problèmes. Par contre, si on va jusqu'en 2100, les modèles semblent montrer, sans qu'il y ait consensus, qu'il y a des signaux d'aggravation des basses eaux avec, par conséquent, moins de débit pendant les périodes d'étiage.

Je voulais vous montrer une caractéristique des cours d'eau de pays de langue allemande que l'on appelle les pierres **Hungerstein**. Des pierres placées dans le lit des rivières à l'époque pour signaler les grandes sécheresses. Elles n'étaient donc visibles qu'à l'occasion des sécheresses exceptionnelles. Il y en a beaucoup sur l'Elbe, certaines sur la Moselle mais je n'en ai encore jamais vues sur la Moselle française et il y en a une sur le Rhin, près de Worms. Ces *Hungerstein* portent des inscriptions de dates ou des dictons comme par exemple « *lorsque tu me vois, c'est le moment de pleurer* ». Une nouvelle pierre a été placée à l'occasion d'une crue récente du Rhin en Allemagne avec l'inscription « *lorsque tu me vois, c'est l'effet de la crise climatique* ».



**HUNGERSTEIN DE GREENPEACE SUR LE ROCHER DE LA CATHÉDRALE À MAGDEBOURG, ALLEMAGNE « WENN DU MICH SIEHST, IST KLIMAKRISE » (« QUAND TU ME VOIS, C'EST LA CRISE CLIMATIQUE »)**

Photo Dr. Bernd Gross - Creative Commons



## Période de questions

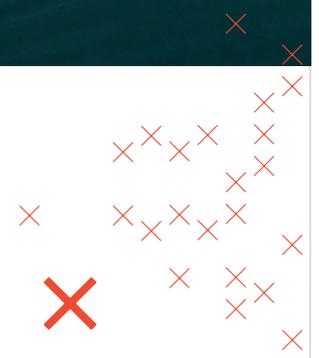
**On l'a dit, l'année 2018 a été une année historique, la navigabilité sur le Rhin a été fortement impactée vers les ports d'Anvers et de Rotterdam. Comment le Port autonome s'est-il adapté ? Y a-t-il eu un plan d'action pour faire face à cette difficulté de navigabilité ? Y a-t-il eu un report par voie routière et ferroviaire ? Comment avez-vous pu vous en sortir ?**

### ↳ Propos de Frédéric Doisy

Le phénomène de basses eaux est assez fréquent pour le Rhin. En hiver, lorsque vous avez un épisode neigeux et une baisse des températures sur les Alpes suisses ou autrichiennes, vous avez le stockage du bassin versant du Rhin qui se fait dans les Alpes et du coup, vous avez moins d'eau et cela pose des problèmes de navigabilité lorsque cette période est longue. C'est la durée des basses eaux qui pose problème au contraire des crues qui ont des impacts sur la navigation plus facile à gérer. Un

pic de crue est beaucoup plus rapide et redescend plus rapidement, alors qu'un étiage, on y vient de manière assez progressive et on peut y rester de manière durable. C'est ce qui est arrivé en 2018.

**Avec la baisse du niveau d'eau et la diminution du débit, la capacité de chargement diminue.** Il y a donc un premier phénomène : vous transportez moins de matériaux ou moins de conteneurs mais, pendant une certaine période, vous gardez une certaine rentabilité du transport. Si le phénomène continue à se dégrader, il devient plus rentable de transporter quelques conteneurs sur une grande barge. À ce moment-là, la réponse est donc de mettre en place des bateaux plus petits et donc paradoxalement vous avez au moment des étiages une augmentation du nombre de bateaux qui circulent parce que les professionnels du transport affrètent des plus petits bateaux pour pouvoir transporter ces matériaux.



**Frédéric Doisy**  
Directeur général délégué du Port autonome de Strasbourg

**Si le phénomène continue, à ce moment-là, les taux de fret ou les prix pratiqués et les niveaux d'eau font qu'il n'est quasiment plus rentable de transporter des matériaux par voie d'eau. C'est ce qui se passe lorsque vous avez un étiage long.**

Récemment, on a eu un phénomène de basses eaux qui a duré une quinzaine de jours. Malgré des réductions de capacités, il n'y a pas eu d'impact notable, le niveau d'eau est remonté et on est revenu à la normale. En 2018, ce n'est pas du tout ce qui s'est passé. L'étiage a commencé l'été alors que normalement les niveaux d'eau sont assez élevés. Comme les étiages naturels ont plutôt lieu en novembre-décembre, nous pensions que le niveau d'eau allait remonter en septembre mais cela n'a pas été le cas. Cet étiage, qui a duré six mois, a fortement pénalisé le transport fluvial.

