



Les biocapteurs: un atout pour une gestion en temps réel de la qualité de l'eau

Cédric Lardière

Abstract

Sensors using a living organism make it possible to detect, in a specific, continuous and rapid manner, a large number of substances that traditional methods can only measure in a global manner, or even not measure at all. If traditional methods remain dominant on the market, measurement by biosensors will become more widespread as regulatory developments and solutions proposed by manufacturers continue.

Les capteurs utilisant un organisme vivant permettent de détecter, de manière spécifique, continue et rapide, un grand nombre de substances que les méthodes traditionnelles ne peuvent mesurer que d'une manière globale, voire ne pas mesurer du tout. Si les méthodes traditionnelles restent dominantes sur le marché, la mesure par biocapteurs va se démocratiser au fur et à mesure des évolutions réglementaires et des solutions proposées par les fabricants.

De nombreux moyens sont disponibles sur le marché pour surveiller et mesurer les paramètres essentiels pour la qualité de l'eau. On pense évidemment aux capteurs, transmetteurs et analyseurs utilisant des principes électrochimiques et/ou optiques, mais il existe une autre catégorie de solutions de mesure qui se fait une place de plus en plus importante dans l'arsenal des acteurs de l'eau ces dernières années: il s'agit des biocapteurs.

Ils s'inscrivent dans une tendance plus large portant sur le déploiement d'indicateurs biologiques (ou bio-indicateurs) pour surveiller l'air, l'eau et les sols. L'éventail des organismes animaux et végétaux est large, avec les abeilles, les amphibiens, le lichen, les truites, etc. Au-delà de l'observation intuitive du comportement de certains organismes sensibles aux changements environnementaux, qui doit dater de la nuit des temps, l'une des premières utilisations du vivant comme moyen de détection

LES SALONS PROFESSIONNELS DES SOLUTIONS ENVIRONNEMENTALES & ÉNERGÉTIQUES



Grand Ouest

26 & 27
Mars 2025

Nord

18 & 19
Juin 2025

Sud-Ouest

19 & 20
Nov. 2025

Grand Est

Octobre
2026

ÉCOCONSTRUCTION
RISQUES NATURELS
AMÉNAGEMENT
ÉNERGIE
DÉCHETS
EAU
BIODIVERSITÉ
MOBILITÉ
LOGISTIQUE
AIR
SOLS
RSE

ooo



Toutes les infos sur www.enviropro-salon.com

remonte au XIX^e siècle durant l'exploitation des mines de charbon.

« Les mineurs utilisaient des canaris comme bio-indicateurs pour détecter la présence de monoxyde de carbone (CO) et d'autres gaz toxiques avant qu'ils ne nuisent à l'homme », rappelle Guillaume Jubeaux, cofondateur et directeur de Biomae. En raison de la sensibilité accrue aux gaz toxiques ou asphyxiants du canari (ou pinson) emmené en cage, le changement de comportement de l'animal, à savoir une agitation, un évanouissement ou la mort, permettait de détecter, de manière précoce, d'un danger imminent et de déclencher l'évacuation de la mine.

« L'idée d'utiliser des systèmes biologiques pour détecter des substances remonte aux travaux sur les enzymes et leur capacité à catalyser des réactions chimiques spécifiques. Dans les années 1960, Leland Clark Jr. – il est considéré comme le « père des biocapteurs » – développe la première électrode ampérométrique utilisant une enzyme (la glucose oxydase) pour mesurer la concentration de glucose. Ce dispositif est considéré comme le premier véritable biocapteur », explique Jean-Michel Monier, docteur en microbiologie et responsable technique Water Applications chez Hydreka (groupe Claire).

Le premier biocapteur commercial a été conçu par la société Yellow Spring Instruments (YSI), qui appartient aujourd'hui à Xylem Analytics, une entité du groupe américain Xylem, en 1975 pour la détection du glucose. Les premiers biocapteurs microbiens et immunologiques, eux, sont développés dans les années 1970 et les premiers capteurs à ADN (acide désoxyribonucléique), durant la décennie suivante.

