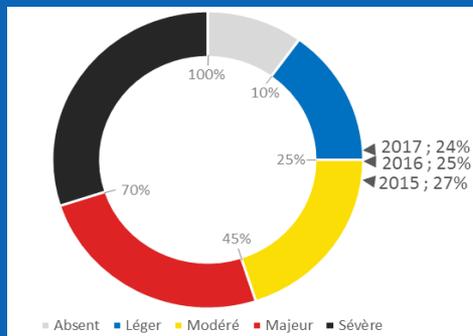
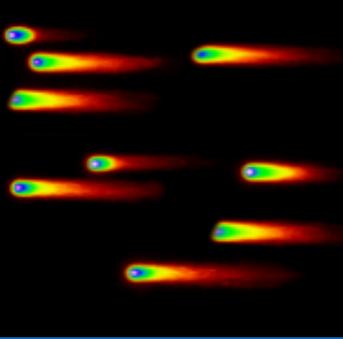


# Suivi des effets de la contamination chimique sur les organismes aquatiques

*Vers le déploiement d'une stratégie de surveillance environnementale*



# Le GIP Seine-Aval

Un outil partenarial à l'interface Science/Gestion



GIP Seine-Aval  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

## ■ Missions

- Acquérir de la connaissance, la capitaliser, la valoriser, la partager
- Apporter son appui pour éclairer les décisions des acteurs de l'estuaire
- Fédérer une communauté, composée de scientifiques et de gestionnaires

## ■ Moyens mis en œuvre

- Programme de recherche
- Études sous-traitées
- Travaux réalisés en interne

## ■ Domaines d'intervention

- Fonctionnement physique de l'estuaire
- Qualité de l'eau et des sédiments
- État de santé de la flore et de la faune
- Appui à la gestion environnementale

