



Des huîtres connectées pour protéger qualité de l'eau et biodiversité

Jean-Charles Massabuau (DR Emérite CNRS, CNRS & U. Bordeaux)

Thomas Merzi (R&D leader Biodiversité, TotalEnergies, Pau)

jean-charles.massabuau@u-bordeaux.fr

thomas.merzi@totalenergies.com

Question et principe de base

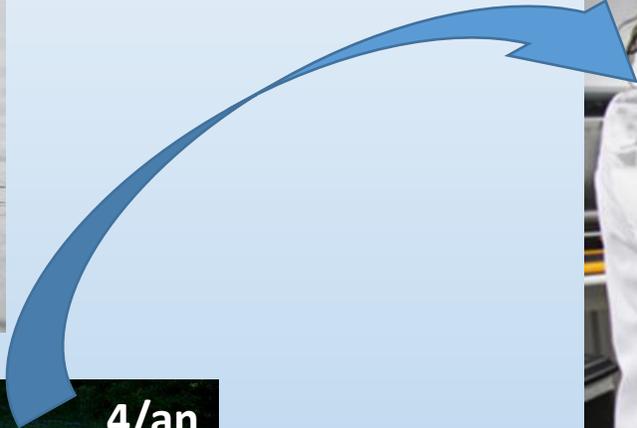
Les écosystèmes aquatiques font face à de multiples pressions incluant toutes les formes de pollutions, le réchauffement et une augmentation de l'exploitation des ressources qu'ils contiennent.

Le développement d'outils originaux pour comprendre leur évolution, et en particulier celle de la biodiversité, est une nécessité absolue.

Suivre en temps réel la biologie de témoins représentatifs de la faune, utilisés comme sentinelles, c'est ouvrir une fenêtre sur les atteintes pouvant être portées à l'ensemble de la faune.

Le besoin

Surveiller la qualité de l'eau 24/7 sur le terrain



Un problème type: détecter la pollution chimique

Source: Agence Européenne pour l'Environnement (2019)

L'environnement en Europe:
Etat et Perspective 2020

100 000 produits chimiques disponibles

22 600 utilisés à raison de plus de 1 t/an

4 700 utilisés > 100 t/an



500 sont bien caractérisés en termes de risques +++

10 000 ++

20 000 ±

70 000 --

41 substances contrôlées

Au bilan: Impossible de rechercher toutes les substances par l'analyse chimique seule

Un problème type: détecter la pollution chimique



- Des substances nouvelles apparaissent en permanence
- Les produits de dégradation
- Les effets cocktails
- Des problèmes de détection

Bilan: On n'échantillonne pas à fréquence suffisamment élevée, il est impossible de tout doser et donc il est impossible de conclure

Un problème de mieux en mieux identifié: Avril 2021

Le Monde

PLANÈTE • POLLUTIONS

Dans les océans, la pollution chimique menace toute la chaîne alimentaire

Le rapport du Réseau international pour l'élimination des polluants constate que les rejets de l'homme impactent l'ensemble de la vie océanique, du plancton aux oiseaux.

Par Martine Valo

Publié le 29 avril 2021 à 14h00 - Mis à jour le 30 avril 2021 à 11h55 - 🕒 Lecture 4 min.

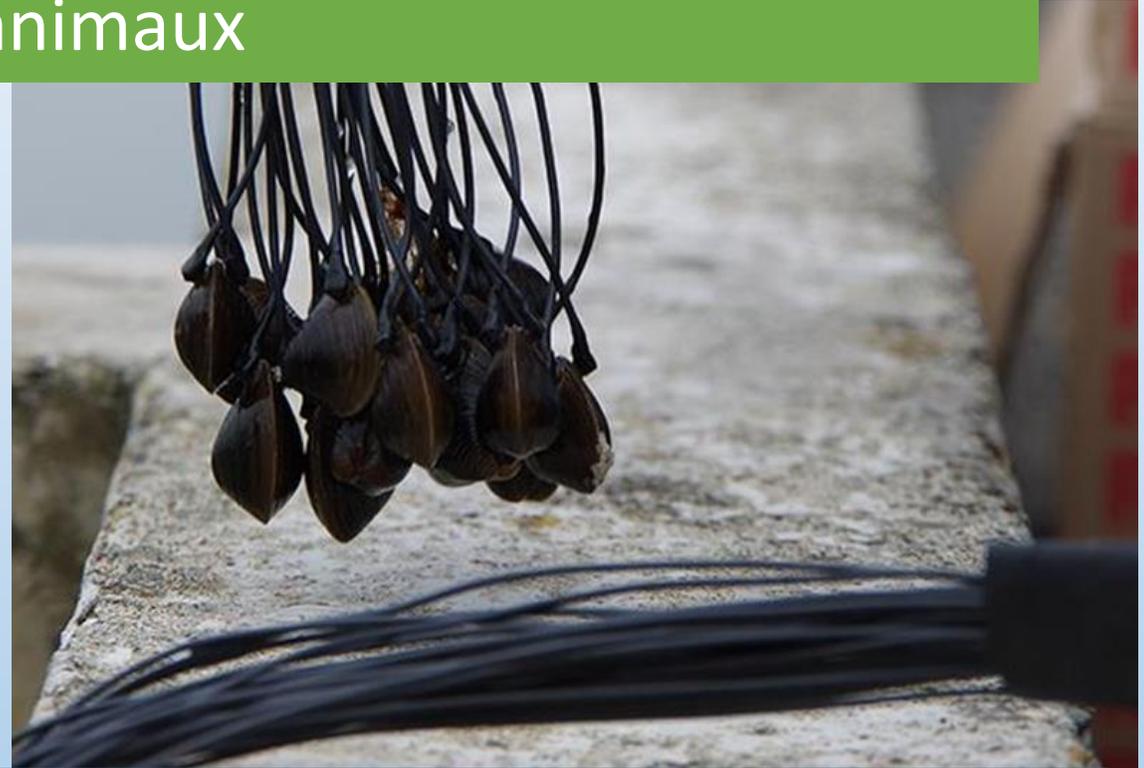
AQUATIC POLLUTANTS IN OCEANS AND FISHERIES

April 2021



La solution demandée par l'Europe

Passer de la recherche de produits → à celle d'effets sur le milieu et donc les animaux

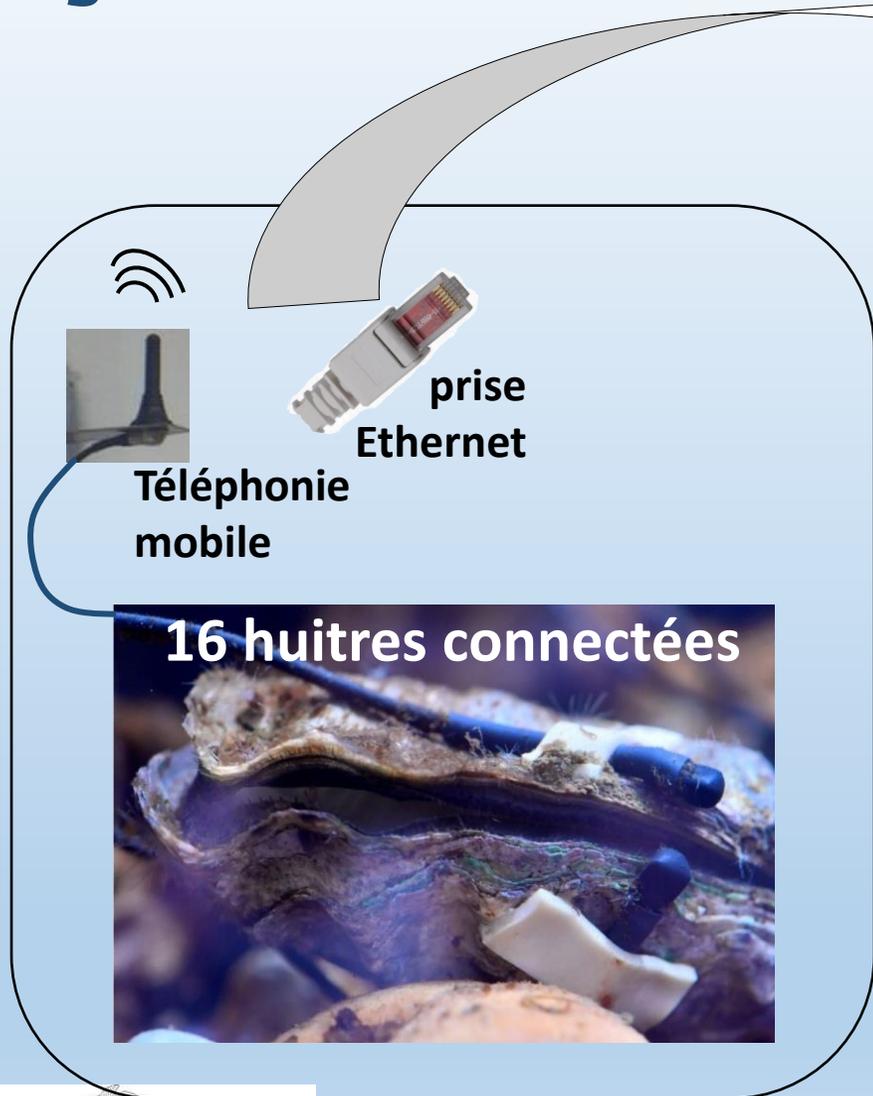


QUESTION n°1: Est ce qu'il y a « quelque chose » de toxique dans l'eau ?



C'est là que le biomonitoring avec des objets connectés a toute sa place

Objets connectés : projet molluSCAN



Téléphonie mobile

prise Ethernet

16 huitres connectées

The diagram shows a rounded rectangular box containing icons for mobile telephony (a signal tower) and an Ethernet port. Below these icons is a photograph of several oysters with small blue sensors attached to their shells. A large white arrow points from this box towards the 'Bordeaux' box.

Bordeaux

Analyse de 10 paramètres / j
→ 1 bilan physiologique / j,
→ 1 indicateur bilan / j

Artificial Intelligence AI

The 'Bordeaux' box features a green header with the project name. Below it, a green box contains text about daily analysis of 10 parameters, resulting in a physiological balance and a balance indicator. At the bottom, there is an image of a glowing blue brain with the text 'Artificial Intelligence AI' overlaid. A large white arrow points from this box towards the 'Diffusion' box.

Diffusion



The 'Diffusion' box shows a man in a blue sweater looking at a laptop. Below him, a hand holds a smartphone displaying an app interface. A colorful, starburst-shaped graphic with a smiling mollusk character is positioned between the laptop and the phone. A large white arrow points from this box towards the bottom right of the slide.

