La moule zébrée – une championne parmi les envahisseurs aquatiques

COLLOQUE SUR L'EAU
– 25 ans de mobilisation pour les lacs –

RAPPEL

Moule zébrée
(*Dreissena polymorpha*)

Par: Geneviève D'Avignon, MSc. Biologie

@G_DAvignon
slrmicroplastics@gmail.com

7 avril 2022

Résumé

- Qui est la moule zébrée?
  - Survol de l'histoire de son invasion
  - Sa biologie et ses caractéristiques (comment la reconnaître)
- Pourquoi craindre cet envahisseur?
  - Coûts socio-économiques
  - Menace pour les écosystèmes
- Nouvelles découvertes dans les lacs du Québec
  - La situation en Estrie
  - Que font les chercheurs et les institutions (projets en cours)
- Comment lutter contre la menace?
  - Survol des solutions

La moule zébrée

- Bivalve en forme d'amande entre 15 et 35mm
- Durée de vie: 3-4 ans
- Ressemble aux moules marines - byssus

Moule zébrée
(*Dreissena polymorpha*)

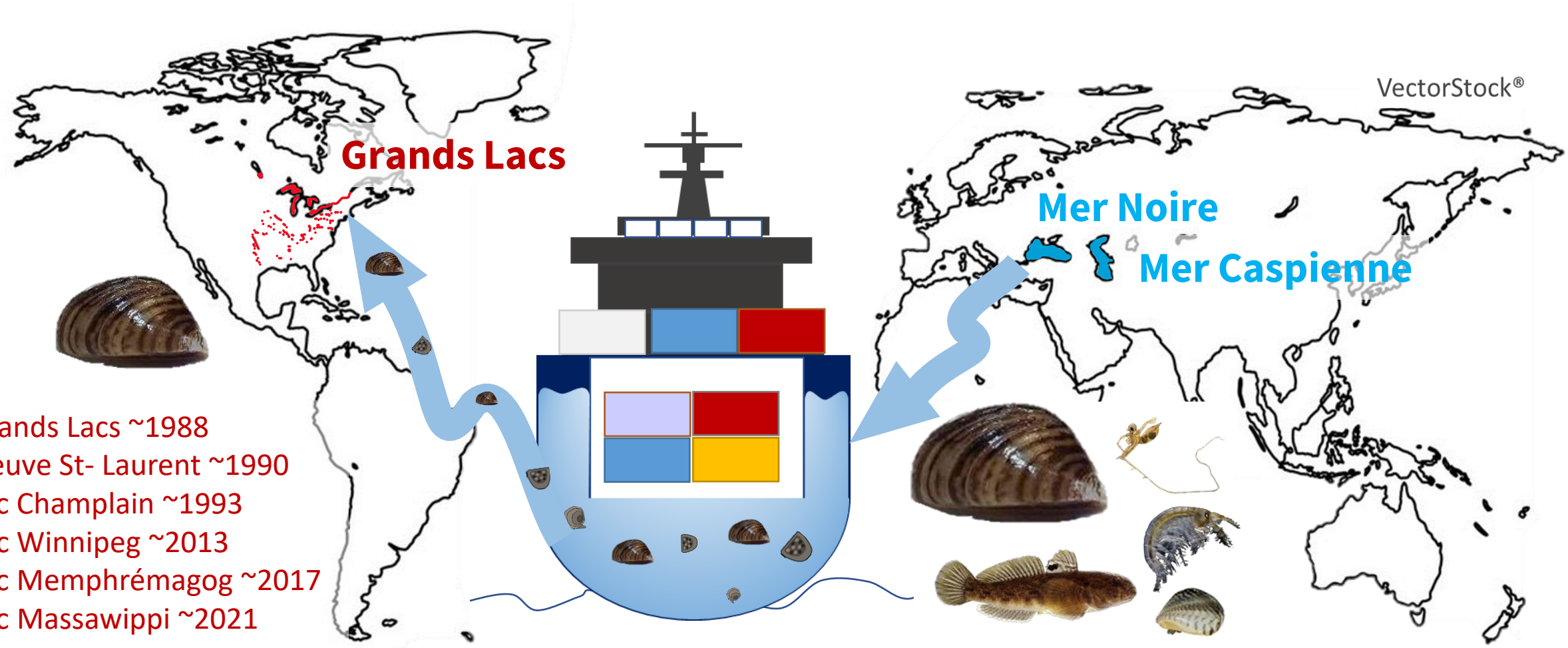
Moule quagga
(*Dreissena bugensis*)