MESURER LES EFFETS TOXIQUES DES SUBSTANCES CHIMIQUES

Pour Guillaume Jubeaux (Biomae), « un biocapteur est une matrice vivante (une cellule, un tissu, un organisme entier) utilisée pour détecter l'exposition ou l'effet d'une ou plusieurs substances chimiques ». Ce que confirme Jean-Michel Monier (Hydreka) en précisant que « les éléments de reconnaissance d'origine biologique en contact direct avec un transducteur peuvent être de nature différente (micro-organismes, anticorps, enzymes, acides nucléiques...) et ne sont donc pas forcément "vivants". » Ces éléments vont interagir avec leur environnement direct et générer un signal biologique (émission d'une fluorescence ou d'une bioluminescence, production d'électrons, activité respiratoire...), signal qui est converti par le transducteur en un signal analysable pour fournir des informations quantitatives ou semi-quantitatives.

« Si les méthodes électrochimiques et optiques traditionnelles restent dominantes sur le marché de la mesure de la qualité de l'eau, les biocapteurs se distinguent en effet par la rapidité des mesures, la détection de contaminants spécifiques et l'évaluation de la toxicité et de la biodégradabilité. Il existe une grande diversité de paramètres pouvant être détectés par des biocapteurs, principalement les métaux lourds et les polluants organiques », indique Jean-Michel Monier.

Les biocapteurs permettent ainsi de détecter, de manière spécifique, continue et rapide, un grand nombre de molécules ou composés que les méthodes traditionnelles ne peuvent mesurer que d'une manière globale, sans distinction (comme la charge organique), voire ne



© Hydreka

Si les méthodes traditionnelles restent dominantes sur le marché de la mesure de la qualité de l'eau, les biocapteurs se distinguent par la rapidité des mesures, la détection de contaminants spécifiques et l'évaluation de la toxicité et de la biodégradabilité.

pas mesurer du tout. C'est notamment le cas des éléments-traces métalliques, des pesticides, des retardateurs de flamme, des médicaments, des hydrocarbures, des produits cosmétiques, des perturbateurs endocriniens, des solvants de l'industrie chimique, des PFAS et, plus récemment, des microplastiques. Ces substances sont habituellement mesurées dans des prélèvements d'eau ou de sédiments.

« Contrairement à des capteurs inertes (échantillonneurs passifs, par exemple), l'intérêt d'utiliser du matériel biologique est de mesurer, non seulement la présence de substances chimiques, mais également leurs effets toxiques et leur mode d'action tel que la cytotoxicité, la génotoxicité, la neurotoxicité, la perturbation endocrinienne, etc., tout en prenant en compte leur biodisponibilité – la capacité d'une substance chimique à s'accumuler et à interagir avec les organismes vivants et, donc, à générer des effets toxiques sur ces derniers », explique Guillaume Jubeaux (Biomae). Parmi les autres paramètres d'« effet », on peut encore mentionner la mesure d'impact et la biodégradabilité de polluants.

Le Laboratoire Watchfrog utilise ainsi des tests normés pour mesurer l'effet



© Biomae

Les bioessais de Biomae reposent sur l'élevage de gammarès qui sont ensuite exposés directement sur site pendant une à trois semaines. Après exposition, les organismes sont analysés en laboratoire pour mesurer les substances chimiques accumulées et l'impact toxique sur plusieurs réponses biologiques.



Chloration Gazeuse

Des milliers d'installations en piscine, eau potable et industries

Désinfection au chlore gazeux

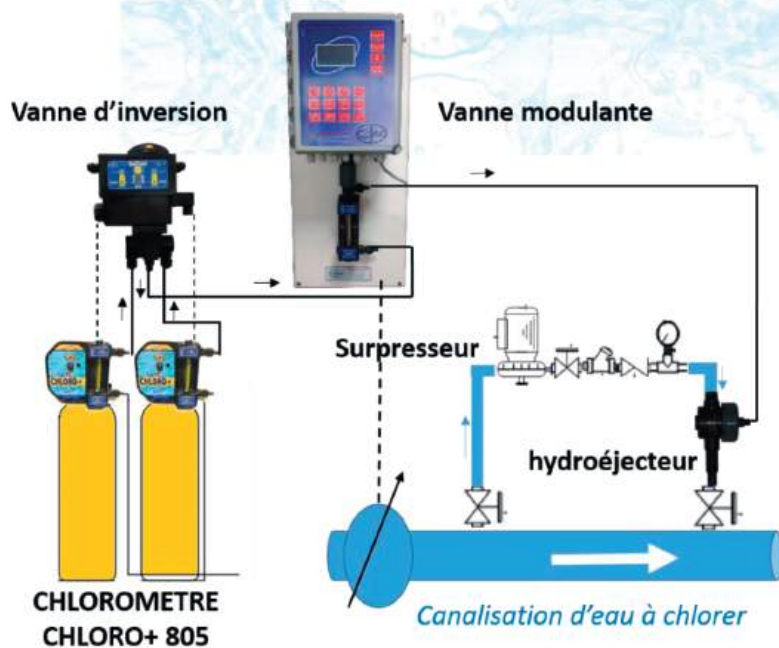
- ✓ Le mode de chloration le plus sécurisé : soutirage sous depression.
- ✓ Le chlore le plus pur, sans impact sur votre traitement : diminution des sous-produits dont les chlorates.
- ✓ Facilité de mise œuvre et simplicité des réglages
- ✓ Grande autonomie

