

Conséquences écologiques de l'exposition chronique
aux radionucléides : *connaissances et méthodes
nécessaires pour la mise en place d'un système de
radioprotection de l'environnement*

17 juin 2009

C. Adam-Guillermin, F. Alonzo, J-M Bonzom, B. Gagnaire,
R. Gilbin, J. Garnier-Laplace

DEI/SECRE/LRE - LME

Contexte de l'évaluation du risque pour les écosystèmes

- Méthodes développées depuis plus de 20 ans, formalisées dans le concept d'ERA (Ecological Risk Assessment, [US-EPA]) qui définit une démarche standardisée pour **l'évaluation du risque écologique associé aux polluants chimiques**. Au niveau européen, le Guide Technique Européen (TGD, 2003) propose une démarche standardisée pour les substances chimiques
- **Jusqu'à récemment, absence de méthodes pour l'évaluation du risque environnemental pour les radionucléides** et nécessité d'une **harmonisation** avec les méthodes existantes pour les substances chimiques
- Les développements réalisés dans le cadre des 5e et 6e PCRD du domaine EURATOM – **programmes FASSET (2001-2004) et ERICA (2004-2007)** puis **PROTECT (2007-2008)** – visent à préparer la mise en place à l'échelle européenne d'une méthode d'évaluation du risque écologique adaptée aux substances radioactives.

- Ces développements sont réalisés en cohérence avec les réflexions en cours à l'UNSCEAR, la CIPR et l'AIEA dans le domaine
- **Mettre en œuvre un système de Radioprotection de l'Environnement** en évoluant du concept de « chaîne alimentaire » de l'homme vers celui d'écosystèmes où la biodiversité doit être protégée
- **Enjeu renforcé par le contexte actuel et futur** dans le domaine du nucléaire (e.g. EPR, expansion/maintien des programmes nucléaires), ainsi que dans celui de la **Directive Cadre sur l'Eau**, visant à un « bon état chimique et écologique » des milieux à l'horizon 2015. Cas de l'uranium parmi les 86 substances pertinentes au plan du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau (DCE/23, 2007).

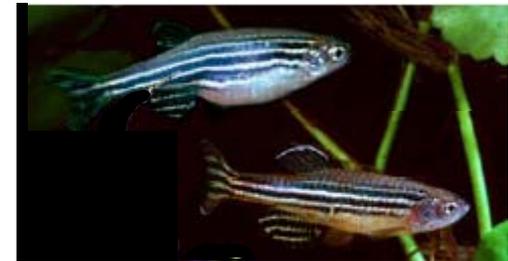
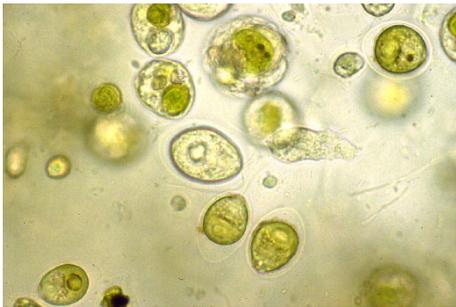
■ Un des objectifs visés =

Proposition cohérente de valeurs guides « sans effet » pour tout ou partie de l'écosystème

- les effets biologiques induits par une exposition interne chronique à faible niveau pour diverses espèces à l'échelle de l'individu et aux niveaux d'organisation inférieurs (moléculaire, cellulaire, tissulaire);
- les conséquences de ces effets pour des niveaux d'organisation supérieurs (des populations aux écosystèmes).

La stratégie expérimentale adoptée

- Balayer un large spectre des effets et des modes d'actions susceptibles de se produire au sein de la diversité des espèces végétales et animales.
- Choix d'un nombre limité d'espèces qui permet d'étudier la contamination par diverses sources d'exposition (eau, sédiment, sol, nourriture) et dont l'assemblage est représentatif de la structure des écosystèmes.



Exemples des espèces sélectionnées pour les écosystèmes d'eau douce

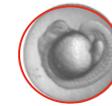
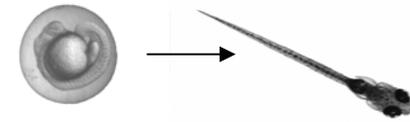
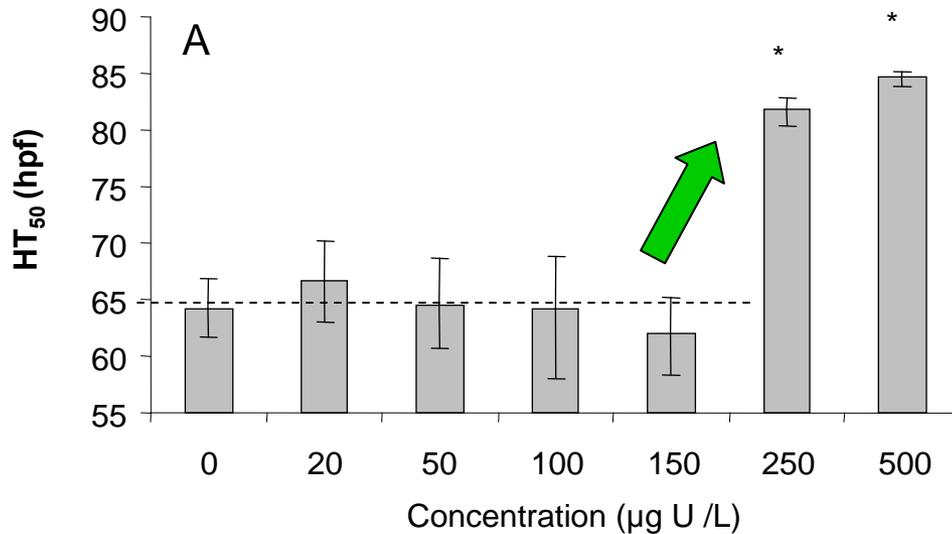
Quelques résultats...



