

L'approche poids de la preuve : évaluer l'état de contamination des masses d'eau



En bref

La méthode du poids de la preuve (*Weight of Evidence* – WOE) consiste à agréger plusieurs types de données environnementales indépendantes, rassemblées en lignes de preuve (*lines of evidence*, LOE), afin de produire une évaluation globale de la qualité d'un milieu associé à son niveau de contamination. Elle permet de structurer l'interprétation de données hétérogènes issues de la chimie du milieu, de la biodisponibilité des polluants présents (via des mesures de bioaccumulation), de la toxicité observée *in situ* (biomarqueurs) ou en laboratoire (bioessais).



Masses d'eau



Concentrations chimiques, niveaux de bioaccumulation, biomarqueurs, résultats de bioessais



De la station au bassin versant
Suivi ponctuel, saisonnier ou pluriannuel



Linux, Mac OS, Windows

Le poids de la preuve

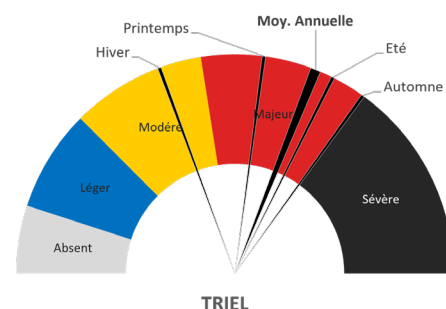
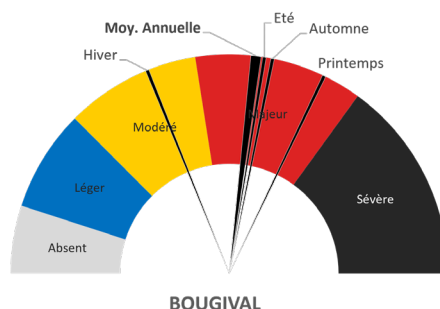
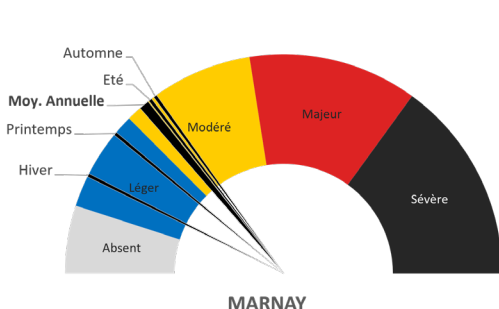
Le concept de WOE trouve son origine dans les années 1980 avec la Sediment Quality Triad, qui combinait contamination chimique, bioessais et structure biologique des communautés benthiques. L'approche a été progressivement enrichie par des dimensions biologiques plus intégrées, notamment les biomarqueurs. Le modèle de Piva et al. (2011) a constitué une avancée majeure, en proposant une formulation mathématique opérationnelle. Ce modèle a ensuite été adapté au contexte français pour une application à des milieux estuariens et fluviaux comme la Seine.

Dans le cadre du PIREN-Seine, cette méthode offre un cadre robuste pour intégrer différentes dimensions du suivi de la contamination, notamment des réponses biologiques du niveau moléculaire au niveau individuel, investiguées lors de campagnes de biosurveillance active ou passive. Elle permet ainsi de détecter des signaux précoces de perturbation environnementale, de cartographier des gradients de contamination, d'identifier des tendances saisonnières ou temporelles, et donc de suivre l'évolution des pressions anthropiques sur les masses d'eau.

Le modèle WOE a été adapté pour le suivi de la Seine à travers :

- Le choix d'espèces bioindicatrices locales comme la gravette, *Hediste diversicolor*, le gammare, *Gammarus fossarum* ou de la moule zébrée, *Dreissena polymorpha* ;
- La détermination de référentiels d'interprétation des réponses (bioaccumulation, biomarqueurs) propres aux organismes étudiés ;
- L'ajout de pondérations spécifiques aux biomarqueurs selon leur pertinence écologique ;
- L'introduction d'un système de classification en classes de danger ;
- La capacité à comparer différents sites et saisons grâce à une grille normalisée.

