

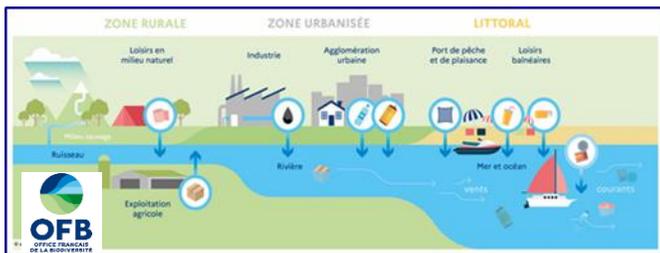
# ECOTOXICITE DES RAYONNEMENTS IONISANTS DANS UN CONTEXTE DE MULTIPOLLUTION : VERS UNE AMELIORATION DE L'EVALUATION DU RISQUE RADIOLOGIQUE

OLIVIER SIMON<sup>1</sup>, FREDERIC ALONZO<sup>1</sup>, BÉATRICE GAGNAIRE<sup>1</sup>, OLIVIER GEFFARD<sup>2</sup>, ARNAUD CHAUMOT<sup>2</sup>, EMILIE RÉALIS-DOYELLE<sup>3</sup>,  
CHRISTELLE LOPES<sup>4</sup>, OLIVIER ARMANT<sup>1</sup>, LOUIS PILLOT<sup>1</sup>, NICOLAS DUBOURG<sup>1</sup>, SANDRINE FRELON<sup>1</sup>

# ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

## CONTEXTE DE MULTI POLLUTION Ecosystèmes (aquatiques) anthropisés

- ✓ Diversité des sources de stress chimiques



## EVALUATION DU RISQUE ÉCOLOGIQUE :

- **PRINCIPE : COMPARAISON DES DÉBITS DE DOSE (MILIEU, ANIMAUX/VÉGÉTAUX) À UNE VALEUR DE REFERENCE**



Relation dose/réponse

Expérimentations contrôlées mono substance



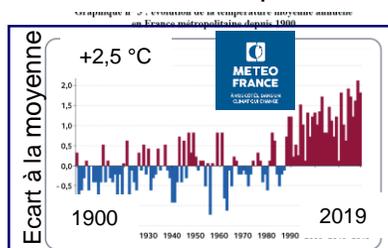
- **MÉTHODOLOGIE : PRINCIPE D'ADDITION DES INDICES DE RISQUES**

INERIS, 2022

Greco et al, 1995

## Exposition chronique à faible niveau

- ✓ Elévation de la température moyenne annuelle



Alfonso et al, 2021

Ricière et al, 2021

France métropolitaine

- ✓ Echauffement thermique des CNPE



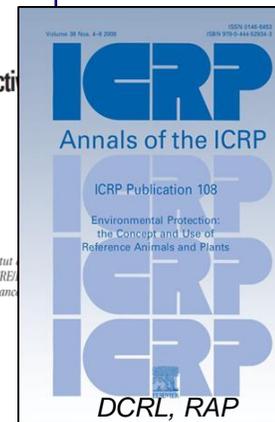
1. LE CONTEXTE DE MULTIPOLLUTION MODIFIE-IL LA RELATION DOSE/RÉPONSE ?
2. QUID DES INTERACTIONS ENTRE STRESSEURS ?

First Derivation of Predicted-No-Effect Values for Freshwater and Terrestrial Ecosystems Exposed to Radioactive Substances

JACQUELINE GARNIER-LAPLACE,\*  
CLAIRE DELLA-VEDOVA,  
RODOLPHE GILBIN,  
DAVID COPPESTONE,<sup>†</sup>  
JOANNE HINGSTON,<sup>†</sup> AND  
PHILIPPE CIFFROY<sup>‡</sup>

Laboratoire de Radiocécologie et d'Écotoxicologie, Institut Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, IRSN/DE/ISCRE/ Cadarache, Bât. 186, BP 3, 13115 Saint-Paul-Les-Durance Cedex, France

ERICA Project,  
FASSET (FRED), 6  
PCRD Euratom



Environ. Sci. Technol. 2006, 40, 6498–6505

DCRL RAP Truite : 40-400 µGy/h

# DEMARCHE ASNR

MULTI STRESSEUR : RI (Y), T°C, substance chimique

APPROCHES EN MILIEU CONTRÔLÉ



## 1. ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE

(mortalité, développement, croissance, comportement, reproduction)

