

# Impact des eaux de ruissellement sur des communautés emblématiques des lacs alpins : Que sait-on ? Peut-on agir ?

Emilie Réalis-Doyelle



Emmanuel Naffrechoux



Jean Guillard



Nathalie Cottin



Stéphane Reynaud



Mathieu Pin



Alexis Golven M1



Fanny-Laure Thomassin



Zoé Arrigoni-Cravatte

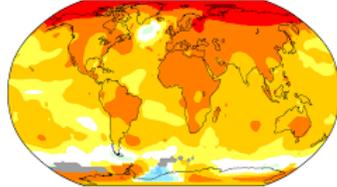


Elsa Trabichet





Changement de température lors des 50 dernières années



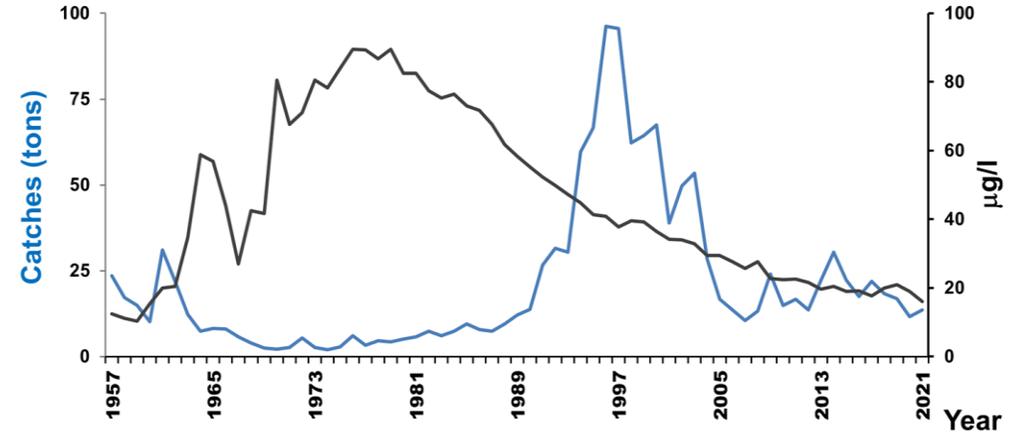
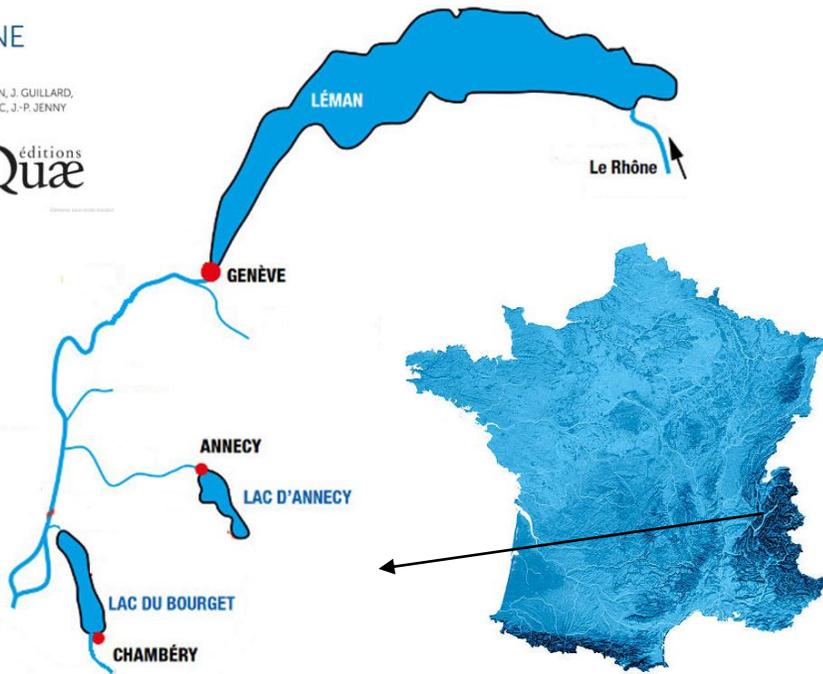
moyenne 2011-2020 vs référence 1951-1980



LES GRANDS LACS  
À L'ÉPREUVE  
DE L'ANTHROPOCÈNE

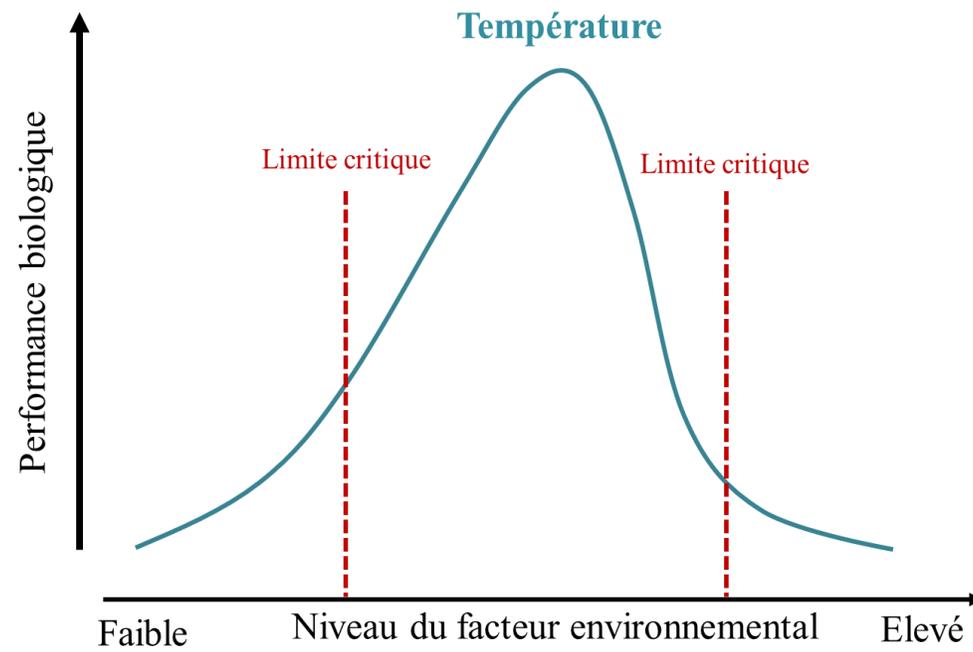
J.-M. DORIOZ, O. ANNEVILLE, I. DOMAZON, C. GOULON, J. GUILLARD,  
S. JACQUET, B. MONTUELLE, S. RASCONI, V. TRAN-KHAC, J.-P. JENNY

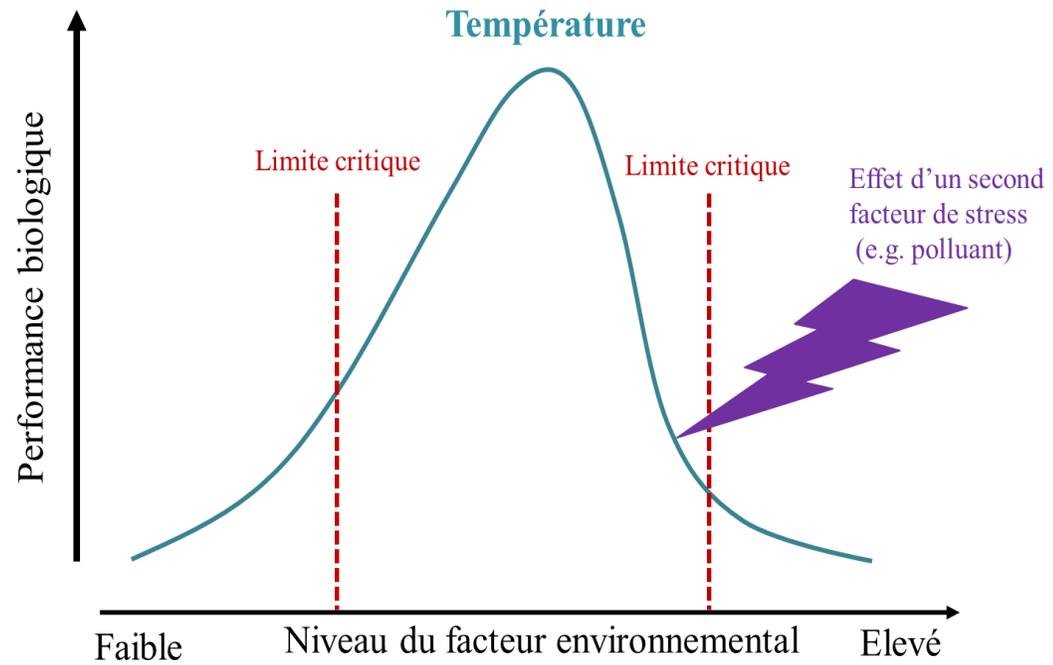
éditions  
Quæ

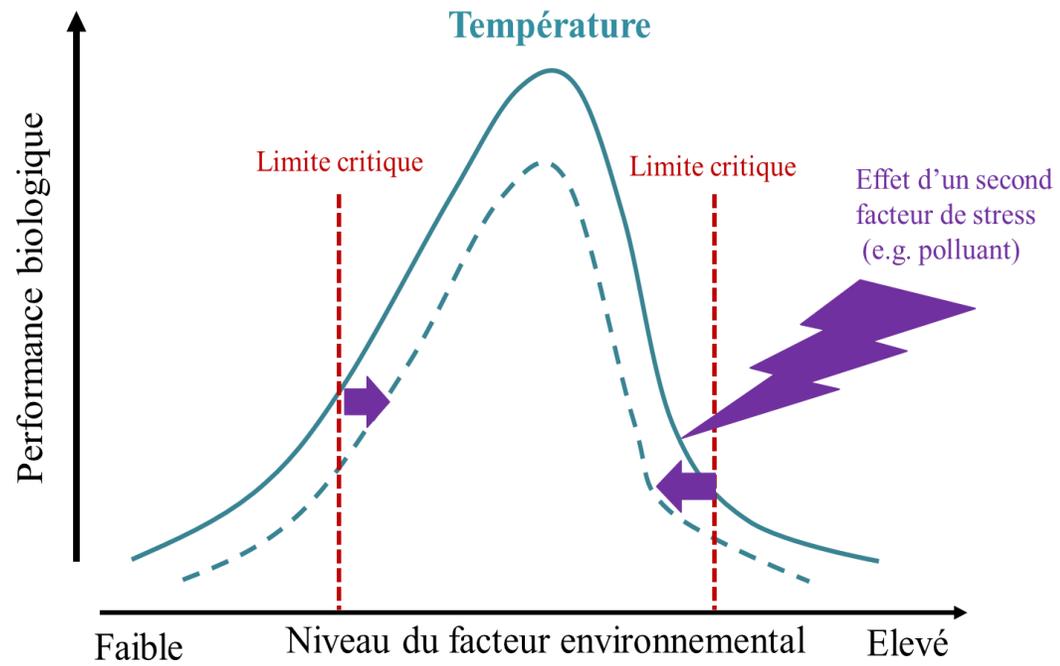


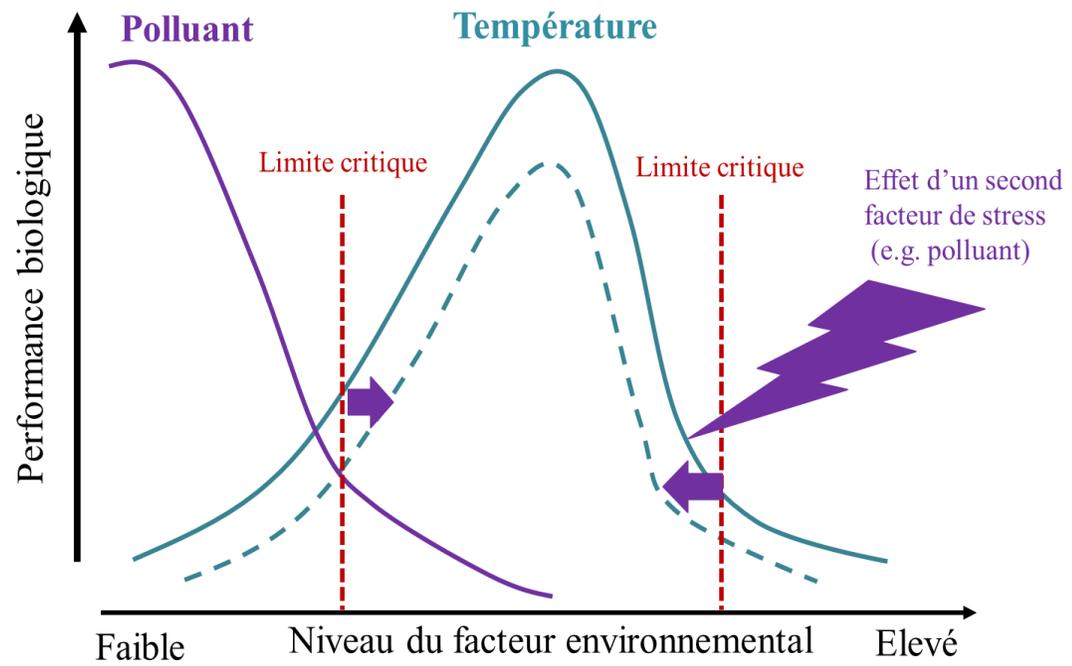
Déclin des populations d'espèces de poissons emblématiques de lacs alpins malgré les efforts de restauration des écosystèmes

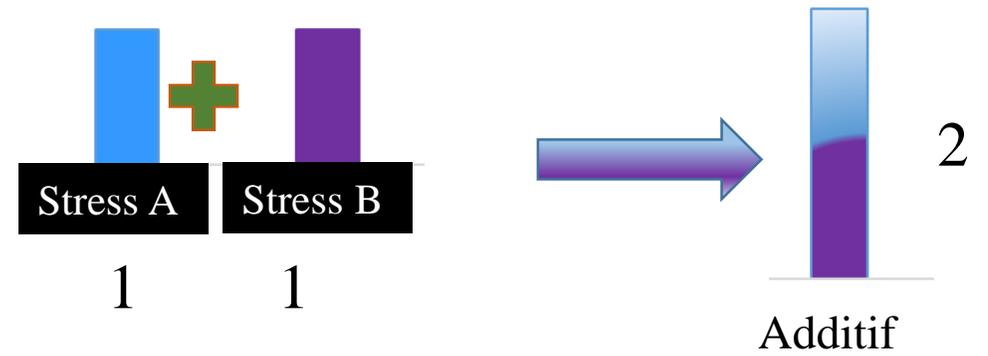
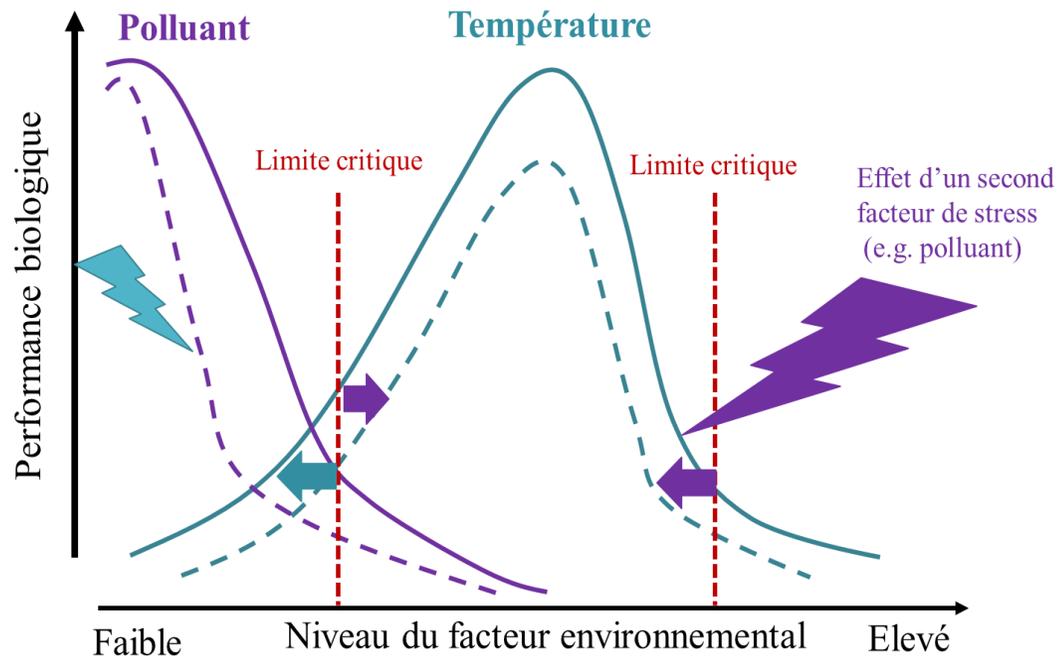
De nombreux facteurs pourraient avoir un impact sur la population des poissons: changement climatique, espèces envahissantes, xénobiotiques ...

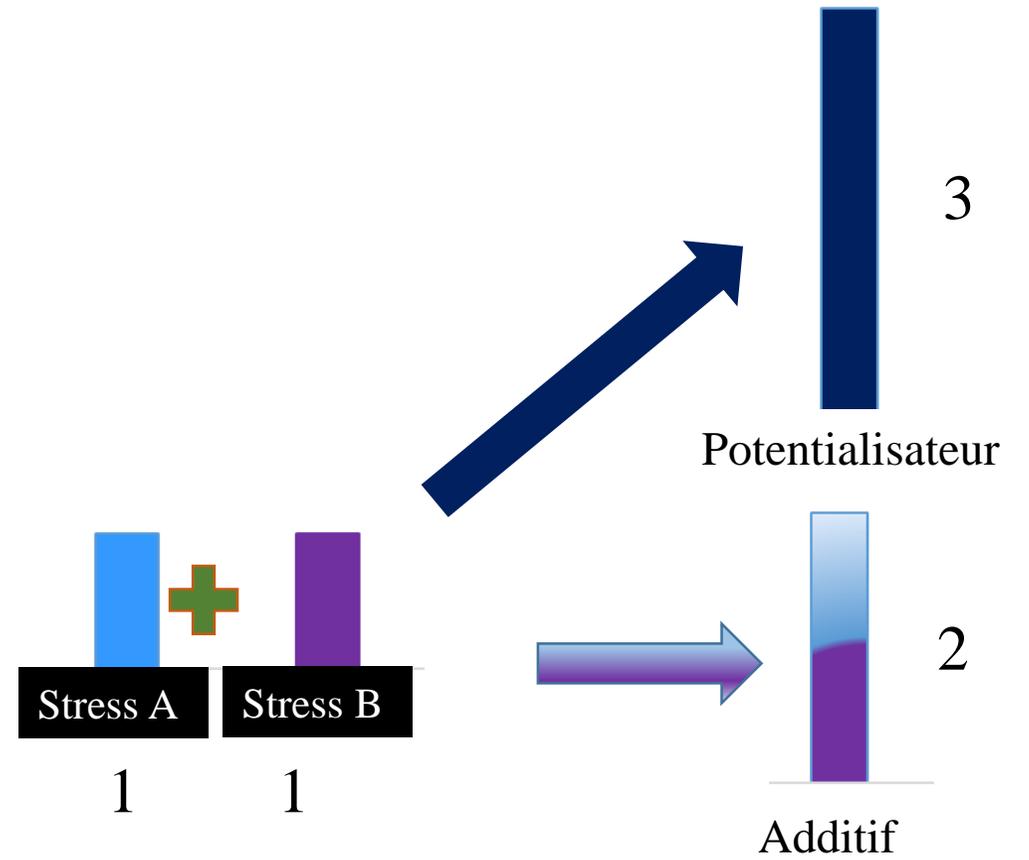
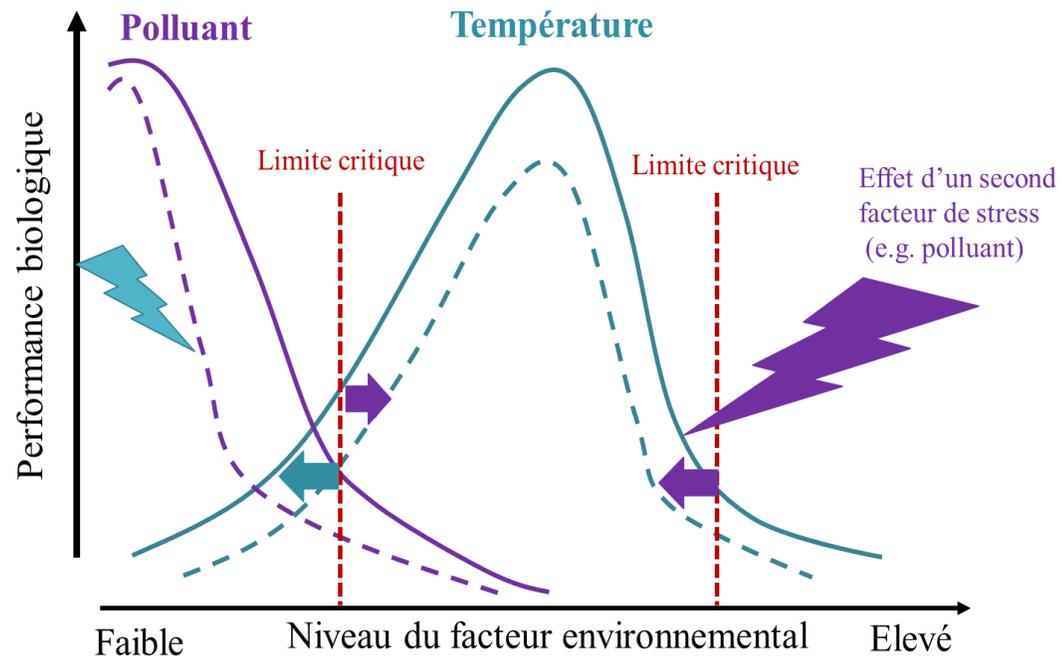


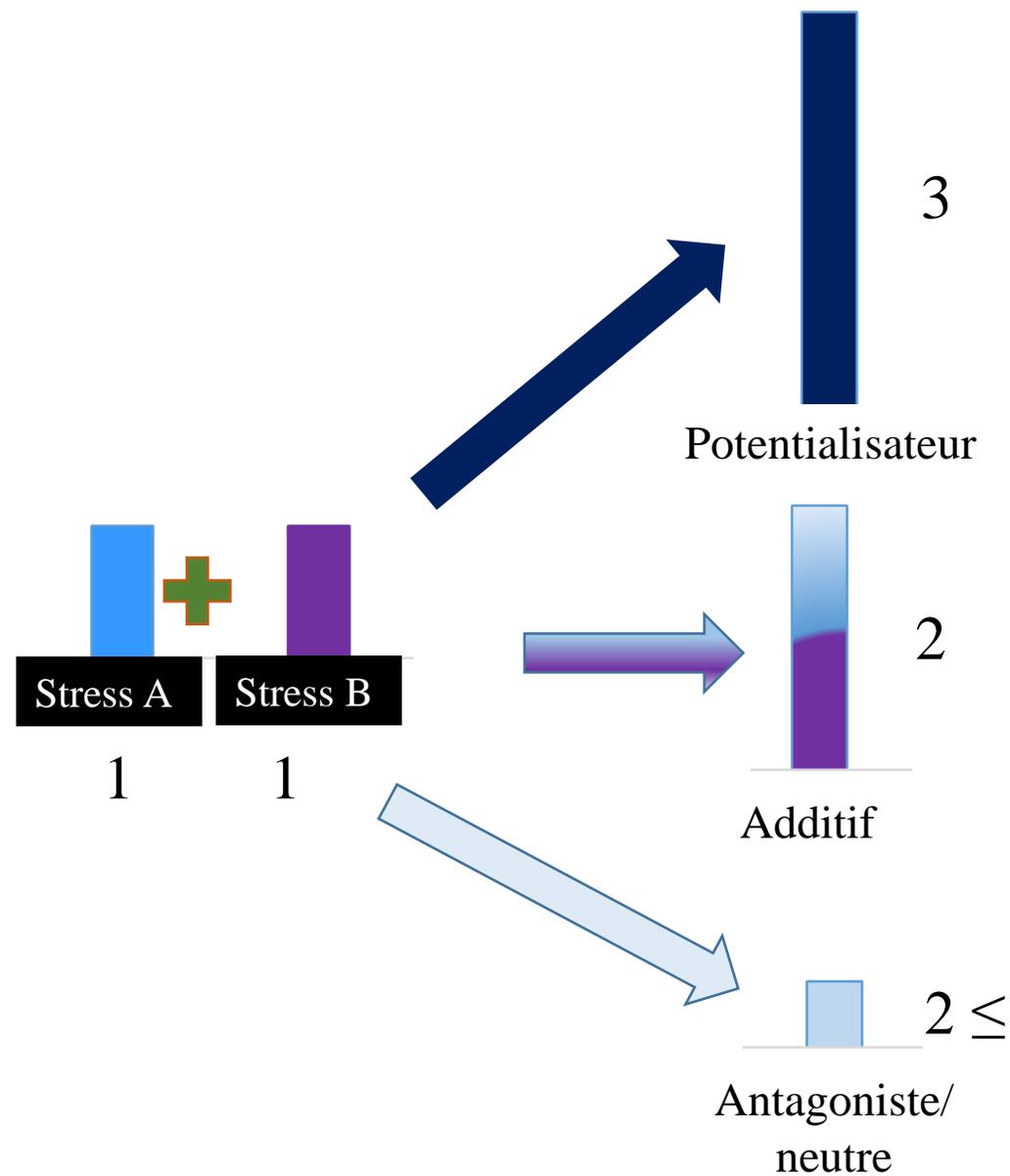
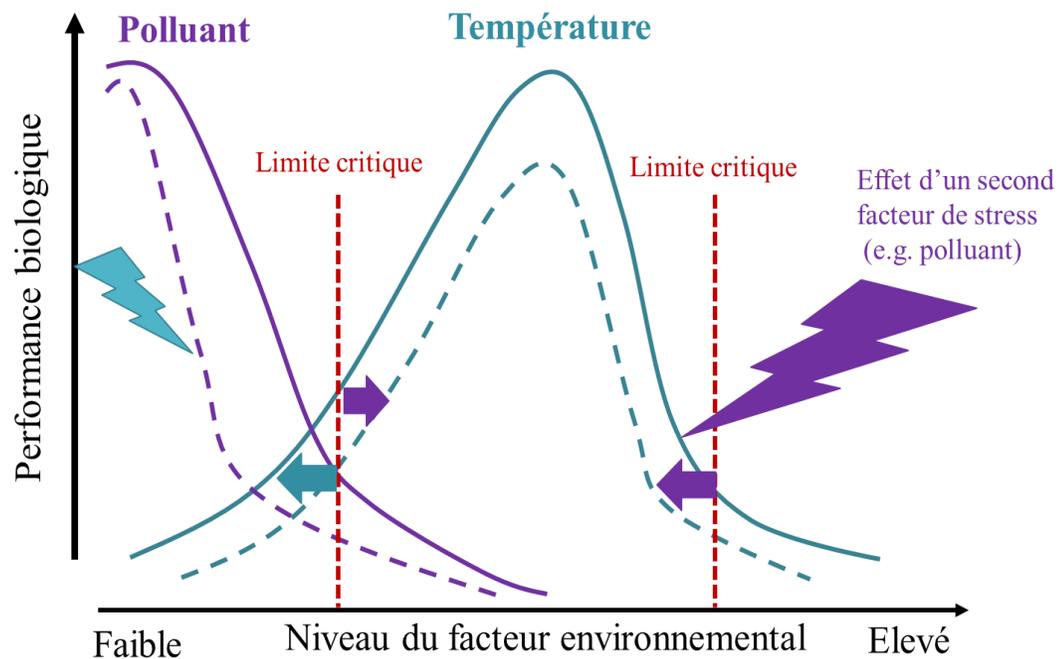














