

**L'écotoxicologique
et la biodiversité génétique**

approche populationnelle

Ecotoxicologie :

1^{ère} utilisation : Truhaut 1969

« Etude de l'impacts des polluants sur la structure et les fonctions des écosystèmes »

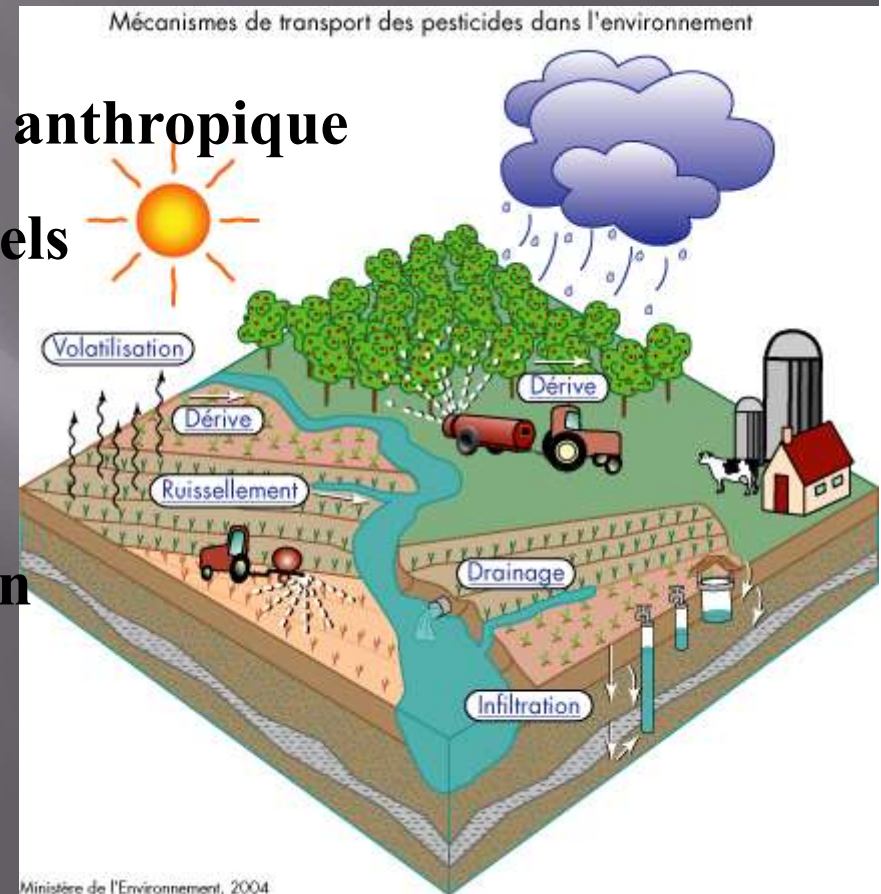
contaminants d'origine anthropique
exclut les poisons naturels

Développement des pesticides
actions a distance du site d'application

Essor important de
l'écotoxicologie

Niveaux d'organisation biologique

moléculaire ↔ écosystème



Ecotoxicologie :

Ramade (1977) :

« C'est l'étude des modalités de contamination de l'environnement par les agents polluants naturels ou artificiels produits par l'activité humaine ainsi que de leurs mécanismes d'action et leurs effets sur les êtres vivants qui peuplent la biosphère »



déterminer les contaminants

déterminer les mécanismes d'actions

déterminer les effets

Ecotoxicologie :

Ramade (1977) :

« C'est l'étude des modalités de contamination de l'environnement par les agents polluants naturels ou artificiels produits par l'activité humaine ainsi que de leurs mécanismes d'action et leurs effets sur les êtres vivants qui peuplent la biosphère »



déterminer les contaminants

→ Chimie

déterminer les mécanismes d'actions

→ Physiologie

déterminer les effets

→ Biodiversité

Phylogéographie :

principes et processus qui régissent la distribution de la diversité intraspécifique



Outils génétiques

divergences entre lignées généalogiques

- structuration des populations**
- spéciation**

caractéristiques génétiques géographiquement structurées



Influence des forces évolutives

Relation écotoxicologie – évolution

approche récente

→ moléculaire

évaluation de l'impact contaminants/populations naturelles

Composition génétique

Répartition et structure géographiques

⇒ Identification de la base moléculaire de la sélection

↪ loci directement affectés

↪ évaluation des niveaux d'expression

⇒ Identification des loci indirectement affectés

approche généraliste multi-loci

↪ comparative : sites contaminés/sites référents

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ processus d'évolution de la génétique des populations

- mutation**
- migration**
- dérive**
- sélection**

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ processus d'évolution de la génétique des populations

- mutation: source de nouvelles formes géniques

- migration Taux de mutations faible :

- dérive

$10^{-6}/\text{nuc.génération}$

- sélection



Lien taux de mutations/contaminants difficile à établir

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ processus d'évolution de la génétique des populations

- mutation: source de nouvelles formes géniques

- migration

- dérive

- sélection

**élimination ou maintien de
la variabilité génétique**

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ processus d'évolution de la génétique des populations

- mutation: source de nouvelles formes géniques

- migration: homogénéisation des populations

- dérive

- sélection



Masque l'impact des contaminants

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ **processus d'évolution de la génétique des populations**

- **mutation: source de nouvelles formes géniques**
- **migration: homogénéisation des populations**
- **dérive: perte aléatoire de la diversité génétique**
- **sélection**



Masque l'impact des contaminants

**Modifie la structure génétique
des (petites) populations**

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

- ➔ **processus d'évolution de la génétique des populations**
 - **mutation:** source de nouvelles formes géniques
 - **migration:** homogénéisation des populations
 - **dérive:** perte aléatoire de la diversité génétique
 - **sélection:** action de l'environnement

écotoxicologie ➔ **action des contaminants**



**Modifie la composition génétique
des populations**

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

➔ avantage/désavantage

survie

reproduction



Changement des fréquences phénotypiques



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ avantage/désavantage

survie

reproduction



Changement des fréquences phénotypiques



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ avantage/désavantage

survie

reproduction



Changement des fréquences phénotypiques

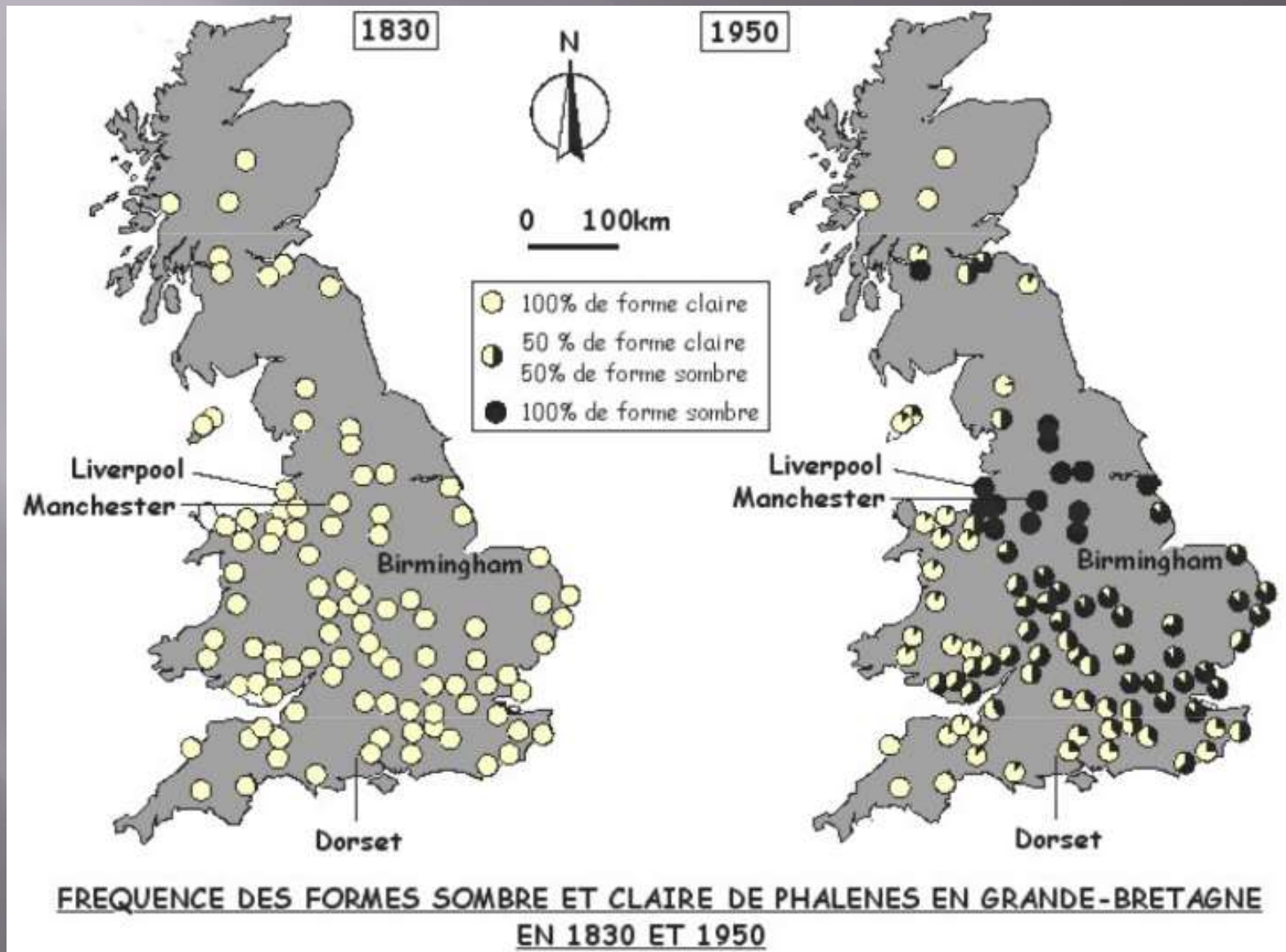


Succès évolutif en terme de fitness



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ avantage/désavantage

survie

reproduction



Changement des fréquences phénotypiques



Succès évolutif en terme de fitness



Changement des fréquences phénotypiques

Interaction avec la répartition géographique



Phylogéographie

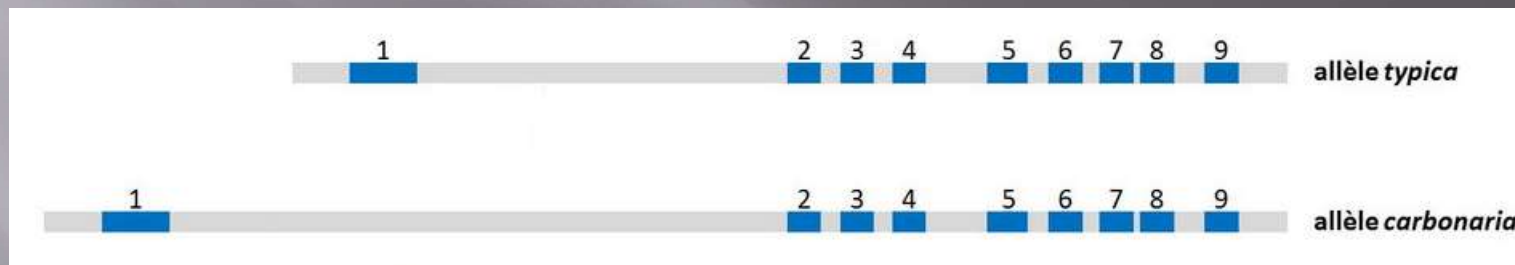
Distribution géographique de la diversité génétique

Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ mutation du gène *cortex*

↪ plusieurs allèles



→ 9 exons

→ 8 introns

intron I: grande variation de taille

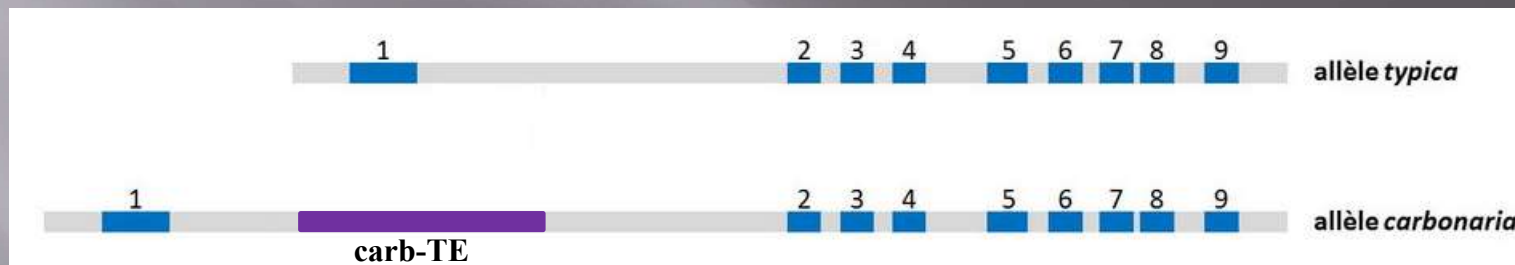
Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

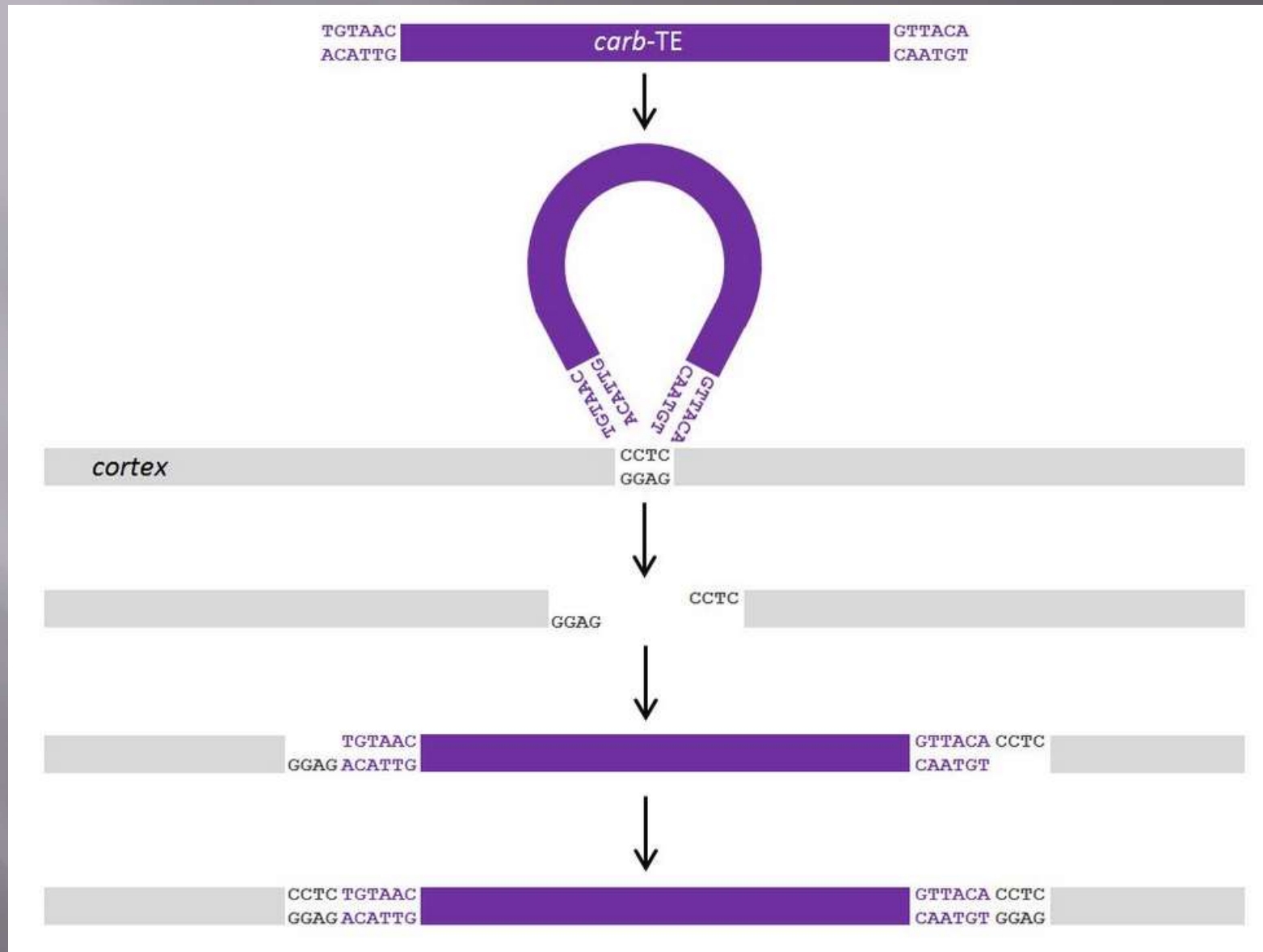
→ mutation du gène cortex

↪ plusieurs allèles

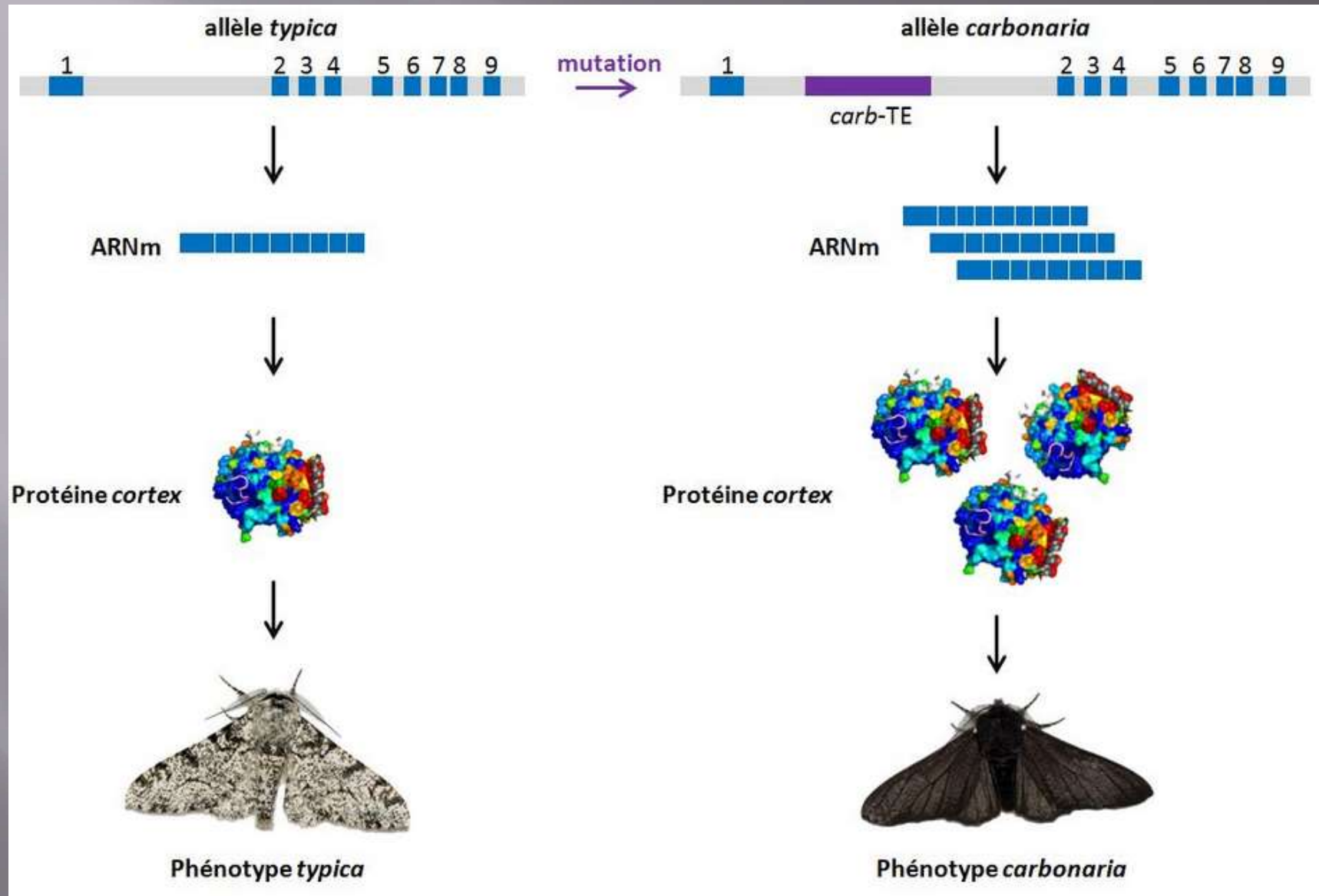
Intron I



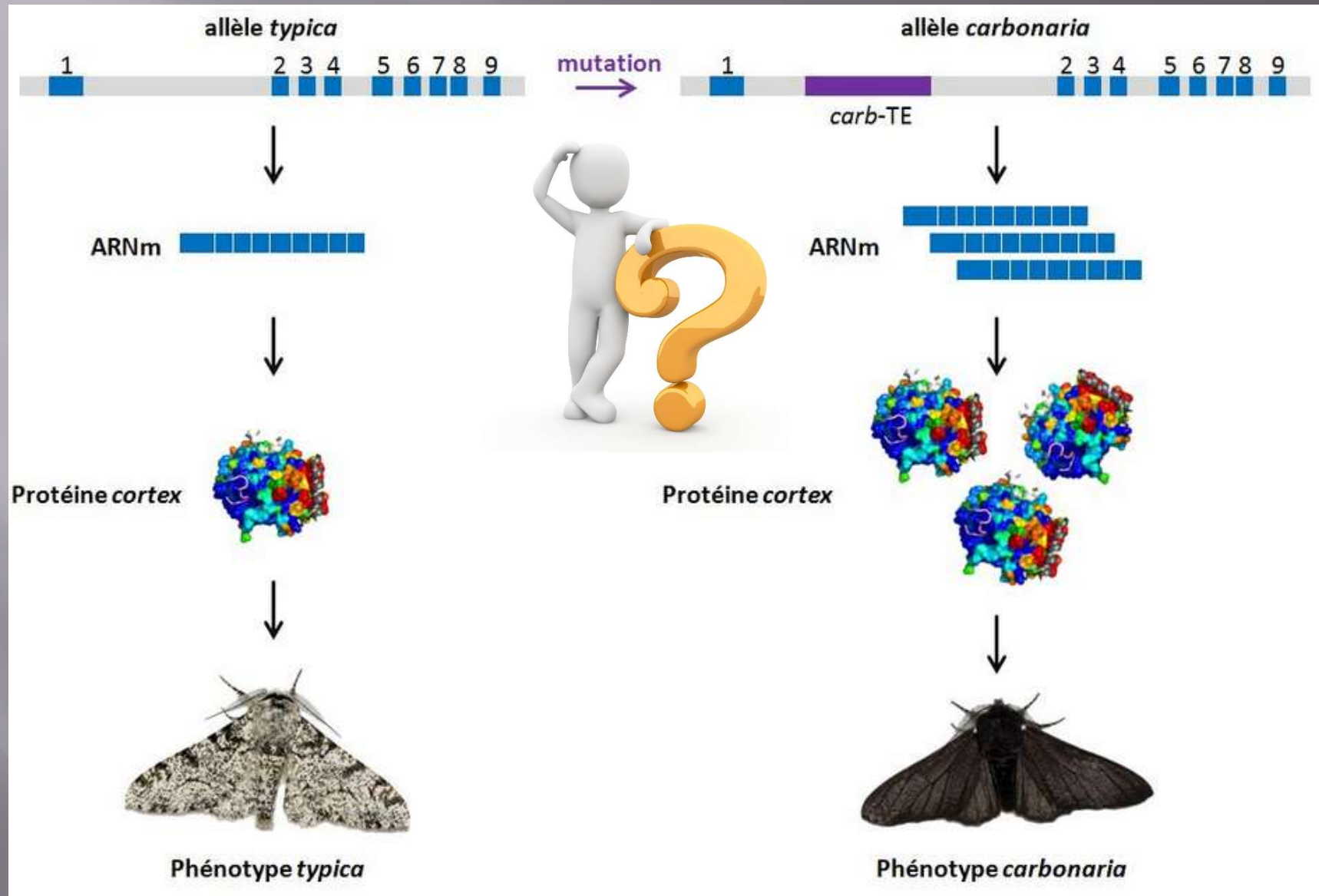
Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations



Relation écotoxicologie – structuration génétique des populations

impact écotoxicologique :

→ avantage/désavantage

modifications environnementales



↪ Modifications des
phénotypes sélectionnés



Phylogéographie :

subdivision des espèces en groupes génétiquement différenciés



Approche historique

Distribution actuelle en fonction des barrières géographiques liées aux variations paléo-écologiques

Approche écologique

Distribution actuelle en fonction
- des capacités écologiques
- des caractéristiques environnementales



Processus génétiques populationnels



recherche de pattern de sensibilité sur des loci à priori

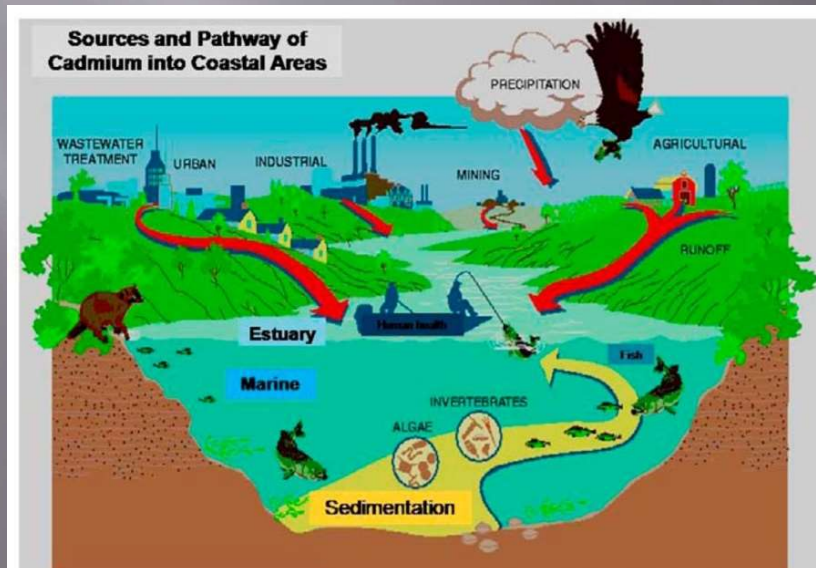
analyse comparative de populations naturelles issues de milieux différents

Ecotoxicologie et phylogéographie d'une espèce aquatique

Réponse phylogéographique à une contamination

Modèle de contaminant: Cadmium

- Cd :**
- * métal parmi les plus toxiques
 - * contaminant naturel et anthropogénique
 - * entre dans les chaînes trophiques
consommation d'eau
biota



→ accumulation



forte menace pour
la qualité de l'environnement
la santé

Modèle biologique : *Cerastoderma glaucum*
Famille de Cardidae



ubiquiste, souvent en milieu lagunaire
supporte des salinités très différentes
de 5 à 85 ‰

supporte des températures très différentes
de 0 à 45°C

endogène – suspensivore détritivore active – dépositivore

*** Intérêt écologique:**

- consommateur primaire
proies

crustacés

poissons

oiseaux

- réducteur de la charge particulaire

Modèle biologique : *Cerastoderma glaucum*

* Intérêt économique:
pêche

commercialisation

→ nécessité de répondre
aux normes sanitaires

* Intérêt en bio-surveillance: espèce sentinelle
surveillance passive
bio-indicateur positif: pollu-tolérante
intégrateur de la qualité de l'environnement

Surveillance passive: espèce naturellement
présente

Surveillance active: espèce introduite

encagement



Espèce bio-indicatrice :



- * sédentaire**
- * abondante, répartie sur l'ensemble de l'aire étudiée**
- * bonne longévité \implies plusieurs classe d'âge**
- * taille suffisante pour une quantité de tissus nécessaire aux analyses**
- * facile à échantillonner et résistant pour être mis en laboratoire**
- * corrélations identiques et simples
teneur dans les tissus/teneur dans
le milieu
indépendamment de l'origine géographique
des conditions environnementales**
- * accumulation non mortelle,
aux teneurs max. de l'environnement**

Zone géographique :

**Localement
fortement contaminé**



Origine industriel



[Cd] > teneur autorisée

→ Branchies : organe interface milieux extérieur/intérieur



Réponse à une contamination

analyse intégrée dans une étude globale



Analyse à différents niveaux d'organisation biologique

Survie

Reproduction

Inhibition de l'activité énergétique

génom mitochondrial

Induction de l'expression de gènes

détoxication

défense

métabolisme énergétique



compréhension des mécanismes de structuration

phylogéographique

nécessité d'informations sur les processus

de réponse au stress

Protocole expérimental

impact du Cd isolé : concentration/durée

impact du Cd en « cocktail »

analyse sur des populations naturelles

- « site de référence »

- niveau de contamination différent

Test:

*** stress on stress**

survie à l'anoxie après contamination

*** indice de condition: %age de tissus mous/pds total**

indicateur physiologique de l'état des animaux

*** teneur en métaux**

*** expression de gènes \Rightarrow protection cellulaire**

**- protéines de neutralisation ou d'élimination
des xénobiotiques**

- protéines de protection contre le stress

- voies du métabolisme énergétique mitochondrial

Réponse au stress

Modification de l'état physiologique

→ perturbations métaboliques



cout énergétique

→ diminution de la résistance aux
modifications environnementales

peu décelable par l'indice de condition

paramètre intégrateur

santé

réserve énergétique

mais affecté après un temps d'intégration

Réponse physiologique à une contamination capacité de survie

In vivo

Etat physiologique affecté par la contamination

→ réduction des capacités d'adaptation

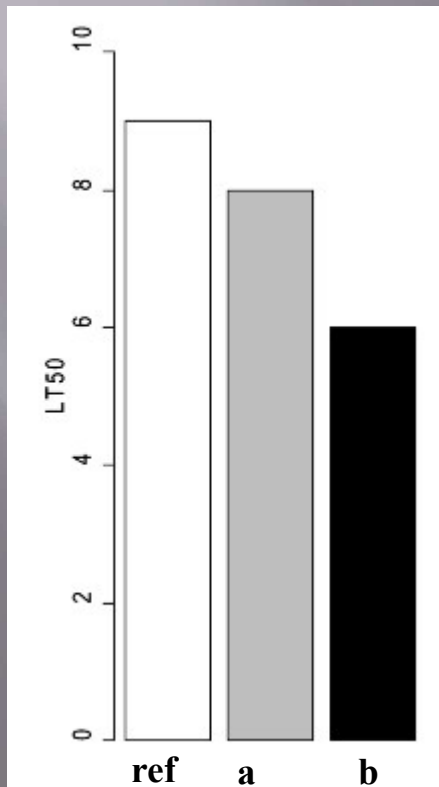


perturbations métaboliques
modification des allocations énergétiques
detoxication/survie

variation de la LT 50 selon l'origine des
individus

qualité du milieu d'origine

ref: milieu de référence
a: milieu faiblement contaminé
b: milieu fortement contaminé



Réponse physiologique à une contamination capacité de survie

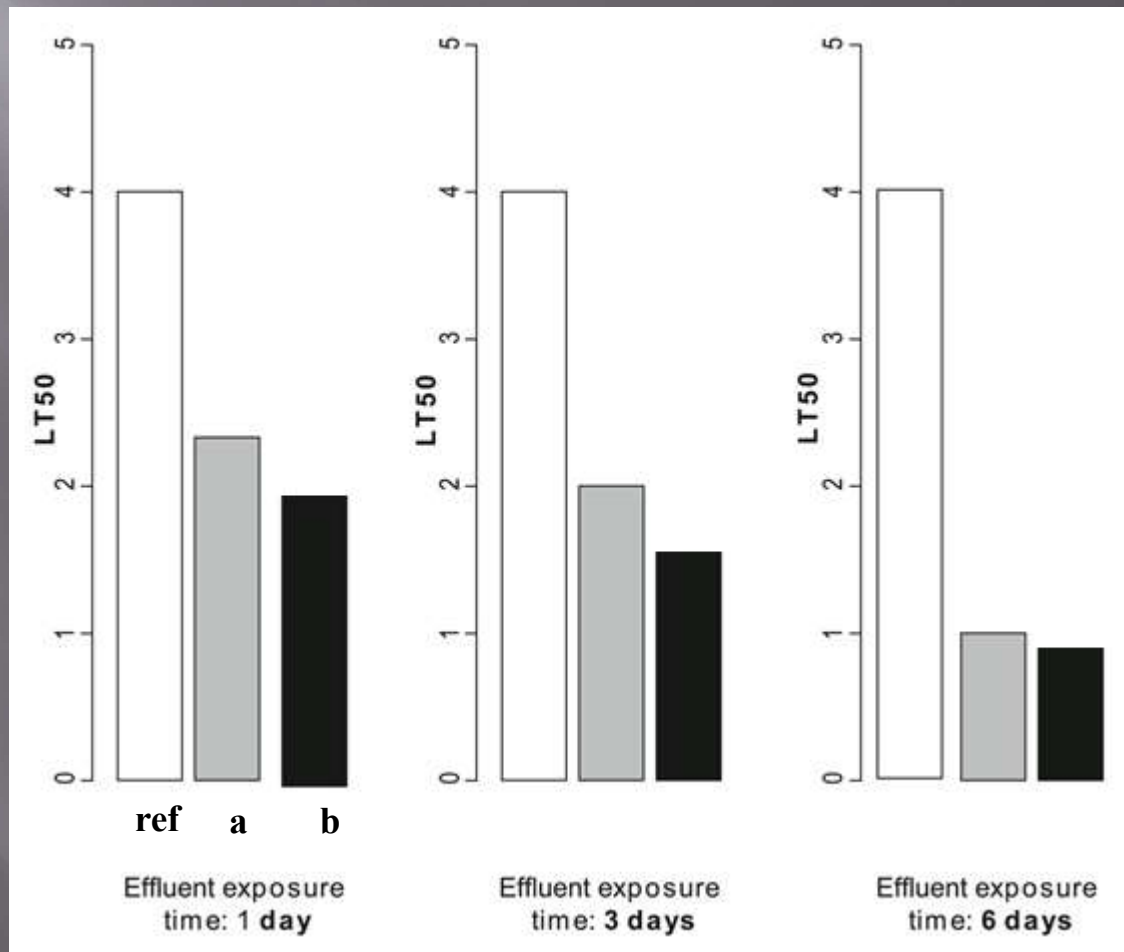
In vivo

Etat physiologique affecté par la contamination réduction de LT50

→ réduction
des capacités
d'adaptation

+ importante aux fortes
concentrations

ref: milieu de référence
a: milieu faiblement contaminé
b: milieu fortement contaminé



