Traits biologiques et écologiques, intérêt et perspectives pour la bio-indication des pollutions toxiques

Les traits biologiques et écologiques représentent l'ensemble des caractéristiques biologiques des espèces ainsi que leurs relations avec l'environnement. Ces informations sont très utiles à étudier pour diagnostiquer l'impact des pollutions sur les populations d'espèces témoins tels les macro-invertébrés ou les diatomées. L'utilisation des traits biologiques et écologiques dans l'évaluation de la qualité des eaux est relativement récente et présente des perspectives intéressantes, notamment en termes de précision d'analyse dans le domaine de la bio-indication que cet article nous donne l'occasion d'appréhender.

L'utilisation des communautés comme indicateurs de l'état écologique des rivières évolue en même temps que notre compréhension de leurs relations avec les différents paramètres environnementaux (qualité de l'eau, habitat).

L'analyse de ces assemblages d'espèces peut aussi bien concerner des descripteurs taxonomiques* que non taxonomiques. Les descripteurs taxonomiques (indices de diversité, richesse taxonomique, abondances relatives, espèces indicatrices) sont les plus couramment employés et sont décrits par de nombreux chercheurs, mais les mesures non taxonomiques tels que les traits biologiques et les traits écologiques peuvent aussi se révéler riches d'informations. Il est d'ailleurs particulièrement intéressant de travailler sur les traits plutôt que sur des indices synthétiques pour deux raisons principales : les indices reflètent difficilement la variabilité naturelle des communautés selon les zones géographiques, et aboutissent à une trop grande réduction de l'information écologique.

Par ailleurs, ces indices génèrent rarement une diversité de réponses en rapport avec la diversité des perturbations naturelles ou anthropiques à décrire. Ils ne permettent pas d'établir un diagnostic précis sur l'origine de la dégradation du milieu, et discriminent rarement dans leur évaluation, l'impact des perturbations, des fluctuations naturelles (temporelles et/ou spatiales) de la composition des communautés vivantes.

Que sont les traits biologiques et écologiques ?

Également appelés « traits d'histoire de vie », les traits biologiques et écologiques rassemblent l'ensemble des informations qualitatives et quantitatives associées à la biologie des organismes et à leurs relations avec l'environnement.

Les traits biologiques sont décrits comme caractérisant le cycle de vie, les potentialités de résistance, ou de résilience, mais aussi la morphologie, la physiologie ou le comportement d'un taxon*.

Les traits écologiques sont décrits par des variables caractérisant les affinités d'un taxon (sensibilité/tolérance) pour certaines caractéristiques de l'habitat, comme sa distribution spatiale (à plusieurs échelles d'observation), ses préférences en matière d'habitat ou encore aux principaux paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau* : nutriments, matière organique, salinité, oxygénation, etc.

Un des principaux points de départ du développement de cette approche est l'« Habitat Templet » de Southwood en 1977, selon lequel les modifications temporelles et spatiales de l'habitat induisent une mosaïque de conditions biotiques* et abiotiques* qui jouent un rôle fondamental dans l'organisation des communautés aquatiques. Cela signifie que la distribution des organismes (végétaux ou animaux) est fortement liée à la fréquence des perturbations (définies comme des