Notre Atout : Le Chloraflon®

- ✓ Matériau unique développé par CIFEC
- ✓ Résiste au chlore sous toutes ses formes
- ✓ Maintenance tous les 5 ans seulement
- ✓ Durée de vie 30 ans et plus
- ✓ Garanti 5 ans



PRINCIPE DE CHLORATION EN DEPRESSION



Matériel de chloration :

- ✓ Chloromètres de sécurité
- ✓ Inverseurs automatiques
- ✓ Débitmètres
- ✓ Vanne modulante
- ✓ Hydroéjecteurs
- ✓ Armoire de stockage
- ✓ Matériel de sécurité
- ✓ Balance à chlore

Pour en savoir plus sur la désinfection au chlore gazeux,
visitez notre site : www.chlorometre.fr

des polluants sur les embryons de poissons et d'amphibiens. « Plus l'eau est contaminée par des substances perturbatrices, plus le biomarqueur émet de fluorescence. Il suffit alors d'adapter l'efficacité du traitement pour éliminer l'effet des substances », indique Gregory Lemkine, directeur du Laboratoire Watchfrog.

Utilisés sur plusieurs sites industriels, les tests Watchfrog ont permis de démontrer l'efficacité de l'ajout d'un traitement, voire d'adapter sa performance

– par exemple en sélectionnant la bonne dose de charbon actif – pour éradiquer les effets de l'ensemble du mélange de substances susceptibles d'être présentes dans l'effluent. Gregory Lemkine témoigne : « Le plus souvent, l'effet perturbateur n'est pas dû à une substance mais un mélange complexe et c'est finalement la capacité du traitement à abattre l'effet perturbateur qui compte. La mesure d'effet sur le vivant est le meilleur moyen intégratif pour ajuster la performance du traitement à l'objectif environnemental ».

DIFFÉRENTS AXES DE DÉVELOPPEMENT

« Il existe deux types d'approches de bio-surveillance de ces substances dans les milieux aquatiques : une approche passive basée sur le prélèvement/la pêche d'organismes sur site (quand ils sont présents) et une approche active utilisant l'encagement d'organismes calibrés sur site pendant une période déterminée (quelques jours, quelques semaines) », indique Guillaume Jubeaux.

TROIS EXEMPLES DE BIOCAPTEURS



© MolluSCAN-eye

La technologie de valvométrie haute fréquence non invasive (HFNI) de la start-up MolluSCAN-eye est basée sur la capacité des mollusques bivalves (huîtres, moules, pétoncles...) à informer sur la qualité de l'eau dès que celle-ci les perturbe.

Poissons, amphibiens, bactéries, moules, ARN ribosomique, algues... Il existe aujourd'hui un large éventail d'organismes vivants utilisés pour la surveillance de la qualité de l'eau. La société Hydreka, qui a été rachetée en juin 2024 par le groupe Claire, commercialise, depuis 2019, les biocapteurs NODE suite à l'acquisition de la start-up Enoveo. Ils exploitent les bactéries indigènes, naturellement présentes dans le milieu à surveiller, comme bio-indicateurs pour la détection en continu de pollutions (à-coups de charge, toxicité...) et l'évaluation de la charge organique. « Les biocapteurs génèrent un signal électrique qui est le reflet direct de l'activité des bactéries présentes à la surface des électrodes et qui, adaptées au milieu et représentatives du site, sont sensibles à tout changement intervenant dans la qualité de l'eau. Les biocapteurs sont déployés pour la surveillance des milieux aquatiques naturels, urbains ou industriels (captages, déversoirs, STEU, procédés de traitement...) », rappelle Jean-Michel Monier, docteur en microbiologie et responsable technique Water Applications chez Hydreka (groupe Claire). Du côté de Biomaë, un essaimage du Laboratoire d'écotoxicologie d'Irstea (devenu l'Inrae suite à la fusion avec l'Inra en 2020) créé en 2014, la société propose des bioessais, et non des mesures en temps réel, destinés à la bio-surveillance de la qualité chimique et écotoxicologique des cours d'eau. « Notre offre repose sur l'élevage de gammars (crustacés d'eau douce) qui sont ensuite exposés directement sur site, dans les cours d'eau, pendant une à trois semaines via une méthode