Réponse physiologique à une contamination

In vivo

Comportement des métaux différents

→ Ni

Zn

→

indépendant du temps



bonne capacité d'évacuation

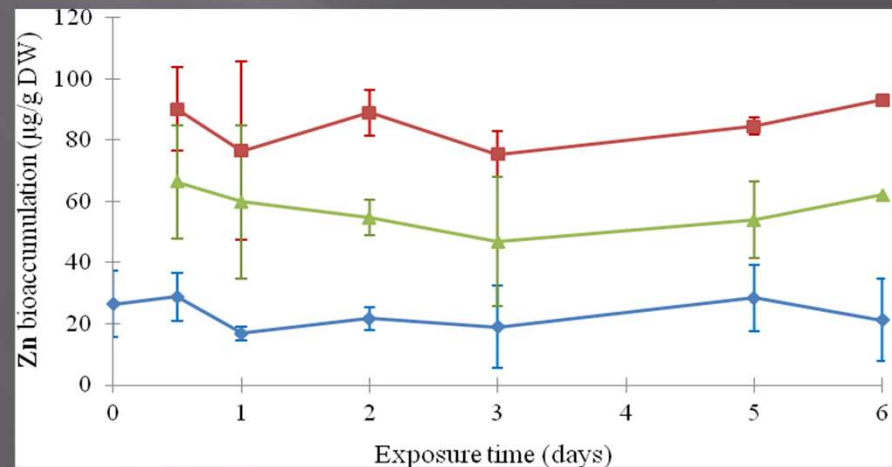
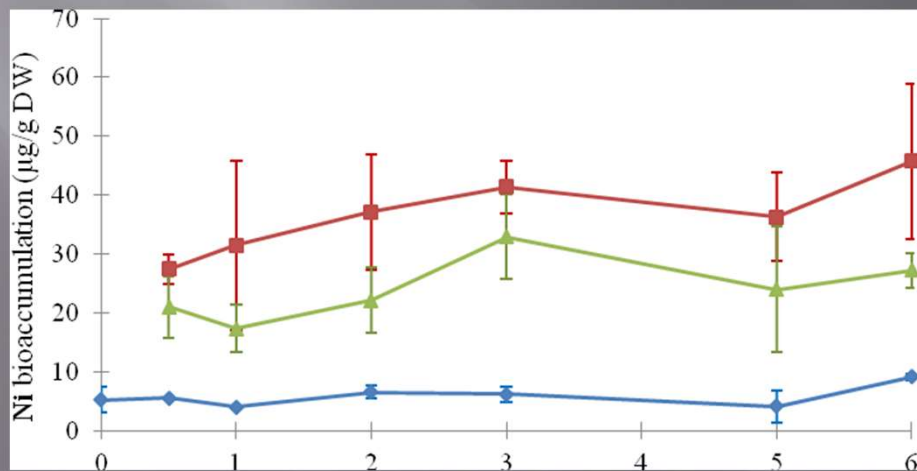


pas d'augmentation du taux

Ref: milieu de référence

a: milieu faiblement contaminé

b: milieu fortement contaminé



Réponse physiologique à une contamination

In vivo

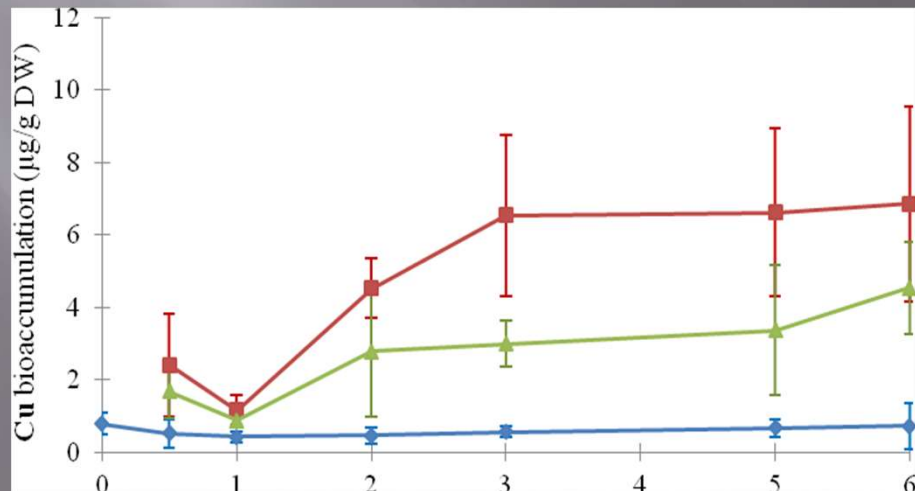
Comportement des métaux différents

→ Cu

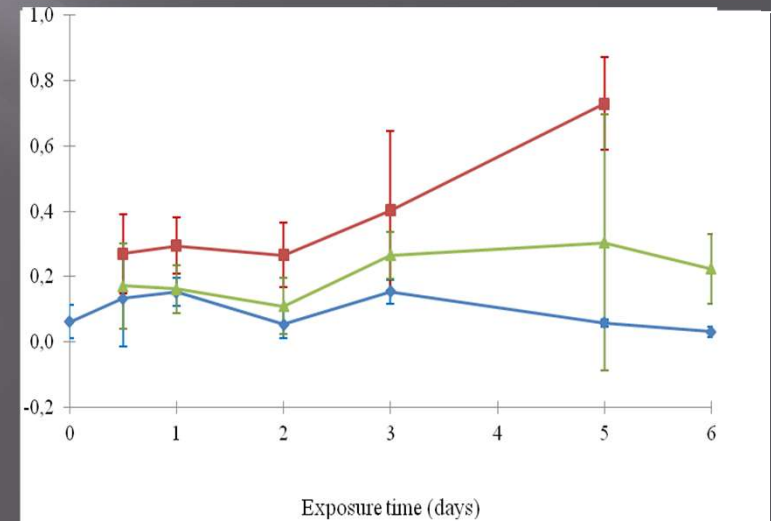
Cd

→ temps dépendant

↻ diminution du taux d'excrétion



Cu



Cd

Réponse physiologique à une contamination

In vivo

Etat physiologique affecté par la contamination

Accumulation des métaux



capacité de régulation affectée

variable selon le niveau de contamination antérieur
le métal considéré

Contamination du milieu d'origine

influence sur l'adaptabilité des individus



Énergie disponible pour répondre
aux contraintes environnementales

Réponse transcriptionnelle à une contamination

In vivo

Expression de gènes

* sur expression : COI



production d'énergie et réparation

COI : activité métabolique plus élevée
augmentation de la production d'ATP
compensation du nombre de mitochondrie actives
augmentation de la consommation d'O₂
 diminue la teneur intracellulaire

Réponse transcriptionnelle à une contamination

Réponse d'un gène du métabolisme énergétique

* expression COI : chaîne respiratoire

↔ métabolisme énergétique

contamination

↪ réduction des capacités aérobies

↪ déséquilibre énergétique

Faible contamination:

surexpression ↔ * stratégie compensatoire

à la réduction du fonctionnement mitochondrial

* Augmentation de la

consommation d'O₂

↪ limite les risques de stress oxydatif

Réponse transcriptionnelle à une contamination

Réponse d'un gène du métabolisme énergétique

* expression COI : chaîne respiratoire

↔ métabolisme énergétique

Forte contamination:

sous-expression

* diminution de l'activité métabolique

↔ Déséquilibre de la balance énergétique



Incapacité des individus à compenser
l'inhibition des fonctions mitochondriales



Augmentation de la mortalité

Réponse transcriptionnelle à une contamination

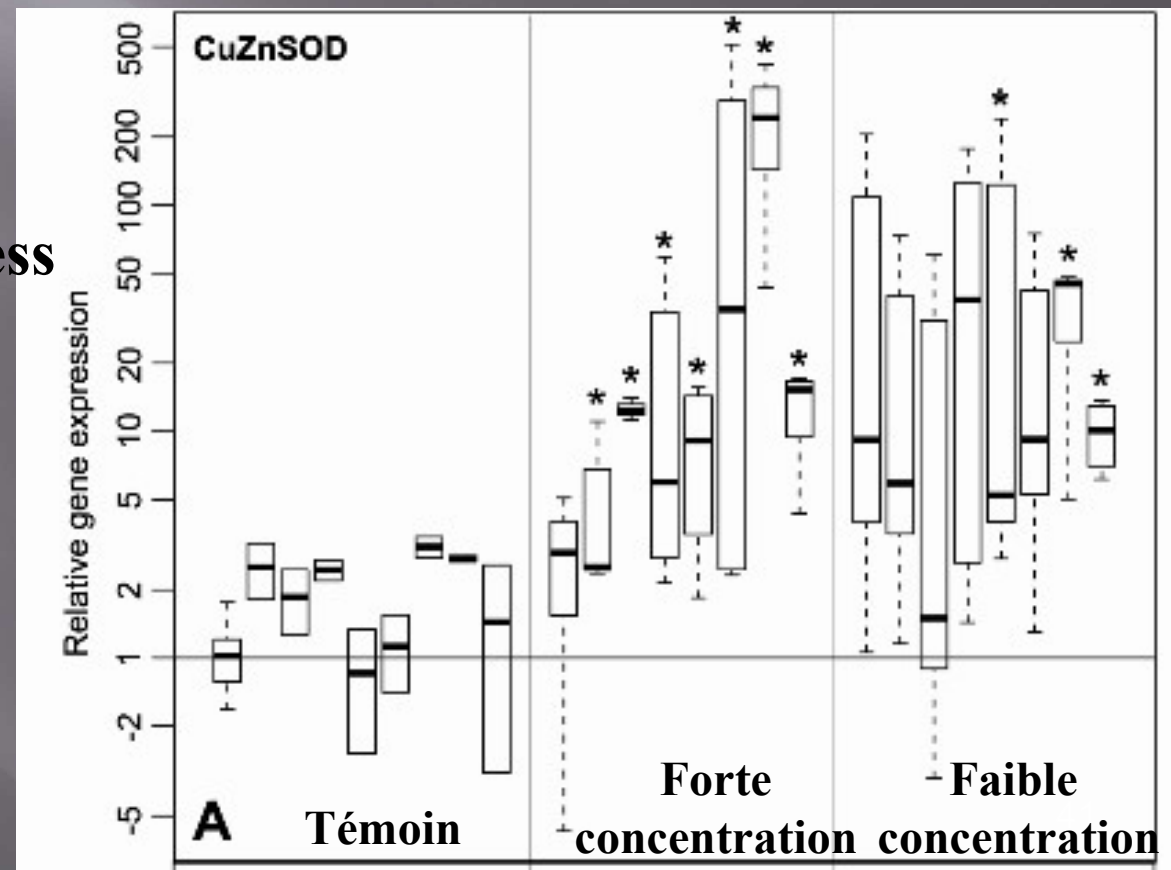
In vitro

Stress général : réponse de l'organisme

→ modification d'expression

forte variation inter-individuelle

Ex Réponse d'un gène
de tolérance au stress
général

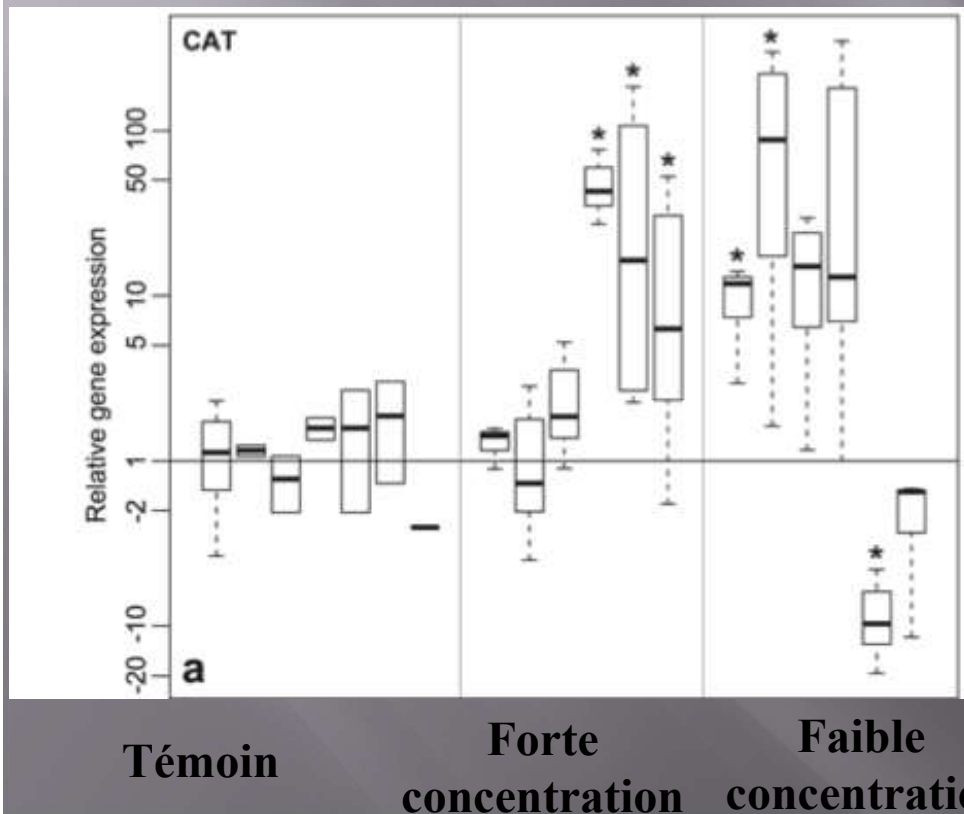


Réponse transcriptionnelle de gènes au stress

In vivo

Expression de gènes

→ induites par les 2 concentrations de contaminant fortes variabilités inter-individuelles surtout à faibles concentrations



adaptations possibles

métabolisme général suffisant à la régulation

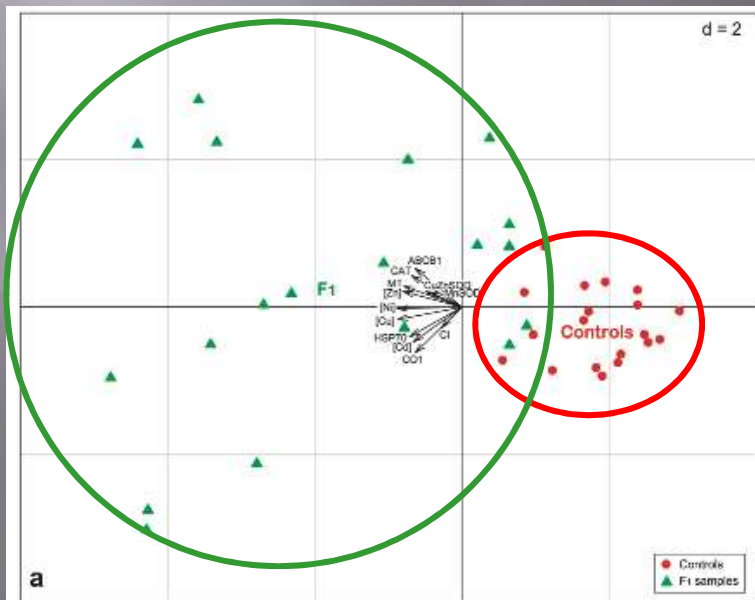
Réponse transcriptionnelle de gènes au stress

In vivo

Expression de gènes

→ induites par les 2 concentrations de contaminant
fortes variabilités inter-individuelles

↪ réponse différente à une même contamination



contrôle : individus groupés

contamination : dispersion

Réponse transcriptionnelle de gènes au stress

In vivo

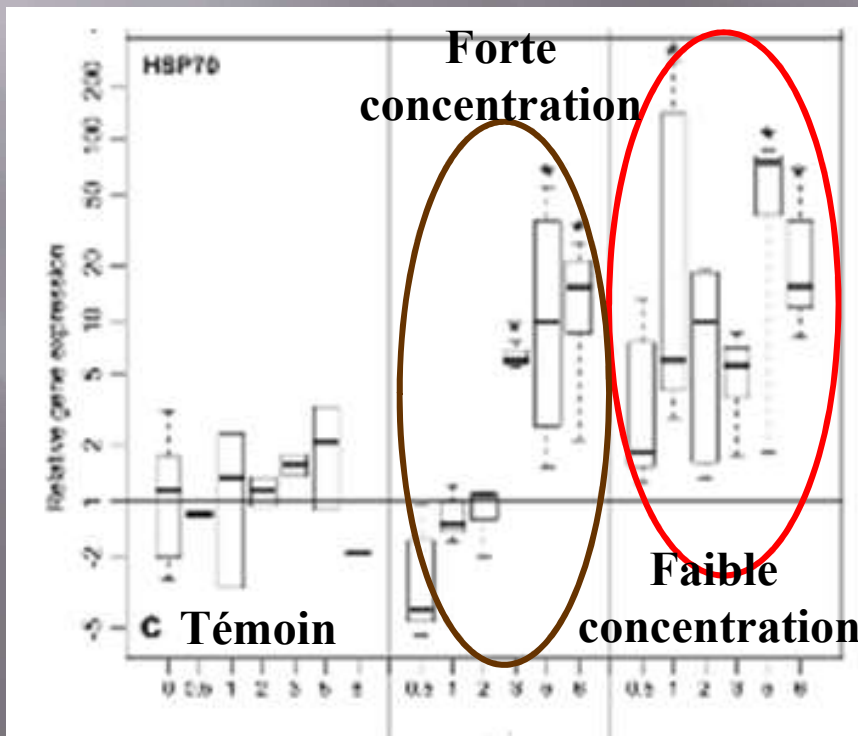
Expression de gènes

→ induites par les 2 concentrations de contaminant

Réponse plus élevée pour la solution moins concentrés

Fortes concentrations

stress élevé



inhibition de la transcription
dégradation des ARNm

perturbation de la défense

Réponse transcriptionnelle de gènes au stress

In vivo

Expression de gènes

→ induites par les contaminants

↪ forte variabilité temps-dépendante

* expression précoce

↪ antioxydant : Superoxyde dismutase : SOD
Catalase : CAT

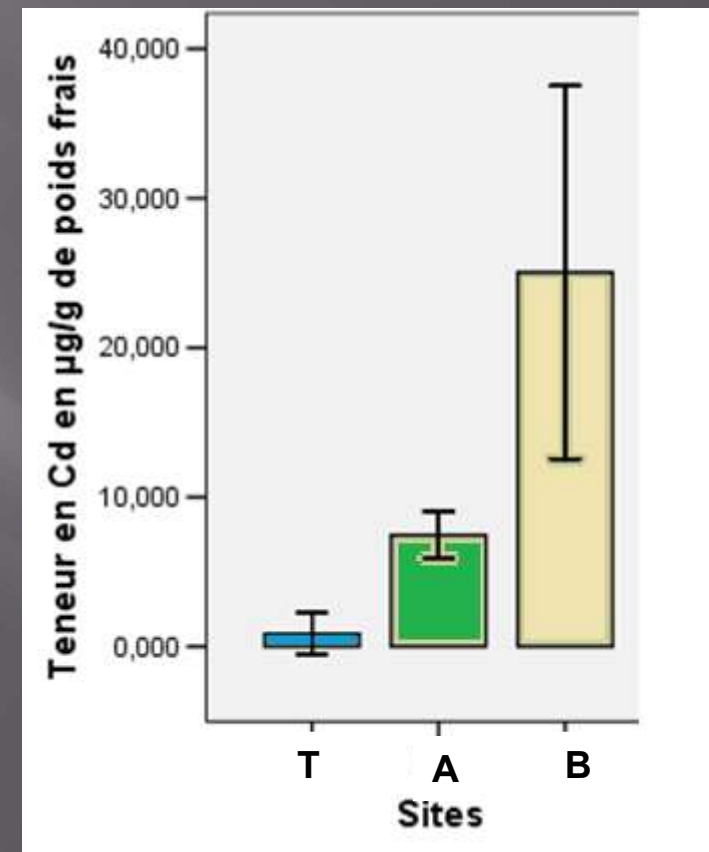
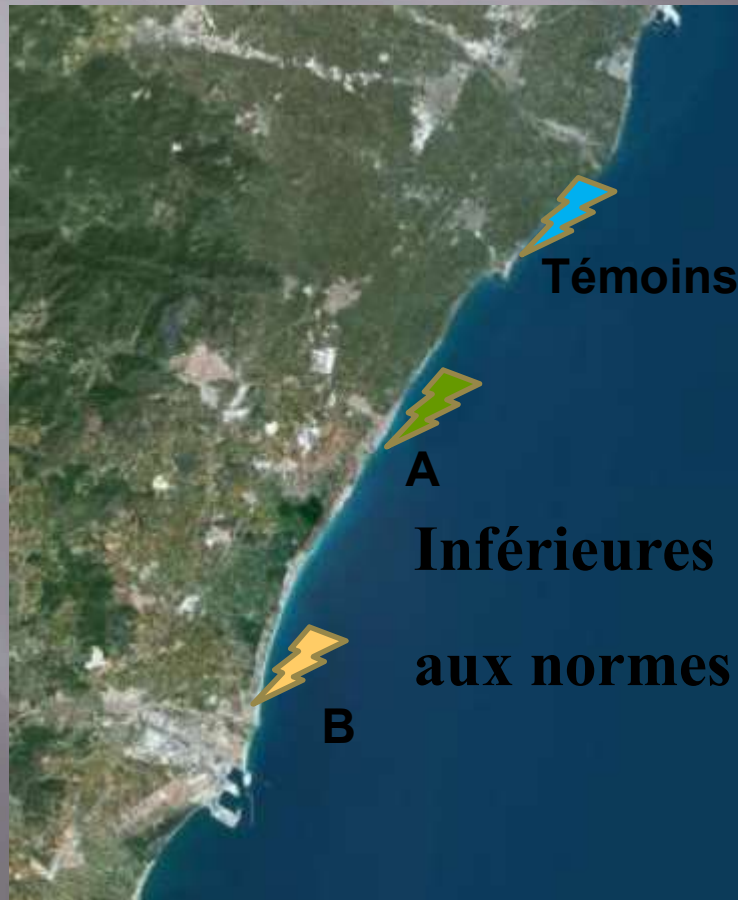
↓
protection contre le stress oxydatif lié à la présence des métaux

Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Choix de 3 populations naturelles

→ niveaux de contamination différents



Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Etat physiologique des individus

→ Test « stress-on stress »



Ajouter un stress pour tester le niveau de stress antérieur

mesure de la capacité de survie

estimation du niveau stress antérieur

pas d'évaluation quantitative

et qualitative du stress



Détermination de la capacité de survie des individus face aux variations environnementales

Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Etat physiologique des individus

➔ Stress-on stress

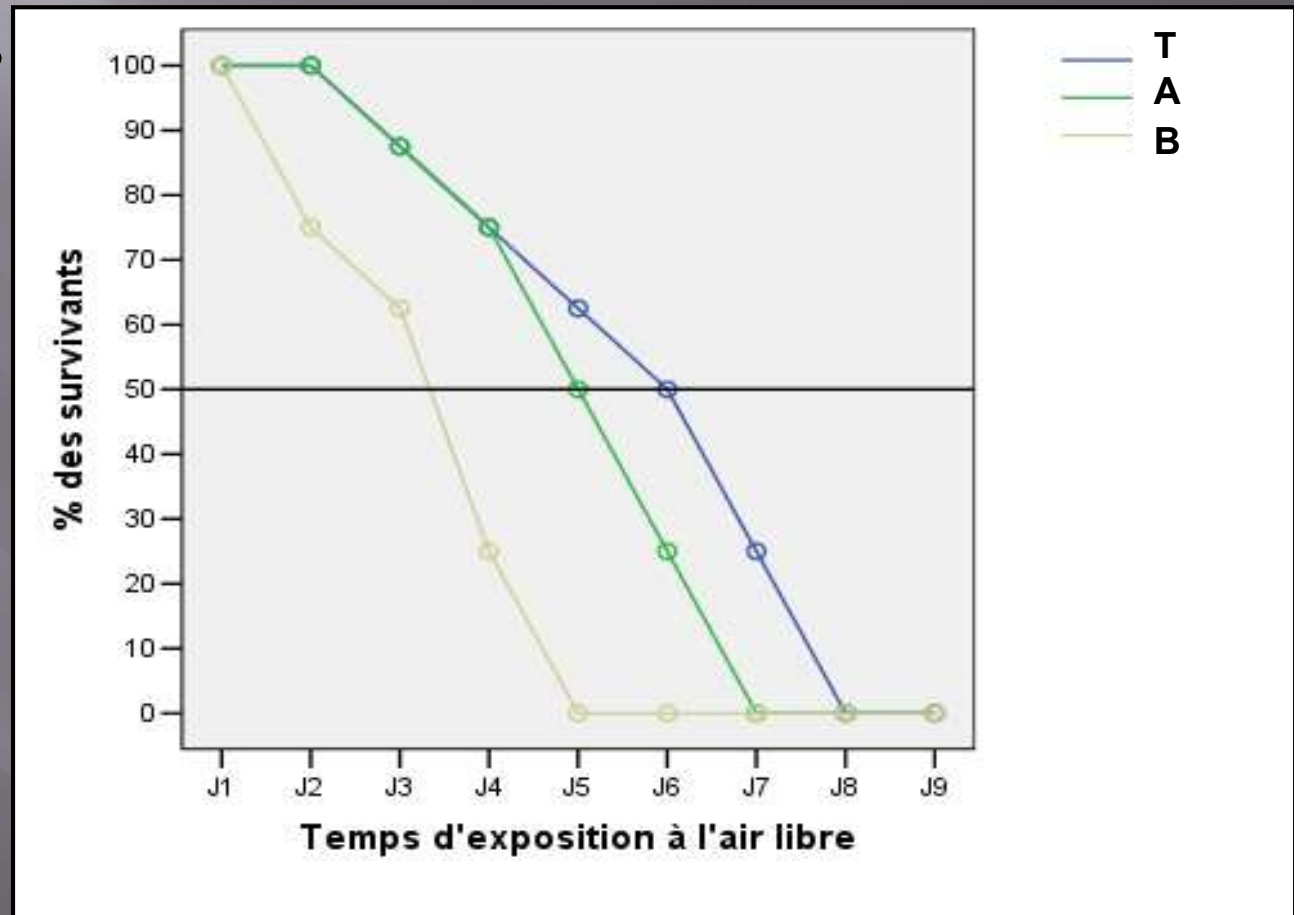
Forte contamination



Faible résistance



Physiologie déficiente



Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Fonction reproductive:

- Sex-ratio de la population
- cycle reproductif



**évaluation de la capacité reproductive de la population
quantitatif**

**mais aussi maintien de la diversité génétique
qualitatif**



maintient de la population à long terme

Réponse populationnelle à une contamination

In situ

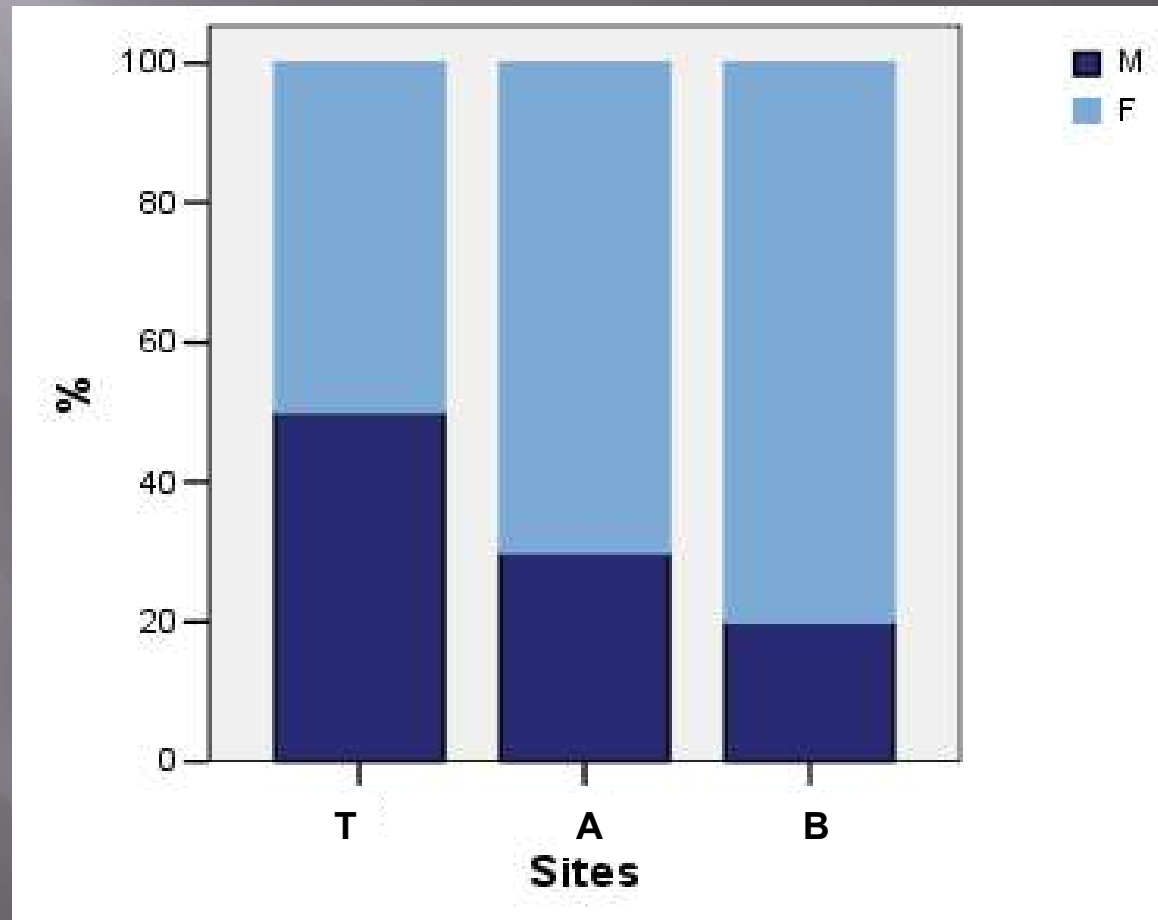
Sex-ratio de la population

Forte contamination



déséquilibre

Influence sur la survie
des mâles ?



Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Gamétogénèse: Indice de maturité

