



Les bioessais *in vivo* pour évaluer le bénéfice des traitements complémentaires des eaux usées et des boues

Jérôme Cachot & Olivier Geffard

Université de Bordeaux : C. Clérandeau, L. Landi, J. Cachot

Irstea : A. François, H. Quéau, P. Noury, M.J. Capdeville, C. Miège, A. Chaumot, O. Geffard

INERIS : L. Chabot, F. Gondelle, P. Pandard



Objectifs

- 1 – Evaluer l'efficacité de différents procédés de traitement complémentaire (physiques, chimiques ou biologiques) des eaux usées et des boues de station d'épuration.
- 2 - Proposer des outils biologiques innovants pour l'évaluation de la qualité des eaux usées avant rejet en milieux aquatiques, et des boues avant épandage agricole.



Stratégie analytique

Traitements complémentaires	Eaux : ozoneur, $O_3 + H_2O_2$, UV + H_2O_2 , charbon actif en grain, zéolite, argile, biofiltre, lagune de finition (8) Boues : compostage, sécheur solaire, séchage sur lit de séchage planté de roseaux (3)
Effluents	Urbains, mixtes urbain + industriel (18 campagnes sur 8 sites différents)
Matrices	Eaux, extraits sur phase solide (SPE) Boues et extraits organiques
Tests de toxicité	Létaux ou sublétaux Exposition aiguë ou chronique En laboratoire (8) ou sur site (4) Taxons : bactéries, micro-algues, plantes, mollusques, crustacés, insectes, poissons



Comprendre le monde, construire l'avenir®



Test Microtox®

Test de toxicité aigüe

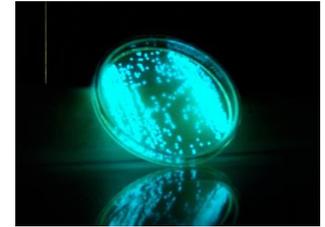
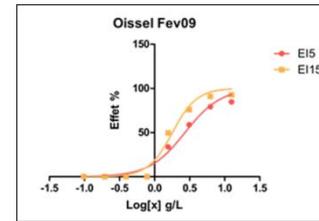
Espèce : *Vibrio fischeri*

Norme EN ISO 11348-3
(100% test protocol)

Exposition : 5, 15 et 30 min à 15°C
Paramètre mesuré : inhibition de la bioluminescence.

Matrices testées : eau brute, extrait aqueux, extrait organique.

Concentration maximale testée :
- Échantillon d'eau : 100% v/v
- Extrait SPE : 1% v/v

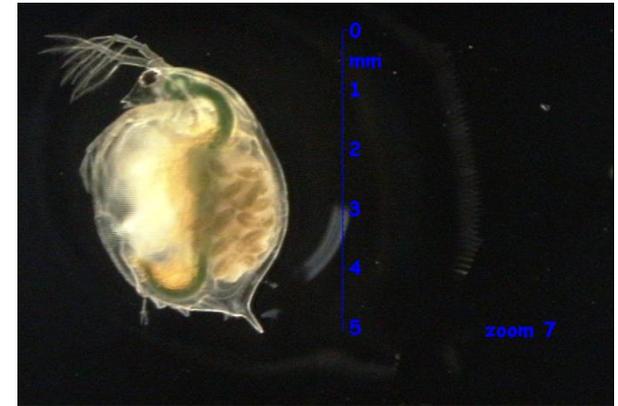


Inhibition de la mobilité de *Daphnia magna*

Test de toxicité aiguë :

Espèce : *Daphnia magna*

Norme : NF EN ISO 6341



Principe : Détermination de la dilution de l'effluent qui provoque l'immobilisation de 50 % des daphnies exposées pendant 48 h à 20°C. Individus femelle âgés de moins de 24h.

Paramètre mesuré : Nombre de daphnies mobiles à 24 et 48 h

Concentration maximale testée : 100 % d'effluent

Inhibition de la croissance du rotifère *Brachionus calyciflorus*

Test de toxicité Chronique :

Espèce : *Brachionus calyciflorus*

Norme : NF ISO 20666



Principe : Des rotifères femelles de moins de 2h sont exposés individuellement à différentes dilutions de l'effluent pendant une durée de 48 h.

Paramètre mesuré : Détermination du nombre de descendants par puits après 48 h à 25°C.

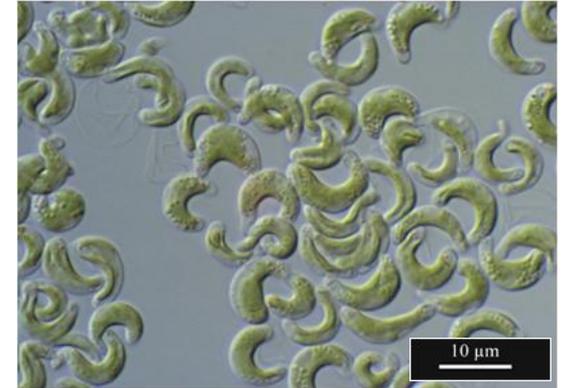
Concentration maximale testée : 90 % d'effluent

Inhibition de la croissance d'algues vertes unicellulaires

Test de toxicité chronique :

Espèce : *Pseudokirchneriella subcapitata*

Norme : NF EN ISO 8692



Principe : Algues en phase exponentielle de croissance placées dans différentes dilutions de l'effluent pendant 72 h à 23°C.

Paramètre mesuré : concentration cellulaire toutes les 24 heures pendant 72 h ; calcul de l'inhibition de croissance par rapport au témoin.

Concentration maximale testée : 80 % d'effluent

Inhibition de la reproduction de *Ceriodaphnia dubia*

Test de toxicité chronique :

Espèce : *Ceriodaphnia dubia*

Norme : NF ISO 20665



Principe : Détermination des effets d'un effluent à différentes dilutions sur la mortalité et la reproduction.

Paramètres mesurés : survie des mères ; nombre cumulé de jeunes vivants ; nombre de pontes (7 à 8 j à 25°C).

Concentration maximale testée : 90 % d'effluent



Comprendre le monde,
construire l'avenir®

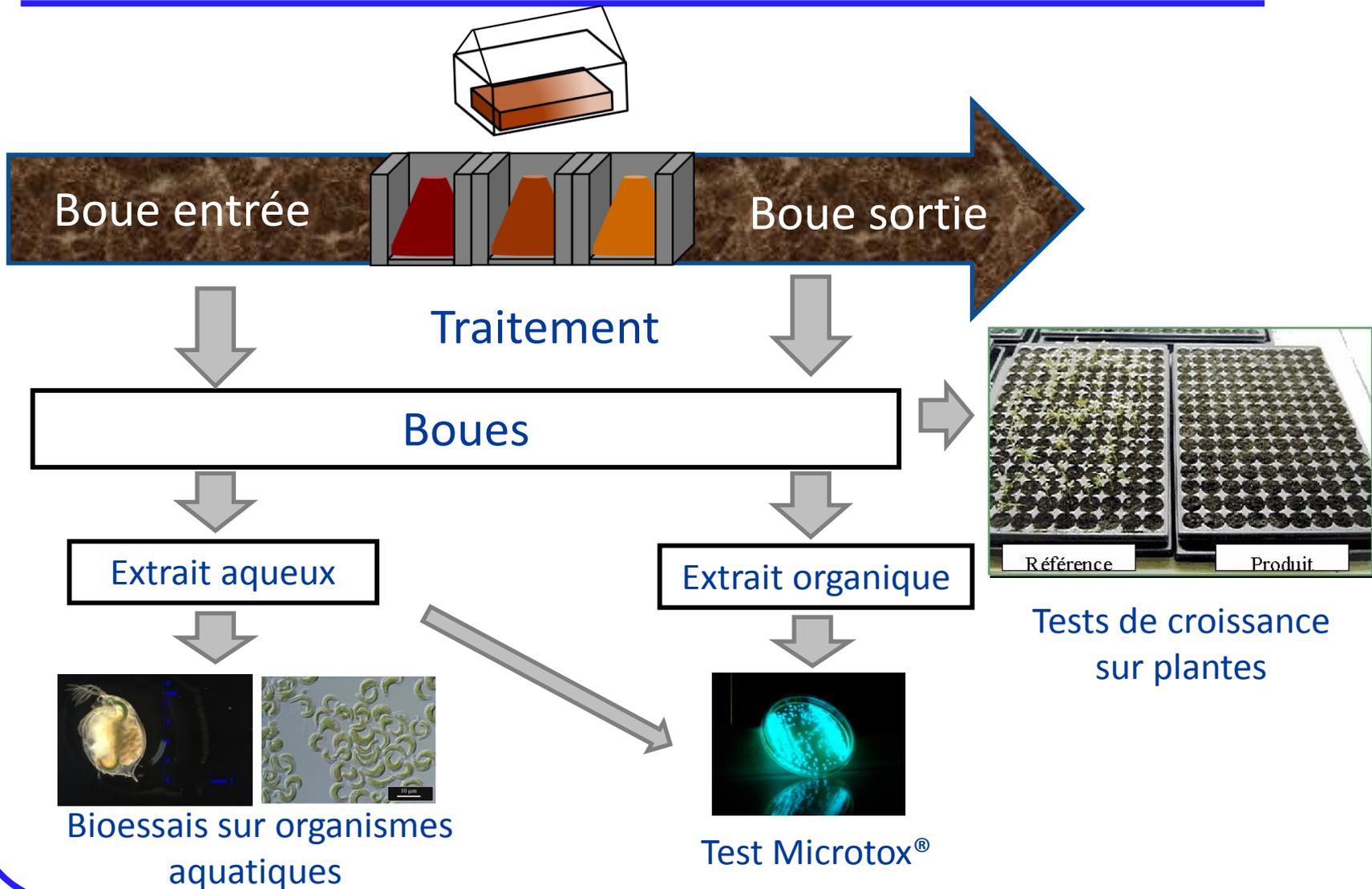


maîtriser le risque
pour un développement durable



Boues de station d'épuration

Stratégie analytique



Traitement des boues : compostage en casiers

Bioessais	Toxicité boue entrée	Toxicité boue sortie (compost)
Croissance avoine	+++	+
Croissance cresson	+++	+
Elongation racines	+++	++
Daphnies	++++	++
Algues	+++	+++
Rotifères	++	++
Cériodaphnies	++++	nd
Bactéries (eau)	++++	+++
Bactéries (extrait)	++++	++++