## ■ Financeurs



CRÉER  
RÉVÉLER  
PARTAGER



en Normandie



Seine - Eure

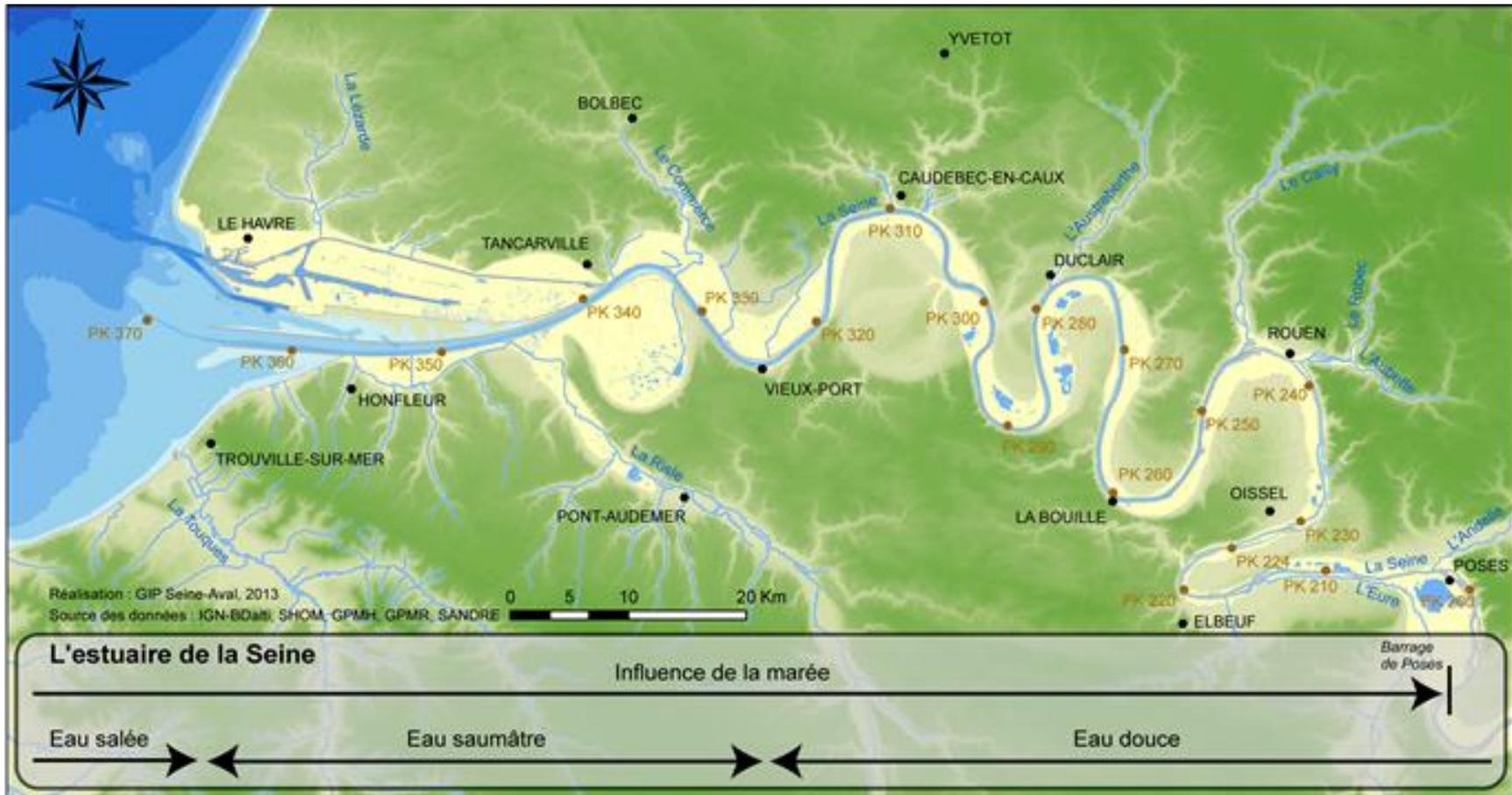


# Le GIP Seine-Aval

## Le territoire d'intervention

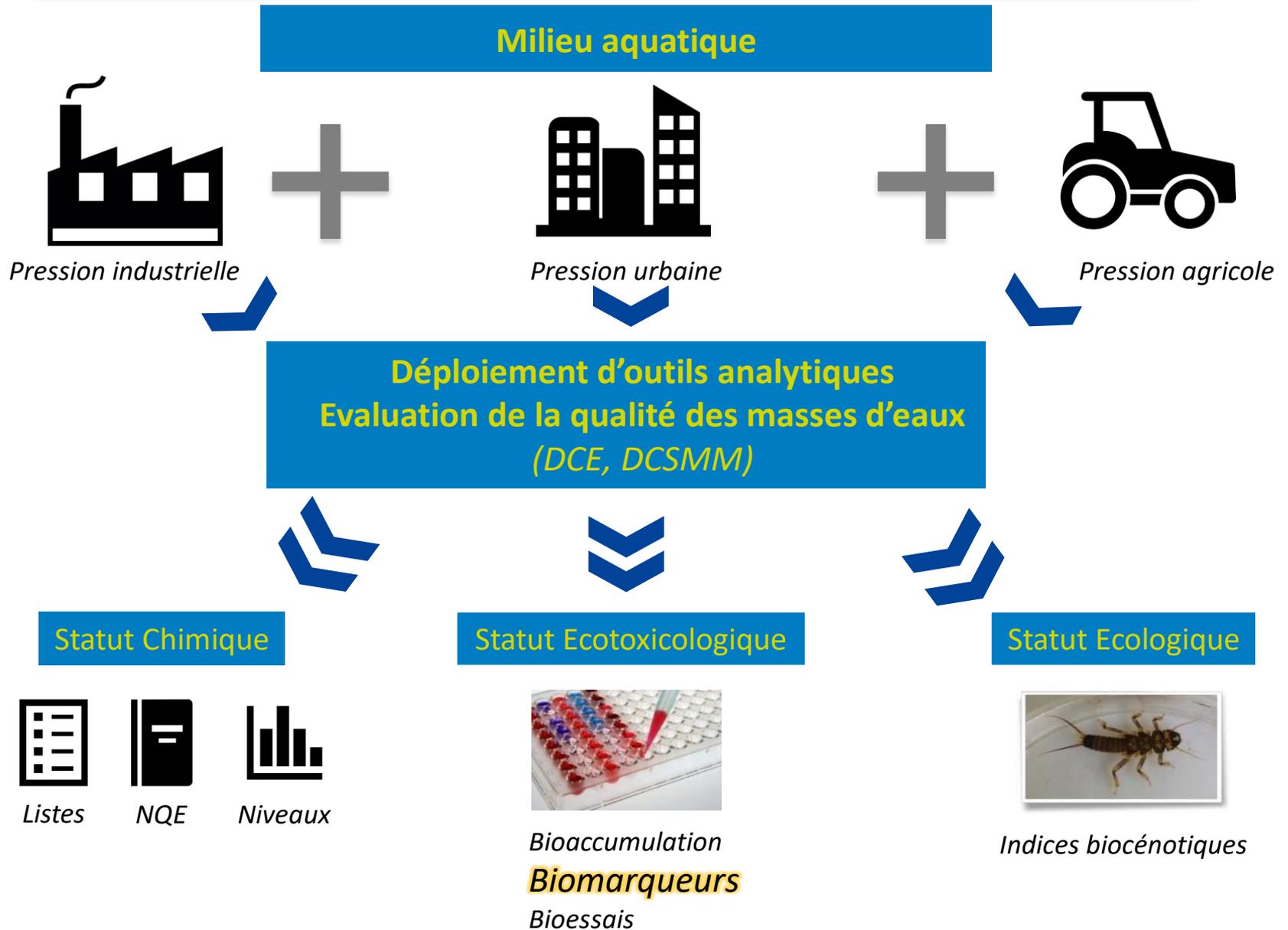
### ■ L'estuaire de la Seine

- 170km, de Poses à la mer



# La biosurveillance

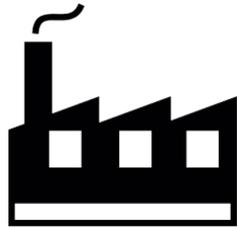
Quelle place dans un suivi de la qualité des eaux ?



# La biosurveillance

Quelle place dans un suivi de la qualité des eaux ?

## Milieu aquatique



Pression industrielle



Pression urbaine



Pression agricole

## Déploiement Evaluation de la qualité (DCE, DCE, DCE)

**Biomarqueur :**  
changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'**exposition** présente ou passée d'un individu à au moins une **substance chimique** à caractère polluant

## Statut Chimique



Listes



NQE



Niveaux

## Statut Ecotoxicologique



Bioaccumulation

**Biomarqueurs**

Bioessais

## Statut Ecologique



Indices biocénétiques

# La biosurveillance

## Approche passive vs active

### ■ Approche passive

- Mesure de biomarqueurs sur des *individus prélevés in natura*
- Permet une *évaluation de l'état de santé* du milieu



### ■ Approche active

- Mesure de biomarqueurs sur des *individus encagés* non contaminés
- Permet de faire le *lien avec les pressions* en précisant le lien « exposition / effet »