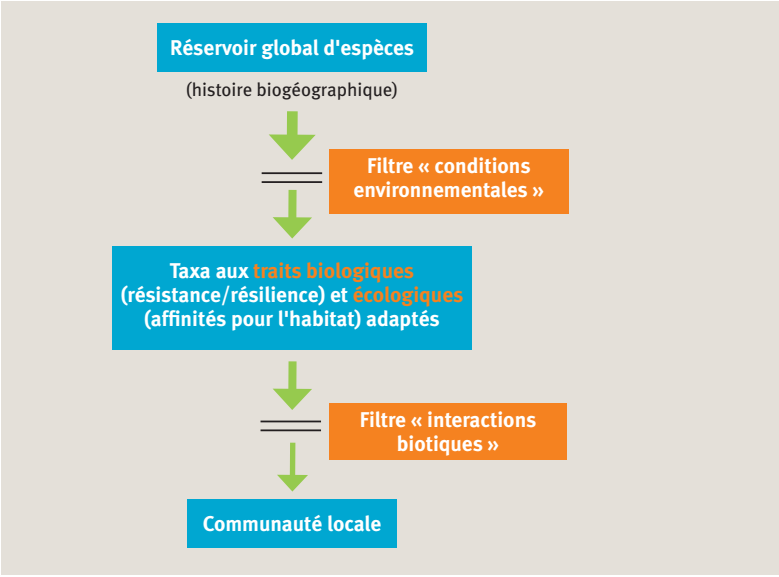
événements naturels ou anthropiques qui perturbent l'écosystème, les communautés ou la structure des populations), qui modifie les ressources, la disponibilité des habitats et l'environnement physique. Ces caractéristiques de l'habitat sont donc considérées comme des filtres pour les traits biologiques et écologiques des espèces ce qui permet de relier entre eux traits et gradients environnementaux (figure ❶). En effet, les peuplements d'un écosystème perçoivent la variabilité spatio-temporelle de l'environnement de sorte que les espèces présentant les traits biologiques et les stratégies écologiques les plus appropriés à chaque type de caractéristiques de la mosaïque benthique* sont supposées sélectionnées.
Par ailleurs, les traits d'histoire de vie sont considérés comme étant universels à travers les échelles spatiales (au sens biogéographique) et temporelles, car nous ne nous intéressons plus uniquement aux taxons qui ont une aire de répartition définie, mais à des caractéristiques de fonctionnement des communautés que nous pouvons potentiellement rencontrer partout.

Assez logiquement, de nombreux auteurs ont émis l'hypothèse d'une modification spécifique des combinaisons de traits bioécologiques des communautés faunistiques ou floristiques dans les écosystèmes perturbés, en fonction de la nature et de l'intensité de la perturbation. Les différents tests de cette hypothèse ont permis de définir un certain nombre de stratégies adaptatives et permettent d'envisager un diagnostic écologique des écosystèmes d'eaux courantes fondamentalement basé sur les combinaisons de traits des communautés.

Différentes classifications des espèces de diatomées* ont depuis longtemps été établies à partir de leurs traits écologiques en fonction de leur sensibilité à certains paramètres environnementaux, notamment chimiques tels que le pH, la salinité, les conditions trophiques*, les conditions d'oxygénation ou encore la pollution. La plus utilisée de ces classifications reste celle de van Dam *et al.* (1994), qui aborde l'ensemble de ces paramètres environnementaux. On y trouve, par exemple, le trait écologique « sensibilité à la matière organique », présentant les modalités suivantes : oligosaprobe*, ß-mésosaprobe*, α-mésosaprobe*, α-méso* à polysaprobe*, polysaprobe*. Plus récemment, des études menées en Finlande et aux États Unis ont permis de classer de nombreuses espèces de diatomées selon leurs optimums vis-à-vis du phosphore total ou de la conductivité.

Par ailleurs, la volonté de réunir les taxons présentant des fonctions les plus similaires possibles dans l'écosystème, et donc les plus proches du point de vue des combinaisons de traits, a permis la définition de différents groupes de macro-invertébrés hétérogènes d'un point de vue taxonomique, mais homogènes d'un point de vue biologique, écologique ou bioécologique. Cela a par ailleurs servi de base à une définition de la notion de diversité fonctionnelle basée sur le calcul de l'indice de diversité de Shannon appliqué à ces différents groupes (1) biologiques, (2) écologiques et (3) bioécologiques.

❶ Schéma classique permettant d'aboutir à une communauté locale à partir d'un pool d'espèces régionales.