**Rythme de vie**

Lent ← → Rapide

**Stratégie biodémographique**

Vie longue	← →	Vie courte
Reproduction tardive	← →	Reproduction précoce
Taux de croissance faible	← →	Taux de croissance élevé

**Comportement**

Philopatrie	← →	Dispersion importante
Soins parentaux importants	← →	Peu de soin parentaux
Faible agressivité	← →	Forte agressivité
Timide	← →	Audace
Exploration approfondie	← →	Exploration superficielle
Activité faible	← →	Activité importante
Sociabilité forte	← →	Sociabilité faible

**Physiologie**

Forte réactivité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien	← →	Faible réactivité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien
Faible réactivité du système sympathique	← →	Forte réactivité du système sympathique
Forte réactivité du système parasympathique	← →	Faible réactivité du système parasympathique
Métabolisme faible	← →	Métabolisme élevé
Faible sensibilité au stress oxydatif	← →	Forte sensibilité au stress oxydatif
Réactions immunitaires importantes	← →	Réactions immunitaires faibles

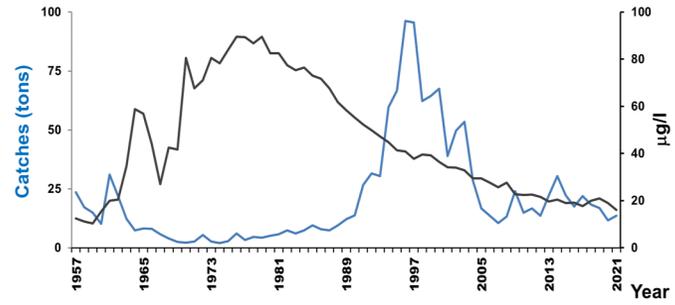
Score bas

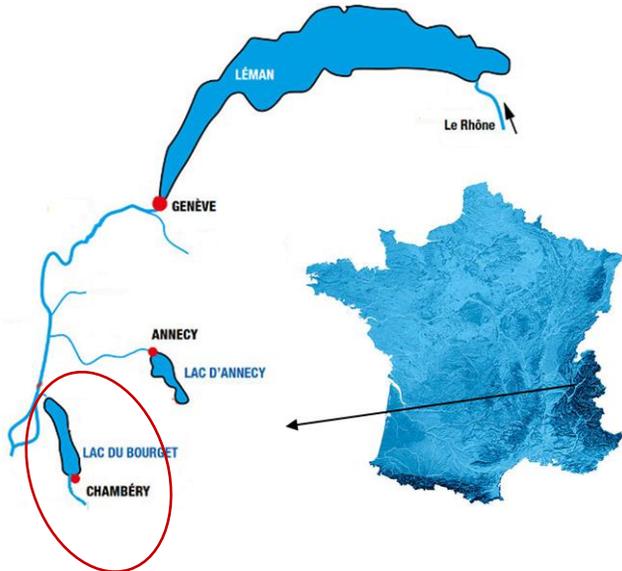
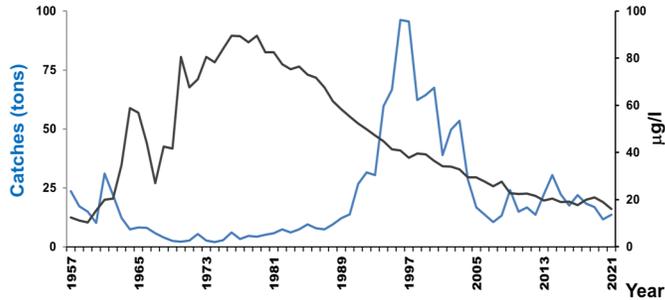


Variation en fonction de l'environnement

Score haut

Variations des traits physiologiques et comportementaux en fonction des stratégies biodémographiques et des rythmes de vie d'après le syndrome des rythmes de vie. D'après Réale et al. (2010) et copy style (Koolhaas et al., 1999)





Bioaccumulation de PCB par l'omble chevalier et le corégone



Science of The Total Environment

Volume 693, 25 November 2019, 133590



### PCB mass budget in a perialpine lake undergoing natural decontamination in a context of global change

Thibault Masset, Nathalie Cottin, Christine Piot, Philippe Fanget, Emmanuel Naffrechoux

Univ. Savoie Mont-Blanc, LCME, 73000 Chambéry, France

Received 13 June 2019, Revised 23 July 2019, Accepted 24 July 2019, Available online 29 July 2019, Version of Record 2 August 2019.



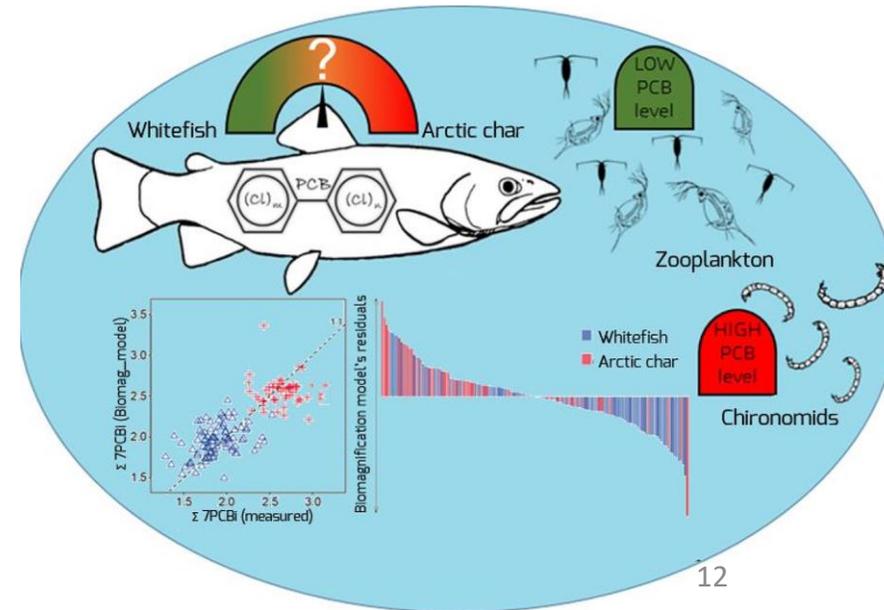
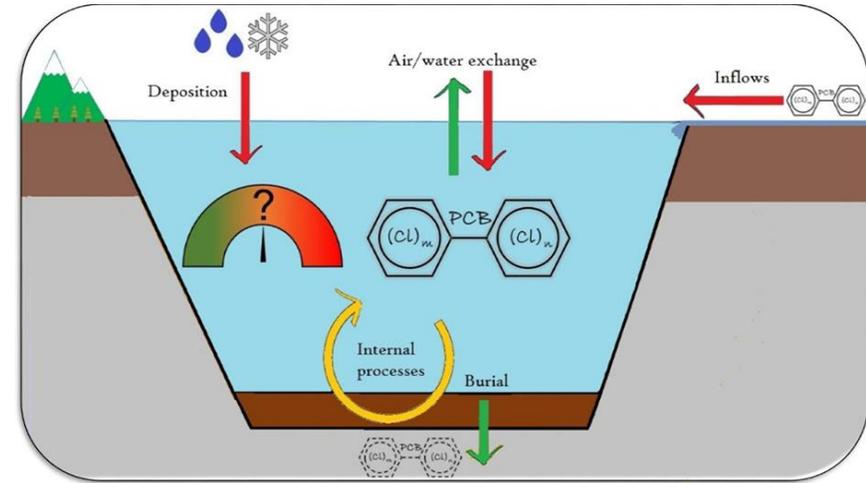
Science of The Total Environment

Volume 674, 15 July 2019, Pages 472-481

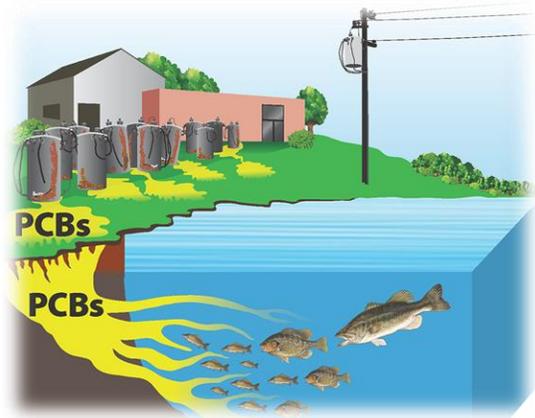


### Trophic position and individual feeding habits as drivers of differential PCB bioaccumulation in fish populations

T. Masset, V. Frossard, M.E. Perga, N. Cottin, C. Piot, S. Cachera, E. Naffrechoux



PCB= **P**olluants organiques persistants (**POP**) :  
bioaccumulables, lipophiles et toxiques



**200 ng $\Sigma$ 6PCBi /g**  
**Norme < 125ng/g**

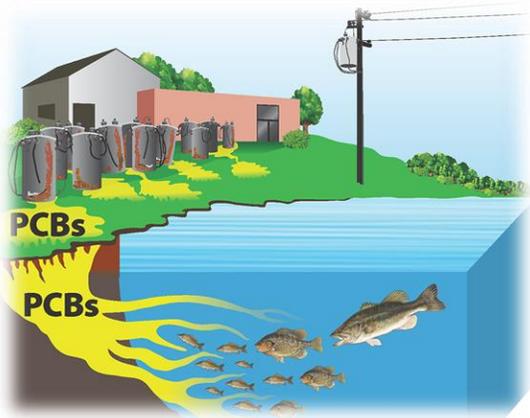


Effets maternels par les œufs et hyperactivité  
des larves (Pean et al., 2013)

Modification transcriptomique (cfos, dnmt)  
(Alfonso, 2018)

Malformation observé sur des larves de zebra  
fish (Seung-Hieok et al., 2009)

PCB= **P**olluants organiques persistants (**POP**) :  
bioaccumulables, lipophiles et toxiques



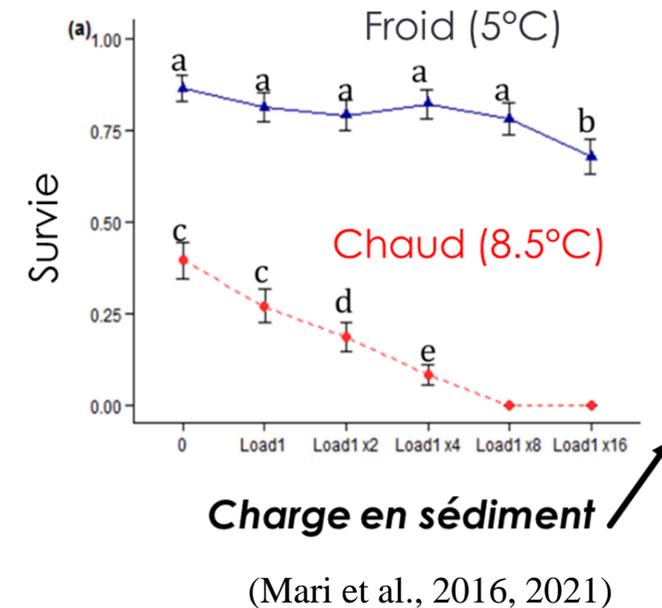
**200 ng $\Sigma$ 6PCBi /g**  
**Norme < 125ng/g**



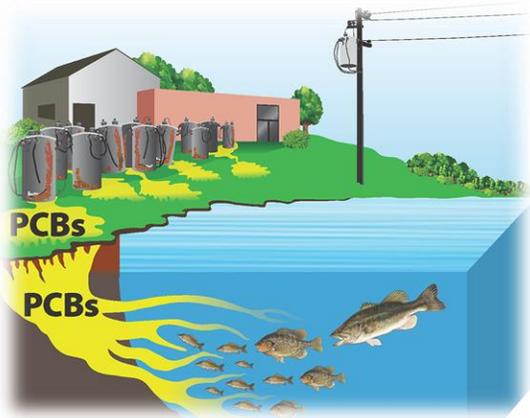
Effets maternels par les œufs et hyperactivité  
des larves (Pean et al., 2013)

Modification transcriptomique (cfos, dnmt)  
(Alfonso, 2018)

Malformation observé sur des larves de zebra  
fish (Seung-Hieok et al., 2009)



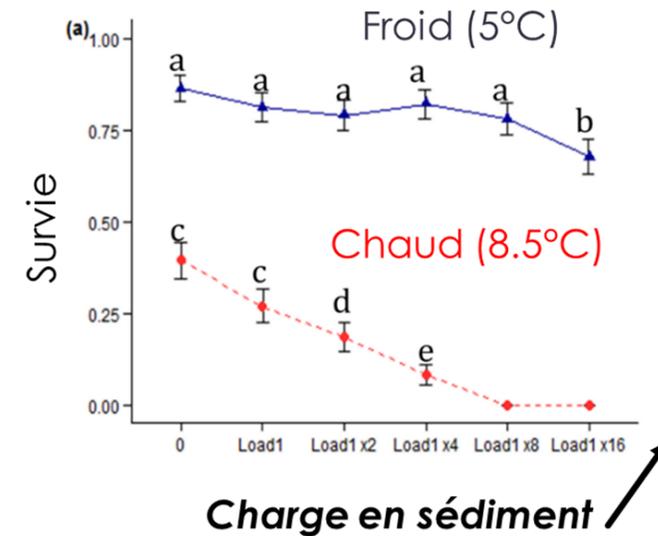
PCB= **P**olluants organiques persistants (**POP**) :  
bioaccumulables, lipophiles et toxiques



**200 ng $\Sigma$ 6PCBi /g**  
**Norme < 125ng/g**



T°C + PCB ?  
(Kelly et al., 2021)



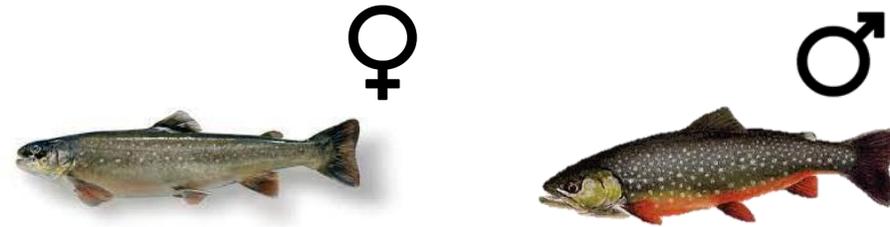
(Mari et al., 2016, 2021)

Effets maternels par les œufs et hyperactivité  
des larves (Pean et al., 2013)

Modification transcriptomique (cfos, dnmt)  
(Alfonso, 2018)

Malformation observé sur des larves de zebra  
fish (Seung-Hieok et al., 2009)





- Pas à notre connaissance d'étude couplage PCB & Température
- Peu d'étude de la transmission maternelle et paternelle sur des poissons sauvages
  - Peu d'étude à des doses environnementales

**Des connaissances fondamentales et mécanistiques sur la transmission parentale des PCB couplée à une hausse de température**

Injection 1 mois avant la ponte

♂ N=21



0 ng/g PCB

N=7



500 ng/g PCB

N=7



1000 ng/g PCB

N=7



♂ N=21



0 ng/g PCB

N=7



500 ng/g PCB

N=7



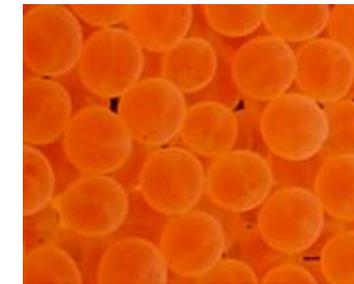
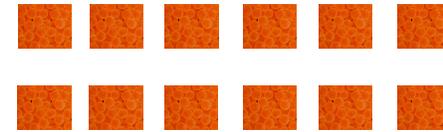
1000 ng/g PCB

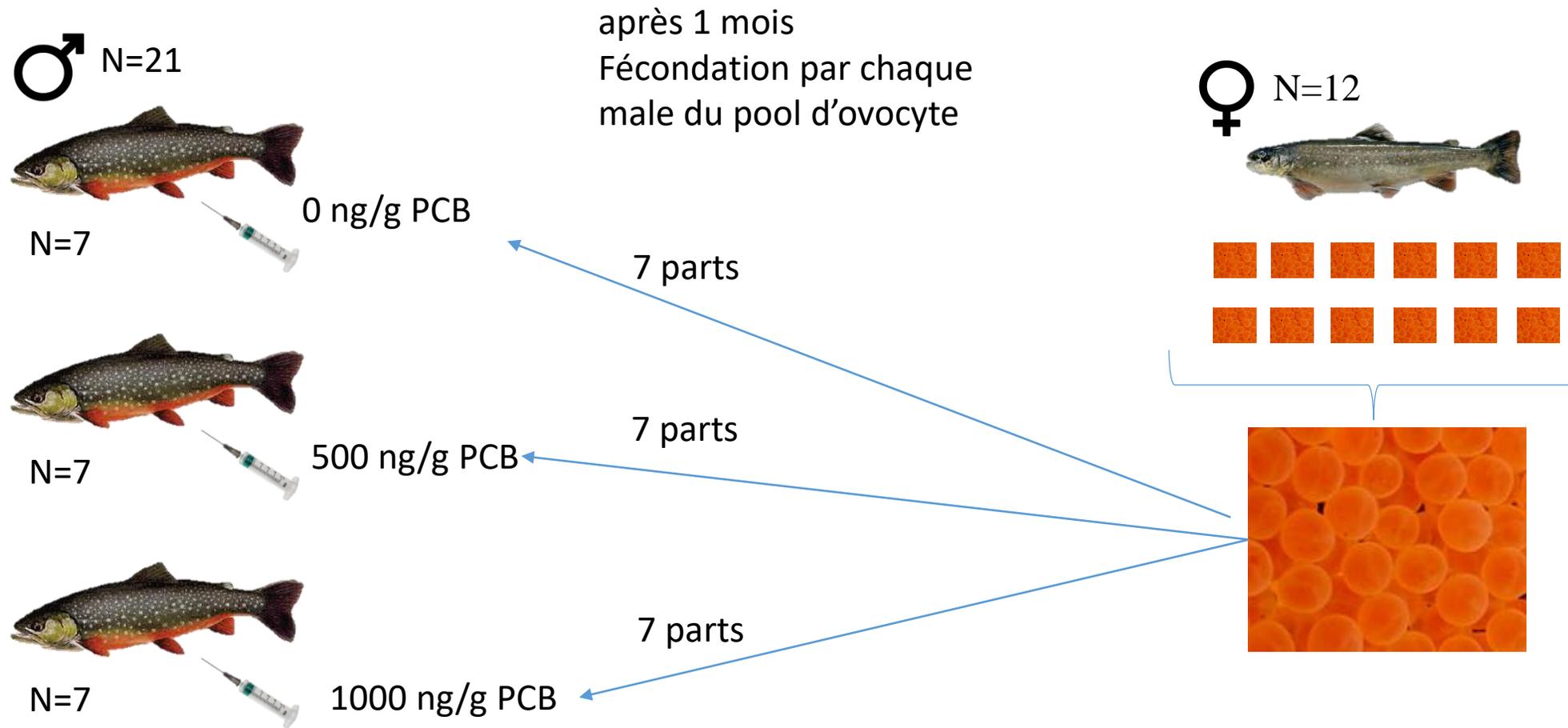
N=7

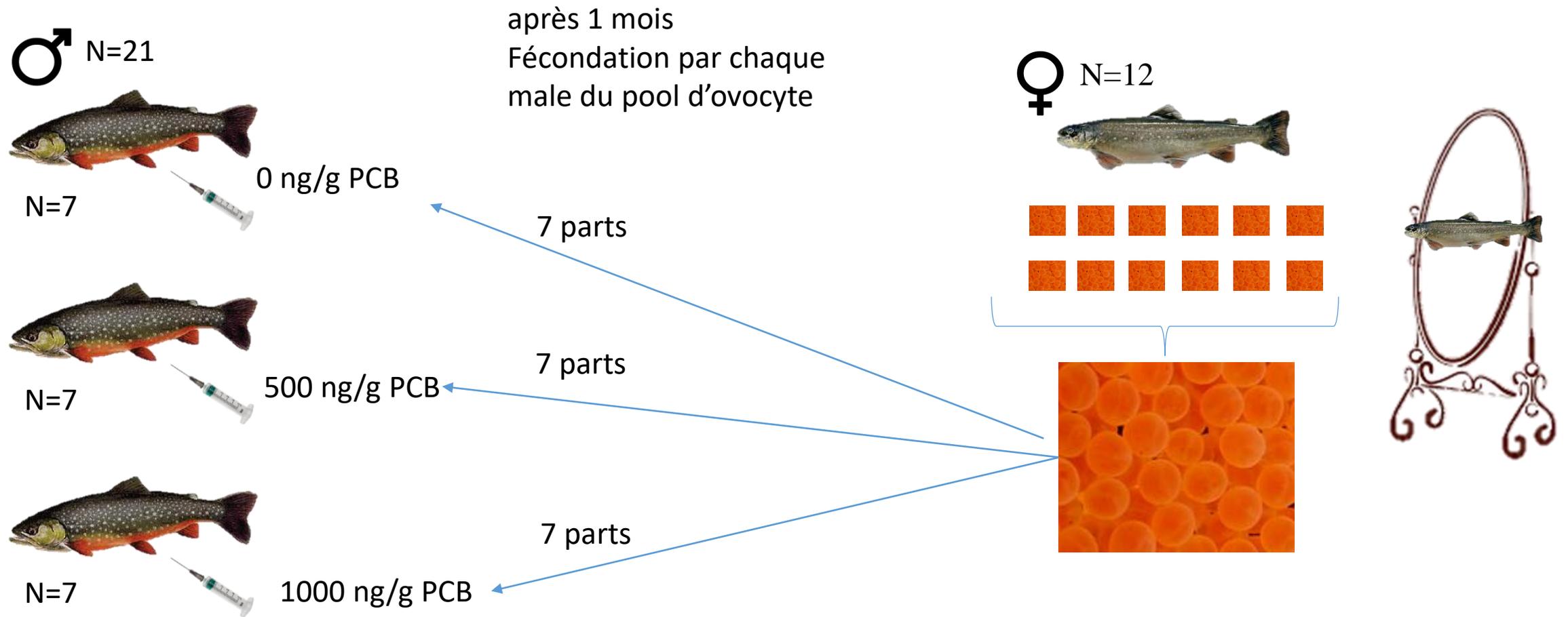


après 1 mois  
recueil d'ovocytes et pool  
des ovocytes

♀ N=12

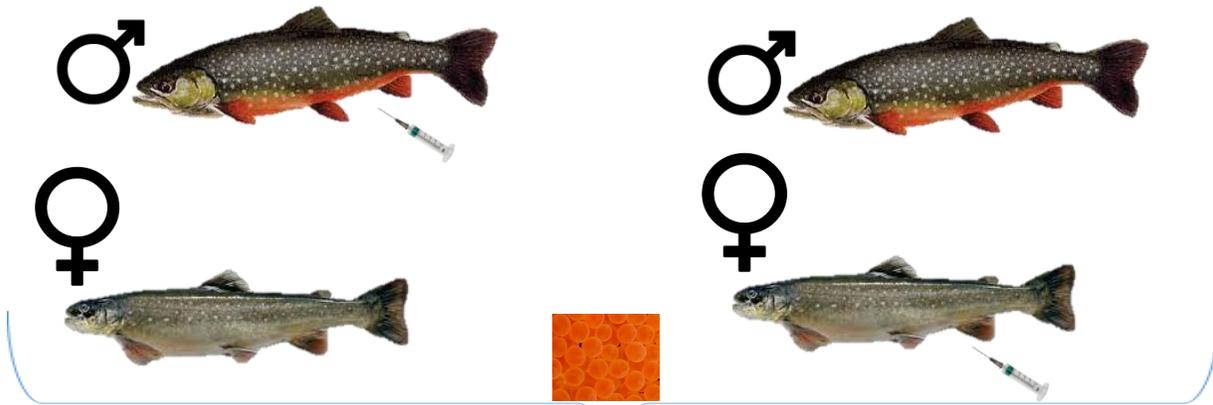






- Dans ce contexte de multi-stress, l'objectif est d'apporter :