Résultats de l'analyse intégrative de type *Weight-of-Evidence* des données de contamination du milieu, de bioessais en laboratoire, de bioaccumulation et de biomarqueurs (chez le gammare exposé *in situ*) pour les 3 sites de l'axe Seine lors des 4 campagnes de 2011-2012.



Description technique

La méthode repose sur quatre lignes de preuve indépendantes (LOEs), chacune évaluée selon des protocoles spécifiques. Pour chaque LOE, un *Hazard Quotient* (HQ) est calculé, associé à un niveau d'impact, puis intégré dans un indice global.

1. LOE 1 – Contamination chimique

Les concentrations des contaminants sont comparées à des valeurs de référence (normes réglementaires, seuils toxicologiques). Chaque substance est pondérée selon son niveau de priorité (directive 2008/105/CE). Les concentrations sont rapportées aux seuils par un «ratio to reference» (RTR). Un *Hazard Quotient* chimique (ChemHQ) est ensuite calculé en tenant compte du nombre et de l'ampleur des dépassements.

2. LOE 2 – Bioaccumulation

Les concentrations mesurées dans les tissus biologiques sont comparées à des niveaux basaux d'imprégnation ou des seuils réglementaires (ex. NQE biote). La significativité des différences entre individus exposés et niveaux basaux est intégrée via un facteur de correction. Le BioavHQ (*Hazard Quotient* de bioaccumulation) est calculé en mettant l'accent sur les substances significativement accumulées.

3. LOE 3 – Biomarqueurs

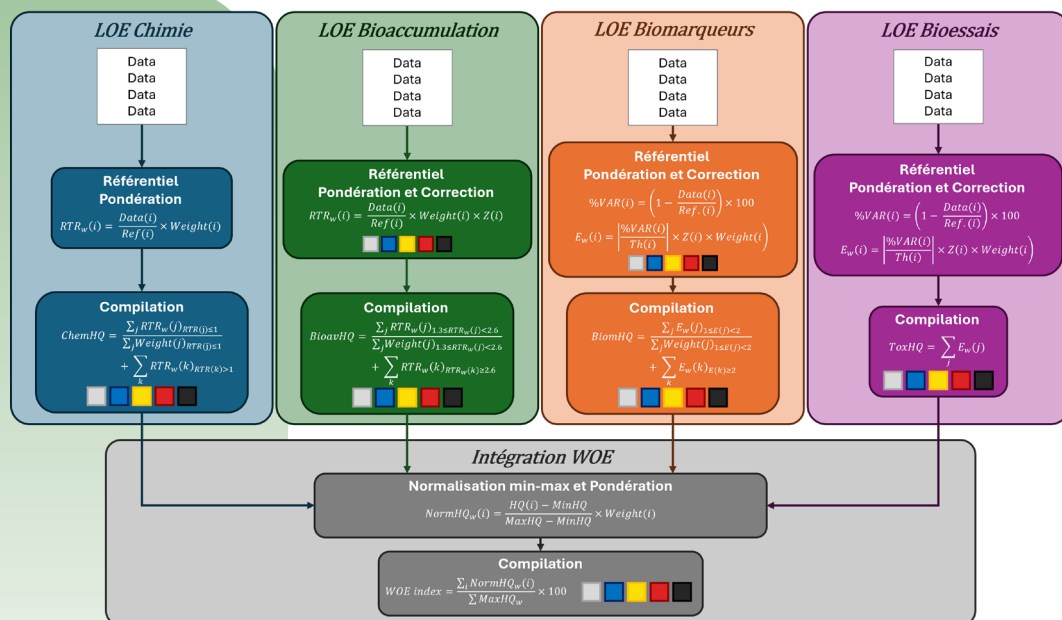
Pour chaque biomarqueur, une variation relative à un niveau de référence est calculée, puis divisée par un seuil d'effet biologique. Le résultat est pondéré selon la pertinence écologique du biomarqueur (par exemple, x 0,5 pour des enzymes antioxydantes, jusqu'à x 3,0 pour la mortalité des individus). L'ensemble permet d'obtenir un BiomHQ, représentant le niveau d'impact biologique observé, en mettant l'accent sur les modulations les plus importantes.