Un montage typique

Terrain

Téléphonie mobile

Bordeaux, France

Internet

Electronique émergée



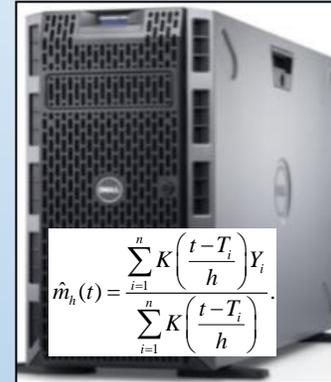
Linux embarqué

Faible conso: 1 watt

Station Marine

Université de Bordeaux

Arcachon/Bordeaux



Unité maître,
biprocasseur, 12 cœurs

Siteweb MOLLUSCAN EYE



pro

public

Graphiques
dynamiques

Application



+ 2 sauvegardes sur
2 lieux différents



Un montage typique

Un groupe de 16 animaux

Échantillonné à 10 or 50 Hz, 24/24

860 000 points /jour /site

1 transfert / j à minuit



huitres



moules



pétoncles

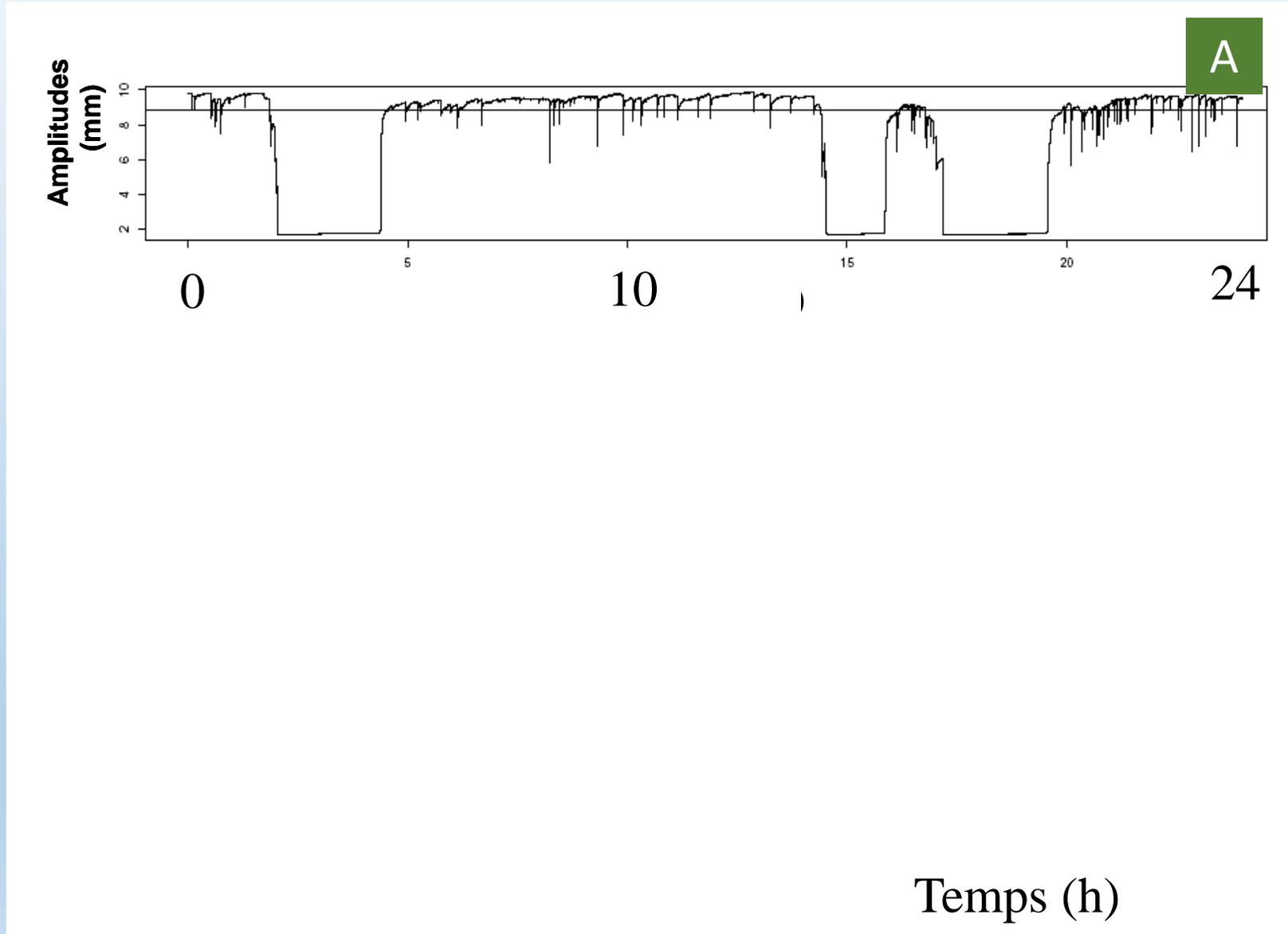


corbicules
(eau douce)

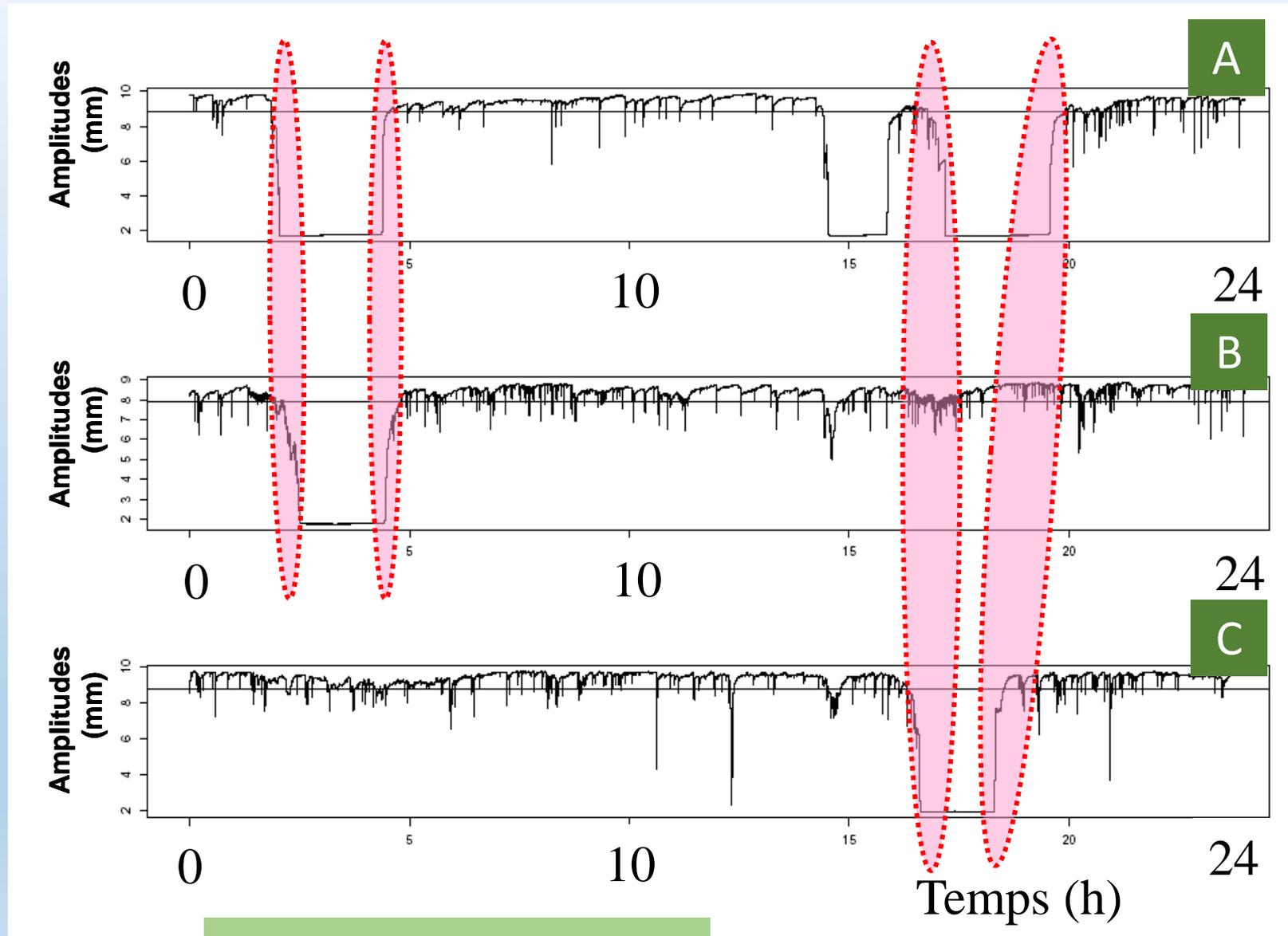
Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques



Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques

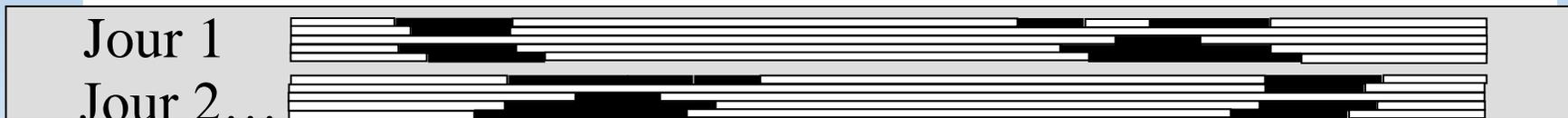
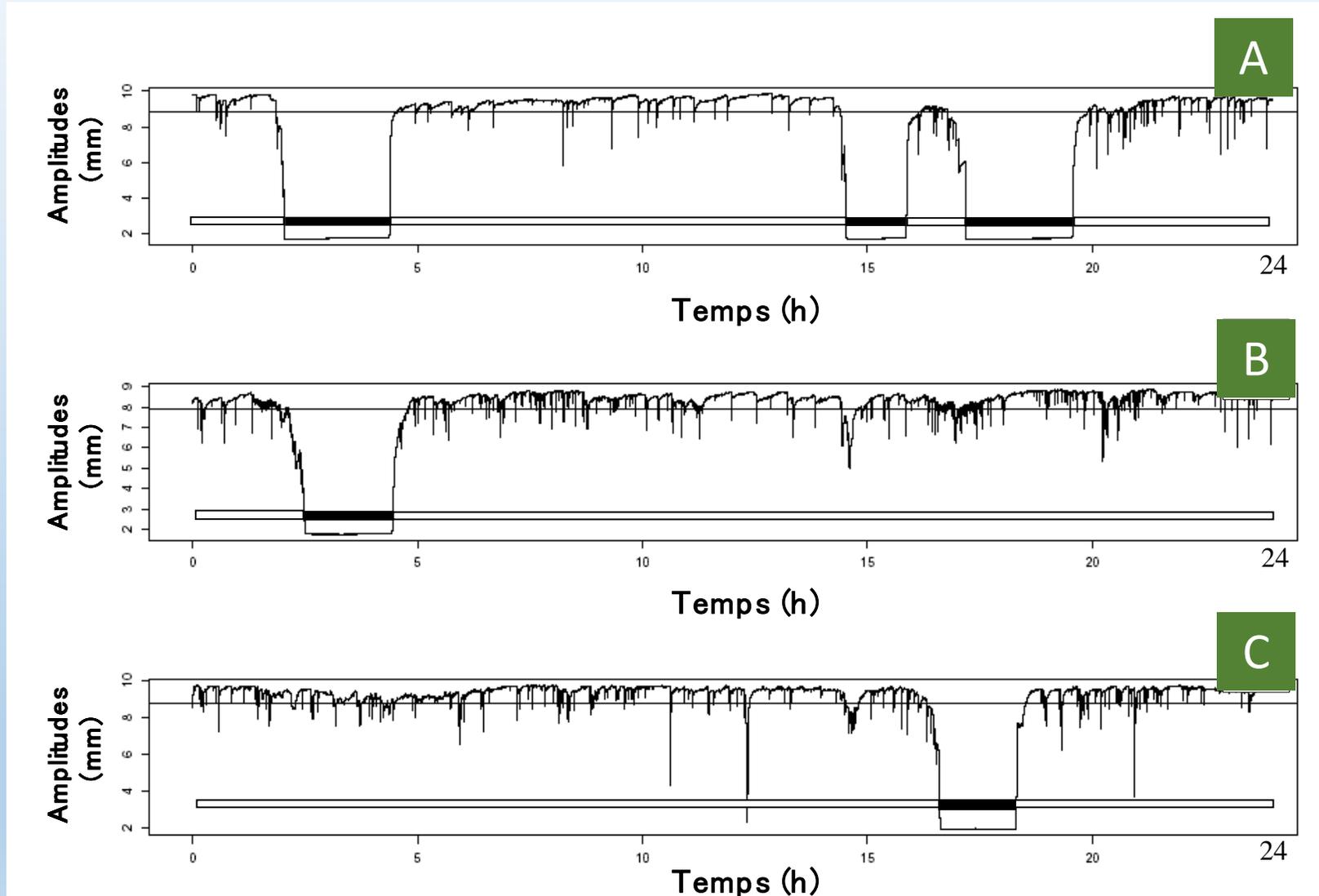


Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques



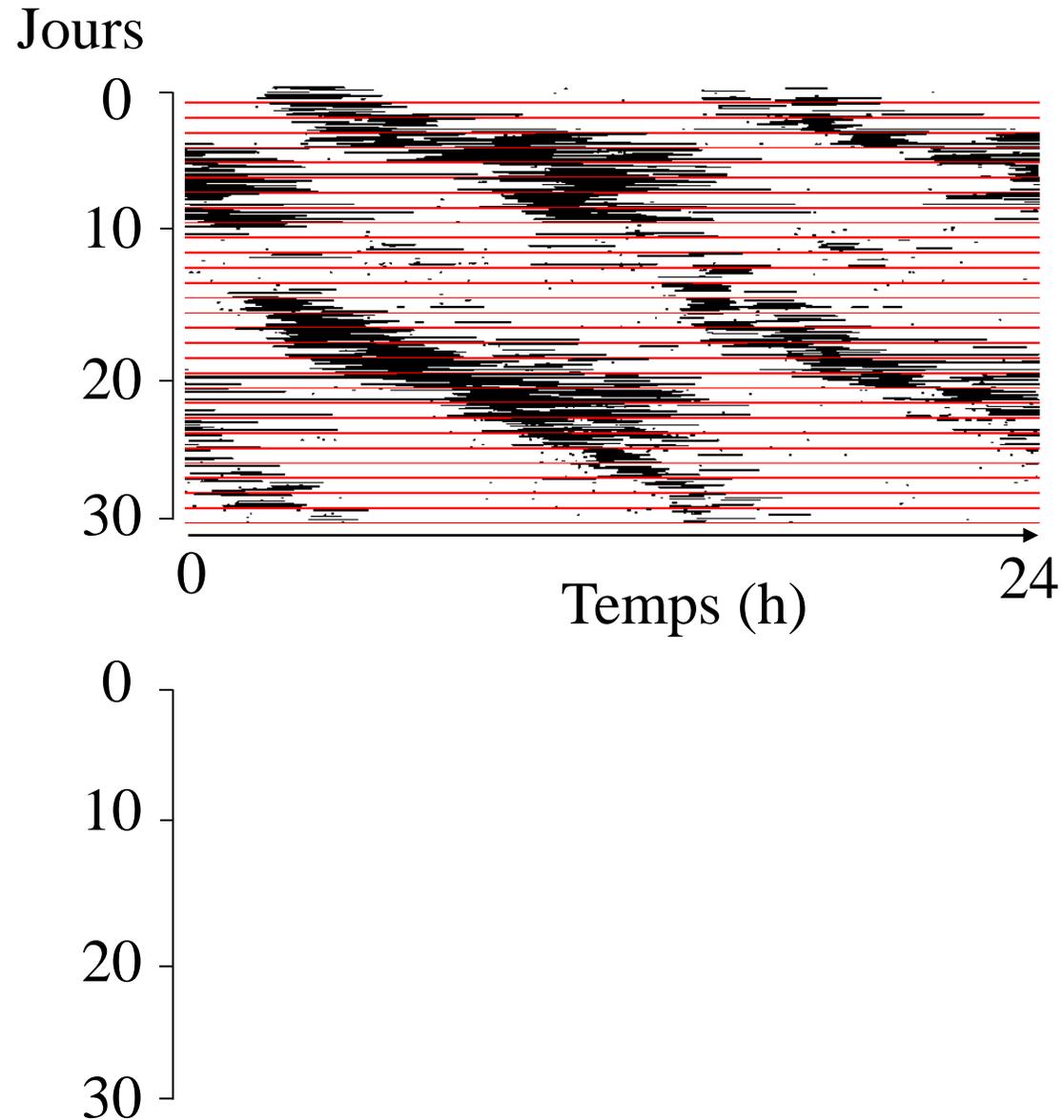
à priori, très variable...

Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques



Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques

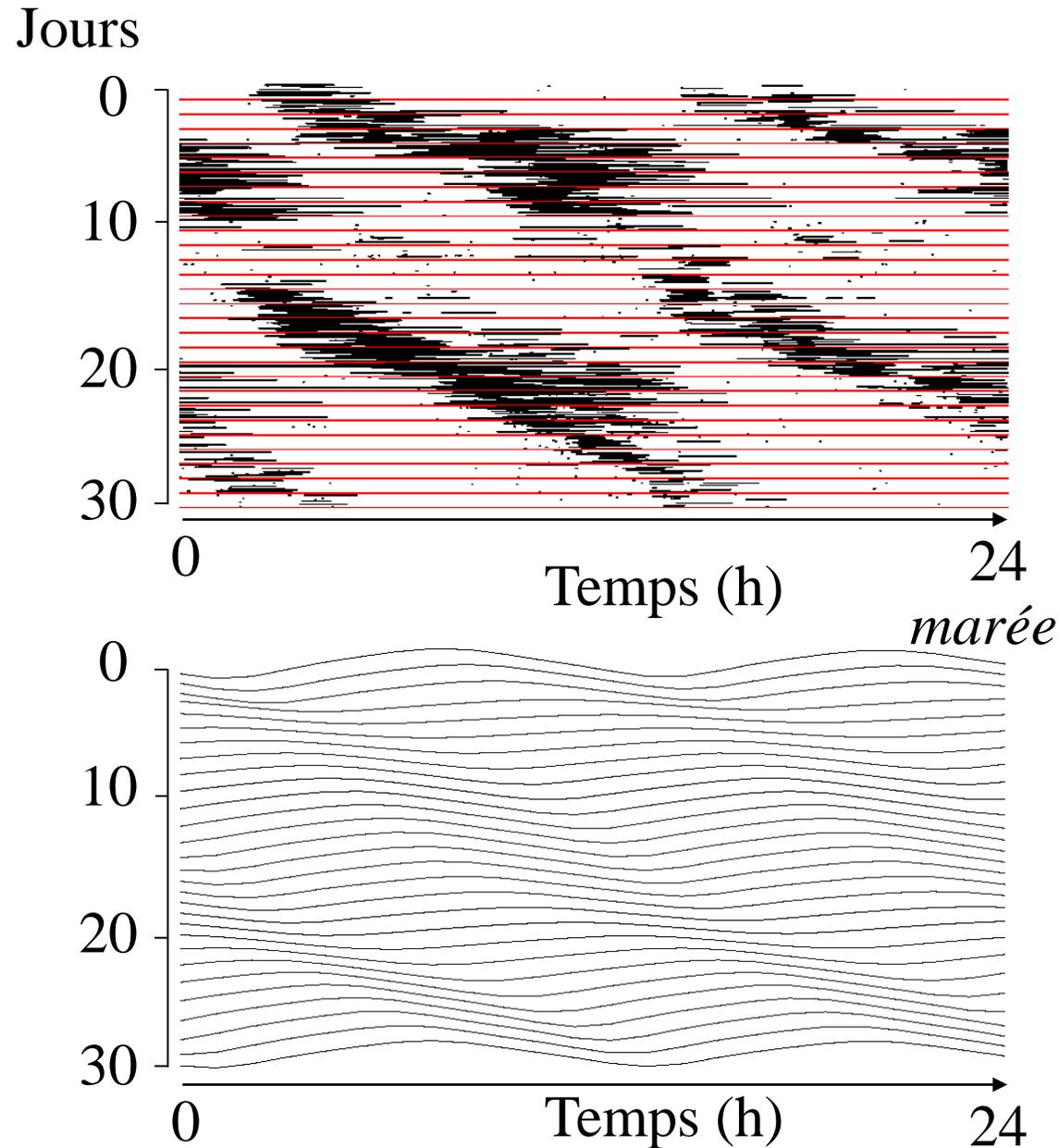
30 jours avec 30 lignes
composées chacune
de 16 codes barres