Des connaissances fondamentales et mécanistiques sur la transmission parentale des PCB couplée à une hausse de température



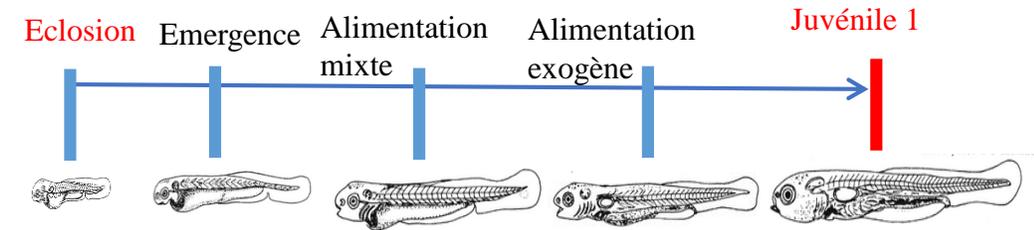
Amplitude thermique de 4,5°C

1- Modèle RCP 8,5

Température de référence :

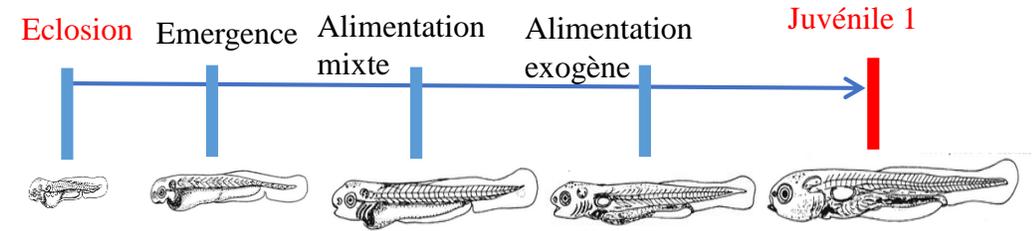
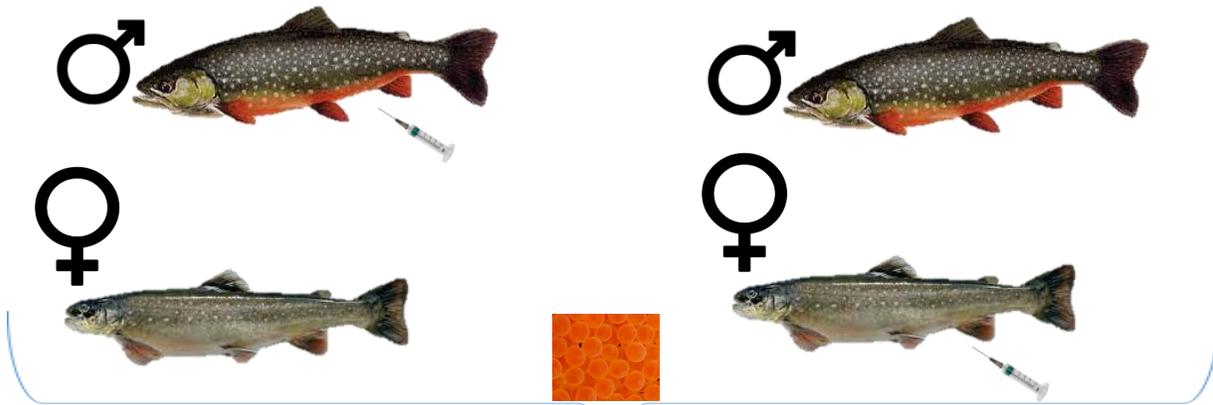
1- Bibliographie

2- Température de ponte des géniteurs



- Dans ce contexte de multi-stress, l'objectif est d'apporter :

Des connaissances fondamentales et mécanistiques sur la transmission parentale des PCB couplée à une hausse de température



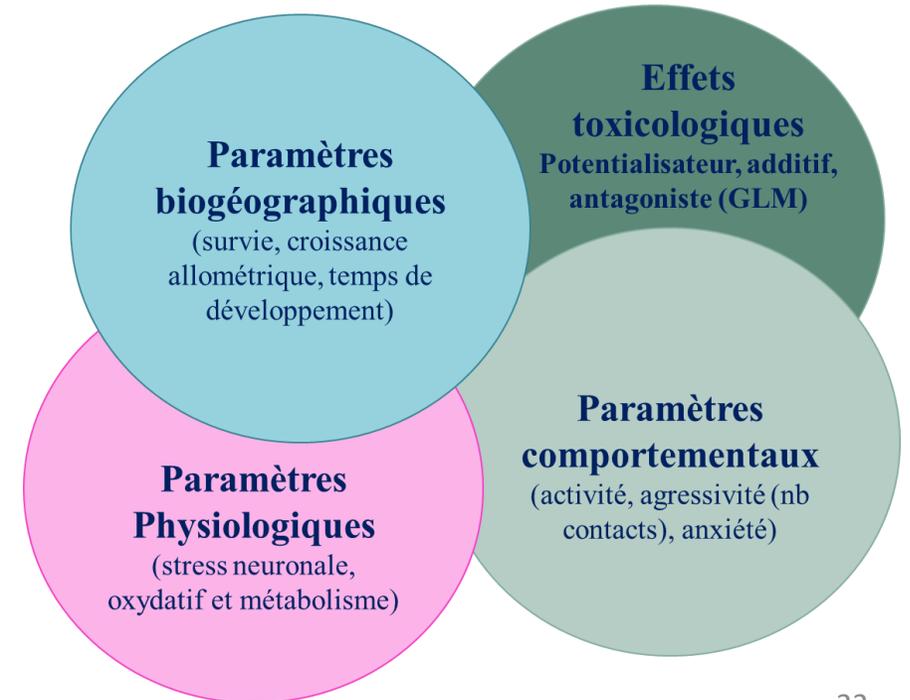
Amplitude thermique de 4,5°C

1- Modèle RCP 8,5

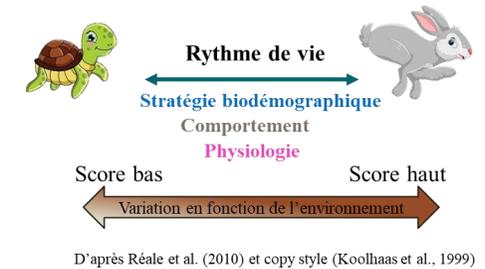
Température de référence :

1- Bibliographie

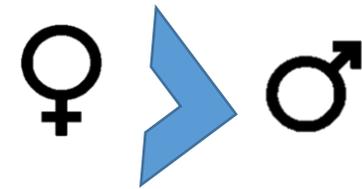
2- Température de ponte des géniteurs



- ❑ La transmission parentale des PCB a un impact négatif sur les traits de vie
- ❑ La transmission maternelle des PCB est plus impactante que la transmission paternelle



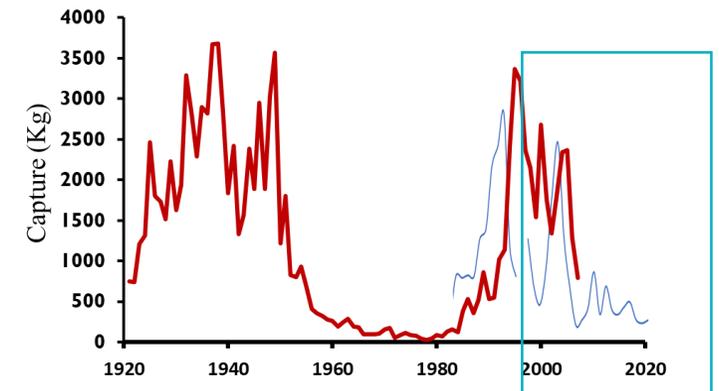
- ❑ Effondrement de la population suite à une contamination maternelle (12% maternelle Vs 50% paternelle)



- ❑ La transmission parentale des PCB a un impact négatif sur les traits de vie
- ❑ La transmission maternelle des PCB est plus impactante que la transmission paternelle
- ❑ Effondrement de la population suite à une contamination maternelle (12% maternelle Vs 50% paternelle)

		T° (C)		
		4 ° C		
		CT	M	F
		PCB (ng/g)		
Score total	♂	C	+4	+6
% de survie		50%		
	♀	C	+4	+9
% de survie		20%		

Théorie	
Lent	Rapide
C	+9

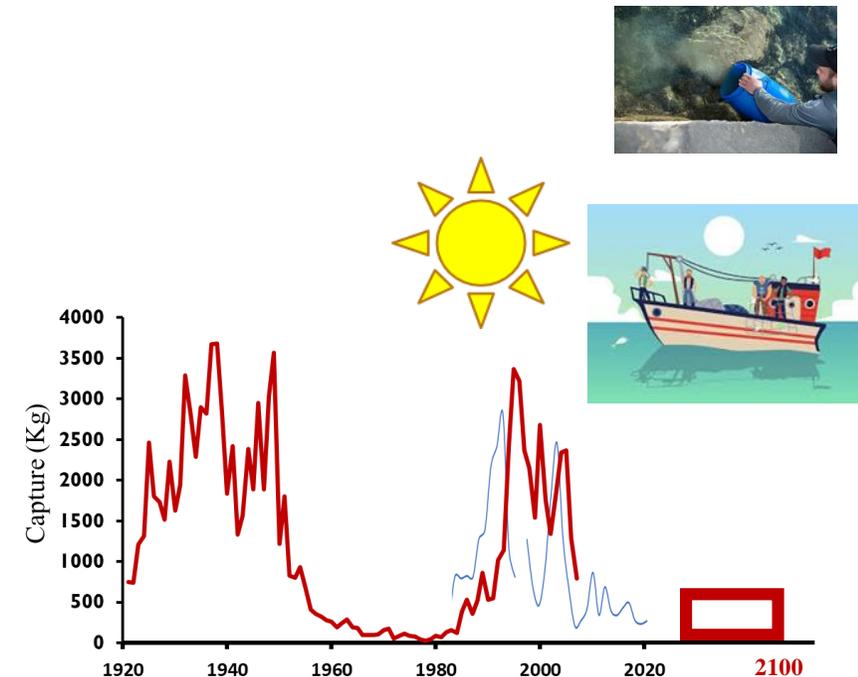


CT = contrôle = 0 ng/g  
 M = dose modérée = 125 ng/g  
 F = dose forte = 200 ng/g

- ❑ La transmission parentale des PCB a un impact négatif sur les traits de vie
- ❑ La transmission maternelle des PCB est plus impactante que la transmission paternelle
- ❑ Effondrement de la population suite à une contamination maternelle (12% maternelle Vs 50% paternelle)

		T° (C)			Théorie		
		4° C			Lent		Rapide
		PCB (ng/g)					
		CT	M	F	CT	M	F
Score total	♂	C	+4	+6	C	+3	+7
	♀	C	+4	+9	C	+5	+12

12%



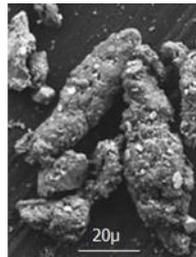
Quid des autres lacs où les populations d'omble diminuent mais non contaminées aux PCB ?

Léman, Annecy.... -> Microplastiques ?



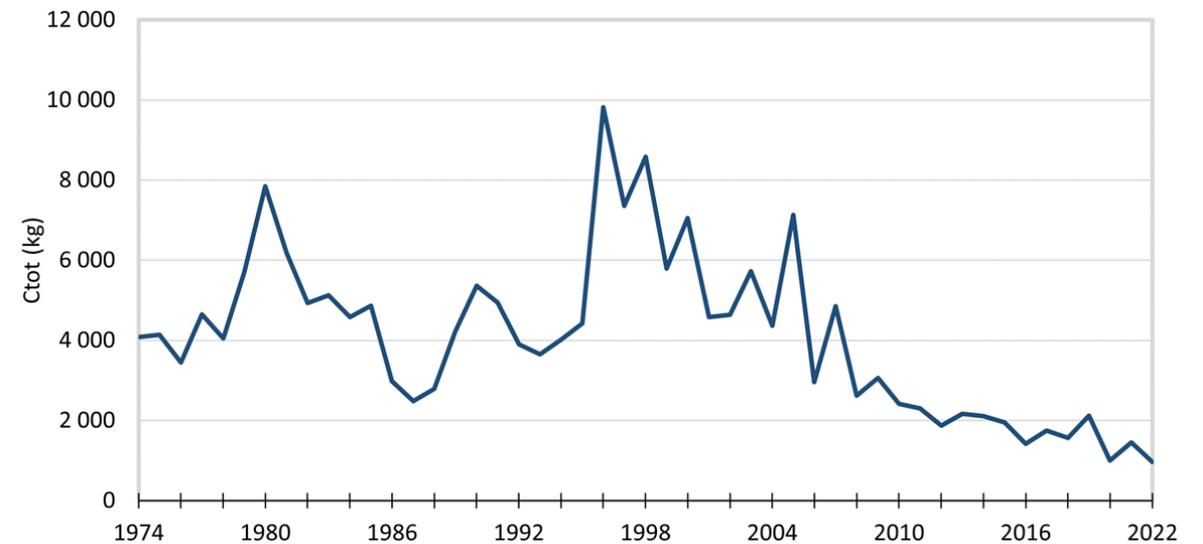
50 tonnes/ans  
(Faure et al., 2016)

Copyright © CARRTEL



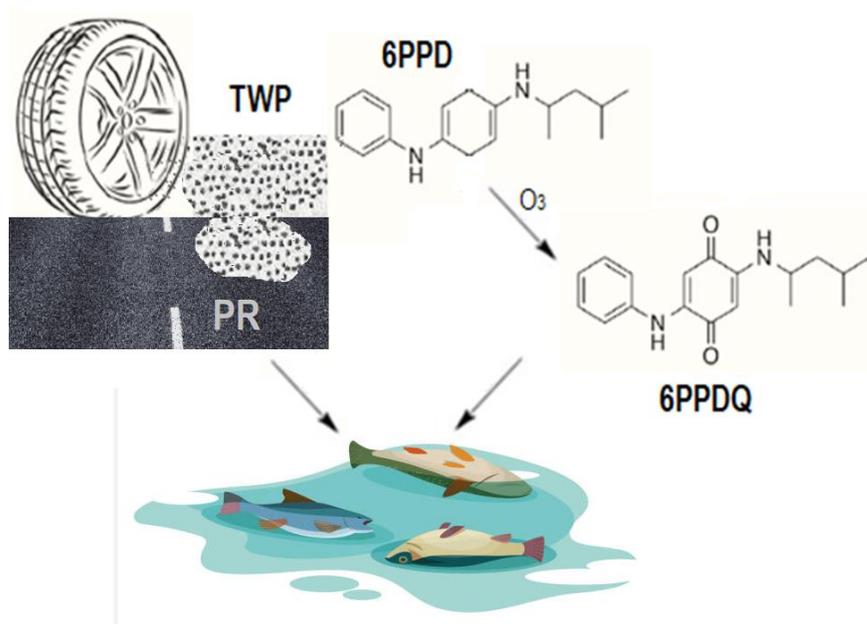
Muresan et al., 2021

Lac d'Annecy



Les impacts des résidus issus du plastiques sont encore très peu connus

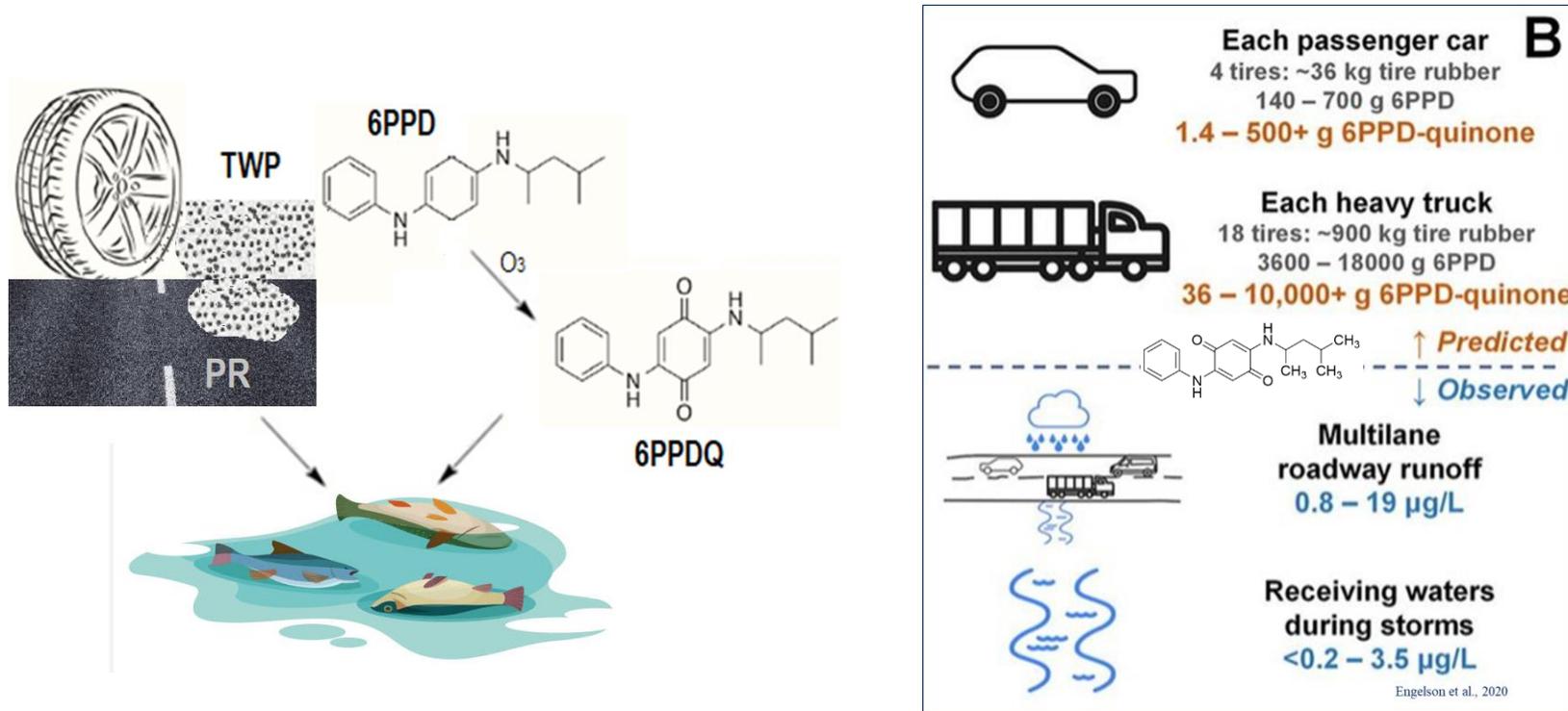
Présence hypothétique de 6ppd- q dans la zone littorale nord du lac Annecy



- Forte toxicité : « syndrome de mortalité par ruissellement urbain » chez le saumon coho (Brinkmann et al., 2022).
- 6PPD-Q présente en quantité non négligeable (jusqu'à 900 ng/L) dans l'eau de ruissellement de chaussée australienne (Rauert et al., 2022).

Les impacts des résidus issus du plastiques sont encore très peu connus

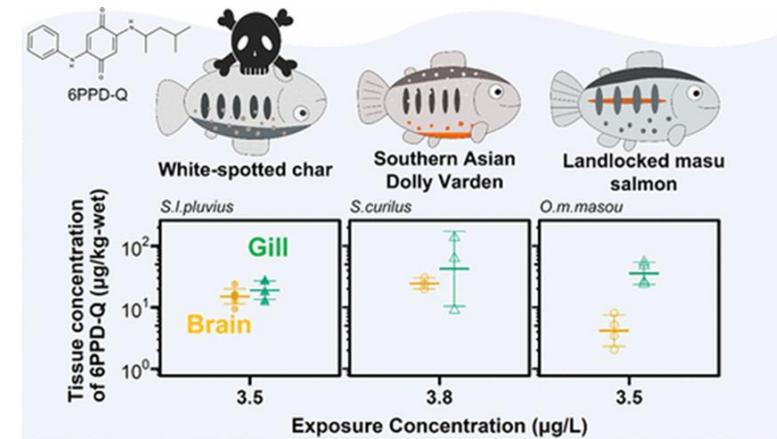
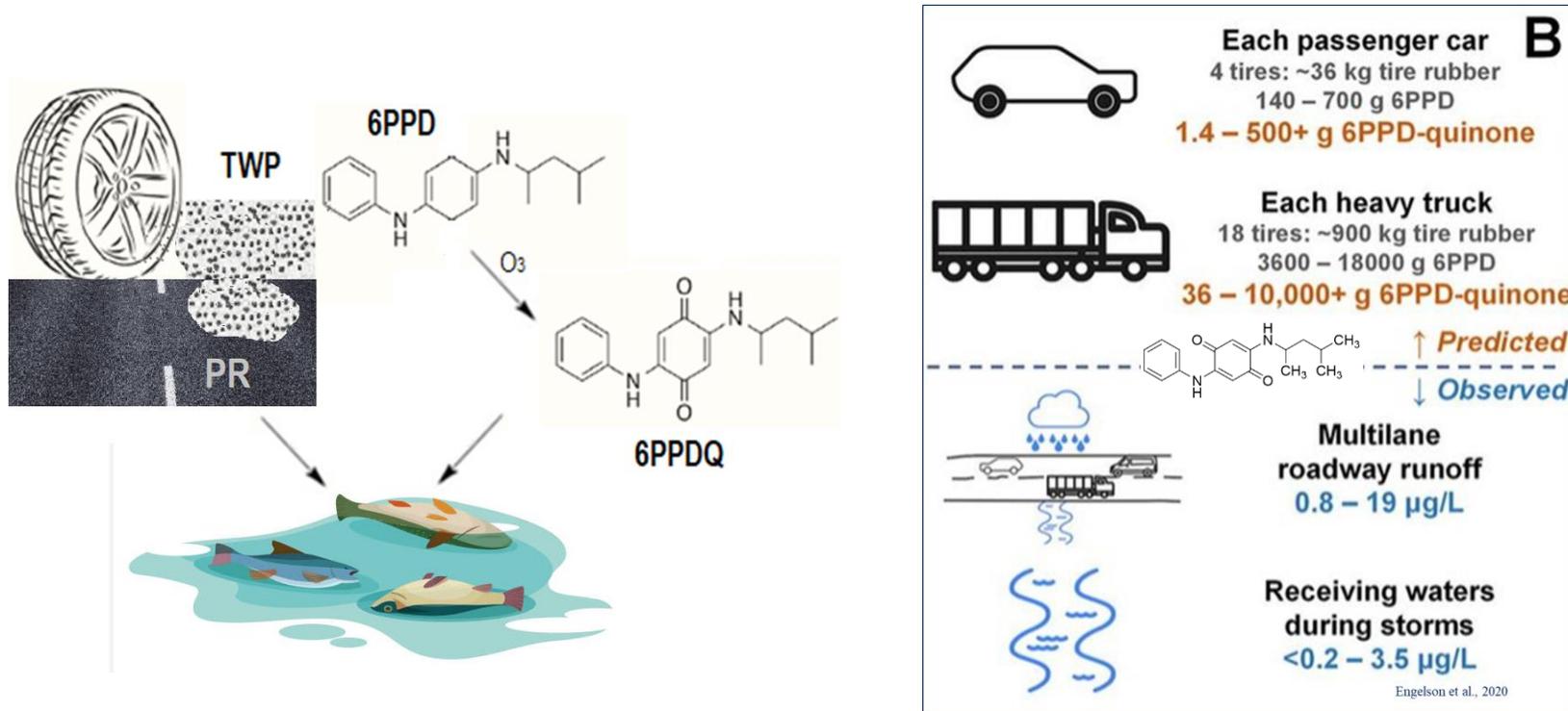
Présence hypothétique de 6ppd- q dans la zone littorale nord du lac Annecy



- Forte toxicité : « syndrome de mortalité par ruissellement urbain » chez le saumon coho (Brinkmann et al., 2022).
- 6PPD-Q présente en quantité non négligeable (jusqu'à 900 ng/L) dans l'eau de ruissellement de chaussée australienne (Rauert et al., 2022).

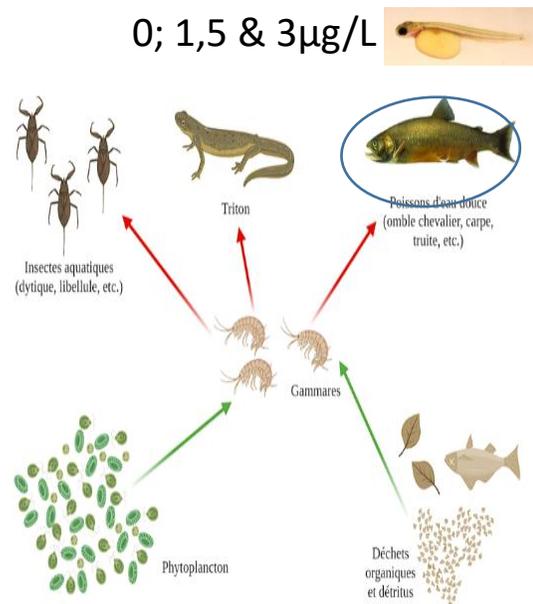
Les impacts des résidus issus du plastiques sont encore très peu connus

Présence hypothétique de 6ppd- q dans la zone littorale nord du lac Annecy



- Forte toxicité : « syndrome de mortalité par ruissellement urbain » chez le saumon coho (Brinkmann et al., 2022).
- 6PPD-Q présente en quantité non négligeable (jusqu'à 900 ng/L) dans l'eau de ruissellement de chaussée australienne (Rauert et al., 2022).