Monsieur Beisel a dit que le Rhin a été beaucoup régulé et transformé. Ce n'est pas neutre pour la navigation. Pour l'anecdote, lorsque qu'on est interviewé par différents médias en période d'étiage, ils sont toujours surpris de voir que les niveaux d'eau près du Port autonome de Strasbourg ne sont pas bas et ne varient quasiment pas. Ce qu'il faut savoir, c'est qu'entre les villes de Kembs et Iffezheim, il y a le grand canal d'Alsace et la partie canalisée avec les usines hydroélectriques et les écluses.

**Les usines permettent de piloter le débit et donc quand celui-ci baisse, les usines permettent de diminuer la vitesse dans les biefs et de maintenir un débit quasiment constant.** Donc, paradoxalement lorsqu'on a un phénomène d'étiage et que néanmoins on parle de problème de navigabilité, vous n'avez pas de problème de navigabilité entre Bâle et Strasbourg ; par contre vous en avez entre Iffezheim et Rotterdam puisque là, le Rhin retrouve sa morphologie naturelle et c'est lui qui décide du niveau d'eau car il n'y pas d'usine qui pilote le débit. Si le débit baisse, en fonction de la forme du lit du Rhin, vous avez une tendance à avoir une baisse de niveau, donc des problèmes de navigation en période d'étiage. Ces problèmes affectent exclusivement le secteur entre

Iffezheim et Rotterdam. On peut donc se dire qu'il n'y a pas de problème pour Strasbourg. Oui, évidemment, parce que les lignes qui permettent le transport de marchandises sont des lignes qui s'effectuent entre Bâle et Rotterdam et le fait de n'avoir qu'une seule section navigable entre Bâle et Strasbourg ne permet plus de répondre à la demande. **Il faut donc bien distinguer cette partie canalisée du Rhin, aménagée, de celle qu'on appelle le Rhin courant libre où se situent les difficultés de navigation.**

**Le port de Strasbourg est une plateforme multimodale, dès qu'une infrastructure, notamment le fluvial, ne permet plus de transporter les capacités habituelles, un report se fait sur le ferroviaire dans un premier temps** mais ce report n'est pas infini malheureusement. Les trains qui existent au départ de Strasbourg dans la zone portuaire ont leur rentabilité et sont en général des trains déjà assez bien remplis qui ne permettent pas d'absorber toutes les capacités supplémentaires. Il y a donc évidemment un report sur la route qui se fait. Lorsqu'un étiage dure, les reports sur les trains s'organisent au fur et à mesure, jusqu'au moment où il est difficile de mettre des trains supplémentaires pour répondre à cette capacité. **Cela fait partie de nos réflexions : voir comment on peut mettre à disposition des capacités supplémentaires notamment par le train. Cela ne questionne pas uniquement la capacité de traitement des terminaux mais aussi la possibilité d'affréter des trains supplémentaires, de trouver les wagons et les locomotives et surtout trouver les sillons disponibles pour mettre en place des fréquences supplémentaires.** Si on peut le faire, à coup sûr les trains se rempliront. Il y a d'autres ports intérieurs le long du Rhin qui ont aussi investi pour améliorer leurs capacités ferroviaires. C'est le cas à Strasbourg qui a investi dans d'autres gares de triage pour pouvoir accueillir des trains supplémentaires et les traiter dans nos terminaux. C'est donc une des réponses qui peut être apportée mais qui ne suffit pas.