- MODELISATION DES RELATIONS
- IDENTIFICATION DES INTERACTIONS

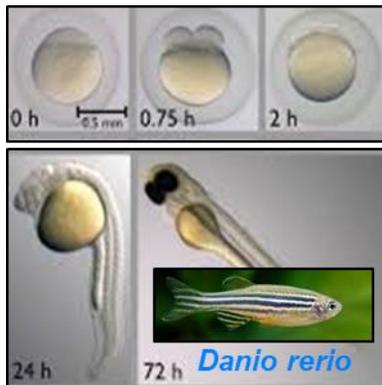
## 2. REPRÉSENTATIVITÉ ECOLOGIQUE

- MÉLANGE RÉALISTE
- ADAPTATION DES POPULATIONS LOCALES

### ESPECE MODÈLE DE LABORATOIRE

Simon et al, 2011, Pereira et al, 2011, Gagnaire et al, 2015, Murat et al, 2019, Guirandy et al 2019, 2022

LECO ->2011 :  
1 STRESSEUR  
RI



MASTER II 2024-25 :  
2 STRESSEURS RI+T°C

THESE 2025-2028 :  
3 STRESSEURS RI+T°C+  
SUBSTANCE CHIMIQUE

### ESPECE SAUVAGE

POISSON  
salmonidé, cyprinidé



PROJET ESPES 2020-2022:  
1 STRESSEUR RI  
Simon et al, 2024

MASTER II 2023-24 :  
2 STRESSEURS RI+T°C

PROJET 2026-2028 :  
3 STRESSEURS RI+T°C+  
SUBSTANCE CHIMIQUE

MICRO CRUSTACÉ : GAMMARE



PROJET GAMMARRI EC2CO :  
1 STRESSEUR RI  
Frelon et al, 2024

## 3. MECANISMES D' ACTIONS TOXIQUES :

- Comparaison des effets entre stressseurs
- Alimenter les AOP/ERE

# MATÉRIEL ET MÉTHODES

## ESPECE MODÈLE DE LABORATOIRE (élevage interne)

*Danio rerio* (poisson zèbre,  
Cyprinidé, South and  
Southeast Asia, 4 cm)



## ESPECE SAUVAGE (reproduction in vitro)

*Salvelinus alpinus*  
(Omble chevalier, Salmonidé,  
75 cm)



*Onchorynchus mykiss*  
(Truite Arc en Ciel, Salmonidé  
60 cm)



*Gasterosteus aculeatus* (Epinoche,  
Gasterosteiformes,, 18 cm)



*Gammarus fossarum*  
(4.5-10mm)



