



# Dynamique de colonisation des moules dreissènes (moules zébrées et quagga) dans la Moselle

*Nicolas TRUNFIO<sup>1,2</sup>, Géraldine NOGARO<sup>1</sup>,  
Jean-Nicolas BEISEL<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>EDF R&D LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement), Chatou  
<sup>2</sup>Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg



# Sommaire

**1. Les moules  
dreissènes –  
présentation générale**

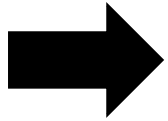
**2. Etude *in-situ* des  
populations de moules  
dreissènes dans la  
Moselle**

**3. Méthodes de  
gestion applicables en  
milieu industriel**

# Partie 1 : Les moules dreissènes - présentation générale



Mollusques bivalves d'eau douce originaires du bassin ponto-caspien, considérés comme des **espèces exotiques envahissantes (EEE)**, notamment en France et en Amérique du Nord



Deux espèces du genre *Dreissena* en France : ***Dreissena polymorpha*** (moule zébrée/moule zebra) et ***Dreissena rostriformis bugensis*** (moule quagga)



Photographie de moule zébrée (gauche) et de moule quagga (droite)

Source : U.S. Geological Survey

<https://www.usgs.gov/communications-and-publishing/news/earthword-quagga-mussel>



# Partie 1 : Les moules dreissènes - présentation générale

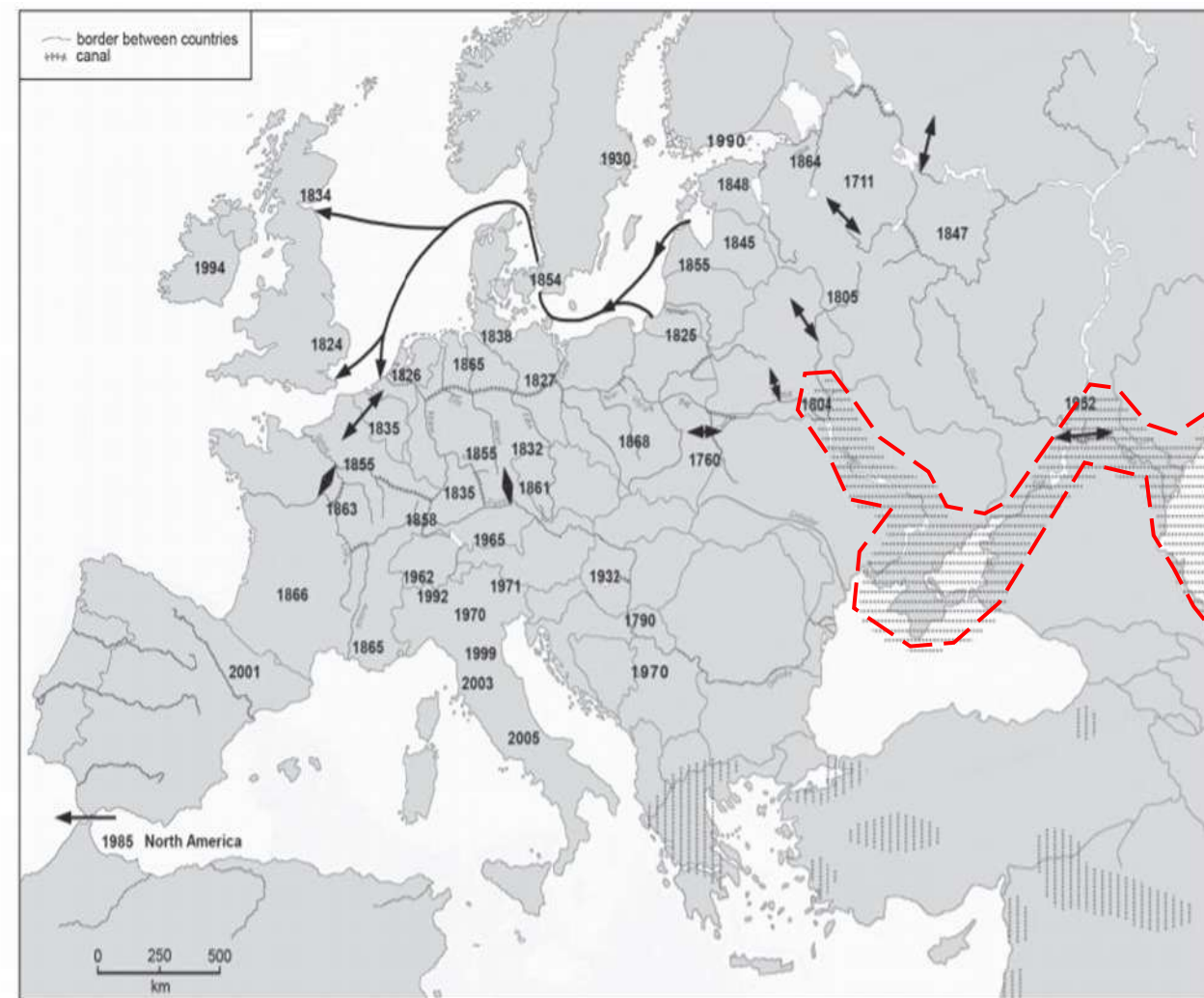
- **Moule zébrée est présente** en Europe depuis le 19<sup>ème</sup> siècle (Morton, 1993)
- Aujourd'hui, elle est présente dans tous les grands bassins hydrographiques français (Testard, 1991)