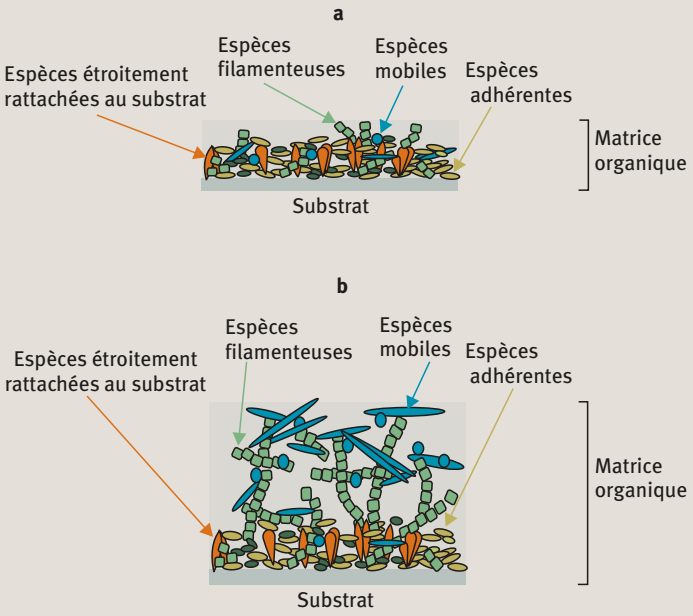
Les applications récentes de ces approches basées sur la définition de groupes fonctionnels ont démontré leurs capacités à décrire les changements environnementaux au cours du temps ou de l'espace et à évaluer la diversité des traits fonctionnels sous des conditions de référence ou bien impactées (Usseglio-Polatera *et al.*, 2001).

L'avantage principal de l'utilisation de cette approche est à relier à sa large échelle d'application (par exemple, à travers différents continents) car les organismes, à travers le monde peuvent être décrits et comparés sur une même échelle pour un trait donné.

Le principal désavantage découle de ces possibilités d'utilisation à vaste échelle, car pour permettre de telles comparaisons, il faut décrire les traits des taxons de façon analogue, et malheureusement, ce type d'information manque dans beaucoup de parties du monde, même si cette description tend à se développer notamment en Amérique du Sud, au Québec ou encore dans le Pacifique.

Selon Bonada *et al.* (2006) qui ont établi une liste de douze critères idéaux à remplir pour être considéré comme un bon outil de bio-indication*, l'approche par les traits arrive en tête, remplissant dix de leurs douze critères. En effet, cette approche dérive directement d'une théorie écologique qui a été testée, les traits sont prédictifs, peuvent être directement ou indirectement reliés à des fonctions écologiques, ont le potentiel d'identifier une perturbation anthropique mais également de discriminer différents types de pollution, ils ne nécessitent pas un coût important d'approche de terrain ou de matériel de laboratoire, ils sont simples d'utilisation (ne requièrent pas de protocoles particuliers), sont applicables et stables à une large échelle spatiale, et enfin, fournissent des indications fiables quant aux changements longitudinaux dus aux impacts humains.

❷ Coupe schématique d'une communauté diatomique en présence (a) ou non (b) de toxiques.



Réponses des traits biologiques et écologiques aux pollutions toxiques

La pollution toxique rassemble une large gamme de contaminants chimiques (e.g. métaux lourds, HAP*, PCB*, pesticides….) dont l'impact biologique n'est que trop rarement connu. L'étude des effets des pressions toxiques sur les organismes est le plus souvent basée sur des tests de toxicité en laboratoire ou bien en mésocosme*, qui même s'ils se rapprochent des conditions du milieu, sont encore loin d'être aussi complexes. Actuellement, des études basées sur la structure bioécologique des communautés in situ afin d'étudier la représentativité écologique des essais écotoxicologiques*, et de cibler l'analyse des effets sur les espèces pertinentes sont en cours. Ces approches, en intégrant les traits bioécologiques observés *in situ*, devraient permettre d'optimiser l'interprétation des résultats des tests réalisés en laboratoire, et de choisir les espèces les plus représentatives d'une communauté donnée.