Présence de 6 PPD-Q (molécule émergente) dans les eaux de rivière : sous-produit d'oxydation de l'additif anti-ozone de la gomme des pneumatiques

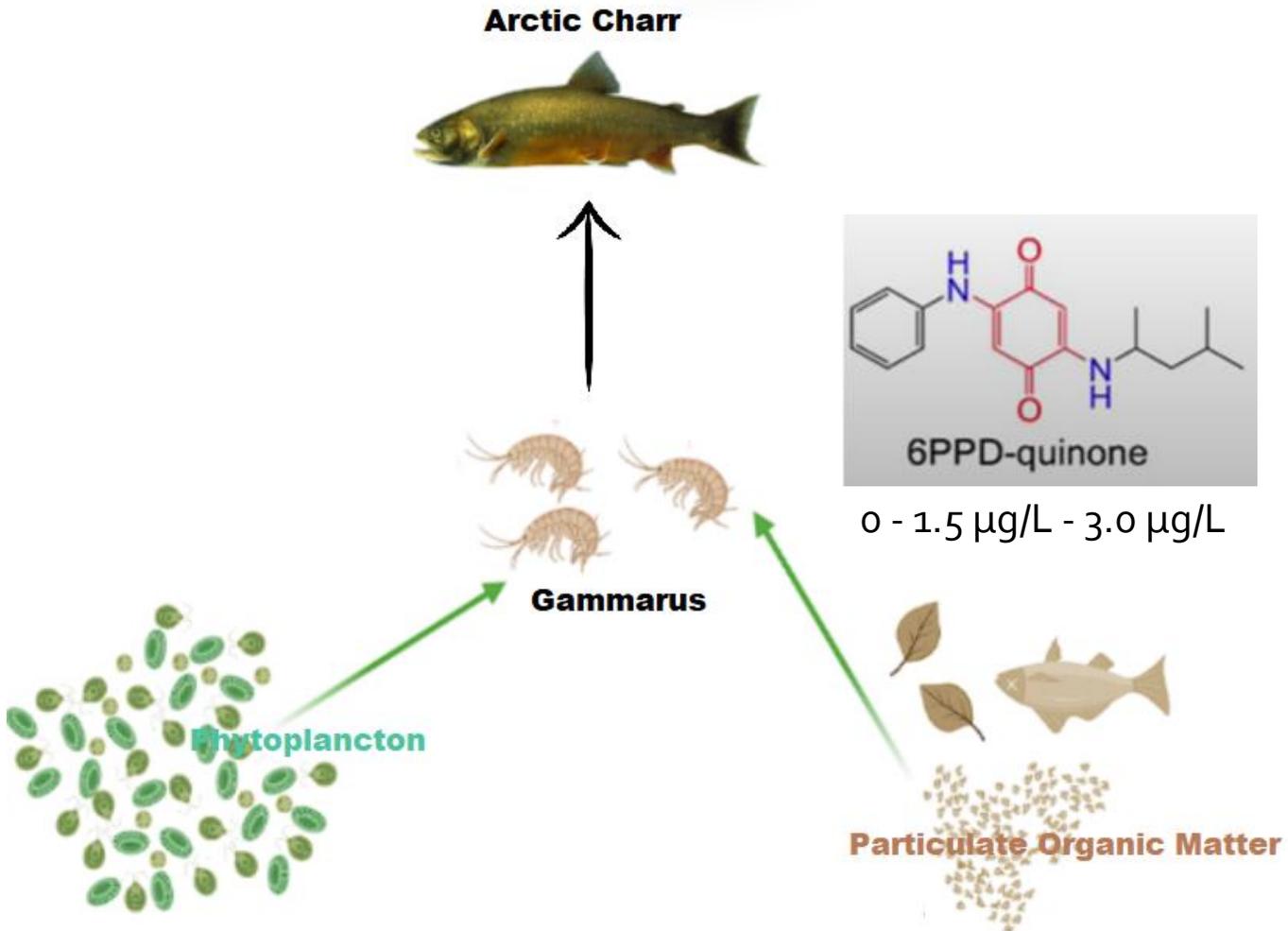


Alexis Golven M1

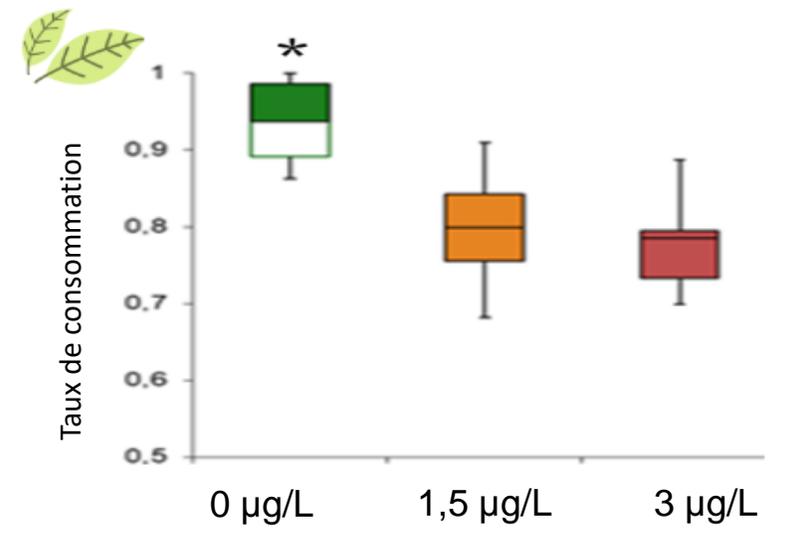
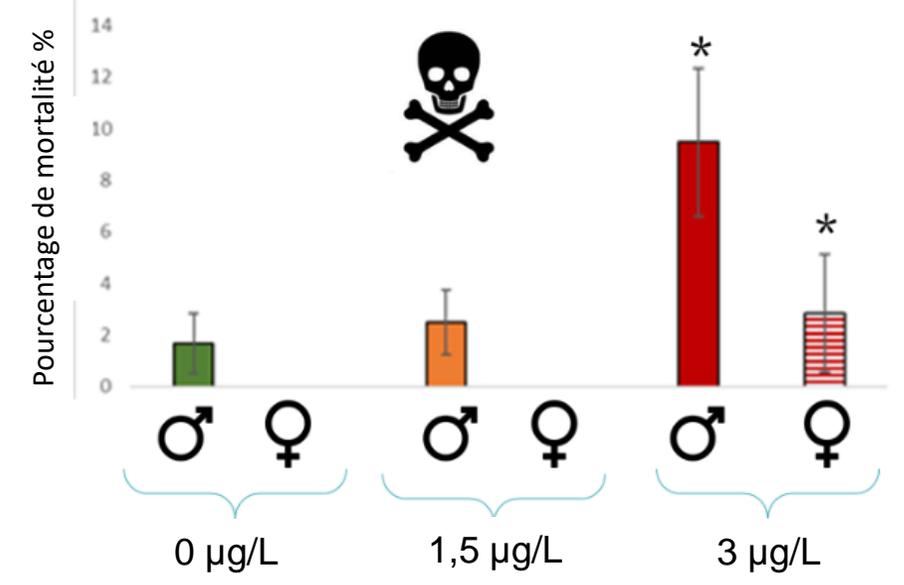


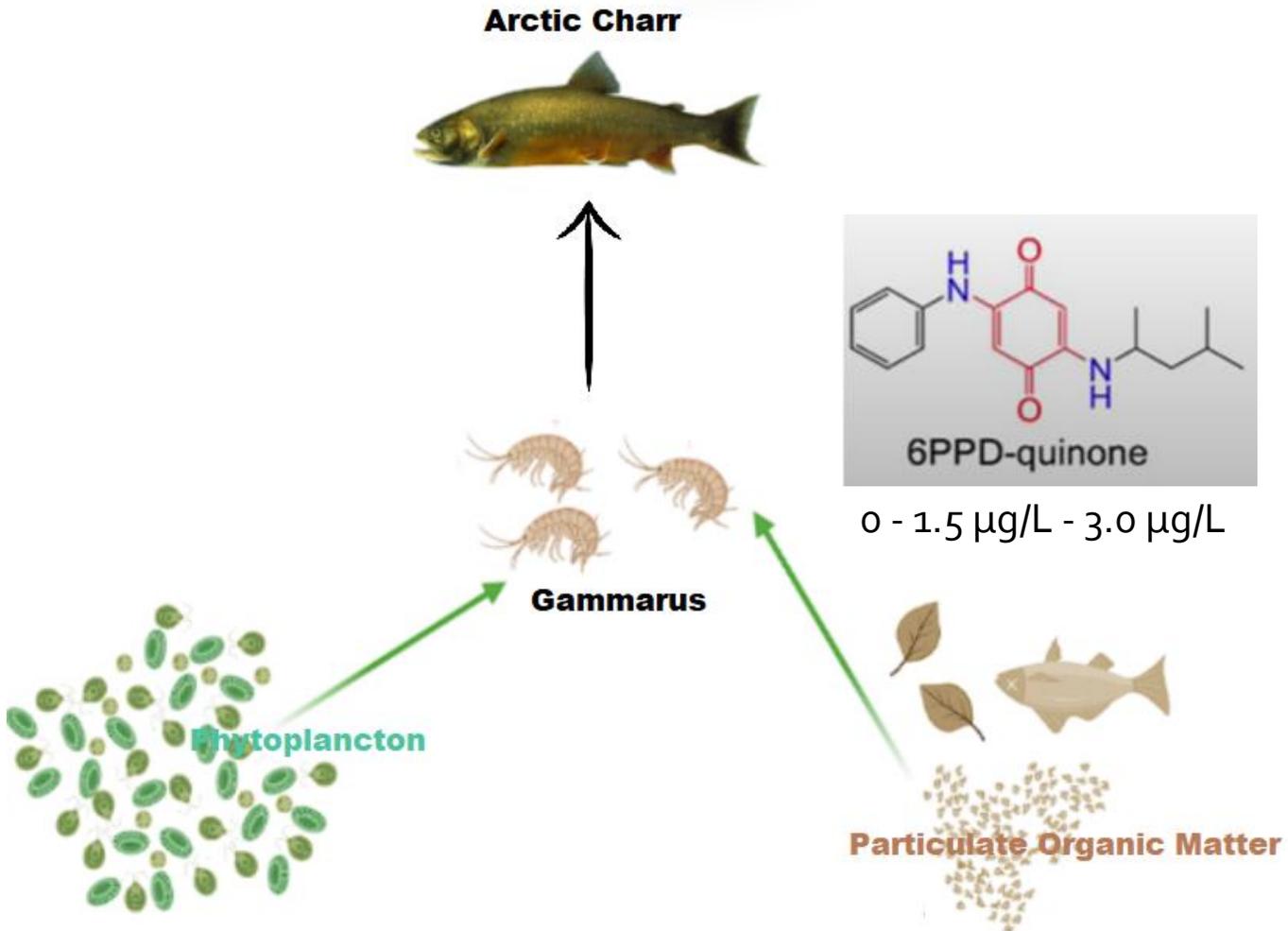
Fanny-Laure Thomassin M2

Figure 4 : Schéma de la chaîne trophique faisant intervenir les prédateurs et prédateurs des gammares.

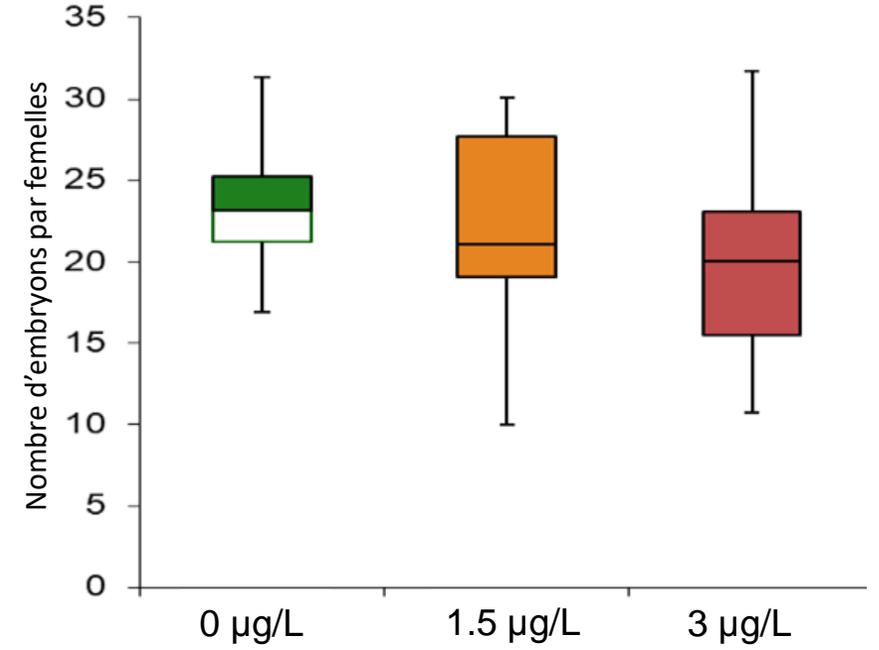


Gammarus





Gammarus



Diminution de l'activité de nage et augmentation du regroupement



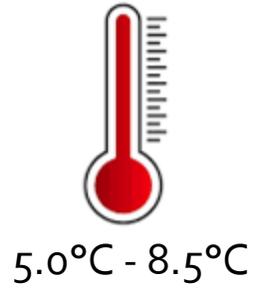
Diminution de l'alimentation

Mortalité différentielle chez les males

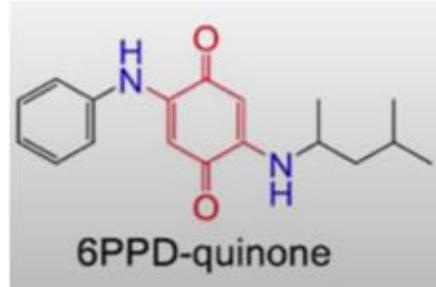


3,0 µg/L

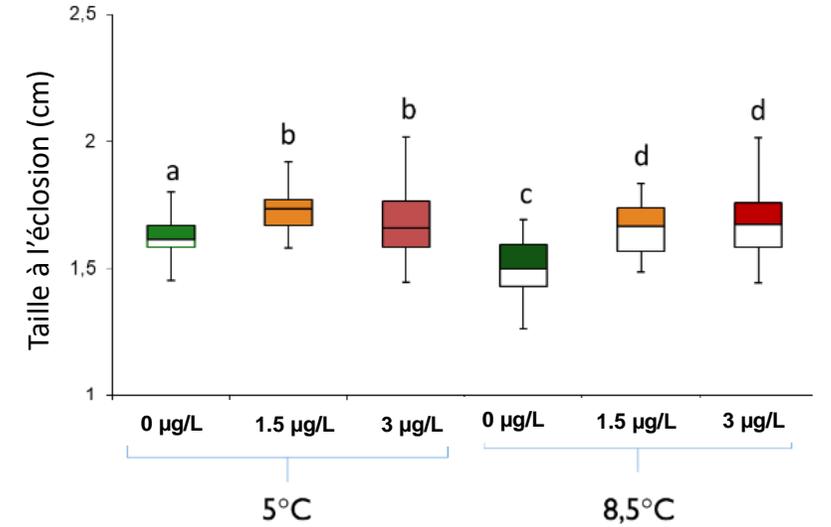
### Arctic Charr



Arctic Charr



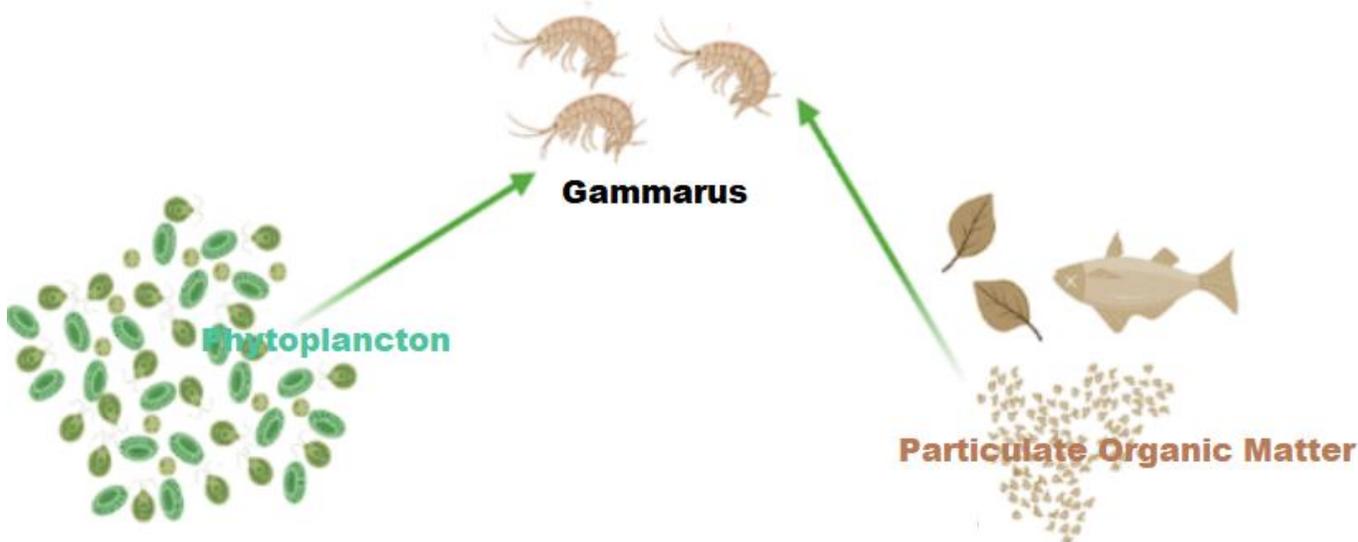
0 - 1.5 µg/L - 3.0 µg/L



Effet synergique avec compensation sur la durée totale mais augmentation du taux de malformations



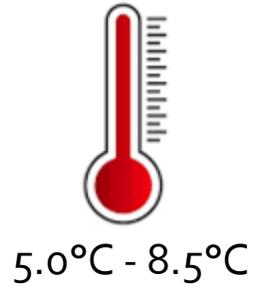
Diminution de l'activité de nage





3,0 µg/L

Arctic Charr



Arctic Charr



0 - 1.5 µg/L - 3.0 µg/L



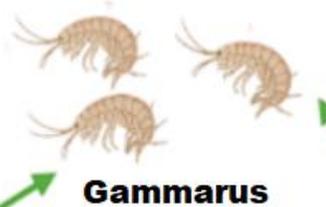
Rythme de vie  
 ← Stratégie biodémographique →  
 Comportement  
 Physiologie

Score bas

Score haut



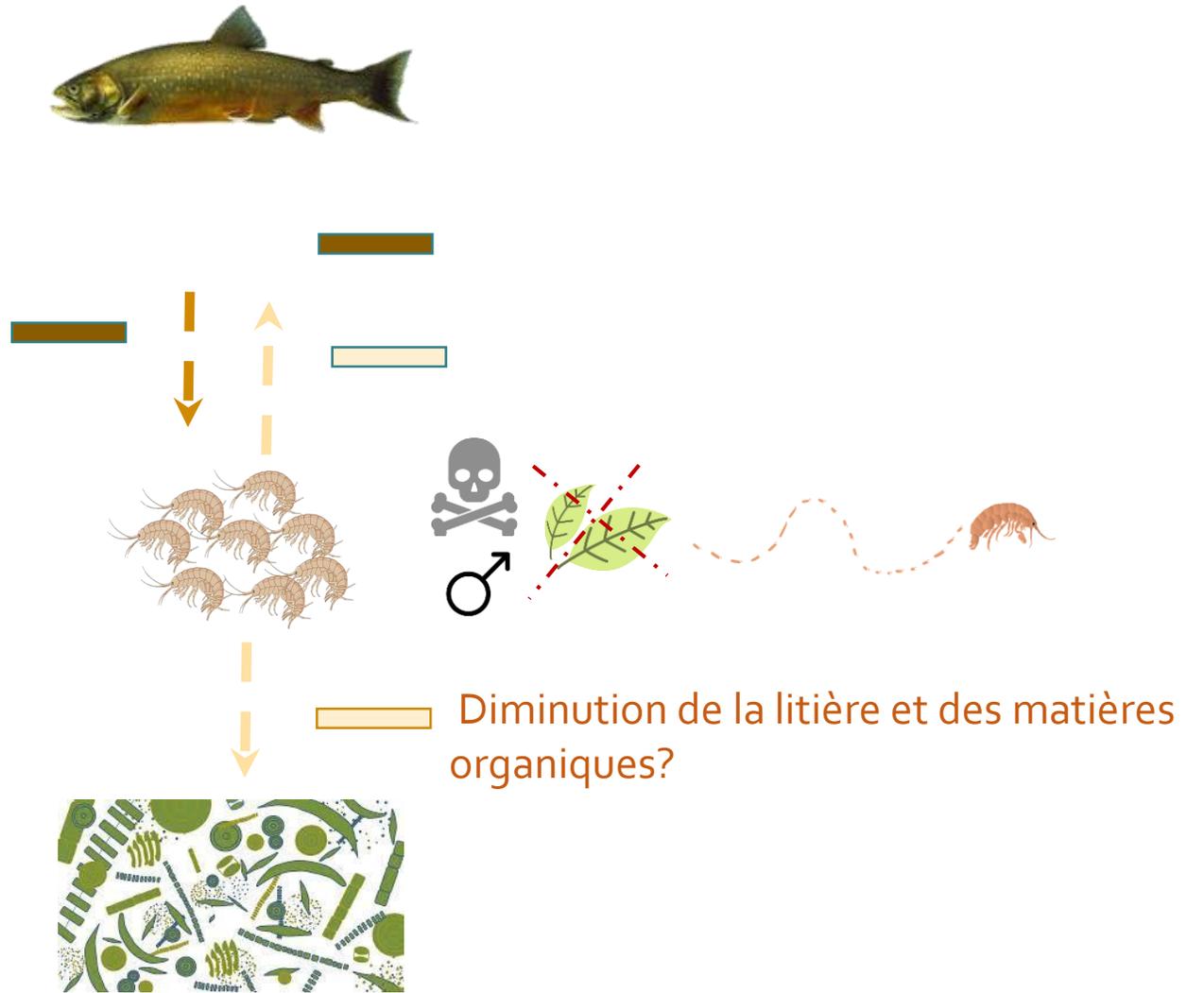
D'après Réale et al. (2010) et copy style (Koolhaas et al., 1999)

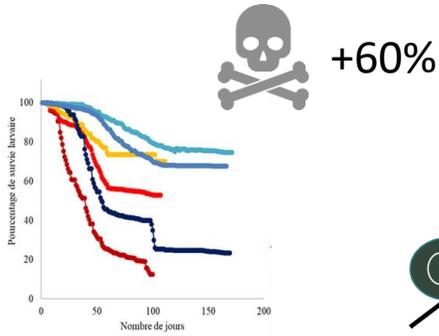


	5°C			8,5°C		
	Témoin	1,5µg/L	3.0 µg/L	Témoin	1,5µg/L	3.0 µg/L
Scoring	C	+5	+6	C	+8	+10

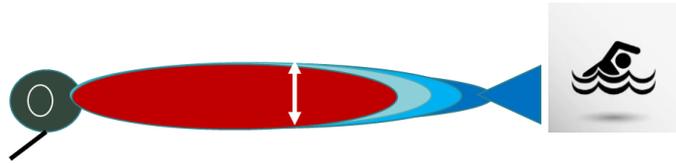
PCB

6PPD-Q

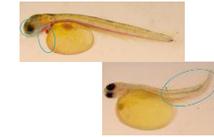




**PCB**



**6PPD-Q**



	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
♂	C	+4	+6	C	+3	+7
♀	C	+4	+9	C	+5	+12

	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
Scoring	C	+5	+6	C	+8	+10

Explication probable pour le lac du Bourget via la transmission maternelle

Ces effets sub-léthaux n'expliquent pas à eux seuls la diminution des populations dans les lacs Léman & Annecy

PCB

CT = contrôle = 0 ng/g

M = dose modérée = 125 ng/g

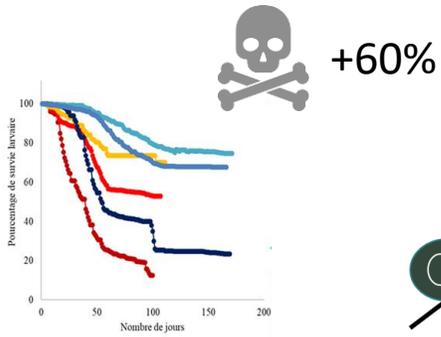
F = dose forte = 200 ng/g

6PPD-Q

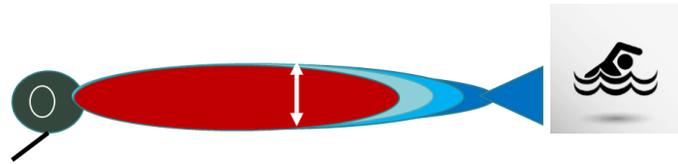
CT = contrôle = 0 ng/g

M = dose modérée = 1,5µg/L

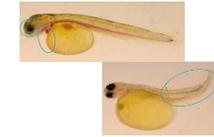
F = dose forte = 3 µg/L



**PCB**



**6PPD-Q**



	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
♂	C	+4	+6	C	+3	+7
♀	C	+4	+9	C	+5	+12

	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
Scoring	C	+5	+6	C	+8	+10

Explication probable pour le lac du Bourget via la transmission maternelle

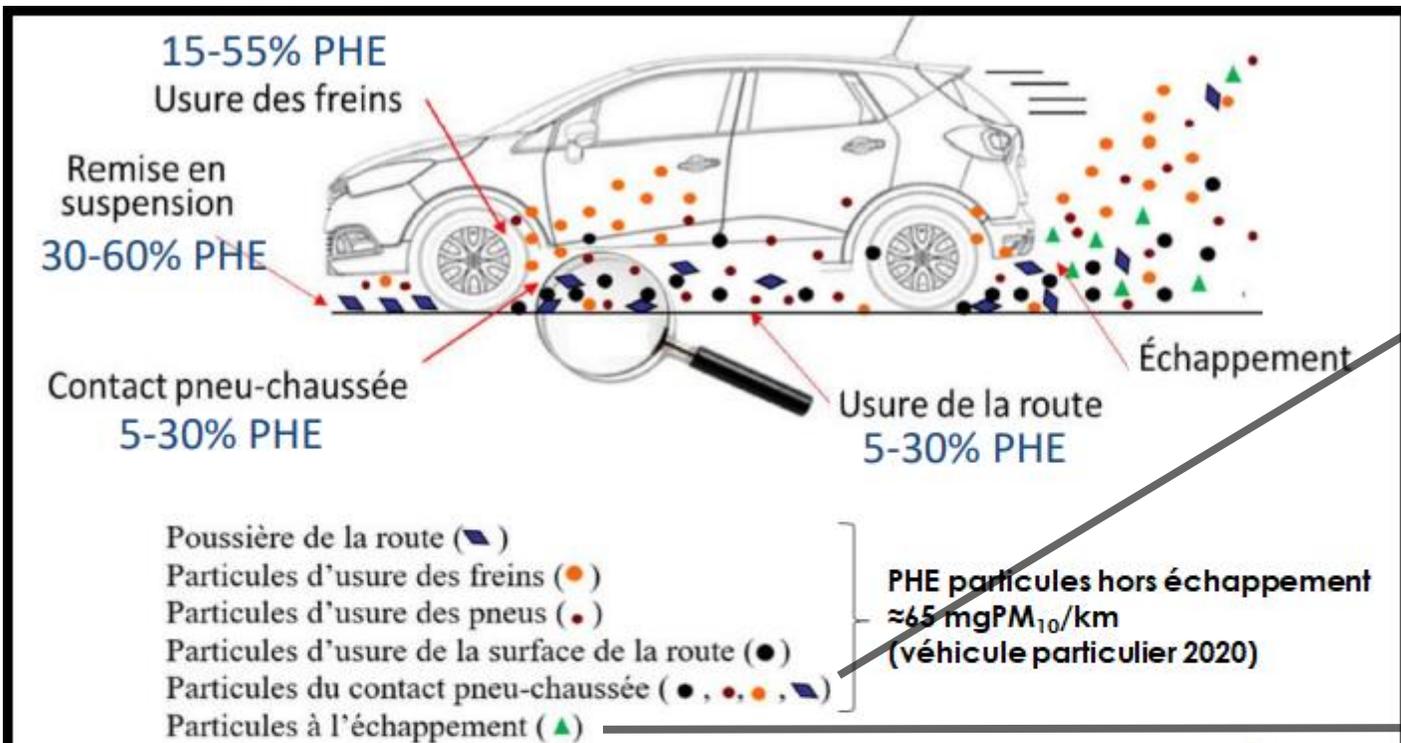
Ces effets sub-léthaux n'expliquent pas à eux seuls la diminution des populations dans les lacs Léman & Annecy

PCB  
 CT = contrôle = 0 ng/g  
 M = dose modérée = 125 ng/g  
 F = dose forte = 200 ng/g

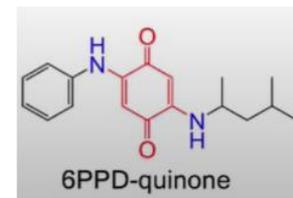
6PPD-Q  
 CT = contrôle = 0 ng/g  
 M = dose modérée = 1,5µg/L  
 F = dose forte = 3 µg/L

D'autres facteurs ?