+ CE₅₀ entre 50 et 100%
 ++ CE₅₀ entre 10 et 50%
 +++ CE₅₀ entre 1 et 10%
 ++++ CE₅₀ inférieure à 1%
 nd : non déterminé

- ✓ Plus faible écotoxicité du compost
- ✓ Efficacité du traitement et/ou dilution de l'échantillon ?



Traitement des boues : sécheur solaire

Bioessais	Toxicité boue entrée	Toxicité boue sortie
Croissance avoine	+++	+++
Croissance cresson	+++	+++
Elongation racines	+++	+++
Daphnies	+++	+++
Algues	+++	+++
Rotifères	+++	+++
Ceriodaphnies	++++	++++
Bactéries eau	nd	nd
Bactéries extrait	++++	++++

✓ Aucun effet du traitement sur la toxicité des boues



Comprendre le monde, construire l'avenir®

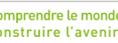


maîtriser le risque pour un développement durable



Conclusions

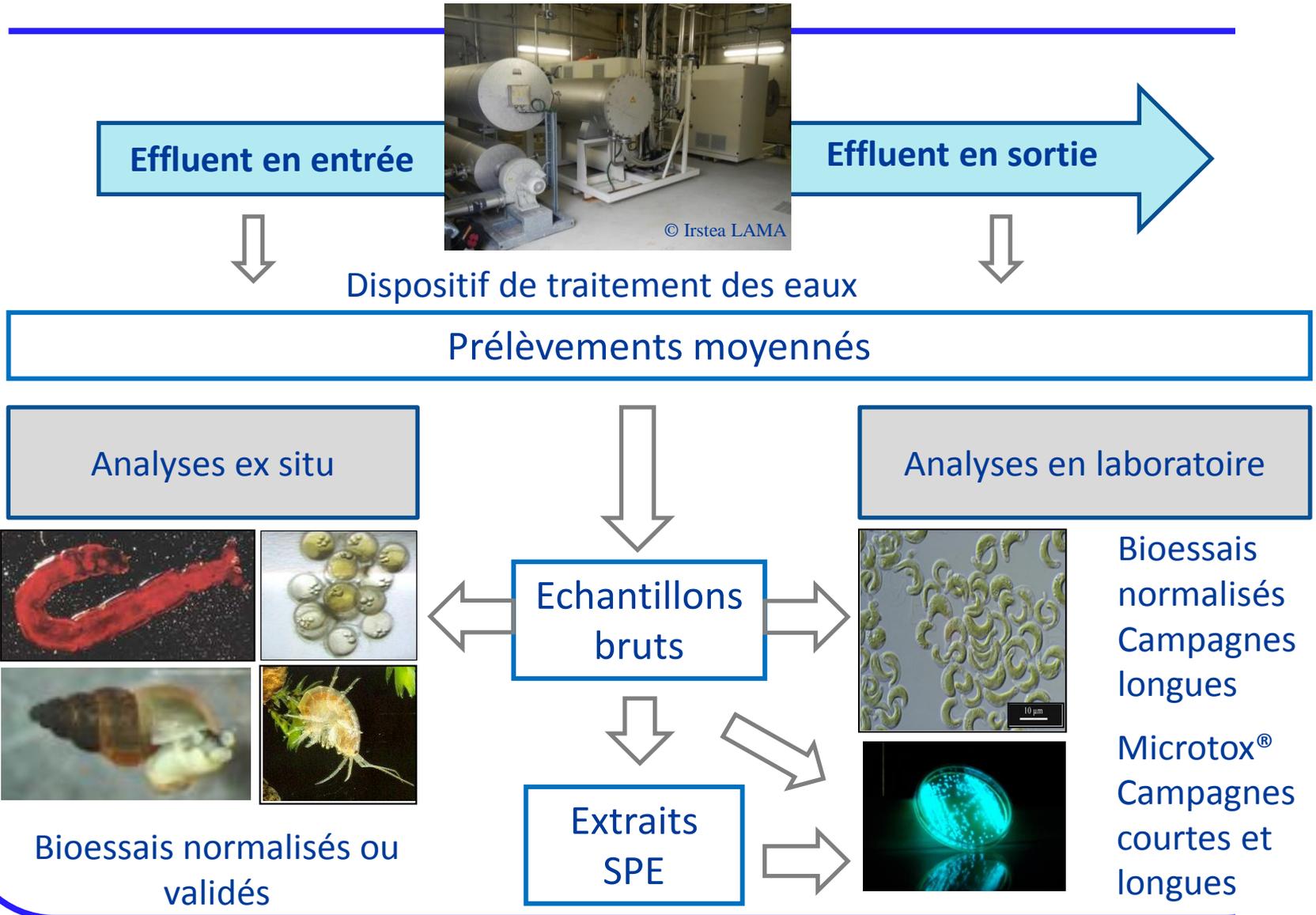
- ✓ Ecotoxicité élevée des boues quel que soit le bioessai considéré (toutefois effets toxiques observés pour des doses supérieures à celles classiquement utilisées dans le cadre d'un épandage agricole)
- ✓ Les tests sur plantes apparaissent très pertinents pour mesurer la toxicité des boues.
- ✓ Aucune efficacité du sécheur solaire.
- ✓ Efficacité du compostage ou effet de dilution ?





Les eaux usées

Stratégie analytique



Toxicité des effluents en entrée de traitement complémentaire

Campagnes	Bactérie (extrait)	Bactérie (eau)	Algues	Rotifère	Daphnie	Cerio-daphnie
O ₃ + CAG (Aw, courte)	+	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ + CAG (Aw, longue J0)	+	-	-	nd	-	hormèse ++
O ₃ + H ₂ O ₂ (Aw)	+	nd	nd	nd	nd	nd
UV + H ₂ O ₂ (Aw)	-	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ + H ₂ O ₂ (Bw)	-	nd	nd	nd	nd	nd
UV + H ₂ O ₂ (Bw)	-	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Aw, J0)	+	-	-	nd	-	++
O ₃ (Aw, J28)	+	-	-	-	-	inhib à faibles concent.
CAG/Argile/Zéolite (Dw, horizontal extensif)	++	nd	nd	nd	nd	nd

(-) < 20% 20% ≤ (+) < 50% 50% ≤ (++) nd : non déterminé



Comprendre le monde, construire l'avenir®



maîtriser le risque pour un développement durable



Toxicité des effluents en entrée de traitement complémentaire

Campagnes	Bactérie (extrait)	Bactérie (eau)	Algues	Rotifère	Daphnie	Cerio-daphnie
O ₃ (Fw, 1 ^{ère} campagne)	nd	-	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Gw)	+	-	nd	nd	nd	nd
Lagune de finition (Ew, courte)	++	-	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Fw, 2 ^{ème} campagne)	+	-	nd	nd	nd	nd
CAG (Dw, J0, vertical intensif)	-	-	-	++	-	hormèse
CAG (Dw, J28, vertical intensif)	-	-	-	hormèse	-	-
Lagune de finition (Ew, longue, J0)	-	-	++	-	-	++
Lagune de finition (Ew, longue, J28)	++	-	++	-	-	nd

(-) < 20% 20% ≤ (+) < 50% 50% ≤ (++) nd : non déterminé



Comprendre le monde, construire l'avenir®



maîtriser le risque pour un développement durable



Toxicité des effluents en entrée de traitement complémentaire

- ✓ Variabilité du profil écotoxicologique des effluents en sortie de traitement secondaire selon le site et la date de prélèvement.
- ✓ Variabilité des réponses toxiques en fonctions des bioessais. Les tests sur microalgues et cériodaphnies sont les plus sensibles.
- ✓ Toxicité de 4 des 6 eaux (campagnes longues) en sortie de traitement secondaire (tous les tests confondus).
- ✓ Potentiel toxique plus marqué des extraits SPE.