4. LOE 4 – Bioessais

Des tests de toxicité (ex. Microtox®, tests embryolavaires, SOS Chromotest, tests *in vitro* de perturbation endocrinienne) sont réalisés sur des échantillons de sédiments ou d'eau. Chaque test est associé à une pondération en fonction de son *endpoint* (croissance, mortalité, génotoxicité, etc.) de la matrice testée et du type d'exposition (aigüe ou chronique). Le ToxHQ est obtenu en sommant les effets pondérés observés. Chaque HQ est ensuite normalisé sur une échelle commune et pondéré dans l'indice final. Par exemple, la bioaccumulation et les biomarqueurs sont considérés comme plus proches des effets réels et donc plus fortement pondérés que la chimie brute. L'ensemble est ensuite intégré dans un indice WOE final, auquel est attribué l'une des 5 classes de danger : absent, faible, modéré, majeur, sévère.

Outils et moyens techniques utilisés

La mise en œuvre de la méthode nécessite un ensemble d'outils de terrain et de laboratoire. Des campagnes d'échantillonnage permettent de collecter les sédiments, l'eau et les organismes bioindicateurs ou encagés (gammare, annélides). Les analyses chimiques (métaux, HAP, etc.) sont réalisées selon les protocoles standards. Les tests biologiques utilisent des batteries de bioessais validés, et les biomarqueurs sont mesurés à l'aide de techniques moléculaires, biochimiques, histologiques ou comportementales. Le traitement des données est fait via des logiciels comme Excel, SQL ou R, où des arbres de décision et équations permettent d'automatiser les calculs. Des grilles de pondération, valeurs de référence et seuils issus de la littérature scientifique ou réglementaire, de travaux antérieurs ou de l'expertise des partenaires sont aussi mobilisés pour chaque type de donnée.



Ressources

Piva F., Ciapri F., Onorati F., Benedetti M., Fattorini D., Ausili A., Regoli F. Assessing sediment hazard through a weight of evidence approach with bioindicator organisms: A practical model to elaborate data from sediment chemistry, bioavailability, biomarkers and ecotoxicological bioassays. *Chemosphere* 83 (2011) 475-485. [doi:10.1016/j.chemosphere.2010.12.064](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.064).

Barjhoux I., Fechner L.C., Lebrun J. et al. Application of a multidisciplinary and integrative weight-of-evidence approach to a 1-year monitoring survey of the Seine River. *Environ Sci Pollut Res* 25, 23404-23429 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6993-6>.

Xuereb B. (coord.), Barjhoux I., Bustamante P., 2019. *Projet ECOTONES : « Effets de la contamination sur les organismes de l'estuaire de la Seine », Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5*, 42 p.

Barrick A., Barjhoux I., Marion J.M., Châtel A., Perrein-Ettajani H., Mouloud M., Gillet P., Métais I., Mouneyrac C. Investigating the impact of remediation efforts on *Hediste diversicolor* in the Seine estuary using multiple levels of biological organization. *Marine Environmental Research*, Volume 173 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105528>.

Contacts

Pour toutes questions concernant cette méthodologie, vous pouvez vous adresser à :

iris.barjhoux@univ-reims.fr

En savoir plus sur le PIREN-Seine :

<https://www.piren-seine.fr/>



Les partenaires opérationnels de la phase 9 du PIREN-Seine



Les partenaires scientifiques de la phase 9 du PIREN-Seine



Crédits photos : p.1 Marc Bonnard,
p. 2 PIREN-Seine ;
Edition : ARCEAU-Idf 2025
Version 1 : septembre 2025

www.arceau-idf.fr