➔ Complémentarité des approches pour un suivi intégré

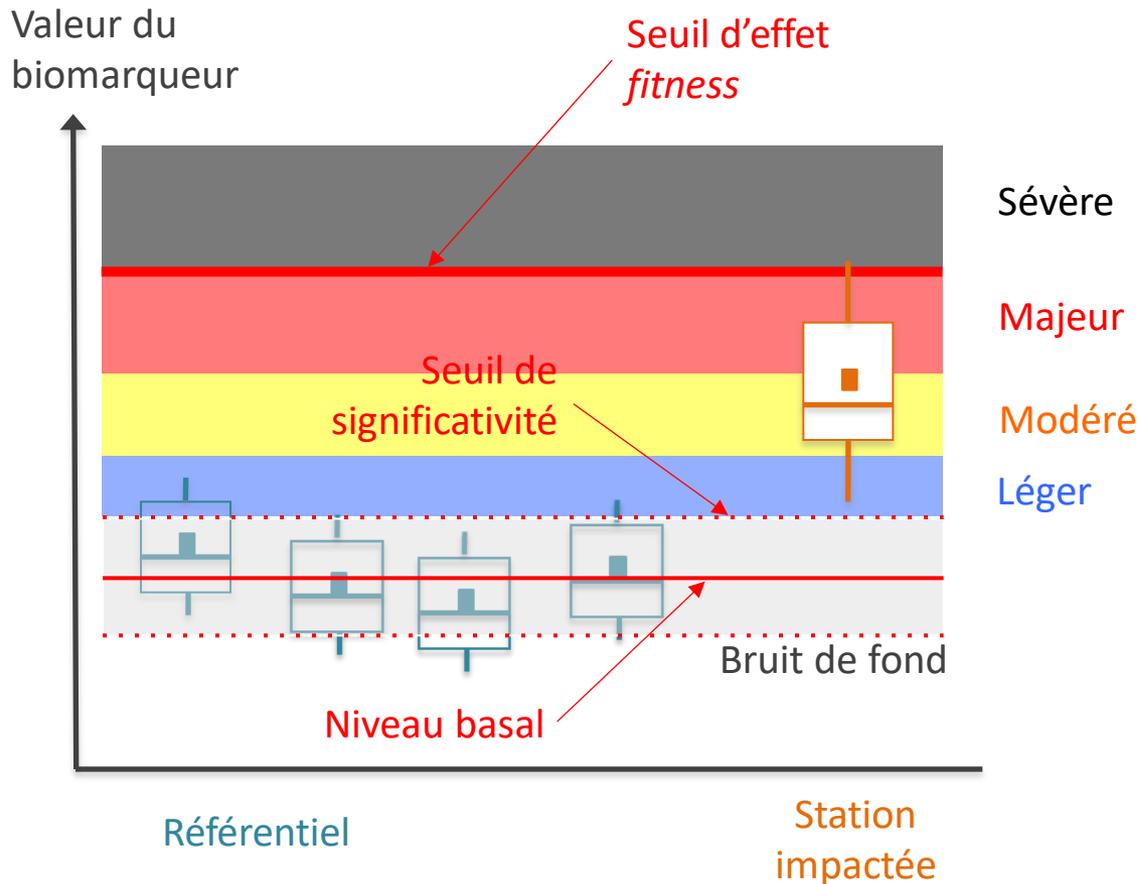
# Les biomarqueurs

## Quels verrous pour leur déploiement en biosurveillance ?



### ■ Définir un référentiel

- **Niveau basal** : comment définir la gamme de variation « normale » ?
- **Seuil de significativité** : comment intégrer les facteurs de confusion (*salinité, température, ...*) ?
- **Seuil d'effet** : comment interpréter le niveau de gravité ?



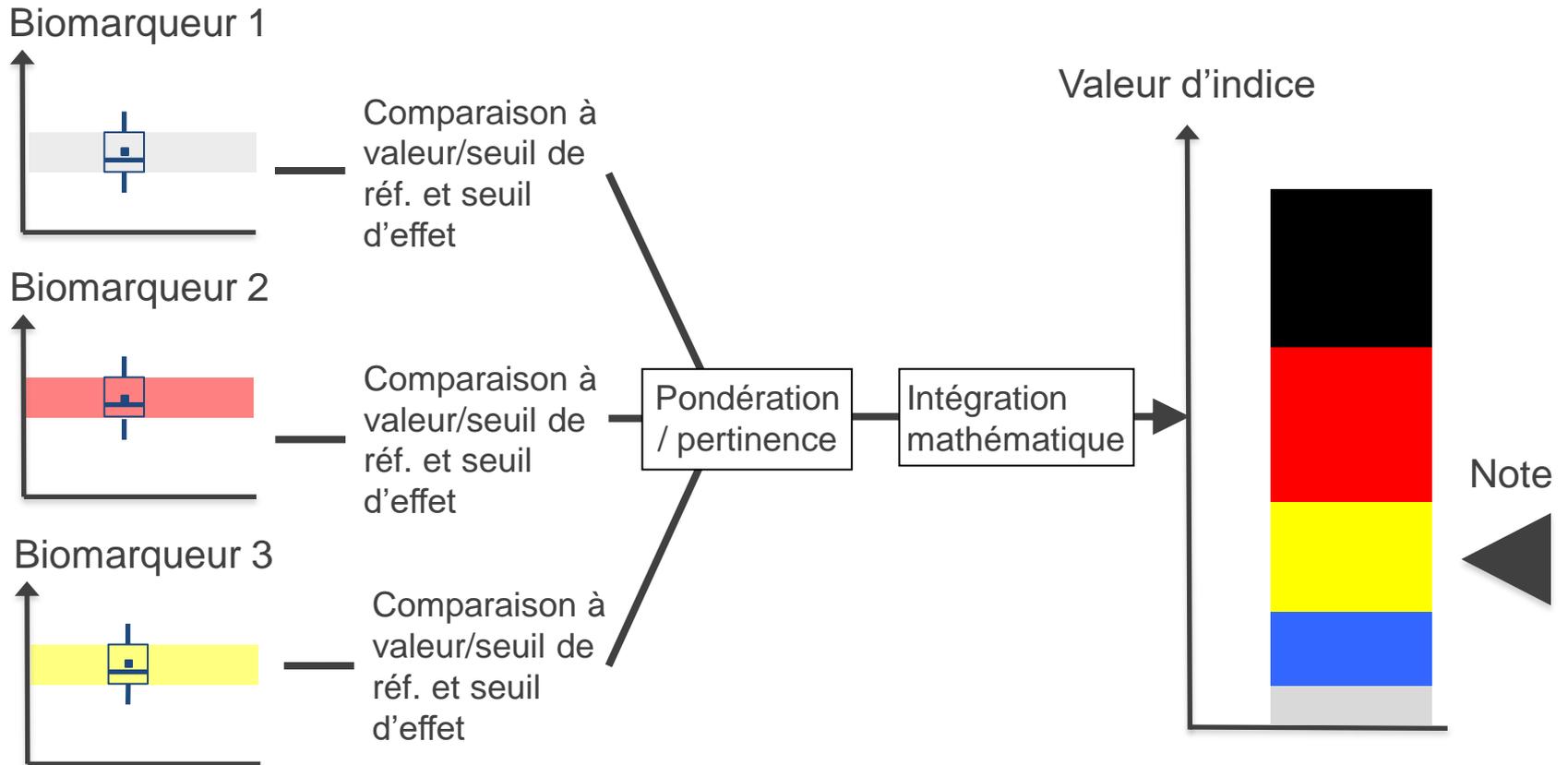
L'utilisation de valeurs seuils indépendantes des paramètres physico-chimiques des milieux, offre la possibilité d'évaluer la qualité d'une eau sur des stations isolées, déconnectées et réparties sur une large échelle géographique, tout en garantissant de pouvoir les comparer et les prioriser