BARRAGE D'IFFEZHEIM SUR LE RHIN

Les crues sont des épisodes plus faciles à gérer car ils sont plus courts. Une crue en plateau a fortement perturbé la navigabilité en 1999, mais, en général, sur un épisode court, vous stockez les bateaux pendant un certain temps. En effet lorsque vous avez l'hydrogramme de crue qui est passé à Bâle, vous avez assez facilement celui de Strasbourg. Vous connaissez donc la durée, vous avez une lisibilité de l'évènement et vous savez que vous allez revenir à des niveaux normaux au bout de six à neuf jours. Il suffit d'attendre, grâce aux systèmes de stationnement qui existent le long du Rhin, que les bateaux se garent, en attendant que l'onde de crue passe et une fois que c'est fait, la navigation reprend son cours. Quand vous regardez d'ailleurs une carte du Rhin à ce moment-là, vous voyez que les différentes écluses se remettent en service successivement de manière assez rapide.

C'est très important pour les opérateurs économiques, comme le port ou les transporteurs, de savoir effectivement, si à terme,

on aura plus d'évènements de crues ou des étiages plus longs. Les séquences statistiques au cours du siècle nous permettent de constater qu'il y a eu des étiages de ce type dont l'un a duré 156 jours, mais à ce moment-là, la navigation n'était pas aussi développée, les flux n'étaient pas aussi tendus et l'impact était moindre.

**Une des réponses à apporter c'est d'adapter la flotte, qui nécessite actuellement des profondeurs d'eau de l'ordre de 3 à 3,5 mètres pour permettre une navigation avec un niveau très bas.**

Les systèmes de propulsion ne sont pas adaptés contrairement à la propulsion des premiers bateaux qui permettait de naviguer assez facilement dans des niveaux d'eau plus bas. Des réflexions sont en cours, mais on ne change pas une flotte de bateaux du jour au lendemain. Les experts des bureaux d'études recherchent la manière d'optimiser la motorisation pour pouvoir continuer à naviguer dans des niveaux plus bas et continuer d'emporter des niveaux de marchandises plus élevés.



**Le Rhin, c'est un écosystème bien particulier de forêt alluviale. Il y en a quelques reliquats aussi autour de Strasbourg. Quel est l'impact du dérèglement climatique ? Revenons sur ce joyau de biodiversité que nous avons parmi nous.**

