

**W15010** f édition juillet 2020

## **INFORMATION**

### **Information technique Quagga**





**W15010** f Édition juillet 2020

## INFORMATION

### Information technique Quagga



Quelle: L. Haltiner, Eawag

#### IMPRESSUM

Font foi les conditions générales publiées à l'adresse suivante :  
[www.ssige/CGV](http://www.ssige/CGV)

Copyright by SVGW, Zürich  
Mise en page : SSIGE  
Édition juillet 2020

Reproduction interdite

En vente auprès de l'administration de la SSIGE  
[epaper.ssige.ch](http://epaper.ssige.ch) ([support@svgw.ch](mailto:support@svgw.ch))



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Mesures de protection et stratégies d'adaptation</b>	<b>5</b>
2.1	Informations relatives à la propagation de la moule quagga	6
2.2	Inspection des installations	6
2.3	Mesures à court et moyen terme	7
2.4	Mesures et réorientations à long terme	9
2.5	Assistance technique et activités de la SSIGE	10
<b>Annexes</b>		
1	Généralités sur la moule quagga	11
2	Colonisation des composantes techniques de l'extraction et du traitement de l'eau	15
3	Aide à l'identification de la moule quagga	18

Les personnes suivantes ont collaboré à cette information technique:

Brigitte Schmidt, Lausanne  
Linda Haltiner, Dübendorf  
Hanna Schiff, Bienne  
Rolf Stettler, Saint-Gall  
Andreas Peter, Zurich  
Stephane Ramseier, Genève  
Oliver Köster, Zurich  
Richard Wülser, Bâle  
Roland Schick, Sipplingen  
Peter Hartmann, Winterthour  
Biner Markus, SVGW, Zurich  
Bärtschi Martin, SVGW, Zurich

## 1 Introduction

La prolifération massive et la propagation à une vitesse inattendue des moules quagga (*Dreissena rostriformis*) représentent actuellement un nouveau défi dans l'utilisation des eaux de surface. En raison de leurs caractéristiques spécifiques, il faut s'attendre à ce que ces moules s'implantent durablement dans les fleuves et lacs du Plateau suisse. De plus, elles peuvent coloniser plus ou moins massivement les systèmes de soutirage et les filières de traitement, ce qui est susceptible d'entraîner des perturbations hydrauliques et hygiéniques.

Les moules quagga diffèrent des moules zébrées (*Dreissena polymorpha*), déjà connues de longue date, en particulier par les caractéristiques suivantes :

- Les moules quagga survivent dans des eaux plus froides et moins riches en nutriments.
- Les moules quagga colonisent les fonds jusqu'à une profondeur nettement supérieure à 100 m et peuvent donc impacter des dispositifs de soutirage jusque-là protégés des moules zébrées par leur profondeur.
- Les moules quagga peuvent frayer toute l'année.
- Les moules quagga peuvent également occuper des supports meubles (vase, sable).

Les larves des deux espèces ne sont que partiellement retenues par les systèmes de filtration traditionnels (filtres à charbon actif, filtres à sable).

En l'état actuel des connaissances il est impossible de savoir si les mesures efficaces contre les moules zébrées le seront également contre les moules quagga. Il faut s'attendre à ce que des mesures supplémentaires doivent être prises. Il est cependant déjà clair que la solution consistant à soutirer l'eau plus en profondeur, qui avait fonctionné contre les moules zébrées, sera inefficace contre les moules quagga.

La partie principale du présent document donne des indications sur les mesures de protection envisagées à ce jour et sur les stratégies d'adaptation applicables aux installations de potabilisation.

Les annexes présentent des informations complémentaires sur l'état actuel des connaissances et des réflexions sur les moules quagga. Des photographies illustrent les différences entre moules quagga et moules zébrées ainsi que l'état d'installation actuellement colonisées.

## 2 Mesures de protection et stratégies d'adaptation

En fonction de la situation, la planification des mesures peut être extrêmement urgente. Les mesures doivent être prises de manière globale et si possible préventive, avec pour objectif de contrecarrer les répercussions négatives de l'infestation des moules quagga sur les processus de soutirage et de traitement.

Il s'agit d'une part d'assurer, par des mesures à court et à moyen terme, une sécurité maximale d'approvisionnement en eau, d'autre part de prendre en considération les mutations à long terme de l'approvisionnement en eau. Ce document aborde en premier lieu l'inspection des installations (ampleur de l'infestation par les moules quagga), puis les mesures immédiates à court et moyen terme et enfin les mesures à long terme.

Les informations relatives à la morphologie de la moule quagga, aux différences par rapport à la moule zébrée, ainsi que des informations complémentaires sur la moule quagga peuvent être trouvées dans les annexes.

## 2.1 Informations relatives à la propagation de la moule quagga

Selon l'état actuel des connaissances (juin 2020), les moules quagga ont colonisé les eaux suivantes en Suisse :

- Lac de Constance
- Lac Léman
- Lac de Neuchâtel
- Lac de Bienne
- Lac de Morat
- Le Rhin

Il faut s'attendre à ce que les moules quagga colonisent progressivement toutes les eaux, de manière comparable à ce qui s'était passé pour la moule zébrée. Des informations actualisées sur leur distribution sont disponibles auprès de la SSIGE ou des autorités compétentes.

L'analyse annuelle des larves (méthode biochimique ou microscopique) peut fournir des indications sur une éventuelle colonisation imminente quelques années à l'avance. La production de larves a lieu toute l'année, les pics de concentration en larves étant mesurés au printemps dans le lac de Constance. Les larves de la moule quagga ne pouvant être distinguées visuellement de celles de la moule zébrée, les études sur la dissémination de la moule quagga sont effectuées de préférence en hiver, hors période de frai de la moule zébrée. Les études portant sur la propagation de la moule quagga dans les eaux affectées doivent être menées aussi bien dans les zones proches de la surface que dans les eaux profondes (prise d'eau brute).

## 2.2 Inspection des installations

Dans les eaux colonisées les installations doivent être contrôlées chaque année pour y rechercher des signes d'infestation. Des observations réalisées au lac de Constance ont montré que les moules colonisaient d'abord les niveaux supérieurs du lac avant de coloniser les profondeurs. C'est pourquoi une vérification régulière de toutes les parties de l'installation est nécessaire afin d'identifier la propagation à tous les niveaux

Dans les eaux qui n'ont pas encore été colonisées un contrôle des installations facilement accessibles est également conseillé afin d'identifier une infestation aussi tôt que possible.