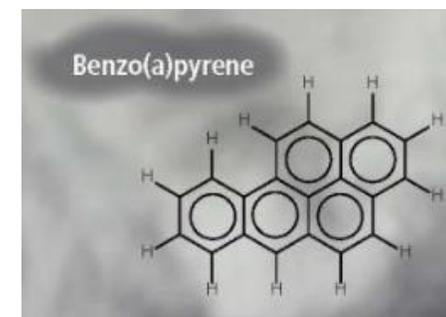




Toxiques organiques associés

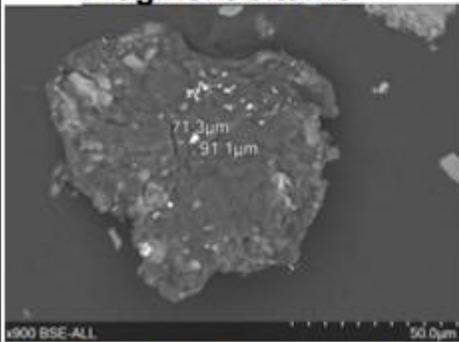


Constituants du pneu  
(6 PPD et 6 PPDQ)

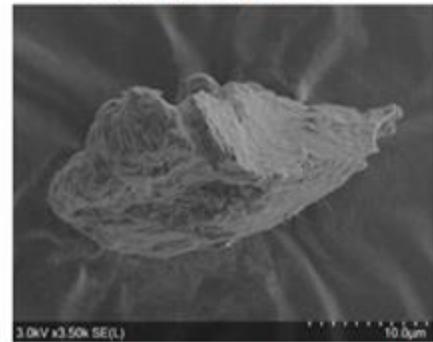


Revêtement +  
échappement : HAP

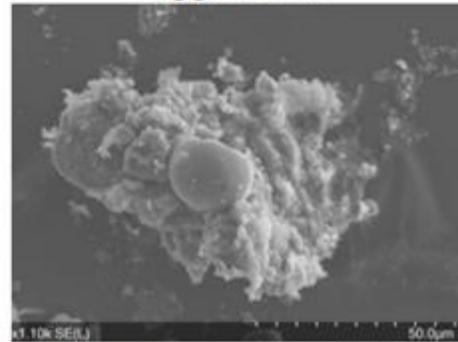
Fragment bitume



Fragment pneu



Agglomérat



BaP (HAP) : présent dans 75% des sédiments des masses d'eau du Bassin RMC

Spéciation et réactivité bien étudiées

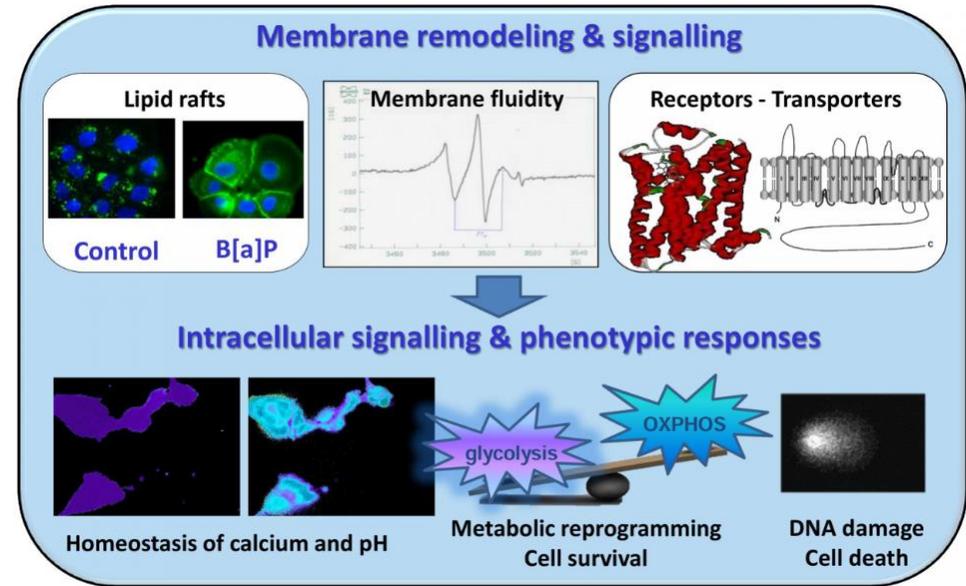
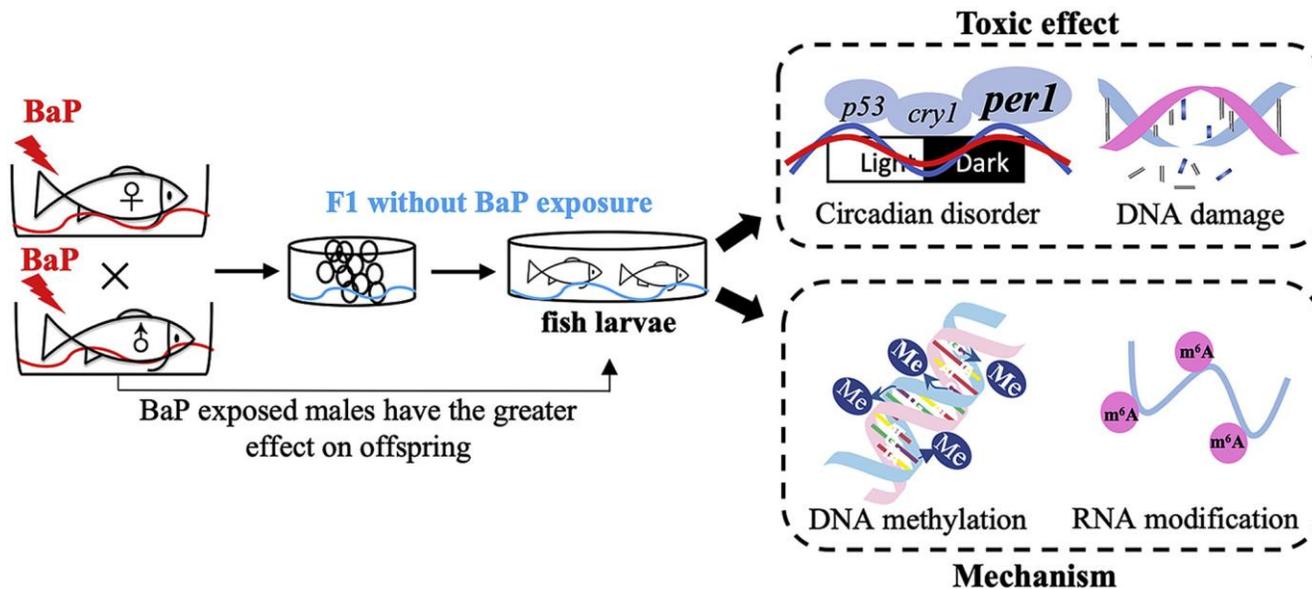


Effets multigénérationnels (*Oryzias melastigma*)

(X. Yin et al., 2020)

Effets oestrogéniques et induction de malformations larvaires

(Cao et al., 2018; Oh et al., 2018; Mu et al., 2020; Brion et al., 2021)



projet Itmo Cancer / AVIESAN : « METAhCOL »

# « Particules d'usure de pneus et chaussée : transfert, réactivité et écotoxicité des polluants associés dans les milieux aquatiques. »



Thèse de Fanny-Laure Thomassin

Encadrement: Emmanuel Naffrechoux et Emilie Réalis-Doyelle

## Axe 1

Les polluants *in-natura*

Occurrence, devenir, transferts dans un lac périalpin

## Axe 2

Les polluants *in-vitro*

Impacts physiques, physiologiques, démographiques, comportementaux sur les premiers stades de vie

# « Particules d'usure de pneus et chaussée : transfert, réactivité et écotoxicité des polluants associés dans les milieux aquatiques. »



Thèse de Fanny-Laure Thomassin

Encadrement: Emmanuel Naffrechoux et Emilie Réalis-Doyelle

## Axe 1

Les polluants *in-natura*

Occurrence, devenir, transferts dans un lac périalpin

## Axe 2

Les polluants *in-vitro*

Impacts physiques, physiologiques, démographiques, comportementaux sur les premiers stades de vie

# Methods

## 6PPD-quinone

**0.5 µg/L** : Concentration moyenne dans le bassin versant urbain (Johannessen et al, 2021)

**3 µg/L** : Concentration très élevée enregistrée dans les déversoirs (Tian et al, 2021)

+ 2 « cocktail » conditions

- **0.5 µg/L 6PPD-q + 8 ng/L BaP**
- **3 µg/L 6PPD-q + 8 ng/L BaP**

## BaP

**8 ng/L** : en dessous de la concentration médiane enregistrée dans déversoirs (Meng et al, 2019)

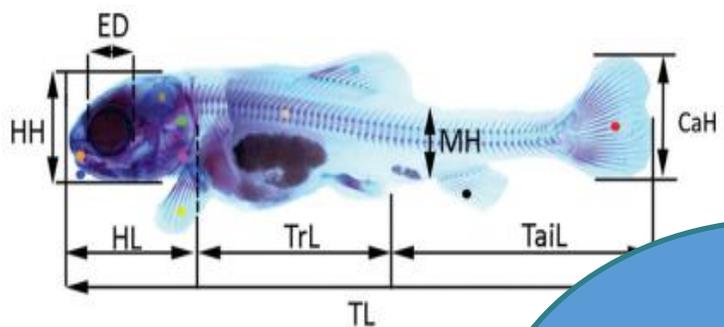


## Temperature

**5°C** : T°C optimale de développement (Jobling et al, 1993)

**8.5°C** : RCP-SSP5-8.5 (Portner et al, 2022)



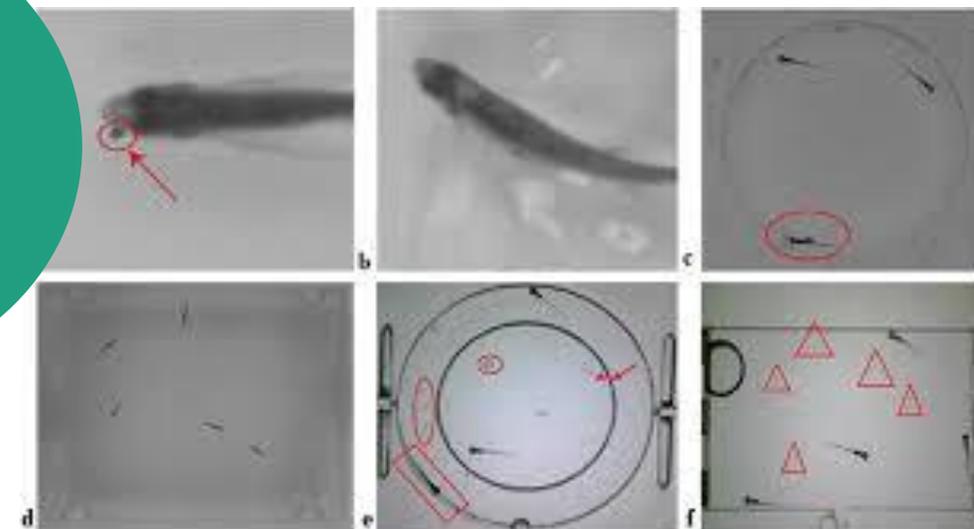
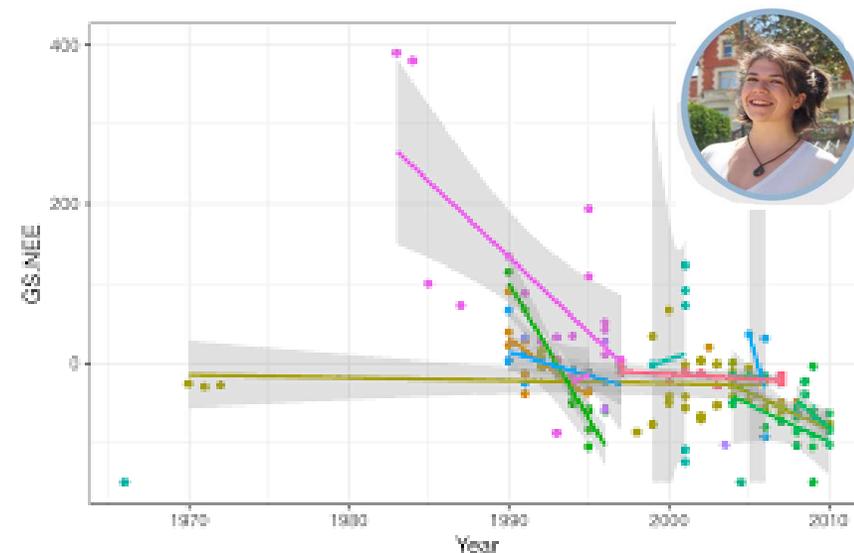
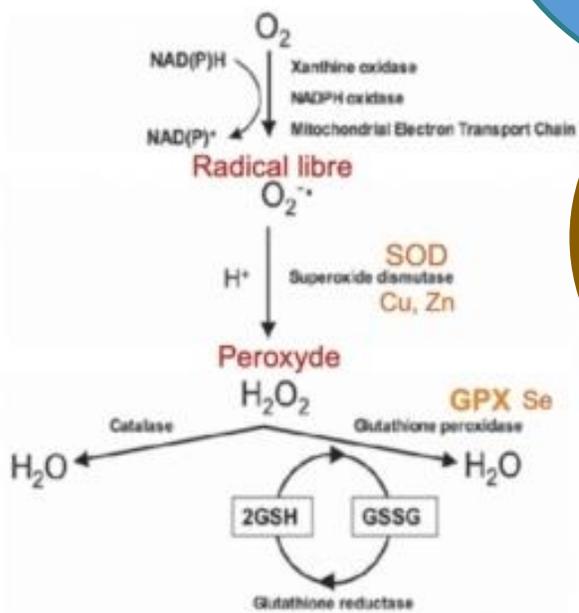


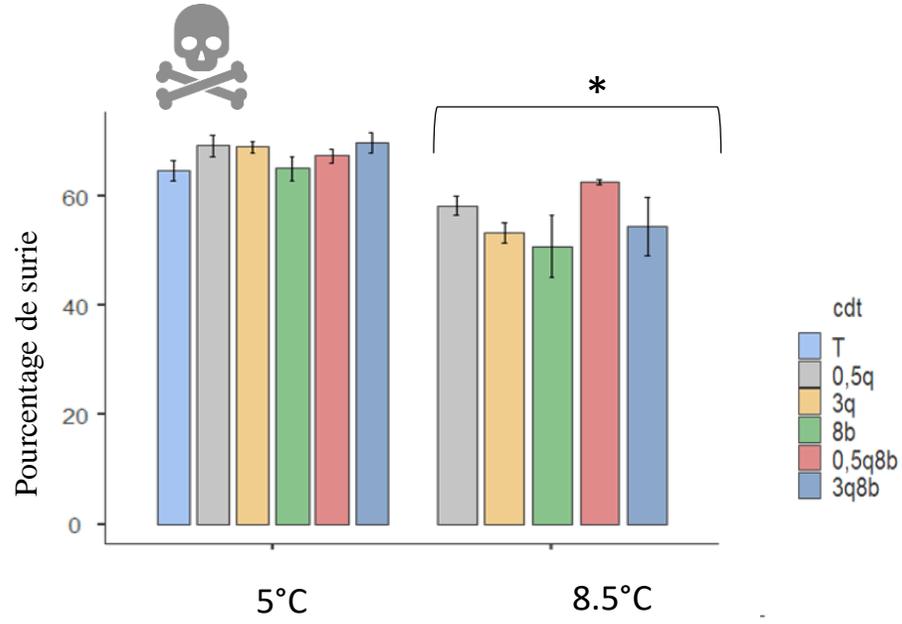
Bio-demographique  
(taux de survie, croissance...)

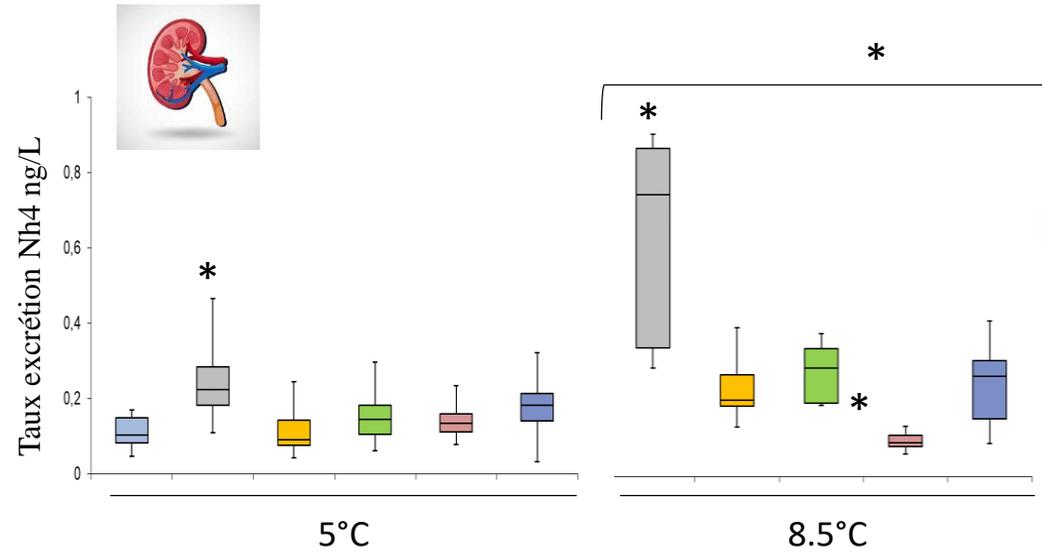
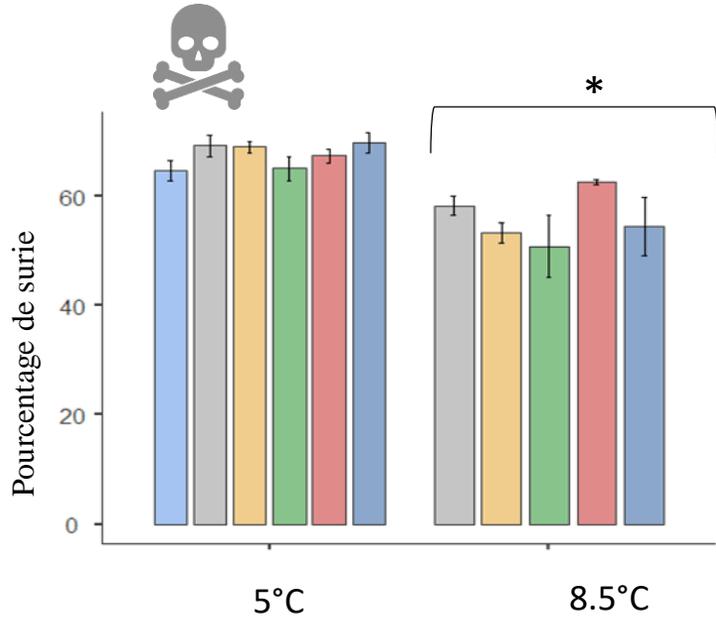
Effets toxiques  
(Synergique, additif, nul- GLMM)

Physiologie  
(stress oxydatif, métabolisme...)

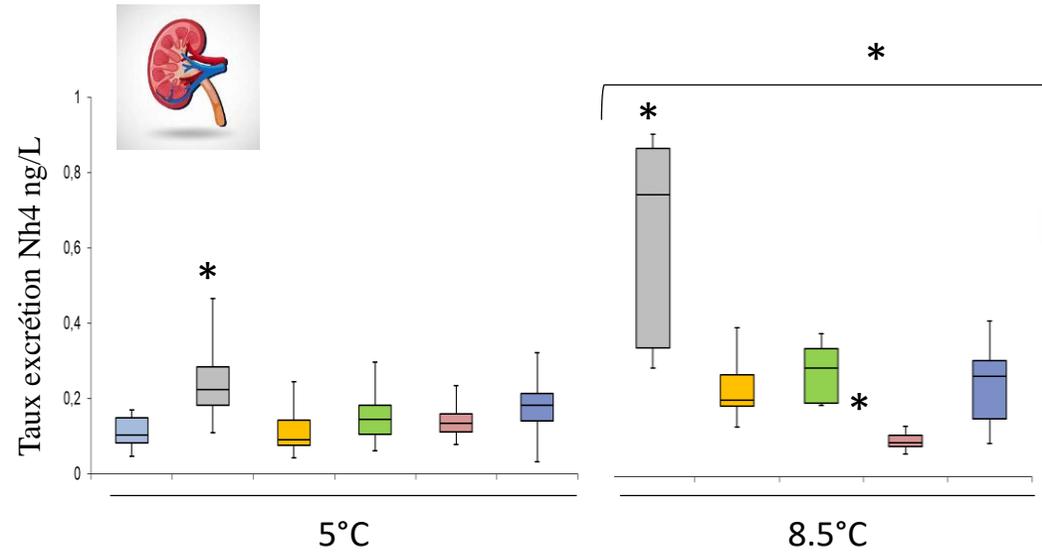
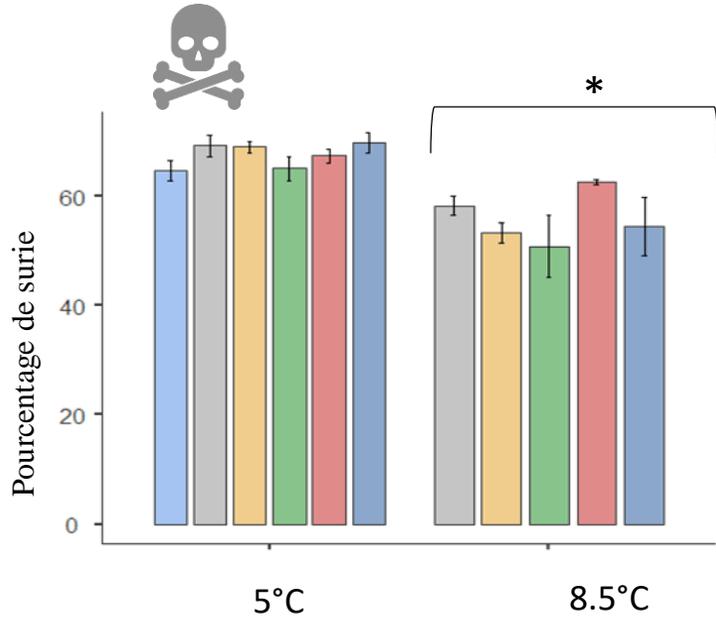
Comportement  
(activité de nage, anxiété...)



