



## Quatre ans de suivis de la qualité chimique et microbiologique de Port Camargue : vers une meilleure compréhension du système portuaire pour une meilleure gestion

Chrystelle MONTIGNY, Patrick MONFORT,  
Léa CAUSSE, Cyrine CHOUBA, Sophie DELPOUX, Aurélien DOMEAU,  
Rémi FREYDIER, Stefaniya HANTOVA, Mylène MARIE, Mylène TOUBIANA

*HydroSciences, Université Montpellier, CNRS  
Plateforme AETE-ISO OSU OREME, Université Montpellier*

Zone côtière Méditerranéenne : espace socio-économique & écologique important



## PORTS

zones de refuge pour de nombreuses espèces biologiques  
+  
zones de fortes pollutions liées à la densité d'activité



**MILIEUX MARINS SEMI-FERMÉS À  
L'INTERFACE ENTRE PLUSIEURS  
ENVIRONNEMENTS**

## FORTES PRESSIONS

Apports de polluants  
issus des activités internes  
propres aux ports

Apports de polluants  
issus des bassins versants et  
des zones urbaines

*Utilisation et entretien  
des bateaux*

*Activités humaines  
(plaisanciers)*

*Activités  
humaines*

*Eaux de ruissellements  
urbains*

# COLLABORATIONS PASSÉES PORT CAMARGUE –HYDROSCIENCES



2012-2015

Projet ECODREGDE–MED :  
Thèse Nicolas Briant

Devenir et biodisponibilité du Cu, Zn et TBT dans un environnement portuaire fortement contaminé : la marina de Port Camargue



Behaviour of butyltin compounds in the sediment pore waters of a contaminated marina (Port Camargue, South of France)

Nicolas Briant, Chrystelle Bancon-Montigny<sup>a</sup>, Rémi Freydidier, Sophie Delpoux, Françoise Elbaz-Poulichet

<sup>a</sup>Laboratoire Hydrosciences UMR 5509, CNRS, Université Montpellier, 163 Rue Auguste Broussonnet, CC 57, 34096, Montpellier, France



Deciphering As and Cu cycling in sediment pore waters in a large marina (Port Camargue, southern France) using a multi-tracer (Fe, Mn, U, Mo) approach

Nicolas Briant, Françoise Elbaz-Poulichet<sup>a</sup>, Rémi Freydidier, Chrystelle Bancon-Montigny, Sophie Delpoux

<sup>a</sup>Laboratoire Hydrosciences UMR 5509, CNRS, Université Montpellier, 163 rue Auguste Broussonnet, CC 57, 34096, Montpellier, France



Trace elements in the sediments of a large Mediterranean marina (Port Camargue, France): Levels and contamination history

Nicolas Briant<sup>a,\*</sup>, Chrystelle Bancon-Montigny<sup>a</sup>, Françoise Elbaz-Poulichet<sup>a</sup>, Rémi Freydidier<sup>a</sup>, Sophie Delpoux<sup>a</sup>, Daniel Cossa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire Hydrosciences UMR 5509, CNRS, Université Montpellier I & II, IRD, Flux Ezzine Bastouin, CC ASE, 34095 Montpellier Cedex 5, France

<sup>b</sup>IFREMER, Centre de Méditerranée, BP 330, 83507 La Seyne-sur-mer, France

**Collège Doctoral**  
de Langue Française

**THÈSE**  
Pour obtenir le grade de Docteur

Développé par Université Montpellier II  
Préparée au sein de l'école doctorale SBAGHE - Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences et Environnement  
Et de l'unité de recherche Hydrosciences Montpellier  
Spécialité : Eaux Continentales et Sociétés

Présentée par Nicolas BRIANT

**DEVENIR ET BIODISPONIBILITÉ DU Cu, Zn ET TBT DANS UN ENVIRONNEMENT PORTUAIRE FORTEMENT CONTAMINÉ: LA MARINA DE PORT-CAMARGUE**

Soutenue le 05 décembre 2014 devant le jury composé de

Françoise ELBAZ-POULICHET	Directrice de thèse, CNRS	Directrice
Olivier BÉGIN-PIRELLI	Maître de Conférences, Aix-Marseille Université	Rapporteur
Cécile GUERIN	Maître de Conférences, Université de Toulouse	Rapporteur
Elma GONZALEZ	Professeure, Université Montpellier I	Présidente
Chrystelle BANCON-MONTIGNY	Maître de Conférences, Université Montpellier II	Invitée
Michel CAVALLIERE	Directeur de Port-Camargue	Invité



Cu isotope records of Cu-based antifouling paints in sediment core profiles from the largest European Marina, The Port Camargue

Nicolas Briant<sup>a,\*</sup>, Rémi Freydidier<sup>b</sup>, Daniel F. Araújo<sup>a</sup>, Sophie Delpoux<sup>b</sup>, Françoise Elbaz-Poulichet<sup>b</sup>



2009  
Etude de la contamination des sédiments du port

# COLLABORATIONS ACTUELLES PORT CAMARGUE –HYDROSCIENCES



...depuis novembre 2021



**ECODREDGE MED II (READYNOV) : MÉTHODOLOGIES, ESSAIS DE TRAITEMENT/VALORISATION DE SÉDIMENTS FINS DRAGUÉS, ET RÉALISATION D'OUVRAGES EXPÉRIMENTAUX EN TRAVAUX PUBLICS CÔTIERS OU MARITIMES DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX ADAPTÉS AUX OPÉRATIONS DE DRAGAGE ET PHÉNOMÈNES NATURELS**

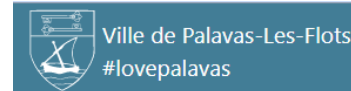
...depuis mars 2018

*suivi mensuel*

**73 CAMPAGNES**



*Michel CAVAILLES, Jean-Romain BRUNET  
Yan ROUX, Delphine VIGNAUD et les services techniques*



T1

**ACQUISITION  
DE DONNÉES**

Détermination de la  
qualité/contamination  
chimique et  
microbiologique

*Suivis spatio-temporels au cours  
des cycles saisonniers, touristiques,  
travaux de dragage...*

T2

**TRAITEMENT  
DE LA BASE  
DE DONNÉES**

Détermination des  
sources principales  
de pollution et du  
devenir des polluants

T3

**COMPRÉHENSION  
DU FONCTIONNEMENT  
DU PORT**

Liens avec la météorologie,  
les changements d'usage du  
port, la gestion des eaux  
usées des bateaux  
stationnés dans le port,  
l'occupation et la  
fréquentation du port...