Moules zébrées prélevées dans le canal du Midi en 1862



**Moule zébrée colonise encore de nouveaux milieux en France**



**Répartition et dispersion de la moule zébrée en Europe**  
**Aire en rouge : aire de répartition originelle**

Repris et modifié de Van der Veld et al., 2010

# Partie 1 : Les moules dreissènes - présentation générale

- **Moule quagga est présente en Europe depuis les années 1940**
- Identifiée pour la première fois en **France** en **2011** en Moselle (Bij de Vaate et Beisel, 2011)
- Aujourd'hui, elle est principalement présente dans l'**Est** et le **Sud-Est** (Moselle et Rhône)

 Aquatic Invasions (2011) Volume 6, Supplement 1: Sxxx-Sxxx  
doi: 10.3391/ai.2011.6.S1.xxx  
© 2011 The Author(s). Journal compilation © 2011 REABIC [Open Access](#)

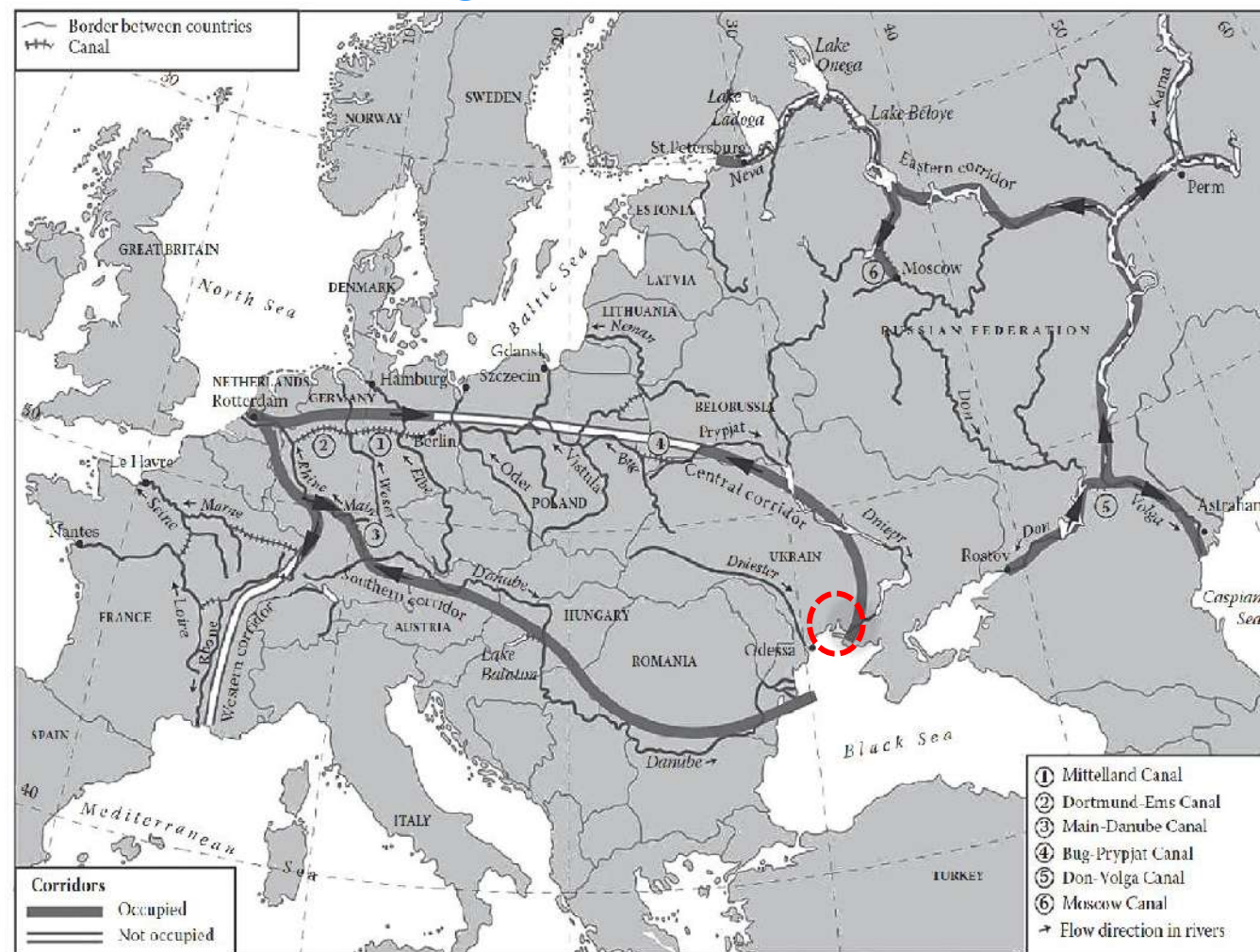
**Aquatic Invasions Records**

**Range expansion of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897) in Western Europe: first observation from France**

Abraham bij de Vaate<sup>1\*</sup> and Jean-Nicolas Beisel<sup>2</sup>



**Colonisation de la moule quagga ne fait que débuter en France**



**Répartition et dispersion de la moule quagga en Europe**

**Aire en rouge : aire de répartition originelle**

Repris et modifié de Van der Veld et al., 2010



# Partie 2 : Etude *in-situ* des populations de dreissènes dans la Moselle



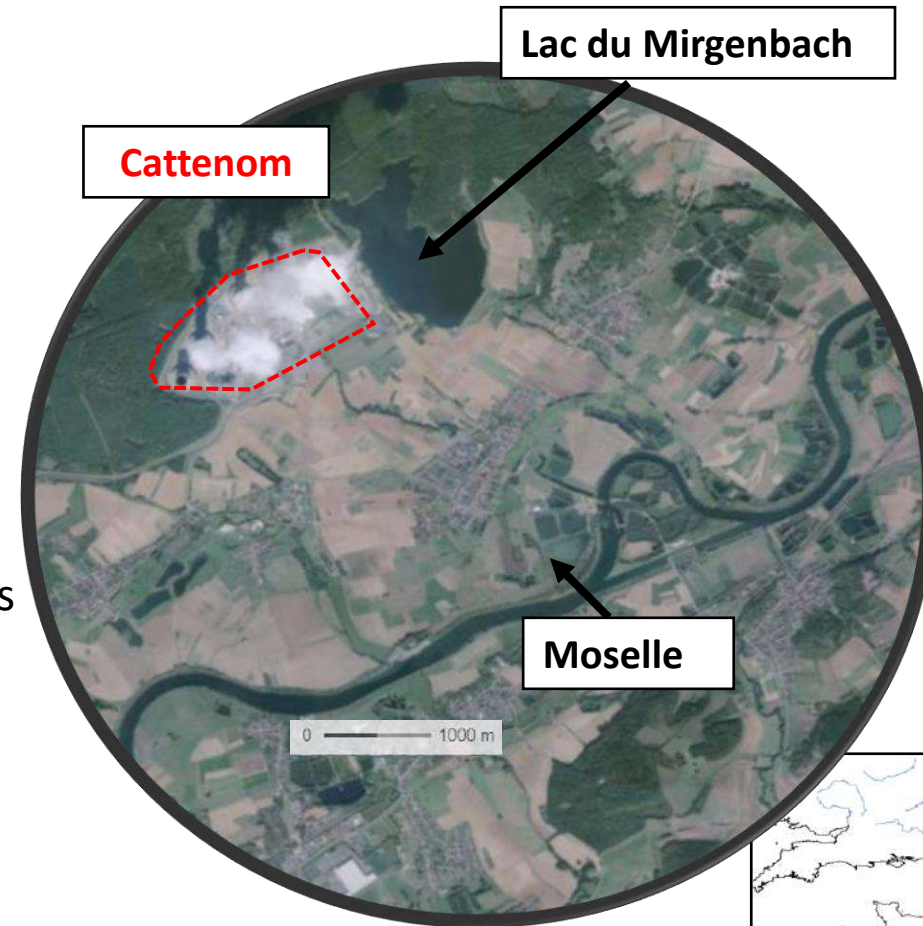
- **Sites d'études aux abords de la centrale de Cattenom**