Photo: Emily Carrington

Photo: Maria Alexandra Bighiu

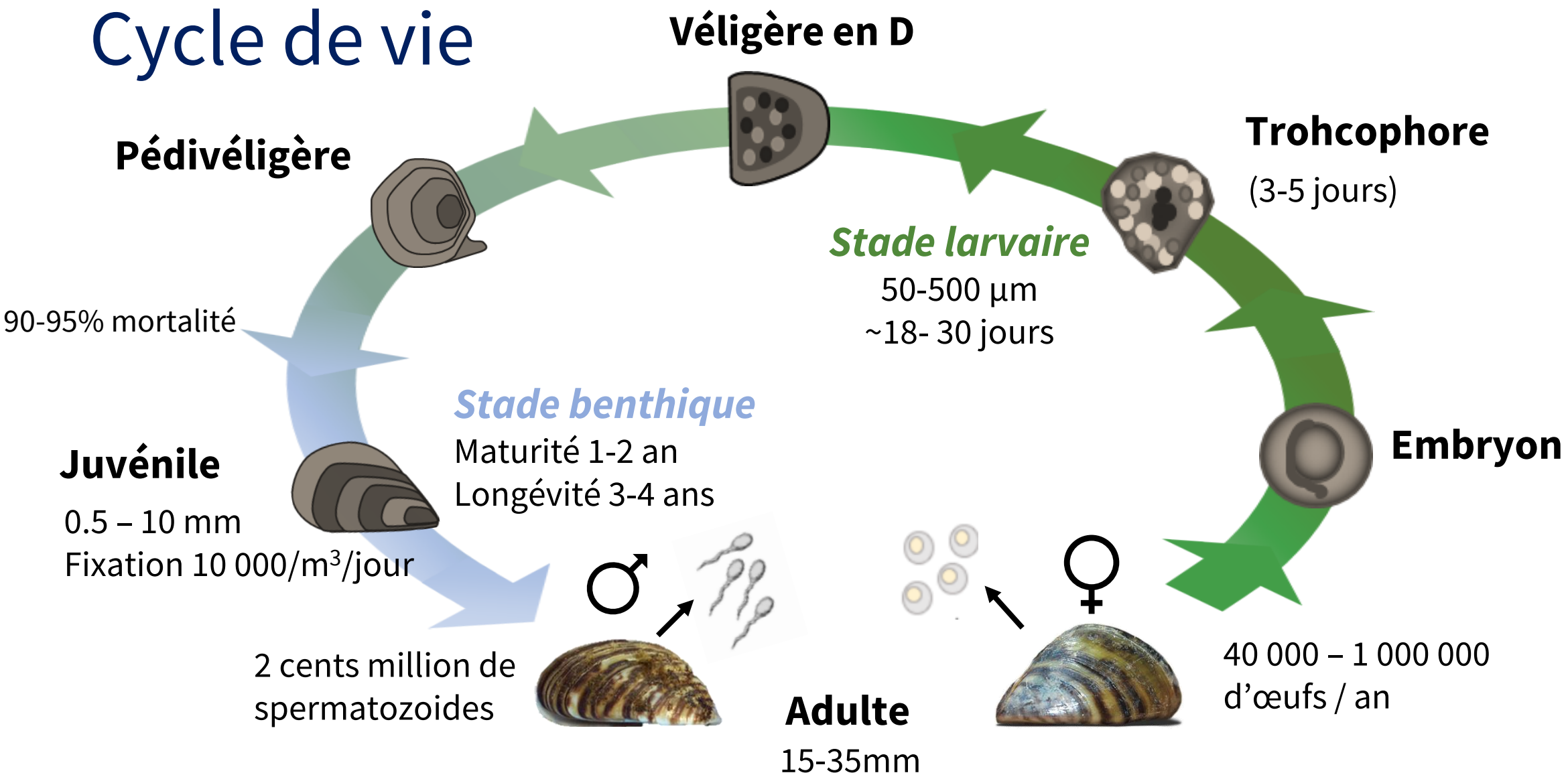
Byssus

Originaire des Mers Noire et Caspienne



Grands Lacs ~1988
Fleuve St- Laurent ~1990
Lac Champlain ~1993
Lac Winnipeg ~2013
Lac Memphrémagog ~2017
Lac Massawippi ~2021