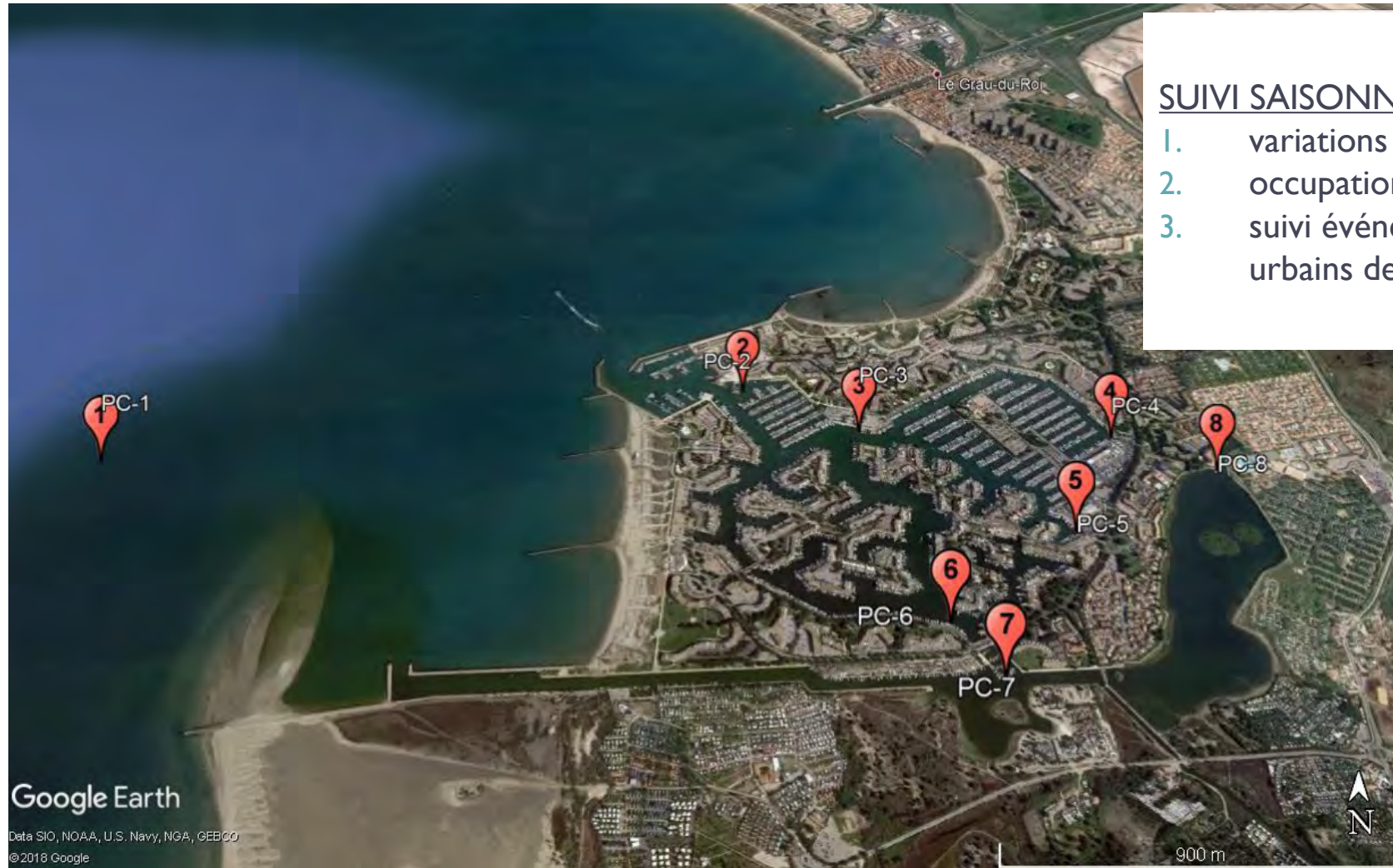
T4

**ORIENTATION  
DES CHOIX  
DES GESTIONNAIRES  
DU SITE**

Limitation des risques  
associés aux activités  
portuaires

## SUIVI SPATIAL :

1. extérieur du port
2. entrée du port
3. milieu du port
4. zone technique I
5. zone technique II
6. Marina
7. Chenal sud
8. Etang de Salonique



## SUIVI SAISONNIER : prise en compte

1. variations hydro-climatiques,
2. occupation touristique
3. suivi événementiel des rejets urbains de temps de pluie

- Échantillonnage mensuel : mars à septembre
- Bi-mensuel : mai à octobre

**Mars 2018 à septembre 2022 : 75 CAMPAGNES ≈ 600 ECHANTILLONS**

## Paramètres physicochimiques

pH  
Température  
O<sub>2</sub> dissous  
Salinité  
Turbidité

sonde de turbidité par néphélométrie. (Technologie Optique infra) (Ijinus®)



multiparamètre portable HACH® (Hq40d) + sondes LDO101, pH301 & CDC40101

Éléments traces métalliques  
Terres rares

## Composés inorganiques



Q-ICP-MS, ICAP-TQ, Thermo Scientific



Nutriments

Plateformes AETE et Medimeer  
OSU OREME



Composés entrant dans la composition des peintures antifouling = organoétains TBT

## Composés organiques



GC-Q-ICP-MS, iCAP Q, Thermo Scientific

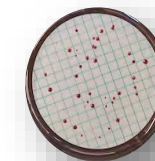
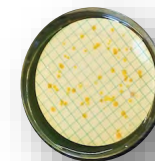


GC-ICP-MS (Focus GC Thermo Fisher Scientific-ICP-MS X Series II-Thermo Fisher Scientific®)

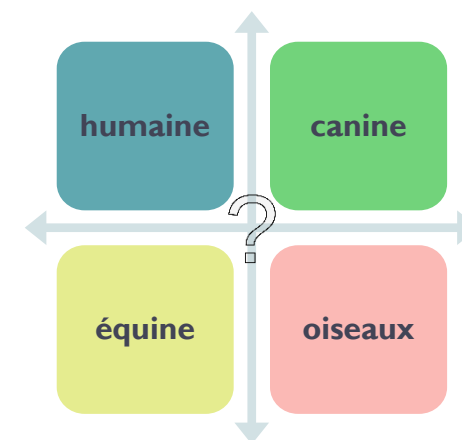
Bactéries Témoins de Contamination Fécale  
**BTCF**

Coliformes thermo-tolérants dont *Escherichia coli*

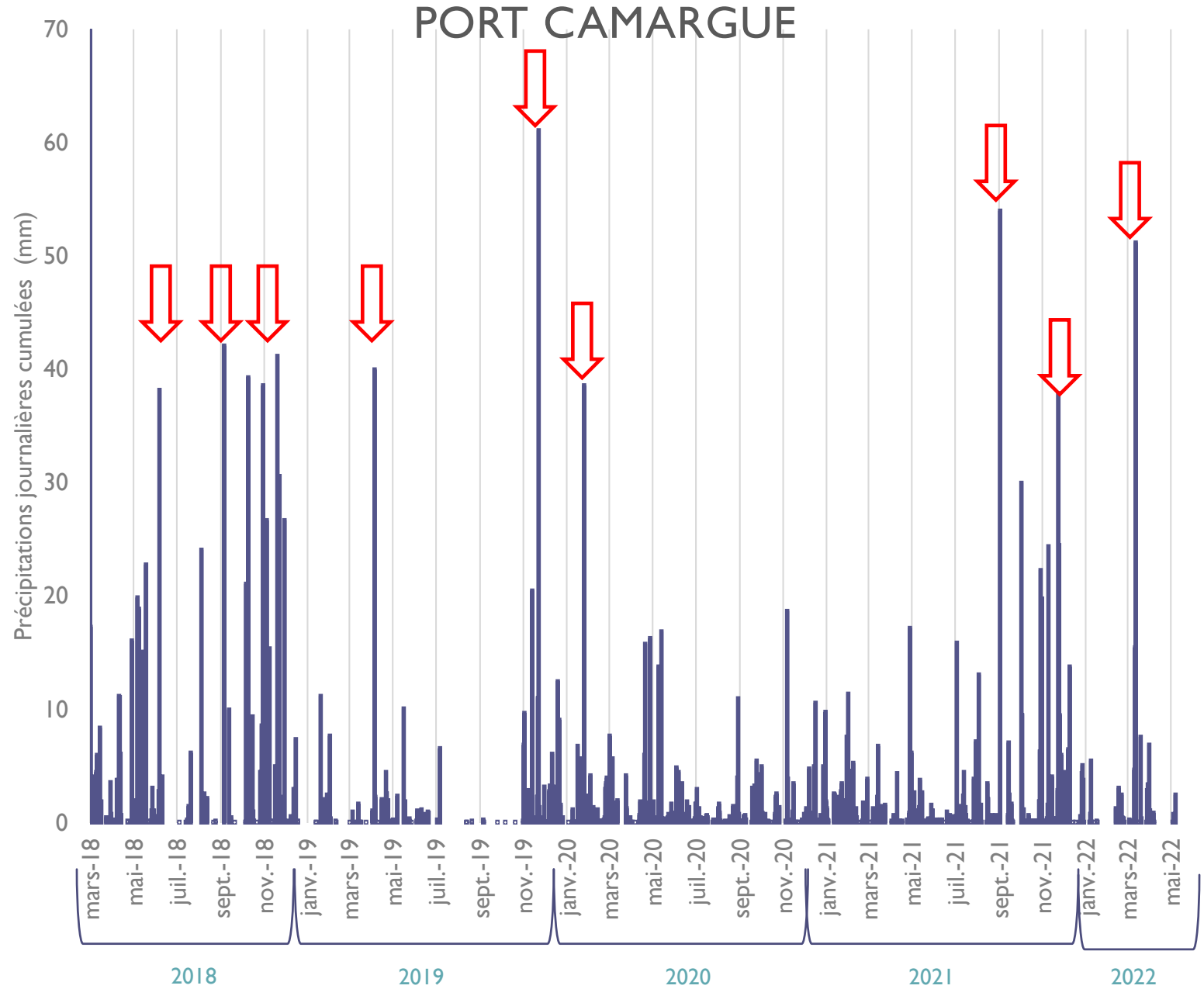
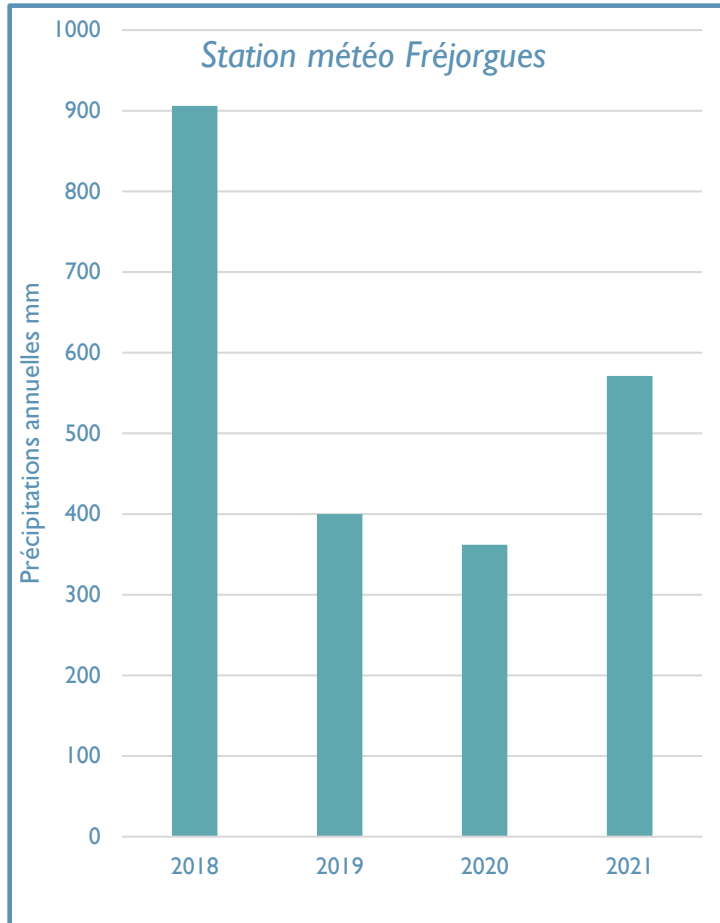
Entérocoques intestinaux