— ouvert
— fermé

Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques

30 jours avec 30 lignes
composées chacune
de 16 codes barres



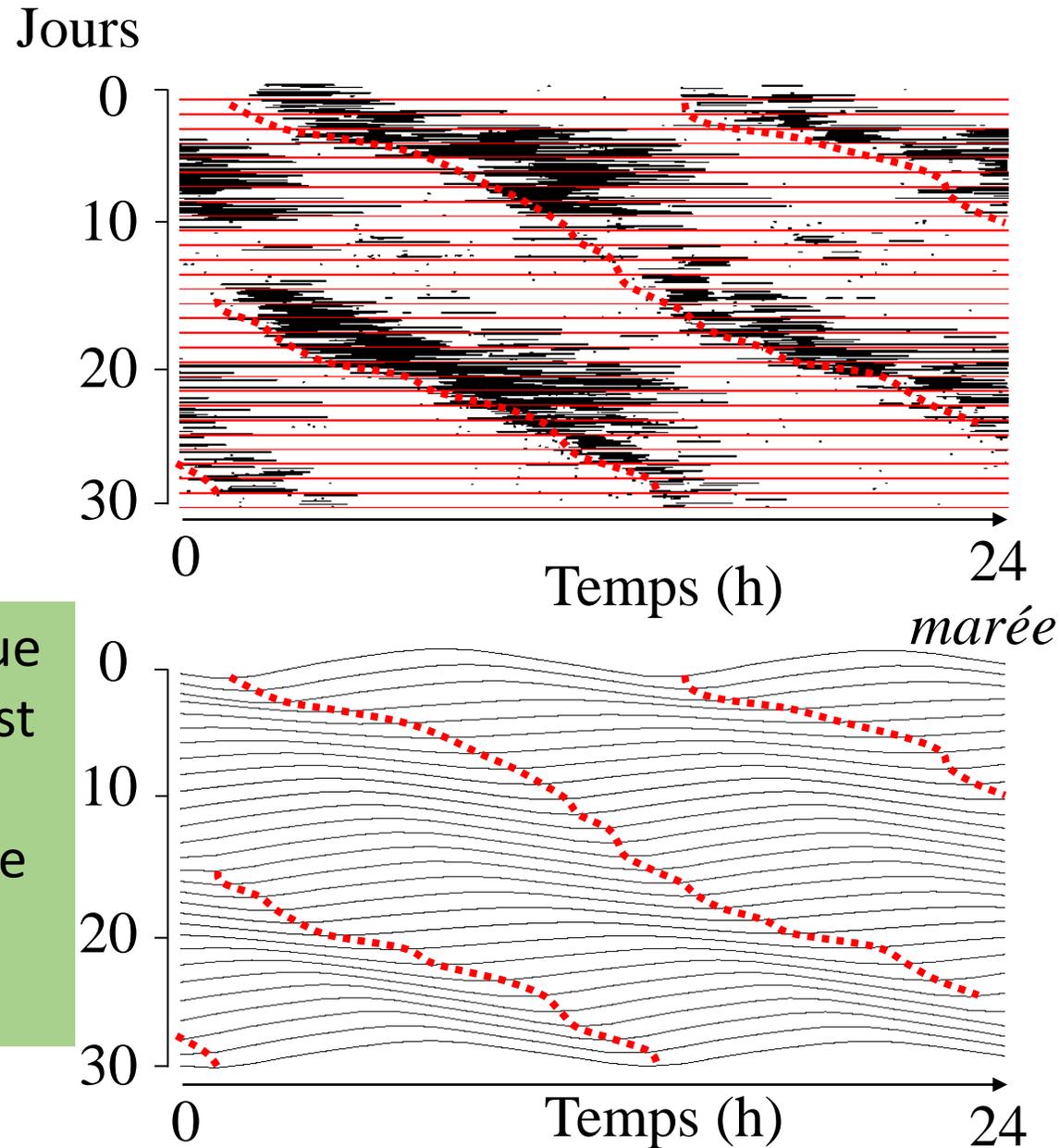
— ouvert
— fermé

Exemple de paramètre enregistré: rythmes biologiques

30 jours avec 30 lignes
composées chacune
de 16 codes barres



— ouvert
— fermé



La présence d'un rythme biologique régulier, ici un rythme circatidal, est un signe fort de bonne adaptation entre animal et milieu, et de bonne qualité d'eau pour tous les autres animaux

(Tran et al., 2011)

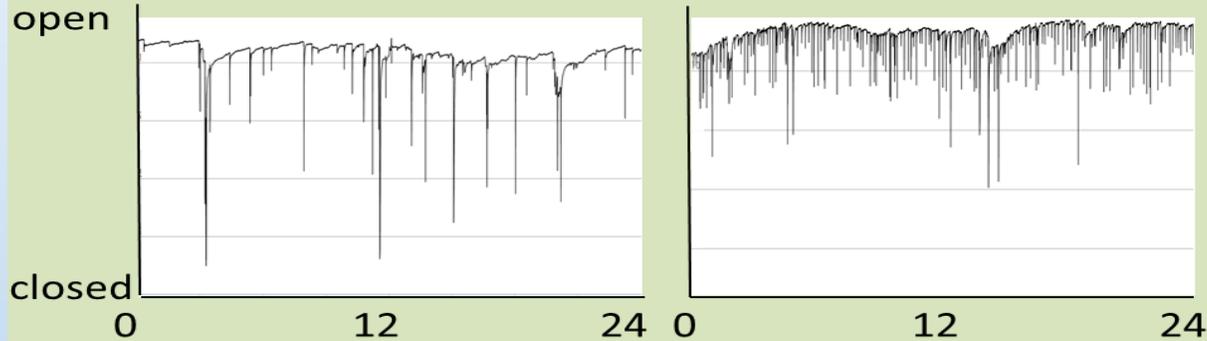
Exemple de paramètre enregistré: l'état de stress

Différence relax / stressé: des signes de perturbation reproductibles et quantifiables

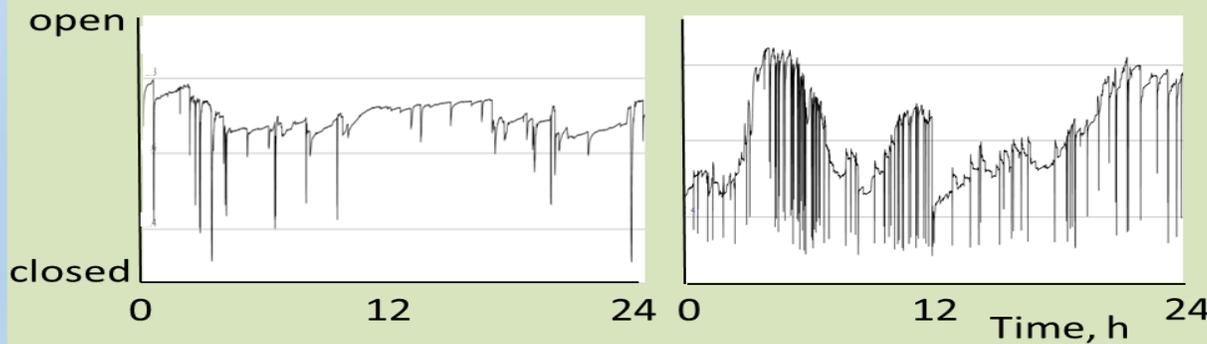
Pétoncle arctique

relax

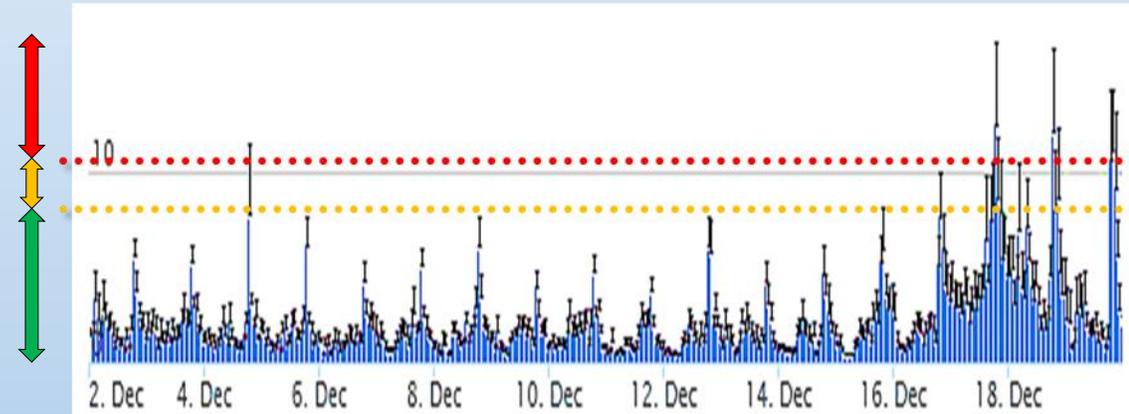
stressé



Moule bleue



Quantification automatique:
distance parcourue par les électrodes

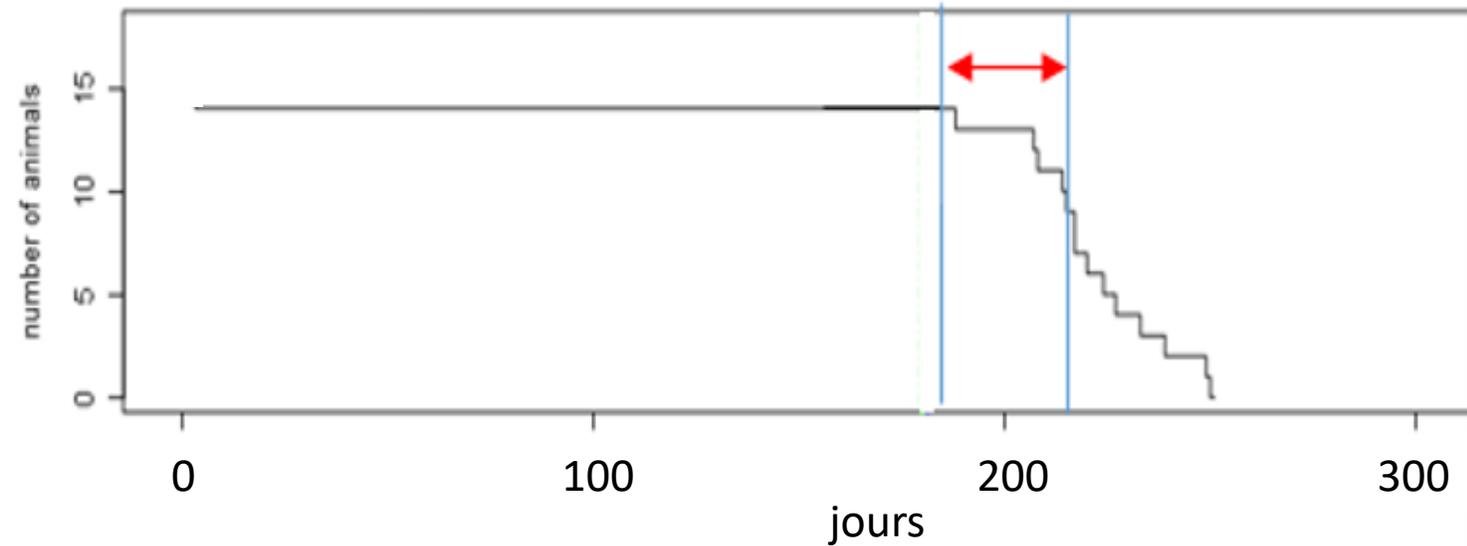
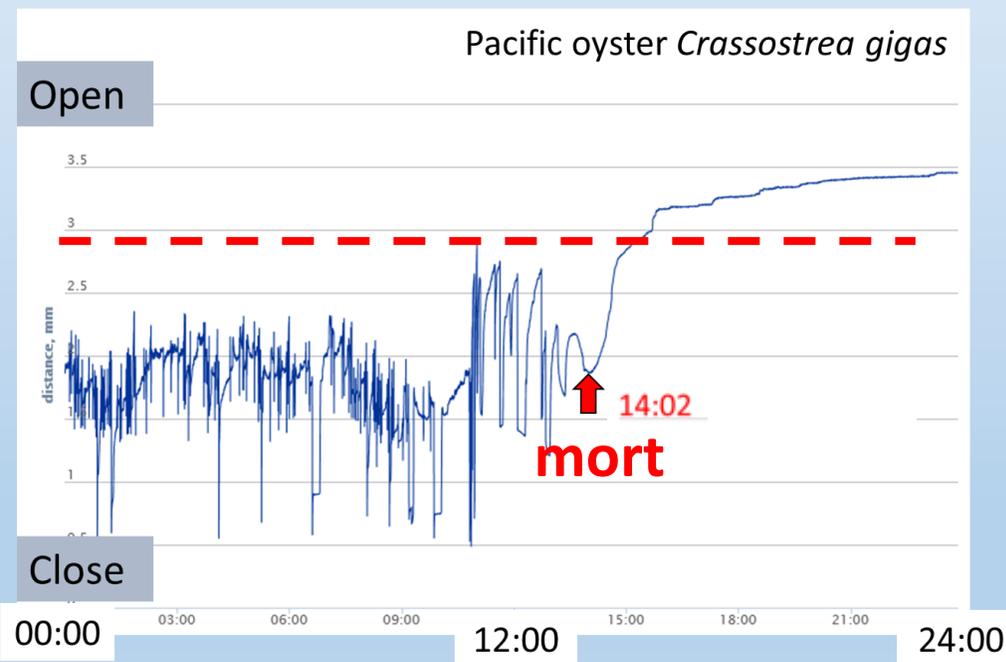