Les contrôles concernent notamment les points suivants :

- Crépine/dispositif d'aspiration
- Conduite d'eau brute
- Puits d'eau brute/de pompage
- Verrohrung Wasserwerk
- Éléments de la chaîne de traitement

### Conseils pratiques

Pour les crépines d'aspiration et les conduites lacustres, les contrôles sont réalisés par des plongeurs ou, en particulier pour les installations les plus profondes, par des robots de plongée/drones sous-marins.

Une attention toute particulière doit être portée à la présence de moules dans le cadre des travaux réguliers de maintenance et de nettoyage. Le personnel d'entretien, de net-toyage et d'exploitation doit être sensibilisé et instruit en conséquence.

En présence de moules, les emplacements concernés doivent être documentés :

- Localisation
- Ampleur de l'infestation
- Photos de l'emplacement avec les moules, si possible avec échelle de référence
- Prélèvement d'échantillons

Ces informations permettront au personnel spécialisé d'établir s'il s'agit de moules quagga et de déterminer l'ampleur de l'infestation. En cas de doute, il est possible de s'adresser à la SSIGE qui en référera alors aux organismes spécialisés compétents.

## 2.3 Mesures à court et moyen terme

Les mesures à court et moyen terme servent d'une part à contrôler la colonisation et à éviter la propagation excessive des moules dans le système, voire à la réduire. D'autre part, elles ont aussi pour but de prévenir une infestation significative, par exemple quand les contrôles n'ont pas encore permis de détecter des moules quagga mais que les eaux sont déjà colonisées.

### 2.3.1 Nettoyage

L'élimination régulière des moules entraîne une réduction de la densité des larves dans les étapes de traitement suivantes. Bien que ces mesures ne permettent pas d'éviter totalement le passage des larves vers l'aval, l'élimination mécanique régulière des moules est une mesure efficace pour éviter leur prolifération dans le système.

#### À court terme : nettoyage manuel

Nettoyage manuel des installations pour retirer les moules des surfaces. Pour certaines parties des installations et en fonction de leur accessibilité il convient de faire appel à des entreprises spécialisées. Ainsi, seuls des plongeurs ou robots de plongée peuvent réaliser le nettoyage de la crépine/du dispositif d'aspiration (sauf lorsque la crépine d'aspiration peut être extraite pour le nettoyage/la maintenance en surface).

#### Conseils pratiques

L'exemple du distributeur d'eau Bodensee Wasserversorgung (BWV) montre qu'un nettoyage régulier des parties infestées permet de réduire significativement le nombre de moules dans les installations en aval. Grâce à l'optimisation des microfiltres (mailles de 15 µm) et à des mesures telles que le nettoyage trimestriel du bassin de répartition et des bassins des microfiltres, il a été possible d'atteindre une réduction des larves d'env. 99 % (2 niveaux de log) par rapport à l'eau brute.

#### À moyen terme : curage de la conduite de soutirage

Le curage ou raclage des conduites n'est pas encore une méthode standard du traitement de l'eau potable en Suisse, c'est pourquoi il convient de clarifier en premier lieu, avec des entreprises spécialisées, si la conduite concernée est adaptée à ce procédé. Il est ensuite possible de régler les détails et la procédure de curage. Les points à clarifier concernent notamment les dispositifs d'introduction de l'obus de raclage dans la conduite en entrée de station (gare d'obus), la récupération de l'obus en bout de conduite et l'évacuation des résidus de curage. C'est pourquoi il s'agit actuellement d'une mesure à moyen terme qui ne peut être mise en œuvre immédiatement.

## 2.3.2 Désinfection

À l'heure actuelle les informations sur l'efficacité des différents désinfectants contre les moules quagga sont contradictoires. Il n'est donc pas encore possible de formuler des recommandations définitives, mais seulement de présenter des options d'action possibles. L'efficacité doit être vérifiée par chaque exploitant. Au préalable, il est nécessaire d'obtenir l'autorisation légale pour un dosage de désinfectant, et de s'assurer que la composition chimique de l'eau permet la mise en œuvre du désinfectant choisi et ne favorise pas la formation de sous-produits de désinfection. En outre, il convient de tenir compte de la compatibilité des matériaux avec le désinfectant. Des doses de chlore plus élevées peuvent également entraîner la formation de chlorite. Il faut donc respecter les valeurs indiquées dans l'ordonnance sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD).

### À court terme

- Augmentation des doses (concentration et/ou durée d'action) aux postes de désinfection existants
- Augmentation de la fréquence de désinfections choc de la conduite d'eau de lac

### Conseils pratiques

La chloration de l'eau brute à l'entrée de la conduite de soutirage a prouvé son efficacité contre l'infestation de moules zébrées pour le distributeur d'eau de Zurich (WVZ) et les Services industriels de Genève (SIG).

Au printemps 2020, le distributeur d'eau de la ville de Bienne (ESB) a détecté un nombre croissant de larves de moules (en partie vivantes) à la sortie de toutes les étapes de traitement. Afin d'éviter la dissémination des larves dans le réseau, les doses ont été augmentées aux trois points de désinfection existants (chloration de l'eau brute, ozonation, chloration de l'eau pure), ce qui a permis de réduire fortement le nombre de larves dans l'eau traitée. Actuellement, aucune larve de moule vivante n'est détectée dans l'eau traitée.

Procédures :

- WVZ : chloration choc mensuelle contre les moules zébrées durant la période de frai (10 mg/l pendant 8 h, l'eau chlorée doit ensuite être traitée). La fréquence est dictée par le fait que jusqu'à un mois les juvéniles sont incapables de fermer leurs coquilles hermétiquement pour se protéger du désinfectant.
- SIG : chloration continue contre les moules zébrées (0,2 mg/l au début de la conduite d'aspiration longue de 3 km, chlore résiduel encore détectable à l'entrée de l'installation).
- Energie Service Bienne : augmentation de la chloration de l'eau brute de 0,2 mg/l à 0,4 mg/l, de la dose d'ozone de 0,5 mg/l à 0,7 mg/l d'ozone résiduel en sortie de la chambre de contact, de la chloration de l'eau traitée en sortie de station de 0,025 mg/l à 0,05 mg/l.

