



LES

# Rencontres DE L'ONEMA

## Les mésocosmes : des outils pour les gestionnaires de la qualité des milieux aquatiques ?

*Un séminaire organisé par l'Onema et l'Inra en partenariat avec Total et l'Ineris*

**Les mésocosmes, écosystèmes artificiels**, sont utilisés par les chercheurs et les industriels pour étudier les effets à long terme des substances chimiques sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques naturels. Ces installations peuvent-elles être utiles aux gestionnaires de la qualité des milieux aquatiques, notamment pour élaborer des normes de qualité environnementale et développer des outils de surveillance ? Quelle est leur représentativité pour une utilisation dans un cadre réglementaire ? Pour réfléchir collectivement à ces questions, l'Onema et l'Inra ont organisé en partenariat avec Total et l'Ineris un séminaire au Croisic, du 14 au 16 octobre 2009.

Une centaine de dispositifs de mésocosmes existent de par le monde, principalement en Europe, aux Etats-Unis et en Australie. Véritables « modèles réduits » de rivière ou plan d'eau construits en plein air, ces plateformes expérimentales sont des écosystèmes aquatiques artificiels de taille variable, généralement de plus d'une quinzaine de mètres de long pour les rivières artificielles ou d'un volume allant de quelques centaines de litres à quelques centaines de mètres cubes pour les dispositifs d'eau stagnante. Ils renferment des organismes vivants appartenant à différents niveaux des réseaux trophiques et sont exposés aux conditions environnementales naturelles. Systèmes auto-suffisants, ils sont capables de fonctionner sans apport extérieur. Ils permettent de mesurer les effets à long terme des substances chimiques sur les organismes vivants. Jusqu'à présent, les substances les plus étudiées à l'aide de ces systèmes sont les pesticides, notamment parce que leur utilisation est fréquemment requise pour l'évaluation des risques écotoxicologiques préalable à l'homologation de ces substances.

Ces installations pourraient-elles profiter également aux gestionnaires des milieux aquatiques ? Pour répondre à cette question, le séminaire organisé par l'Onema

et l'Inra a rassemblé des spécialistes de l'évaluation des risques écotoxicologiques (Afssa), de la gestion de la qualité des milieux aquatiques (Onema, agences de l'eau), d'organismes de recherche publics (Inra, Inee-CNRS, Cemagref, IRSN, Ifremer, ENTPE), et de l'industrie (Total Petrochemicals, Suez Environnement, l'Oréal, EDF, Véolia, Bayer CropScience).

### De nombreux atouts

Pour évaluer le potentiel écotoxique des micropolluants dans les milieux aqua-

tiques, les mésocosmes sont complémentaires des bioessais menés en laboratoire. Ils représentent un compromis entre le contrôle et la reproductibilité des expériences en laboratoire et la représentativité écologique des études de terrain (voir figure p2).

Les discussions ont permis de mettre en avant les atouts des mésocosmes : étudier simultanément le devenir et les effets directs, indirects ou différés (effets transgénérationnels) des toxiques ; intégrer les effets observés à différents niveaux d'organisation biologique (cellule, organisme, population, communauté) ;



© Inra - Rennes

Par Véronique Poulsen,  
ANSES (Agence nationale  
de sécurité sanitaire,  
de l'alimentation,  
de l'environnement et du travail)

Les mésocosmes sont fréquemment utilisés pour la réalisation d'une évaluation affinée des risques d'un produit phytosanitaire. Lorsque des risques potentiels sont identifiés après des essais d'écotoxicité menés en laboratoire, nous avons alors recours à des études en mésocosmes, plus représentatives du milieu naturel. Les mésocosmes doivent alors contenir au minimum les espèces les plus sensibles au produit - identifiées en laboratoire - et présenter une bonne biodiversité des différents maillons de la chaîne trophique. D'autre part, ces études doivent être représentatives des pratiques agricoles revendiquées pour la préparation du produit. Elles doivent donc couvrir, si possible, les doses préconisées pour l'utilisation de la préparation. Elles doivent également pouvoir simuler des applications multiples de la préparation, à la fois en termes de dose, de nombre d'applications et de durée entre chaque application. Ceci permet d'évaluer de façon plus précise l'exposition des organismes et la réponse de l'écosystème simplifié. Enfin, il est nécessaire que l'étude soit réalisée dans des conditions climatiques représentatives de la zone dans laquelle la préparation est utilisée. En effet, la température extérieure a notamment un impact important sur le comportement de la substance.