### ↳ Propos de Jean-Nicolas Beisel

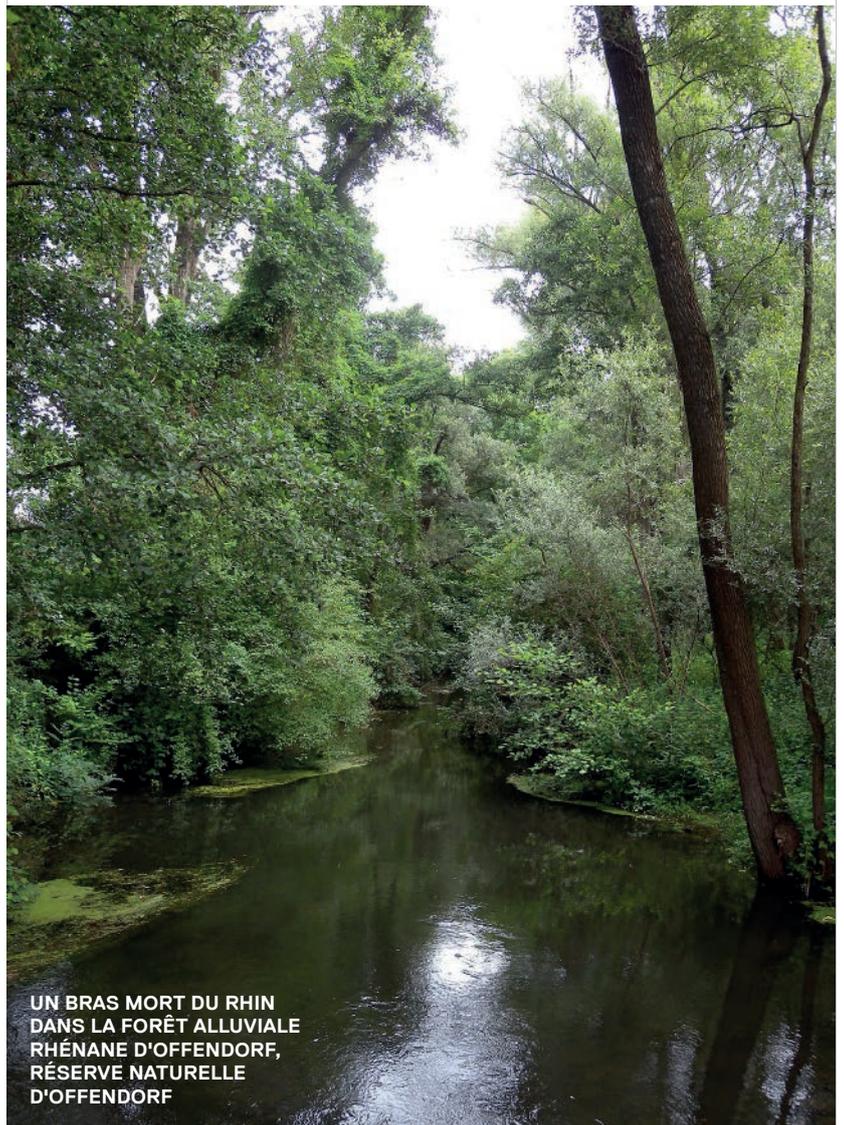
Avec le regard de l'hydroécologue, il faut comprendre que le Rhin aujourd'hui, tel qu'on le connaît au droit de Strasbourg, est un morceau du Rhin supérieur et c'est un fleuve qui est domestiqué. C'est peut-être un des fleuves les plus domestiqués dans le monde. On a commencé à essayer de le maîtriser depuis au moins un demi-siècle avec les travaux de Tulla qui ont démarré en 1840. Ces travaux ont surtout consisté à corseter le Rhin entre des digues et finalement la seule dimension que l'on en voit aujourd'hui, c'est une dimension longitudinale, c'est l'écoulement gravitaire de l'eau de l'amont vers l'aval. On imagine que c'est cela un fleuve, mais **un fleuve, c'est trois dimensions physiques et une dimension temporelle : la dimension temporelle, c'est cette variabilité du régime métrologique dont on a parlé précédemment. Dans les dimensions physiques, il y a la dimension latérale et aussi la relation avec la nappe. Et les deux sont étroitement liées.**

La dimension latérale est très importante parce qu'elle est la plus-value de ce qu'on appelle aujourd'hui l'hydrosystème fluvial. À l'occasion des crues débordantes, quand le niveau d'eau affleure le bord du lit, on va avoir un débordement du fleuve. Cela va créer une dissipation d'énergie, un écrêtement de la crue et réaliser une submersion du lit majeur. Cette submersion tout à fait naturelle va permettre de rajeunir le système, de créer des nouveaux chenaux et d'aller régulièrement inonder des espaces qui sont composés d'espèces qui ont besoin de ces inondations. La forêt alluviale est composée de plantes hygrophiles qui ont besoin d'avoir régulièrement les pieds dans l'eau pour vivre, sinon on trouverait au bord du Rhin exactement les mêmes espèces que celles que l'on va trouver un peu plus haut dans les milieux plus secs. **Ce qui fait la richesse de l'hydrosystème fluvial, c'est un complexe, une mosaïque de micro-milieux. Il y a évidemment le chenal principal dont on a beaucoup parlé, mais aussi tous ces milieux latéraux que l'on appelle des annexes hydrauliques ; cela peut être**



### Jean-Nicolas Beisel

Professeur, enseignant et chercheur à l'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (ENGEES) et rattaché au Laboratoire image ville environnement (LIVE).



UN BRAS MORT DU RHIN  
DANS LA FORÊT ALLUVIALE  
RHÉNANE D'OFFENDORF,  
RÉSERVE NATURELLE  
D'OFFENDORF



LE RHIN ET LE NORD DE L'ÎLE  
DU ROHRSCROLLEN, À GAUCHE  
LA RIVE ALLEMANDE DU RHIN,  
STRASBOURG

**d'anciens chenaux du fleuve, des mares et des mardelles plus ou moins bien connectés au milieu principal.**

La troisième dimension est celle avec la nappe. Lorsque le fleuve déborde, l'eau va avoir du temps pour s'infiltrer dans le sol et gagner au passage en qualité et aller recharger cette nappe ; et cette nappe finalement, lorsqu'elle est chargée de manière importante va aussi permettre de soutenir les débits du Rhin. C'est ce qui va permettre d'avoir de l'eau car le fleuve dans son chenal principal va se comporter comme un drain du toit de nappe. Il y a finalement une relation étroite entre les trois dimensions.