d'encagement normalisée (Afnor NF T90721). Après exposition, les organismes sont rapatriés au laboratoire, puis analysés pour mesurer les substances chimiques accumulées et l'impact toxique sur plusieurs réponses biologiques telles que la survie, le comportement (alimentation), la reproduction, le taux d'altérations de l'ADN, des activités enzymatiques témoins de l'exposition à des insecticides, etc. L'interprétation des résultats est faite au regard de seuils de contamination et de toxicité définis dans le gammare au niveau national (brevet Inrae/Biomaë) », poursuit Guillaume Jubeaux, cofondateur et directeur de Biomaë. Citons aussi la start-up molluSCAN-eye, créée en 2023 par Ludovic Quinault, statisticien, et Jean-Charles Massabuau, biologiste marin et directeur de recherche émérite au CNRS. Sa technologie de valvométrie haute fréquence non invasive (HFNI), issue d'une vingtaine d'années de recherche à la Station marine d'Arcachon (UMR CNRS EPOC de l'Université de Bordeaux), est basée sur la capacité des mollusques bivalves (huîtres, moules, pétoncles...) à informer sur la qualité de l'eau dès que celle-ci les perturbe. L'analyse comportementale appliquée in situ (surveillance des cycles d'ouverture et de fermeture des valves, de leur croissance, des pontes...) est 10 à 100 fois plus sensible que la chimie en eaux naturelles, sans a priori et généraliste, sans idée préconçue sur la nature du polluant, de ses produits de dégradation ou du cocktail inconnu de molécules produit.

Le groupe des « Eaux de Marseille » et la société Cifec ont également associé leurs expériences respectives dans le domaine des détecteurs biologiques, pour permettre la protection instantanée contre les pollutions accidentelles non détectées par les analyseurs physico-chimiques.

« Dans la gamme Truitosem, Cifec propose aujourd'hui le détecteur Truitel, particulièrement adapté à la surveillance des eaux de surface et des eaux de nappes destinées à la potabilisation. Une variante de cet appareil permet le contrôle des effluents des stations de traitement d'eaux usées ou d'eaux chlorées sur les réseaux de distribution d'eau potable. Le détecteur (breveté Cifec-SEM) est basé sur le principe du sonar. Toutes les secondes, un train d'ondes ultrasoniques est envoyé dans la chambre de surveillance contenant une dizaine de truitelles ou une cinquantaine de vairons. Elle est alimentée en continu avec l'eau brute à surveiller. Ces ondes sont réfléchies par tous les obstacles qu'elles rencontrent, principalement poissons et parois de verre. L'écho est réfléchi vers le récepteur puis amplifié et mémorisé par un micro-contrôleur », explique Cifec.

EASY'O

L'eau facile



Collier de prise en charge optimisé



Solution ergonomique
de prise en charge optimisée

**Easy'O, la garantie d'un branchement fiable grâce
à des produits et des solutions innovants.**

Exigez la perfection pour vos réseaux.

Machine à percer Perf'O



*Robinet de prise en charge 1975,
DN 20, 27 et 40*



Collier de prise en charge Fast'O



SAINT-GERMAIN & STRAUB
Concevoir pour la distribution de l'eau



La pêche de poissons et l'encagement de gammars (*voir encadré*) sont utilisés en France par les Agences de l'eau depuis 2018 pour vérifier la conformité aux normes de qualité environnementale définies pour une quinzaine de substances ou familles de substances dangereuses et prioritaires imposées aux États membres de l'Union européenne par la Directive Cadre Eau (directive 2013/39/UE).

Jean-Michel Monier (Hydreka) fait néanmoins remarquer que « les principales limitations des biocapteurs résident dans l'absence de reconnaissance réglementaire et le fait qu'il s'agisse d'une méthode non standardisée. Les avantages et inconvénients des biocapteurs doivent donc être mis en regard des technologies existantes et dépendent beaucoup de l'élément de reconnaissance (cellules versus molécules) ».

