

Fish are running out of energy in the race against global warming and metal contamination

Les poissons s'épuisent dans leur course contre les métaux lourds et le réchauffement planétaire

Isabelle Fournier et Patrice Couture
 Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement

Résumé

Le cadmium (Cd) est un métal non-essentiel dont la présence dans les cours d'eau est majoritairement d'origine anthropique. C'est un élément néfaste dont la toxicité passe par une augmentation des radicaux libres (ERO) et une diminution de l'efficacité de la phosphorylation oxydative. De plus, le Cd augmente les coûts d'entretien cellulaire à cause des dommages qu'il cause aux macromolécules. L'interférence du Cd avec le métabolisme oxydatif mène à un déficit énergétique. L'augmentation de la température mène aussi à une augmentation des ERO et à des dommages aux macromolécules. On observe aussi une diminution de l'activité de la chaîne de transport d'électrons (ETC) et une augmentation de la fuite de protons. En somme, la cellule produit moins d'ATP par molécule d'oxygène respirée par l'organisme. Comme les deux stresseurs mentionnés mènent à une augmentation des ERO, à une diminution de la production d'ATP ainsi qu'à une augmentation de la fuite de protons et que la hausse de la température augmente la prise de métal par les organismes aquatiques, il n'est pas surprenant qu'une exposition simultanée aux deux stress augmente le taux de mortalité. Néanmoins, on discerne mal la cause exacte; Chez les poissons, la température d'inhibition de l'ETC est généralement supérieure à la température critique, ainsi la mort par hausse de la température serait plus causée par une mauvaise oxygénation des tissus que par une dysfonction mitochondriale. Toutefois, une étude de Lannig *et al.* (2006) sur les huîtres a révélé qu'il y avait une augmentation du métabolisme de base lorsque les animaux étaient exposés aux stress seuls, mais pas lorsqu'ils étaient combinés, suggérant une limitation énergétique.

Revue de littérature

Cadmium



Pigments



Batteries Cd-Ni

- Production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO)
- Inhibition des enzymes antioxydantes (GPX, SOD, CAT)
- Dommages oxydatifs (LPO)

- Inhibition de la respiration mitochondriale
- Augmentation de la perméabilité membranaire
- Augmentation de la fuite de protons (« proton leak »)



Cigarette



Éruption volcanique



Feux de forêts



Pièces électroniques

Température

- Production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO)
- Dommages oxydatifs (MDA)
- Augmentation de la demande énergétique
- Plus de lipides saturés dans les membranes
- Augmentation de la fuite de protons ("proton leak")

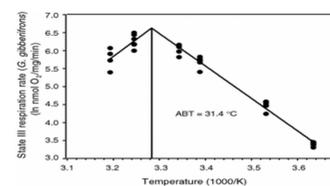


Fig.1 Courbe d'Arrhenius pour le stade III de la respiration des mitochondries du ventricule cardiaque de *Gobionotthen gibberifrons*. Modifiée de Urschel et O'Brien, 2009.

- **Température critique** < « arrhenius breaking temperature » (ABT) des mitochondries

Effets combinés

- Synergie au niveau de la mortalité, pourquoi ?
- Pas à cause des ERO - pas de synergie dans l'activité des enzymes antioxydantes
- Au niveau énergétique - augmentation du métabolisme de base, mais diminution de l'activité mitochondriale

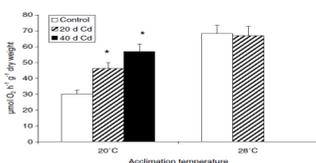


Fig. 2 Effet du Cd et de la température d'exposition sur le métabolisme de base de *Crassostrea virginica* à 20 et 28 °C pour 10 ou 20 jours. Tirée de Lannig *et al.*, 2006.

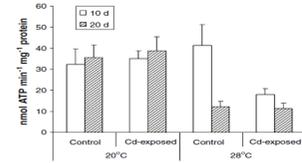


Fig. 3 Effets du Cd sur la synthèse d'ATP par les mitochondries de *Crassostrea virginica* à 20 et 28 °C pour 10 ou 20 jours. Modifiée de Lannig *et al.*, 2006.