Effets sur la reproduction et le développement de poissons zèbres exposés à de l'uranium (cycle de vie court, œufs transparents)



HT50 : temps nécessaire pour l'éclosion de 50 % des œufs

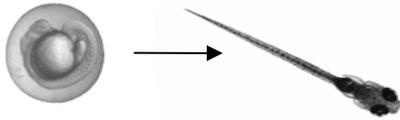


Accumulation de l'uranium dans l'enveloppe de l'œuf (seulement 0,002 % U dans l'embryon)

Suivi de la cinétique d'éclosion :

Retard d'éclosion d'environ 30 %

Bourrachot et al., Aquatic Toxicology 2008



Exposition des œufs à
de l'uranium appauvri
(UA) ou à ^{233}U (x
2000)

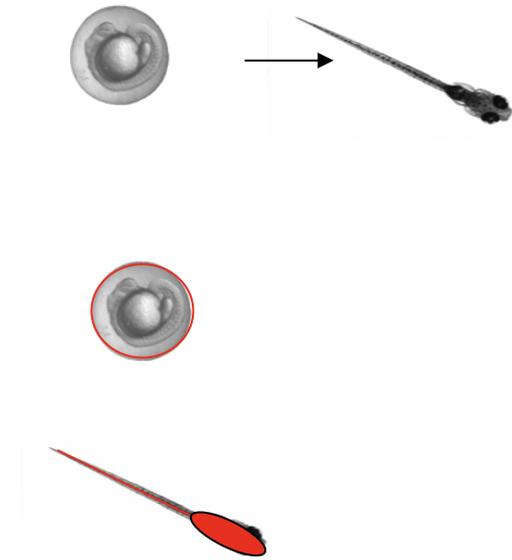
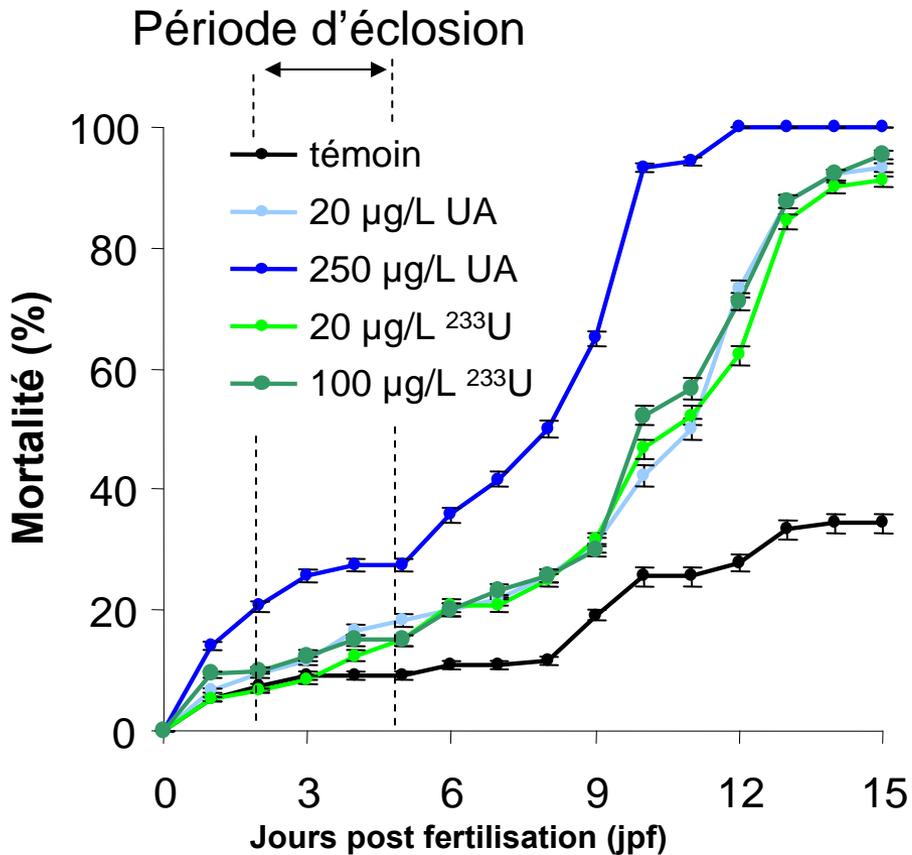
Témoin: HT50 = 47 (45-48)hpf