Origine de la contamination microbienne fécale (séquençage ADN)

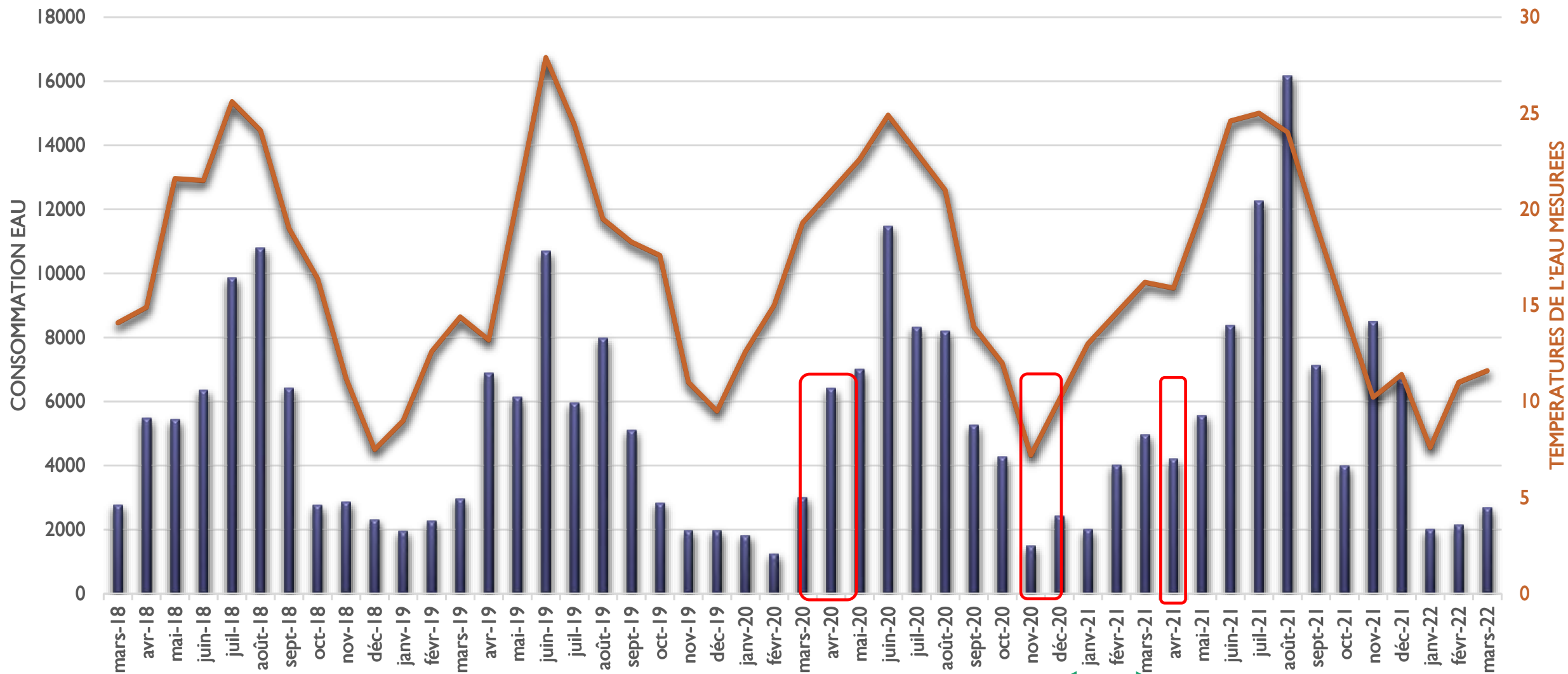


## Paramètres microbiologiques





# OCCUPATION DU PORT (consommation d'eau vs température)



Périodes CONFINEMENTS COVID-19

17 mars  
11 mai  
55 jours

30 oct  
15 déc  
45 jours

Dragage  
Chenal  
sud

3 avril  
3 mai  
28 jours

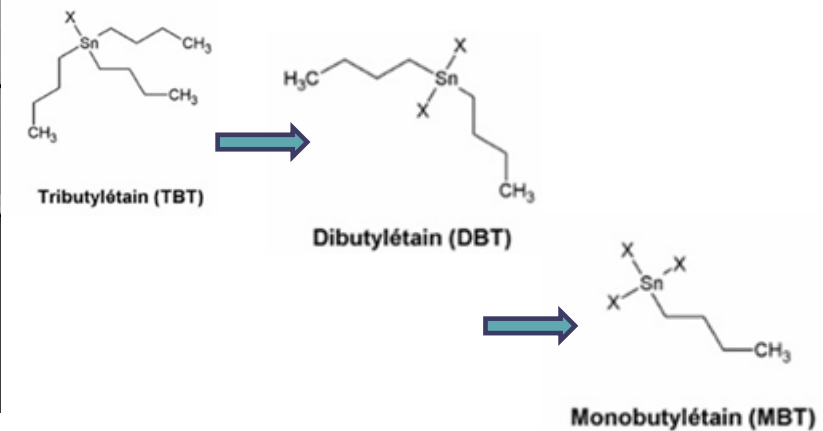
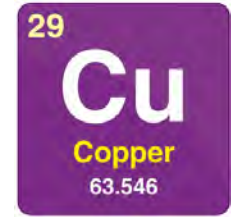
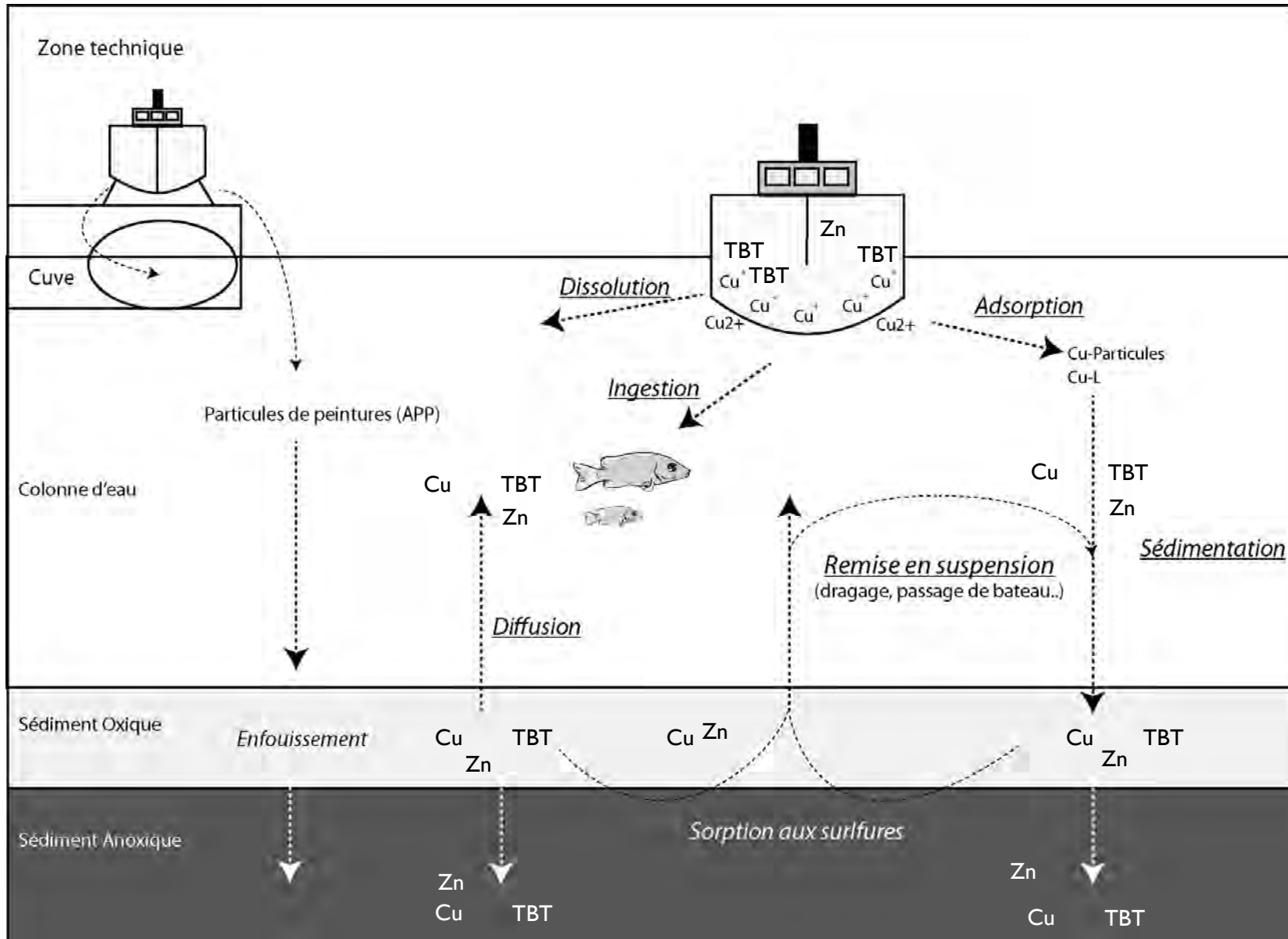