# Les biomarqueurs

## Quels verrous pour leur déploiement en biosurveillance ?



### ■ Intégrer les réponses des différents biomarqueurs

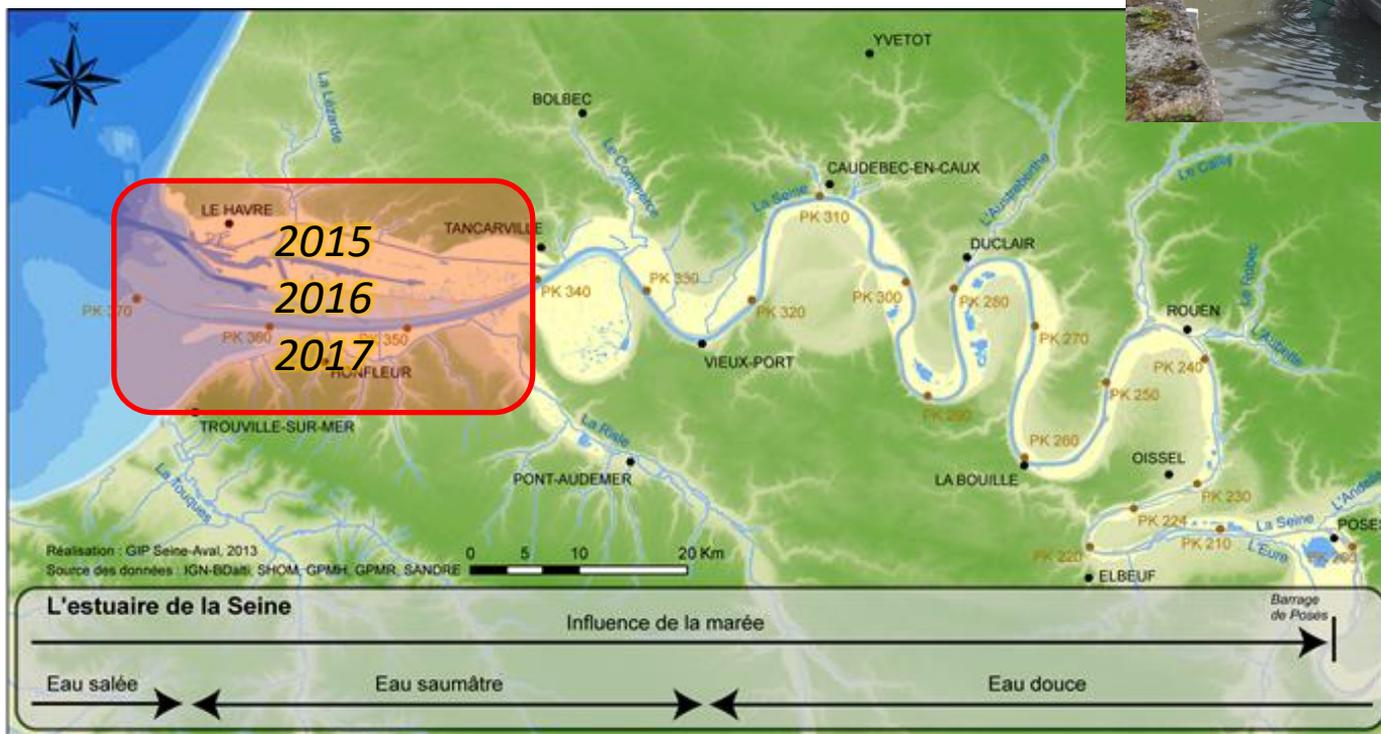


L'intégration des réponses permet une caractérisation d'un état écotoxique en différentes classes de gravité

# Le projet ECOTONES

## ■ Le suivi mis en place

- Stratégie de *biosurveillance passive* centrée sur l'*embouchure de l'estuaire* de la Seine pendant **3 ans**



# Le projet ECOTONES

## ■ Le suivi mis en place

- Stratégie de *biosurveillance passive* centrée sur l'*embouchure de l'estuaire* de la Seine pendant **3 ans**
- Approche *multi-espèces*

### Oiseaux



*Larus sp.*  
*Phalacrocorax carbo*

### Poissons



*Dicentrarchus labrax*  
*Osmerus eperlanus*  
*Solea solea*  
*Platichthys flesus*

### Annélides



C. Amiard-Triquet

### Mollusques



ARKive  
www.arkive.org

© Rodrigo J. Arkin / www.fishbase.org



F. Durand

### Crustacés

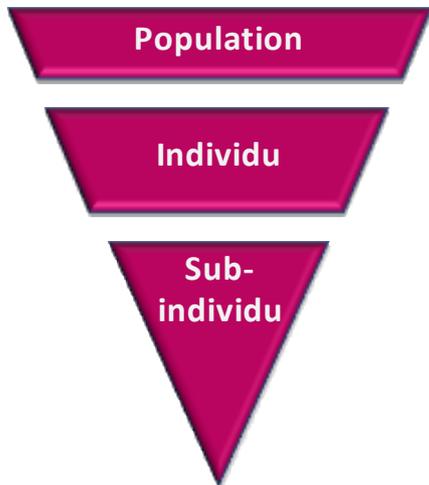


*Hediste diversicolor*  
*Scrobicularia plana*  
*Mytilus edulis*  
*Eurytemora affinis*  
*Palaemon longirostris*

# Le projet ECOTONES

## ■ Le suivi mis en place

- Stratégie de *biosurveillance passive* centrée sur l'*embouchure de l'estuaire* de la Seine pendant *3 ans*
- Approche *multi-espèces*
- Mesure de biomarqueurs → *état de santé*

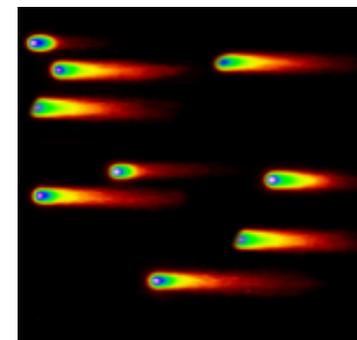


Structure/dynamique

Indices de *condition*  
Indices de *fécondité*  
Marqueurs *comportementaux*

Biomarqueurs de *reprotoxicité*  
Biomarqueurs d'*immunotoxicité*  
Biomarqueurs de *génotoxicité*  
Biomarqueurs d'*autres stress*

Fonction des connaissances  
et des contraintes propres à  
chaque espèce



# Le projet ECOTONES

## ■ Les résultats

- 82 couples « réponse biologique / espèce »