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



maîtriser le risque
pour un développement durable



Toxicité des effluents en sortie de traitement complémentaire

Campagnes	Bactérie (extrait)	Bactérie (eau)	Algues	Rotifère	Daphnie	Ceriodaphnie
O ₃ + CAG (Aw courte)	+	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ + CAG (Aw longue J0)	+	-	-	nd	-	-
O ₃ + H ₂ O ₂ (Aw)	+	nd	nd	nd	nd	nd
UV + H ₂ O ₂ (Aw)	++	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ + H ₂ O ₂ (Bw)	+	nd	nd	nd	nd	nd
UV + H ₂ O ₂ (Bw)	-	nd	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Aw, J0)	+	+	-	nd	-	++
O ₃ (Aw, J28)	+	-	-	hormèse	-	inhib à faibles concent.
CAG (Dw, horizontal extensif)	-	nd	nd	nd	nd	nd
Argile (idem)	++	nd	nd	nd	nd	nd
Zéolite (idem)	+	nd	nd	nd	nd	nd

(-) < 20% 20% ≤ (+) < 50% 50% ≤ (++) nd : non déterminé



Toxicité des effluents en sortie de traitement complémentaire

Campagnes	Bactérie (extrait)	Bactérie (eau)	Algues	Rotifère	Daphnie	Cerio-daphnie
O ₃ (Fw, 1 ^{ère} campagne)	nd	+	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Gw)	+	-	nd	nd	nd	nd
Lagune de finition (Ew, courte)	++	+	nd	nd	nd	nd
O ₃ (Fw, 2 ^{ème} campagne)	+	+	nd	nd	nd	nd
CAG (Dw, J0, vertical intensif)	-	-	++	++	-	hormèse
CAG (Dw, J28, vertical intensif)	++	-	++	-	-	-
Lagune de finition (Ew, longue, J0)	+	+	++	-	-	inhib à faibles concent.
Lagune de finition (Ew, longue, J28)	-	-	-	-	-	nd

(-) < 20% 20% ≤ (+) < 50% 50% ≤ (++) nd : non déterminé



Comprendre le monde, construire l'avenir®



maîtriser le risque pour un développement durable



Toxicité des effluents en sortie de traitement complémentaire

- ✓ Variabilité des profils écotoxicologiques des effluents en sortie de traitement selon le site et la date de prélèvement.
- ✓ Variabilité des réponses toxiques selon le bioessai. Les essais sur microalgues sont les plus sensibles.
- ✓ Quatre des 6 eaux en sortie de traitement sont toxiques (campagnes longues).



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



Abattement de la toxicité : bilan entrée/sortie

Type traitement	Bactérie (eau)	Algues	Rotifère	Daphnie	Cerio-daphnie
O ₃ + CAG (Aw longue J0)	-/-	-/-	nd	-/-	Diminution hormèse
O ₃ (Aw, J0)	-/+	-/-	nd	-/-	++/++
O ₃ (Aw, J28)	-/-	-/-	-/ horm.	-/-	-/horm.
CAG (Dw, J0, vertical intensif)	-/-	-/-	++/++	-/-	horm./ horm.
CAG (Dw, J28, vertical intensif)	-/-	-/++	horm./-	-/-	-/-
Lagune de finition (Ew, longue, J0)	-/+	++/++	-/-	-/-	++/-
Lagune de finition (Ew, longue, J28)	-/-	++/-	-/-	-/-	nd

(-) < 20% 20% ≤ (+) < 50% 50% ≤ (++) nd : non déterminé



Comprendre le monde, construire l'avenir®



maîtriser le risque pour un développement durable



Abatement de la toxicité : bilan entrée/sortie

Type traitement	Bactérie (extrait SPE)	Abatement
O ₃ + CAG (Aw courte)	+/+	Non
O ₃ + CAG (Aw longue J0)	+/+	Non
O ₃ + H ₂ O ₂ (Aw)	+/+	Non
O ₃ + H ₂ O ₂ (Bw)	-/+	Toxicité générée
UV + H ₂ O ₂ (Aw)	-/++	Toxicité générée
UV + H ₂ O ₂ (Bw)	-/-	-
CAG (Dw, horizontal extensif)	++/-	Oui
Argile (idem)	++/++	Non
Zéolite (idem)	++/+	Oui
O ₃ (Gw)	+/+	Non
Lagune de finition (Ew, courte)	++/++	Non
O ₃ (Fw, 2 ^{ème} campagne)	+/+	Non



Abatement de la toxicité ?

- ✓ La charge toxique des effluents en sortie diminue pour les tests algues et cériodaphnies avec la lagune de finition et pour les bactéries avec la zéolite.
- ✓ Le charbon actif (extensif) seul est efficace pour abattre la toxicité (attention à durée de vie).
- ✓ L'ozonation et dans une moindre mesure le traitement $O_3 + H_2O_2$ et le traitement UV + H_2O_2 génèrent parfois de la toxicité vis-à-vis des bactéries → résidus d'ozone, photo-produits, accroissement de la biodisponibilité des polluants ?



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



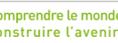
Conclusions

- **Evaluation de la toxicité des effluents :**

- ✓ Grande variabilité du profil écotoxicologique des effluents selon le site et la date de prélèvement.
- ✓ Les effets toxiques varient d'un bioessai à l'autre.

- **Efficacité des systèmes de traitement complémentaire:**

- ✓ La zéolite et la lagune de finition permettent d'abattre significativement la charge toxique des effluents secondaires pour certains modèles biologiques (bactéries, algues et cériodaphnies).
- ✓ Une augmentation de la toxicité des effluents a été observée après les traitements $O_3 + H_2O_2$ et $UV + H_2O_2$ (extraits SPE et bioessais bactéries).



Conclusions (suite)

- **Intérêt des bioessais utilisés :**

- ✓ Les tests Microtox® (eau) et daphnies n'apparaissent pas suffisamment sensibles pour mesurer la toxicité des effluents en sortie de traitement secondaire.
- ✓ Les essais chroniques algues, rotifères, cériodaphnies ont mis en évidence ponctuellement une toxicité des effluents.
- ✓ Difficulté d'utiliser l'essai cériodaphnies en routine du fait de réponses parfois atypiques (effets à faibles concentrations ; hormèse ...).

- **Améliorations possibles :**

- ✓ Extraction des polluants sur colonne SPE pour des tests de toxicité en petits volumes (bactérie, micro-algues, brachionus ...).



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



maîtriser le risque
pour un développement durable



Tests *ex-situ* : contexte

- Pourquoi développer une telle approche ?
- ✓ Représentativité de l'exposition, limiter les artéfacts :
 - prélèvements ponctuels
 - stockage des échantillons
- ✓ Pertinence des tests en milieux contrôlés :
 - températures constantes et optimales pour l'espèce
 - utilisation d'organismes contrôlés
 - conditions d'exposition optimales
 - utilisation d'organismes à cycle de vie long et expositions longues



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



maîtriser le risque
pour un développement durable

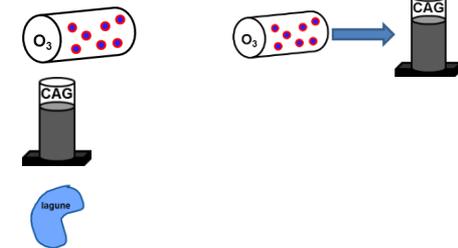


Tests *ex-situ* : contexte

- Pourquoi développer une telle approche ?
- ✓ Représentativité de l'exposition, limiter les artéfacts:
 - ✓ - prélèvements ponctuels
 - ✓ - stockage des échantillons
- ✓ Pertinence des tests en milieux contrôlés:
 - ✓ - températures constantes et optimales par l'espèce
 - ✓ - utilisation d'organismes contrôlés
 - ✓ - conditions d'exposition optimales
 - ✓ - utilisation d'organismes à cycle de vie long et expositions longues

• Conditions de traitement testées

- ✓ Ozonation / Ozonation + Charbon actif
- ✓ Charbon actif
- ✓ Lagune de finition



Tests *ex-situ* : organismes

Chironomus risparius



Espèce benthique, utilisée pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent dans les sédiments.

Potamopyrgus antipodarum



Espèce épibenthique, utilisée pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent dans les sédiments et à l'interface substrat-colonne d'eau.

Gammarus fossarum



Espèce épibenthique, utilisée pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent à l'interface substrat dur et colonne d'eau.

Oryzias latipes



Le développement embryonnaire se déroule en contact avec le substrat.

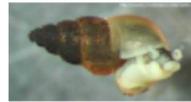
Tests *ex-situ* : organismes

Chironomus risparus



Espèce benthique, utilisées pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent dans les sédiments.

Potamopyrgus antipodarum



Espèce épibenthique, utilisée pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent dans les sédiments et à l'interface substrat-colonne d'eau.

Gammarus fossarum



Espèce épibenthique, utilisée pour évaluer l'impact sur les organismes qui vivent à l'interface substrat dur et colonne d'eau.