20 µg/L UA: HT50 = 49 (45-53) hpf

20 µg/L ^{233}U : HT50 = 59 (54-66) hpf

Condition expérimentale	Observation à 24 hpf	Fréquence de l'évènement <i>détachement de la queue</i>
Témoin		96 %
UA 20 µg/L		100 %
^{233}U 20 µg/L		8 %

Suivi de la cinétique d'éclosion :
Retard d'éclosion plus marqué en présence
de l'isotope plus radioactif ^{233}U



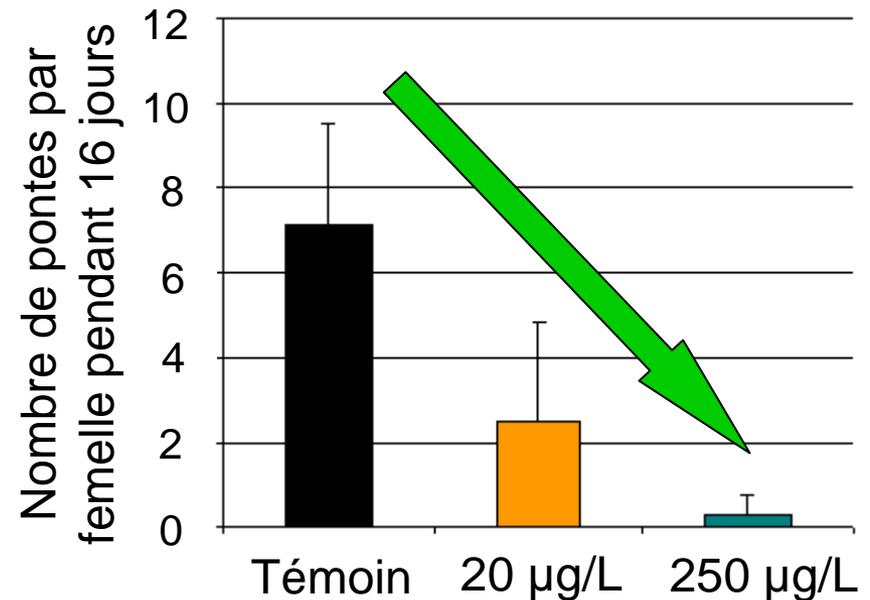
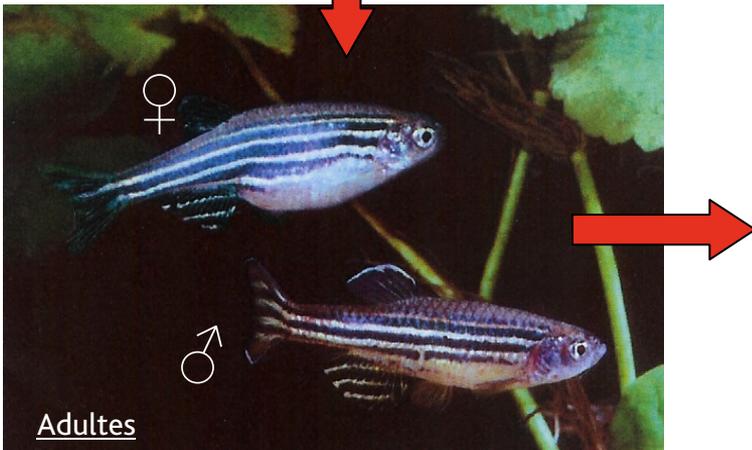
Post-éclosion :
période critique car
nutrition exogène

Suivi du taux de mortalité :

Augmentation de la mortalité au stade larvaire dès 20 µg/L d'uranium

Pas de différence UA et ²³³U (pas d'effet radiotoxique significatif)