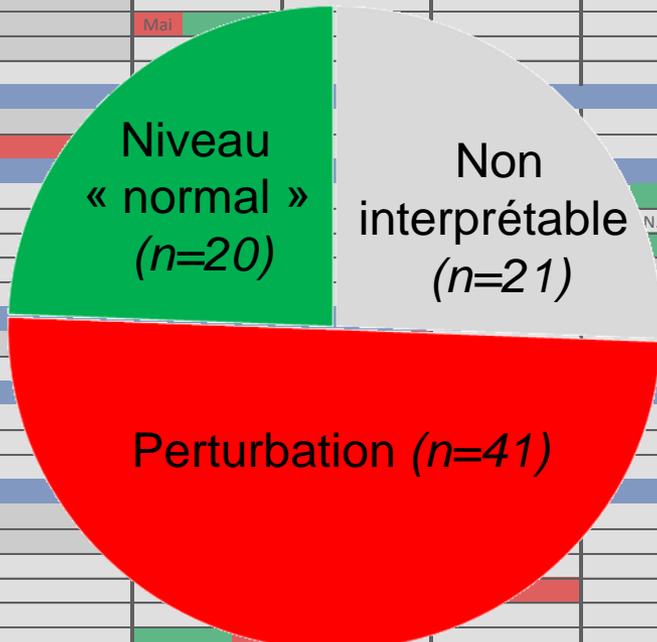
	<i>H. diversicolor</i>			<i>S. plana</i>			<i>E. affinis</i>			<i>P. longirostris</i>			<i>M. edulis</i>			<i>D. abrax</i>			<i>P. perlesus</i>			<i>S. solea</i>			<i>O. perlanus</i>				
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017		
<b>Potentiels toxiques</b>																													
(anti)-oestrogénique (test (anti)-Yes)	Anti	Anti	N.D	Anti	Anti	N.D						N.D	Anti	Anti	N.D				Anti	Anti	Anti	Anti	Anti	Anti				N.D	N.D
(anti)-androgénique (test (anti)-Yas)	Anti	Anti	N.D			N.D						N.D	Anti	Anti	N.D				Anti	Anti	Anti	Anti	Anti	Anti				Anti	Anti
Test SOS		?	N.D			N.D						N.D			N.D						N.D			N.D					N.D
<b>Biomarqueurs de référence</b>																													
Activité βOD																													
Activité GST							Mai																						
Activité catalase																													
Activité βROD																													
<b>Biomarqueurs de dommages</b>																													
Péroxydation lipidique (TBARS)																													
Activité ChE	Mars	Juin	Juin																										
<b>Biomarqueurs d'immunotoxicité</b>																													
Viabilité													N.D			N.D													
Numération													N.D			N.D	N.D	N.D											
Formule hématocytaire													N.D			N.D													
Phagocytose													N.D			N.D													
Bouffée oxydative																N.D													
<b>Biomarqueurs de génotoxicité</b>																													
Intégrité de l'ADN (Comet)																													
Micronoyaux																													
<b>Biomarqueurs de reproduction</b>																													
Qualité des spermatozoïdes																													
Vitellogénine																													
Intersexe																													
<b>Biomarqueurs de condition</b>																													
Glycogène																													
Lipides		Mars	Mars																										
ARN/ADN																													
Stabilité lysosomale																													
Histopathologies hépatiques																													
Indice de condition																													
<b>Traits d'histoire de vie</b>																													
Comportement																													
Indice de maturité sexuelle																													
<b>Descripteurs populationnels</b>																													
Densité de biomasse																													
Structure de stade de développement																													
Sexe-ratio							Mars																						

# Le projet ECOTONES

## Les résultats

- 82 couples « réponse biologique / espèce »

	<i>H. diversicolor</i>			<i>S. plana</i>			<i>E. affinis</i>			<i>P. longirostris</i>			<i>M. dulis</i>			<i>D. abrax</i>			<i>P. leues</i>			<i>S. solea</i>			<i>O. perlanus</i>			
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	
Potentiels toxiques																												
(anti)-oestrogénique (test (anti)-Yes)	Anti	Anti	N.D	Anti	Anti	N.D						N.D	Anti	Anti	N.D				Anti	Anti	Anti	Anti	Anti	Anti			N.D	N.D
(anti)-androgénique (test (anti)-Yas)		Anti	N.D			N.D						N.D	Anti	Anti	N.D				Anti	Anti	Anti	Anti	Anti	Anti			N.D	N.D
Test OS		?	N.D			N.D						N.D			N.D						N.D			N.D			N.D	N.D
<b>Biomarqueurs de référence</b>																												
Activité SOD																												
Activité GST								Mai																				
Activité catalase																												
Activité SOD																												
<b>Biomarqueurs de dommages</b>																												
Péroxydation lipidique (TBARS)																												
Activité ChE	Mars	Juin	Juin																									
<b>Biomarqueurs d'immunotoxicité</b>																												
Viabilité																												
Numération																												
Formule hématocytaire																												
Phagocytose																												
Bouffée oxydative																												
<b>Biomarqueurs de génotoxicité</b>																												
Intégrité de l'ADN (Comet)																												
Micronoyaux																												
<b>Biomarqueurs de reproduction</b>																												
Qualité des spermatozoïdes																												
Vitellogénine																												
Intersexe																												
<b>Biomarqueurs de condition</b>																												
Glycogène																												
Lipides			Mars	Mars																								
ARN/ADN																												
Stabilité lysosomale																												
Histopathologies hépatiques																												
Indice de condition																												
<b>Traits d'histoire de vie</b>																												
Comportement																												
Indice de maturité sexuelle																												
<b>Descripteurs populationnels</b>																												
Densité de biomasse																												
Structure de stade de développement																												
Sexe-ratio								Mars																				



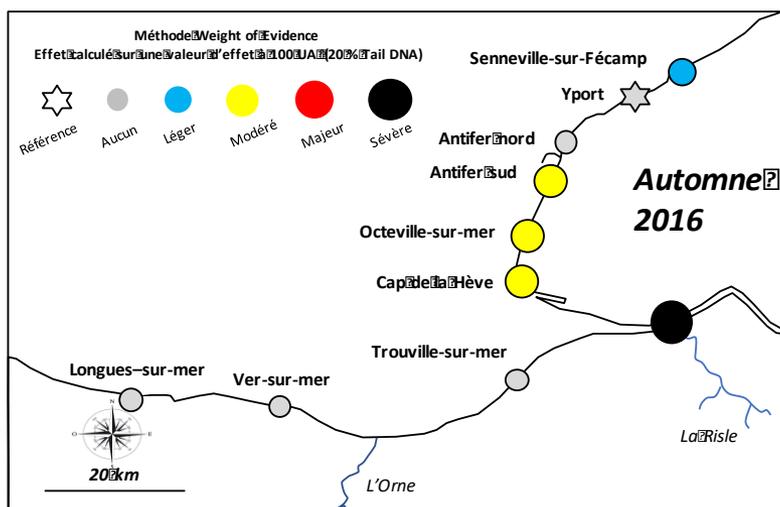
# Le projet ECOTONES

- **Modèle biologique**
  - *Palaemon sp* (crevette)
  - Une espèce littorale et une espèce estuarienne
- **Marqueur**
  - **Génotoxicité**
- **Référence**
  - **Yport** (Seine-Maritime) + Récupération en **milieu contrôlé**
  - Valeur de référence inter-espèce
- **Seuils**
  - **Grille de lecture** des dommages