Oryzias latipes



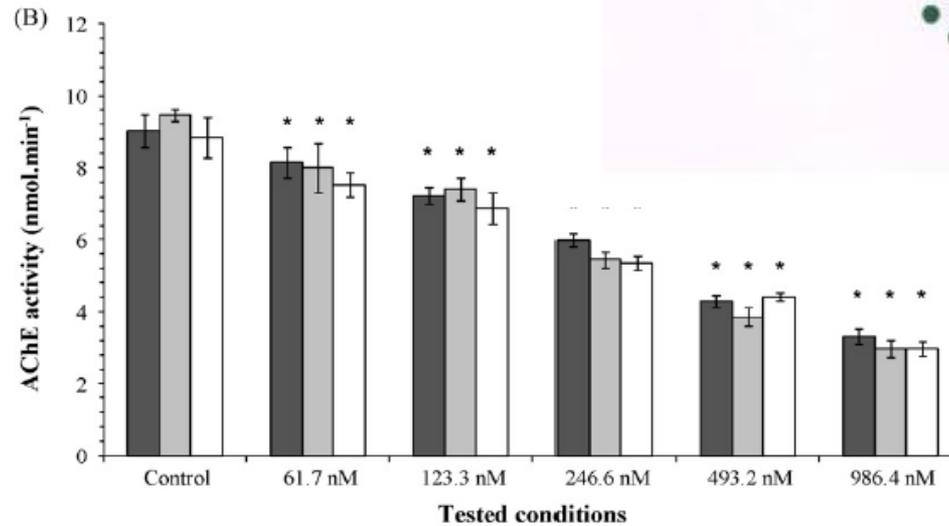
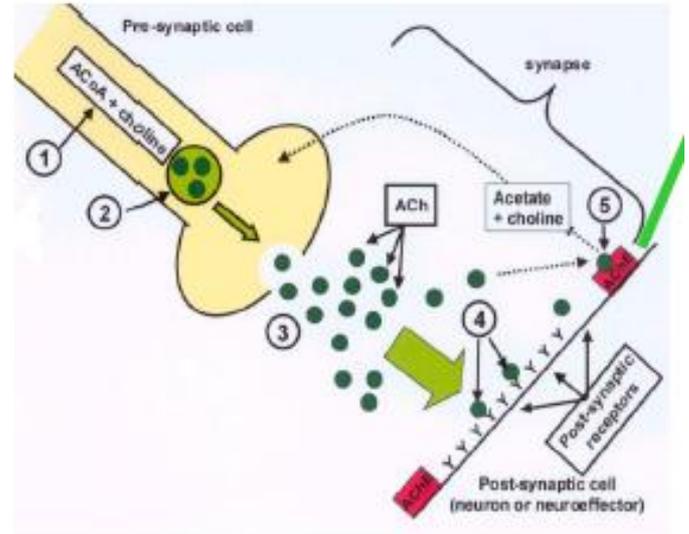
Le développement embryonnaire se déroule en contact avec le substrat.

Biotests calibrés et validés par les équipes, pas de développement

Tests *ex-situ* : réponses

Gammarus fossarum

Acétyl cholinestérase

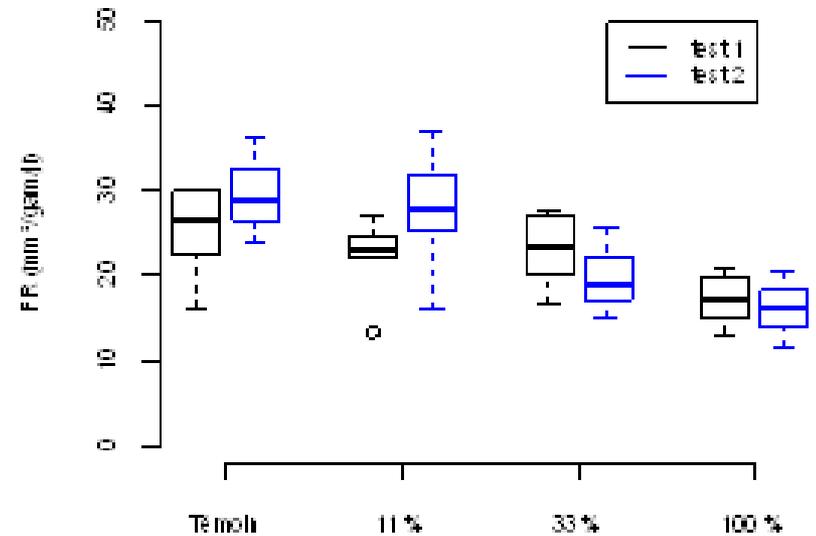
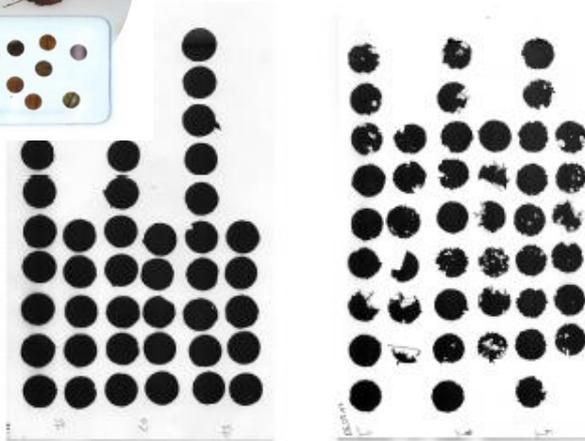


Xuereb et al., 2007

Tests *ex-situ* : réponses

Gammarus fossarum

Taux d'alimentation

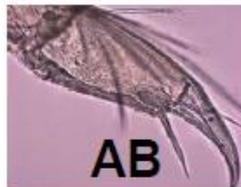
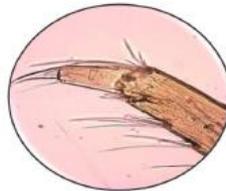
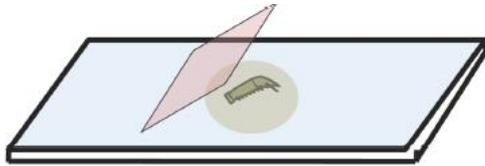


Xuereb et al., 2009

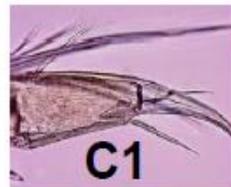
Tests *ex-situ* : réponses

Gammarus fossarum

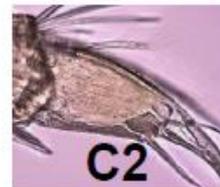
Reproduction : cycle de mue



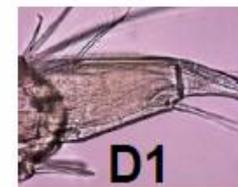
AB
Cuticule
fine



C1
Décollement
de la cuticule



C2
Formation
de fentes



D1
Epaissement
de la cuticule



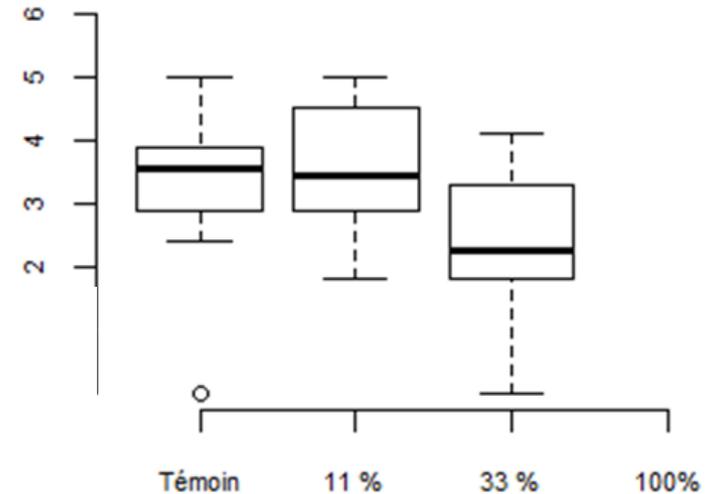
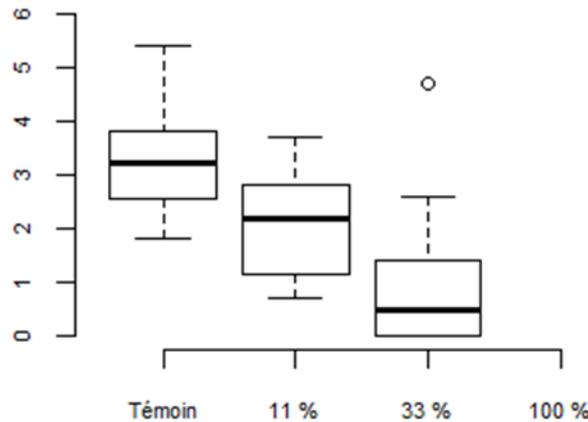
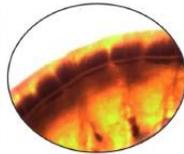
D2
Epaissement
des soies

Geffard et al., 2010

Tests *ex-situ* : réponses

Gammarus fossarum

Reproduction : cycle de mue



Geffard et al., 2010

Tests *ex-situ* : réponses

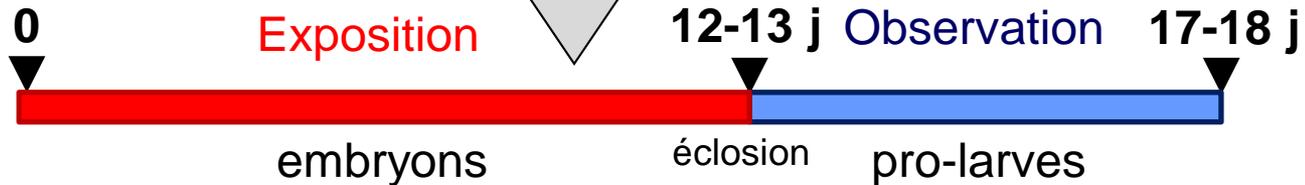
Test MELA sur embryons de Medaka japonais