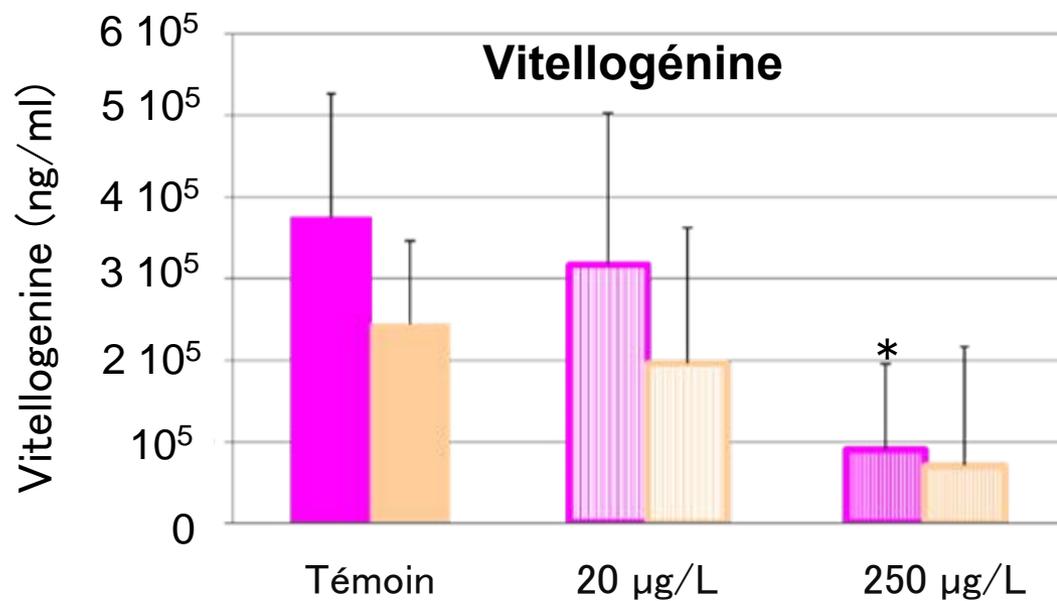
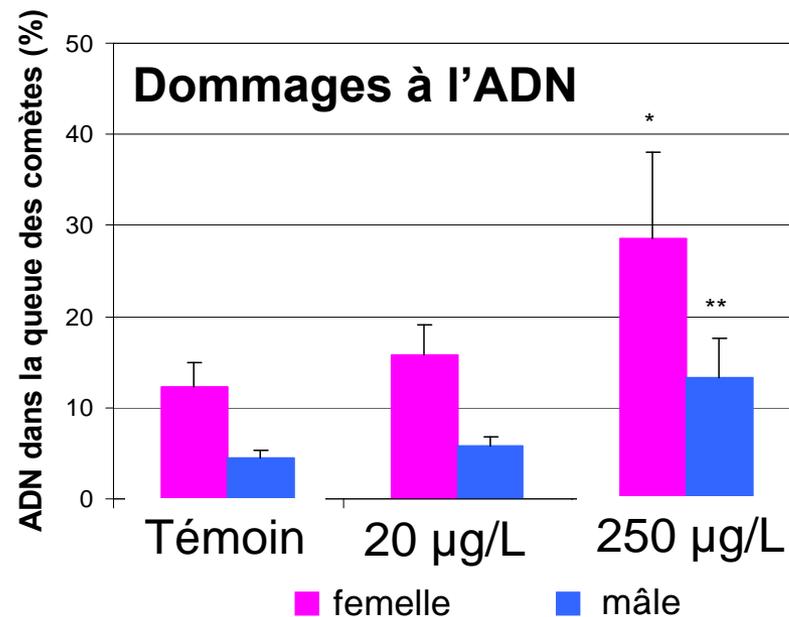
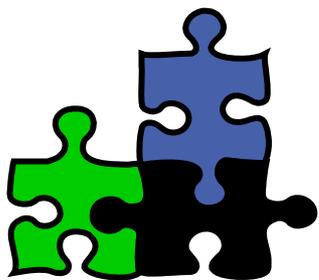
Exposition des adultes

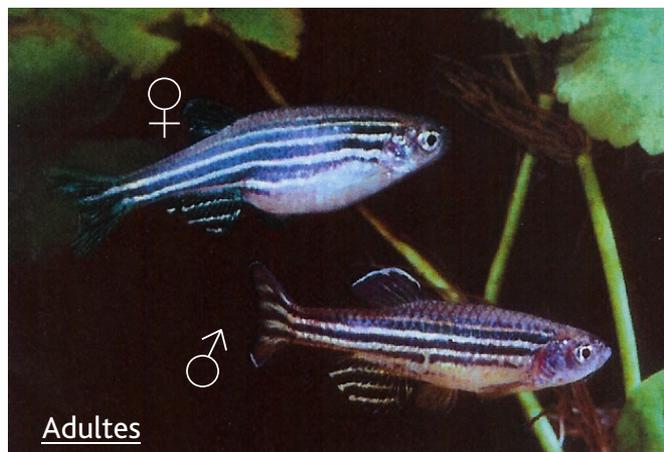
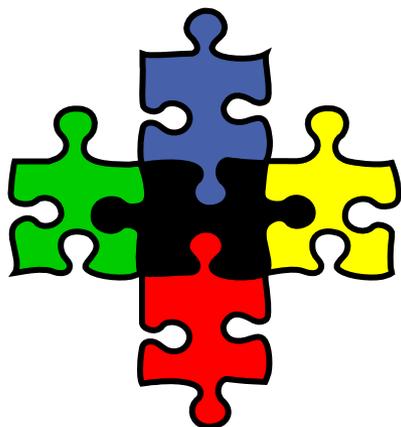


Suivi de la reproduction et de la survie de la progéniture :