Cycle de vie

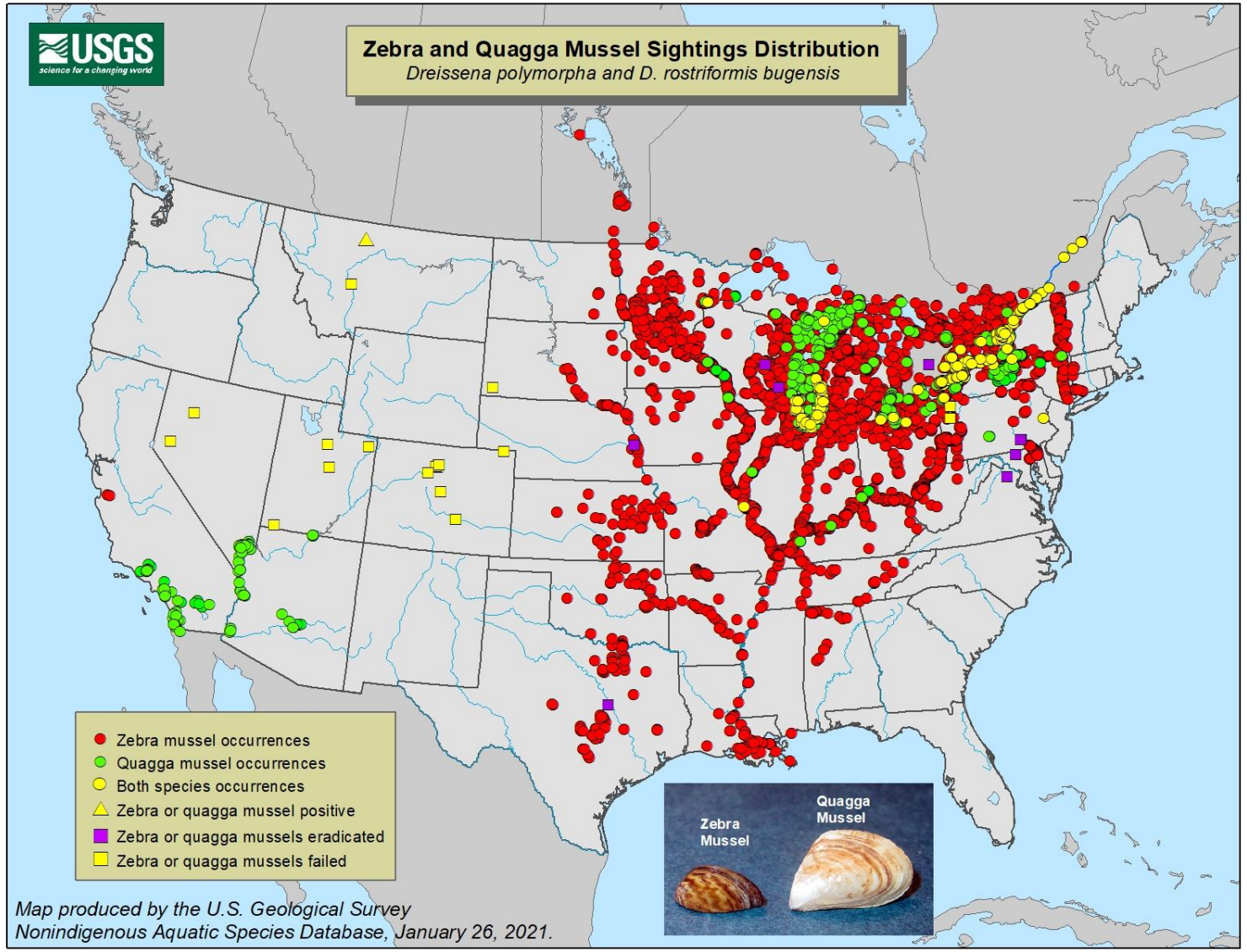

Véligère en D
Trohcophore
(3-5 jours)
Stade larvaire
50-500 µm
~18- 30 jours
Embryon
40 000 – 1 000 000
d'œufs / an
Adulte
15-35mm
2 cents million de
spermatozoides
Stade benthique
Maturité 1-2 an
Longévité 3-4 ans
Juvénile
0.5 – 10 mm
Fixation 10 000/m³/jour
90-95% mortalité
Pédivéligère

Propagation naturelle et par l'équipement nautique contaminé

- Les véligères dérivent avec le courant ou se loge dans l'eau de ballaste/ du moteur
- Les juvéniles et adultes s'accrochent aux substrats solides et aux plantes grâce aux byssus
- Survie hors de l'eau entre 3 et 18 jours

Photo: Boat Ed

Moule zébrée
(*Dreissena polymorpha*)



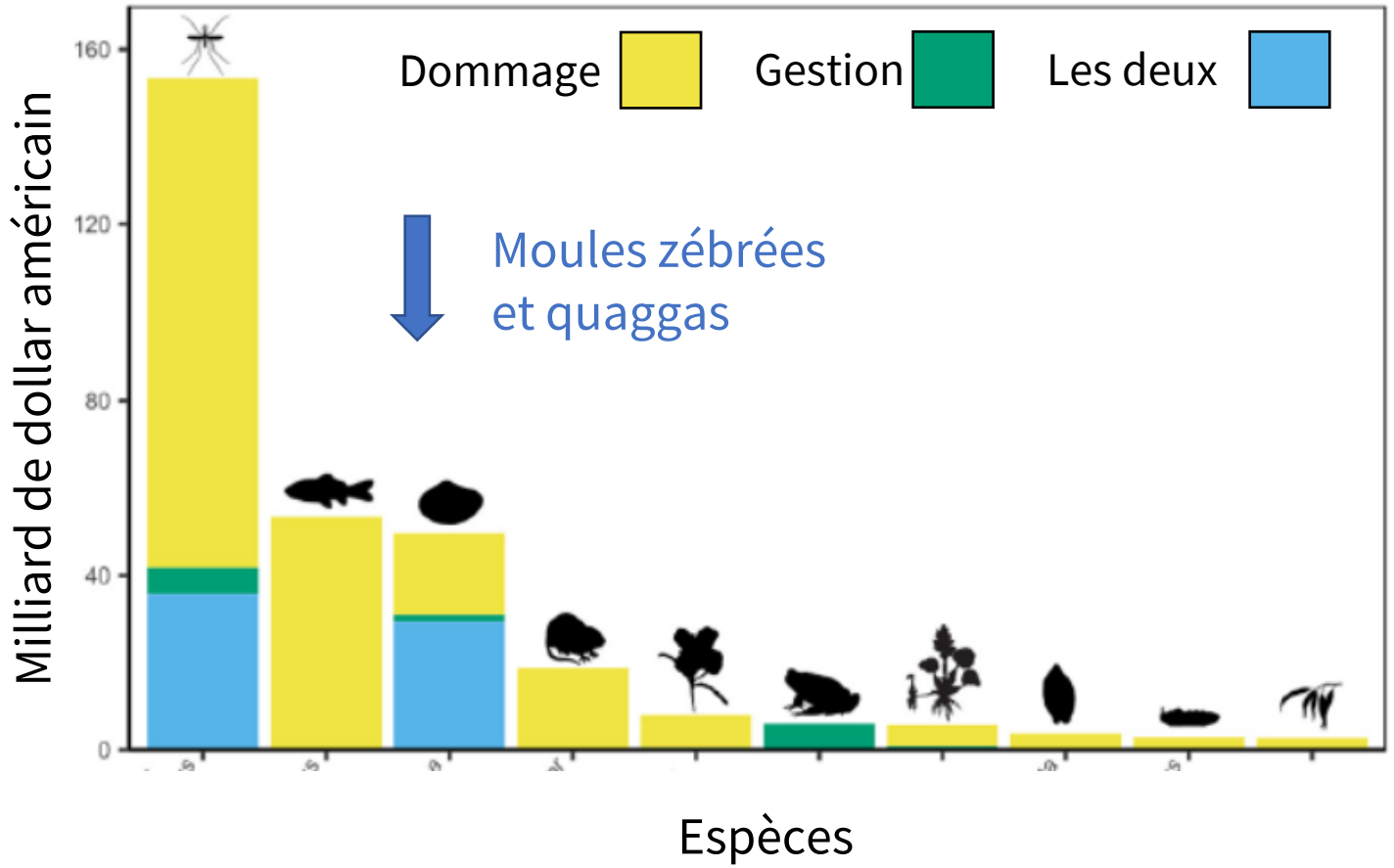
Moule quagga
(*Dreissena bugensis*)