Effluents (3 renouvellements quotidiens)



Oufs de médaka japonais fraîchement fécondés (3x30/condition)

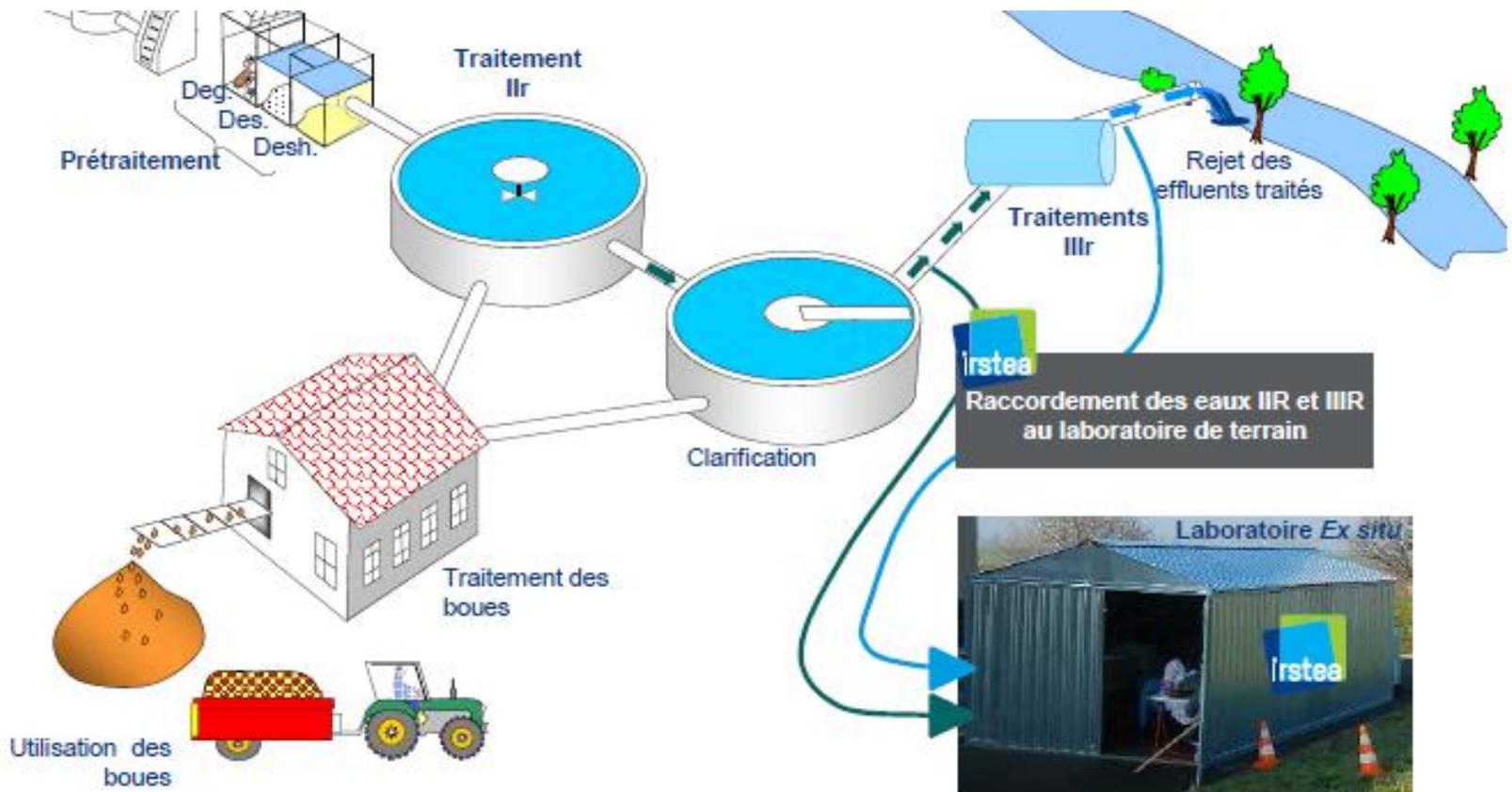
12 j d'exposition $T^{\circ} = 21-22^{\circ}\text{C}$
Photopériode 12h/12h



Effets biologiques analysés : mortalité embryo-larvaire, durée de développement, taux d'éclosion, malformations squelettiques et cardiaques, taille des larves à l'éclosion

Vicquelin et al., 2011

Tests *ex-situ* : Installation



Comprendre le monde, construire l'avenir®



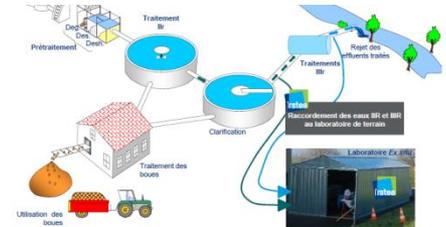
Tests *ex-situ* : Installation



Réserves d'eaux usées avec trop plein



Pompes de relevage



Réserves d'eau contrôle

Tests *ex-situ* : Installation



C'est un point électrique



Système d'exposition



Système de dilution

0%, 5%, 16% et 50%



Système de régulation thermique

12°C et 21°C



Analyse biométrique



Tests *ex-situ* : résultats

Robustesse des tests

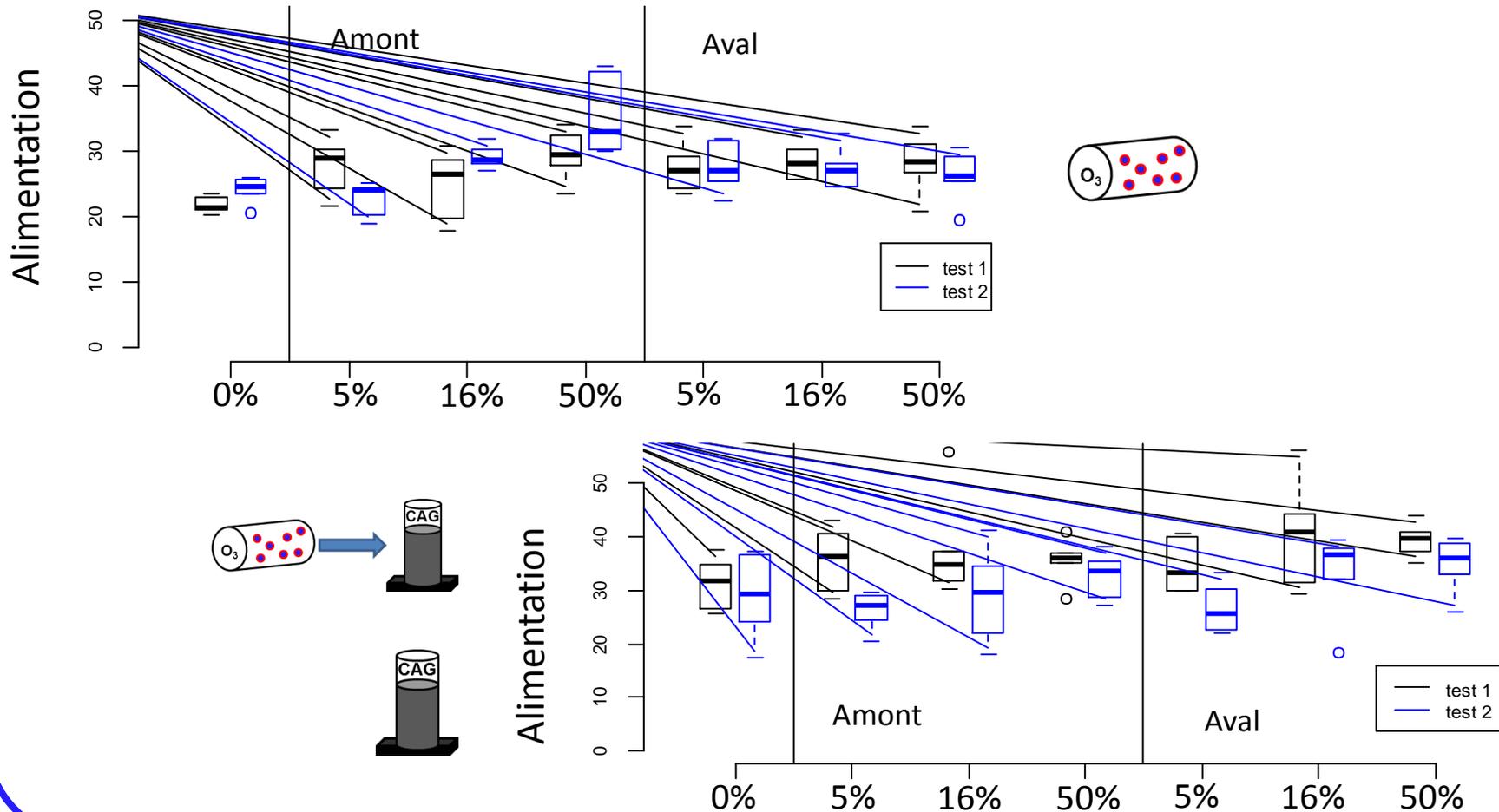
Traitement tertiaire	O3 + CA	O3	CA	Lagunage
Date	sept.-11	mars-12	juin-13	sept-13
	Gammare			
Survie	80 (7,6)	85 (8,4)	95 (4,5)	65 (6,3)
AchE	9,4 (0,8)	9,8 (1,4)	10,2 (0,6)	
Alimentation	22 (1,3)	31 (4,7)	25 (3,1)	25 (4,4)
Fécondité	2,4 (1)	3,6 (0,8)	2,7 (1,4)	2,9 (0,7)
Fertilité	3,2 (1,4)	3,5 (1,1)	3,0 (1,4)	4,8 (0,8)
	Médaka			
Survie embryons	96 (3,3)	81 (6,9)	85 (7,6)	95 (3,9)
Survie larvaire	96 (0,1)	100 (0,0)	90 (1,7)	100 (0,0)
Taux éclosion	96 (3,3)	70 (11,5)	84 (6,8)	95 (3,9)
Malformations Larvaires	16 (5,0)	27 (10,6)	22 (5,1)	8,9 (4,4)
Longueur larve	4,7 (0,1)	4,7 (0,1)	4,5 (0,1)	4,3 (0,1)
Longueur de la tête	0,95 (0,02)	0,91 (0,02)	0,92 (0,01)	0,96 (0,01)
Durée développement	13 (0,2)	19 (1,1)	14 (0,1)	16 (0,1)