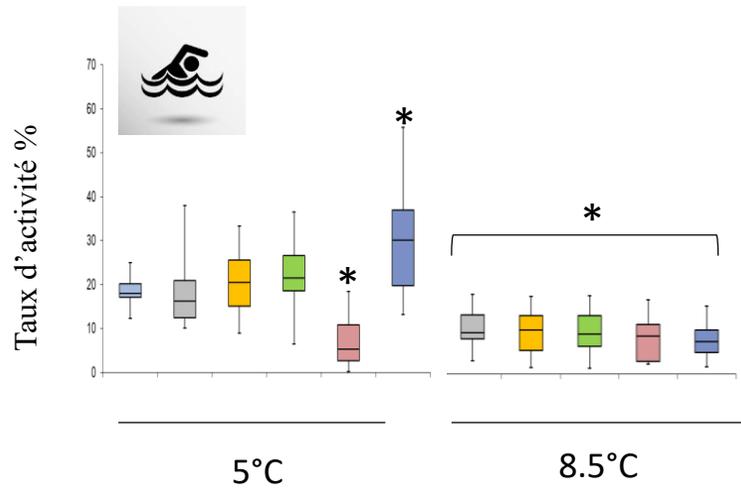


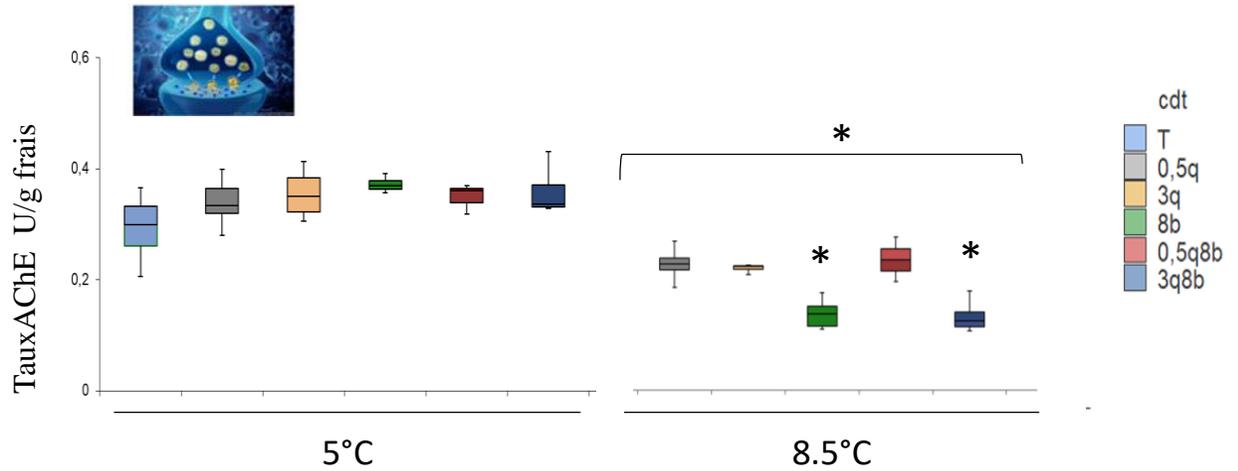
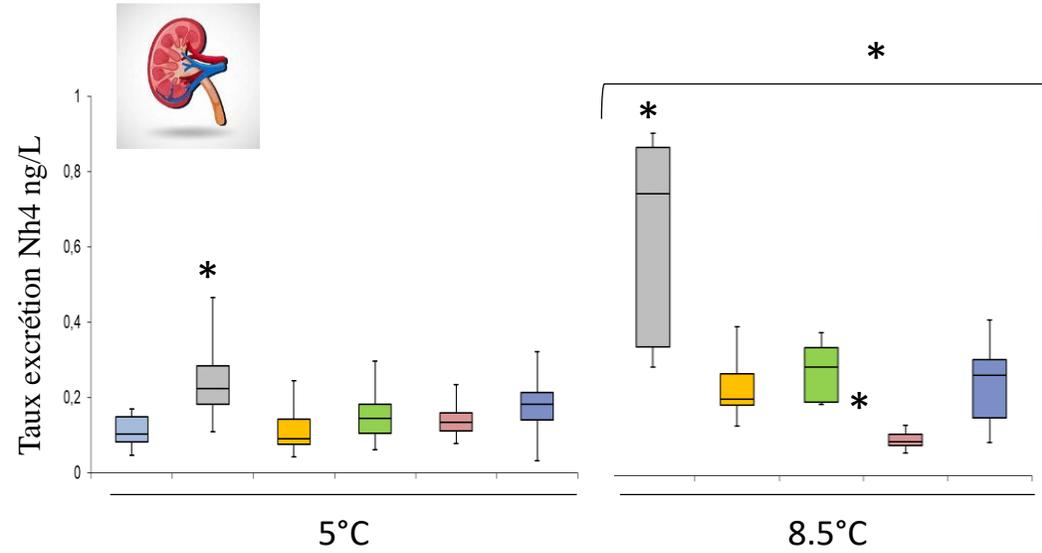
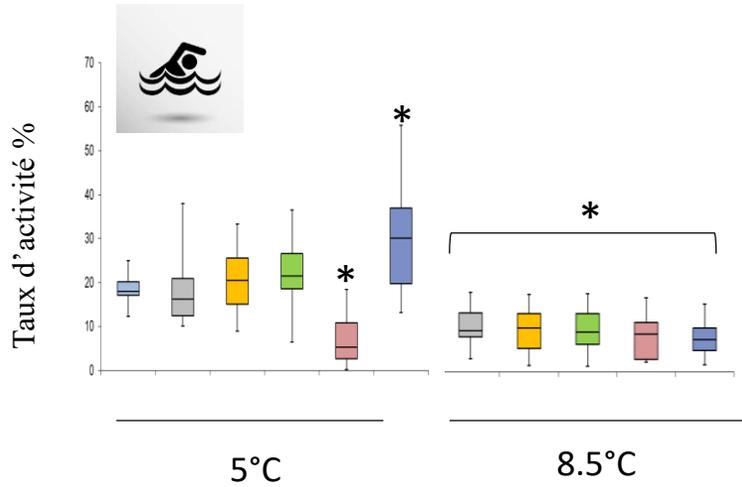
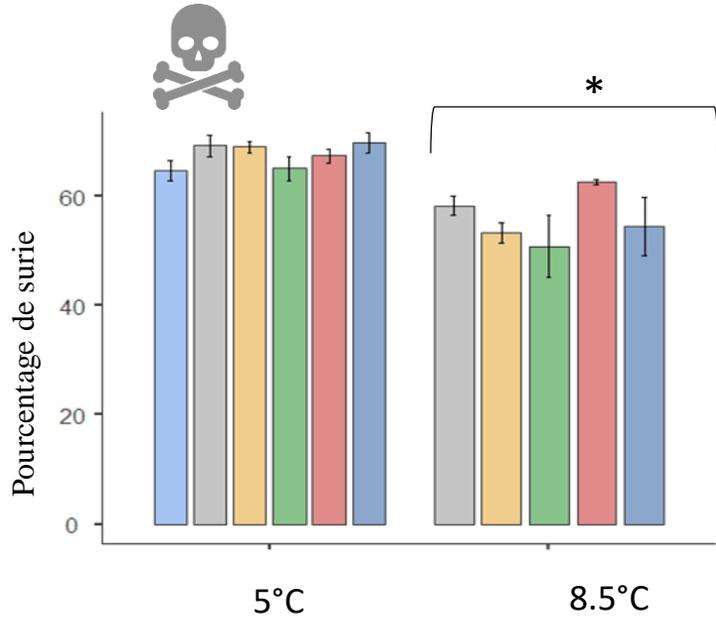


- cdt
- T
  - 0,5q
  - 3q
  - 8b
  - 0,5q8b
  - 3q8b



- cdt
- T
  - 0,5q
  - 3q
  - 8b
  - 0,5q8b
  - 3q8b





cdt

- T
- 0,5q
- 3q
- 8b
- 0,5q8b
- 3q8b

cdt

- T
- 0,5q
- 3q
- 8b
- 0,5q8b
- 3q8b



Conditions	Impacts global	Effets observés	Mécanismes principaux
Cocktail à 8.5°C	●● Très élevé	forte perturbation comportementale, perte de protéines, déréglementation enzymatique (AChE ↓, GST ↓)	Neurotoxicité synergique + déplétion énergétique

●● Très élevé = toxicité cumulative / synergique, forte préoccupation

● Élevé = toxicité claire, métabolisme / comportement modifié

Modéré-élevé = critères d'évaluation multiples, stress réversible

Modéré = changements sublétaux, compensation partielle



Conditions	Impacts global	Effets observés	Mécanismes principaux
<b>Cocktail à 8.5°C</b>	●● Très élevé	forte perturbation comportementale, perte de protéines, déréglementation enzymatique (AChE ↓, GST ↓)	Neurotoxicité synergique + déplétion énergétique
<b>BaP à 8.5°C</b>	● Elevé	Forte perturbation comportementale, inhibition des enzymes (AChE ↓, SOD ↓), déplétion des protéines	Neurotoxicité, stress oxydatif

●● Très élevé = toxicité cumulative / synergique, forte préoccupation

● Elevé = toxicité claire, métabolisme / comportement modifié

Modéré-élevé = critères d'évaluation multiples, stress réversible

Modéré = changements sublétaux, compensation partielle



Conditions	Impacts global	Effets observés	Mécanismes principaux
<b>Cocktail à 8.5°C</b>	●● Très élevé	forte perturbation comportementale, perte de protéines, déréglementation enzymatique (AChE ↓, GST ↓)	Neurotoxicité synergique + déplétion énergétique
<b>BaP à 8.5°C</b>	● Elevé	Forte perturbation comportementale, inhibition des enzymes (AChE ↓, SOD ↓), déplétion des protéines	Neurotoxicité, stress oxydatif
<b>Cocktail à 5°C</b>	Modéré-élevé	Hyperactivité, réduction de l'activité, augmentation du stress oxydatif et de l'anxiété	Comportement anxieux, stress oxydatif

●● Très élevé = toxicité cumulative / synergique, forte préoccupation

● Elevé = toxicité claire, métabolisme / comportement modifié

Modéré-élevé = critères d'évaluation multiples, stress réversible

Modéré = changements sublétaux, compensation partielle



Conditions	Impacts global	Effets observés	Mécanismes principaux
<b>Cocktail à 8.5°C</b>	●● Très élevé	forte perturbation comportementale, perte de protéines, déréglementation enzymatique (AChE ↓, GST ↓)	Neurotoxicité synergique + déplétion énergétique
<b>BaP à 8.5°C</b>	● Elevé	Forte perturbation comportementale, inhibition des enzymes (AChE ↓, SOD ↓), déplétion des protéines	Neurotoxicité, stress oxydatif
<b>Cocktail à 5°C</b>	Modéré-élevé	Hyperactivité, réduction de l'activité, augmentation du stress oxydatif et de l'anxiété	Comportement anxieux, stress oxydatif
<b>6PPD-q à 8.5°C</b>	Modéré	ACHE réduite, augmentation de l'excrétion du NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , diminution des protéines, altération de la croissance	Neurotoxicité, stress métabolique

●● Très élevé = toxicité cumulative / synergique, forte préoccupation

● Elevé = toxicité claire, métabolisme / comportement modifié

Modéré-élevé = critères d'évaluation multiples, stress réversible

Modéré = changements sublétaux, compensation partielle



Conditions	Impacts global	Effets observés	Mécanismes principaux
<b>Cocktail à 8.5°C</b>	●● Très élevé	forte perturbation comportementale, perte de protéines, déréglementation enzymatique (AChE ↓, GST ↓)	Neurotoxicité synergique + déplétion énergétique
<b>BaP à 8.5°C</b>	● Elevé	Forte perturbation comportementale, inhibition des enzymes (AChE ↓, SOD ↓), déplétion des protéines	Neurotoxicité, stress oxydatif
<b>Cocktail à 5°C</b>	Modéré-élevé	Hyperactivité, réduction de l'activité, augmentation du stress oxydatif et de l'anxiété	Comportement anxieux, stress oxydatif
<b>6PPD-q à 8.5°C</b>	Modéré	ACHE réduite, augmentation de l'excrétion du NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , diminution des protéines, altération de la croissance	Neurotoxicité, stress métabolique
<b>BaP à 5°C</b>	Modéré	Neuroactivation et stress oxydatif	Neuroactivation, stress oxydatif léger

●● Très élevé = toxicité cumulative / synergique, forte préoccupation

● Elevé = toxicité claire, métabolisme / comportement modifié

Modéré-élevé = critères d'évaluation multiples, stress réversible

Modéré = changements sublétaux, compensation partielle

# « Particules d'usure de pneus et chaussée : transfert, réactivité et écotoxicité des polluants associés dans les milieux aquatiques. »



Thèse de Fanny-Laure Thomassin

Encadrement: Emmanuel Naffrechoux et Emilie Réalis-Doyelle

## Axe 1

Les polluants *in-natura*

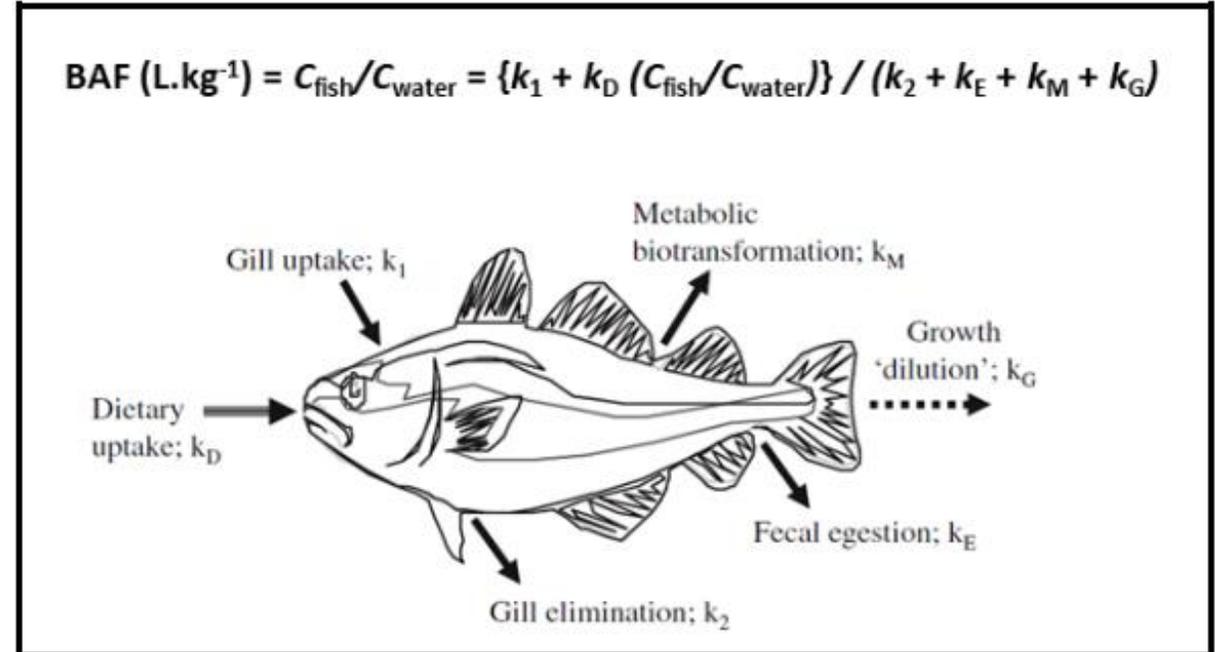
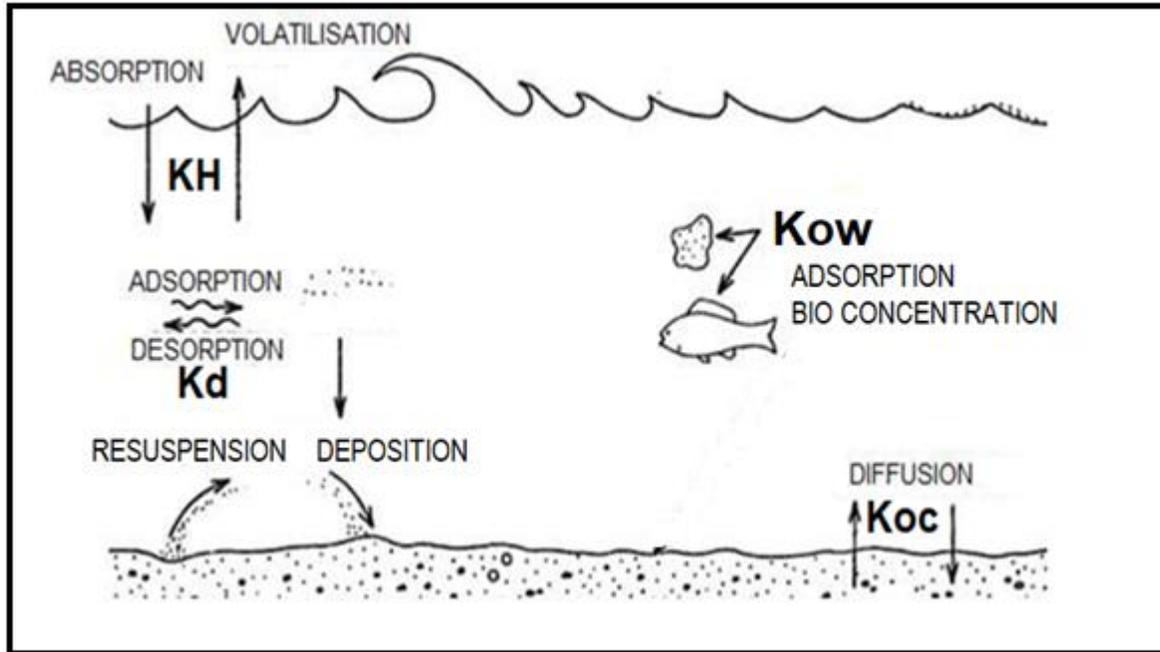
Occurrence, devenir, transferts dans un lac périalpin

## Axe 2

Les polluants *in-vitro*

Impacts physiques, physiologiques, démographiques, comportementaux sur les premiers stades de vie

Devenir de la 6PPD-Q dans les écosystèmes aquatiques?



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat)



Review

Journal of Hazardous Materials 459 (2023) 132265

Tire-rubber related pollutant 6-PPD quinone: A review of its transformation, environmental distribution, bioavailability, and toxicity

Xin Hua, Dayong Wang\*

Medical School, Southeast University, Nanjing, China





Lac d'Annecy :

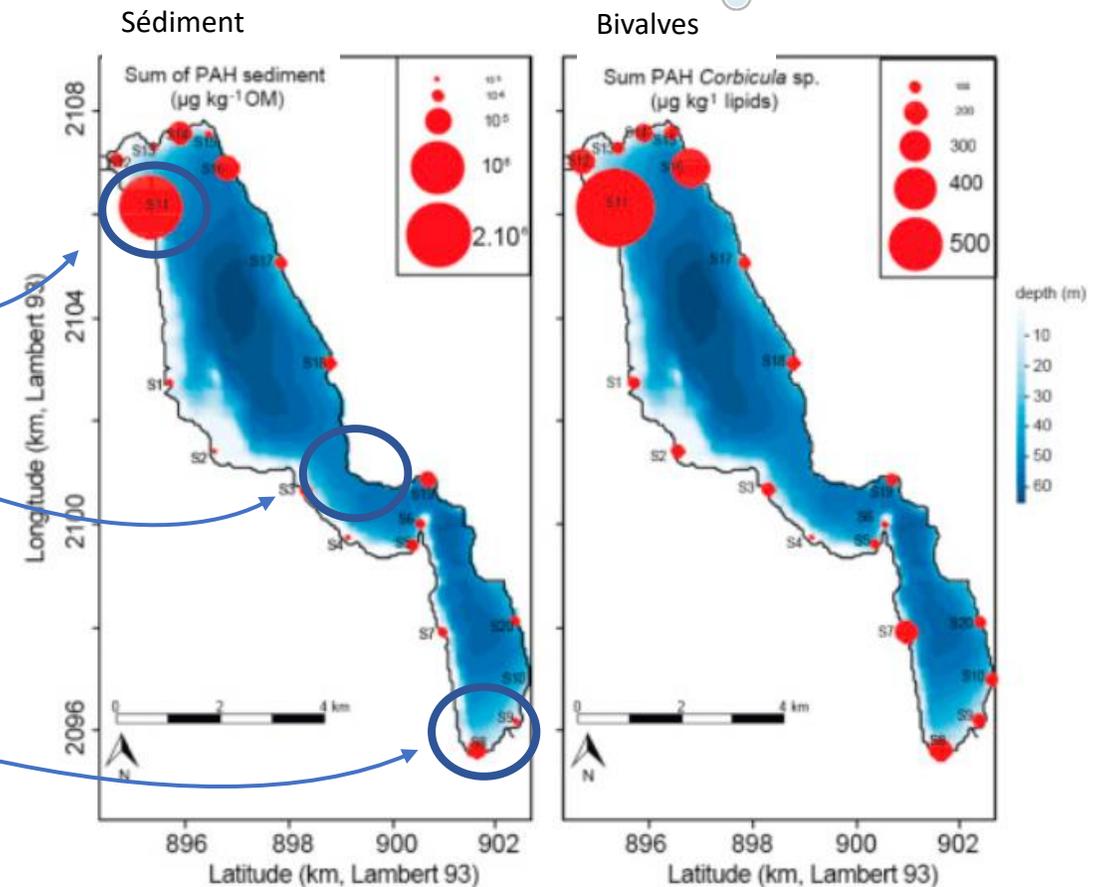
**Ceinture d'assainissement** : apports de polluants uniquement dus aux eaux de ruissellement et dépôts atmosphériques

Réchauffement de 4,8°C à 6,5°C en 20 ans à 50m de profondeur (SILA, rapport annuel 2022)



3 secteurs : **Gradient** contamination ΣHAP sédiment et *C. fluminea* (Lécrivain et al. 2020)

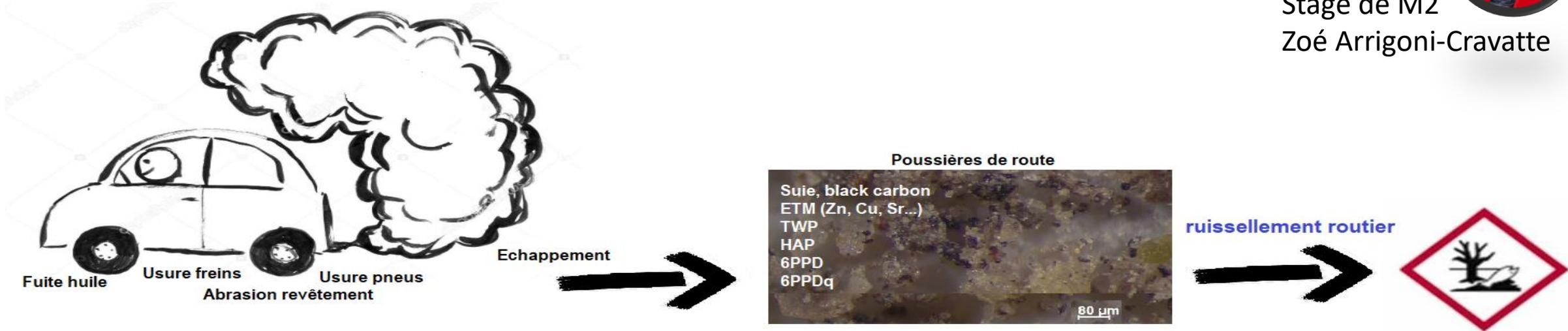
- **La Puya** : avaloirs de rejet d'eau de chaussée, point supposé contaminé
- **Talloires-Montmin** : réserve naturelle, entrée du petit lac, habitat différent
- **Bout du lac** : réserve naturelle, supposée exempte d'apports



## Spéciation et toxicité des contaminants organiques contenus dans les particules d'usure de pneu



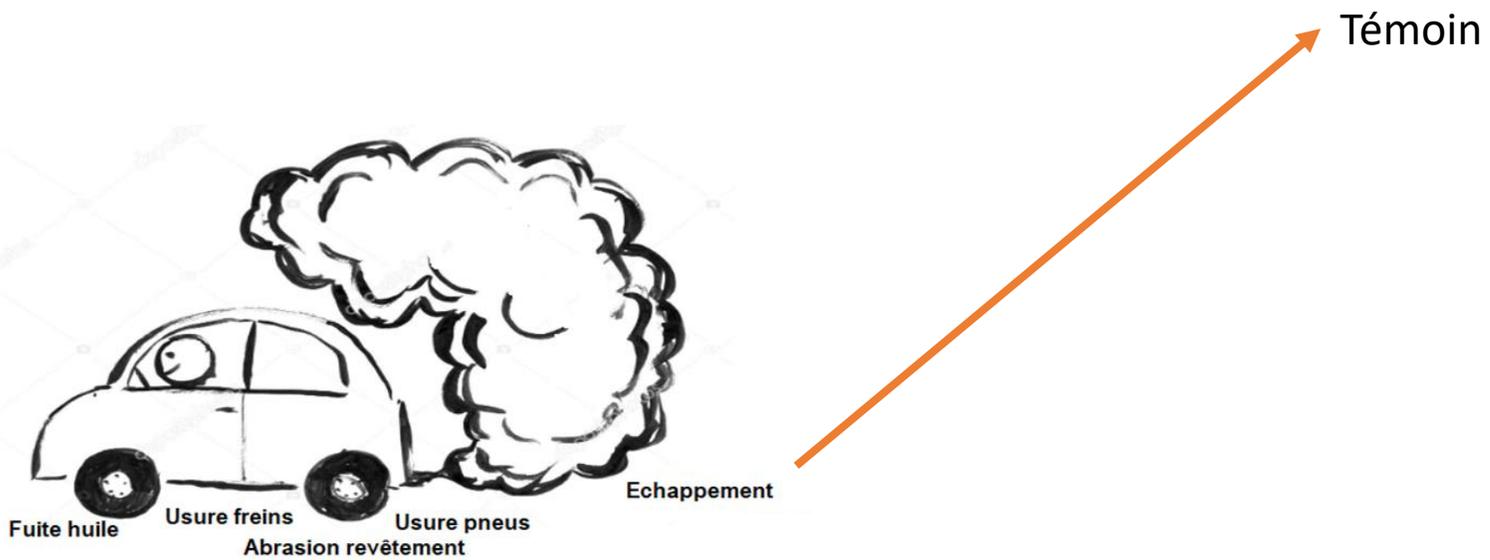
Stage de M2  
Zoé Arrigoni-Cravatte

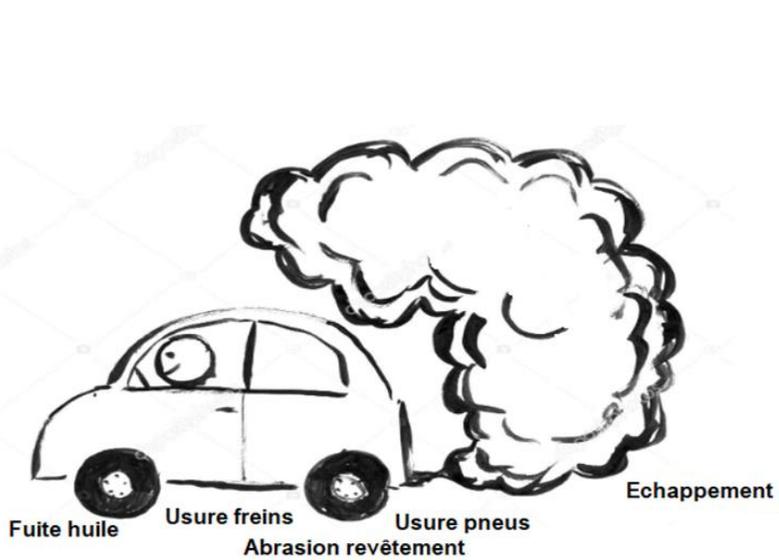


### Toxicité due à

- 6PPDq et 6PPD ?
- Cocktail de solutés ?
- Tire Wear Particules (TWP) ?
- Poussières de route ?