## STADE PRÉCOCE DE DÉVELOPPEMENT RADIOSENSIBLE



Oeufs de Danio, 3 mm



Plaque 25 puits. 1 oeuf/puits, 2.5 ml

Irradiation  $\gamma$  : plateforme MICADO'LAB (ASNR)  
5  $\mu$ Gy/h-100 mGy/h



Pyle et , 2015

Enceintes climatiques : controle T°C,  
photopétiode, humidité



7 et 14j

Accouplements croisés

T°C = 5°C; 8,5°C  
0,01; 0,5; mGy/h  
Réalís et al, 2025

0,005; 0,05; 0,5; 5; 50  
mGy/h

ADULTE

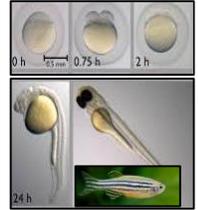
DCRL RAP Truite :  
0,04-0,4 mGy/h

T°C = 28°C, 32, 34°C  
0,5; 1; 2; 5; 10 mGy/h

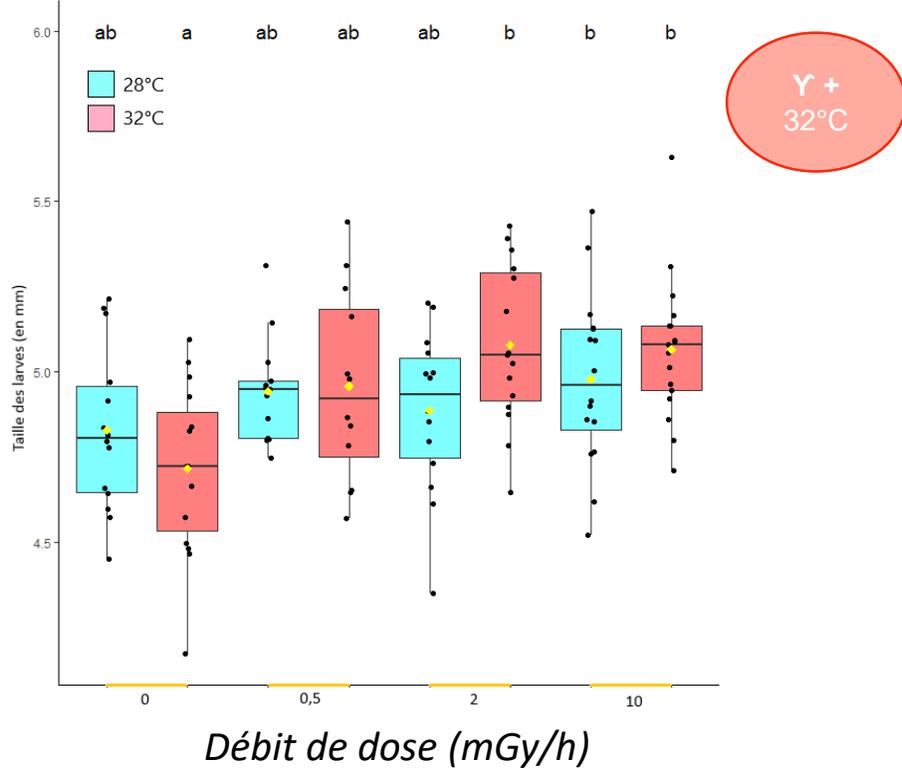