Très bonne reproductibilité de biotests utilisés / mars-12 – variation température

Tests ex-situ : résultats

Toxicité chez la gammare

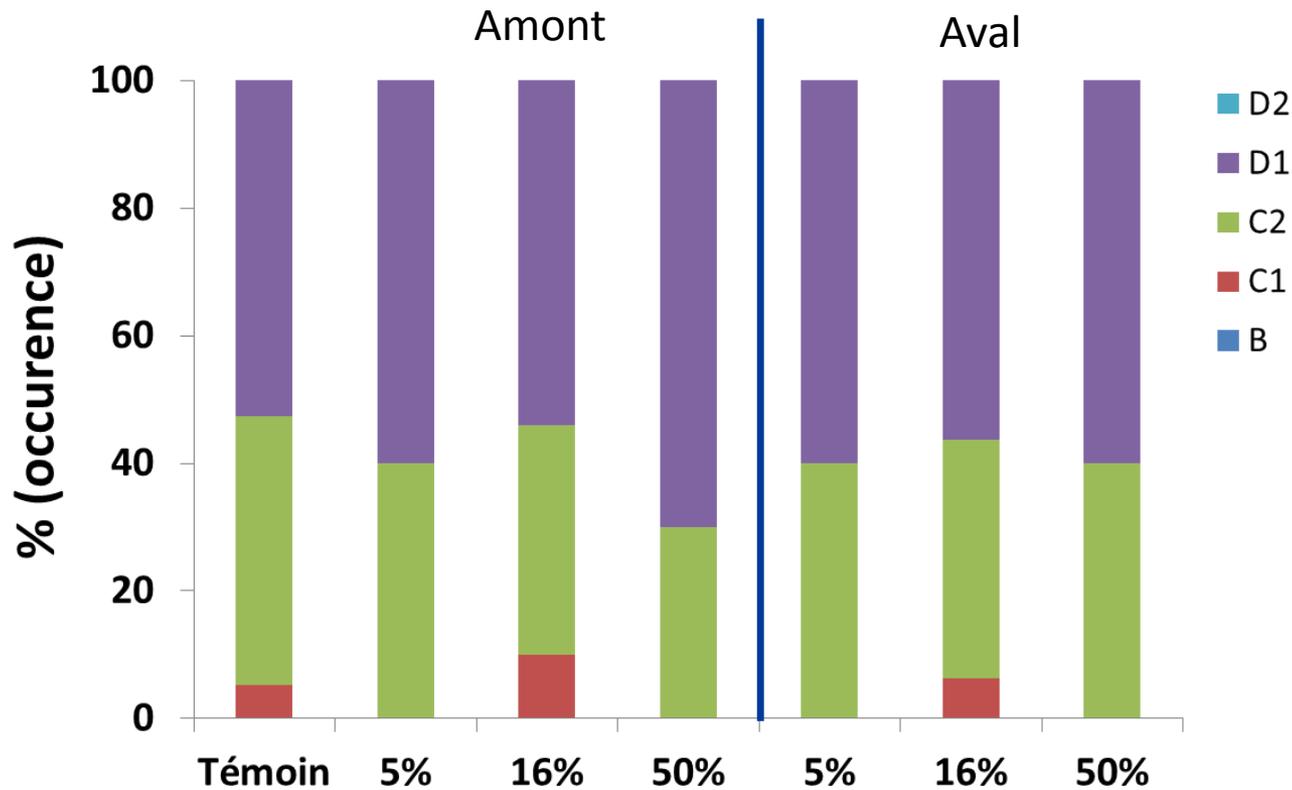
Aucun effet n'a été observé :



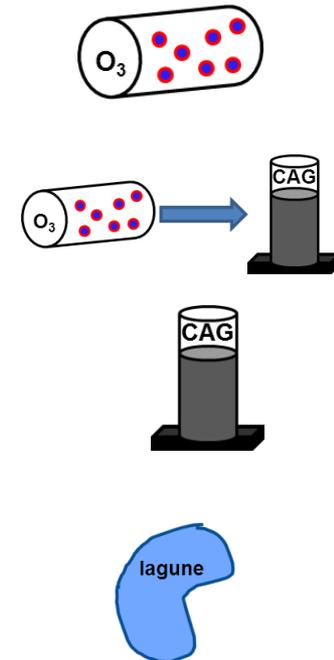
Tests *ex-situ* : résultats

Toxicité chez la gammare

Aucun effet n'a été observé pour :



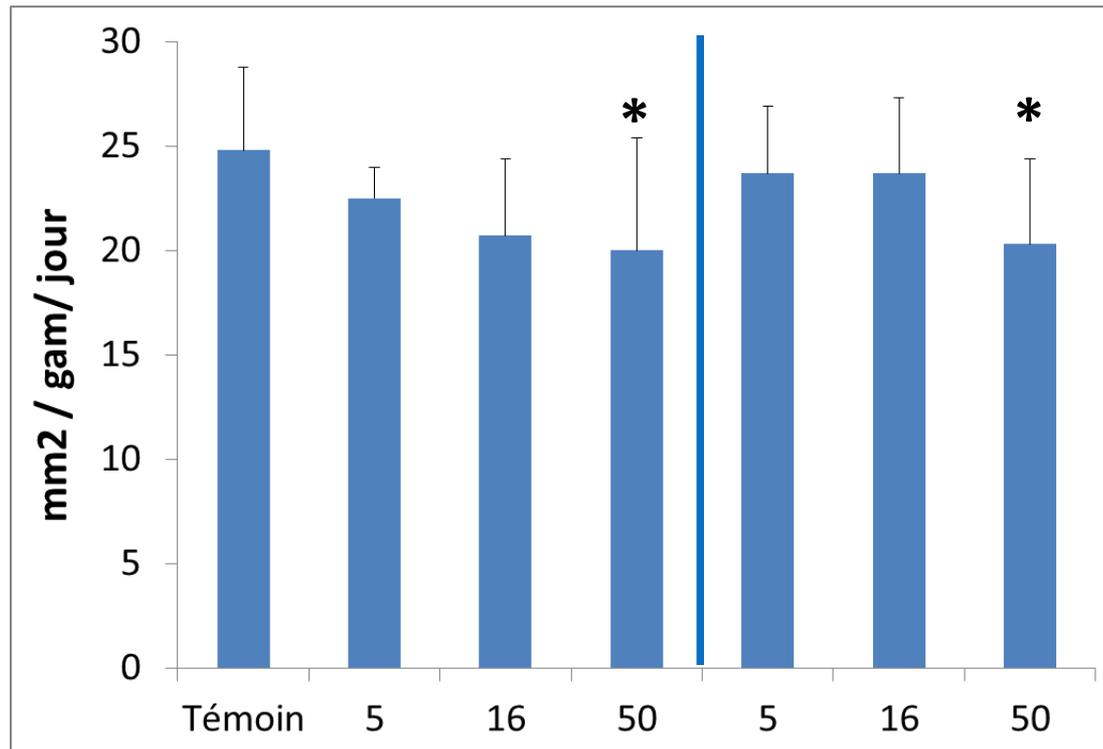
Aucun effet sur la mue



Tests *ex-situ* : résultats

Toxicité chez la gammare

Effet sur le taux d'alimentation pour :



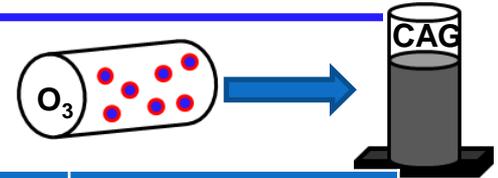
Pas de différence entre amont et aval traitement