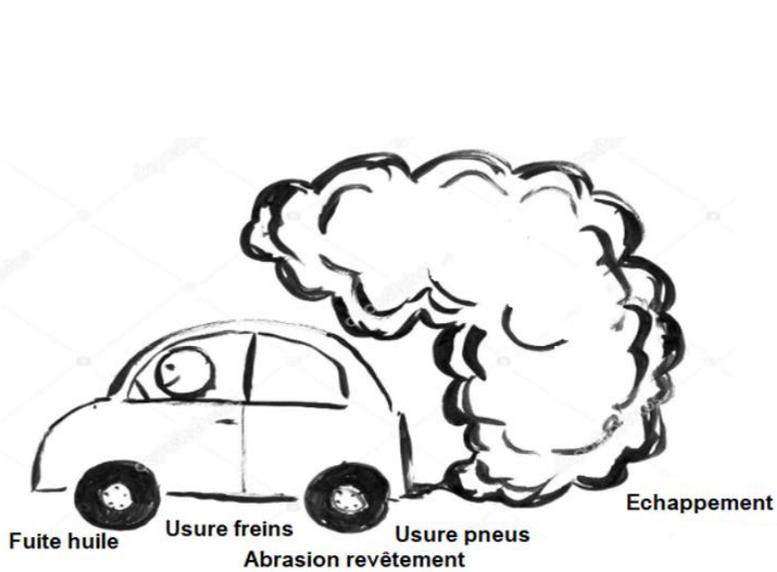


Témoin



→ Fournit par le TIP





Témoin

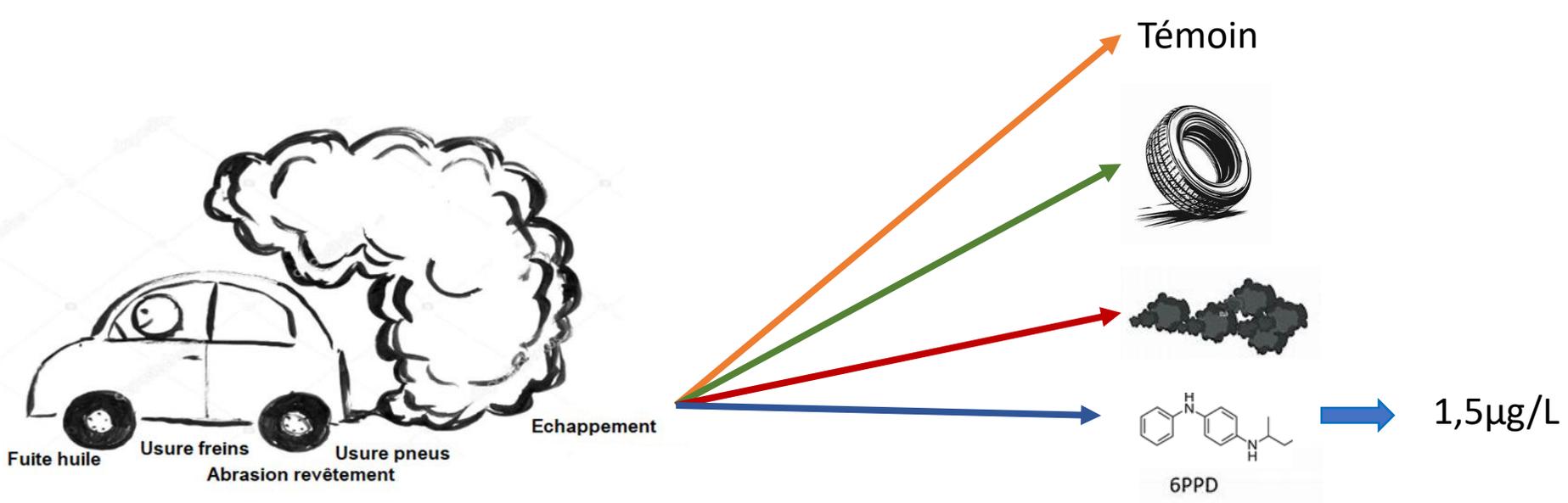


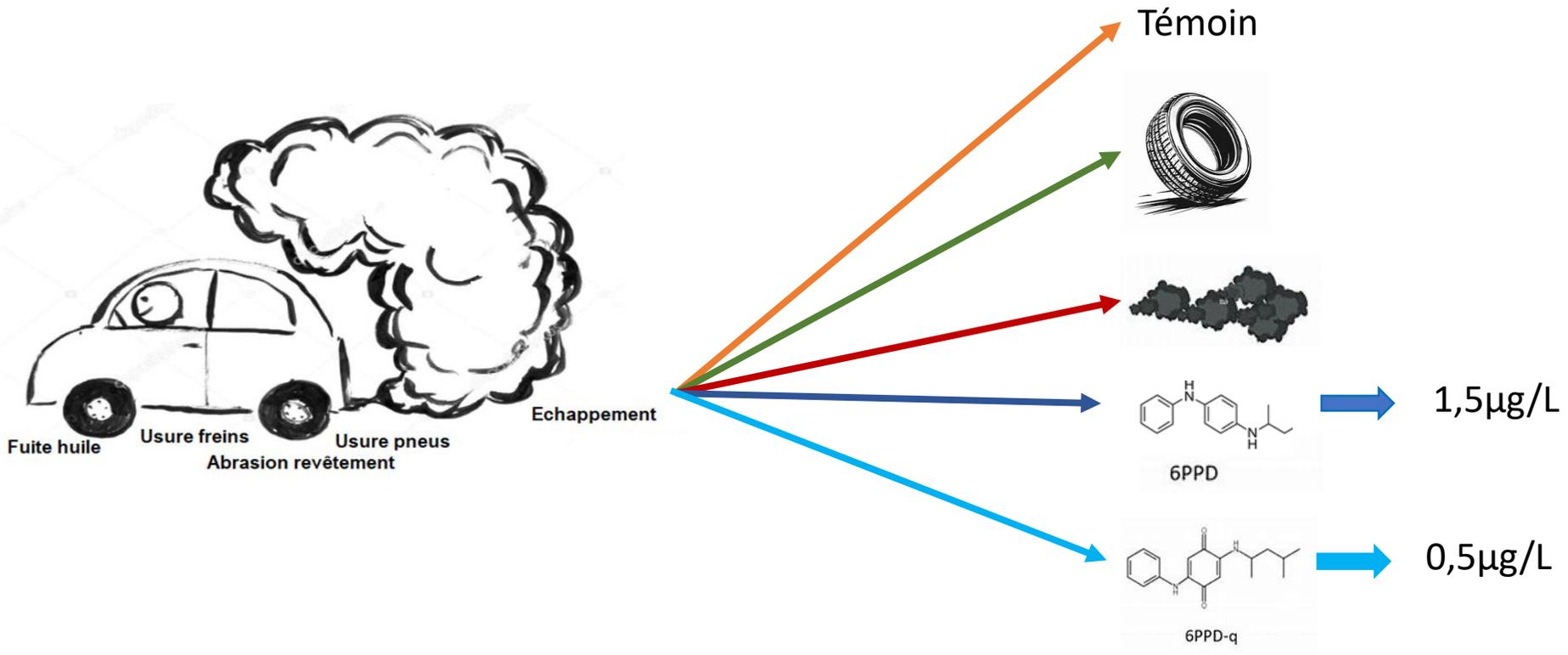
Poussière de route  
prélevée le  
20 000 véhicules/jours  
200 g de PR/ jour

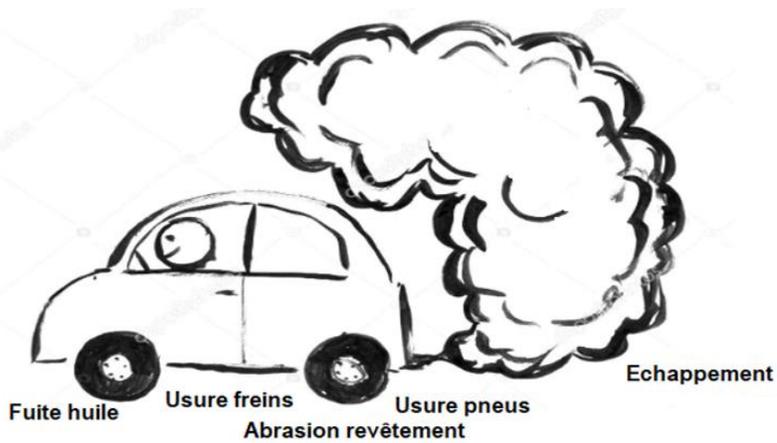


RD 1504

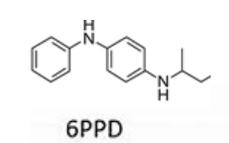




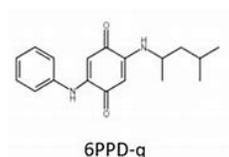




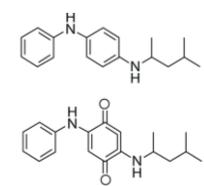
Témoin



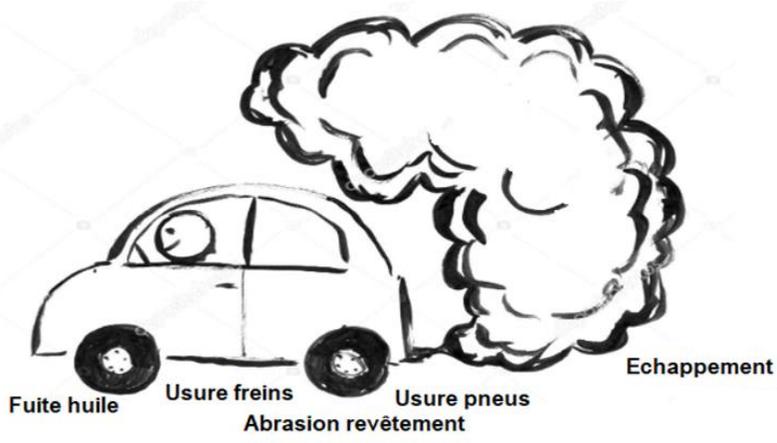
1,5µg/L



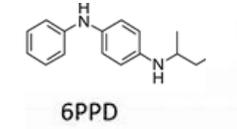
0,5µg/L



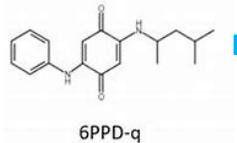
1,5µg/L de 6PPD + 0,5 µg/L de 6PPD-q



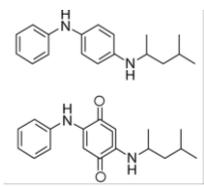
Témoin



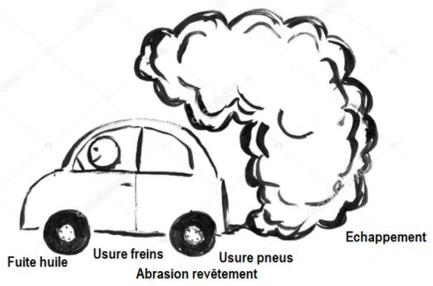
1,5µg/L



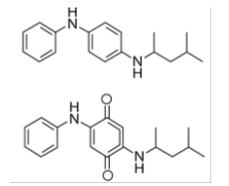
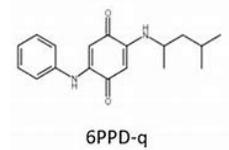
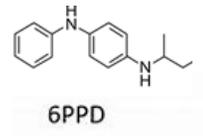
0,5µg/L



1,5µg/L de 6PPD + 0,5 µg/L de 6PPD-q



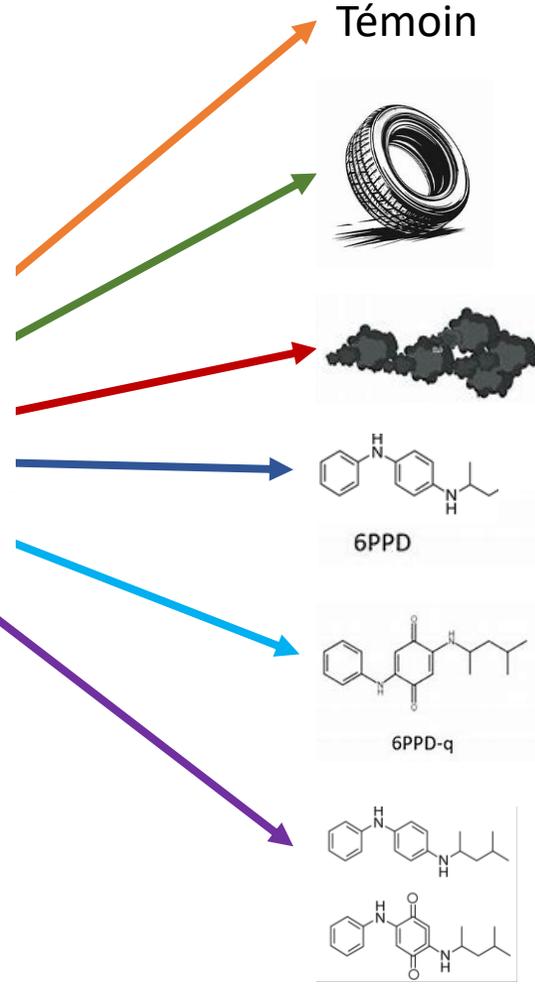
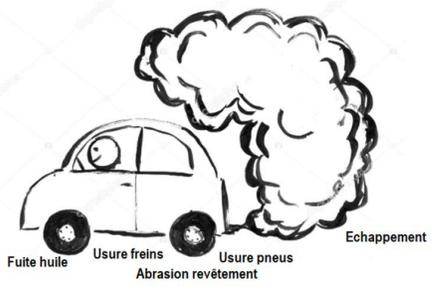
Témoin



HAP + 6PPD + 6PPD-q

- Dosage dans l'eau
- Dosage dans les gammars
- Dosage dans le sable





HAP + 6PPD + 6PPD-q

Dosage dans l'eau

Dosage dans les gammars

Dosage dans le sable



Rythme de vie

Stratégie biodémographique

Comportement

Physiologie

Score bas

Score haut

Variation en fonction de l'environnement

D'après Réale et al. (2010) et copy style (Koolhaas et al., 1999)

Théorie des POLS

OXIDATIVE STRESS

Normal Cell

Free Radicals Attacking Cell

Cell with Oxidative Stress

## La chimie



		6PPD ( $\mu\text{g/g PR}$ )	6PPDQ ( $\mu\text{g/g PR}$ )
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	EC	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

## La chimie



		6PPD ( $\mu\text{g/g PR}$ )	6PPDQ ( $\mu\text{g/g PR}$ )
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	EC	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

		6PPD ( $\mu\text{g/g TWP}$ )	6PPDQ ( $\mu\text{g/g TWP}$ )
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	EC	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92

## La chimie



		6PPD (µg/g PR)	6PPDQ (µg/g PR)
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	EC	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

		6PPD (µg/g TWP)	6PPDQ (µg/g TWP)
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	EC	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92

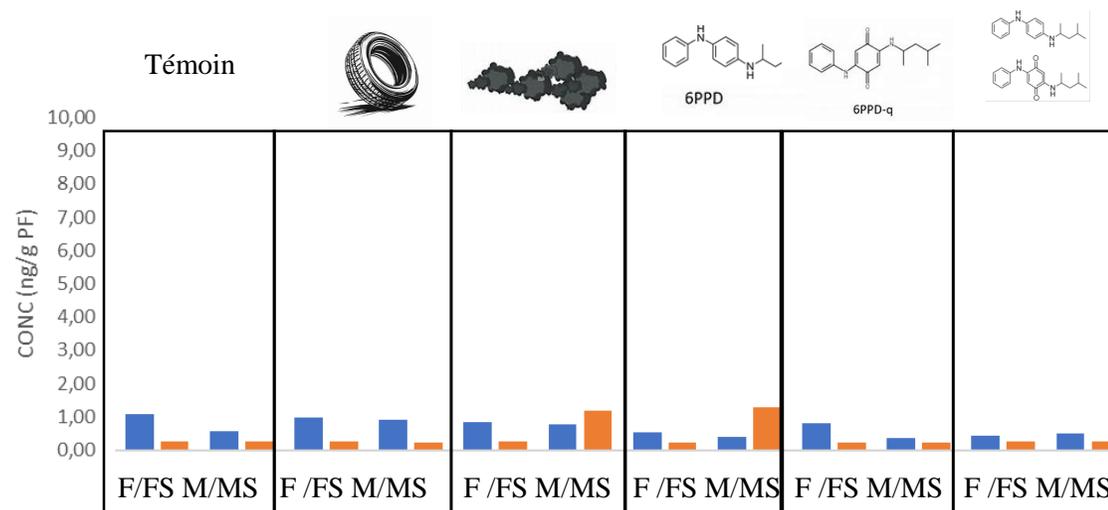
		Phe µg/g	An µg/g	Fla µg/g	Pyr µg/g	Chr µg/g	BeP µg/g	BghiP µg/g	BaP µg/g
	CMTT 10mg	1,35	0,09	2,05	8,64	0,42	0,76	1,70	0,16
	Dust road 25/02/25 (1g)	0,12	0,01	0,20	0,29	0,07	0,07	0,11	0,06

Dosage 6PPD-Q

		conc 6PPD (µg/g PR)	conc 6PPDQ (µg/g PR)
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	ecart-type	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

		conc 6PPD (µg/g TWP)	conc 6PPDQ (µg/g TWP)
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	ecart-type	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92



F : Femelle gammare  
 FS : Sable des femelles  
 M : Male gammare  
 MS : Sable des males



Limite de détection  
 6ppd-q: gammares 1 ng/g PF  
 6ppd-q : sable 0,63 ng/g  
 6ppd-q : eau 0,01 µg/L

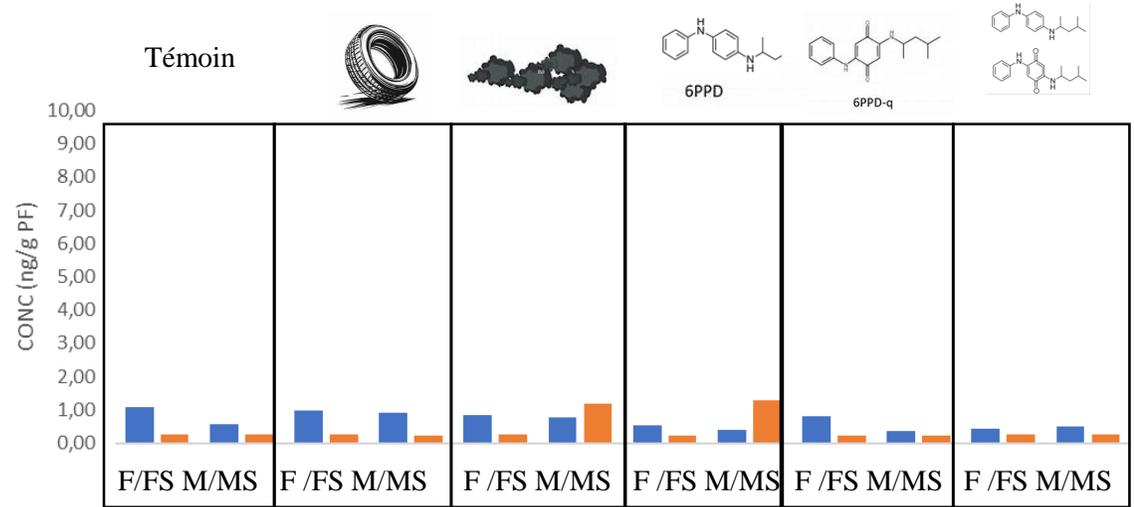


Dosage 6PPD-Q

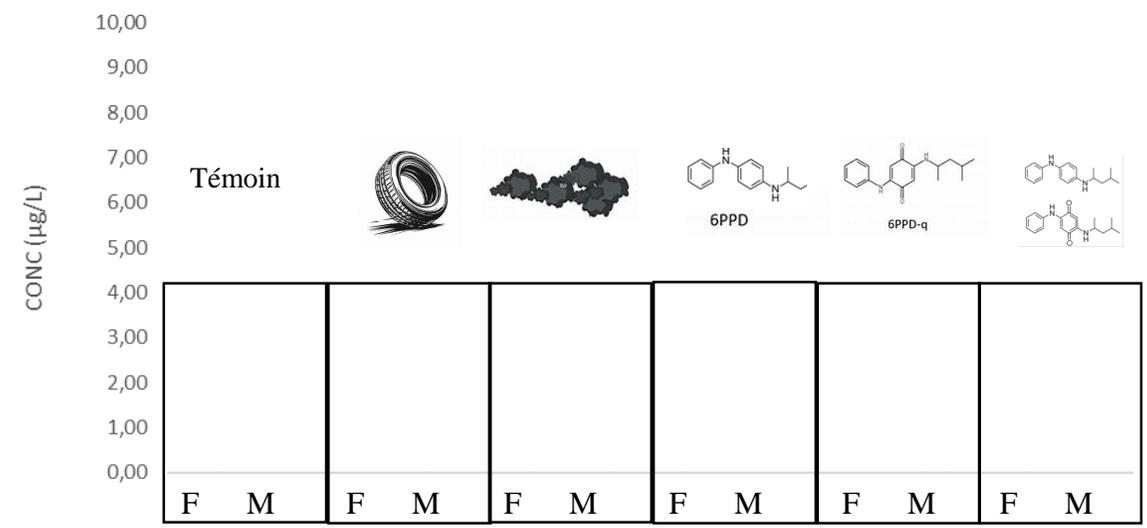
		concentration 6PPD (µg/g PR)	concentration 6PPDQ (µg/g PR)
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	ecart-type	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

		concentration 6PPD (µg/g TWP)	concentration 6PPDQ (µg/g TWP)
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	ecart-type	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92



[6PPDQ] DANS L'EAU  
fin manip



F : Femelle gammare  
 FS : Sable des femelles  
 M : Male gammare  
 MS : Sable des males

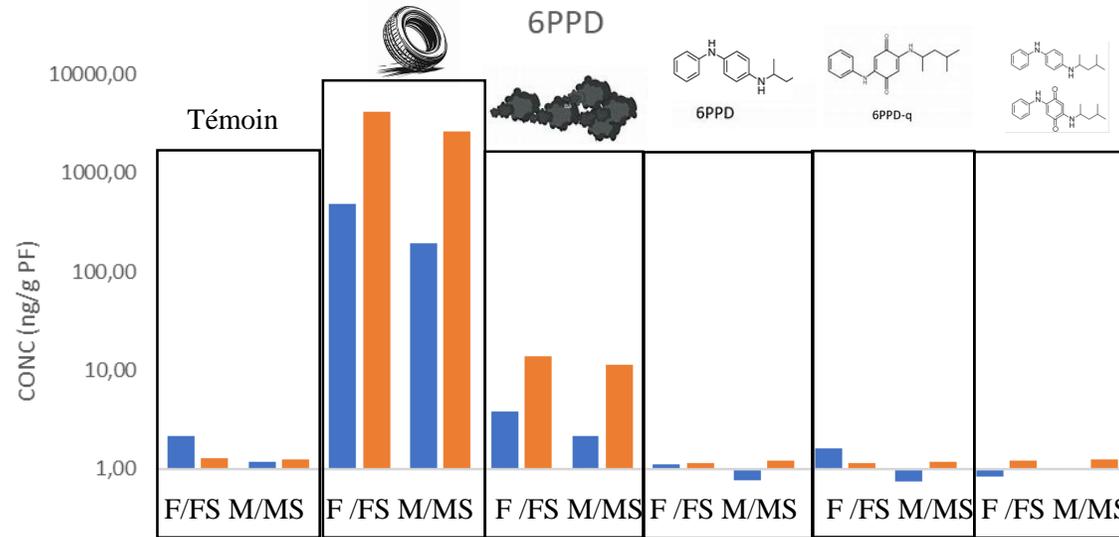


Limite de détection  
 6ppd-q: gammares 1 ng/g PF  
 6ppd-q : sable 0,63 ng/g  
 6ppd-q : eau 0,01 µg/L