- Rivière Moselle
- Lac de Mirgenbach



- **Objectifs**

- Déterminer la proportion des deux espèces
- Déterminer la dynamique de reproduction des moules dreissènes dans la Moselle et dans le Lac



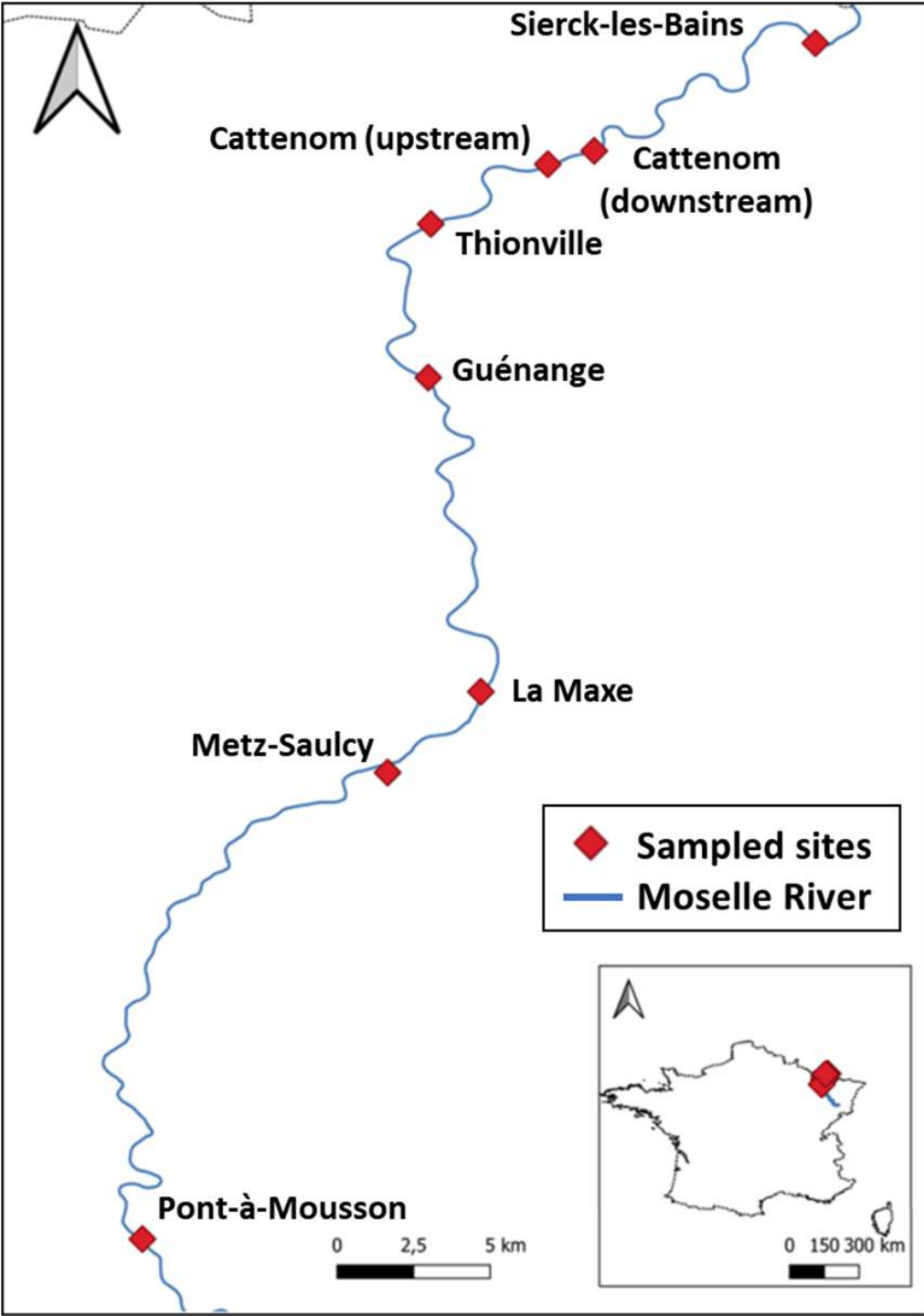
## Partie 2 : Etude *in-situ* des populations de dreissènes dans la Moselle