Coûts socio-économiques

Conduits d'eau après 2, 4, et 6 mois

Coûts annuel de décontamination et restauration des structures infestées de 50-100 mille $ au Québec et 50 milliard $US mondialement

Cuthbert et al. 2021 *Sci Tot. Envr.*

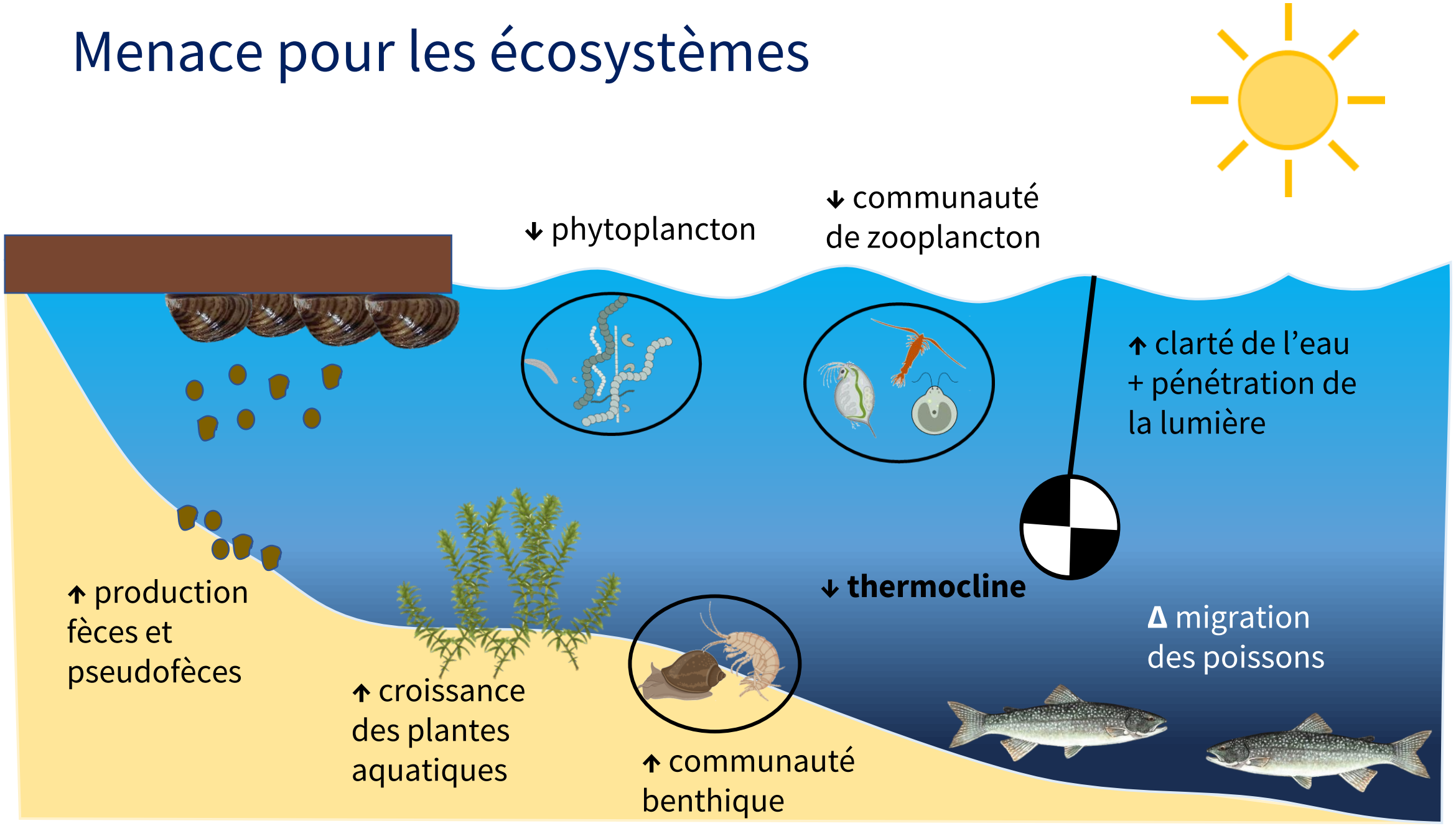


- Nappe les fonds rocheux et éventuellement les plages

Crédits photo: Daniel Phalen et Melanie McGillis