### À moyen terme

Il convient de vérifier les possibilités de mettre à niveau un système de désinfection dans la zone de la crépine et de la conduite d'aspiration. Aucune évaluation fondée ne peut cependant être faite à l'heure actuelle sur l'efficacité des différents désinfectants. L'efficacité du chlore a été suffisamment documentée pour le contrôle des moules zébrées et de leurs larves. En ce qui concerne les moules quagga et leurs larves en revanche, on ne peut actuellement que présumer une efficacité comparable ou inférieure. Les informations sur l'efficacité de l'ozone, du peroxyde d'hydrogène et du rayonnement UV sont encore contradictoires à l'heure actuelle, mais chaque méthode réduit la densité de moules ou de larves.

## 2.4 Mesures et réorientations à long terme

### 2.4.1 Mesures de construction à long terme

#### A la prise d'eau

- Les conduites d'eau de lac et les crépines d'aspiration doivent être conçues et réalisées de façon à pouvoir être curées, notamment en équipant les conduites de dispositifs permettant le passage d'un obus de raclage (gare d'obus, dispositif d'évacuation des déchets, etc.).
- Il convient de tenir compte du fait que les curages périodiques peuvent générer des quantités importantes de matières. Idéalement, la conduite devrait être nettoyée assez souvent pour que les moules n'atteignent pas le stade adulte et ne développent donc pas de coquille.
- Conception et réalisation d'une crépine d'aspiration pouvant être démontée et extraite avec un minimum d'effort pour être facilement nettoyée ou remplacée, ou pour récupérer l'obus de nettoyage.
- Conception et mise en place d'une seconde conduite d'aspiration pour assurer une redondance qui permet la mise hors service d'une des conduites pour un nettoyage mécanique ou chimique.
- Conception et mise en œuvre d'une possibilité de désinfection dans la zone d'aspiration de la conduite (en amont et/ou en aval de la crépine d'aspiration) pour lutter de manière ciblée contre les moules dans la zone d'aspiration. (De tels dispositifs sont soumis à autorisation. Il faut s'attendre à ce que les autorisations correspondantes soient plus difficiles à obtenir à l'avenir).

#### Dans la station

- Conception redondante du traitement (de manière à ce que les différentes étapes puissent être mises hors service individuellement à des fins de nettoyage).
- Intégration d'étapes de traitement supplémentaire. Dans ce contexte, il convient d'adapter les mesures à l'état de la technique. Par exemple, si les étapes de filtration traditionnelles pour l'élimination des particules ne conviennent que dans une mesure limitée pour l'élimination des larves de moules, la filtration membranaire (microfiltration et ultrafiltration) permet de les éliminer totalement. L'ultrafiltration (taille des pores de 20 nm) est à préférer à la microfiltration (taille des pores jusqu'à 100 nm), car elle élimine les microorganismes jusqu'à la taille de petits virus.
- Conception modulable de la filière de traitement (mot-clé : système multi-barrière) : pour permettre une adaptation flexible aux nouvelles exigences et aux nouveaux défis (modifications de l'écologie lacustre et de la microbiologie, répercussions du changement climatique, micropolluants anthropiques, microplastiques, nanoparticules, besoins futurs en eau, etc.). Il convient de tenir compte de l'état de la technique.

### 2.4.2 Réorientation lors de la phase de planification

Tous les aspects touchant à la moule quagga doivent être intégrés aux futurs projets et à leur planification. Il faut donc notamment tenir compte des points suivants :

- Dispositifs d'aspiration redondants
- Crépines d'aspiration amovibles et conduites d'aspiration permettant le curage
- Système de nettoyage mécanique ou chimique (si autorisé par les autorités) pour les conduites d'aspiration

- Possibilités de dosage des produits chimiques (si autorisé par les autorités) dans la zone de la crépine d'aspiration
- Conception de la filière en plusieurs lignes de traitement, ce qui permet leur mise hors service pour nettoyage.
- Conception modulaire de la filière de traitement afin de pouvoir réagir aux changements rapidement et sans frais excessifs
- Concept de nettoyage pour tous les éléments de la filière qui sont en contact avec les larves de moules (eaux de lavage, eaux usées, eau brute)
- Bonne accessibilité de tous les éléments d'installations et conduites pour nettoyage

## **2.5 Assistance technique et activités de la SSIGE**

La SSIGE collecte et consolide les informations techniques sur la moule quagga et les entreprises spécialisées. Dès que de nouvelles connaissances sont disponibles, elles sont vérifiées pour déterminer si elles sont transposables dans la pratique, puis mises à la disposition des exploitants sous une forme appropriée. La SSIGE coordonne également l'échange d'informations entre les exploitants concernés, les constructeurs d'installations et les ingénieurs, par exemple par le biais de colloques d'échange d'expériences.

Les besoins en connaissances et en recherche restent importants, par exemple :

- Influence des matériaux et des vitesses d'écoulement sur la colonisation par les moules (quagga)
- Techniques de traitement adaptées à cette problématique
- Méthodes de nettoyage des installations de captage

## Annexes

### Annexe 1 Généralités sur la moule quagga

**Introduction :** la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) avait atteint les eaux suisses dans les années 1960 et 1970, après 200 ans de lente migration le long des voies navigables depuis la région de la mer Noire. Aujourd'hui, c'est la moule quagga (*Dreissena rostriformis*), une proche parente, qui atteint notre pays. Originaires de la même région, elle est elle aussi arrivée en Suisse grâce au transport maritime et fluvial, favorisé par la densification des réseaux de canaux. Le transport routier des bateaux de plaisance a ensuite permis son expansion d'un lac à l'autre et il est à craindre qu'elle finisse aussi par coloniser les lacs encore préservés.

A ce jour (juin 2020) la moule quagga a colonisé les eaux suivantes : lac de Constance, lac Léman, lac de Neuchâtel, lac de Bienne, lac de Morat et le Rhin.