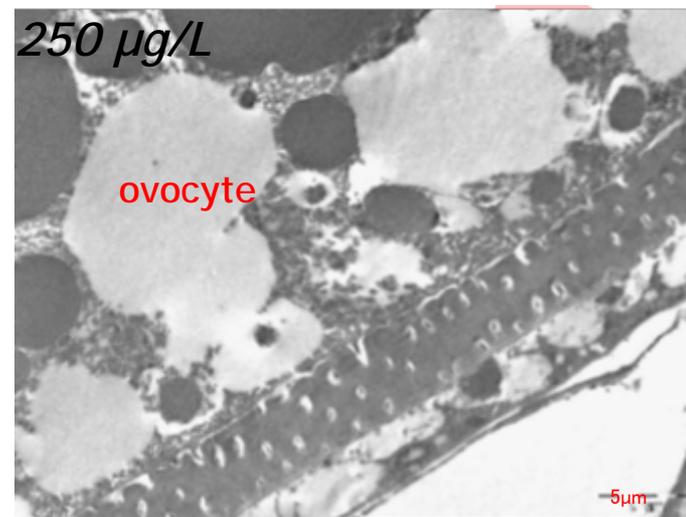
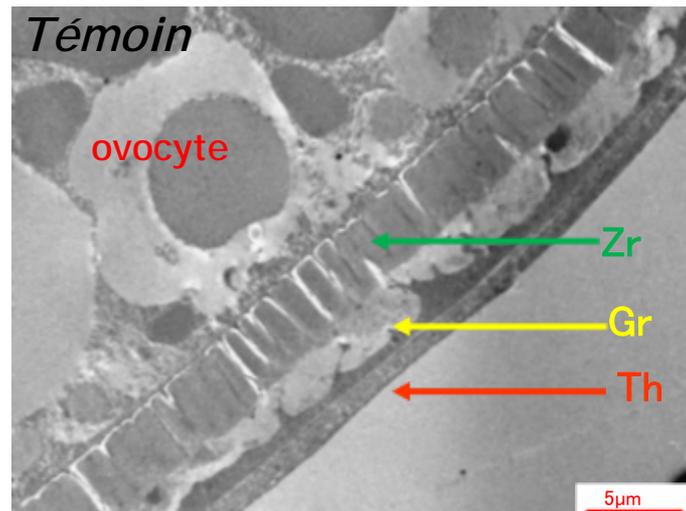
Baisse du succès reproducteur (diminution événements de ponte)