# RÉSULTATS

## 1. ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE (mortalité, développement, croissance, comportement)

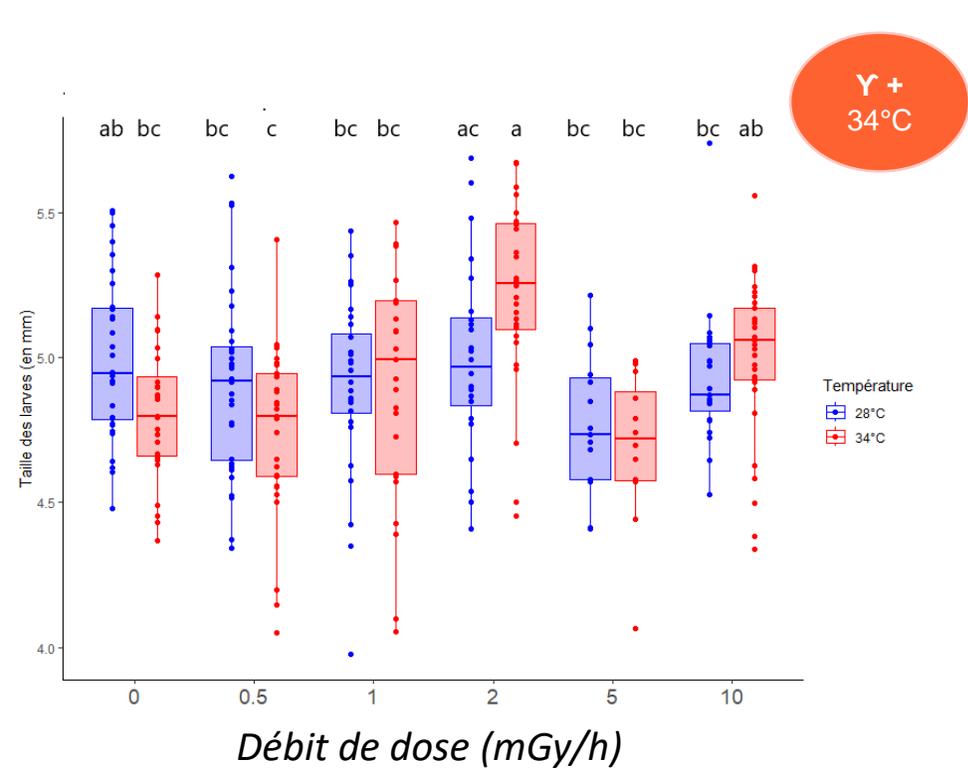
Poisson modèle  
*Danio rerio*



Taille (mm) des larves 96 hpf,  $p < 0.01$



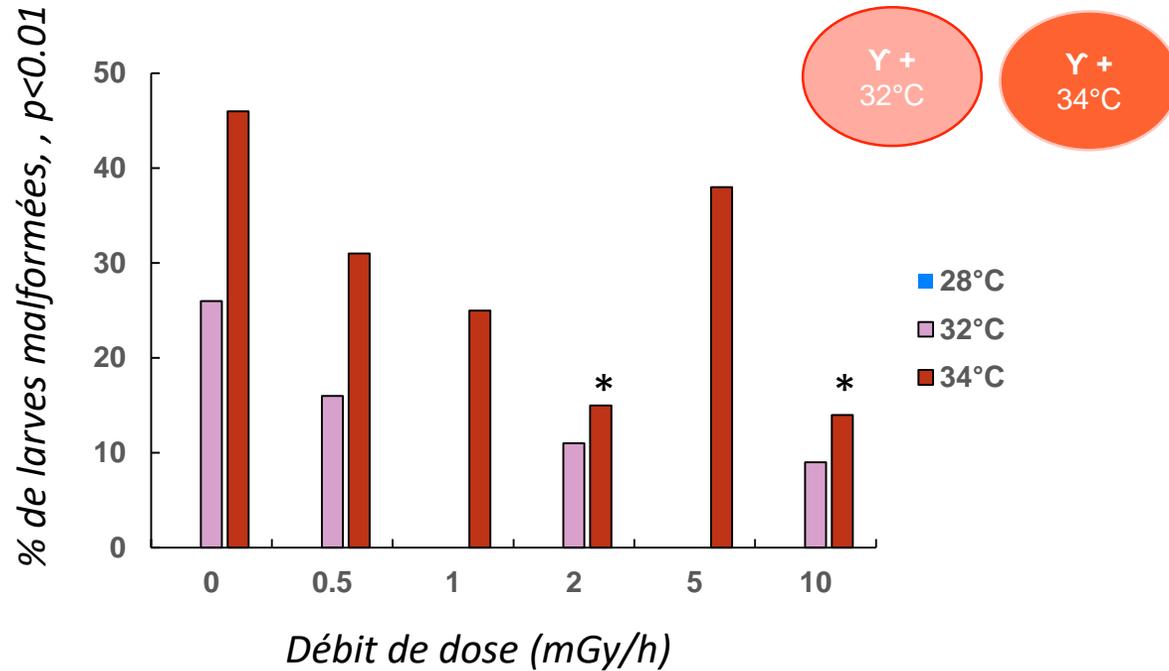
Taille (mm) des larves 96 hpf, ,  $p < 0.01$



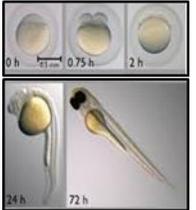
Absence d'effet de la T°C sur les effets de l'irradiation (croissance)

# RÉSULTATS

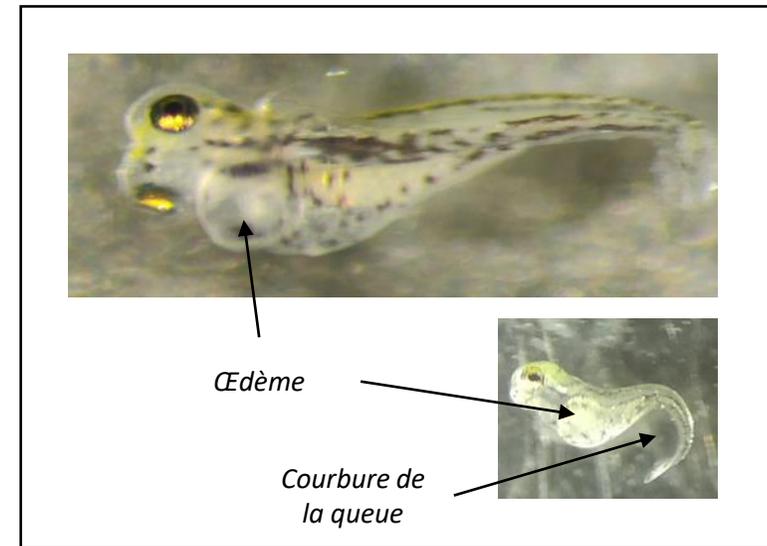
## 1. ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE (mortalité, développement, croissance, comportement)