# *I-QUALITÉ/CONTAMINATION CHIMIQUE DU PORT*

## **CAS DES PEINTURES ANTIFOULING**

L'HOMME MÈNE UNE  
LUTTE SANS FIN  
CONTRE LA FIXATION  
D'ORGANISMES MARINS  
SUR DES SURFACES  
IMMERGÉES DANS L'EAU  
DE MER EN GÉNÉRAL,  
ET SUR LES COQUES  
DES NAVIRES EN  
PARTICULIER

# Système portuaire





- **1982** : Usage interdit en France bateaux –25 m.
- **2003** : Usage interdit pour tous les navires (surfaces extérieures) battant pavillon de l'UE (sauf Marine Nationale).
- **2008** : Proscription totale des systèmes antisalissures - obligation d'éliminer les revêtements des coques de bateaux contenant du TBT (IMO)



- Directive CE/**2000/60** ; Directive 2008/105/CE ; Directive 2013/39/UE liste des substances prioritaires (SDP) dans le domaine de l'eau :TBT
- Circulaire du 13/07/**2006** : surveillance eaux douces de surface
- Arrêté du 31/01/**2008** - Annexe II : polluants avec seuil de rejet dans l'eau Tributylétain - Triphénylétain et composés

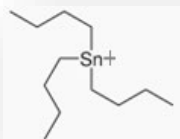
## DIRECTIVE 2013/39/UE

NQE = concentration dans l'eau, le biote ou les sédiments ne devant pas être dépassée pour protéger la santé humaine et l'environnement

NQE –MA : [moyennes annuelles]

effets à long terme & effets chroniques

0,0002 µg/L = 0.081 ng(Sn)/L



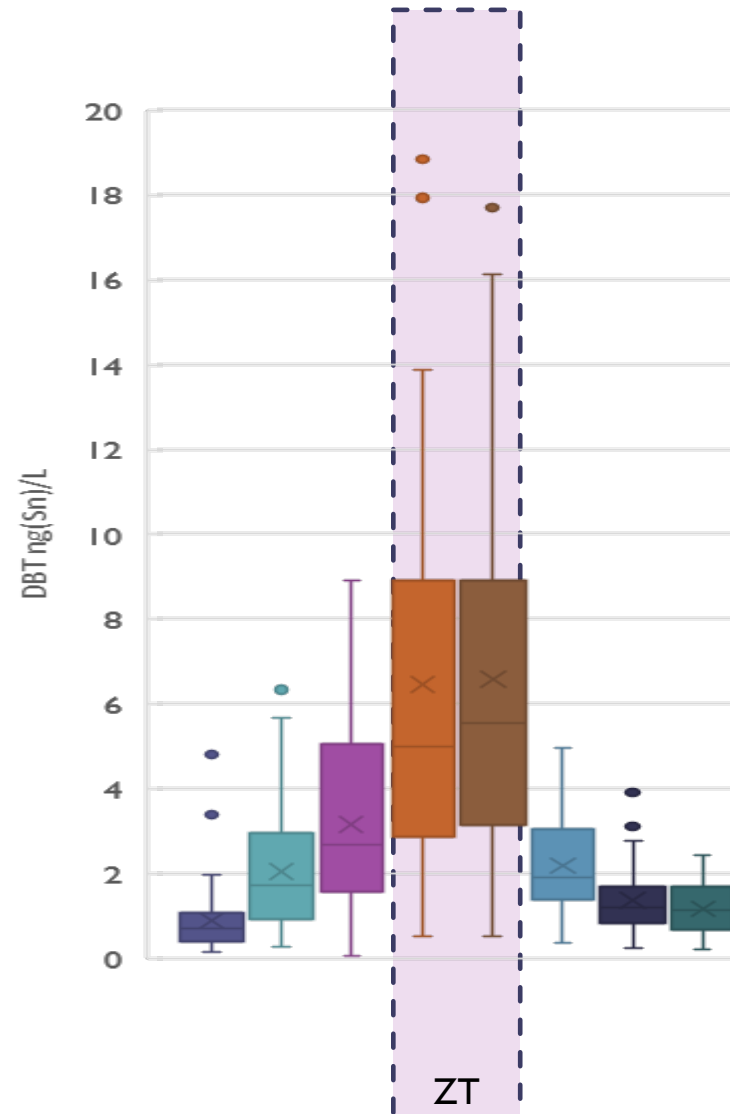
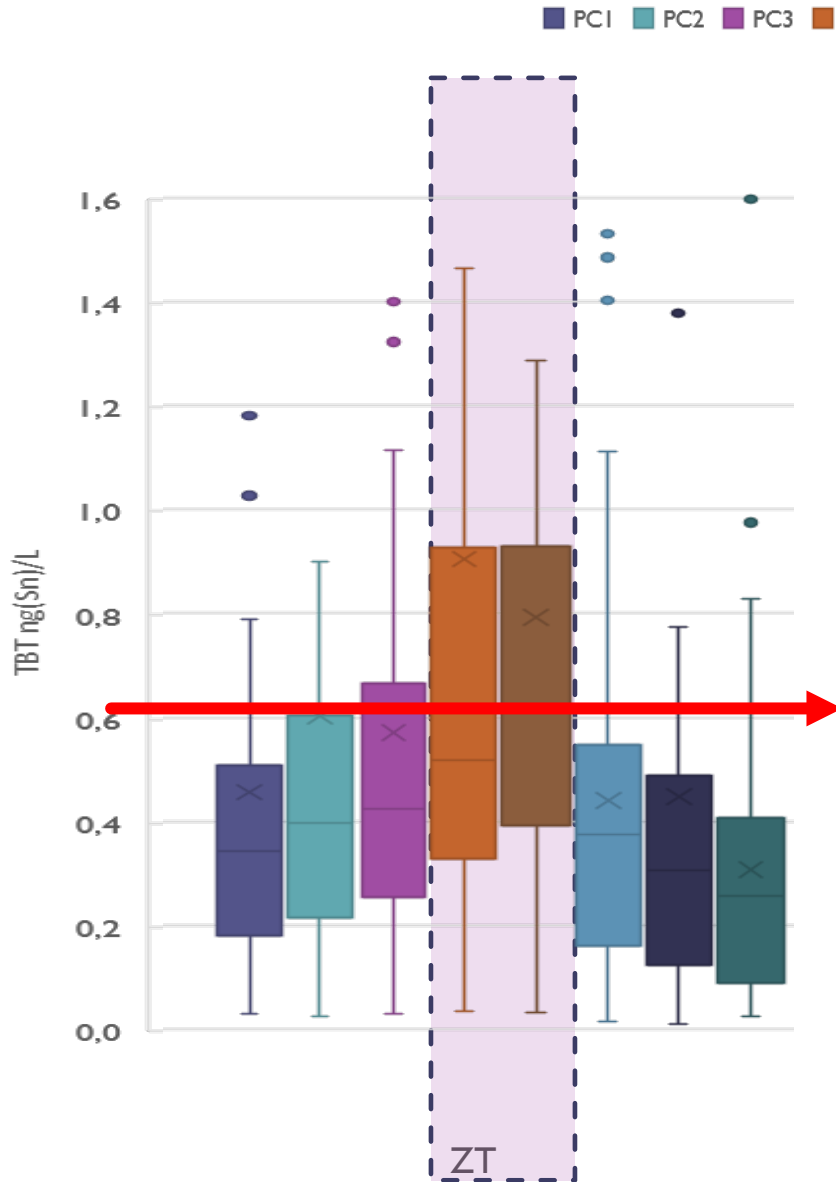
NQE –CMA : [maximales admissibles]

effets écotoxiques directs & aigus

0,0015 µg/L = 0.61 ng(Sn)/L

↪ **En 2015** : rejets réduits de 50 % **Échéance 2021** : disparition totale des masses d'eau

# I-Qualité chimique des eaux du port : étude spatiale



## TBT & DBT ng(Sn).L<sup>-1</sup>

NQE -MA :

[moyennes annuelles]

0.082 ngSn L<sup>-1</sup>

NQE -CMA :