**Reproduction :** les deux espèces de moules (zébrée et quagga) appartiennent au genre des *Dreissena*. Ces moules d'eau douce à saumâtre à sexes différenciés sont les seules moules d'eau douce locales dont le stade larvaire se déroule en eau libre. Pendant la période de frai, mâles et femelles expulsent régulièrement des gamètes, la fécondation ayant lieu dans l'eau libre. Plus les reproducteurs sont proches, plus la fécondation est efficace, ce qui explique la croissance exponentielle des populations. Durant leur stade planctonique de plusieurs semaines les larves ciliées (véligères) sont dispersées par les courants, mais se déplacent aussi activement. Ce stade larvaire libre ainsi que la forte fécondité de l'espèce expliquent son fort potentiel de dispersion, malgré un taux de mortalité des larves élevé. Les larves ont une unique coquille ronde. Facilement identifiable par microscopie en lumière polarisée.

**Développement :** Après quelques semaines, les larves se métamorphosent en moules juvéniles qui se fixent grâce à leur byssus. Les moules peuvent s'en détacher et se déplacer avec leur pied. Les juvéniles ont une coquille bivalve adulte, mais ne sont pas encore capables de la fermer efficacement au début et restent sensibles à la dessiccation et aux produits chimiques à ce stade. Elles sont cependant nettement moins sensibles aux traitements chimiques que les bactéries et les virus et les doses de désinfectant utilisées dans le traitement de l'eau potable ne suffisent pas pour les tuer. Des observations réalisées dans le lac de Constance ont montré une croissance rapide des juvéniles (env. 1 mm/semaine); elles atteignent la maturité sexuelle à partir de 7 mm.

**Comparaison moule quagga - moule zébrée :** Les deux espèces diffèrent sur plusieurs points. La moule zébrée, bien que très polymorphe, est plutôt sombre et ses zébrures en zigzag sont nettes. En section transversale, elle est clairement triangulaire ; elle peut être posée sur sa face ventrale plate. Elle prospère à des profondeurs comprises entre 5 et 15 mètres où elle se fixe sur les surfaces solides (rocher, bois, métal, plastique, verre, autres moules, etc.). Elle forme des couches et peut donc obstruer les tuyaux et crépines. Elle ne pose cependant presque plus de problème à une profondeur supérieure à 35 m. La période de frai dépend principalement de la température de l'eau et dure de juin à octobre sous nos latitudes.

La moule quagga en revanche est souvent plus claire et ses zébrures sont moins nettes. Celles vivant en profondeur peuvent même être blanches. La séparation entre les deux valves n'est pas droite mais est sinusoïdale sur la partie ventrale. Les valves sont arrondies et la moule bascule lorsqu'on la pose sur sa face ventrale. La moule quagga est moins exigeante que la moule zébrée et peut vivre dans une eau plus froide et moins riche en nutriments. Dans le lac de Constance, elle a été observée jusqu'à une profondeur de 180 m. Elle peut frayer toute l'année dans les lacs du Plateau. Les densités de larves les plus élevées y ont été mesurées plutôt pendant ou à la fin de la saison froide. Elle se fixe non seulement sur les supports solides, mais colonise également les supports meubles (sable, vase) où elle peut former des tapis de plusieurs couches.



### Moule zébrée, *Dreissena polymorpha*

Provenance :	Mer Noire/Caspienne
Déplacement :	Navires, bateau de plaisance
Implantation :	Substrats durs
Densité d'occupation :	< 100'000 Individus/m <sup>2</sup>
Température de reproduction :	> 10 – 12 °C
Période de reproduction :	De mai à septembre



### Moule quagga, *Dreissena rostriformis*

Provenance :	Région de la mer Noire
Déplacement :	Navires, bateau de plaisance
Implantation :	Substrats durs et meubles
Densité d'occupation :	> 100'000 Individus/m <sup>2</sup>
Température de reproduction :	> 5 - 6 °C
Période de reproduction :	Toute l'année

Source : Bericht «Eckpunkte und Anpassungsstrategien zur zukunftsweisenden Wassergewinnung und –aufbereitung aus dem Bodensee»; von BWV und TZW (Principes et stratégies d'adaptation pour un captage et un traitement des eaux du lac de Constance tournés vers l'avenir) BWV et TZW

**Fig. 1** « Portrait » des dreissènes *Dreissena polymorpha* et *Dreissena rostriformis*

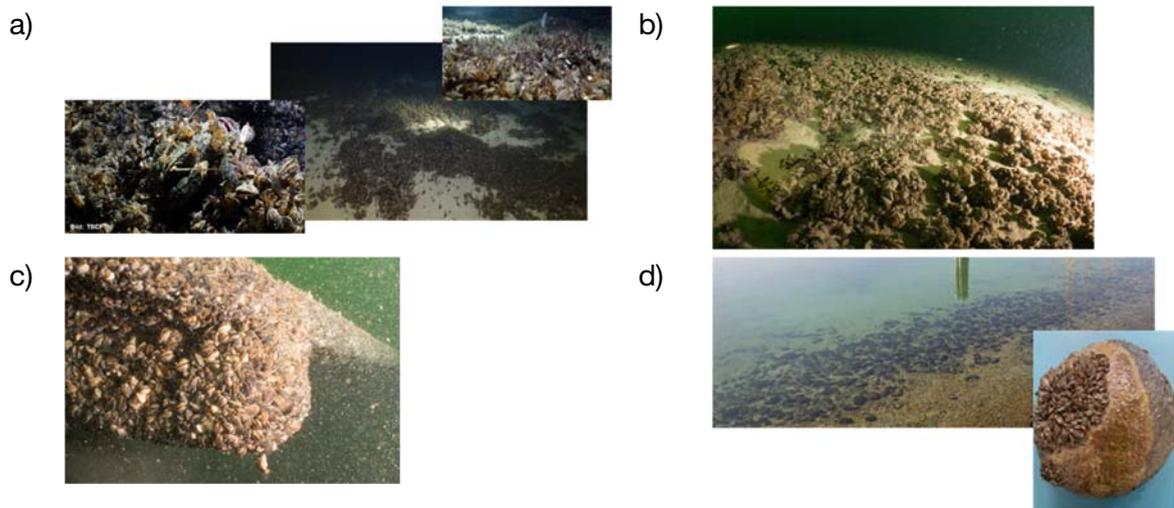
La morphologie des larves et des juvéniles de moins de 5 mm ne permet pas encore de différencier clairement entre moules zébrées et moules quagga. Chez les juvéniles plus grandes (5 à 10 mm) forme et coloration sont assez développées pour permettre de les distinguer.