Le constat de manque de connaissances des effets des toxiques est encore plus marqué dans les conditions du milieu où la complexité de la composition des effluents n'autorise que très difficilement une généralisation sur la façon dont la chimie structure les assemblages faunistiques.

L'exemple des diatomées

L'application de cette approche *via* les traits biologiques et écologiques pour le diagnostic de pollutions toxiques est très récente. Certains travaux s'intéressent à la détermination de caractéristiques de sensibilité/tolérance des espèces aux pollutions toxiques.

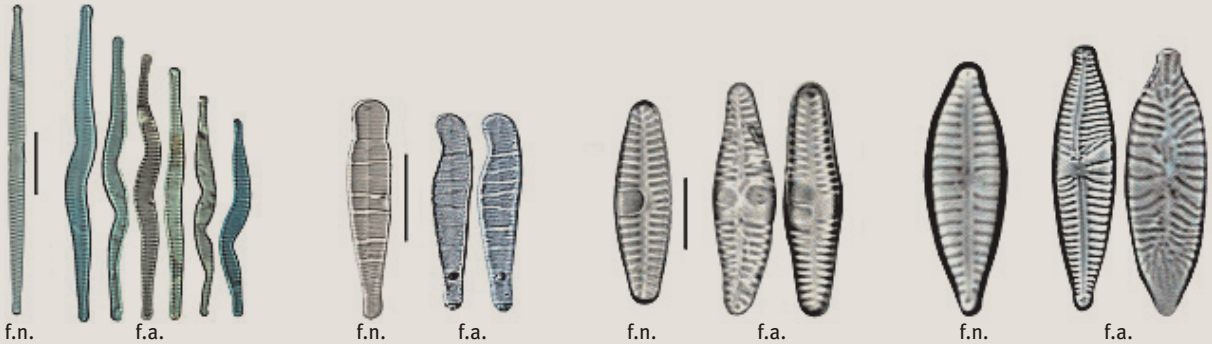
Cependant, l'élaboration de ce type de classification est fortement dépendante du type de contaminant (par exemple, métaux, pesticides) et l'assise géographique de ces études reste limitée, imposant une certaine prudence dans l'interprétation de ces traits.

Les recherches récentes se sont intéressées à des indicateurs plus spécifiques de réponses des diatomées à des pollutions de type toxique. Dans ce cadre, les traits biologiques étudiés se déclinent à plusieurs niveaux, de l'échelle globale de la communauté à celle de l'individu.

Les plus pertinents à l'heure actuelle sont, par complexité décroissante de l'objet d'étude :