Des animaux calmes sont un signe fort de bonne adéquation entre animal et milieu, et de bonne qualité d'eau

Exemple de paramètre enregistré: la mortalité



Quantification: Un mort est normal; des mortalités successives sont anormales

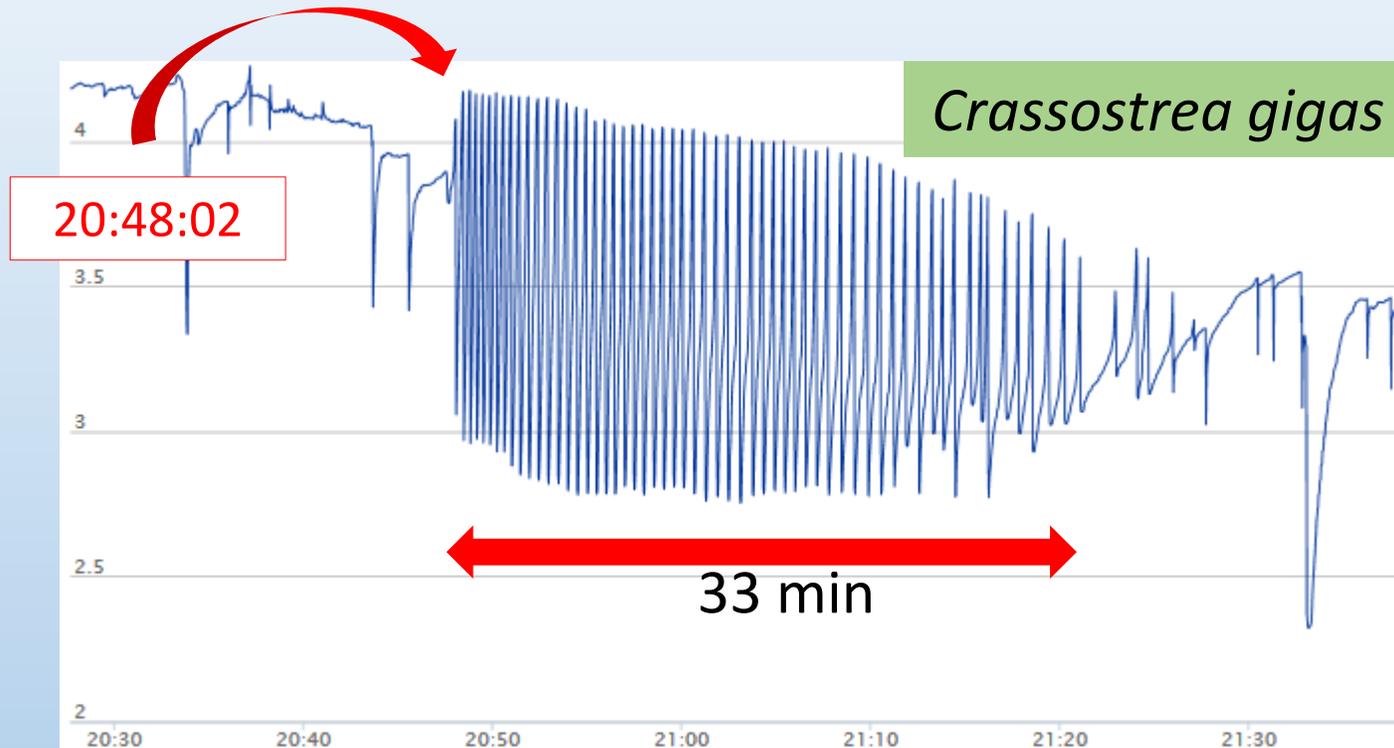


Quantification automatique sur l'application

Time period	Threshold 1	Threshold 2
30	2	3

Exemple de paramètre enregistré: la naissance

Une ponte d'huitre à Arcachon



Similaire chez les pétoncles et les huitres perlières du Golfe Arabo-Persique et de Polynésie

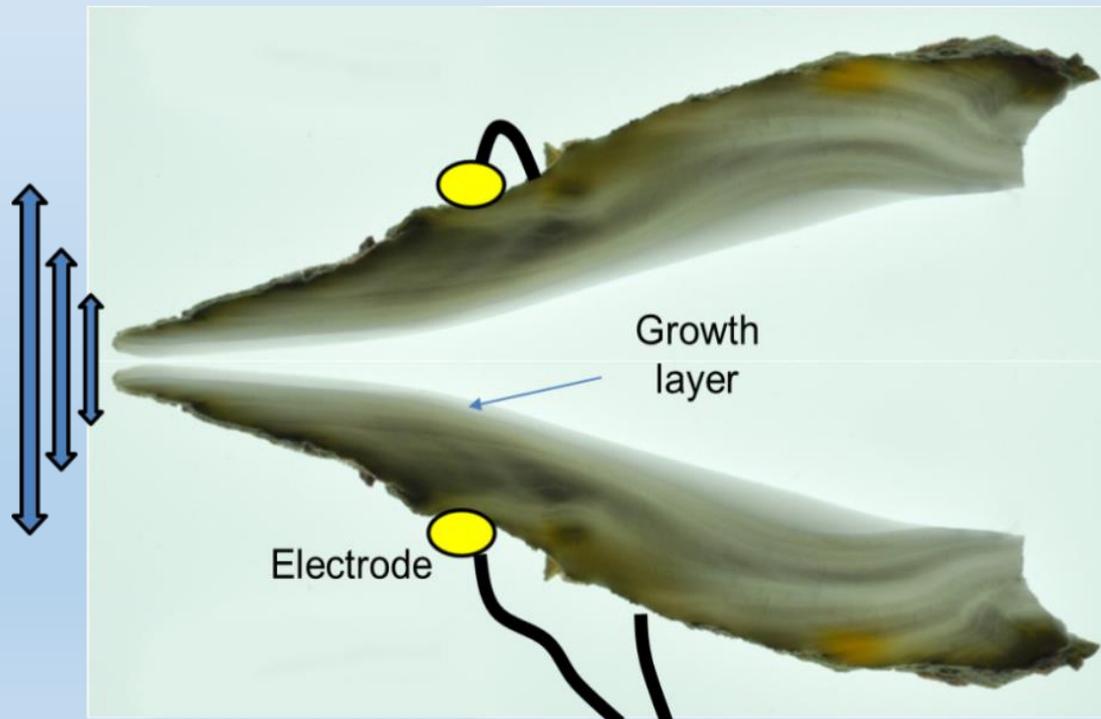
Un dernier exemple: la croissance en ligne

Un suivi quotidien

Principe. Chez les mollusques bivalves la croissance se fait par l'intérieur des valves.

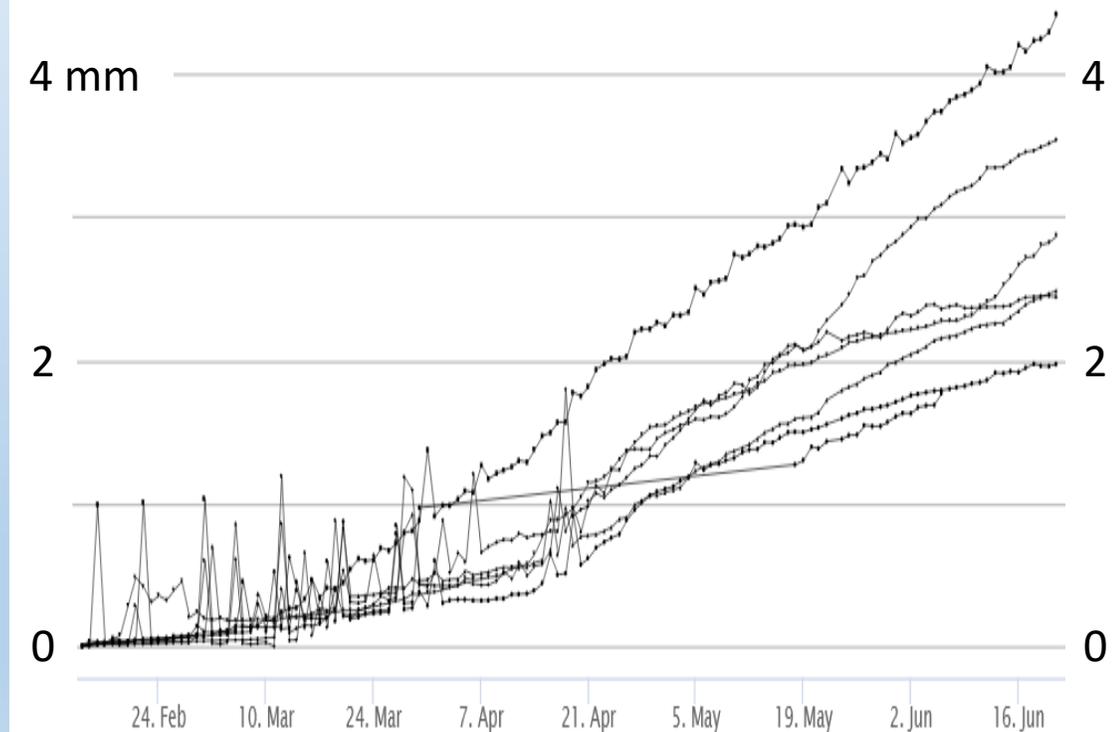
A chaque couche de croissance déposée, la distance minimale possible entre les électrodes augmente.