Lorsque les deux espèces sont présentes dans les mêmes eaux, la moule quagga peut évincer la moule zébrée, mais elles peuvent aussi se côtoyer en occupant des niches écologiques différentes. Le processus de colonisation des lacs nord-américains par les deux espèces au début des années 1980 a été différent dans chaque lac. Les conséquences écologiques ont parfois été catastrophiques.

La distinction entre moule zébrée et moule quagga n'est pas forcément importante pour les distributeurs d'eau puisque les deux espèces colonisent leurs installations et qu'un captage à 60 mètres de profondeur ne peut plus garantir une protection sur le long terme. Il est cependant possible que la moule quagga devienne un problème plus important que la moule zébrée ne l'a été, la moule quagga étant capable de coloniser aussi les supports meubles qui recouvrent souvent de bien plus grandes surfaces dans nos lacs.

**Impact sur l'environnement :** les moules *Dreissena* sont classées dans la catégorie des espèces ingénieuses, car elles sont capables modifier fortement leur environnement en particulier par la formation de récifs et de tapis denses. Chaque individu filtre jusqu'à un litre d'eau par jour, ce qui peut engendrer une forte pression compétitive pour l'accès au plancton. L'eau devient certes plus claire, mais les moules privent dans une large mesure les actuels consommateurs (le zooplancton) de leur nourriture (le phytoplancton). Cette situation pourrait fortement affecter les populations de poissons, comme dans certains lacs américains. Certaines espèces de poissons peuvent également être menacées par la colonisation des sites de frai par la moule quagga. De plus, l'eau plus claire favorise la croissance de plantes aquatiques en partie indésirables et serait également capable de provoquer des blooms de cyanobactéries.

En raison de son taux de reproduction élevé et de son comportement territorial agressif (Fig. 2), la présence de la moule quagga peut actuellement être qualifiée de « généralisée » dans certaines parties du lac de Constance.



Source : : Bericht «Eckpunkte und Anpassungsstrategien zur zukunftsweisenden Wassergewinnung und –aufbereitung aus dem Bodensee»; von BWV und TZW (Principes et stratégies d'adaptation pour un captage et un traitement des eaux du lac de Constance tournés vers l'avenir) BWV et TZW

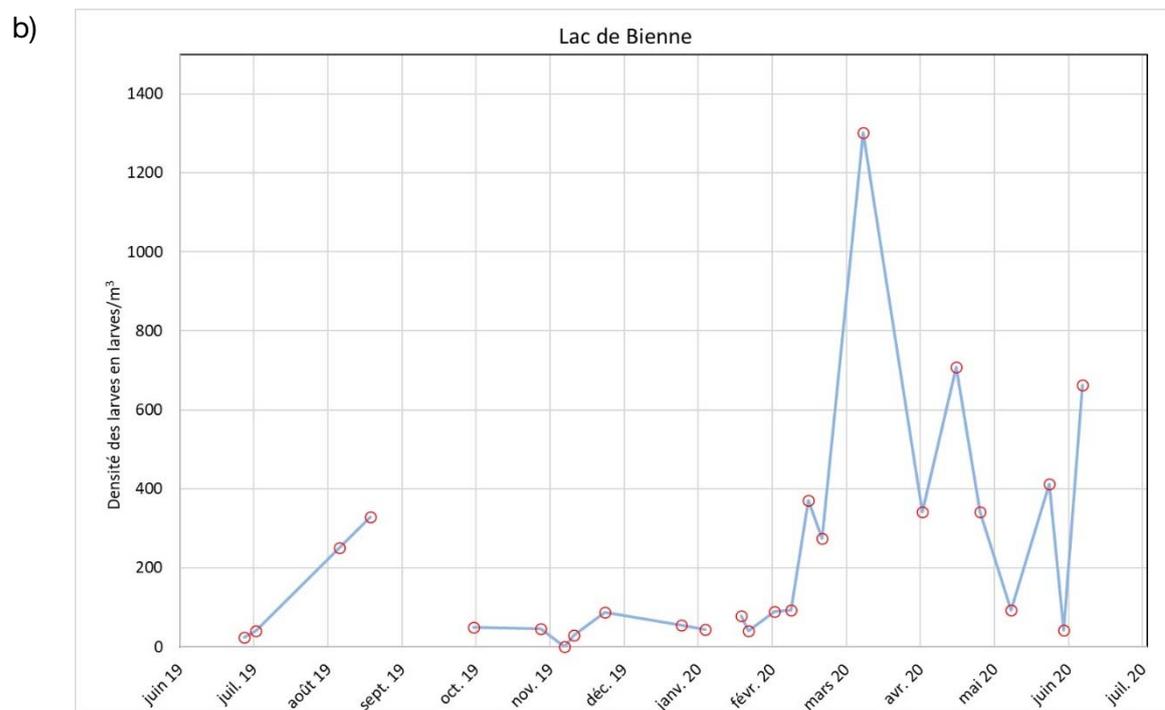
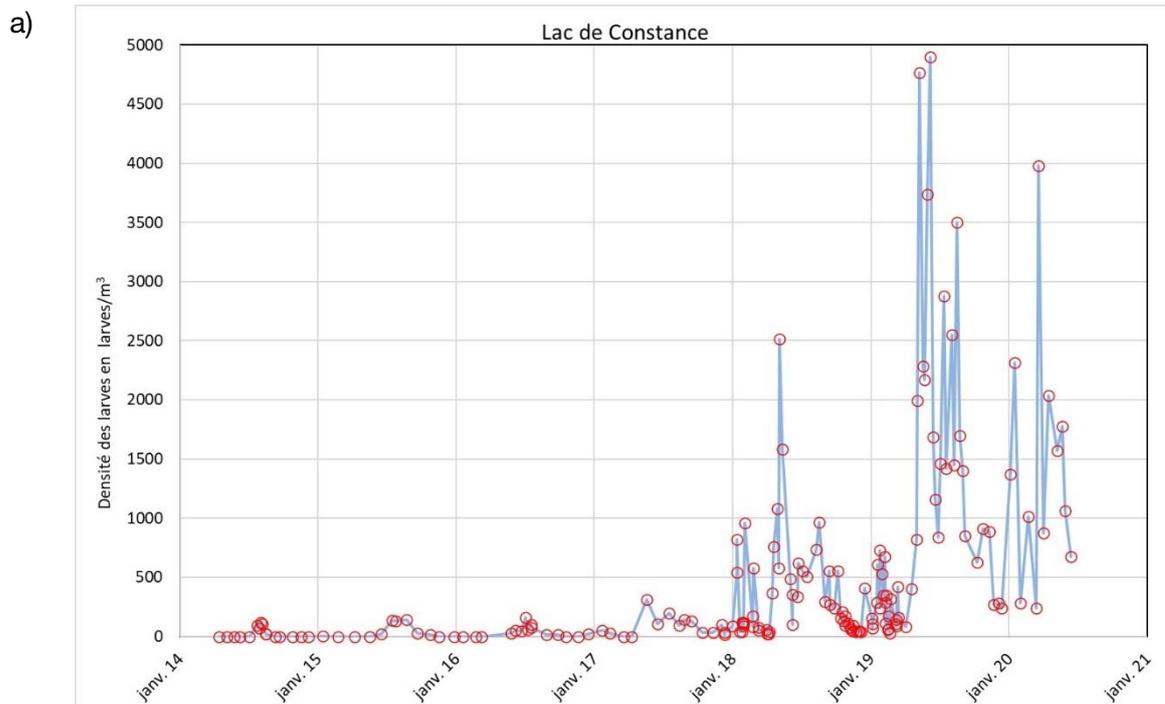
**Fig. 2** Exemples sélectionnés de présence de la moule quagga dans le lac de Constance