*Palaemon serratus*



*Palaemon longirostris*

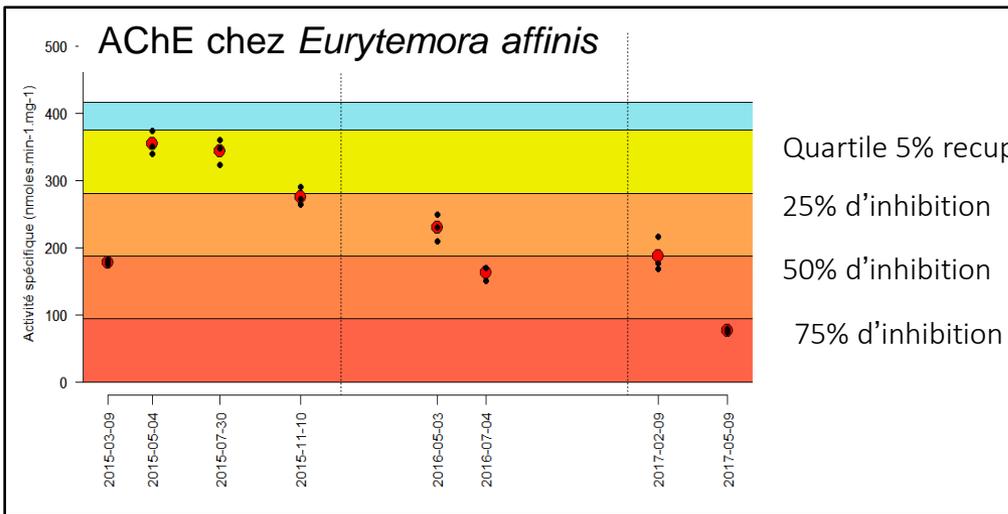
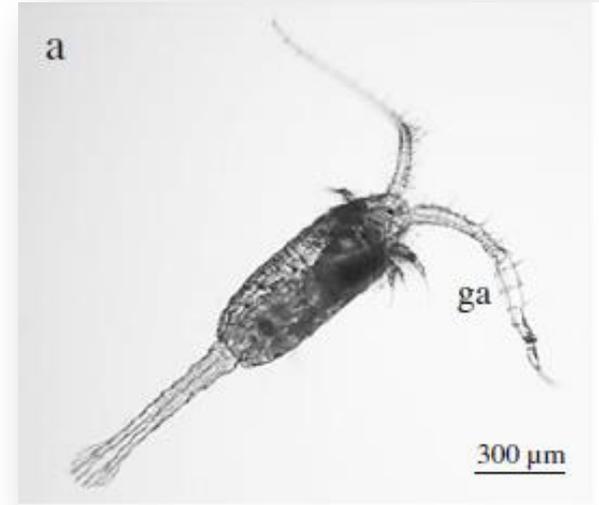


➔ **Dommages importants de l'intégrité de l'ADN spermatique chez la crevette**  
 Risque pour les performances de reproduction

Biomarqueur	Espèce	Classe de risque des Effets E(i)		
		2015	2016	2017
Dommages ADN (spermatozoïdes)	<i>P. serratus</i>	Sévère	Sévère	Sévère

# Le projet ECOTONES

- **Modèle biologique**
  - *Eurytemora affinis* (copépode)
- **Marqueur**
  - *Effets neurotoxiques*
- **Référence**
  - Récupération et exposition en *milieu contrôlé*
- **Seuils**
  - Prise en compte des facteurs de confusion
  - *Grille de lecture* du niveau de gravité

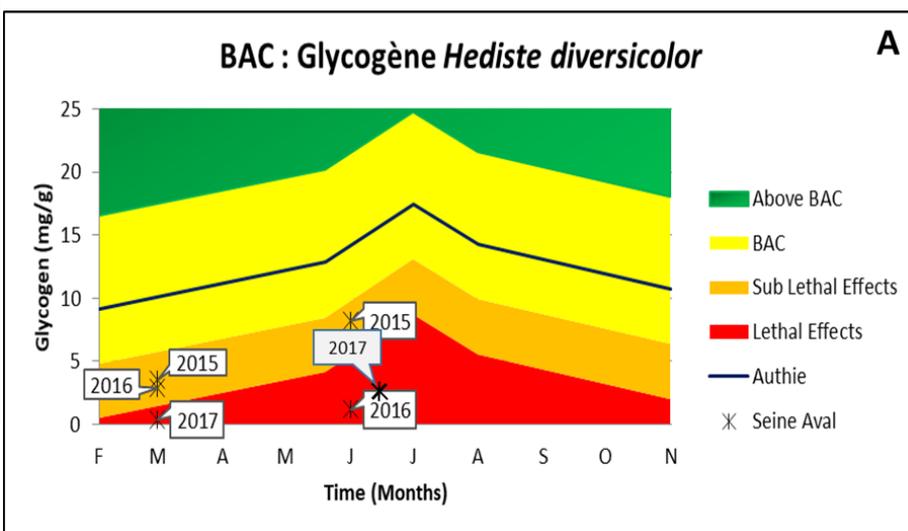


**Diminution significative de l'activité AChE**  
 Exposition à des agents neurotoxiques  
 Effets éventuels sur l'activité de locomotion, vitale pour leur alimentation et leur reproduction

Biomarqueur	Espèce	Classe de risque des Effets E(i)		
		2015	2016	2017
AChE	<i>E. affinis</i>	Sévère	Sévère	Sévère



- **Modèle biologique**
  - *Hediste diversicolor* (annélide)
- **Marqueur**
  - *Réserves énergétiques*
- **Référence**
  - *Authie* (Somme)
- **Seuils**
  - *Modèle mathématique* (prise en compte des facteurs de confusion)