Baisse de la viabilité des œufs et de la survie des larves





Histologie gonades femelles

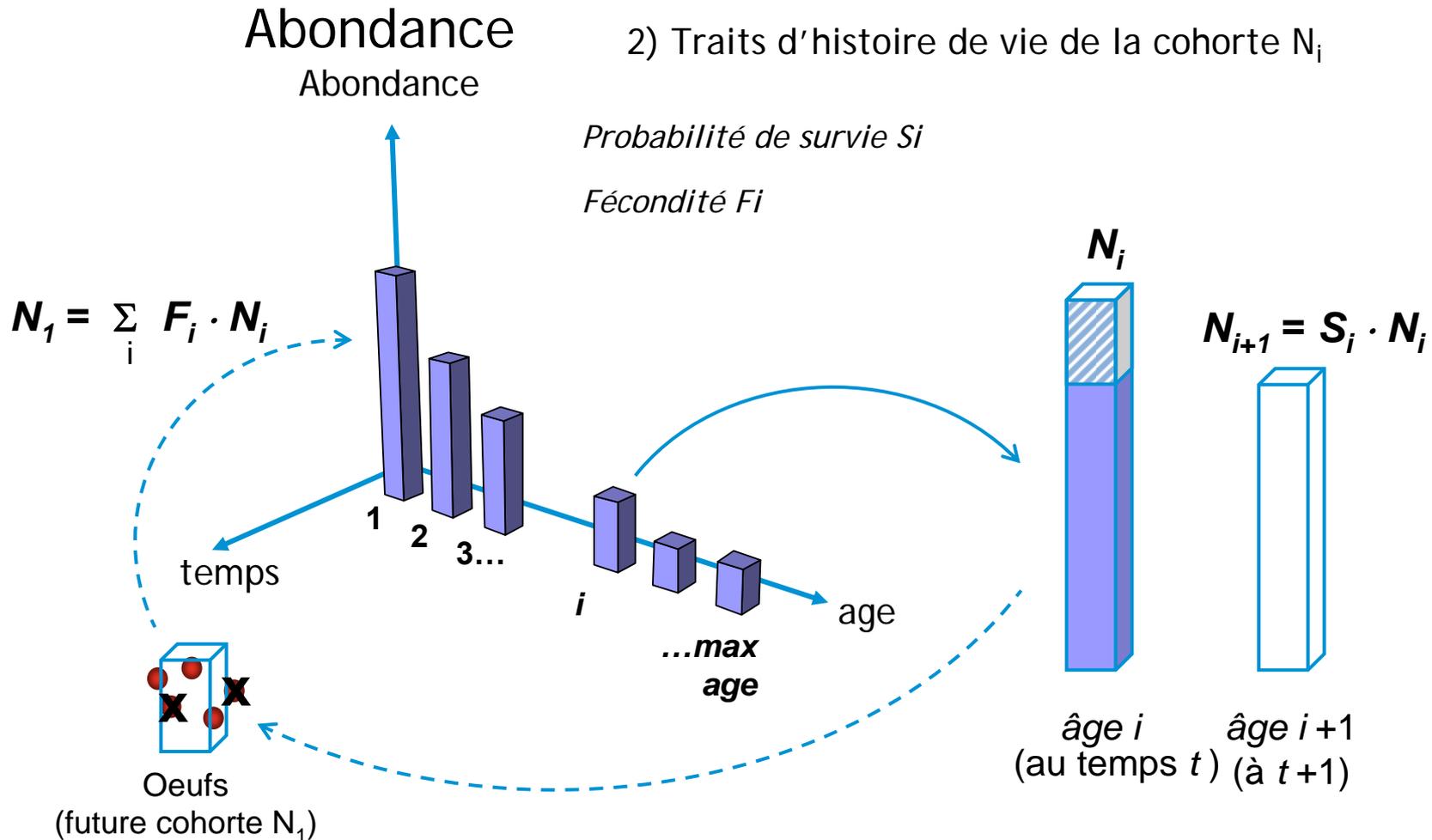


✓ Comportement de fraie inhibé chez les mâles

Matrices de Leslie

Croissance de la population 1) Population structurée par classes d'âges

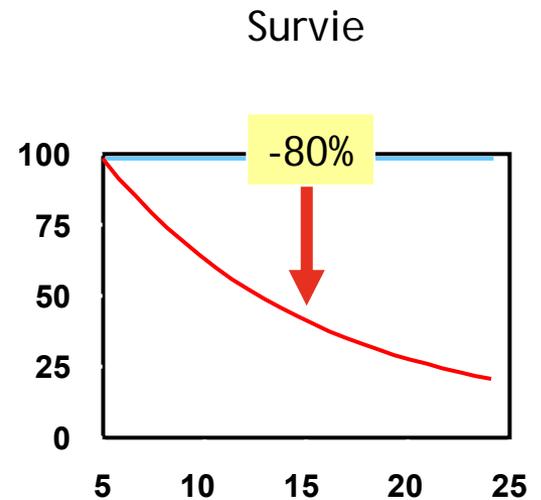
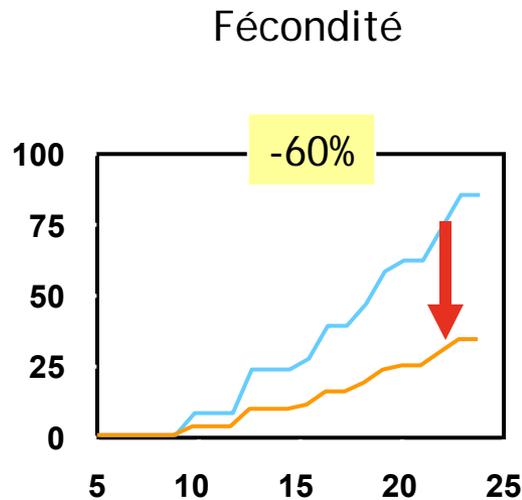
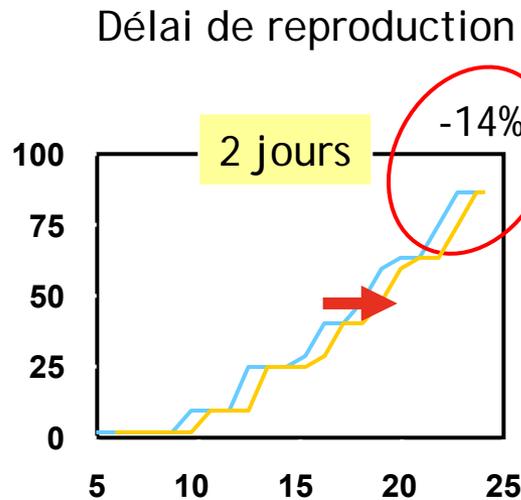
2) Traits d'histoire de vie de la cohorte N_i



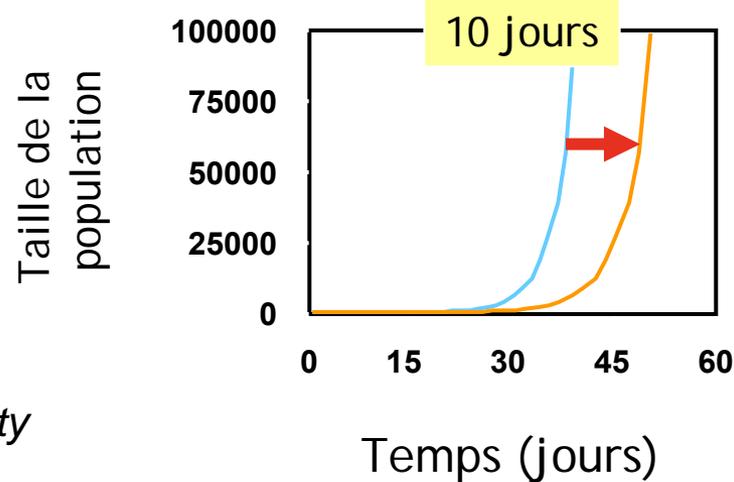
Propagation des effets de l'individu à la population

Répercussions des changements de traits d'histoire de vie sur la croissance d'une population de daphnies exposées à de l' ^{241}Am