Chaque jour on note cette distance minimale



Schwartzmann et al. (2011)

Bassin d'Arcachon (février => juin)



Création d'une société

sous licence

Université de Bordeaux et CNRS



Actuellement en incubation à la
SATT* Aquitaine Science Transfert



*Société d'accélération du transfert de technologies

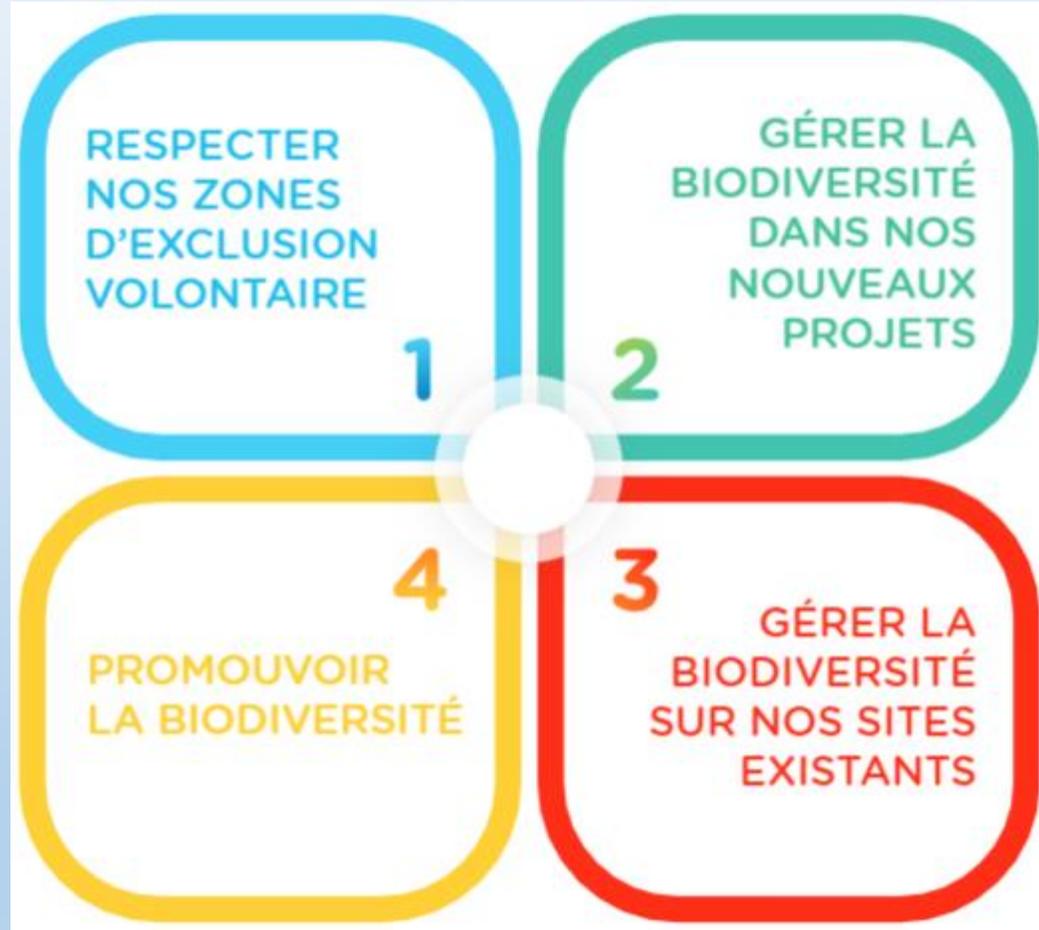
Dépôt de brevet

Univ. Bordeaux, CNRS & TotalEnergies



Une expérience industrielle
TotalEnergies

Engagements biodiversité TotalEnergies



Protéger

- Préserver la biodiversité aquatique

Contrôle des effluents

- Contrôler en permanence la qualité de l'eau
- Politique « zéro rejet nocif »

Surveiller l'environnement

- Surveillance *in situ* de l'eau

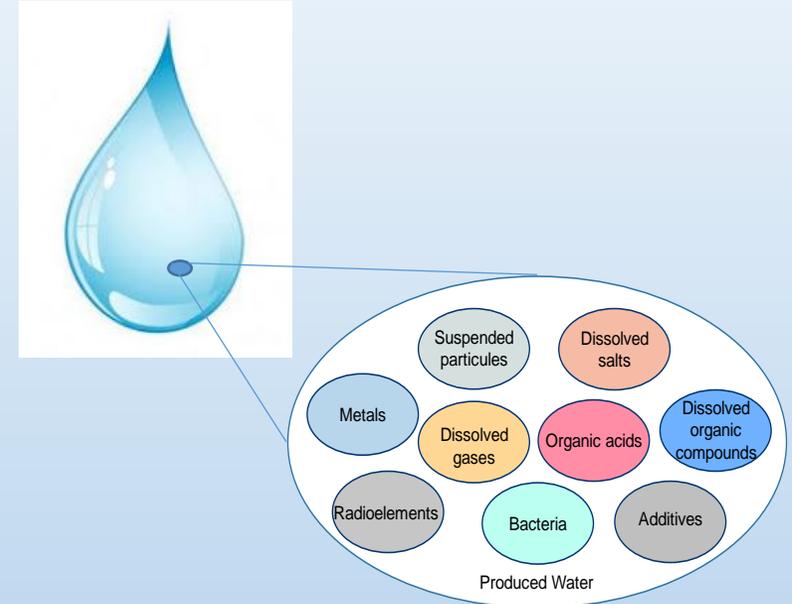
Outil d'aide à la décision

- Ajuster et contrôler les opérations en temps réel

Contexte - eaux industrielles



x 1,3



- **Matrice complexe**

- Substances difficiles à détecter et quantifier
- Présence d'additifs et nombreux autres éléments
- Contrainte d'échantillonnage, de transport et disponibilité de laboratoires pour certaines analyses

De la teneur à l'analyse de risque

Hier

Règlementation actuelle

- OIW < 10 mg/l (onshore / côtier)
- OIW < 30 mg/l (offshore)



Demain



Composés naturels (NOC)
Hydrocarbures : dispersés + dissous
BTEX, HAP, Phénols
Métaux lourds
Normes

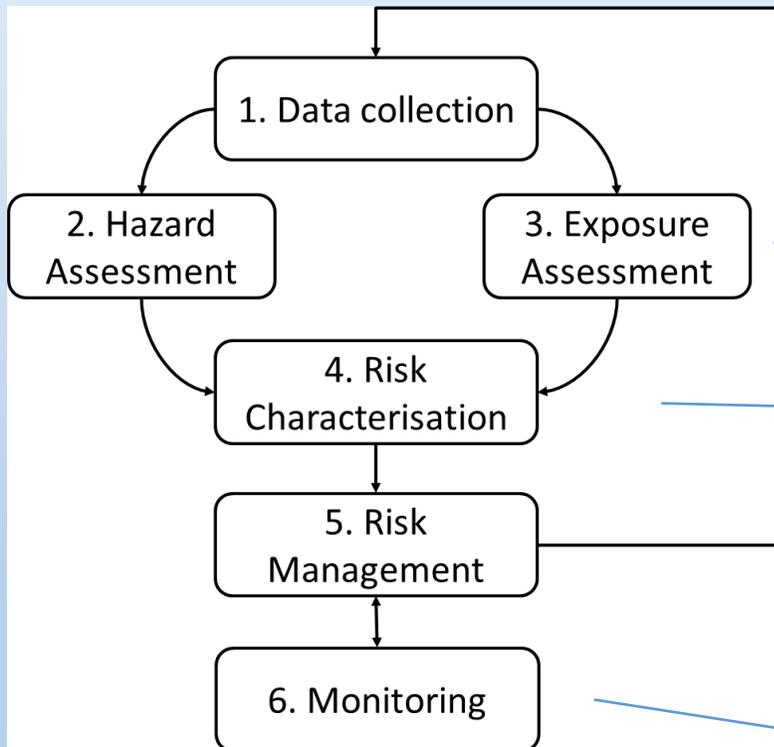
Additifs chimiques
Biocides
Inhibiteurs de corrosion
Inhibiteurs de tartre
etc.

Évaluation de l'impact de TOUS les composants de l'eau produite

Évaluation fondée sur les risques pour le milieu

Analyse de risque - RBA

Évaluation des risques écologiques

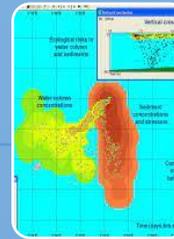


EU - TGD 1996 / OSPAR 2012

Mesures opérationnelles



Caractérisation chimique
Essais écotoxicologiques



Analyse de risque
Modélisation
hydrodynamique



Monitoring efficace

- Échantillonnage
- *Surveillance in situ*
- Biosurveillance (valvométrie HFNI)

Surveillance de l'eau

- Méthodes standards

- Campagnes en mer (EBS, EMoS, EPoS)
- Échantillonnage de la colonne d'eau
- Analyses en laboratoire

NB : Peu d'analyses en ligne ou in situ (fouling)

- Limites

- Faible fréquence des mesures (échantillonnage ponctuel)
- Chronophage (échantillonnage, logistique, analyses, reporting)
- Nombre limité de paramètres analysés (effet cocktail, autres substances non ciblées)
- Coûts

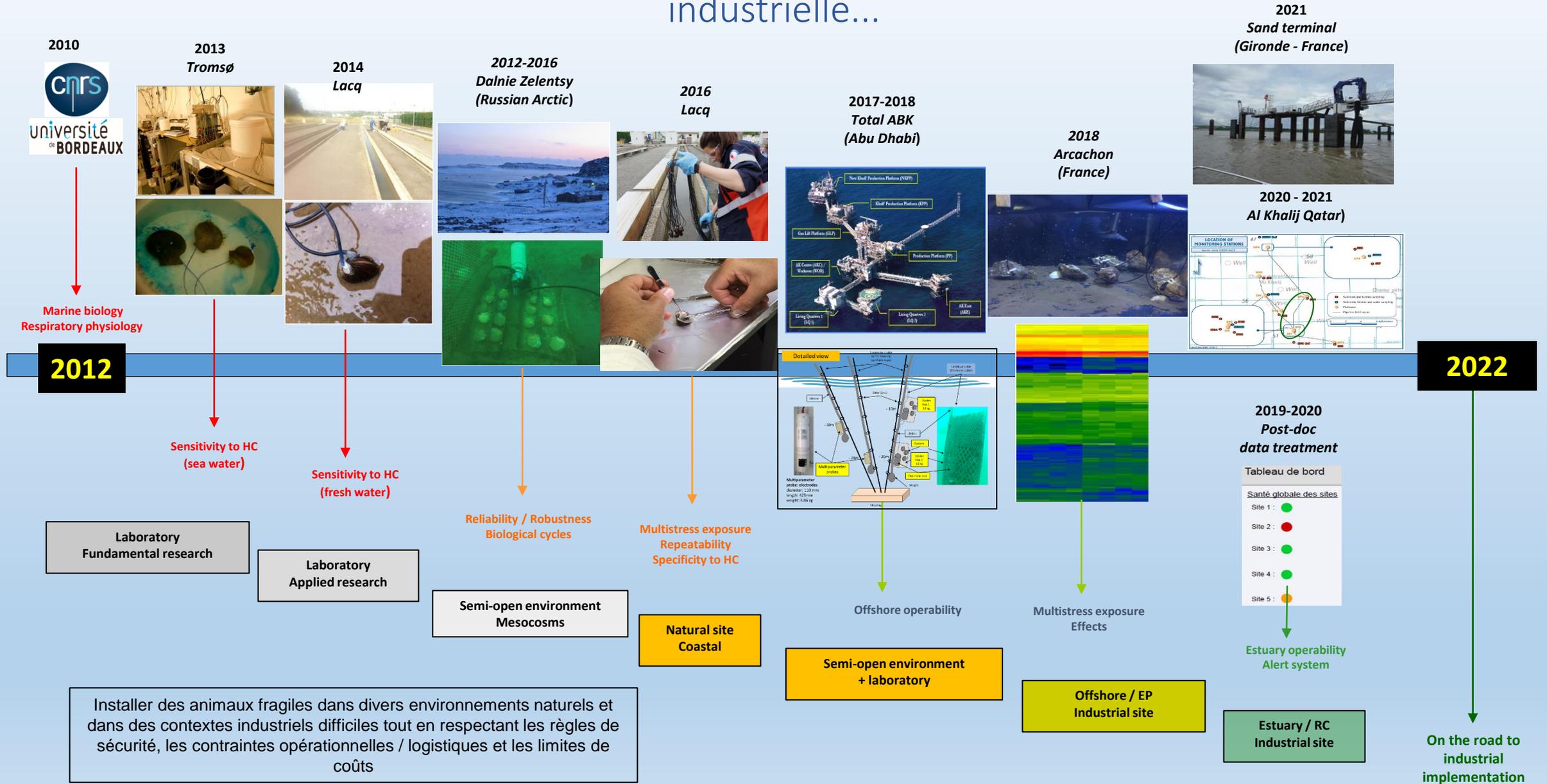
→ Surveillance efficace, en continue et en temps réel

Water <i>Water column</i>	Water <i>Physics-chemistry</i>
<ul style="list-style-type: none">• pH• Salinity• Depth• Temperature• Conductivity• Turbidity• O₂ rate	<ul style="list-style-type: none">• Suspended matter• Nitrites & Nitrates• Ortho-phosphates• TPH• PAH• BTEX• Heavy metals• Regulatory requirements
	



HFNI VALVOMETRIE

Un voyage de la science fondamentale à l'application industrielle...