contamination

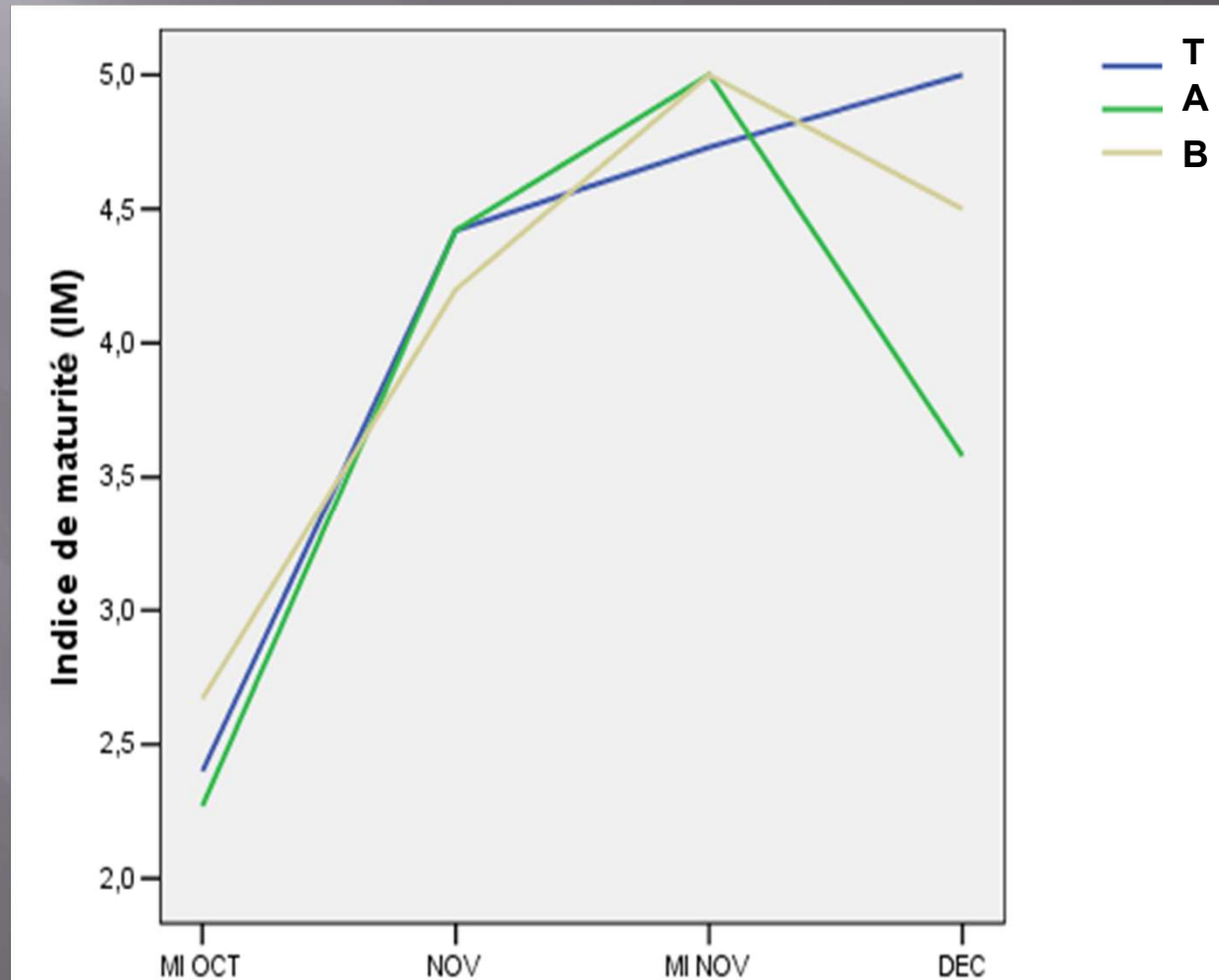
/

Effondrement

en hiver



Diminution de la
fenêtre de ponte

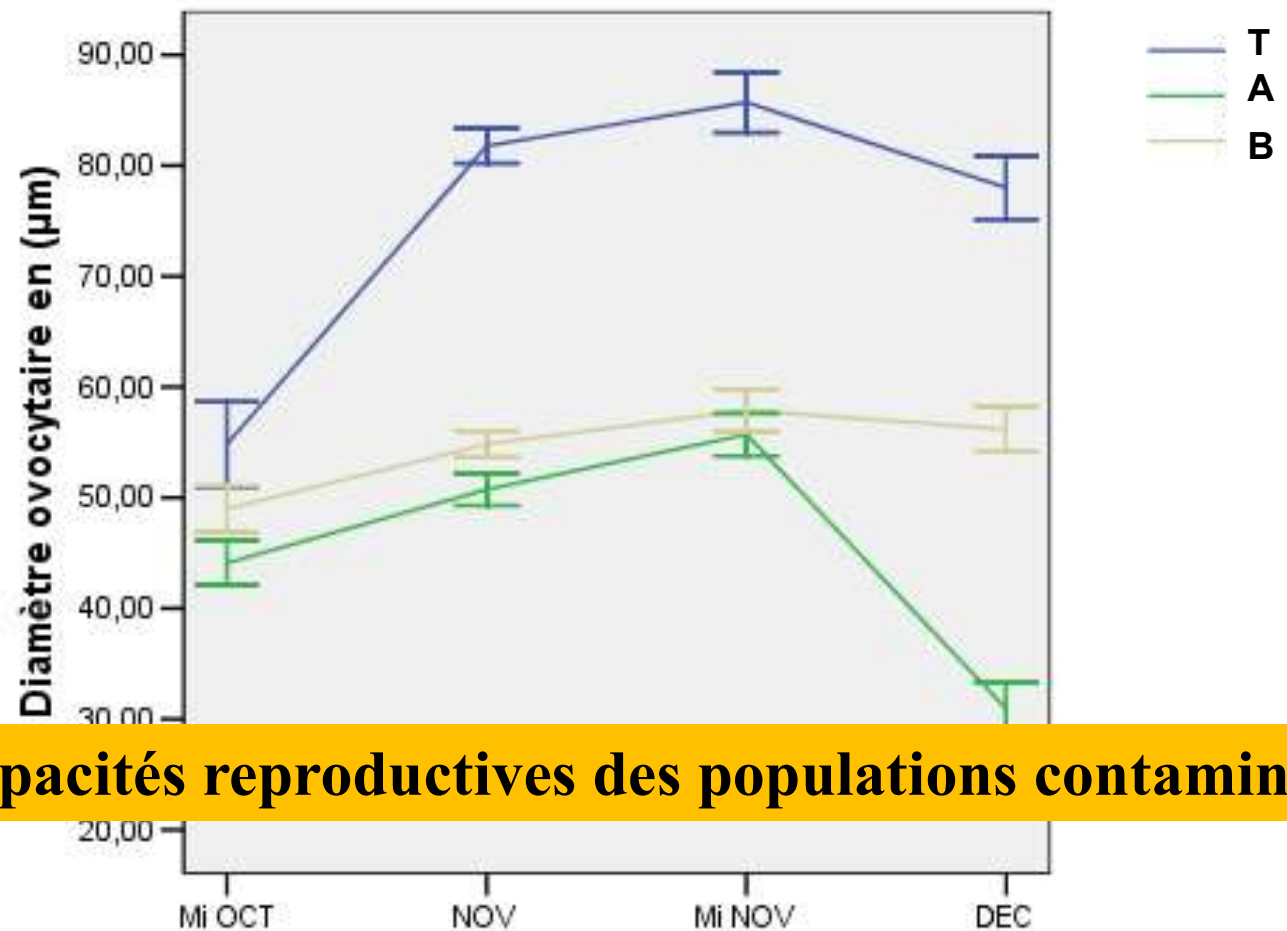


Réponse populationnelle à une contamination

In situ

Gamétogénèse: Diamètre ovocytaire

contamination
/
Diminution
↓
Impact sur la
qualité et de la
viabilité des
ovocytes