- a) Überlingen – versant à l'est du Mantelhafen, au niveau du parcours de minigolf, env. 6 à 15 m de profondeur (févr. 2018)
- b) Tiefensteinbucht – zone de Frasnacht, 9 m de profondeur (juin 2018)
- c) Plateforme de formation pour la plongée, colonisation en l'espace de 9 mois (juin 2018)
- d) Bancs de moules à Sipplingen, promenade du littoral (févr. 2019)

La figure 3 présente l'évolution temporelle de la densité de larves de Dreissena dans les lacs de Constance et de Bienne. Dans le lac de Constance, les prises d'eau du BWV à Sipplingen sont situées à une profondeur de 60 m. Dans ce lac, un individu de moule quagga a été détecté pour la première fois en mai 2016 à Wallhausen, sur la rive sud du lac d'Überlingen.

Dans le lac de Bienne, la densité des larves de Dreissena est déterminée systématiquement depuis juillet 2019 par Energie Service Bienne. Le graphique montre la concentration de larves dans l'eau brute soutirée à une profondeur de 38 m.

Dans les deux lacs, on observe une augmentation explosive de la densité des larves.



Source: a) Bodensee-Wasserversorgung (BWV), b) Energie Service Bienne (ESB)

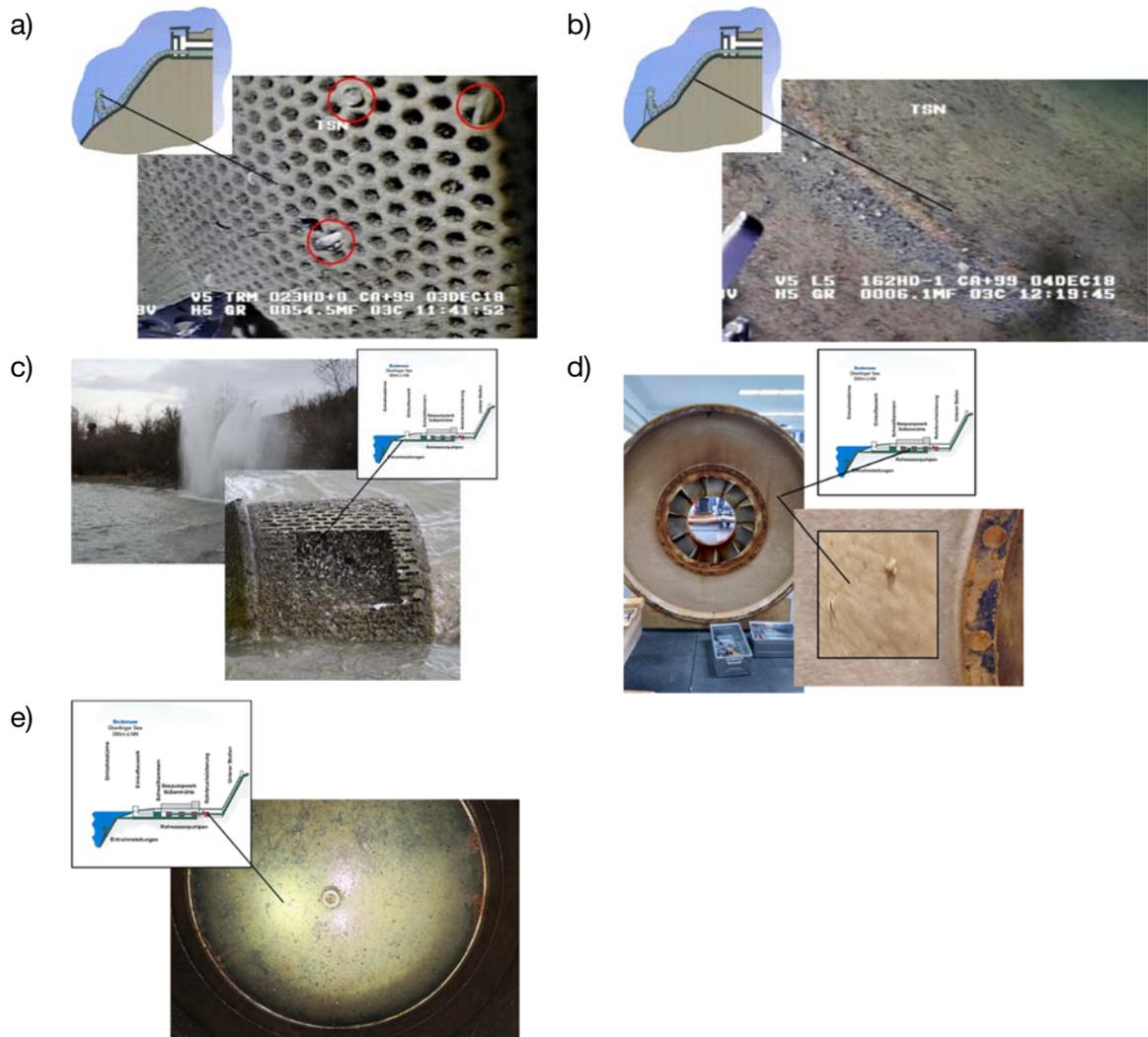
**Fig. 3** Densité des larves dans l'eau brute aux points de soutirage des lacs de Constance et de Bienne  
a) Lac de Constance, point de soutirage à 60 m de profondeur dans la zone de Sippligen  
b) Lac de Bienne, point de soutirage à 38 m de profondeur dans la zone d'Ipsach

## **Annexe 2 Colonisation des composantes techniques de l'extraction et du traitement de l'eau**

Les deux espèces de moules peuvent coloniser les installations humaines et nuire gravement à leur utilisation. Les utilisateurs, tels que les installations portuaires, les compagnies de navigation, les exploitants de centrales de production d'énergie à partir d'eaux de surface, les installations de refroidissement à eau brute ou les distributeurs d'eau sont donc fortement impactés par la colonisation des ouvrages et navires ainsi que par l'obstruction des conduites de soutirage.