Dosage 6PPD

			
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	ecart-type	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24
			
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	ecart-type	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92



F : Femelle gammare  
 FS : Sable des femelles  
 M : Male gammare  
 MS : Sable des males



Limite de détection  
 6ppd : gammares 2 ng/g PF  
 6ppd : sable 1,25 ng/g  
 6ppd : eau 0,02 µg/L

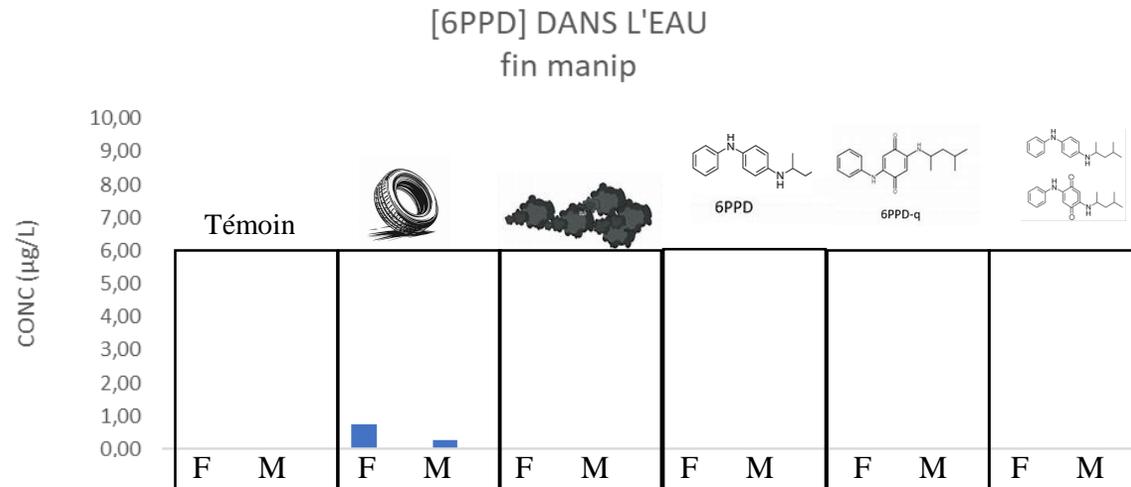
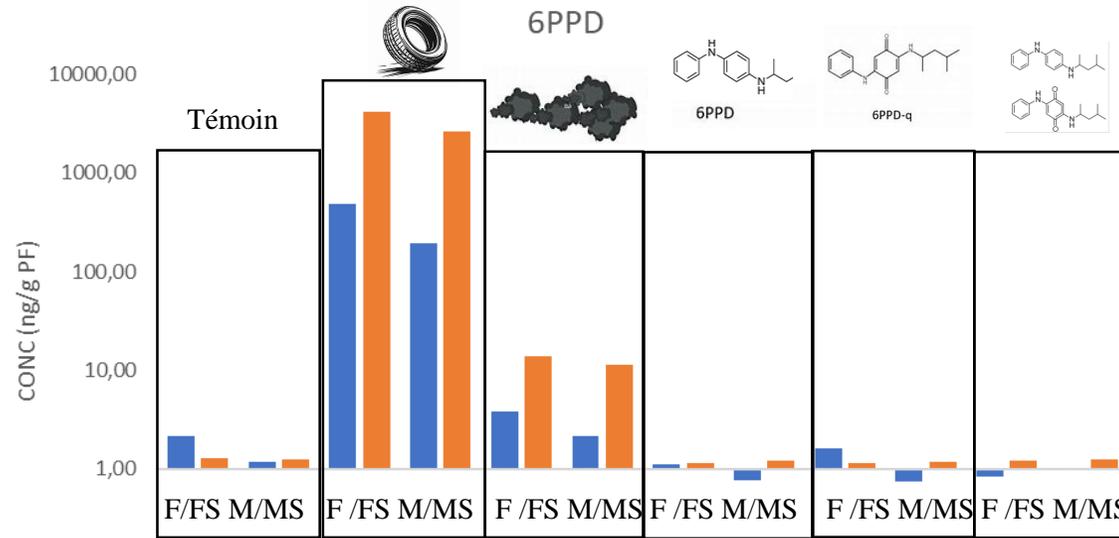


Dosage 6PPD

		concentration 6PPD (µg/g PR)	concentration 6PPDQ (µg/g PR)
PR RD1504	moyenne	1,89	0,81
	ecart-type	0,12	0,03
	CV%	6,20	3,24

		concentration 6PPD (µg/g TWP)	concentration 6PPDQ (µg/g TWP)
CMTT-USA	moyenne	5603,7	4,0
	ecart-type	699,47	0,35
	CV%	12,48	8,92



F : Femelle gammare  
 FS : Sable des femelles  
 M : Male gammare  
 MS : Sable des males

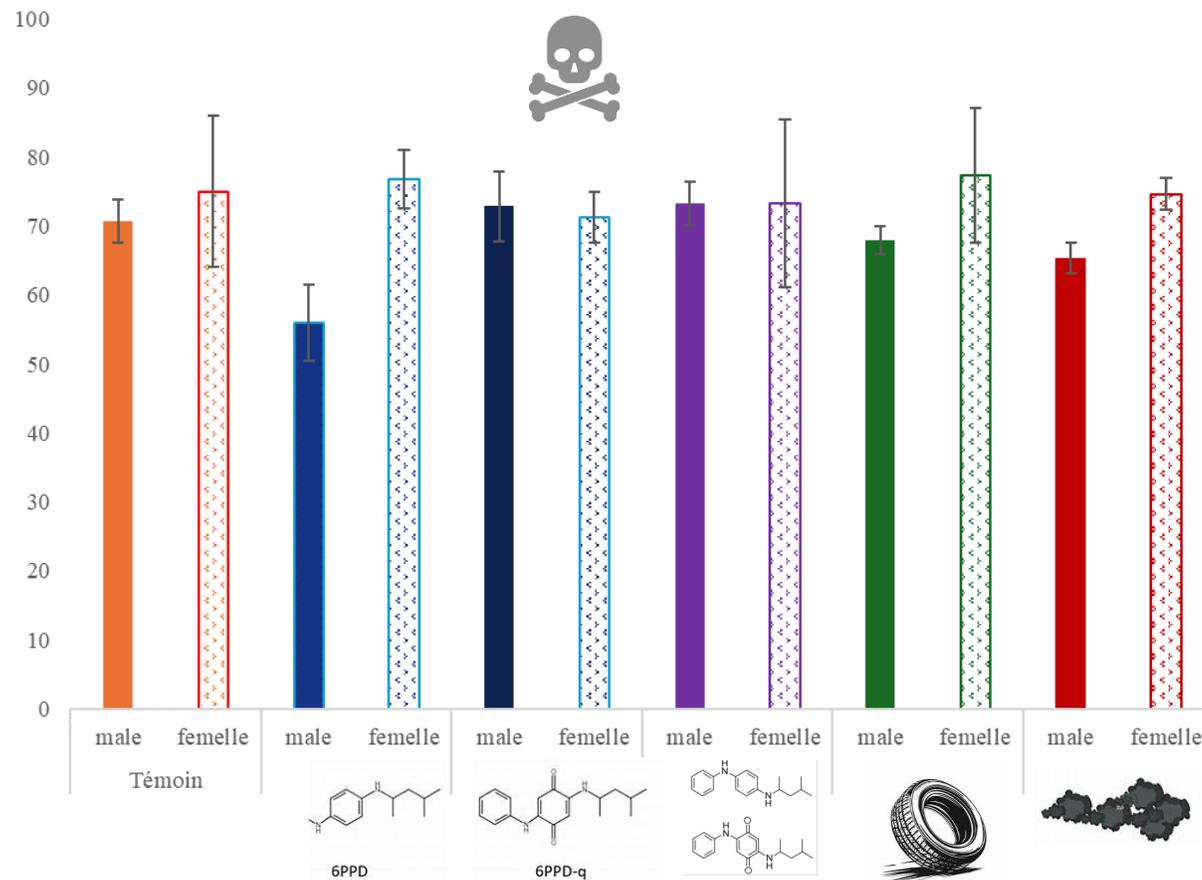


Limite de détection  
 6ppd : gammares 2 ng/g PF  
 6ppd : sable 1,25 ng/g  
 6ppd : eau 0,02 µg/L



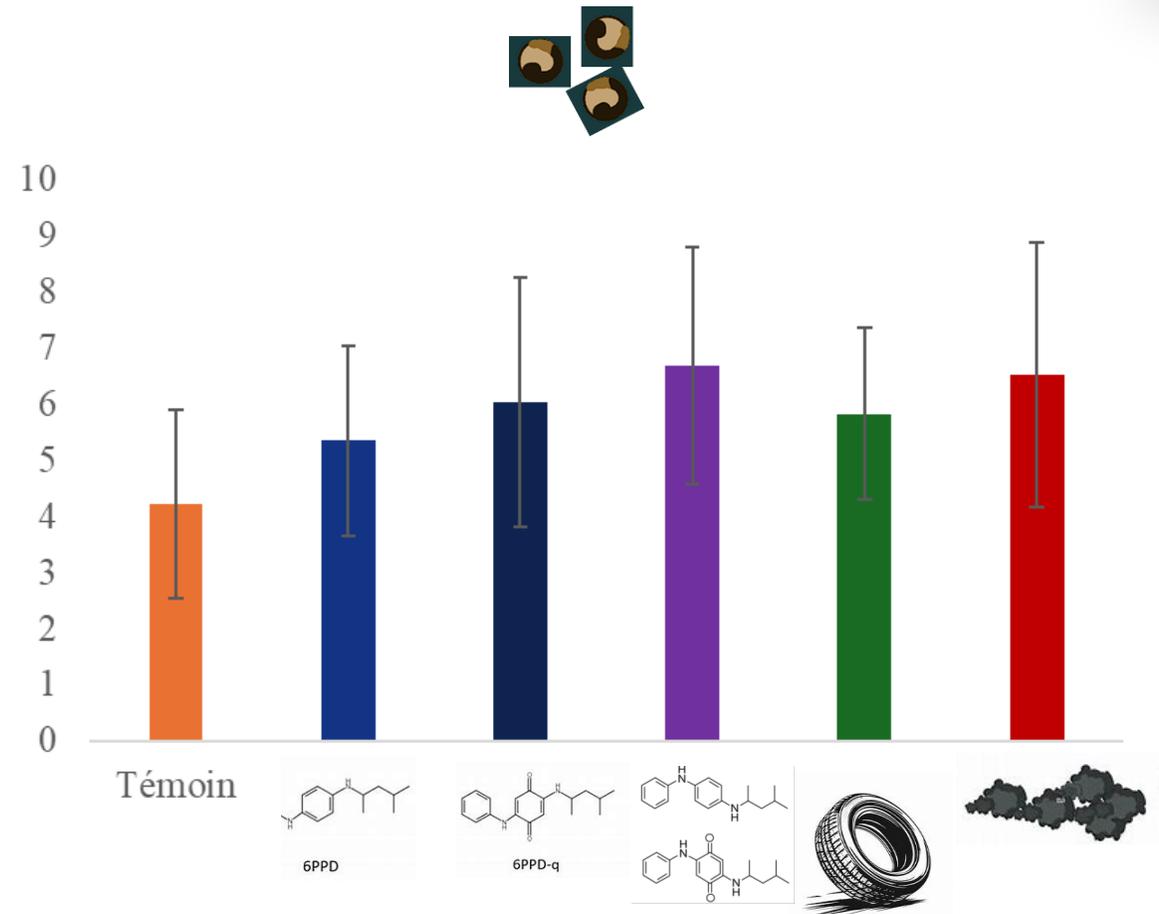
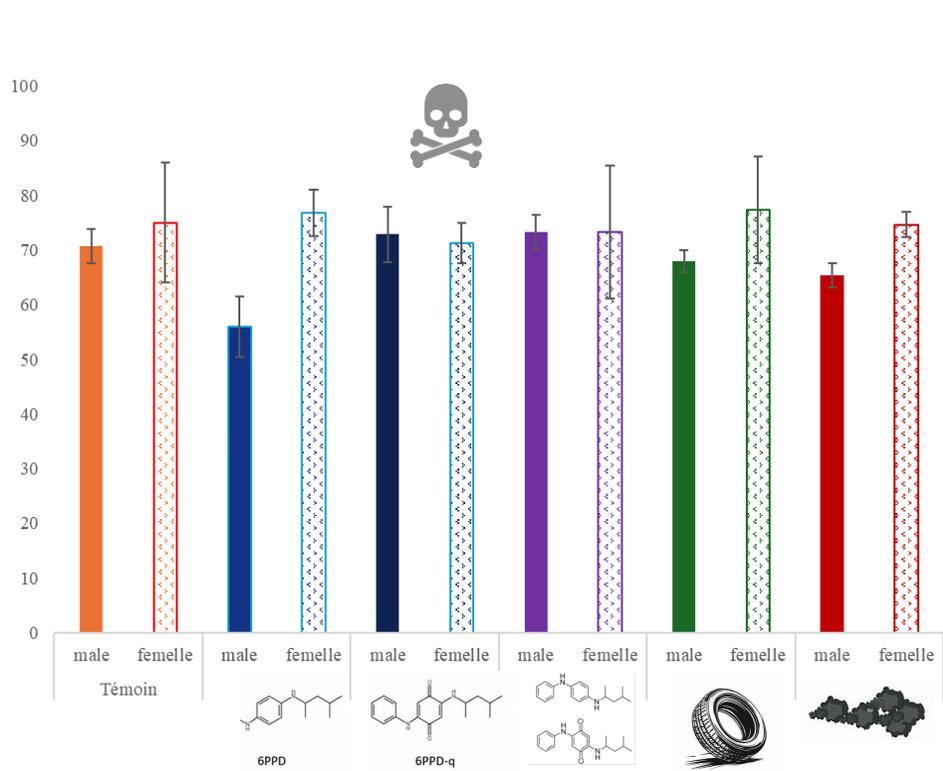


- Quels effets des molécules organiques (6PPD et 6PPDQ) issus des particules d'usure de pneumatiques (PUP) et des poussières de routes impactent les invertébrés aquatiques ?

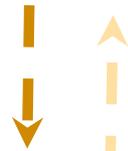




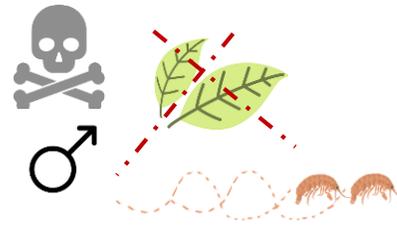
- Quels effets des molécules organiques (6PPD et 6PPDQ) issus des particules d'usure de pneumatiques (PUP) et des poussières de routes impactent les invertébrés aquatiques ?



### PCB

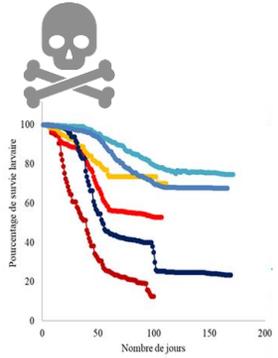


### 6PPD-Q

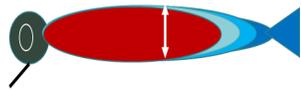


### 6PPD-Q +BaP





PCB



	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
♂	C	+4	+6	C	+3	+7
♀	C	+4	+9	C	+5	+12

Explication probable pour le lac du Bourget via la transmission maternelle

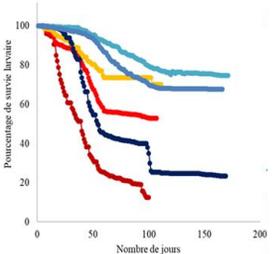
PCB

CT = contrôle = 0 ng/g

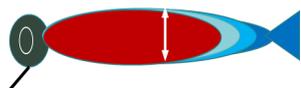
M = dose modérée = 125 ng/g

F = dose forte = 200 ng/g

 +60%



PCB



	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
♂	C	+4	+6	C	+3	+7
♀	C	+4	+9	C	+5	+12

Explication probable pour le lac du Bourget via la transmission maternelle

PCB

CT = contrôle = 0 ng/g

M = dose modérée = 125 ng/g

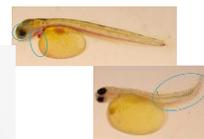
F = dose forte = 200 ng/g



6PPD-Q



+10%



	5°C			8,5°C		
	CT	M	F	CT	M	F
Scoring	C	+5	+6	C	+8	+10

La combinaison en cocktail T°C & 6PPd-q + Bap induit des effets sub-léthaux non réversible ce qui peut avoir des impacts à long terme sur la population d'omble chevalier.

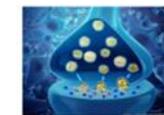
6PPD-Q

CT = contrôle = 0 ng/g

M = dose modérée = 1,5µg/L

F = dose forte = 3 µg/L

6PPD-Q + BaP



	CT	M	F	BaP	Mix M	Mix F
5°C	C	+4	+6	+10	+7	+9
8,5°C	C	+5	+6	+6	+6	+12

6PPD-Q + BaP

CT = contrôle = 0 ng/g

M = dose modérée = 0,5 µg/L

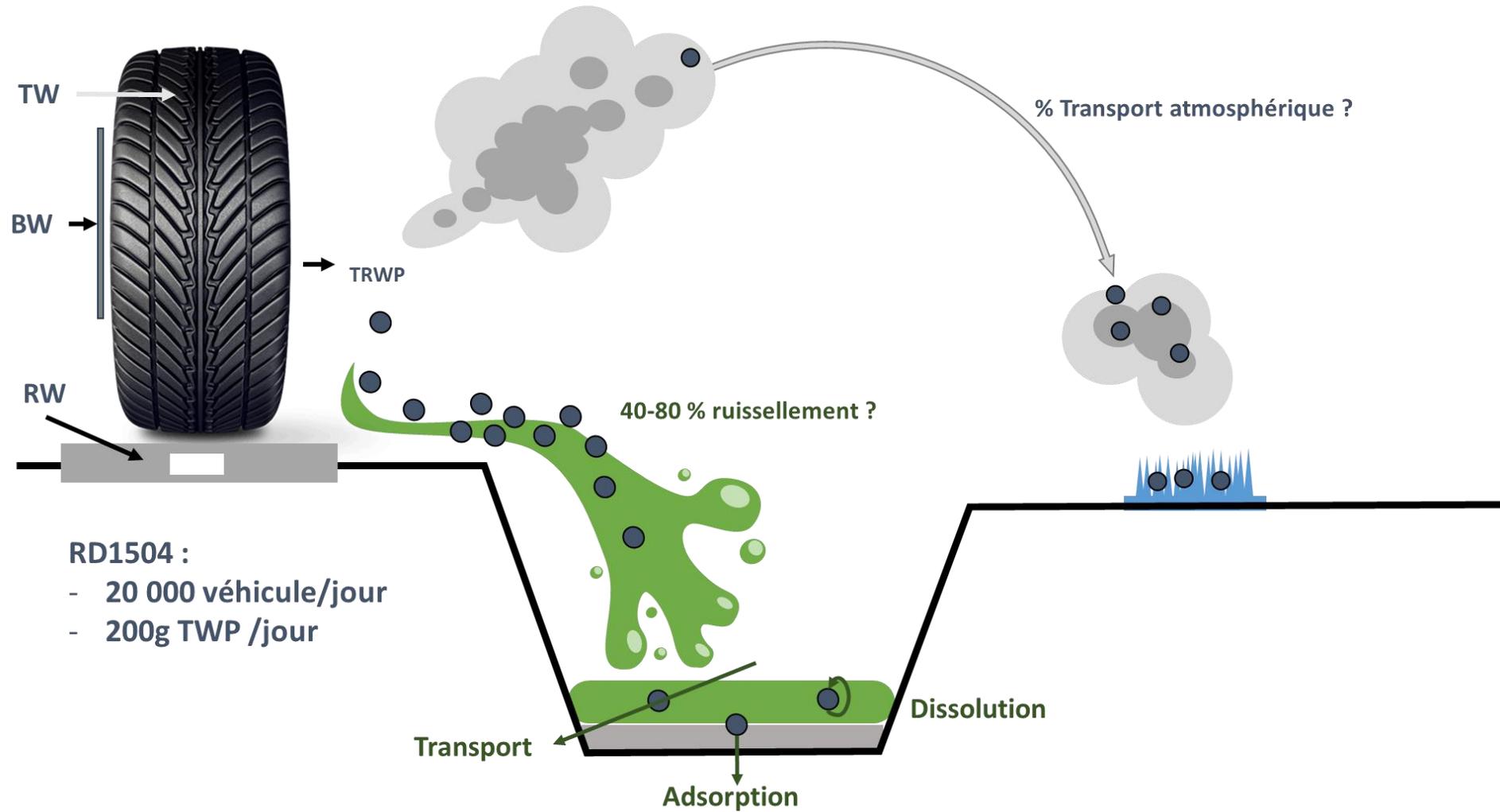
F = dose forte = 3 µg/L

BaP = 8 ng/L

Mix M = 8 ng/L de BaP + 0,5 µg/L de 6PPD-Q

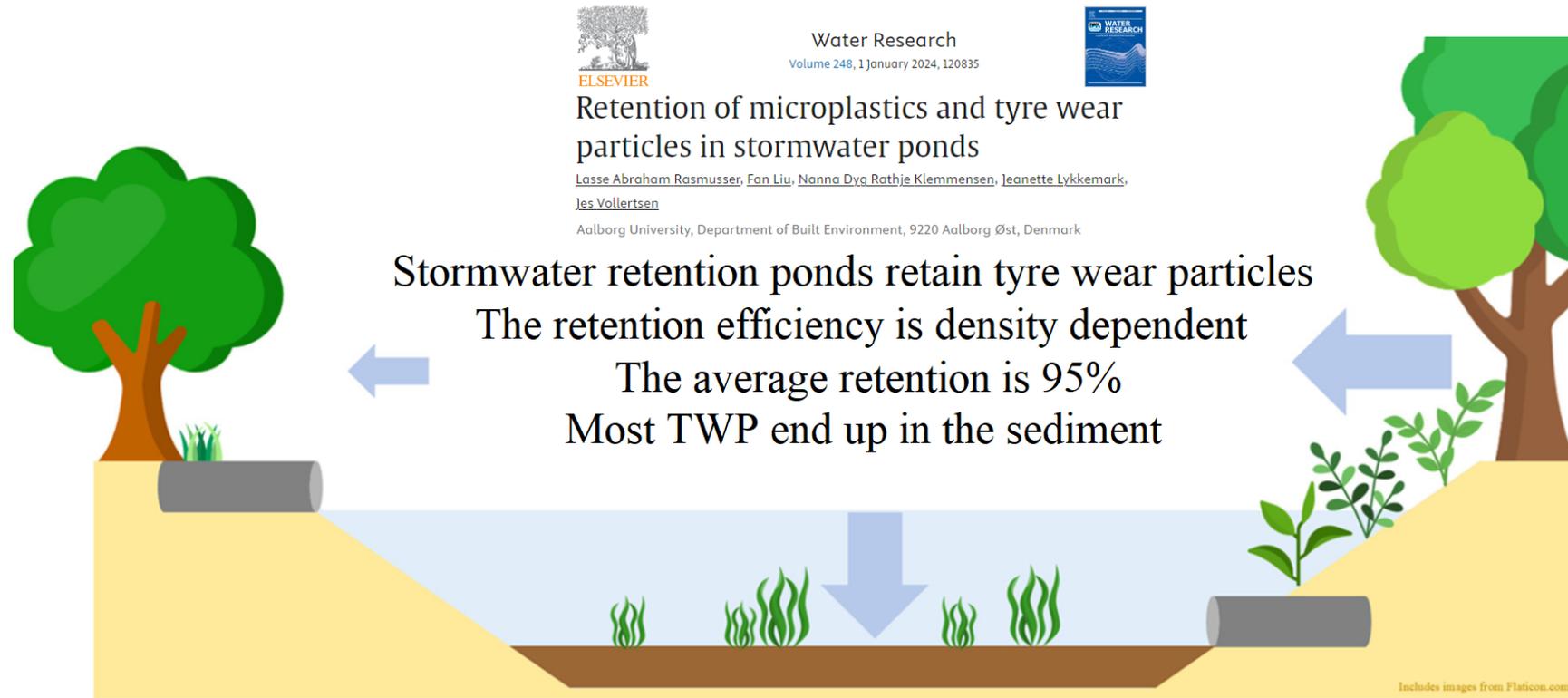
Mix F = 8 ng/L de BaP + 3 µg/L de 6PPD-Q

## Perspective.....



## Perspective.....

Conseiller l'étude de système de traitement des eaux de ruissellement de chaussée ?



**Water Research**  
Volume 248, 1 January 2024, 120835

**Retention of microplastics and tyre wear particles in stormwater ponds**

Lasse Abraham Rasmussen, Fan Liu, Nanna Dvg Rathje Klemmensen, Jeanette Lykkemark, Jes Vollertsen

Aalborg University, Department of Built Environment, 9220 Aalborg Øst, Denmark

**Stormwater retention ponds retain tyre wear particles**  
The retention efficiency is density dependent  
The average retention is 95%  
Most TWP end up in the sediment

Includes images from Flaticon.com

# Merci !!!!



Emmanuel Naffrechoux



Nathalie Cottin



Mathieu Pin



Stéphane Reynaud



Jean Guillard



Fanny-Laure Thomassin



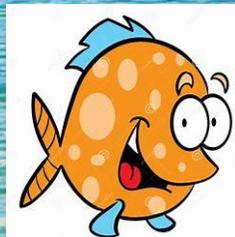
Alexis Golven M1



Zoé Arrigoni-Crayatte



Elsa Trabichet



16 mai 2025