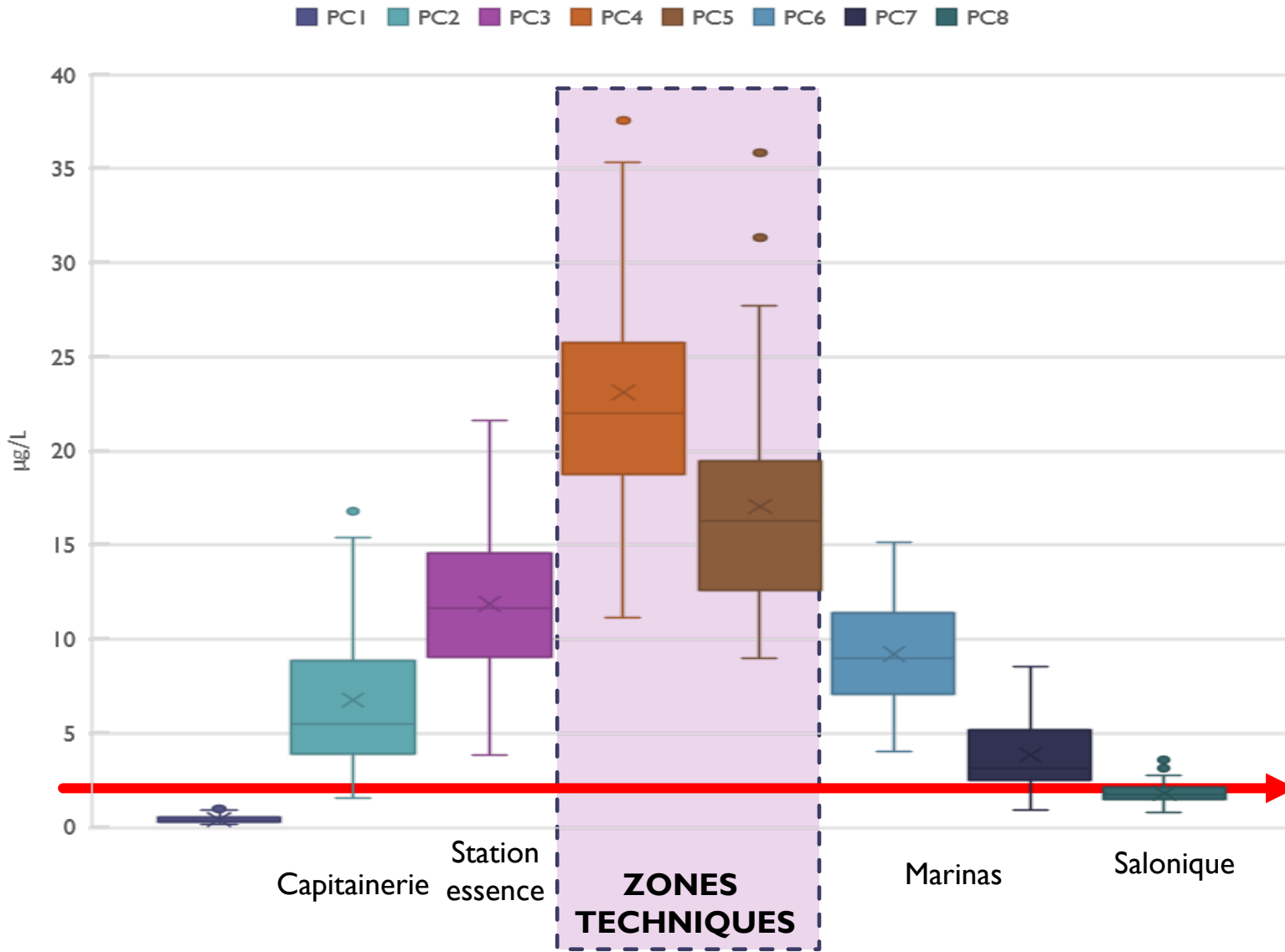
[maximales admissibles]

0.61 ngSn L<sup>-1</sup>



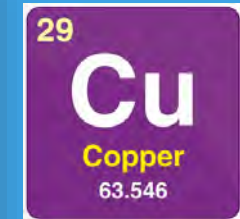
**[TBT] > NQE**  
surtout dans les eaux des  
Zones Techniques du port  
(PC4 & PC5)

# Qualité chimique des eaux du port : étude spatiale



Référence  
0,17 à 1,2 µg/L

← 100% des points > NQE ! →

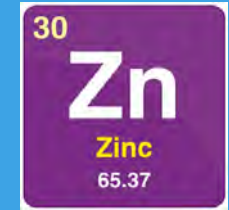
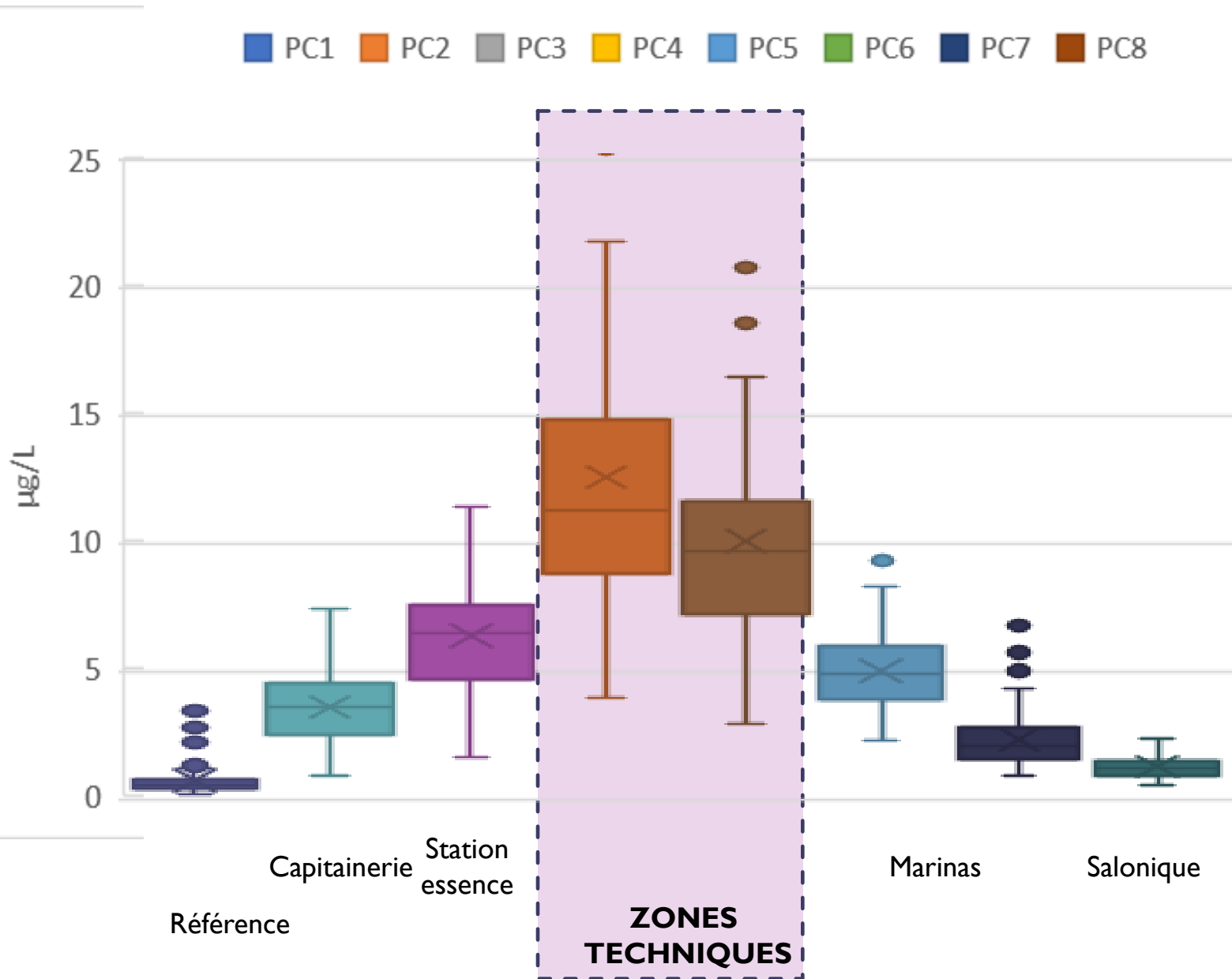


	Norme (µg L <sup>-1</sup> )	Réf.
<b>NQEp</b>	<b>2.5</b>	<b>UE (2013)</b>

DCE : Norme de Qualité des Eaux provisoire (NQEp)

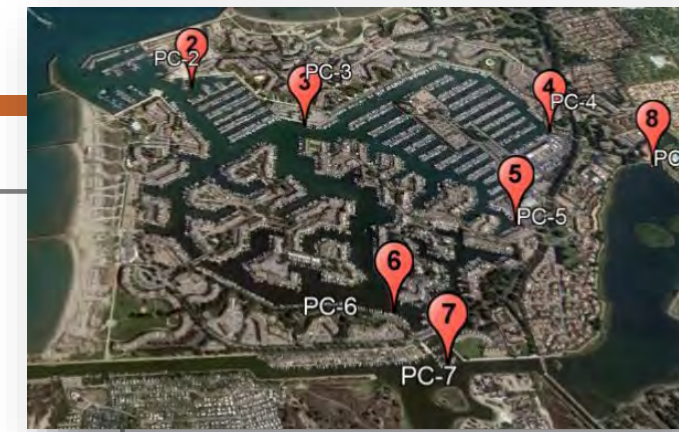
⇒ gradient de pollution des eaux croissant de l'entrée au fond du port près des zones techniques ZT (PC4 et PC5)