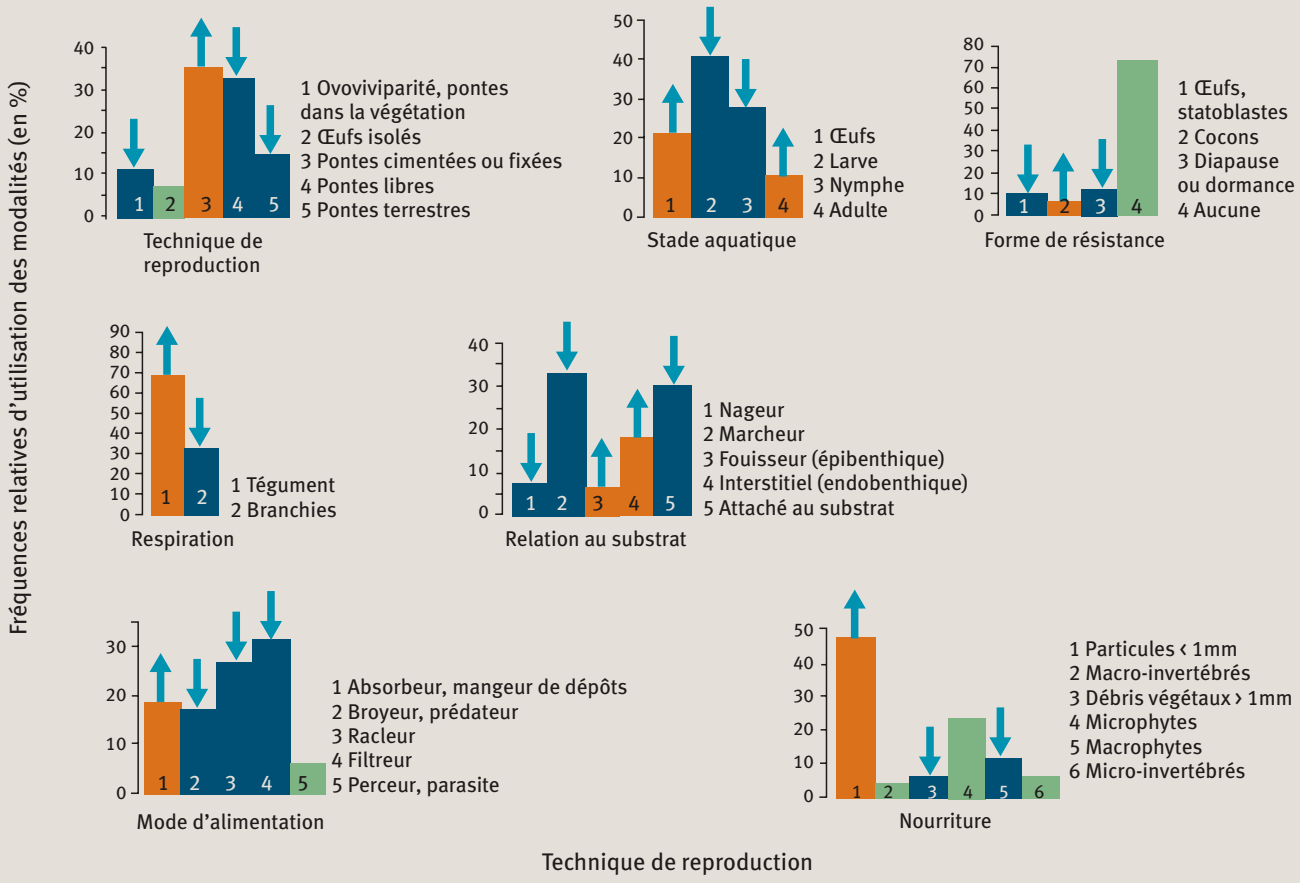
- une modification de l'architecture tridimensionnelle de la communauté diatomique, dominée en cas de stress toxique par des espèces fortement adhérentes au substrat* (figure ❷). La taille moyenne des cellules composant la communauté diminue également, avec une proportion accrue d'espèces de plus petite taille ;
- de plus, on observe, au niveau d'espèces particulières, une réduction de la taille des cellules en lien avec le niveau de pollution toxique ;
- par ailleurs, l'apparition, chez certaines espèces, d'anomalies morphologiques (figure ❸) dans des proportions significatives constitue un indicateur de pollution métallique relativement fiable. Observé au laboratoire lors d'expositions à des pesticides, ce trait reste encore à valider sur le terrain pour ce type de pollution.

❸ Individus normaux (forme normale, f.n.) et déformés (formes anormales, f.a.) de différentes espèces de diatomées .



La barre d'échelle représente 10 µm.

4 Exemple de modification de profils de traits biologiques et écologiques pour une communauté de macro-invertébrés soumise à une contamination métallique.



Chaque histogramme correspond au profil de référence. Les flèches vers le bas ainsi que les barres d'histogramme en bleu indiquent que l'utilisation des modalités est significativement réduite par la perturbation. À l'opposé, les flèches vers le haut et les barres d'histogramme en orange signifient une augmentation significative de l'utilisation de ces modalités en situation perturbée. Les barres d'histogramme en vert symbolisent les modalités dont la fréquence d'utilisation n'est pas modifiée par la perturbation.