Plage du lac Winnipeg 5 ans après l’invasion de la moule zébrée

Menace pour les écosystèmes

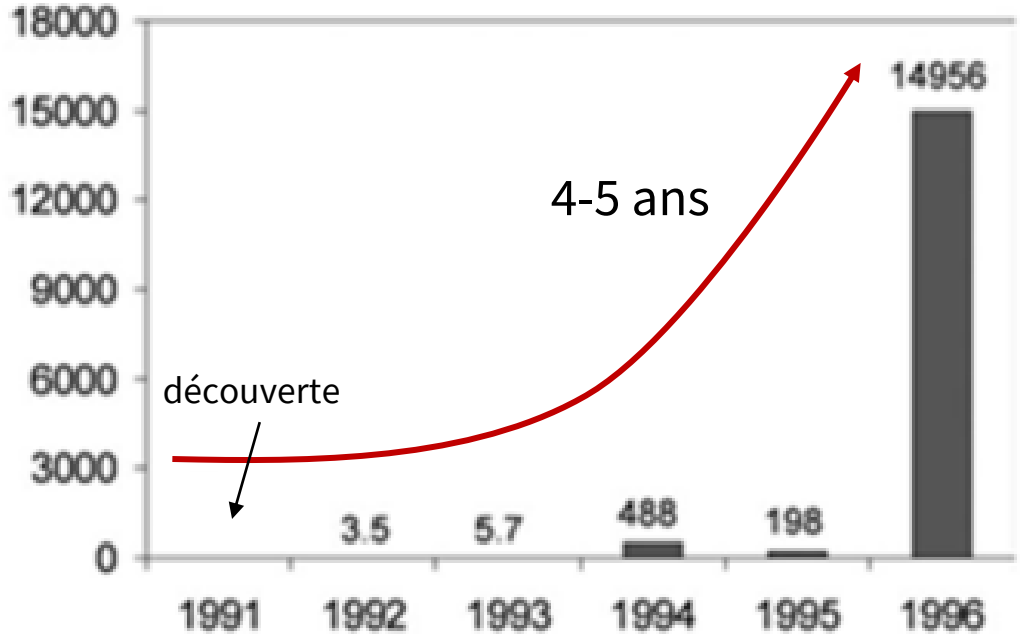


Menace pour les écosystèmes

- Elle s’accroche aux organismes vivants
  - ↓ le nombre et la diversité de mulettes
  - Mène à l’extirpation de certaines espèces
  - Empêche les mulettes de se nourrir

Photo: Max Remington

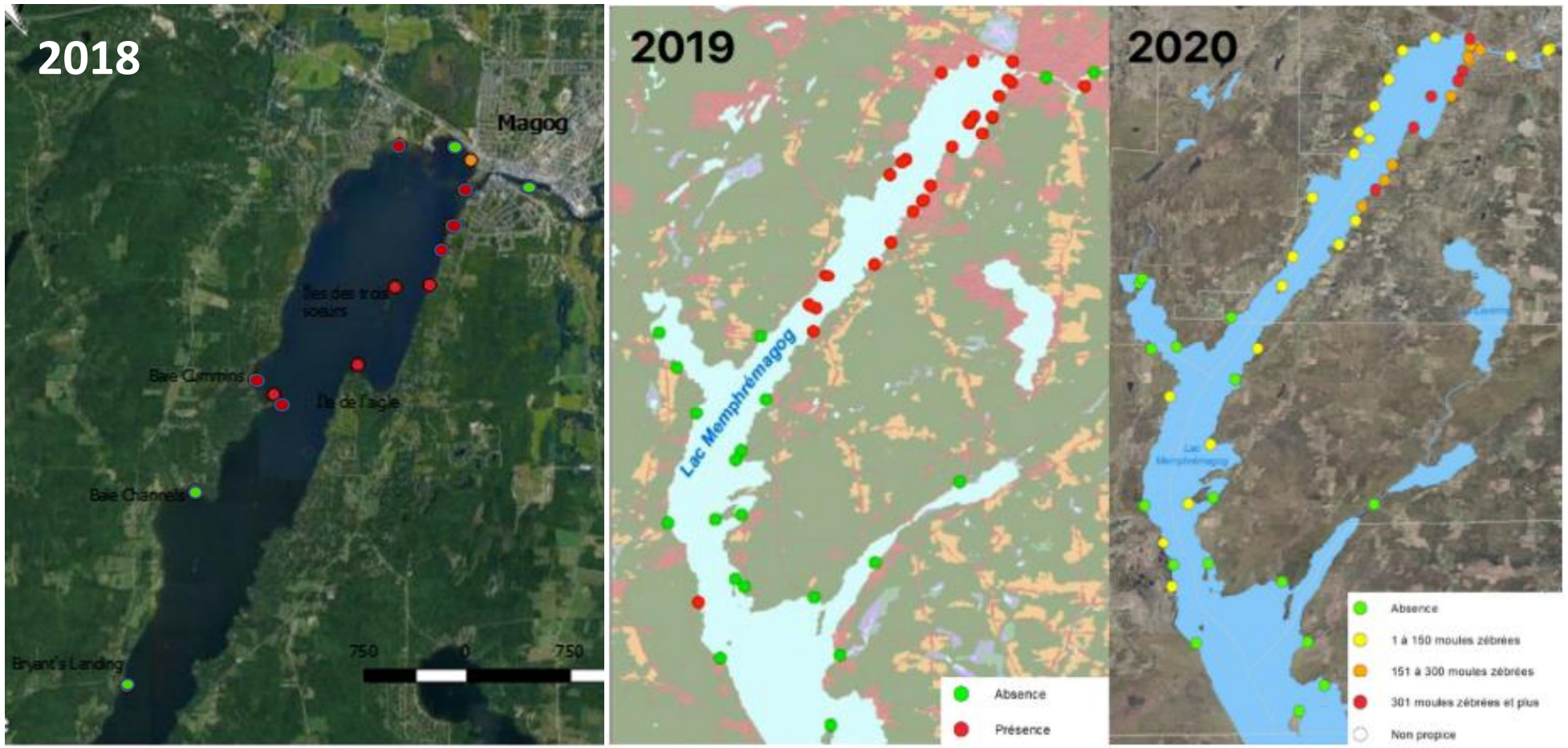
Conditions optimales en début d'invasion