Poisson modèle  
*Danio rerio*



Exemple de malformations

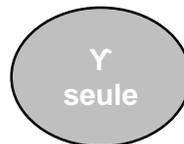


Aucune malformation après irradiation seule  
Modulation du pourcentage de malformation larvaire après exposition combinée

# RÉSULTATS

## 2. REPRÉSENTATIVITÉ ECOLOGIQUE

- ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE  
(mortalité, développement, croissance, comportement, reproduction)



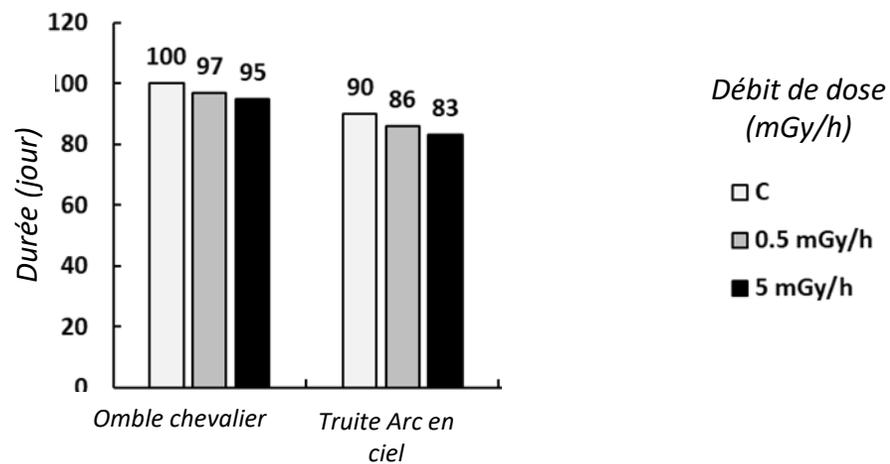
## ESPECE SAUVAGE

POISSON  
salmonidé



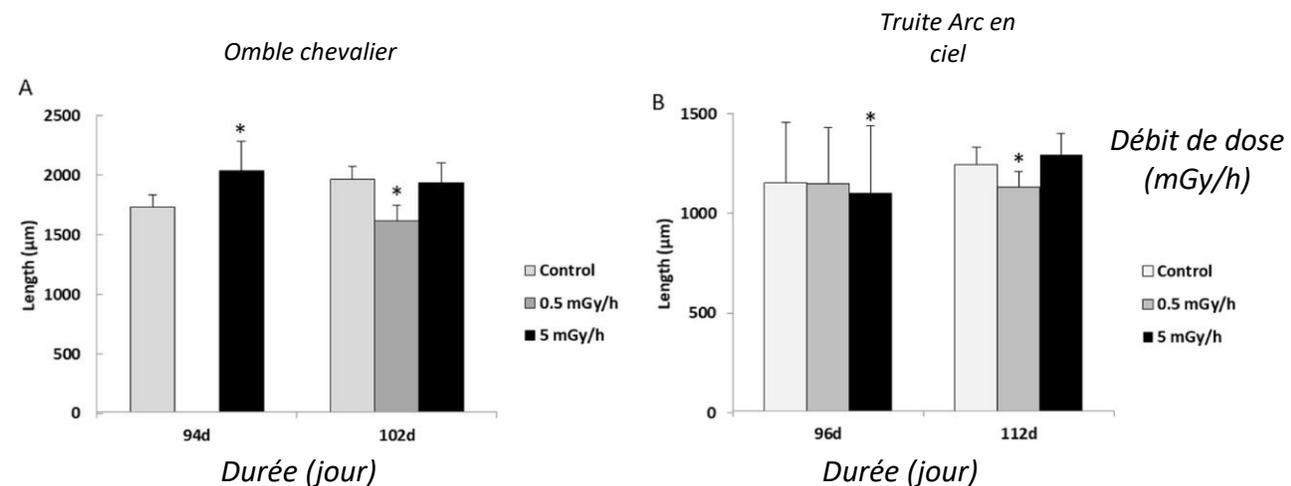
### Eclosion :

HT 50 : durée (jour) nécessaire pour atteindre 50%  
d'éclosion



➡ Effet sur la vitesse d'éclosion  
Absence d'effet sur la mortalité

### Taille (mm) des larves, n=10



➡ Effet sur la croissance contrasté (effectif ?)