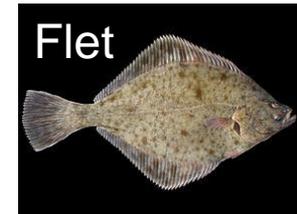
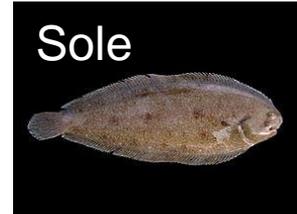


➔ **Niveau perturbé des réserves énergétiques**  
Coût énergétique pour lutter contre la contamination

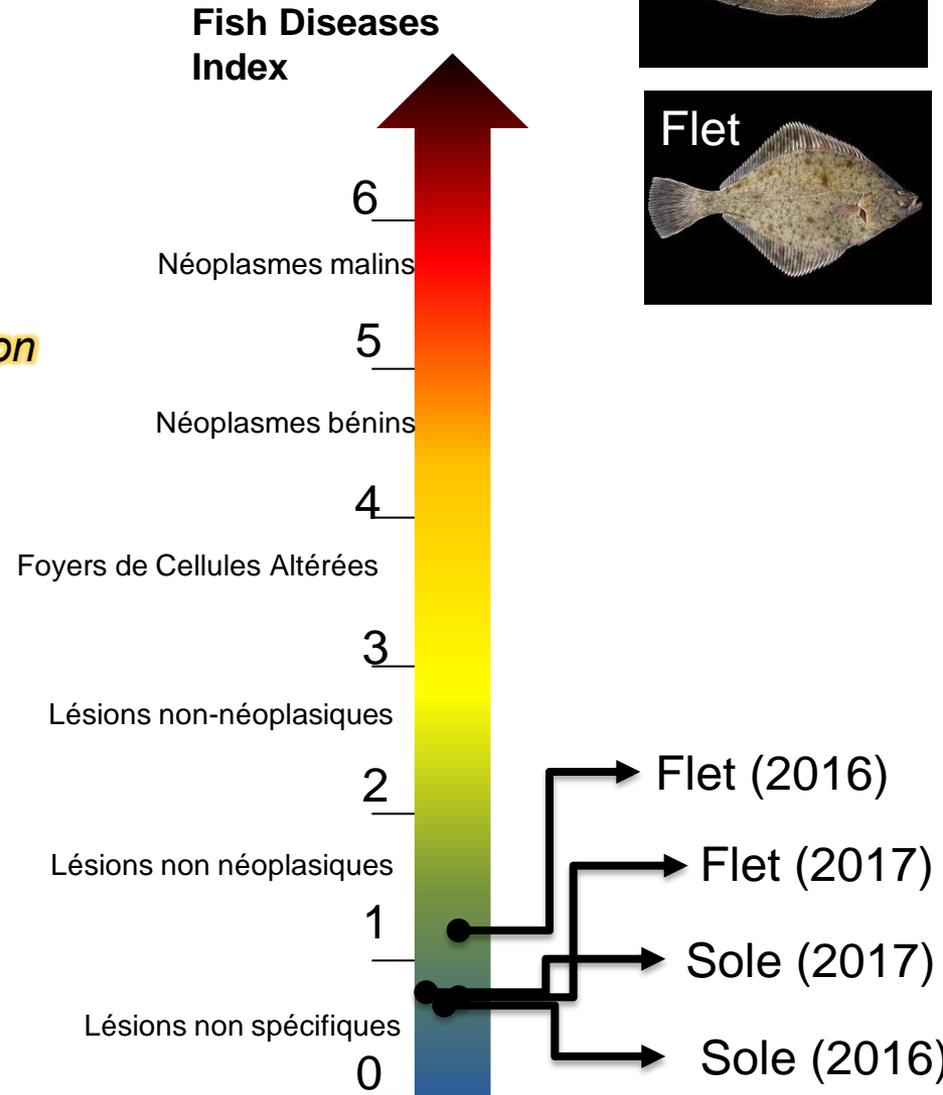
Biomarqueur	Espèce	Classe de risque des Effets E(i)		
		2015	2016	2017
Glycogène	<i>H. diversicolor</i>	Modéré	Majeur	Majeur

# Le projet ECOTONES

- **Modèle biologique**
  - *Solea solea, Platichthys flesus* (poissons plats)
- **Marqueur**
  - *Histopathologie hépatique*
- **Référence**
  - *Bibliographie*
- **Seuil**
  - Application d'une *grille d'évaluation* des dommages hépatiques
  - Note globale de gravité



**Lésions hépatiques présentes pour plus de 65% des individus**

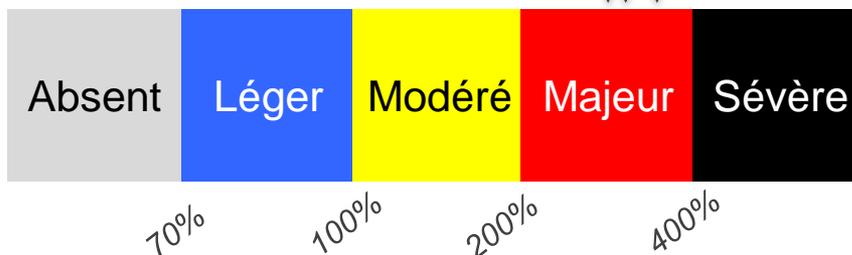


# Le projet ECOTONES

- Intégration des réponses des différents biomarqueurs
  - Permet une **caractérisation d'un état écotoxique** en différentes classes de qualité
  - Exemple d'intégration pour 10 biomarqueurs

Famille	Biomarqueurs.	Espèce	Sens de l'effet considéré	Weight	Classe de risque des Effets E(i)		
					2015	2016	2017
Stress oxydant	TBARS	<i>H. diversicolor</i>	Induc.	0.75	Sévère	Sévère	Léger
Stress oxydant	GST	<i>H. diversicolor</i>	Induc.	0.50	Absent	Absent	Absent
Stress oxydant	CAT	<i>H. diversicolor</i>	Induc.	0.50	Absent	Absent	Absent
Neurotoxicité	AChE	<i>H. diversicolor</i>	Inhib.	0.75	Absent	Absent	Absent
Métabolisme énergétique	Lipides	<i>H. diversicolor</i>	Inhib.	1.20	Absent	Absent	Modéré
Métabolisme énergétique	Glycogène	<i>H. diversicolor</i>	Inhib.	1.20	Modéré	Majeur	Majeur
Effets populationnels	Densité	<i>H. diversicolor</i>	Inhib.	0.80	Modéré	Majeur	Majeur
Neurotoxicité	AChE	<i>E. affinis</i>	Inhib.	0.75	Sévère	Sévère	Sévère
Métabolisme énergétique	Rapport ARN/ADN	<i>E. affinis</i>	Inhib.	1.20	Absent	Absent	Absent
Reproduction	Domages ADN (spermatozoïdes)	<i>P. serratus</i>	Induc.	1.70	Sévère	Sévère	Sévère