En raison des propriétés spécifiques et de la capacité d'adaptation des moules quagga, il faut s'attendre à leur présence croissante et permanente en eaux profondes, en plus de la colonisation durable des zones proches de la surface. On ne peut donc pas exclure que des dégradations hydrauliques et autres conséquences indésirables affectent le prélèvement et le traitement de l'eau, suite à l'accumulation de moules dans les systèmes d'extraction et dans certaines installations de la filière de traitement.

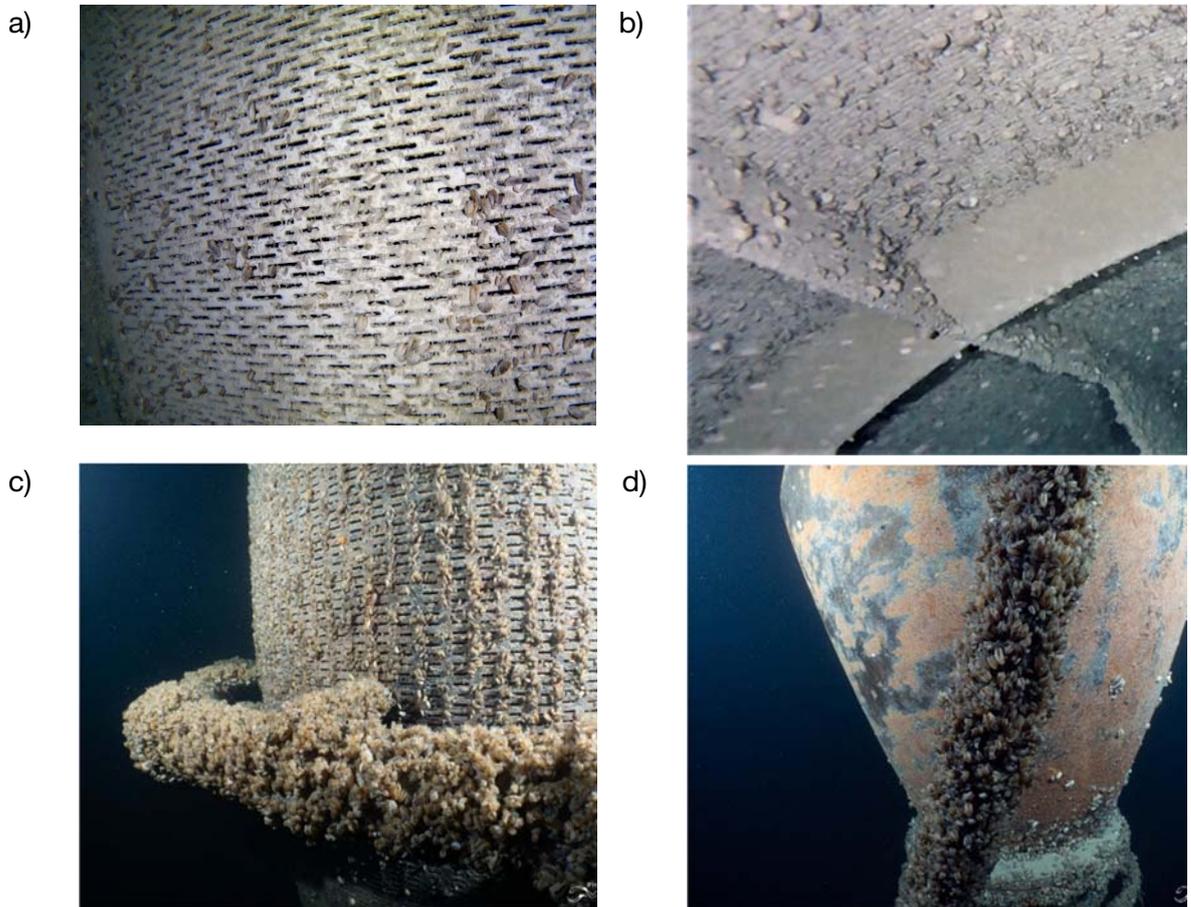
L'infestation par les moules quagga et de leurs larves est déjà clairement visible dans les installations de soutirage (crépines et conduites de soutirage, pompes, réservoirs) et de traitement des services des eaux du lac de Constance (par exemple, Bodensee-Wasserversorgung, Regionale Wasserversorgung St.Gallen, station de Frasnacht (voir fig. 4 et 5).



Source : Rapport « Eckpunkte und Anpassungsstrategien zur zukunftsweisenden Wassergewinnung und –aufbereitung aus dem Bodensee » (Principes et stratégies d'adaptation pour un captage et un traitement des eaux du lac de Constance tournés vers l'avenir) BWV et TZW

**Fig. 4** Exemples de colonisation dans les systèmes de soutirage et les composants techniques des installations du distributeur d'eau Bodensee-Wasserversorgung (BWV)

- a) Plaque perforée de la crépine « Est » (déc. 2018)
- b) Conduite de soutirage Est (déc. 2018)
- c) Exutoire d'une « chambre d'équilibre » (fév. 2019)
- d) Pompe d'eau brute 1 – niveau 1 (oct. 2018)
- e) Chaudron anti-bélier « conduite pression station de pompage lac - Sipplinger Berg » (oct. 2018)



Source : Stadtwerke St. Gallen

**Fig. 5** Peuplement de moules sur les crépines d'aspiration du distributeur Regionale Wasserversorgung St. Gallen (RWSG):

a) Extérieur d'une crépine d'aspiration, GEU Frasnacht

b) Intérieur d'une crépine d'aspiration, GEU Frasnacht

c) Extérieur d'une crépine d'aspiration avec une tuyau circulaire pour la chloration choc, GEU Rohrschach

d) Tuyau d'alimentation pour la chloration choc (premier plan, peuplement dense) et cône de la crépine d'aspiration (arrière-plan, pratiquement pas de moules)

La différence de colonisation de différentes parties adjacentes (fig. 5, point d) est frappante : matériaux, formes ou conditions d'écoulement des courants lacustres ont apparemment une influence considérable sur la colonisation.