Pilot streams experiments - 2016

Durée: 30 jours d'acclimatation, 10 jours d'exposition, 30 jours de récupération
8 canaux : référence, huile, métal, bruit, turbidité



Hydrocarbure : 200 µg/L
Baryum : 100 µg/L
Bruit : 150 dB
Turbidité: 200 NTU



Expériences sur les rivières pilotes - 2016

• Résultats

- Réponse aux stress
- Ouverture réduite en présence d'hydrocarbure
- Sensibilité aux HC confirmée
- Validation en conditions réalistes maîtrisées

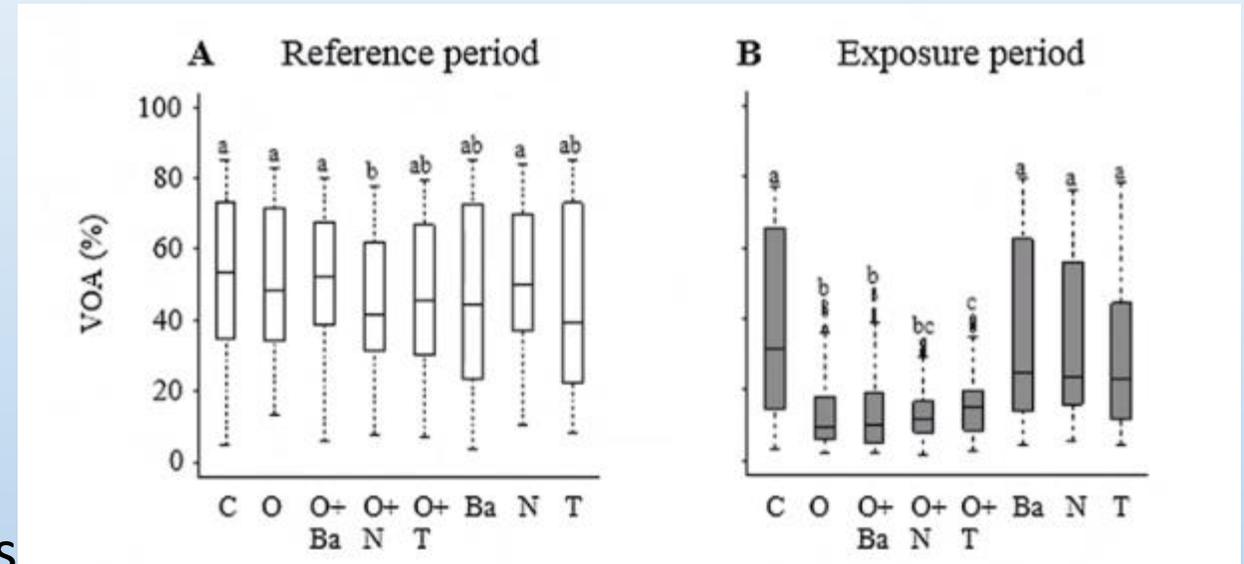


Fig. 3. Comparison of the average hourly valve-opening amplitude (%) between artificial streams for each period. Mean hourly valve amplitude (%) for 14–16 clams. (A) the reference period (t_{-10} to t_{-1}), (B) the exposure period (t_1 to t_{10}) and (C) the post-exposure period (t_{11} to t_{20}) for each artificial stream (C, control; O, oil; O + Ba; oil and barium; O + N, oil and noise pollution; O + T, oil and turbidity pulses; Ba, barium; N, noise pollution; T, turbidity pulses). Boxplot ($n = 240$ values; 24 h x 10 days). Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$; Dunn Test with Holm adjustment).

Miserazzi et al. (2020)

Pilote E&P offshore TABK - 2018

Site de production O&G offshore d'Abu Al Bukhoosh

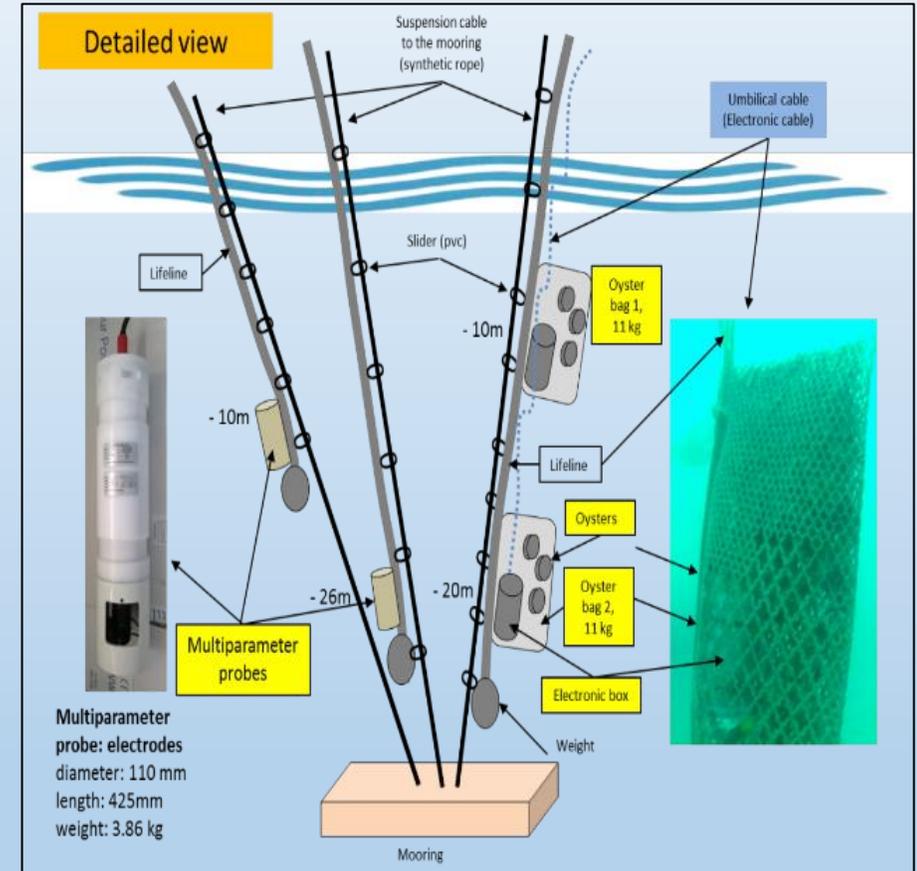


TABK Production depuis 1974, avec plusieurs mises à niveau jusqu'en 2003:

- Aucune eau produite rejetée
- Principales sources de rejets
- eau de refroidissement
- saumure
- divers effluents liquides, eaux sanitaires, déchets alimentaires, drainage de terrasse, eaux usées...



No cooling water discharge on AKE

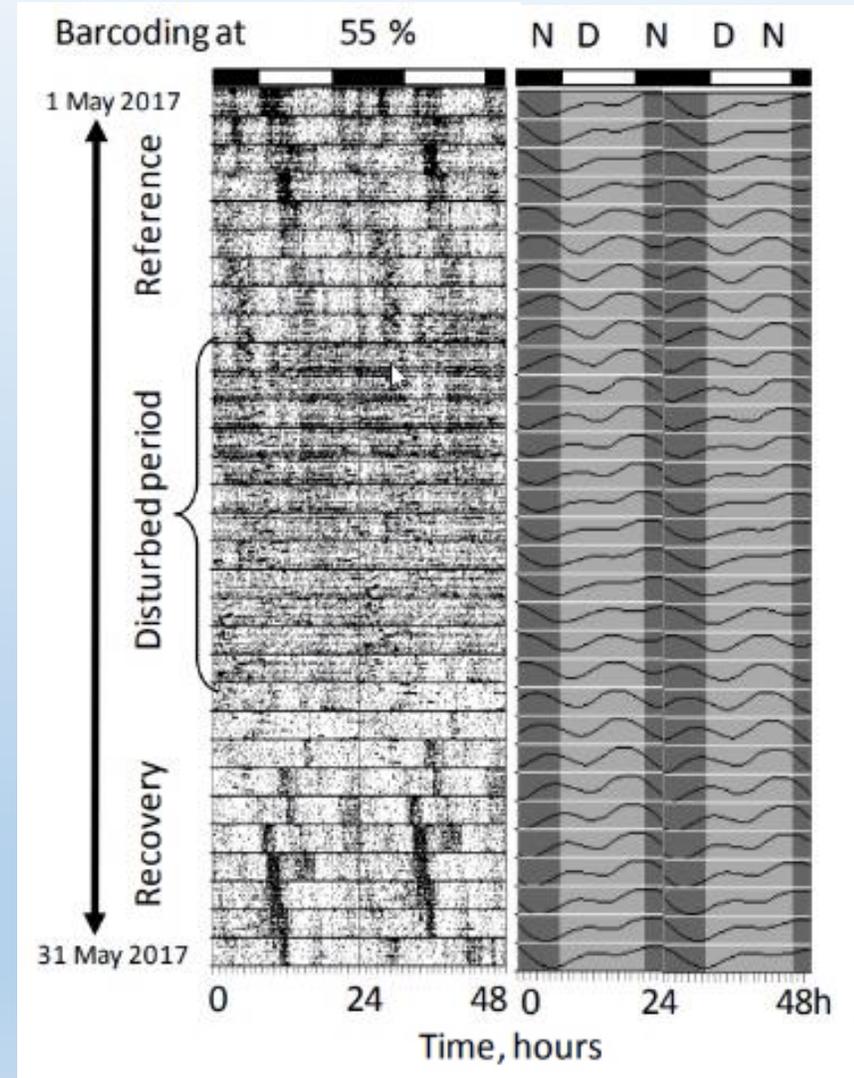


- Eau T°: 15° - 36°C en surface
- Salinité de l'eau : 39,8 – 40,3 g/l
- Profondeur de l'eau: 27m