Tests *ex-situ* : résultats

Toxicité chez le médaka

Traitement O₃ + charbon actif



Critère de toxicité	Eau entrée (50%)	Eau sortie (50%)	Bilan toxicité Entrée/Sortie
Survie embryonnaire (%)	70,0	83,3	↓
Survie larvaire (%)	94,9	97,4	=
Taux d'éclosion (%)	70,0	83,3	↓
Taux de malformations	47,0	33,3	↓
Taille totale larve (mm)	4,0*	4,3	↓
Taille tête (mm)	0,78*	0,84*	=
Durée de développement (j)	11,4*	12,2	=

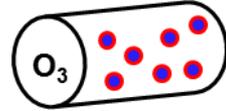
* Significativement différent de la condition témoin

- ✓ Toxicité modérée de l'effluent en entrée
- ✓ Très peu de toxicité de l'effluent en sortie

Test *ex-situ* : résultats

Toxicité chez le médaka

Traitement O₃

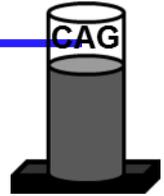


Critère de toxicité	Eau entrée (50%)	Eau sortie (50%)	Bilan toxicité Entrée/Sortie
Survie embryonnaire (%)	60,0	76,7	↓
Survie larvaire (%)	98,3	96,7	=
Taux d'éclosion (%)	57,8	71,1	↓
Taux de malformations	31,9	43,9	↑
Taille totale larve (mm)	4,41*	4,5	=
Taille tête (mm)	0,86	0,85*	=
Durée de développement (j)	17,6	19,0	=

* Significativement différent de la condition témoin

- ✓ Toxicité modérée de l'effluent en entrée
- ✓ Toxicité moins marquée de l'effluent en sortie

Tests *ex-situ* : résultats



Toxicité chez le médaka

Traitement charbon actif

Critère de toxicité	Eau entrée (50%)	Eau sortie (50%)	Bilan toxicité Entrée/Sortie
Survie embryonnaire (%)	86,7	86,3	=
Survie larvaire (%)	98,7	97,2	=
Taux d'éclosion (%)	86,7	85,3	=
Taux de malformations	15,6	9,55	=
Taille totale larve (mm)	4,4	4,5	=
Taille tête (mm)	0,9	0,9	=
Durée de développement (j)	13,8	13,8	=

- ✓ Pas de toxicité de l'effluent en entrée
- ✓ Pas de toxicité de l'effluent en sortie

Tests *ex-situ* : résultats

lagune

Toxicité chez le médaka

Lagunage de finition

Critère de toxicité	Eau entrée (50%)	Eau sortie (50%)	Bilan toxicité Entrée/Sortie
Survie embryonnaire (%)	60,3*	1,1*	↑↑
Survie larvaire (%)	90,6	-	-
Taux d'éclosion (%)	60,3*	1,1*	↑↑
Taux de malformations	62,4*	-	-
Taille totale larve (mm)	3,7	-	-
Taille tête (mm)	0,81	-	-
Durée de développement (j)	13,5*	-	-

* Significativement différent de la condition témoin

- ✓ Toxicité de l'effluent en entrée
- ✓ Très forte toxicité de l'effluent en sortie

Discussion

- ✓ Faisabilité de l'approche *ex situ*, de sa mise en place dans divers contextes.
 - ✓ grande robustesse (reproductibilité des expérimentations)
 - ✓ exposition sur de longues durées
 - ✓ expertise sur organismes modèles et du milieu



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



Discussion

✓ Faisabilité de l'approche *ex situ*, de sa mise en place dans divers contextes.

✓ Efficacité des traitements

- ✓ O₃ + CAG : efficacité la plus marquée
- ✓ lagune de finition : facteur de confusion en sortie
- ✓ ouvrir à des espèces présentes dans nos systèmes



Discussion

✓ Faisabilité de l'approche *ex situ*, de sa mise en place dans divers contextes.

✓ Efficacité des traitements

✓ Pas d'effet toxique marqué

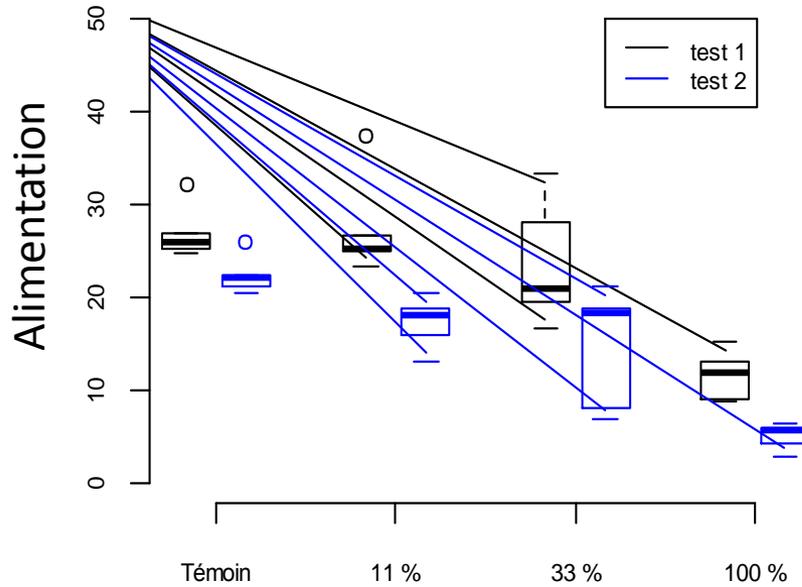
- pas possible d'évaluer le bénéfice des traitements
- questions qui en découlent :

- » Choix de la station / période d'étude sur la station ?
- » Temps d'exposition, et si on allonge?
- » Sensibilité des biotests ?



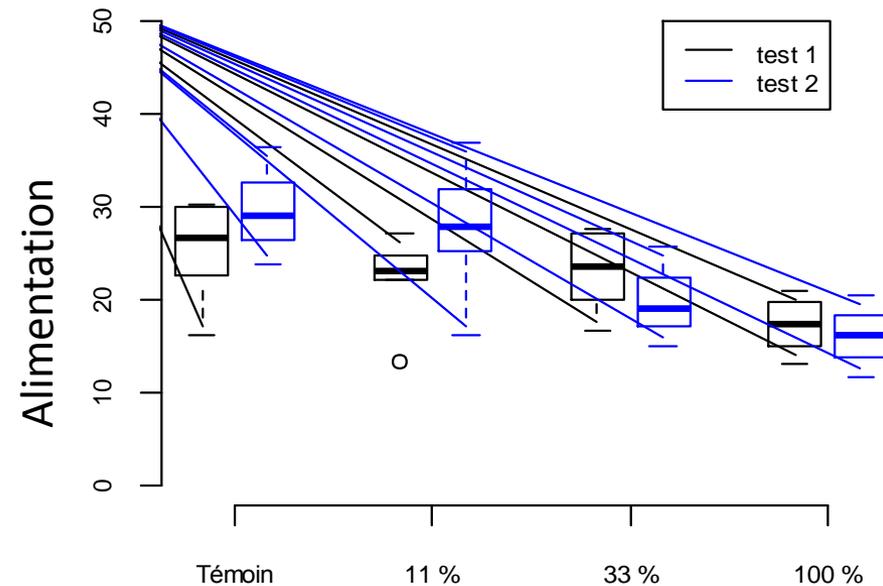
Discussion

Notre expérience / rejets stations hospitaliers



Campagne 2

Campagne 1



Comprendre le monde, construire l'avenir®

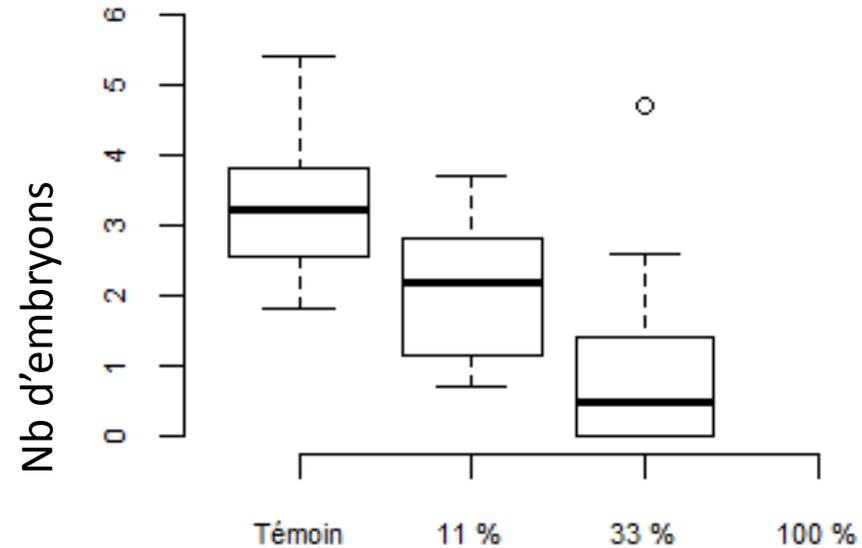
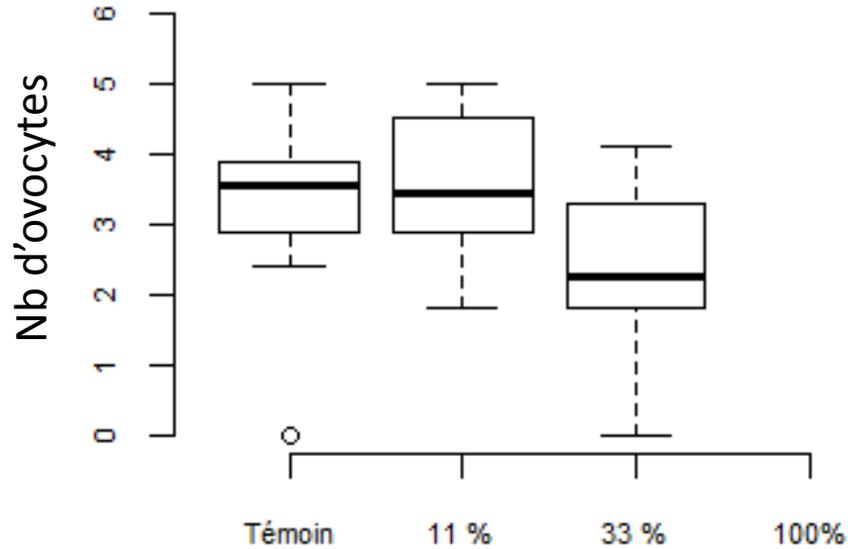