Ce sont des milieux extrêmement riches. On parle souvent de *Hotspots* de biodiversité et quand on dit cela (même dans un style très journalistique), on s'imagine tout de suite projeté en forêt tropicale, sous les tropiques avec les récifs coralliens ! **Les Hotspots de biodiversité en France sont les milieux alluviaux, ils sont d'une richesse absolument extraordinaire.**

Il faut percevoir (nous n'avons pas encore décrit toutes les espèces vivantes) que les

milieux aquatiques représentent sur terre une surface ridicule de 0,01 %, c'est très peu. Et sur ces 0,01 % quand on fait une comptabilité basique, on arrive à 9 % des espèces décrites sur 0,01 % de la surface terrestre. Dans le cadre du Rhin, on a une diversité très forte, il y a des espaces protégés sur lesquels il y a des inventaires qui sont faits depuis très longtemps et que l'on connaît très bien. Imaginez, par exemple, quand on va au droit de Strasbourg sur l'île du Rohrschollen, une relique de forêt alluviale, on va trouver 60 espèces de ligneux, 500 espèces de végétaux supérieurs, on peut compter 160 espèces d'oiseaux différentes et une trentaine d'espèces de poissons. 30 espèces de poissons c'est incroyable, quand on sait qu'il y a 72 espèces en France ! ! On y trouve également 40 espèces d'odonates : libellules et demoiselles. 40 est un chiffre hallucinant alors que la France en compte 96 espèces. **Ces milieux sont d'une richesse incroyable quel que soit le groupe auquel on va s'intéresser et ces espèces-là sont extrêmement bien adaptées à leurs conditions de vie, les zones humides et les milieux aquatiques.**

Pour rebondir sur cette question de l'évolution des régimes hydrologiques, qu'est ce qui va se passer finalement ?

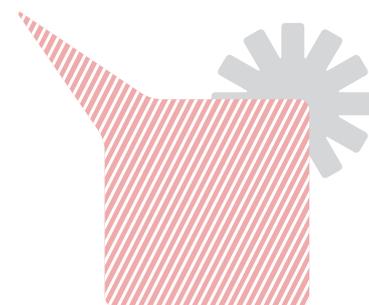
**Cette faune et cette flore très adaptées à leurs milieux vont probablement composer avec les excès et l'augmentation de débit. Une fréquence plus importante de débit fort aura probablement un impact moins important que l'impact qui sera induit par le manque d'eau.**

C'est véritablement le manque d'eau qui va poser problème et finalement ces étiages que l'on imagine plus sévères, quelles vont être leurs conséquences ? Ils peuvent arriver à un moment où les espèces sont en train de se reproduire. Or il y a beaucoup d'espèces qui ont besoin de se reproduire latéralement dans des annexes hydrauliques, ces fameux milieux adjacents au cours principal qui sont souvent des zones de nurseries et de reproduction. Imaginez que durant une, deux, trois années successives, on ne puisse pas avoir de connexion satisfaisante avec ces milieux adjacents et bien on peut imaginer qu'un certain nombre d'espèces, piscicoles par exemple, pourrait avoir des défauts de reproduction et finalement une dynamique de population qui serait en déclin. Une inondation plus fréquente de ces milieux ne serait pas forcément quelque chose de problématique.