Objectifs

- Confirmer que la prise de métal par les poissons augmente avec la température.
- Vérifier si la température et le cadmium affectent négativement et synergiquement l'activité des complexes de la chaîne de transport d'électrons.
- Faire le lien entre la concentration de cadmium du milieu et celle des différentes composantes de la cellule.

Méthodes

Cadmium Température élevée	Sans cadmium Température élevée
Cadmium Température optimale	Sans cadmium Température optimale

Température optimale : 25 °C
 Température élevée : 35 °C
 Cadmium : 4 µg/L

- Condition générale de l'organisme
- Répartition subcellulaire du cadmium

Mitochondries
 Débris
 Protéines stables à la chaleur (ex. Métallothionéine)
 Protéines dénaturées à la chaleur (ex. Enzymes)
 Organelles
 Granules



Pimephales promelas

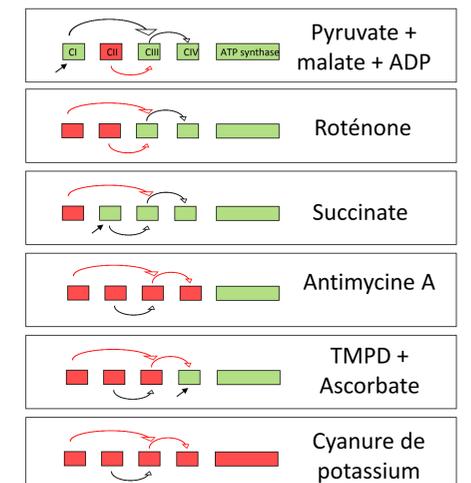
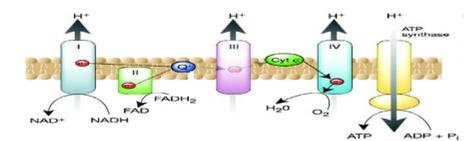
-Respiration mitochondriale

- Foie (3 poissons regroupés (« pool »))

- Selon une méthode de Martin *et al.*, 2013

Stades 3 et 4

Activités des complexes CI à CIV + ATP synthase



■ Complexes dont l'activité n'est pas mesurée par la consommation d'oxygène
 ■ Complexes dont l'activité est mesurée par la consommation d'oxygène

Références

Abele D., K. Heise, H.O. Pörtner et S. Puntarulo, 2002. *Journal of experimental biology*, 205 : 1831-1841.
 Cannino G., E. Ferruggia, C. Luparello et A.M. Rinaldi, 2009. *Review. Mitochondrion*, 9 : 377-384.
 Dorts J., A. Bauwin, P. Kestemont, S. Jolly, W. Saez et F. Silvestre, 2012. *Comp. Biochem. Physiol. Part C*, 155 : 318-324.
 Keller M., A.M. Sommer, H.O. Pörtner et D. Abele, 2004. *Journal of experimental biology*, 207 : 2529-2538.
 Lannig G., Cherkasov A.S. et I.M. Sokolova, 2006. *Mar. Environ. Res.*, 62 : S79-S82.
 Martin N., D.P. Bureau, Y. Marty, E. Kraffe et H. Guderley, 2013. *J. Comp. Physiol. Part B*, 183 : 393-408.
 Pörtner H.O., I. Hardewig et L.S. Peck, 1999. *Comp. Biochem. Physiol. Part A*, 124 : 179-189.
 Urschel M.R. et K.M. O'Brien, 2009. *Polar. Biol.*, 32 : 1323-1330.
 Wang Y., J. Fang, S.S. Leonard et K.M.K. Rao, 2004. *Free radical biology and medicine*, 36(11) : 1434-1443.
 Young Choi C., K.W. An, E.R. Nelson et H.R. Habibi, 2007. *Comp. Biochem. Physiol. Part C*, 145 : 595-600.