**Indice de danger**  
(biomarqueur)



**Risque majeur**

# La biosurveillance

## Acquis et perspectives pour l'estuaire de la Seine

---

### ■ Les constats

- Caractérisation *d'effets biologiques* sur les organismes suivis → signaux de perturbation à tous les niveaux d'organisation biologique
- Nécessité de la *définition de valeurs seuils* pour l'interprétation et l'intégration globale des résultats

# La biosurveillance

## Acquis et perspectives pour l'estuaire de la Seine

---

- Les constats
  
- Les acquis
  - Démonstration de la **faisabilité technique** d'un suivi pour l'estuaire de la Seine
  - Première **évaluation intégrée** des effets de la contamination chimique sur les organismes aquatiques
  - **Retour d'expérience** mobilisable pour alimenter les réflexions européennes sur la mise en place d'une état écotoxicologique pour le suivi de la DCE (projet B&B)

# La biosurveillance

## Acquis et perspectives pour l'estuaire de la Seine

---

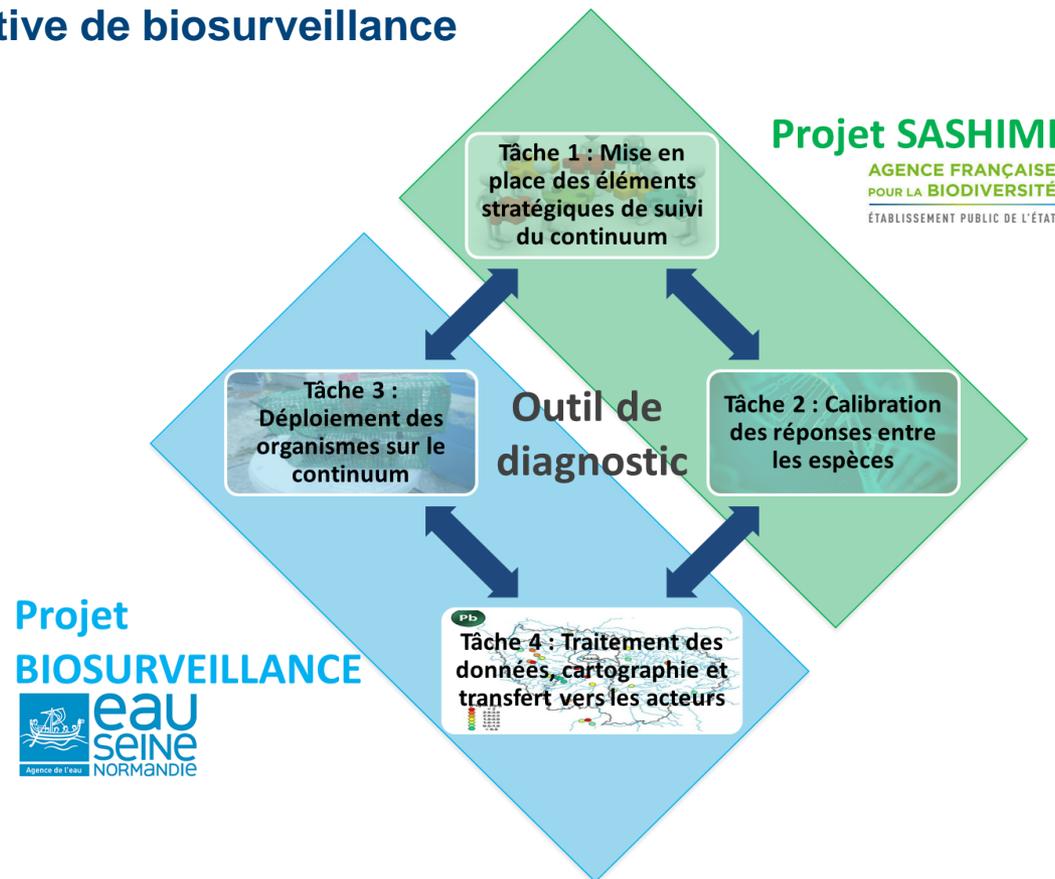
- Les constats
- Les acquis
- Les perspectives
  - Poursuite du travail engagé sur la *définition des valeurs seuils* pour compléter l'éventail d'outils disponibles
  - Intégration de *résultats complémentaires* dans l'outil d'intégration WOE
  - Réflexion sur le *choix des couples 'biomarqueurs/espèces'* à retenir dans une stratégie de biosurveillance
  - Développement des méthodes actives pour un *déploiement à plus grande échelle* (axe Seine)

# Les projets SASHIMI/Biosurveillance

## ■ La réflexion

- Capacité à diagnostiquer et comparer des masses d'eau très différentes sur une large échelle géographique
  - Nécessité de comparer/intercalibrer les réponses entre les espèces
- ➔ **Approche active de biosurveillance**

## ■ Les projets



Projet SASHIMI: <https://www.seine-aval.fr/projet/sashimi/>

Projet BIOSURVEILLANCE: <https://www.seine-aval.fr/projet/biosurveillance/>

# Les projets SASHIMI/Biosurveillance

## ■ La stratégie

- Couvrir **différentes masse d'eaux** : littorale, de transition, continentale ; tête de bassin, grands systèmes
- Considérer **différents groupes zoologiques** : mollusques, crustacés, poissons
- **Nombre restreint de marqueurs** : génotoxicité, immunotoxicité, reprotoxicité, marqueurs de condition



## ■ Les attendus

- **Harmonisation** des protocoles de mesure des marqueurs
- **Recueil** des méthodologie d'encagement, des valeurs basales et seuils
- **Grilles d'interprétation** des marqueurs
- **Déploiement** de biomarqueurs sur 2 ans (2020-21), sur l'axe Seine et le littoral
- **Cartographie** des pressions toxiques

# Merci pour votre attention !

---



*Relève d'une cage contenant des flets,  
après 15 jours d'exposition  
à la qualité de la Seine (Petit-Couronne)*



Projet HQ-FISH: <https://www.seine-aval.fr/projet/hqfish/>