Pourquoi déterminer la proportion des deux espèces et leurs dynamiques de reproduction ?

Espèces **biologiquement très différentes** (= gestion différente)

Véligères (larves de dreissènes) et dreissènes en période post-reproduction **plus sensibles** aux méthodes de gestion

Optimisation des méthodes de gestion



**8 stations** sur la **Moselle** (amont et aval de Cattenom)  
**1 station** dans le **lac du Mirgenbach**



**4 dates d'échantillonnage** : Mai, Juillet et Novembre 2021  
 + Mai 2022



**300 à 700 individus** collectés par station/date d'échantillonnage  
 (individus de toutes tailles – aucun choix de prélèvement)

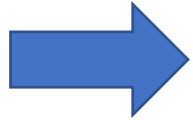
### Analyse des données

- **Identification de l'espèce + mesure de la longueur de la coquille** pour chaque individu
- **Abondance** des deux espèces (%) + estimation de leur **biomasse** (%)
- Détermination de la **dynamique de reproduction** :
  - ✓ *Classement des individus en différentes classes de tailles (1mm)*
  - ✓ *Détermination du nombre de cohorte (méthode de décomposition plurimodale de Bhattacharya)*
  - ✓ *Détermination de l'âge de chaque cohorte (rétro-calcul grâce à un modèle de croissance)*

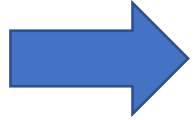


## Partie 2 : Etude *in-situ* des populations de dreissènes dans la Moselle

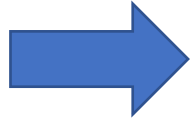
### Abondance et biomasse de quagga dans la Moselle



**Lac du Mirgenbach** : uniquement de la moule zébrée et en très faible densité (<100 ind récoltés après 2h de prospection)



**Quagga** = 30 à 50% des effectifs de dreissènes dans la Moselle (sauf Thionville campagne 2 = 10%)



**Mais biomasse des moules quagga = 60 à 81 % de la biomasse totale des moules dreissènes suivant les différentes stations**

**Les moules quagga représentent un volume d'organismes invasifs + important que les moules zébrées sur la Moselle**

# Partie 2 : Etude *in-situ* des populations de dreissènes dans la Moselle

## Dynamique de reproduction de la moule zébrée

Utilisation d'un modèle de croissance propre à la moule zébrée dans la Moselle (Beisel et al., 2007)



**Calcul de la date de naissance théorique :**  
date donnée par le modèle (minimum à 0,5mm) – 40 jours (temps moyen pour qu'une larve de zébrée tout juste née atteigne 0,5mm - Ackerman et al., 1994)