# Qualité chimique des eaux du port : étude spatiale

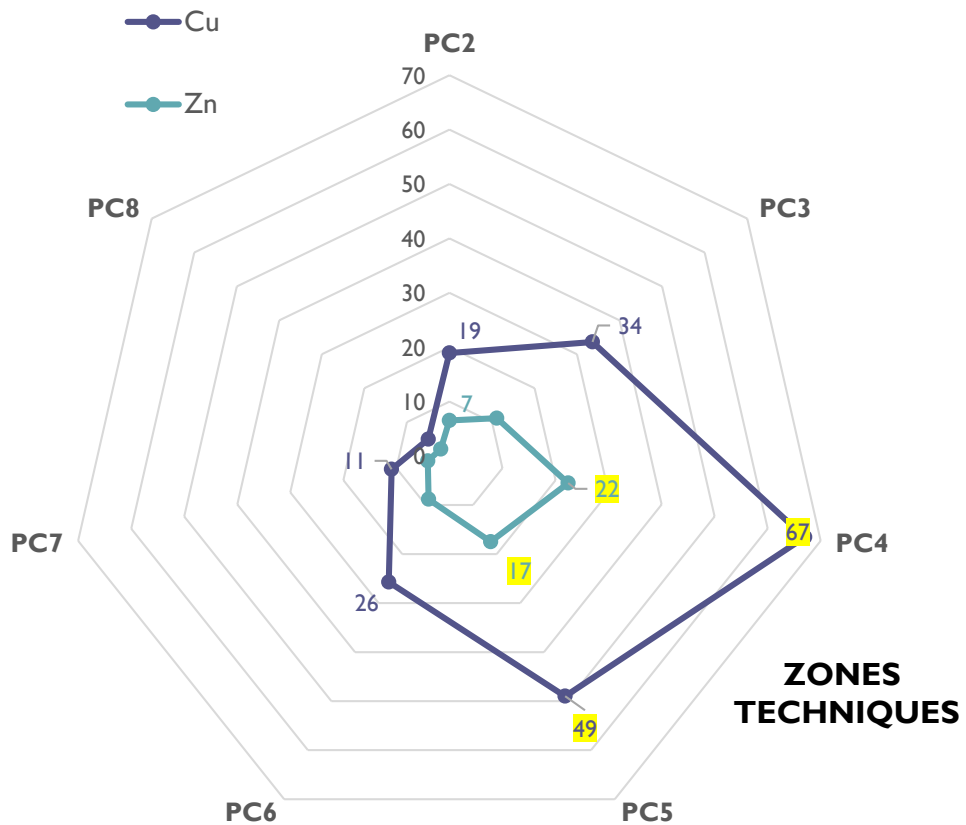


⇒ gradient de pollution des eaux croissant de l'entrée au fond du port près des zones techniques ZT (PC4 et PC5)

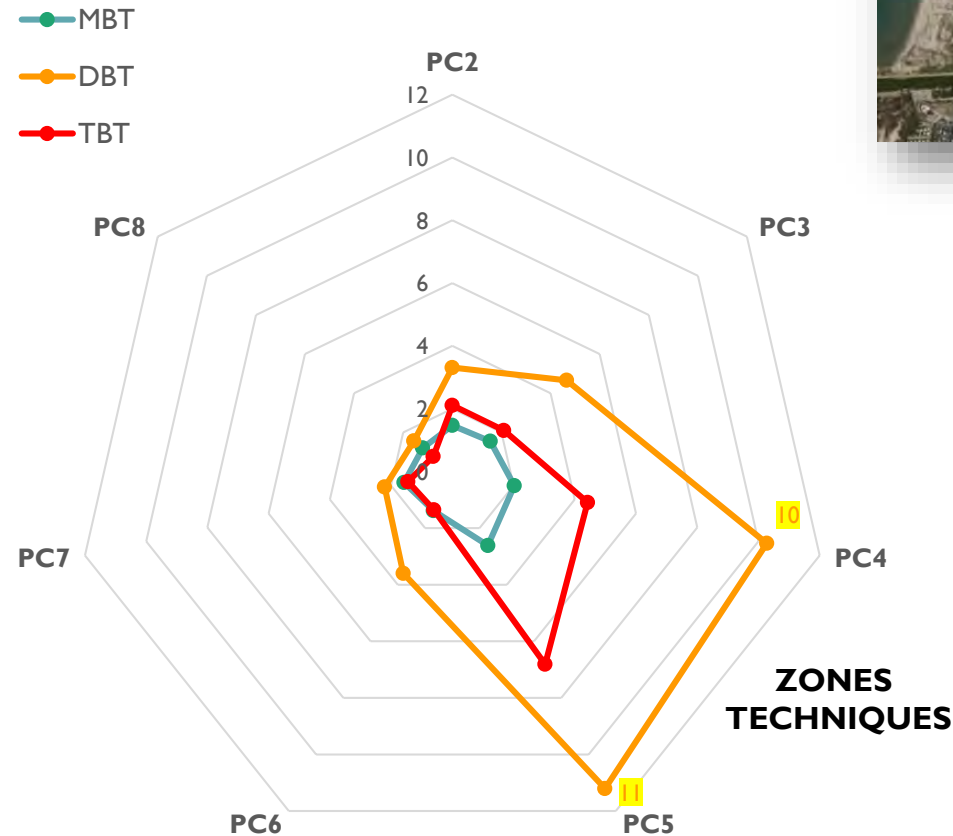
# FACTEURS D'ENRICHISSEMENT / RÉFÉRENCE



## Cuivre et Zinc



## TBT et composés



Enrichissements / au point de référence en Cu, Zn et composés du TBT sur l'ensemble du port  
 ⇒ navigation et circulation des bateaux

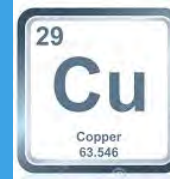
**ENRICHISSEMENTS TRÈS ÉLEVÉS** dans les zones techniques : pas de corrélation avec les activités de carénages et saisonnières