Invasion de la rivière Mississippi; Cope et coll. 2006

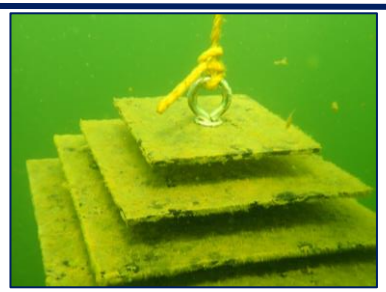
- Présence de substrat solide
- Abondance de nourriture
- Zone littorale peu profonde
- Taux de calcium (Ca^{2+}) ~25 mg/L et plus
- Températures 12-20°C : production de byssus et reproduction
- Débit irrégulier: transport et ancrage des véligères

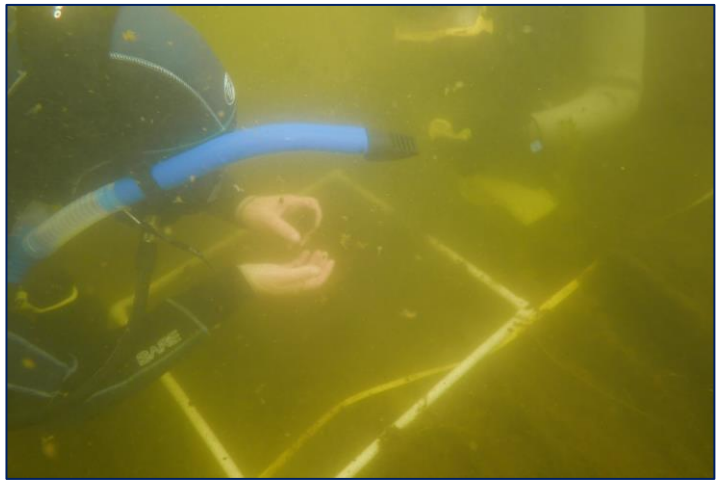
Nouvelles découvertes dans les lacs du Québec



Projets en cours

- Depuis 2019, les institutions les OBNLs et plusieurs scientifiques contribuent aux recherches
- Inventaires en apnée et plongée pour déterminer l'étendu des populations
- Prélèvement de quadrats pour évaluer la densité des moules
- Décompte de véligères dans la colonne d'eau et sur les substrats artificiels
- Continuer les efforts de préventions et de décontamination





Crédits photo: Gen D'Avignon

Survol des solutions

- Retrait manuel
  - Spécialisation Répétitif
- Traitements chimiques
  - Dispendieux
  - Surface limitée
  - Impacts sur les autres espèces
- Traitement thermique
  - 2 fois/an
  - Affecte l'écosystème
- Traitement UV
  - Efficace pour les conduits d'eau

Application de chlorure de potassium, Lac Winnipeg, 2014. IJSC

L’invasion se poursuit…

La moule zébrée finalement découverte dans le lac Massawippi

Sous son air plutôt inoffensif, la moule zébrée représente une véritable menace.

Moules zébrées: «Catastrophe écologique» en vue au lac Massawippi
Le 22 octobre 2021 à 11 h 59 min
Par Dany Jacques

Photo: Denis Mongeau

Photo: Bleu Massawippi

Le contrôle des colonies de moules zébrées par le retrait manuel

- 1999-2015: Lac George, New York
  - Effort continu 1999-2015
  - 860 heures de plongée; 19 000 moules
- 2019: Memphrémagog
  - 7 heures; 4497 moules (20 bénévoles)
  - Aucun impact en 2020
- 2021: Récolte de 132 moules par les plongeurs à l'automne 2021
  - À suivre!

Crédits photos: Gen D'Avignon

La prévention…la meilleur solution?

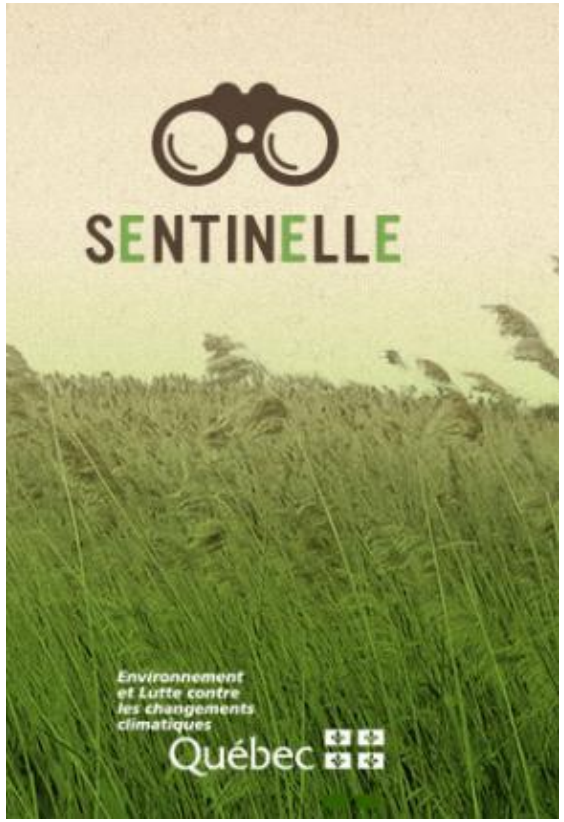
- 4 étapes pour éviter la propagation
- Nettoyage des embarcations et remorque avec des jets d'eau chaude (>40°C) à l'aide d'un boyau à pression (250 p.s.i.)
- Sensibilisation et surveillance

4 étapes: Inspecter, vider, nettoyer, répéter!