**2 épisodes de reproduction par an (entre 2019 et 2021) pour la moule zébrée dans la Moselle**

## Dynamique de reproduction de la moule quagga

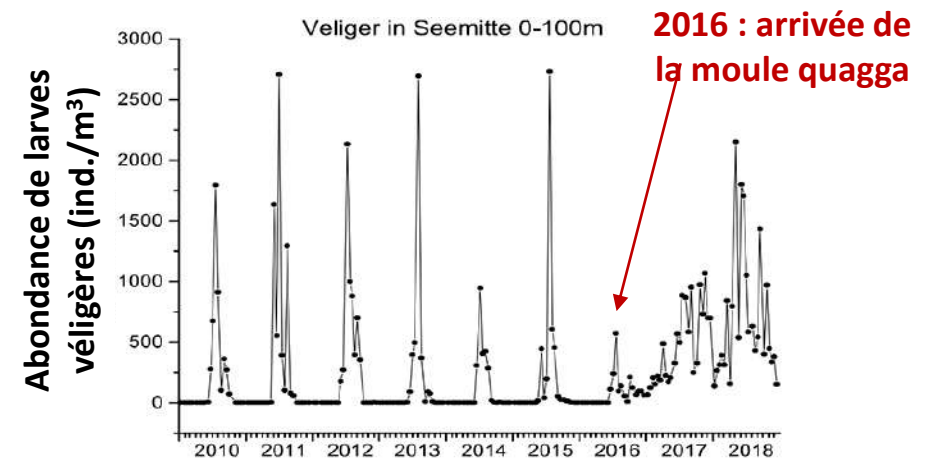
**Pas de modèle de croissance existant pour la moule quagga**

Nombre de cohortes assez variables pour chaque station = pas de schéma général pour la dynamique de reproduction

**La Moule quagga est-elle capable de se reproduire toute l'année ?**



**Reproduction continue déjà démontrée dans le Lac de Constance**



# Partie 3 : Méthodes de gestion applicable en milieu industriel

Tuer ou empêcher la fixation des larves, ou tuer les adultes installés (zebra comme quagga), sans impacter l'environnement

## Méthode préventive :

Empêcher l'installation de nouvelles populations

## Méthode curative :

Eliminer des populations déjà en place

~~Chlore, chloramines, sels de potassium, cuivre, revêtements antisalissures à effet biocides, ozone-UV, revêtement antisalissures à effets de surface, biobullets, Zequanox~~

Préventifs

Curatifs  
( mais catégorisé comme biocides)



## Partie 3 : Méthodes de gestion applicable en milieu industriel



- **Principe** : exposition à la lumière UV (100 -110 mJ/cm<sup>2</sup> ) pour éliminer les larves
- **Efficacité** : 100 % de mortalité des larves, zébrée comme quagga (Pucherelli et Claudi., 2017 ; Claudi et Prescott., 2013 ; Plummer 2013)
- **Inconvénients/limites** :
  - Inefficace sur les adultes (coquilles = protection)
  - Effets limités à la zone appliquée



**Système de désinfection hydro-optique – Barrage Davis (Pucherelli et Claudi., 2017)**

# Partie 3 : Méthodes de gestion applicable en milieu industriel

## Les revêtements antisalissures à effet de surface\*

\* ou « revêtement antifouling »

### • Principe :

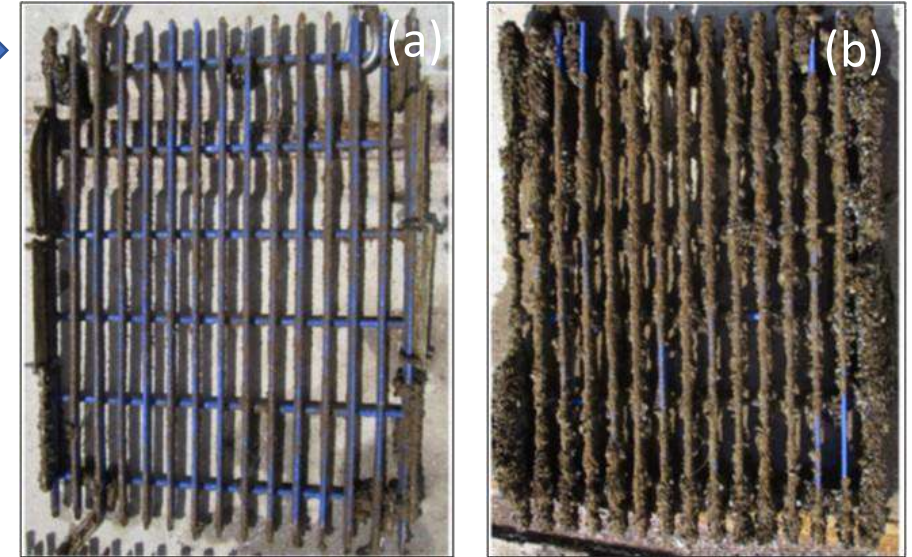
- Revêtements antifouling non biocides réduisent la force d'adhésion des organismes (silicone, fluorosilicone)
- Facilite le nettoyage des surfaces traitées, voire empêche la fixation d'organismes si la vitesse de l'eau est importante (Passamaneck, 2018 ; Skaja, 2014) mais peu résistants à l'abrasion
- Aucune substance biocide