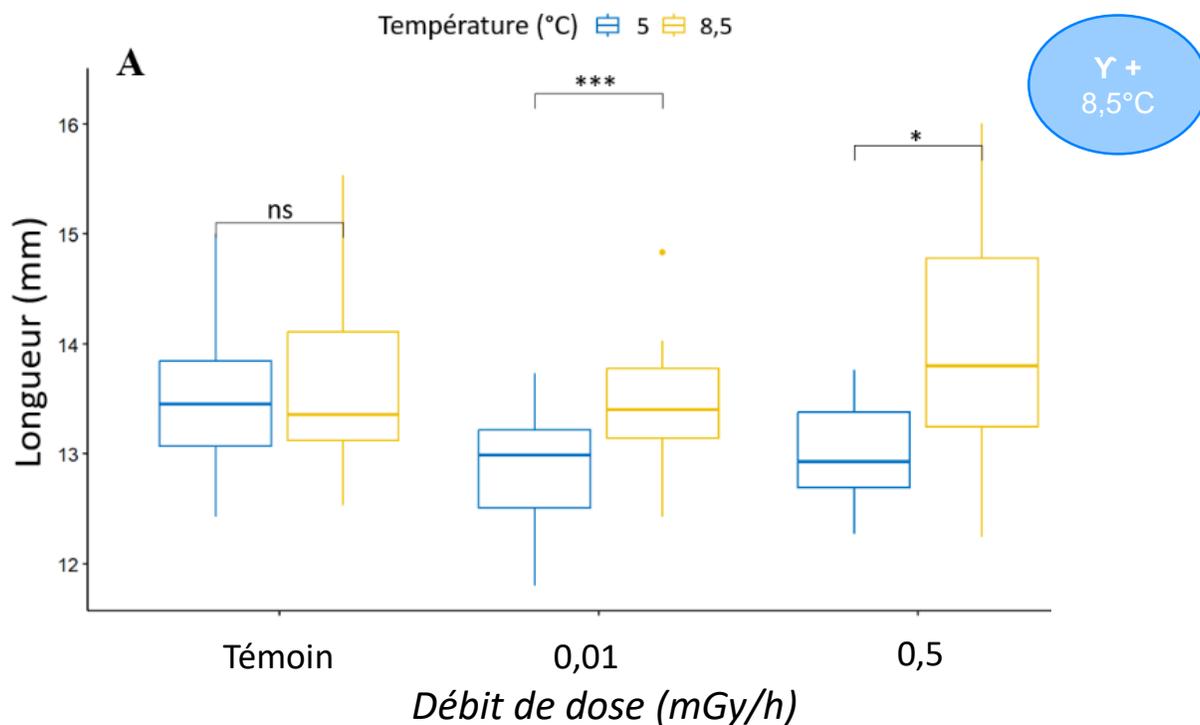
Simon *et al.* (2024)