maîtriser le risque pour un développement durable



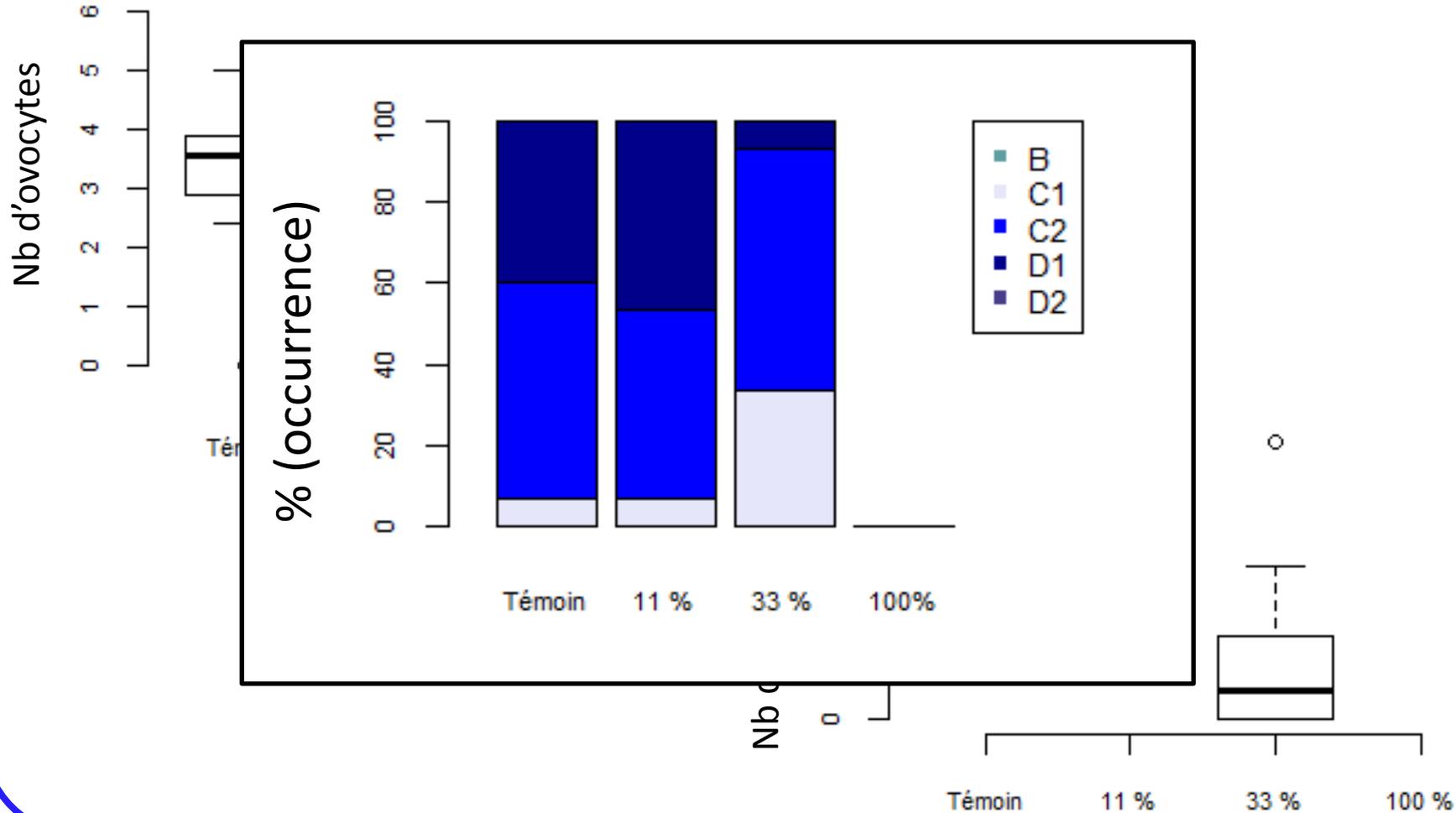
Discussion

Notre expérience / rejets stations hospitaliers



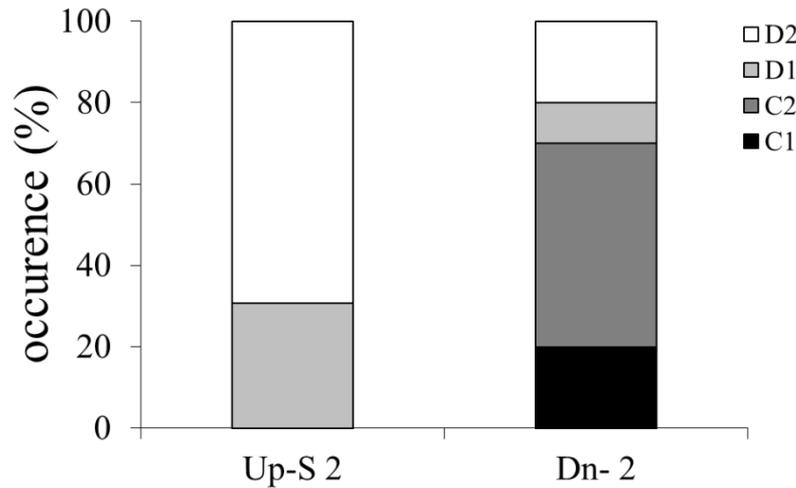
Discussion

Notre expérience / rejets stations hospitaliers

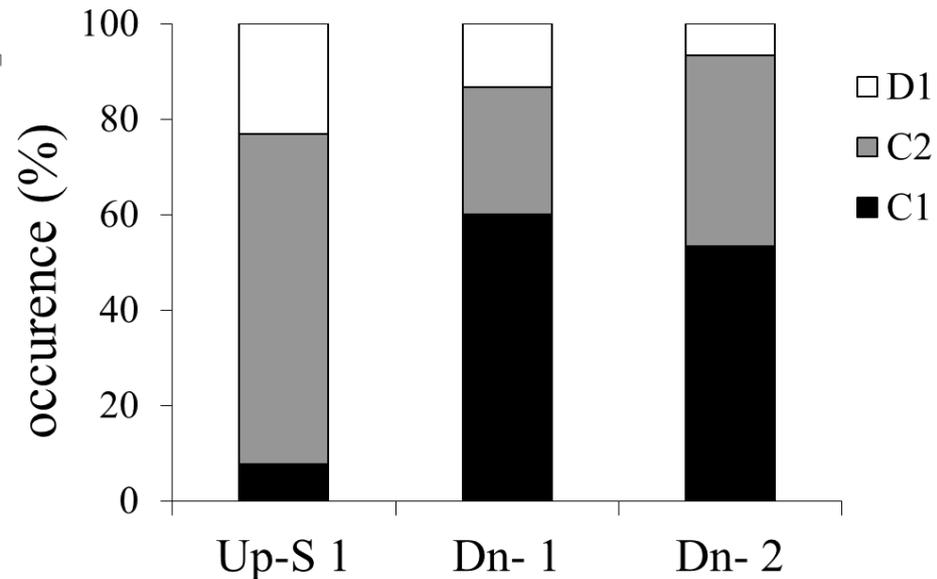


Discussion

Notre expérience / rejets stations d'épuration



STEU avec décantation primaire + biofiltre



STEU avec boue activée aération prolongée



Comprendre le monde, construire l'avenir®



maîtriser le risque pour un développement durable



Conclusions

- ✓ Eaux traitées: très peu d'effets ont été observés
Approche phylum, différences de sensibilité : pas possible
- ✓ Biotests de laboratoire disponibles et discriminants
- ✓ Test *ex situ*, méthodes disponibles, sensibilité des réponses proposées / typologie du rejet
- ✓ Pour les boues : efficacité du compostage ?



Comprendre le monde,
construire l'avenir®



maîtriser le risque
pour un développement durable





Merci de votre attention