### • Efficacité :

- Très efficace pour limiter l'adhésion des dreissènes (adultes comme larves), notamment quand la vitesse de l'eau est importante (tests en barrage ; Skaja, 2014, 2010; Tordonato, 2014)

### • Inconvénients/limites :

- Durée de vie/résistance dans le temps peu connues
- Ecotoxicologie des peintures utilisées à tester



### International Paint Intersleek 970

(a) après 5 ans et (b) après 10 ans d'exposition en conditions naturelles dynamiques (barrage Parker sur le réservoir Havasu à la frontière entre l'Arizona et la Californie). Après 10 ans, le biofouling est important mais facilement nettoyable (source : Skaja, 2018)

# CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

- **Abondance et biomasse des moules quagga par rapport au total de moules dreissènes dans la Moselle**
  - Entre 30 et 50 % en abondance
  - Entre 50 et 80 % en biomasse
- **Dynamiques de population des moules zébrées et quagga**
  - Validation d'un modèle de croissance pour la moule zébrée
  - 2 périodes de reproduction pour la moule zébrée (avril et juin)
  - Pas de schéma de reproduction clair pour la quagga: hypothèse de reproduction en continue
- **Méthode de gestion**
  - UV et revêtements antifouling : les plus prometteurs mais à tester sur la durée en conditions industrielles
  - Utilisation de produits biocides en eau douce en France peu probable
- **Perspectives : Thèse de doctorat depuis le 3 octobre 2022 entre EDF R&D et l'ENGEES**
  - Etudes *in-situ* des populations de moules dreissènes dans le Rhône et la Garonne et suivis reconduits dans la Moselle
  - Détermination des conditions hydrodynamiques favorisant la fixation et l'arrachage des dreissènes en milieu industriel
  - Tests *in-situ* de méthodes de gestion (ex. revêtements antifouling, UV)





# Merci

## Contacts :

Nicolas TRUNFIO

[nicolas.trunfio@engees.unistra.fr](mailto:nicolas.trunfio@engees.unistra.fr)

[nicolas.trunfio@edf.fr](mailto:nicolas.trunfio@edf.fr)

Géraldine NOGARO

[geraldine.nogaro@edf.fr](mailto:geraldine.nogaro@edf.fr)

Jean-Nicolas BEISEL

[jean-nicolas.beisel@engees.unistra.fr](mailto:jean-nicolas.beisel@engees.unistra.fr)