Les choses évoluent toutefois. « Nous sommes en train de définir des valeurs de référence pour évaluer la toxicité de sédiments prélevés dans des cours d'eau, lors d'opérations de curage, par exemple, ou dans le cadre de programmes de surveillance à large échelle. Pour cela, nous avons adapté les mesures faites à partir de gammars encagés dans les cours d'eau à des gammars exposés en laboratoire sur des sédiments prélevés sur site afin de mesurer la toxicité (survie, comportement et reproduction) », explique Guillaume Jubeaux (Biomae).

Aujourd'hui, les sédiments sont caractérisés uniquement par la présence de substances chimiques, et leurs effets sont mesurés avec une batterie de bioessais dérivés d'une approche faite pour l'évaluation de déchets, mais qui n'est pas bien adaptée aux sédiments. « Pour compléter notre offre, nous sommes également en train de transférer notre approche d'encagement de gammars sur des plantes aquatiques, en réalisant également des mesures de bioaccumulation et des mesures de marqueurs de toxicité adaptés aux végétaux (croissance, bourgeonnement, activité enzymatique liée à l'exposition d'herbicides...) », ajoute Guillaume Jubeaux.

Du côté d'Hydreka, les investissements en R&D ont porté, ces deux dernières années, sur l'amélioration de la technologie et son adaptation aux applicatifs. Un effort particulier sur l'industrialisation et l'accessibilité financière a été mené pour proposer une nouvelle



La station de biosurveillance ToxMate en Step urbaine, couplée à un préleveur (en option).

génération de biocapteurs permettant le déploiement en masse. « Nous avons récemment axé nos efforts de développement sur les performances et le design de nos biocapteurs afin de répondre aux besoins de nos clients concernant, notamment, la fréquence de maintenance des sondes immergées (biocapteurs ou capteurs standard) et la gestion des données », précise Camille Triffaux, responsable de l'activité Expertise Environnementale chez Hydreka (groupe Claire).

La société ViewPoint a quant à elle choisi dès le départ de proposer un outil en temps réel pour pouvoir réagir rapidement indique Didier Neuzeret, PDG ViewPoint.

Pour cela, le ToxMate, station de biosurveillance multi-espèces, utilise le vidéotracking des organismes aquatiques pour détecter et signaler la présence de micropolluants. Avec un axe station de traitement, cette technologie est conçue pour la surveillance en continu des STEP urbaines et industrielles, ainsi que des sites d'eau potable. Tout comme les canaris des mines, le ToxMate repose sur l'observation des changements du comportement pour détecter la dégradation de la qualité de l'eau. Cependant, grâce aux avancées techniques, il se distingue par une sensibilité adaptée à des concentrations environnementales non létales, permettant une exposition prolongée des organismes et garantissant un suivi 24h/24 et 7j/7, sans intervention humaine fréquente.

L'approche multi-espèces avec trois invertébrés aquatiques—Gammarus (amphipode), Radix (gastéropode) et Erpobdella (annélide)—permet de tirer parti de sensibilités variées aux contaminants toxiques. Cette diversité biologique assure une couverture plus large des substances chimiques, tout en utilisant des espèces locales représentatives des écosystèmes. Les opérateurs des stations disposent d'une plateforme de visualisation en temps réel et d'une possibilité de connexion à leur supervision, leur permettant d'être alertés et d'agir immédiatement en cas de contamination anormale de micropolluants ou de leur cocktail.

Issu de 10 ans de R&D en collaboration entre le laboratoire d'écotoxicologie de l'INRAE Lyon et l'entreprise Viewpoint, le ToxMate permet une détection précoce et une intervention immédiate en cas de pollution, limitant ainsi les impacts écologiques avant que l'eau ne soit rejetée dans le milieu naturel. Les réponses peuvent par ailleurs être différenciées en temps-réel grâce à l'approche fingerprinting développée au laboratoire INRAE en collaboration avec George Ruck, Directeur Data Science et R&D chez ViewPoint, fournissant ainsi une information sur les types de micropolluants présents.