Pilote E&P offshore au TABK - 2018

- Résultats

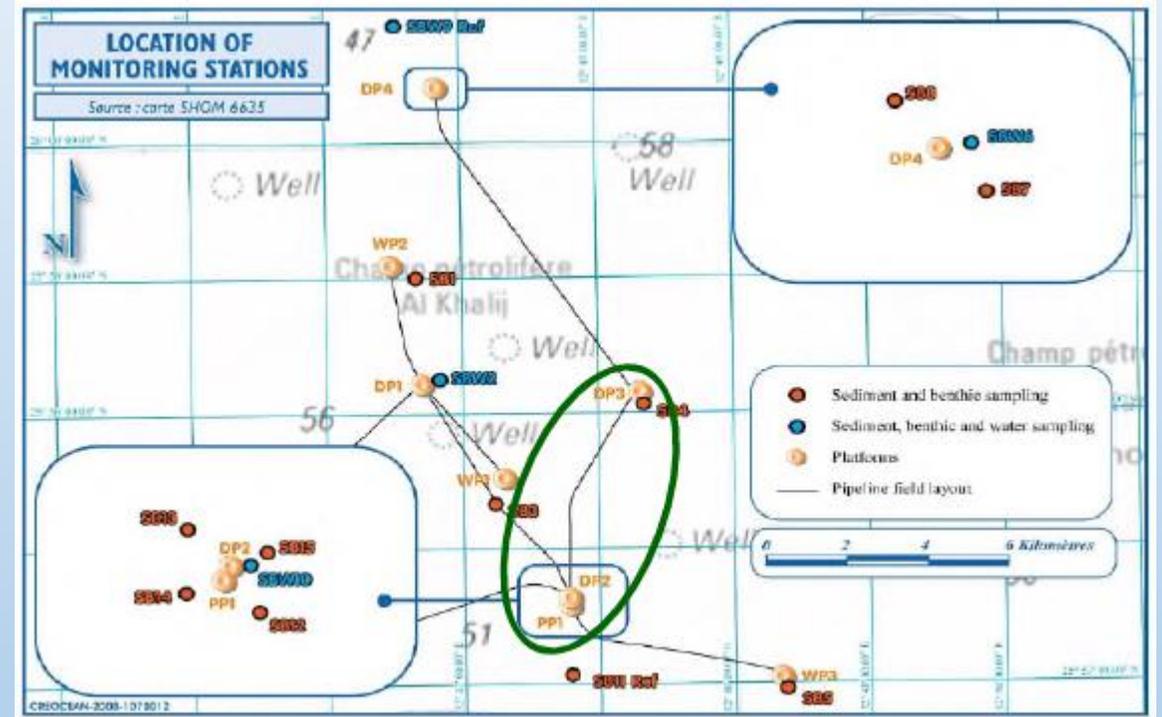
- Suivi du rythme circadien et circatidal en conditions de T° et salinité élevées
- Observation de la perte de rythme en conditions dégradées
- Corrélation de la période de perturbation avec les activités optionnelles – émissions effluents
- Validation de l'application en conditions marines extrêmes



Pilote E&P offshore à Al Khalij – 2021/22

Objectif principal: Détermination du cycle de reproduction de l'espèce qatarie de l'huître perlière *Pinctada radiata* et évaluation de l'effet possible des facteurs de stress externes

- Projet en collaboration avec QU et TRC-Q, NPRP11 (National Priority Research Program) en 2018. Accordé en 2019
- 2 plateformes offshore, avec 2 niveaux acoustiques sous-marins différents et 2 valvomètres chacun à différentes profondeurs d'eau
- Lots de travaux techniques
 - Analyse des données et utilisation des valvomètres HFNI à des fins de biosurveillance
 - Surveillance continue de la physico-chimie de l'eau



- Eau T°: 17° - 37°C en surface
- Salinité de l'eau : 39 – 41 g/l
- Profondeur de l'eau: jusqu'à 60m

Estuaire de la Gironde - site naturel

Objectif : Acquérir des connaissances en termes de capacité de la valvométrie HFNI à travailler efficacement en conditions de stress en termes de salinité, vibrations (navires) et de turbidité



En complément des expérimentations de laboratoire et mésocosme

En cours – 2021/ 2022



Terminal de sable
Barzan - Les Monards



Traitement des données

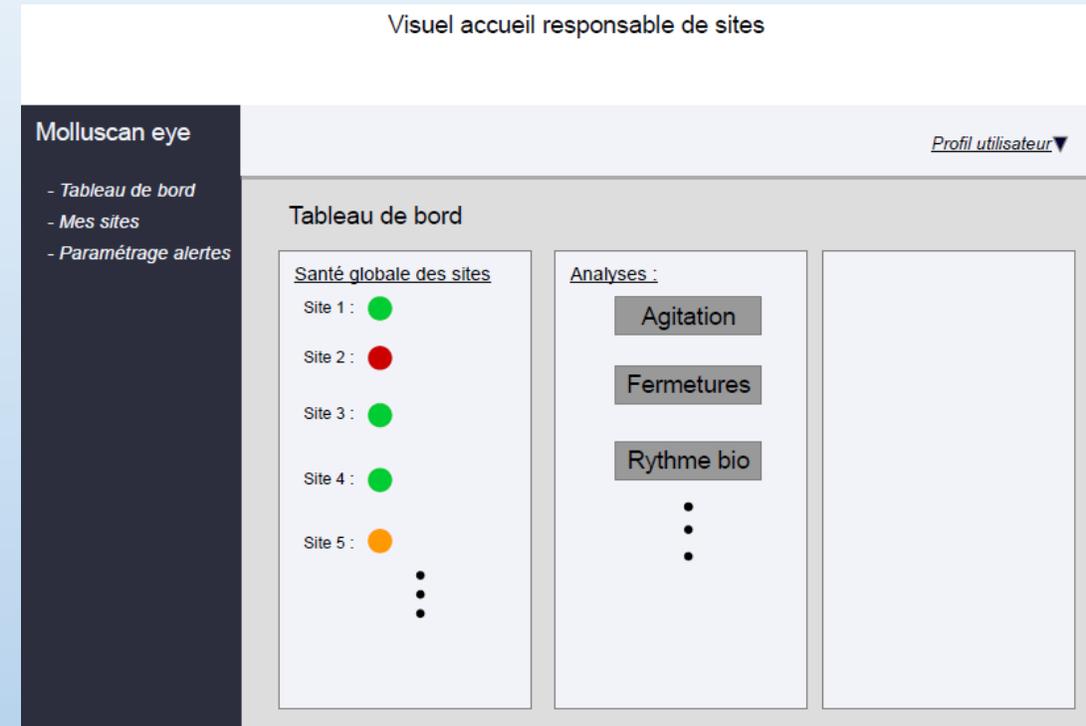


De données d'experts aux indicateurs conviviaux

Indicateurs spécifiques

- ✓ Mortalité / semaine ou mois ou...
- ✓ Fermeture ou Durée d'ouverture /jour
- ✓ Amplitude d'ouverture / Ouverture maximale quotidienne
- ✓ Agitation / Excitation
- ✓ Croissance
- ✓ Frai
- ✓ Rythmes biologiques
- ✓ ...

Développement par **intelligence artificielle** du traitement de la donnée en continu et en temps réel pour assurer un pilotage efficace des installations



Conclusions

- ✓ **Sentinelle vivante** → témoin de l'impact des activités sur les invertébrés
- ✓ Mesure *in situ* et continue
- ✓ **Haute sensibilité au HC dans l'eau**
- ✓ **Détection précoce des petites fuites**
- ✓ **Rentable**
 - Peu d'entretien (1-3 ans min)
 - Consommation d'énergie minimale (1 W)
- ✓ **Solution transverse**
 - Écosystèmes marins ou d'eau douce
 - Eaux extrêmement froides ou chaudes
- ✓ **Avantages sociétaux**
 - Solution basée sur l'écosystème
 - Espèces locales
 - Transparence des résultats / Acceptabilité

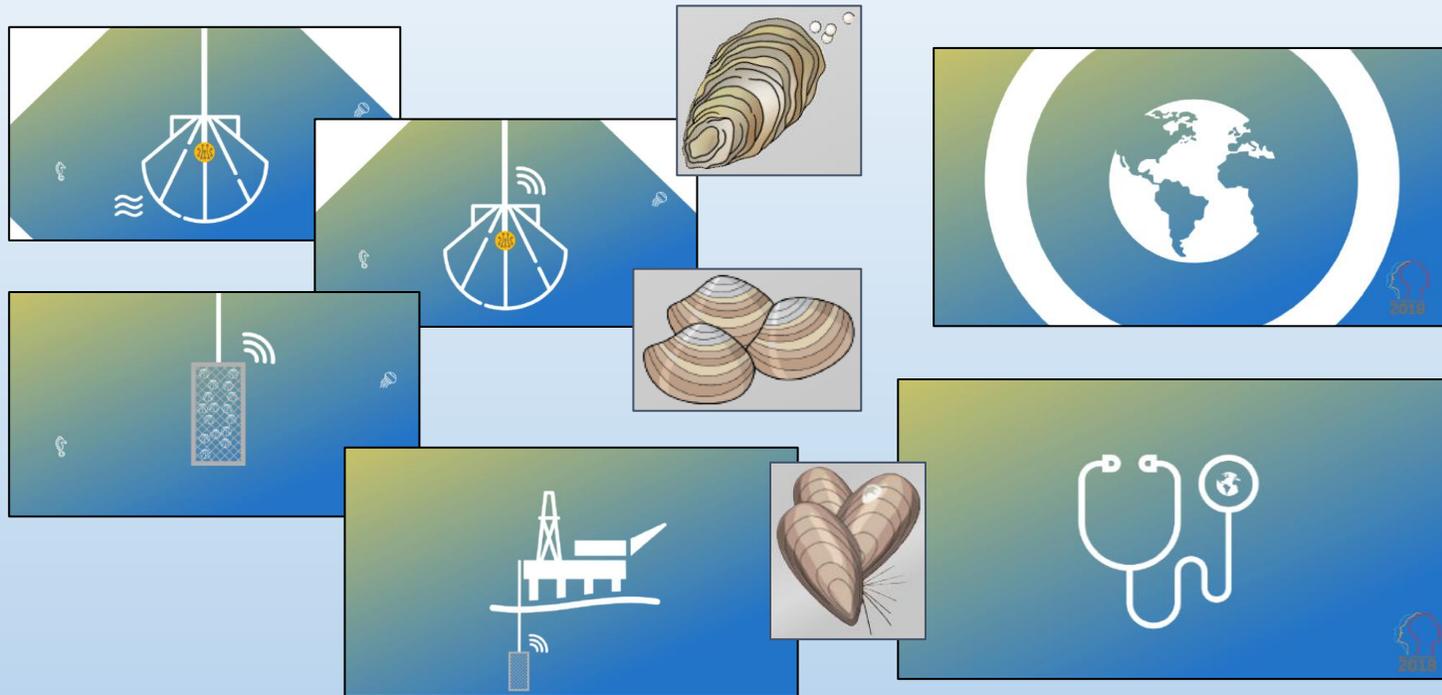


✓ **Way forward**

- Développer des indicateurs spécifiques
- Amélioration du traitement des données et des alertes
- Quantification
- Autres composants et contraintes

Vision pour l'avenir

HFNI Valvometrie - biosurveillance



La surveillance de l'environnement à l'avenir ?

Un réseau d'observation continue grâce à des sentinelles vivantes connectées!