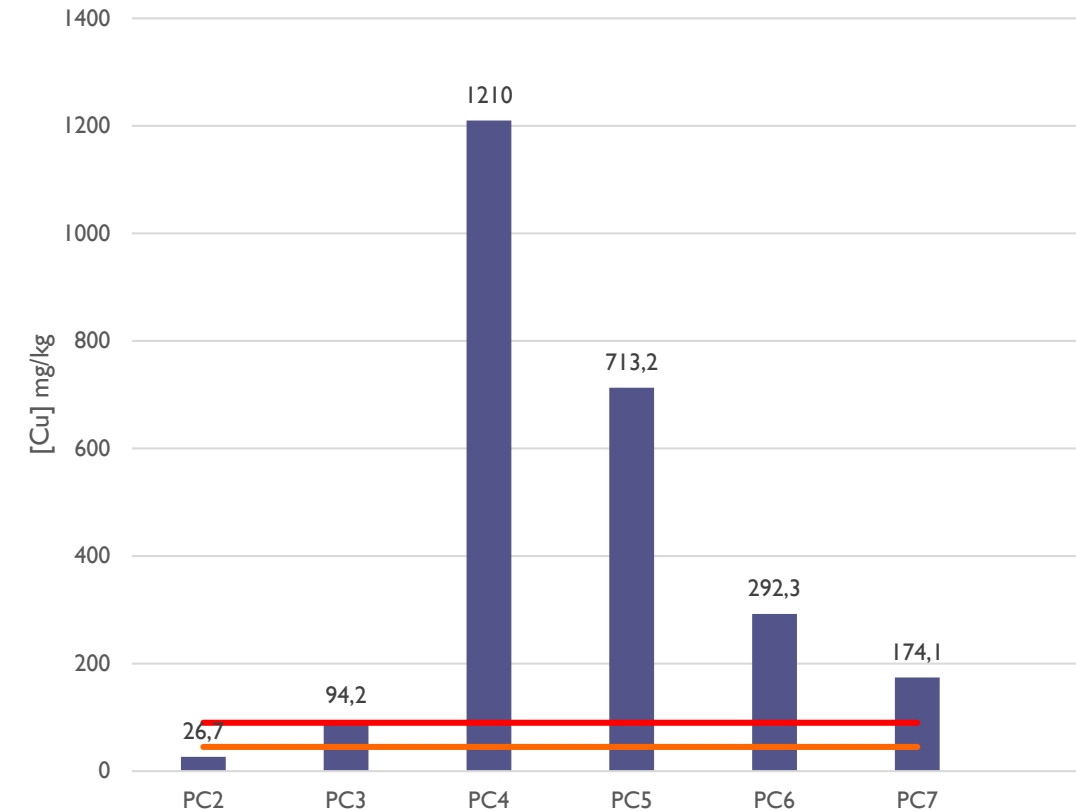


# I-Qualité chimique des eaux du port : phase sédimentaire CUIVRE

SÉDIMENTS SURFACES  
2010



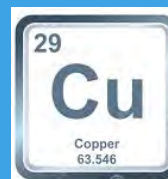
SÉDIMENTS SURFACES  
14/05/2018



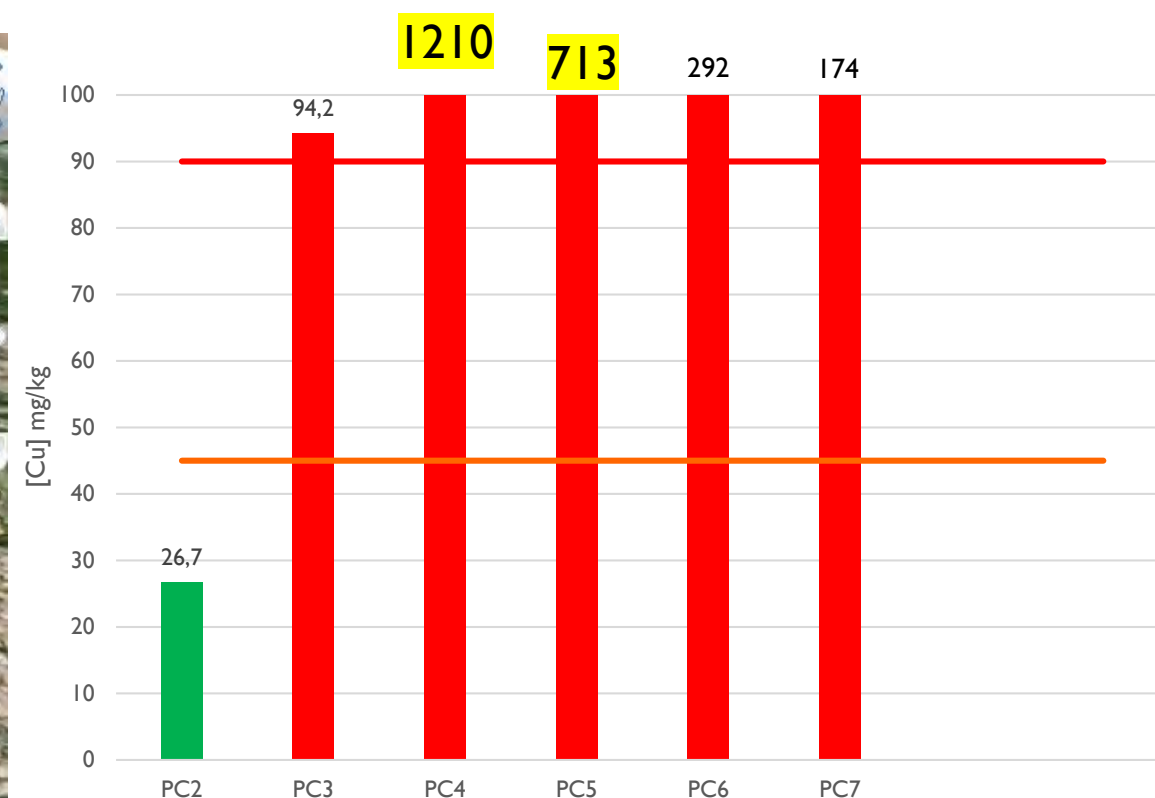
[Cu] < 45  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$   
45 < [Cu] < 90  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  : Niveau N1  
[Cu] > 90  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  : Niveau N2

# I-Qualité chimique des eaux du port : phase sédimentaire CUIVRE

SÉDIMENTS SURFACES  
2010



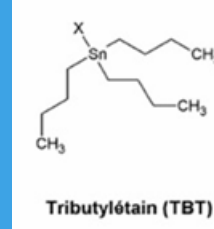
SÉDIMENTS SURFACES  
14/05/2018



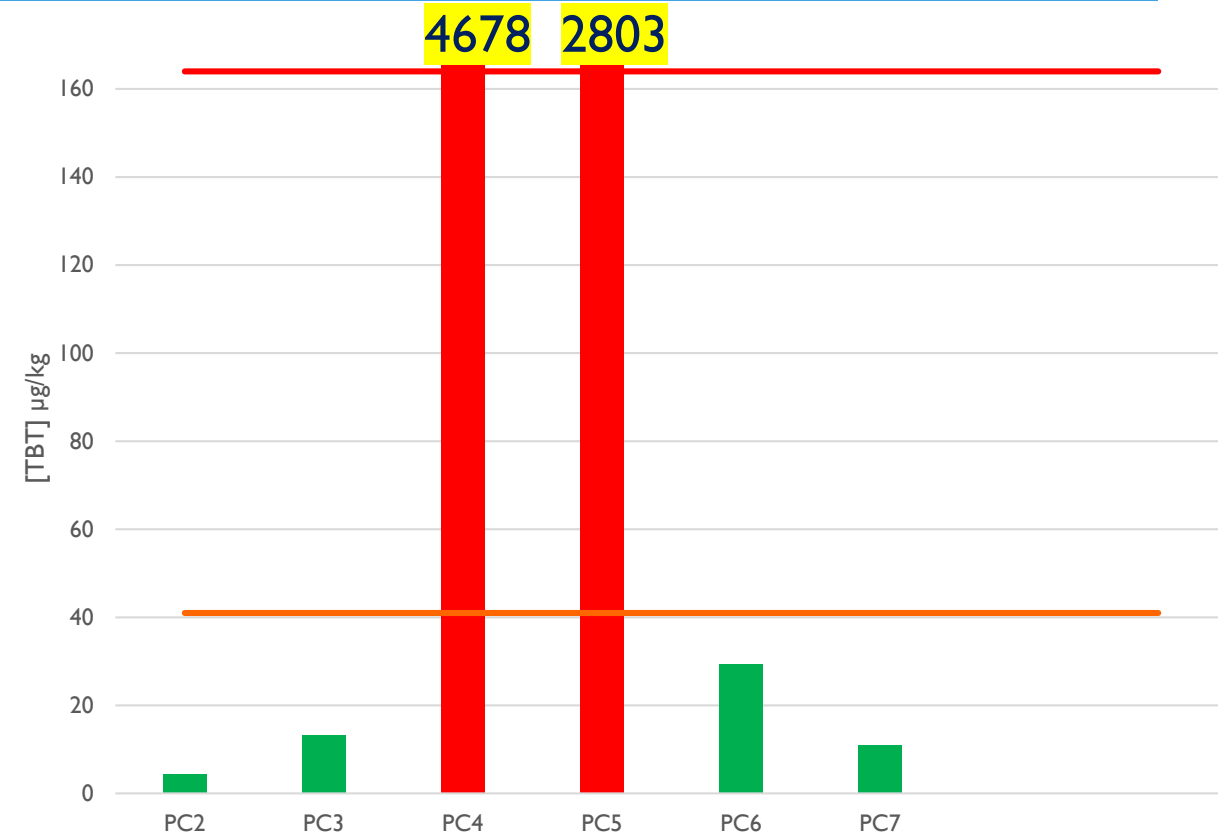
[Cu] < 45  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$   
45 < [Cu] < 90  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  : Niveau N1  
[Cu] > 90  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  : Niveau N2

# I-Qualité chimique des eaux du port : phase sédimentaire TBT

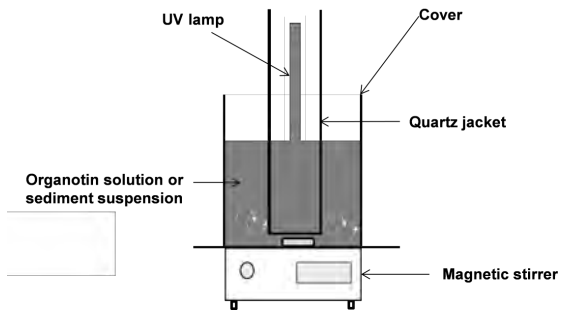
SÉDIMENTS SURFACES  
2010



SÉDIMENTS SURFACES  
14/05/2018



[TBT] < 41 ng(Sn).g<sup>-1</sup>  
41 < [TBT] < 164 ng(Sn).g<sup>-1</sup> : Niveau N1  
[TBT] > 164 ng(Sn).g<sup>-1</sup> : Niveau N2



Traitement  
photocatalytique

S. Brosillon



Echantillonneurs  
intégratifs passifs  
immersés

L. Daridon



Dynamique de la  
contamination  
l'interface eau-  
sédiment

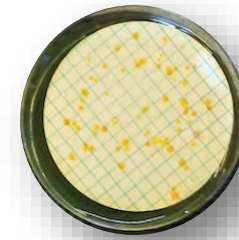
S. Rigaud



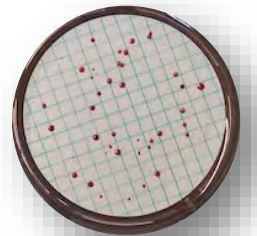
# II-QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DU PORT

## ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION MICROBIENNE D'ORIGINE FÉCALE

- INTERDICTION DE BAINNADE DANS LES EAUX PORTUAIRES, MAIS DES USAGERS DE LA MARINA SE BAINNENT !
- FERMETURES DE PLAGES : LE PORT EST-IL UNE SOURCE DE CONTAMINATION?