# RÉSULTATS

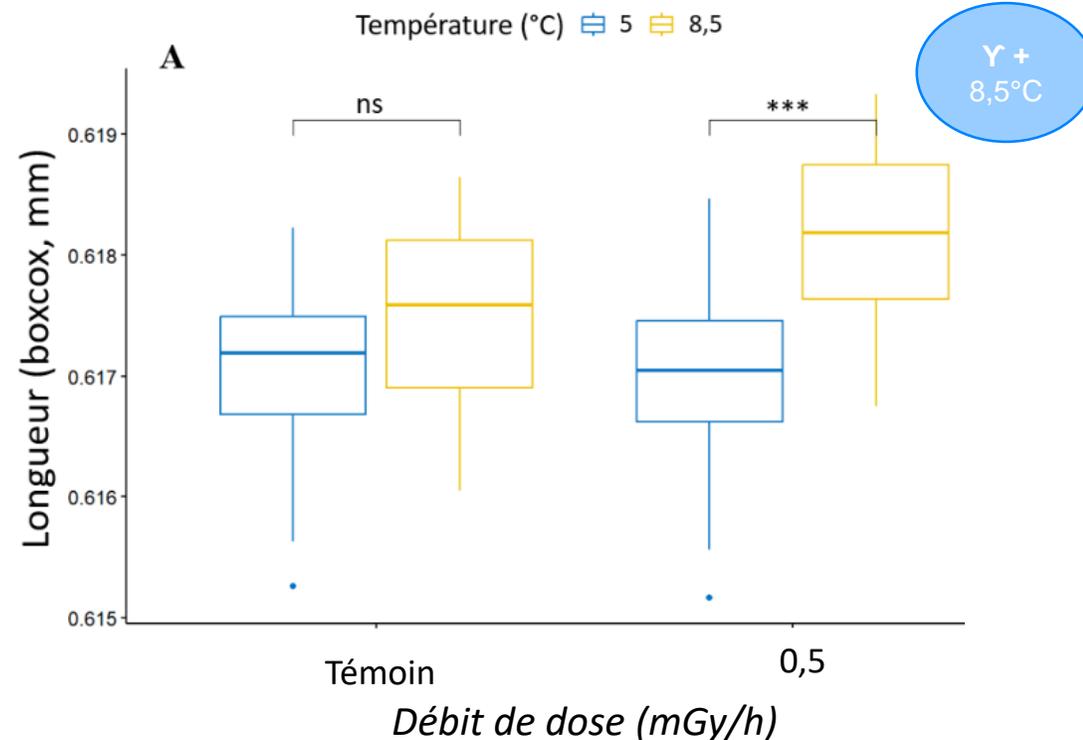
## 2. REPRÉSENTATIVITÉ ECOLOGIQUE

- ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE  
(mortalité, développement, croissance, comportement, reproduction)

Taille (mm) des larves 14-18 j  
*Truite fario*, n=10-18



Taille (mm) des larves 14j  
*Ombles chevalier*, n=11-44



## ESPECE SAUVAGE

POISSON  
salmonidé



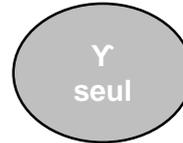
Effet de la T°C sur les effets de l'irradiation (croissance)  
Absence d'effet sur la mortalité et sur l'éclosion

# RÉSULTATS

PROJET GAMMARRI EC2CO :  
1 STRESSEUR RI

## 2. REPRÉSENTATIVITÉ ECOLOGIQUE

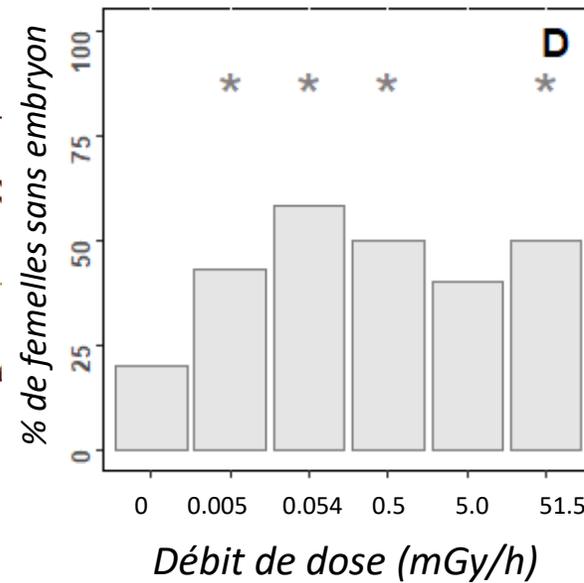
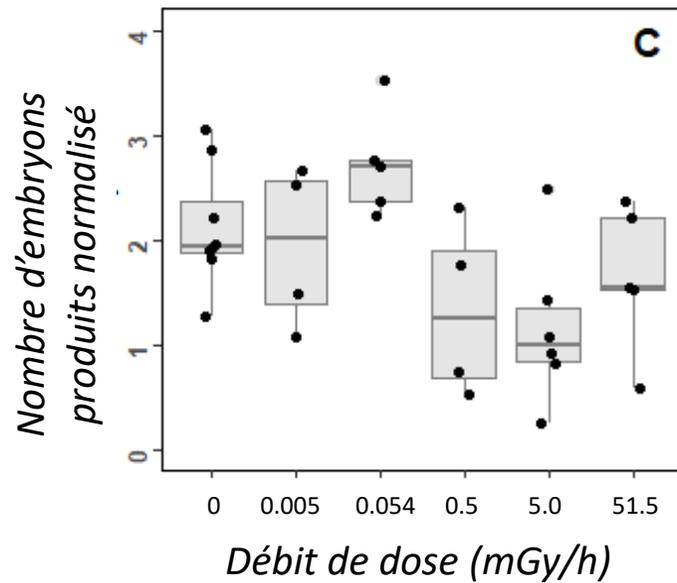
- ACQUISITION DE RELATIONS DOSE/RÉPONSE  
(mortalité, développement, croissance, comportement, reproduction)