Gardez l’œil ouvert!!!

Qui contacter si vous trouvez une espèce exotique envahissante?

- Programme Sentinelle du MFFP
- estrie.eee@mffp.gouv.qc.ca
- services.clientele@mffp.gouv.qc.ca



D’autres questions sur les lacs et rivières?

Une QUESTION pour les SCIENTIFIQUES du GRIL

@GRIL_Limnologie

Page publique / *Public page :*
www.facebook.com/GRIL.limno

Pour me rejoindre

@G_DAvignon
@RicciardiLab

slrmicroplastics@gmail.com

Autres ressources intéressantes

- Fiche d'information sur la moule zébrée
  - La moule zébrée (MFFP)
  - Moule zébrée (MPO)
  - La moule zébrée – ce qu'il faut savoir! (CQEEE)
  - Résumé des limites de tolérance des moules (en anglais)
  - Risque d'invasion de 3 espèces (MPO)

- Nettoyage et décontamination de l'équipement nautique
  - Guide d'implantation de station de lavage (RAPPEL)
  - Guide des bonnes pratiques (MFFP)

ANNEXE

Compléments de la présentation

(en anglais seulement)

Tableau 4: Tableau tiré du document « *Zebra Mussel's Calcium Threshold and Implications for its Potential Distribution in North America* » par Andrew N. Cohen et Anna Weinstein (2001).

Table 4. Summary of experimental studies relative to possible calcium thresholds

The indicated calcium level is the minimum concentration needed to satisy the endpoint, as indicated by data or analyses in the cited sources.

Endpoint	Indicated calcium threshold (mg/l)	Source
Fertilization/Embryonic Development		
Release of sperm	15	Hincks & Mackie 1994
Normal success in egg fertilization	between 4 and 22	Baldwin *et al.* 1998
≥50% mean success in completing first cleavage	4	Lynn, pers. comm. 1998
Larval Development		
Development of some larvae, 0-3 days	between 0 and 12	Sprung 1987
Significant numbers of healthy larvae, 0-3 days	between 12 and 24	Sprung 1987
Some veliger production	between 8 and 20	Hincks & Mackie 1997
Normal success in development from fertilization to D-shell veliger	between 4 and 22	Baldwin *et al.* 1998
Normal success in development from D-shell veliger to juvenile	between 4 and 22	Baldwin *et al.* 1998
Veliger survival	between 11 and 16.5	Nierzwicki-Bauer, pers. comm. 2001
Juvenile Stage		
Normal juvenile (5 mm shell) survival for 35 days	between 3 and 4	Baldwin *et al.* 1998
Normal juvenile growth rate	between 7 and 24	Hincks & Mackie 1993
Juvenile growth (based directly on data)	between 8 and 20	Hincks & Mackie 1997
Juvenile growth (based on regression)	8.5	Hincks & Mackie 1997
Adult Stage		
Nonnegative calcium flux in unacclimatized adults	13-14	Vinogradov *et al.* 1987
Nonnegative calcium flux in unacclimatized adults	14	Vinogradov *et al.* 1993
Nonnegative calcium flux in acclimatized adults[1]	22	Vinogradov *et al.* 1993
Some adult (10-15 mm shell) survival for 35 days (based directly on data)	between 8 and 20	Hincks & Mackie 1997
Some adult (10-15 mm shell) survival for 35 days (based on regression)[2]	=30 at pH≤7.4 0-25 at pH of 7.5-8.3	Hincks & Mackie 1997
Normal adult (15 mm length) survival for 35 days	between 3 and 4	Baldwin *et al.* 1998
Maintenance of tissue weight for 35 days	between 4 and 22	Baldwin *et al.* 1998

1 Acclimatized for 28 days in diluted artesian water with 0.8-1.5 mg/l of calcium.

2 Threshold calculated from multiple logistic regression model, for adult survival of ≤5%. By the same model, calcium levels must be *below* 50 mg/l for adult survival at pH≥9.1.

Tableaux 1 & 2: Tableaux tirés de Karatayev et coll. (2015).

Le tableau 1 fût utilisé par Burlakova (1988) pour estimer la possibilité d'invasion d'un lac par la moule zébrée. Trois paramètres sur les 16 identifiés ont été utilisés, dont le taux de pH, le taux de calcium, et le taux de matériaux solides dissous (TDS).

Le tableau 2 est un résumé du seuil de tolérance des moules, basé sur la littérature scientifique. À noter qu'une étude menée par Bowman et Bailey en 1998 (« *Upper pH tolerance limit of the zebra mussel (Dreissena polymorpha, Canadian Journal of Zoology* ») a démontré que la moule zébrée ne tolère néanmoins pas un pH supérieur à 9.3-9.6. Un pH adéquat pour favoriser l'invasion de la moule serait situé entre 7.5 et 9.5.

Pour plus de détails consultez l'article de Karatayev et coll. (2015) *« Predicting the spread of aquatic invaders: insight from 200 years of invasion by zebra mussels* ».

TABLE 1. Parameters used by Burlakova (1998) for predicting the suitability of lakes for invasion by zebra mussels.

Lakes	Parameters			Number of lakes with zebra mussels in 1996
	pH	Calcium (mg/L)	TDS (mg/L)	
Suitable	≥7.5	≥25	≥150	93 of 381
Marginally suitable	7.2–7.5	20–25	100–150	0 of 77
Not suitable	<7.2	<20	<100	0 of 95

TABLE 2. Literature-based suggestions of calcium concentrations and pH thresholds for the establishment of sustainable populations of zebra mussels.