**Trois réserves naturelles existent à proximité de Strasbourg. Vous en avez évoqué une : le Rohrschollen. Il y a un ouvrage qui a été financé par la Ville de Strasbourg dans le cadre d'un projet européen sur la création d'inondations écologiques. Pouvez-vous nous en parler ?**

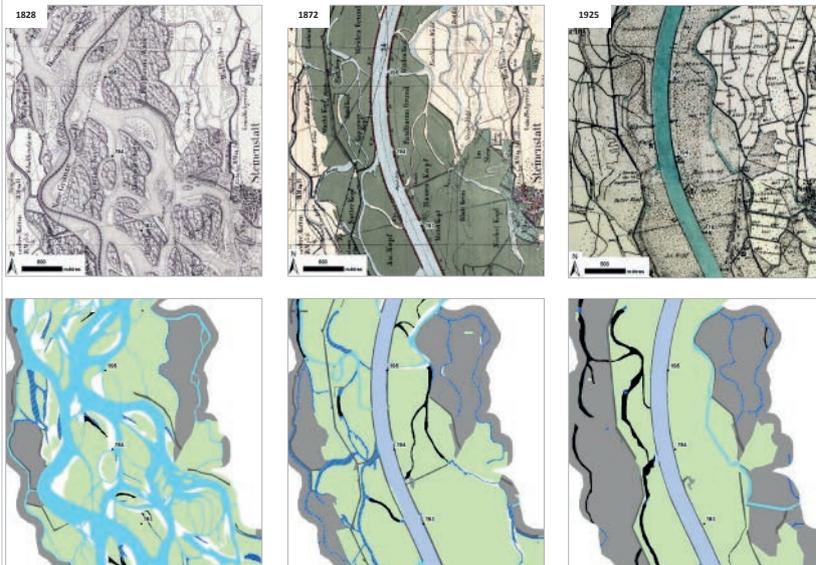
L'aménagement du barrage hydroélectrique de Strasbourg date des années 70. Le principe a été d'amener l'essentiel de l'eau du Rhin dans un bief vers un barrage hydroélectrique et une écluse qui permet de faire passer des bateaux. En construisant ce chenal qui est complètement artificiel, un trapèze de béton, on a isolé une partie d'une forêt alluviale du massif du Neuhof. Ce morceau

de forêt ainsi isolé qui fait 314 hectares, s'est retrouvé sur une île artificielle, parce que du côté est, on a gardé un ancien chenal du Rhin pour les excès de crues dans le cas où on dépasserait la capacité hydraulique du bief d'amener vers le barrage hydroélectrique. Donc, quand on est en crue, jusqu'à 1 550 mètres cubes seconde (les chiffres importent peu), quasiment toute l'eau s'écoule vers le barrage, sauf 13 mètres cubes seconde qui vont dans le vieux Rhin. Au-dessus de cette capacité du bief d'amener, l'eau est déversée dans le bras qui est le plus à l'est. Donc, on a créé une île artificielle sur laquelle se trouvaient encore d'anciens chenaux du Rhin, des bras secondaires que l'on appelle des anastomoses. **Ces milieux, lorsqu'ils ne sont pas régulièrement rabotés par une crue et lorsque l'eau n'a pas l'occasion d'y faire de nouveau son chemin, se colmatent, les matières en suspension dans l'eau se déposent et ça finit par se terrestrialiser. Le milieu devient de plus en plus sec et perd son caractère alluvial.** Dans des projets de restauration, une solution consiste à réinjecter de l'eau et dans ce cas précis, la Ville de Strasbourg a porté



**CES CARTES DE 1828, 1872 ET 1925 SONT UTILISÉES POUR RECONSTITUER LES MILIEUX FLUVIAUX DU RHIN SUPÉRIEUR**

Sources : F. Arnaud et al. 2019



un projet dans le cadre d'un LIFE (l'instrument financier pour l'environnement), un programme LIFE + qui s'est déroulé entre 2010 et 2016. Ce programme a consisté à construire un chenal de 800 mètres. C'était extrêmement ambitieux, pour ramener de l'eau sur cette fameuse anastomose qui s'appelle le *Bauer Grunwasser* et le but était d'injecter toute l'année deux mètres cubes seconde et quand le débit du Rhin devient important, d'injecter une valeur plus grande de manière à avoir un effet de curage et de chasse des sédiments fins sur cet ancien bras du Rhin. Pour vous dire l'importance de ces inondations et submersions écologiques, le chenal qui a été créé, a été dimensionné pour un débit de 20 mètres cubes seconde et ce qui a été prévu, c'est que l'on puisse injecter jusqu'à 80 mètres cubes seconde. Dès le départ, on conçoit en fait la restauration comme étant une amenée d'eau qui va forcément déborder sur l'île et c'est cela qui va lui permettre de garder son caractère alluvial. C'est un projet extrêmement ambitieux qui est porté par la Ville et c'est une très belle réalisation pour laquelle mon laboratoire a eu l'occasion de faire les suivis post restauration de ces milieux. Ils ont pu montrer les bénéfices du point de vue hydromorphologique, qui avaient été constatés.