Diminution des capacités reproductives des populations contaminées

Réponse populationnelle à une contamination

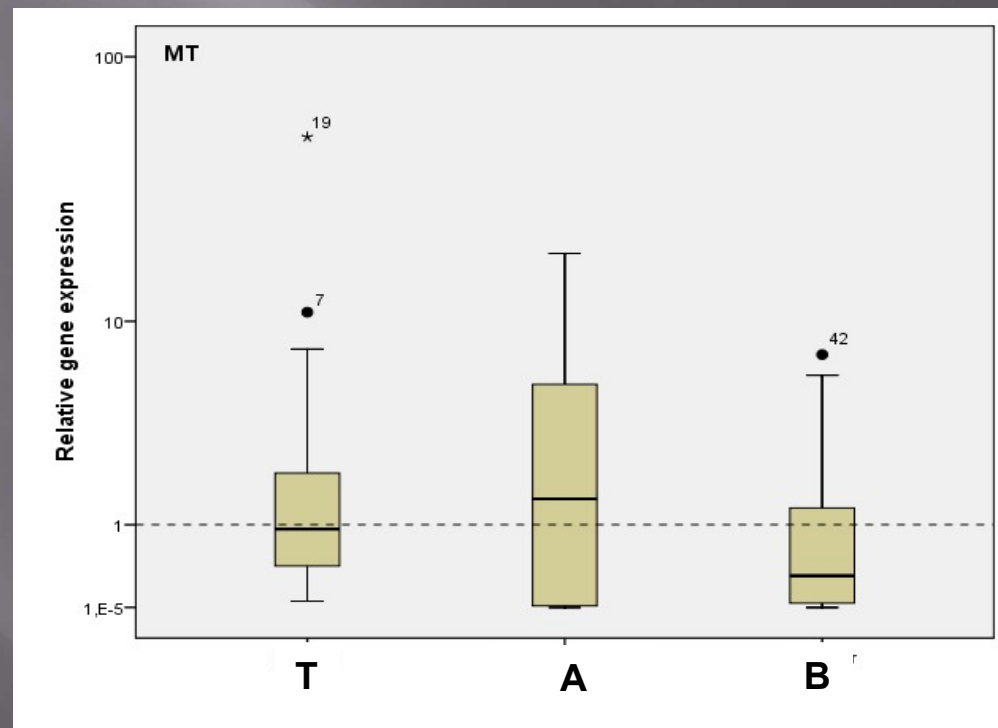
In situ

étude de la réponse transcriptionnelle

Réponses moléculaires : peu de gène de réponse au stress

surexprimés

ex: métallothionéine



Réponse populationnelle à une contamination

In situ

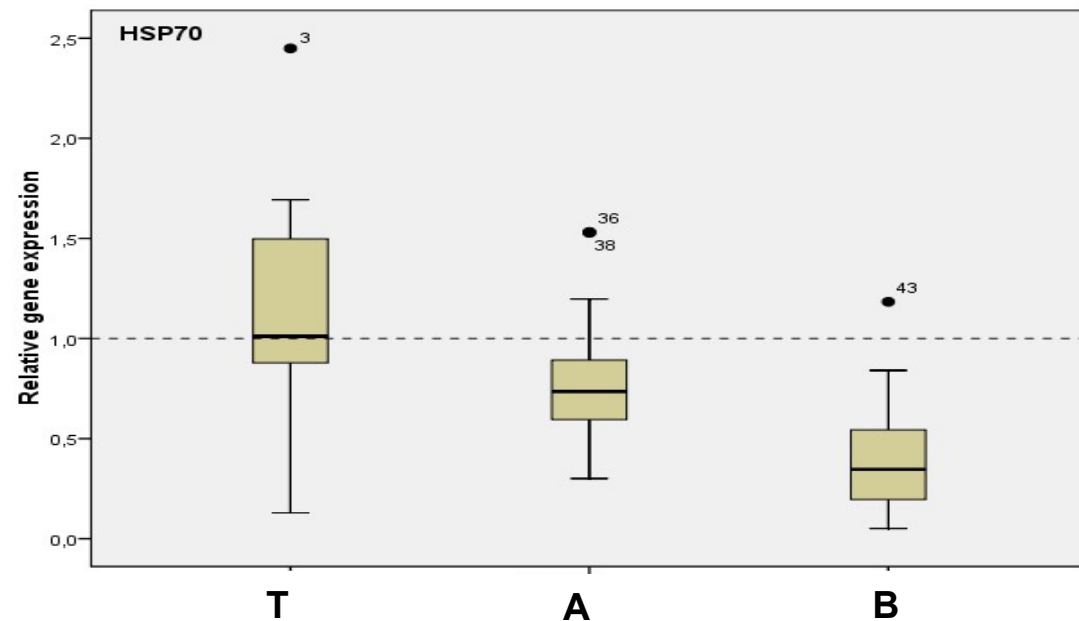
étude de la réponse transcriptionnelle

Réponses moléculaires : peu de gène de réponse au stress

surexprimés

voir sous exprimés

régulation



Réponse populationnelle à une contamination

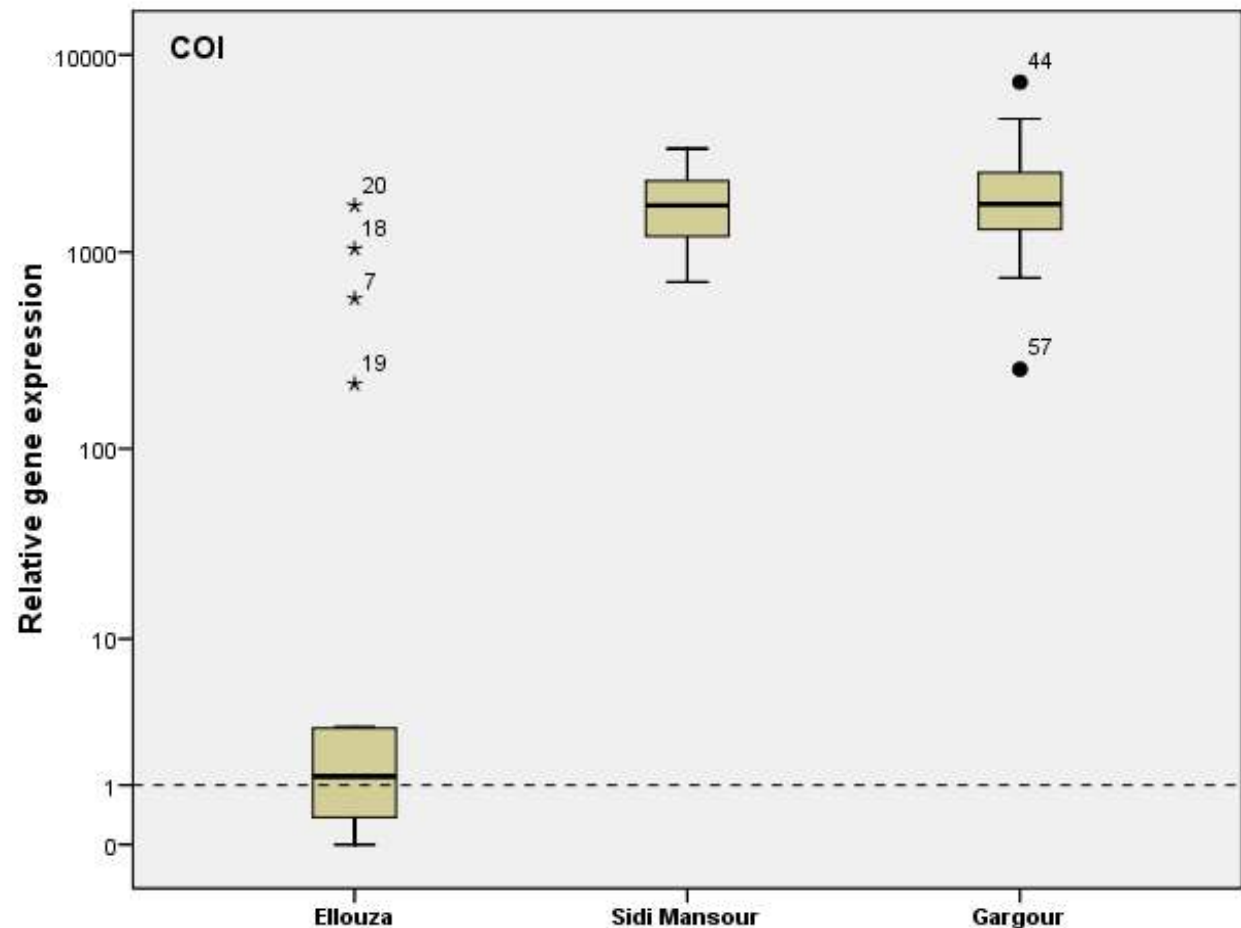
Réponses moléculaires :

MAIS

gène du métabolisme
énergétique



très surexprimé



Réponse populationnelle à une contamination

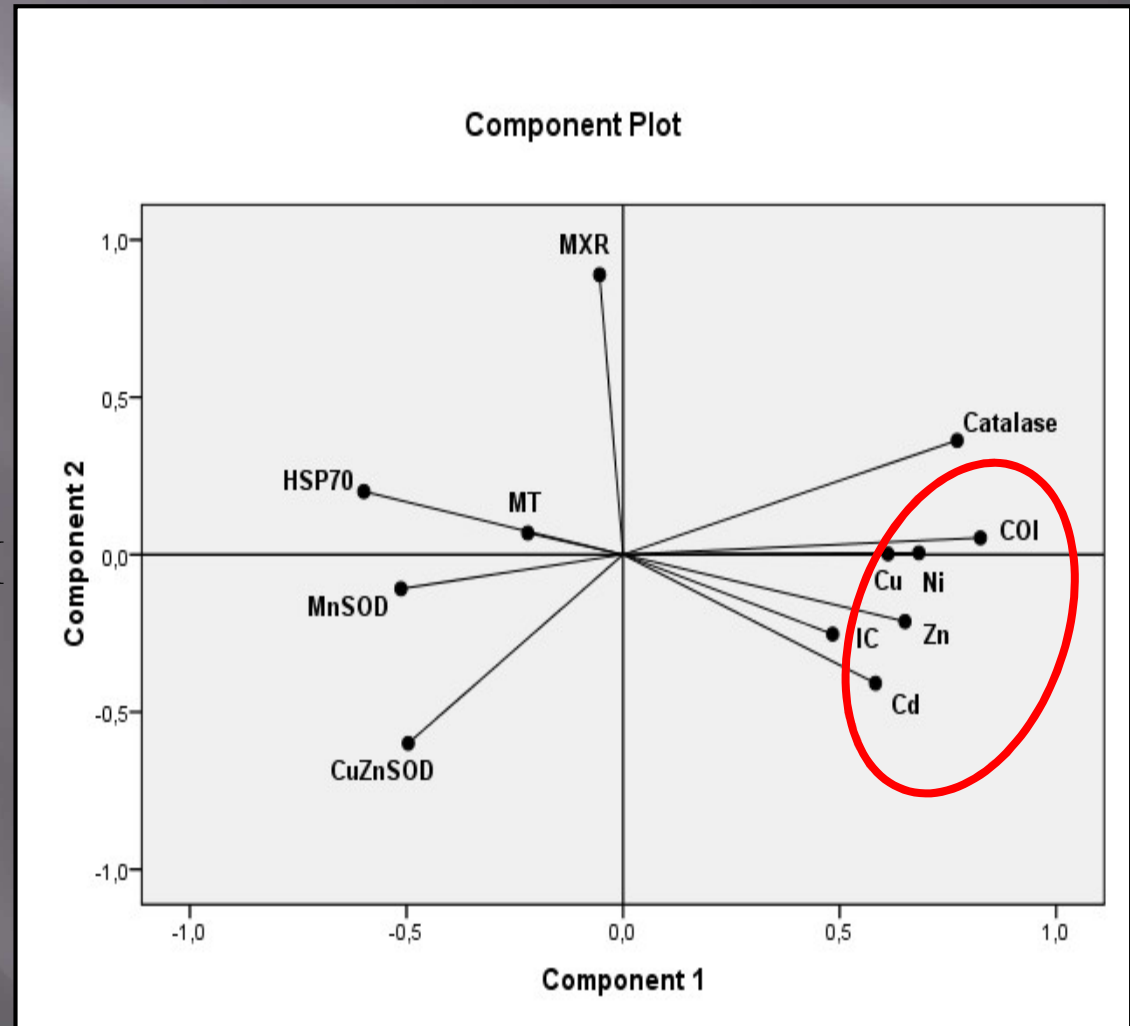
Réponses moléculaires : ACP



Résultats corroborés



Variations des contaminants
variation de l'expression
de COI



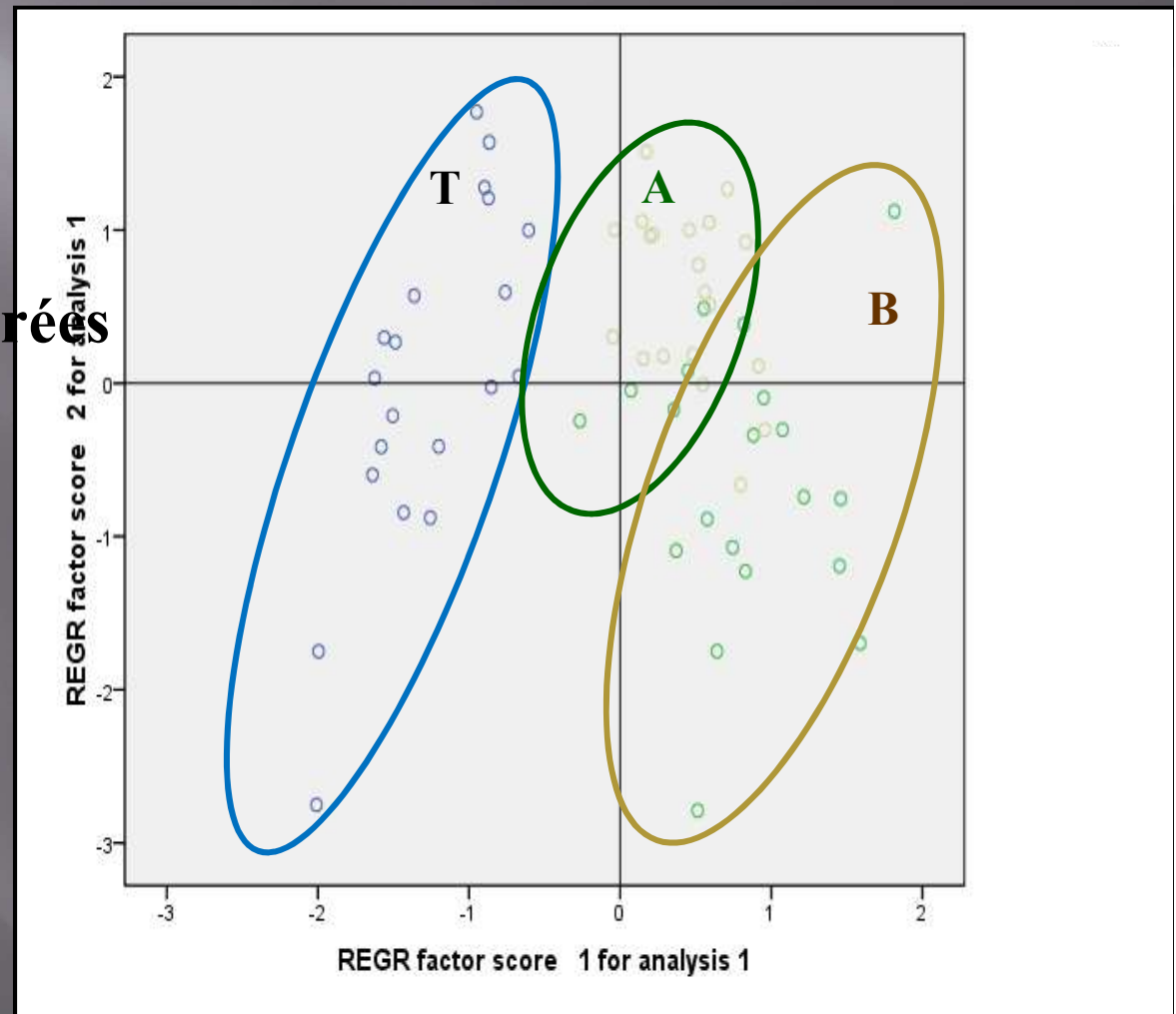
Réponse populationnelle à une contamination

Réponses moléculaires : ACP



Populations

écotoxécologiquement séparées



Conclusion

Impact des contaminants sur les populations

* Adaptabilité des populations

 capacité de tolérer d'autres modifications
environnementales


modification naturelle

 peut devenir létale

* Reproduction

baisse d'efficacité

qualitative
temporelle

qualité des gamètes
ponte

 fitness limité

Conclusion

Relation écotoxicologie – phylogéographie



organisation plurifactorielle

Nécessité de connaître les processus de tolérance

défense

de sélection

d'homogénéisation

→ organismes

→ génomes

→ populations



Approche pluridisciplinaire

MERCI

0399C01 - C01 -
L29 mm x H26 mm

Cerastoderma glaucum
Turkey, Yalova
NMR 33014. Common size 30 mm