En l'état actuel, aucune anomalie ou perturbation hydraulique n'a encore été mise en évidence par BWV et RWSG qui mesurent régulièrement la pression lors du soutirage et de l'extraction de l'eau brute. Mais la colonisation de la zone de soutirage augmente la densité des larves dans l'eau brute, augmentant par là le risque d'une infestation des composants du traitement en aval.

### Annexe 3 Aide à l'identification de la moule quagga

Les images et représentations schématiques ci-dessous servent d'aide à l'identification des moules quagga et zébrées.



Moule quagga de profil : en forme d'amande, face ventrale arrondie, bascule sur le côté



Moule zébrée de profil : légèrement allongée, face ventrale plate sur laquelle la moule reste stable



Moule quagga de derrière : face ventrale plutôt arrondie



Moule zébrée de derrière : section clairement triangulaire



Moule quagga de face : plus mince



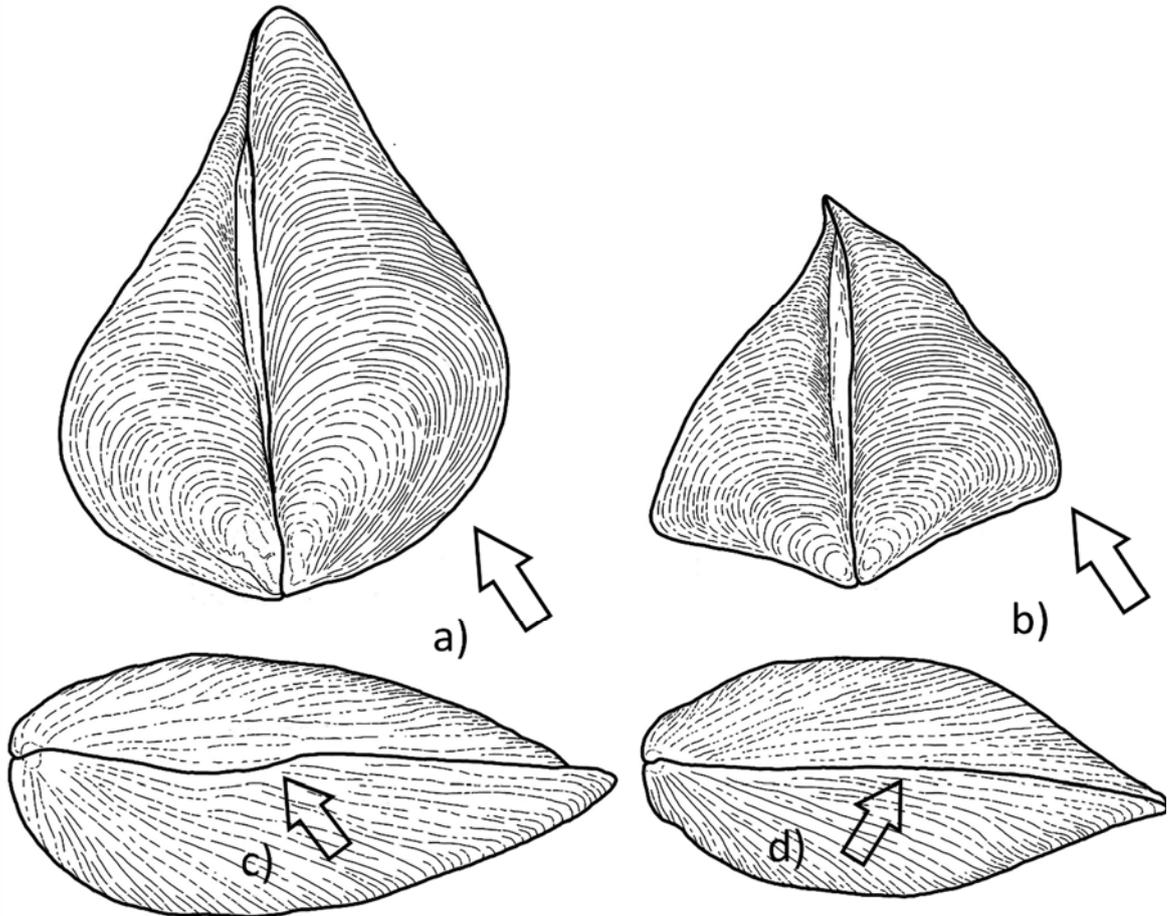
Moule zébrée de face : plus large, triangulaire

Source : Stadtwerke St. Gallen

**Fig. 6** Caractéristiques distinctives de la moule quagga et de la moule zébrée

**Moule quagga**

**Moule zébrée**



Vue de face sur le ligament (en haut) et sur la face ventrale (en bas) des moules quagga et zébrées

- a) Les coquilles des moules quagga sont arrondies
- b) Les coquilles des moules zébrées présentent une arête marquée qui se sent nettement au toucher
- c) La séparation entre les coquilles est sinusoïdale sur la partie ventrale
- d) La séparation ventrale entre les coquilles est droite

Source : Martens et al, 2007

**Fig. 7** Représentation schématique des différences morphologiques entre moule quagga et moule zébrée



Source: L. Haltiner, Eawag

**Fig. 8** Différences entre moule zébrée (à gauche) et moule quagga (à droite)

b) La moule zébrée est stable sur sa surface ventrale, alors que la moule quagga bascule sur le côté.

d) La forme triangulaire relativement large de la moule zébrée se distingue nettement de la forme ronde et plus étroite de la moule quagga.

a)



b)



c)



d)



Source : Service de l'eau Lausanne

**Fig. 9** Différentes vues de moules zébrées et de moules quagga sur papier millimétré

a) Moules zébrées

b) Moules zébrées

c) Moules quagga

d) Moules quagga