Study and parameter	Measurement	Data source
Calcium (mg/L)		
278 European lakes	28.3	Ramcharan et al. 1992
57 sites along the St. Lawrence River	15	Mellina and Rasmussen 1994
553 Belarusian lakes	24.7	Burlakova 1998
20 sites along the St. Lawrence River	8	Jones and Ricciardi 2005
pH		
Laboratory studies	7.4	Sprung 1987
278 European lakes	7.3	Ramcharan et al. 1992
553 Belarusian lakes	7.47	Burlakova 1998
30 Swedish lakes	7.5	Hallstan et al. 2010

Note: Unlike lake systems, it is not known if local populations within the St. Lawrence River are self-sustaining or sustained through larval transport from elsewhere.

Tableau 1 : Tableau tiré de l'article de Jones et Ricciardi (2005), (« *Influence of physicochemical factors on the distribution and biomass of invasive mussels (*Dreissena polymorpha *and* Dreissena bugensis*) in the St. Lawrence River* »), comparant la biomasse (masse de moule par mètre carré) des moules zébrées et quaggas dans le fleuve S-Laurent selon la taille du substrat, la profondeur du site et la concentration de calcium. Les sites ayant un taux de calcium inférieur à 20 mg/L sont situés à l'exutoire du Lac des Deux-Montagnes, aux endroits où il se déverse dans le Lac St-Louis. Le Lac des Deux-Montagnes a un taux de calcium inférieur à 10 mg/L. Cependant, des intrusions d'eau en provenance du St-Laurent et la dérive des véligères (larves) en provenance du Canal Rideau peuvent tous deux contribuer à d'importantes variations du taux de calcium dans ce secteur, permettant ainsi la survie de moule zébrée malgré des conditions moins favorables.

Table 1. Dreissenid biomass and physicochemical variables for 20 sites sampled along the St. Lawrence River (refer to Fig. 1 for site locations).

Site	No. of quadrats	Species	Biomass ($g \cdot m^{-2}$)	Substrate size (phi scale)	Depth (m)	Ca^{2+} ($mg \cdot L^{-1}$)
1	11	Z	86.1 (30.5)	–0.04 (2.0)	5.8 (0.8)	28.8 (0.2)
		Q*	622.8 (167.3)			
2	10	Z*	600.6 (143.4)	–0.84 (0.5)	2.7 (0.1)	28.4 (0.1)
		Q	177.6 (68.8)			
3	10	Z	78.6 (31.0)	–5.46 (1.4)	2.2 (0.4)	25.6 (0.1)
		Q	90.4 (36.0)			
4	10	Z*	370.5 (91.1)	–2.77 (1.4)	1.4 (0.1)	28.8 (0.3)
		Q	32.5 (7.3)			
5	10	Z	260.6 (73.6)	0.91(1.5)	3.0 (0.1)	26.0 (0.2)
		Q	33.8 (15.6)			
6	10	Z	1969.0 (423.7)	–7.92 (0.4)	2.1 (0.2)	30.0 (0.7)
		Q	1384.9 (431.0)			
7	10	Z	1588.1 (293.1)	–8.71 (0.2)	1.9 (0.4)	22.4 (0.1)
		Q	896.2 (243.8)			
8	16	Z	479.9 (118.2)	–4.04 (2.1)	3.5 (0.3)	26.0 (2.2)
		Q*	1722.6 (309.6)			
9	10	Z	690.7 (155.1)	–9.13 (0.1)	2.0 (0.2)	26.4 (1.2)
		Q	788.4 (198.6)			
10	10	Z*	1435.8 (200.5)	–6.56 (0.7)	1.5 (0.2)	24.8 (0.6)
		Q	153.4 (55.7)			
11[a]	10	Z	0.0	–6.09 (0.8)	1.5 (0.2)	7.6 (0.5)
		Q	0.0			
12	10	Z	5.4 (4.0)	8.81 (0.2)	1.3 (0.1)	10.0 (0.5)
		Q	0.0			
13	15	Z*	12.6 (4.2)	7.62 (0.3)	1.3 (0.1)	9.6 (0.1)
		Q	0.0			
14	9	Z	3.4 (2.0)	–6.52 (0.2)	1.3 (0.1)	8.0 (0.4)
		Q	0.0			
15	10	Z*	266.8 (91.2)	3.18 (1.4)	1.5 (0.2)	12.4 (0.2)
		Q	5.6 (3.0)			
16	5	Z	487.5 (118.8)	4.10 (2.4)	1.7 (0.1)	14.4 (0.4)
		Q	12.5 (10.9)			
17	10	Z*	457.0 (82.6)	7.52 (0.5)	1.4 (0.1)	23.8 (0.1)
		Q	21.4 (13.7)			
18	8	Z*	758.1 (412.3)	–3.08 (1.9)	1.5 (0.1)	13.2 (0.1)
		Q	44.2 (27.4)			
19	10	Z*	168.4 (51.3)	–7.72 (0.5)	1.3 (0.1)	18.4 (0.4)
		Q	7.1 (5.6)			
20	10	Z*	2183.4 (536.1)	–8.55 (0.4)	1.7 (0.1)	23.6 (0.6)
		Q	28.9 (12.2)			

Note: Values reported are the site means with standard error in parentheses. An asterisk indicates species with significantly higher average biomass per one square metre ($P < 0.05$) following sequential Bonferroni correction at $\alpha = 0.05$. Z, zebra mussels (*Dreissena polymorpha*); Q, quagga mussels (*Dreissena bugensis*).

[a]No statistical test done; biomass = 0 for both zebra mussels and quagga mussels.