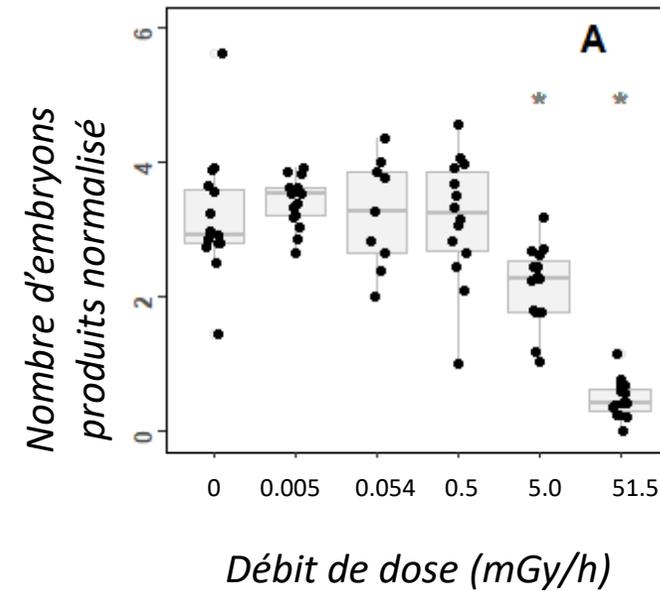
**INRAE** ESPECE SAUVAGE  
MICRO CRUSTACÉ : GAMMARE



Femelles irradiées<sup>1</sup> + Males contrôles



Mâles irradiés<sup>2</sup> + femelles contrôles



Effet de l'irradiation seule sur la reproduction après irradiation des males

<sup>1</sup>Fuller et al. 2018 <sup>2</sup>Fuller et al 2019

Frelon et al. (2024)

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## ▪ RÉSULTATS CONTRASTÉS

**Danio :** Effet marqué de la T°C seule

Absence d'effets de l'exposition combinée de l'irradiation et de la T°C (mortalité, éclosion, taille)

Reproduire les expérimentations à différentes T°C (moins stressantes) et débits de dose plus faibles

Tester des effets sur le stade embryo-larvaire après irradiation parentale (Guirandy et al, 2019)

Focus sur les effets sur le comportement précédemment observés (Murat El Houdigui et al, 2019)

**Espèces sauvages : Poisson :**

Croissance impactée par les effets combinés de la T° et de l'irradiation gamma

Absence d'effet de l'exposition combinée sur l'éclosion (fenêtre de sensibilité)

**Gammare :**

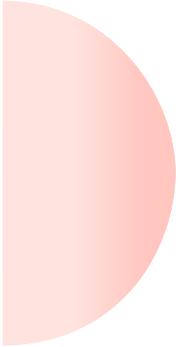
Réalisation des expérimentations après exposition combinée

## • AJOUT D'UN STRESSEUR CHIMIQUE

Prise en compte de la toxico-cinétique et toxico-dynamique sur les réponses après multi exposition

## • RECHERCHE D'EFFETS (stress oxydant, génotoxicité,...) À L'ÉCHELLE MOLÉCULAIRE

Identification de la cascade d'événements moléculaires (mécanismes d'actions toxiques similaires ou différents) pour permettre le choix des modèles d'addition des effets combinés.



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

---