**Est-ce qu'il y a des risques que dans ces zones, ces forêts humides, il y ait des espèces invasives qui apportent des problèmes de santé comme la malaria, le chikungunya ou d'autres maladies ?**

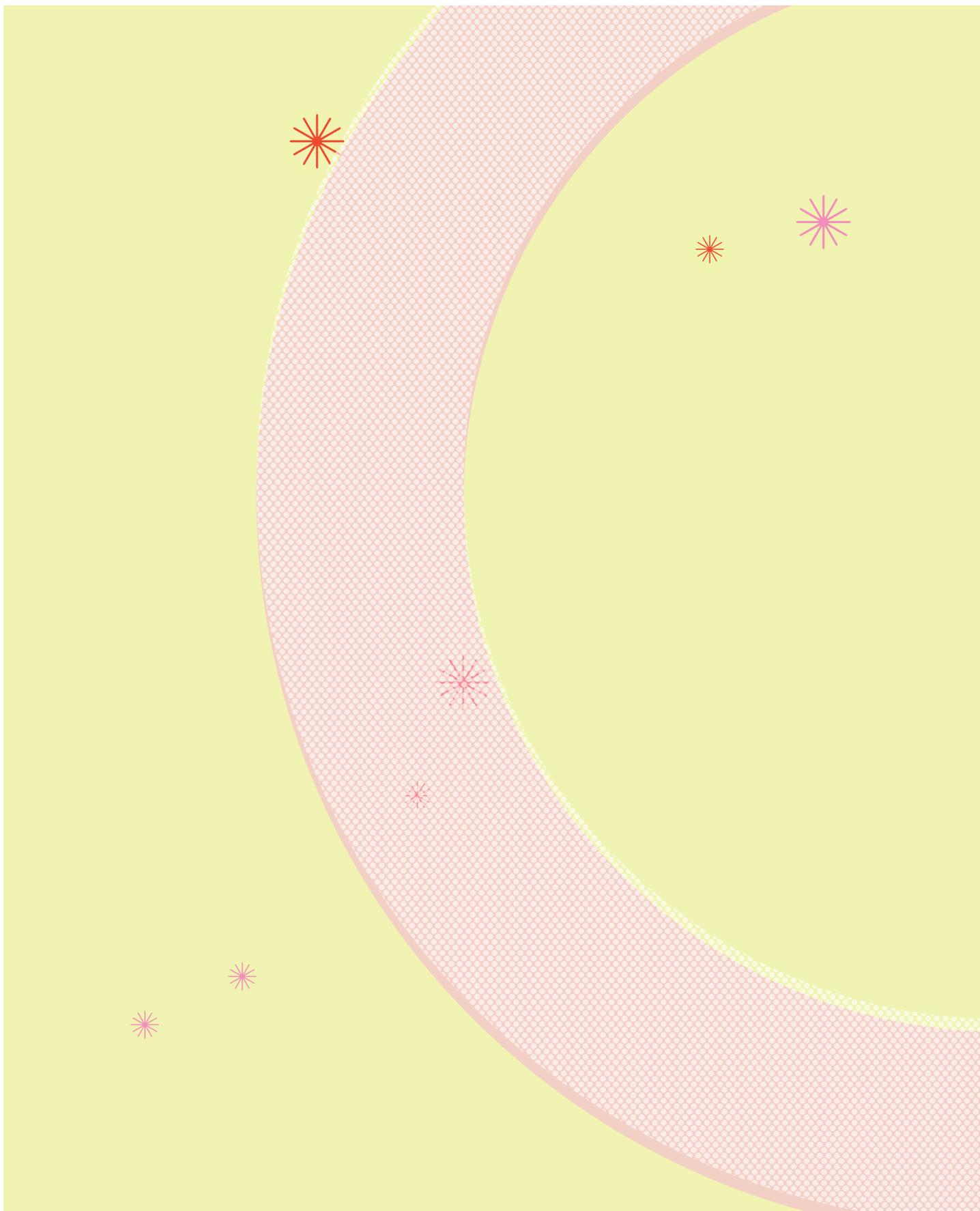
La biodiversité réalise des fonctions, qui amènent des services écosystémiques contribuant au bien-être humain. Il y a une chaîne séquentielle et il faut être honnête pour contrebalancer cette vision un peu idyllique, il y a aussi des disservices du point de vue des êtres humains et les moustiques en font partie. Dans un milieu naturel classique avec des zones humides et des eaux stagnantes, on va voir une densité de moustiques importante. Aujourd'hui, nous ne sommes pas complètement démunis pour essayer de lutter contre ce phénomène, y compris aux abords d'espaces qui ont des statuts de protection. On sait diminuer les densités de moustiques avec des interventions humaines et avec une forme de lutte biologique qui est en général à base de Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) ; une souche bactérienne qui est très ciblée sur quelques groupes de diptères.