« L'innovation se poursuit dans le cadre de ce partenariat renforcé avec l'INRAE, visant à intégrer le biomonitoring dans les stratégies de traitement avancé, désormais obligatoires avec la nouvelle Directive Eaux Résiduaires (DERU

CYCL'EAU MONTPELLIER-OCCITANIE

LE RENDEZ-VOUS PROFESSIONNEL TERRITORIAL DÉDIÉ À LA GESTION DE L'EAU

➔ **MERCREDI 19 | JEUDI 20 MARS 2025**

➔ **PARC DES EXPOSITIONS MONTPELLIER | HALL B2**



**VENEZ À LA RENCONTRE DES ACTEURS DE L'EAU
DU BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE-CORSE !**

+80 OFFREURS DE SOLUTIONS DE LA FILIÈRE EAU
DES CONFÉRENCES INSTITUTIONNELLES & ATELIERS
DES VILLAGES D'EXPERTS AUTOUR DE LA RECHERCHE & FORMATION,
DES INNOVATIONS, DES EAUX À LA PARCELLE, DE L'EMPLOI...
DES RENDEZ-VOUS D'AFFAIRES

RETROUVEZ TOUTES LES INFOS SUR WWW.CYCLEAU.FR

2024). L'objectif est notamment d'optimiser les coûts énergétiques des procédés tels que le charbon actif et l'ozonation, en ajustant leur activation uniquement en cas d'alerte ToxMate. Cette approche assure ainsi une gestion des micropolluants plus efficace, durable et économiquement viable dans les infrastructures de traitement des eaux», précise Didier Neuzeret, PDG de Viewpoint.

BIOCAPTEURS ET CAPTEURS TRADITIONNELS COMPLÉMENTAIRES

Comme on le constate, les biocapteurs sont de plus en plus utilisés car ils offrent une nouvelle dimension dans la compréhension des phénomènes observés ou subits. «Il est donc fréquent que les exploitants et les industriels se tournent vers cette technologie pour résoudre des problématiques qu'ils n'arrivent pas à résoudre avec les technologies conventionnelles. De nombreux gestionnaires de réseau d'assainissement utilisent notre technologie NODE pour mesurer directement les variations de qualité d'eau dans les réseaux en amont d'une station d'épuration. L'information est d'autant plus précieuse que les biocapteurs réagissent quasiment de la même manière que la biomasse du bassin de traitement de la STEP», cite, comme exemple concret, Camille Triffaux.

Dans le cadre de son observatoire de la rivière MeSeine, le Service public de l'assainissement francilien (SIAAP) a utilisé bioessais et biocapteurs, en ligne ou en laboratoire, conjointement à son réseau de mesures in situ pour créer un référentiel à l'échelle de la Seine francilienne. L'objectif: pérenniser l'utilisation des méthodes les plus adaptées à ce milieu et établir une cartographie initiale des effets biologiques pour pouvoir observer toutes modifications à venir. «Si la biosurveillance en elle-même ne fait pas l'objet d'obligations réglementaires, sa pérennisation enrichit l'expertise des équipes en charge du suivi de la qualité du milieu naturel, qui l'intègrent dans leur quotidien au même titre que le suivi physico-chimique», précise Guérin-Rechdaoui, Directrice innovation au SIAAP.

Toutes les personnes interrogées s'accordent sur un point: «Les mesures biologiques ne vont pas, d'une manière générale, supplanter les mesures traditionnelles, mais plutôt les compléter», affirme Guillaume Jubeaux (Biomae). Et Camille Triffaux (Hydreka) de renchérir: «Ces mesures compléteront l'interprétation des mesures traditionnelles et permettront une compréhension plus profonde des problématiques liées à la qualité des milieux aquatiques. Les évolutions récentes de la réglementation

vont dans ce sens à l'image de la nouvelle DERU [Directive Eaux résiduaires urbaines, NDR] qui incite l'approche proactive de la surveillance. Il reste encore un travail important de normalisation des mesures pour les rendre comparables et intégrables dans un volet réglementaire.»

Pour les collectivités locales et les exploitants, il s'agit d'intégrer l'utilisation de bioessais en appui à la DCE pour la surveillance des masses d'eau et l'étude d'impact des rejets urbains/industriels (sujet mené par l'Office français de biodiversité [OFB] et Aquaref en France dans le cadre du groupe de travail Bioessais). Pour les industriels, la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (directive IED) impose de mettre en place des bioessais pour mesurer la toxicité d'effluents industriels. Les études d'acceptabilité de rejets sur le milieu récepteur, en lien avec les Dréal, évoluent et intègrent progressivement le volet «biologique» pour mieux appréhender l'exposition et l'effet des effluents (rejet) sur le milieu récepteur (en lien avec la DCE). Ce qui fait dire à Jean-Michel Monier (Hydreka) que «la mesure par biocapteurs va se démocratiser au fur et à mesure des évolutions et des solutions proposées par les industriels du secteur». ●