Effets sur l'individu



Croissance de la population



■ Sensibilité du modèle de dynamique de population vis-à-vis des paramètres: délai de reproduction > fécondité > survie



Alonzo et al., *Journal of Environmental Radioactivity* 2008

Environnement contaminé

Polluant

Evolution des Populations

- Extinction
- Adaptation → tolérance

Phénotype : caractéristiques physiques et physiologiques d'un individu, résultant de son génotype et de son environnement

Génotype : ensemble de l'information génétique d'un individu

Modifications phénotypiques

2 mécanismes adaptatifs:

- Acclimatation → Plasticité phénotypique
- Adaptation → Sélection des individus en fonction de leur capacité à survivre et à se reproduire (changements génétiques)

Plasticité phénotypique : capacité d'un même génotype à donner différents phénotypes selon l'environnement

Exposition de 8 générations de chironomes à 4 concentrations d'uranium dans le sédiment

0, 32, 64, 128 $\mu\text{g U/g sec}$

Mesures phénotypiques pour chaque génération

Survie

Temps de développement



Longueur



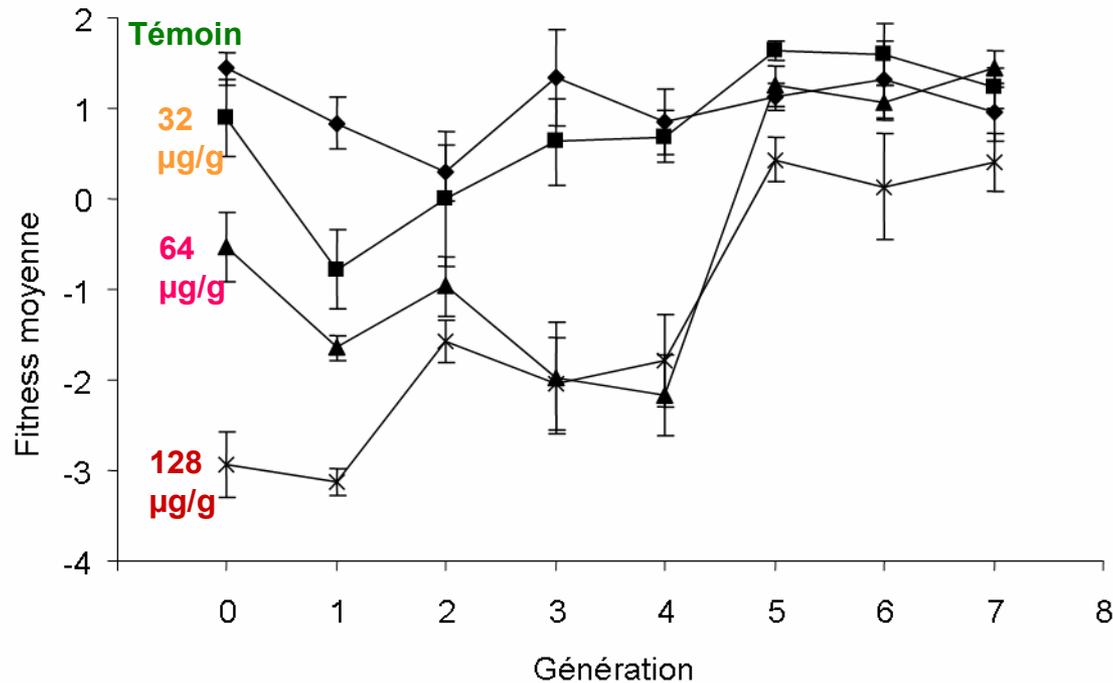
Reproduction



Malformations



Viabilité

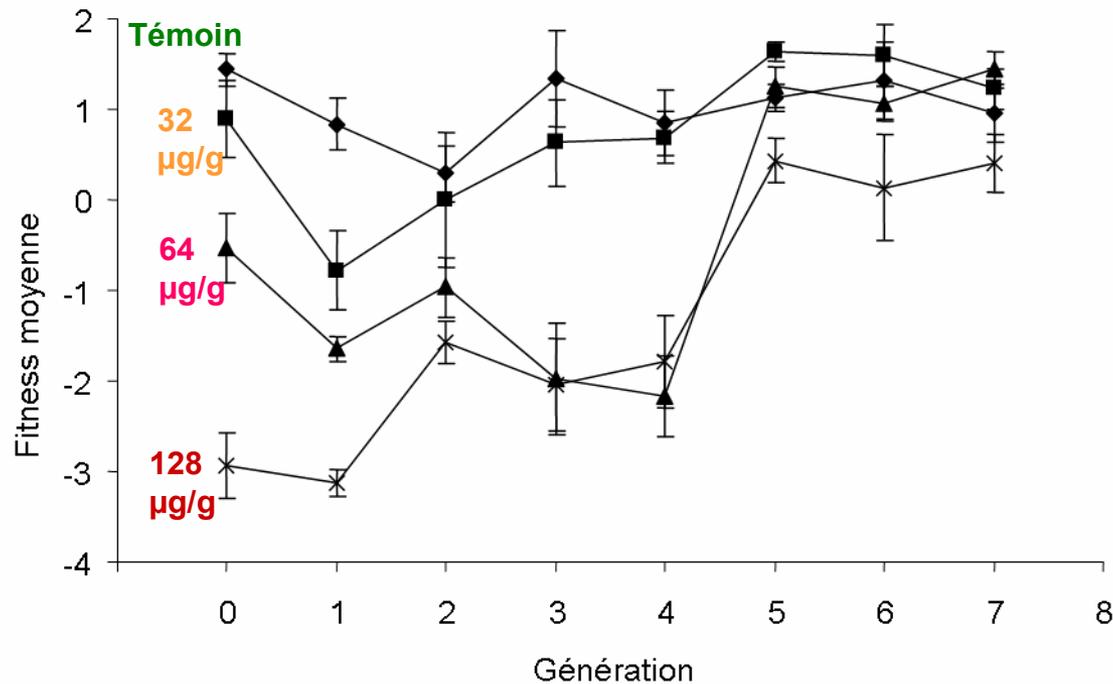


Adaptation des populations

Dias et al., Chemosphere 2008