Les effets des toxiques sur les traits sont cependant fortement modulés par les autres paramètres environnementaux (notamment la disponibilité nutritive, la géochimie du milieu, la vitesse du courant, etc.) et les interactions biotiques. Ces conditions influencent, de façon positive ou négative, les variations des traits observées *in situ*, et doivent par conséquent être prises en considération pour l'évaluation de la qualité des milieux.

L'exemple des macro-invertébrés

Comme pour les diatomées, l'utilisation des traits bioécologiques pour diagnostiquer des pollutions toxiques est assez récente.
Sherrat *et al.* (1999) et Stark *et al.* (2004) ont montré le rôle que jouaient les stratégies biologiques dans la sensibilité des macro-invertébrés au stress toxique. Ils ont mis en évidence la capacité de certains traits biologiques, comme notamment les modes de reproduction et de dispersion, mais aussi la durée du cycle de vie et le nombre de génération par an, à influencer les capacités de récupération après un stress toxique. En effet des niveaux de mortalité et de réduction de fécondité identiques n'auront pas les mêmes impacts sur des organismes à cycle de vie différents. Ils concluent en disant que les traits biologiques doivent absolument être incorporés aux études sur les effets des différents types de perturbation.

Des comparaisons entre communautés de référence et communautés perturbées, sur la base de l'expression de leurs différents traits, ont permis la réalisation d'une typologie des réponses bioécologiques des communautés benthiques aux perturbations toxiques (figure 4).
Par exemple, les communautés soumises à un stress toxique auront une plus forte proportion d'organismes à cycle de vie court, présentant un stade adulte aquatique ayant une plus forte affinité pour des vitesses de courant lentes et des conditions de milieux α-mésosaprobes ou mésotrophe*.
Le nombre de traits dont le profil est significativement modifié entre communauté de référence et communauté perturbée, a capacité à servir de base à un outil diagnostique. En effet, pour toute communauté macrobenthique échantillonnée de manière standardisée, un profil bio-écologique peut être calculé pour chaque trait biologique et/ou écologique.

Les profils de modalités obtenus peuvent être comparés aux profils correspondants obtenus dans une situation de référence (théorique ou observée). La combinaison de traits significativement affectée peut alors être confrontée à un ensemble de réponses-types à la base de la typologie élaborée.

C'est sur ce concept que, récemment, se sont appuyés Archaimbault *et al.* (2009) pour développer un outil d'évaluation de la qualité toxique du milieu. Cet indice repose sur une approche statistique utilisant à la fois les traits biologiques et écologiques. Il permet d'attribuer, en fonction du profil bioécologique de la communauté échantillonnée, une probabilité d'appartenance à une classe de qualité toxique (sur la base d'une contamination multiple : HAP, PCB et métaux).

Les auteurs ont par ailleurs pu établir une liste de modalités biologiques et écologiques considérées comme indicateurs globaux, c'est-à-dire capable de discriminer des sites de très bonne qualité des sites de moins bonne qualité, mais aussi des indicateurs spécifiques capables de discriminer deux classes de qualité toxique consécutives (par exemple, la classe de qualité bonne de la classe de qualité moyenne, ou la classe de qualité moyenne de la classe de qualité mauvaise). Toutefois cet essai a été développé dans un contexte biogéographique restreint (moyens cours d'eau de montagne) et nécessite une validation à plus large échelle.

Les chercheurs de l'équipe de Matthias Liess sont progressivement passés des microcosmes aux mésocosmes pour arriver à obtenir des outils d'évaluation à l'échelle de la communauté *in situ*. Ils se sont basés sur les traits suivants : sensibilité toxicologique aux micropolluants organiques, reproduction (durée de cycle de vie : plus il sera long et plus le taxon sera considéré comme sensible), mobilité (capacité de fuite : plus elle sera importante et moins le taxon sera considéré comme sensible) et période d'émergence (les espèces seront-elles présentes dans le milieu aquatique aux périodes de contamination ? Si oui, elles seront considérées comme sensibles) pour construire une liste d'espèces particulièrement sensibles aux pesticides.