# Bibliographie

- Peyer, S., McCarthy, A., Lee, C., 2009. Zebra mussels anchor byssal threads faster and tighter than quagga mussels in flow. *J. Exp. Biol.* 212, 2027–36. <https://doi.org/10.1242/jeb.028688>
- Plummer, A., 2013. ZEBRA MUSSEL RESOURCE DOCUMENT- Trinity River Basin, Texas.
- Pucherelli, S.F., Claudi, R., 2017. Evaluation of the effects of ultra-violet light treatment on quagga mussel settlement and veliger survival at Davis Dam. *Manag. Biol. Invasions* 8, 301–310. <https://doi.org/10.3391/mbi.2017.8.3.04>
- Skaja, A., 2014. Coatings for Invasive Mussel Control – Results from Six Years of field testing.
- Testard, P., 1991. *Éléments d'écologie du lamellibranche invasif Dreissena polymorpha pallas : Etude de la dispersion des larves en région parisienne et de leur fixation : Sensibilité à l'anoxie (These de doctorat)*. Paris 6.
- Tordonato, D.S., 2014. Foul release coatings scale -up. Testing - Parker Dam Trashrack : Fiscal Year 2014 Report.
- Van der Velde, G., Rajagopal, S., Bij de Vaate, A., 2010. From zebra musselsto quagga mussels: An introduction to the greissenidae. *Ned. Tijdschr. Tandheelkd.*
- Whitley, G., Weber, M., Demartini, J., Oldenburg, J., Roberts, D., Link, C., Rackl, S., Rude, N., Yung, A., Bock, L., Oliver, D., 2014. An evaluation Zequanox® efficacy and application strategies for targeted control of zebra mussels in shallow-water habitats in lakes. *Manag. Biol. Invasions* 6. <https://doi.org/10.3391/mbi.2015.6.1.06>
- Zequanox® Molluscicide | Zebra Mussel Control | Marrone Bio, 2019. . Marrone Bio Innov. URL <https://marronebio.com/products/zequanox/> (accessed 7.25.21). Aldridge, D.C., Elliott, P., Moggridge, G.D., 2006. Microencapsulated BioBullets for the control of biofouling zebra mussels. *Environ. Sci. Technol.* 40, 975–979. <https://doi.org/10.1021/es050614+>
- Aoki, M., Takeda, Y., Fukunaga, H., Koike, T., Murakami, S., Homma, K., 2008. Effect of Ferric Ions on the Mechanical Strength of Marine Mussel Adhesive Proteins. *J. Biomech. Sci. Eng.* 3, 188–199. <https://doi.org/10.1299/jbse.3.188>
- Beisel, J.-N., Peltre, M.-C., Kaldonski, N., Hermann, A., Muller, S., 2017. Spatiotemporal trends for exotic species in French freshwater ecosystems: where are we now? *Hydrobiologia* 785, 293–305. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2933-1>
- Bij de Vaate, A., Beisel, J.-N., 2011. Range expansion of the quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Western Europe: first observation from France. *Aquat. Invasions* 6. <https://doi.org/10.3391/ai.2011.6.S1.016>
- Christeans, S., 2015. Nouvelles technologies alternatives à la désinfection chimique. Intérêts, limites, avenir.
- Claudi, R., Prescott, T., 2013. Evaluation of UV Technology at Hoover Dam as Means of Eliminating Downstream Settlement of Dreissenid Mussel Veligers.
- Dermott, R., Bonnell, R., Carou, S., Dow, J., Jarvis, P., 2003. Spatial distribution and population structure of the mussels *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis* in the bay of Quinte, Lake Ontario, 1998 and 2000.
- Karatayev, A., 1995. Factors determining the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* in lakes, dam reservoirs and channels (No. EPRI-TR-105116; CONF-9502124-). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (United States).
- Khalanski, M., 1997. Conséquences industrielles et écologiques de l'introduction de nouvelles espèces dans les hydrosystèmes continentaux : la moule zébrée et autres espèces invasives. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 385–404. <https://doi.org/10.1051/kmae:1997037>
- Locklin, J., Corbitt, D., McMahon, R., 2020. Settlement, density, survival and shell growth of zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, in a recently invaded low latitude, warm water Texas reservoir. *Aquat. Invasions* 15, 408–434. <https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.3.04>
- Luoma, J.A., Weber, K.L., Denise A. Mayer, 2015. Exposure-related effects of *Pseudomonas fluorescens*, strain CL145A, on coldwater, coolwater, and warmwater fish (USGS Numbered Series No. 2015–1104), Exposure-related effects of *Pseudomonas fluorescens*, strain CL145A, on coldwater, coolwater, and warmwater fish, Open-File Report. U.S. Geological Survey, Reston, VA. <https://doi.org/10.3133/ofr20151104>
- Meehan, S., 2014. Assessment and utilisation of Zequanox for zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) control in Irish waters.
- Meehan, S., Shannon, A., Gruber, B., M. Rackl, S., E. Lucy, F., 2014. Ecotoxicological impact of Zequanox®, a novel biocide, on selected non-target Irish aquatic species. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 107, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.017>
- Morton, B., 1993. The anatomy of *Dreissena polymorpha* and the evolution and success of the Heteromyarian form in the Dreissenidae. In *Zebra Mussels Biology, Impact and Control*.
- Passamaneck, 2018. Literature review and synthesis of invasive mussel control techniques.
- Skaja, Allen. 2018. Continuation of Field Evaluations on Advanced Coatings for Mussel Control. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Research and Development Office, Science and Technology Program. Final Report: ST-2018-7089-01, 37pp.