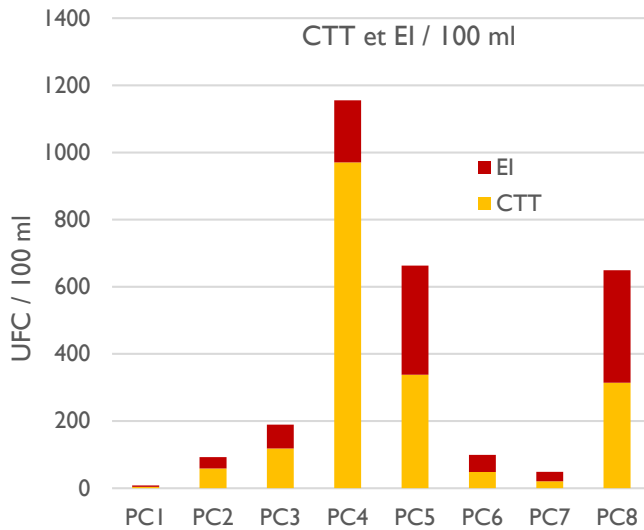
Coliformes thermo-tolérants  
dont *Escherichia coli*



Entérocoques intestinaux

# II- Qualité microbiologique des eaux du port

## Variations spatiales CCT et EI



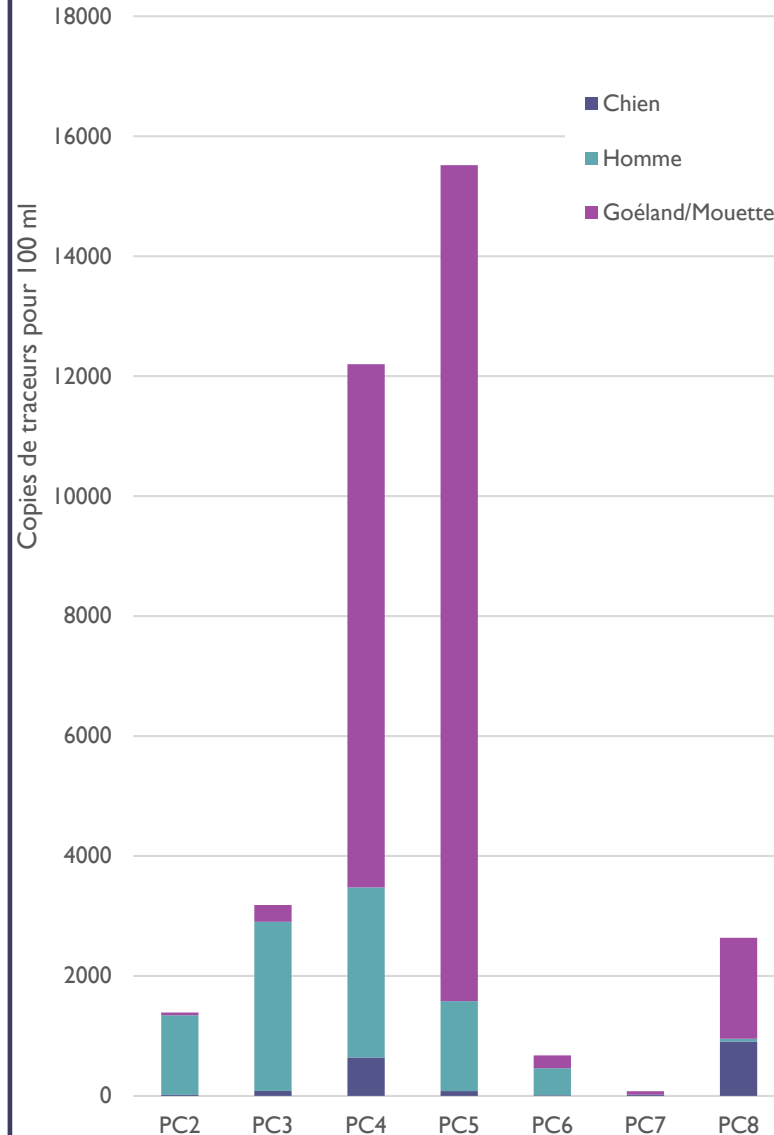
-Eaux du port de bonne qualité en général, **MAIS** contaminations ponctuellement importantes (PC4, 5 et 8)

-Eaux de qualité souvent insuffisante comparée à celle des eaux de baignade

## Variations temporelles

⇒ **Corrélation positive** significative des concentrations avec la pluviométrie

## Variations spatiales moyennes des traceurs / 100 ml



### HUMAINE

- Contamination présente sur l'ensemble du port
- Pas de corrélation avec la fréquentation du port ni avec les pluies
- Augmentations ponctuelles dues à des problèmes de réseau d'assainissement (fuites? accidents?)

### CANINE

- Présent surtout à PC4 dans le port et PC8 (zone de promenade de chiens)
- Augmentation après pluies d'automne : lessivage ?

### ÉQUINE

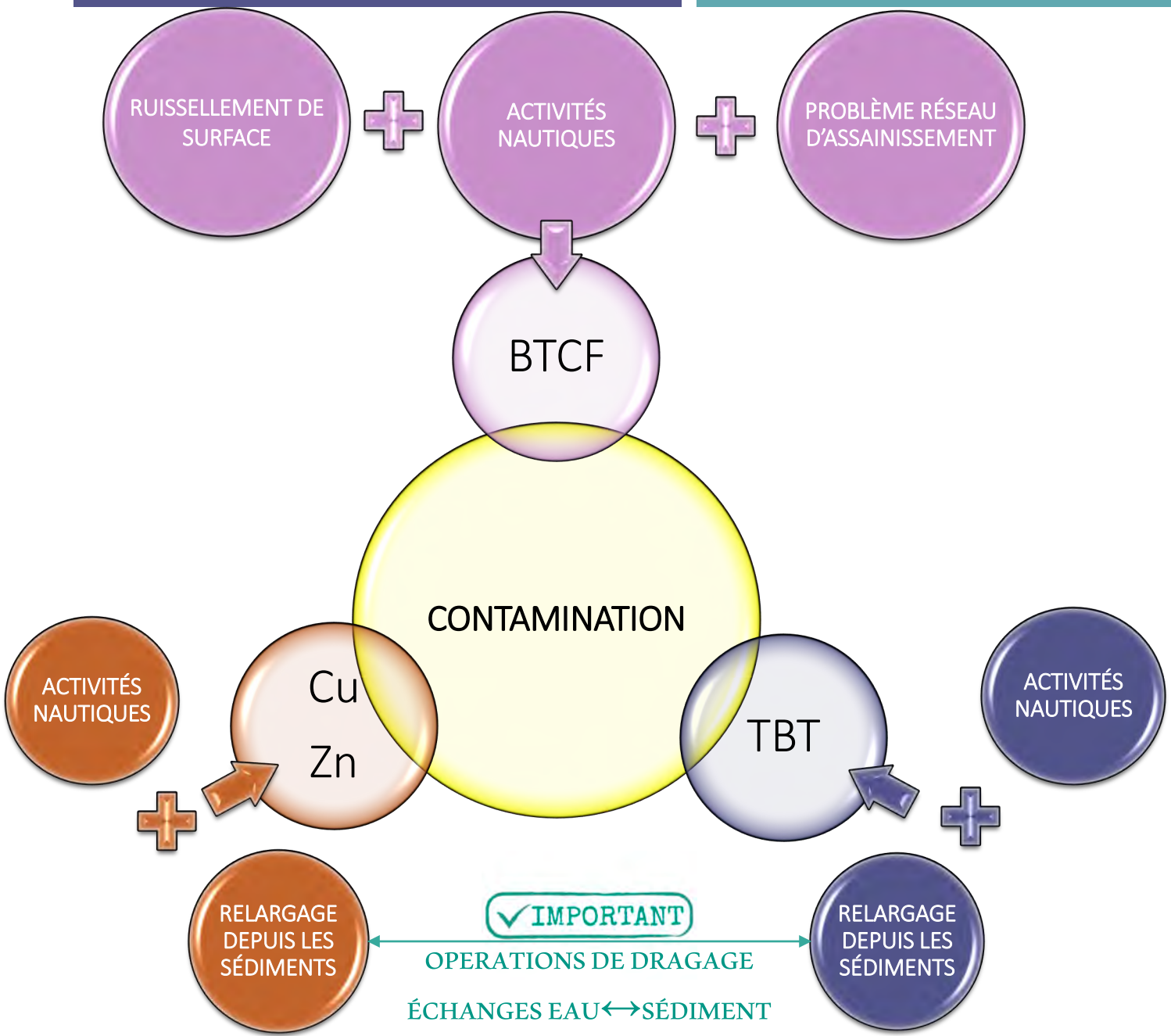
**Jamais détecté**

Les activités équestres (promenades à cheval (Camargue) n'ont pas d'influence sur la qualité des eaux portuaires

### OISEAUX

(MOUETTES/GOÉLANDS)

- Contamination présente surtout à PC5 et PC4
- Corrélation positives avec les précipitations : augmentations importantes après les pluies



**LES TRACEURS D'ORIGINE DE LA CONTAMINATION PERMETTENT D'EXPLIQUER UNE GRANDE PARTIE DE LA CONTAMINATION.**



Faible contamination fécale constante en dehors des périodes pluvieuses expliquée par une contamination animale (oiseaux chiens) et humaines (marinas et plaisanciers)

Forte contamination d'origine humaine et animale à l'intérieur du port en période de fortes pluies  
 ⇒ Problèmes de réseau d'assainissement (fuites éventuelles et accidents ponctuels, lessivage urbains, déversoirs d'orage du réseau)

Contamination importante due aux goélands et mouettes toute l'année au PC5

Contamination oiseau et surtout chien de l'étang de Salonique

ÉTUDES PLURIDISCIPLINAIRES  
et multi-acteurs :

SCIENTIFIQUES  
(CHIMIE/MICROBIOLOGIE...)

+

GESTIONNAIRES DU PORT

+

ÉQUIPES TECHNIQUES DU PORT

=

PORT-CAMARGUE CONSTITUE  
UN VÉRITABLE OBSERVATOIRE  
pour l'étude de zones portuaires  
du Golfe d'Aigues Mortes