Sélection des individus ayant la meilleure fitness :

Croissance rapide (temps de développement court et grande taille),
fécondité et succès reproducteur élevés => sélection des individus ayant
une capacité d'acquisition d'énergie élevée



Adaptation des populations

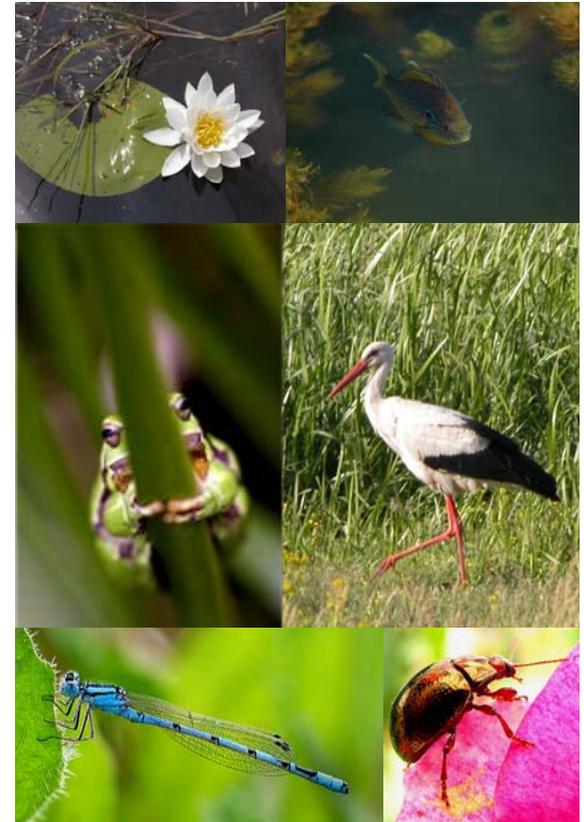
Dias et al., Chemosphere 2008

Coût engendré par cette acquisition de tolérance =>vulnérabilité

Les populations contaminées à la plus forte concentration d'uranium, placées dans un environnement non contaminé ont un succès reproducteur inférieur à celui des populations témoins

- Meilleure estimation de la complexité des phénomènes naturels (études in situ complémentaires)
- Méthode d'évaluation des effets plus pertinente : utilisation d'outils d'extrapolation scientifiquement fondés (modèles mathématiques)
- Critères d'effets adaptés au contexte d'exposition chronique à de faibles concentrations (effets observés pour des gammes de doses environnementales)

Merci de votre attention !



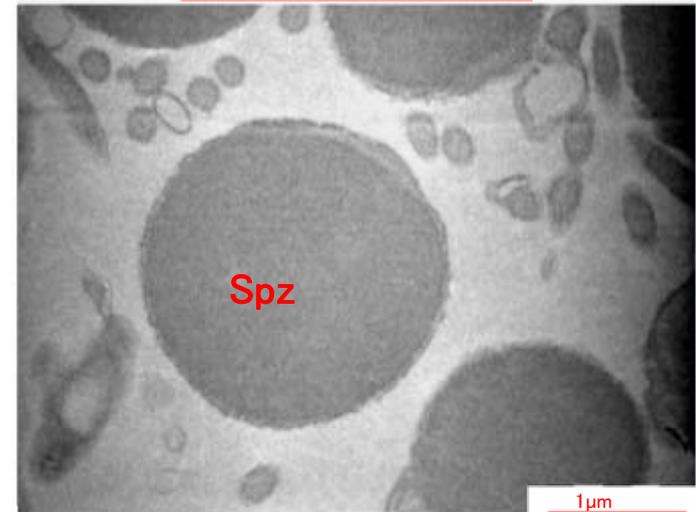
2) U effects on reproductive system

- *Tissue perturbations?* Observations with OM and TEM

Males:

- Tubular structure disappeared and spz are dispersed .
- Appearance of vacuols and crenate membrane.

Témoin



250 μg/L