Cela marche très bien sur les larves, et ne permet pas d'éliminer complètement les espèces mais de diminuer les densités.

**Est-ce qu'il y a des espèces exotiques qui finalement colonisent ces milieux ?**

La réponse est oui ! Aujourd'hui, il y a deux grands vecteurs : le premier est l'élevage, les cultures, qu'elles soient professionnelles ou de particuliers. Il y avait une mode avec les nouveaux animaux de compagnie et vous n'imaginez pas tout ce que l'on peut retrouver comme animaux exotiques dans les milieux naturels. Évidemment, tous ne vont pas s'implanter et tous ne vont pas donner des populations qui vont poser problème. En dehors de ces unités d'élevage ou de culture, il y a aussi des vecteurs anthropiques, avec des espèces qui finalement sont ce qu'on appelle des commensaux d'activités humaines et en particulier, la navigation est reconnue comme un vecteur de beaucoup d'espèces. Des espèces qui se collent sur la coque des bateaux vont être parsemées ici ou là, et puis vous avez des espèces qui voyagent dans ce que l'on appelle les eaux de ballast qui servent à équilibrer la charge des navires, et entre le port d'embarquement et le port de débarquement, certaines des espèces qui ont été ballastées vont survivre et se retrouver dans un milieu récepteur où elles n'avaient jamais été observées et fonder une nouvelle population.

**Les espèces invasives sont un vrai souci sur le Rhin et un certain nombre d'entre elles explose en effectif.** On a aussi une grande diversité d'espèces exotiques. En effet, on peut trouver une dizaine de poissons exotiques. Je me suis beaucoup intéressé aux invertébrés aquatiques, c'est ma spécialité. L'essentiel de la diversité, exactement d'ailleurs comme en milieu terrestre, est fait par des invertébrés, c'est-à-dire, des insectes, des crustacés, des mollusques. Ces animaux qui vivent sous le miroir de l'eau, auxquels on s'intéresse peu, sont une richesse qui est extrêmement importante. **En prenant au hasard une centaine d'individus sur le fond du Rhin, on va trouver 80 individus qui appartiennent à des espèces exotiques. C'est vraiment exceptionnel d'atteindre des densités aussi fortes sur un milieu.** La diversité est encore très riche et finalement ces espèces exotiques, lorsqu'elles sont invasives et proliférantes, se surajoutent aux autres stress que peuvent causer les activités anthropiques pour créer une pression supplémentaire sur la faune et la flore locales.



**ADEUS**

Agence  
d'urbanisme  
de Strasbourg  
Rhin supérieur

Directeur de publication : **Pierre Laplane, Directeur général**  
Équipe projet : **Florence Bourquin** (chef de projet),  
**Hyacinthe Blaise, Nathalie Griebel, Jean Isenmann,**  
**Sophie Monnin, Camille Muller**  
PTP 2021 - N° projet : **1.4.1.1** - Photos : **Jean Isenmann**  
Mise en page : **Sophie Monnin**  
© ADEUS - Juin 2022 - N° Issn : 2112-4167  
Les publications et les actualités de l'urbanisme  
sont consultables sur le site de l'ADEUS [www.adeus.org](http://www.adeus.org)