Ceci les conduit à la construction de l'indice SPEAR* (pour *SPEcies At Risk*) qui, en fonction du ratio entre le pourcentage des espèces à risque (SPEAR) et le pourcentage des espèces in situ a priori tolérantes (SPEnotAR*, pour *SPEcies not At Risk*), permet d'estimer la sensibilité de la communauté vis-à-vis d'une contamination aux pesticides, et par conséquent d'estimer le niveau de qualité du milieu (Liess et Von der Ohe, 2005).

Ce système a été employé avec succès pour lier exposition aux pesticides et effets en Finlande, en Allemagne et en France. Ce travail a été extrapolé aux communautés aquatiques dans des petits cours d'eau soumis à une forte activité agricole à l'échelle de l'Europe, ce qui a permis de construire à cette échelle une carte des cours d'eau ayant un risque de contamination par les pesticides.

Estimer la sensibilité d'une espèce aquatique vis-à-vis d'une contamination aux pesticides, permet d'estimer le niveau de qualité des cours d'eau soumis à une forte activité agricole .



© Cemagref (J.-M. Le Bars).

Conclusion

En se focalisant sur les effets écologiques de certains facteurs environnementaux, les approches basées sur les traits offrent un réalisme avéré pour l'évaluation des risques toxiques au niveau des écosystèmes. Il est donc important de continuer à mener des recherches en ce sens afin de pouvoir identifier et discriminer les différents types de contamination toxique que nous pouvons rencontrer dans les écosystèmes. Tandis qu'il n'existe pas deux communautés taxonomiquement identiques, les combinaisons de traits à l'intérieur d'une communauté sont stables et donc, alors qu'il n'est pas possible de décliner une relation dose-réponse (ou pression-impact) d'une communauté à l'autre, cela semble envisageable du point de vue des traits.

Nous pouvons donc raisonnablement espérer de cette approche qu'elle apporte à la bio-indication deux améliorations majeures : d'abord davantage de précision qualitative et quantitative quant à l'évaluation de la contamination, et ensuite une plus grande universalité en s'affranchissant des grandes barrières biogéographiques. ■

Quelques références clés...

- **ARCHAIMBAULT, V., USSEGLIO-POLATERA, P., WASSON, J.-G., GARRIC, J., BABUT, M.,** 2009, Assessing in situ toxic sediment pollution in streams with benthic macroinvertebrate bio-ecological traits, *Freshwater Biology*, en ligne.
- **BONADA, N., PRAT, N., RESH, V., STATZNER, B.,** 2006, Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative Analysis of recent Approaches, *Annual Review of Entomology*, n° 51, p. 495-523.
- **LIESS, M., VON DER OHE, P.-C.,** 2005, Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams, *Environmental Toxicology and Chemistry*, n° 24, p. 954-965.
- **SOUTHWOOD, T.-R.-E.,** 1977, Habitat, the templet for ecological strategies ?, *Journal of Animal Ecology*, n° 46, p. 337-365.
- **STARK, J.-D., BANKS, J.-E., VARGAS, R.,** 2004, How risky is risk assessment: the role that life history startegies play in susceptibility of species stress, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, n° 101, p. 732-736.

▶ Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue **www.set-revue.fr**

Les auteurs

Virginie Archaimbault
Cemagref, Centre de Lyon,
UR MALY, Milieux aquatiques, écologie et pollutions,
3 bis Quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09
virginie.archaimbault@cemagref.fr

Juliette Rosebery
Cemagref, Centre de Bordeaux,
UR REBX, Réseaux, épuration et qualité des eaux,
50 avenue de Verdun, Gazinet, 33612 Cestas Cedex
juliette.rosebery@cemagref.fr

Soizic Morin
Cemagref, Centre de Bordeaux,
UR REBX, Réseaux, épuration et qualité des eaux,
50 avenue de Verdun, Gazinet, 33612 Cestas Cedex
soizic.morin@cemagref.fr