tester différents scénarios selon la nature des substances chimiques, leur mélange et leur voie d'entrée dans le milieu aquatique mais aussi selon la fréquence et le niveau d'exposition à ces substances; évaluer certains impacts fonctionnels (variations de la biomasse, productivité, respiration); prendre en compte, dans certains cas, la dynamique de restauration des systèmes impactés. Par ailleurs, il est possible d'envisager de contrôler certains facteurs environnementaux naturels qui influencent également les réponses biologiques observées, voire de tester leurs effets sur le devenir et les effets des toxiques. Le design expérimental doit être spécifiquement adapté aux objectifs recherchés et la démarche implique une co-construction entre différents acteurs: maître d'ouvrage, maître d'œuvre, experts...

Si les mésocosmes sont déjà fréquemment utilisés dans le cadre de la constitution des dossiers réglementaires en vue de l'obtention de l'autorisation de mise

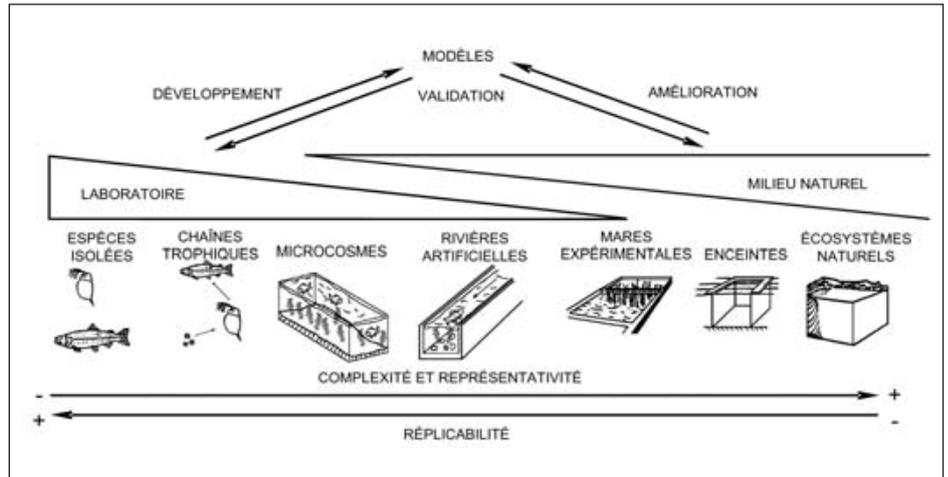


Figure : Principaux dispositifs expérimentaux employés en toxicologie de l'environnement et en écotoxicologie (d'après Caquet et al., 2000).

sur le marché des pesticides (voir témoignage de Véronique Poulsen), ils demeurent en revanche encore sous-exploités par les gestionnaires en charge de l'évaluation et du suivi de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Quelles en sont les raisons? Plusieurs d'entre elles ont été identifiées lors du séminaire: hormis une connaissance parfois insuffisante des outils et de leur potentiel, il semble que la complexité de l'interprétation des résultats et de leur exploitation, notamment au regard de celle des bioessais de laboratoire, soit un véritable frein à l'utilisation des mésocosmes. La durée et le coût de mise en œuvre des expérimentations peuvent également limiter leur utilisation.



## Les nouvelles perspectives d'utilisation des mésocosmes

Ce séminaire a permis d'identifier des perspectives d'utilisation des mésocosmes intéressantes pour les gestionnaires et d'aboutir à certaines recommandations :

- définir des normes de qualité environnementale (NQE) plus robustes

Les mésocosmes pourraient être utilisés en complément d'approches mécanis-

tiques et/ou d'expérimentations en laboratoire pour définir des normes de qualité environnementale (NQE) plus robustes, intégrant une information écologique. C'est notamment le cas pour des substances hydrophobes - PCB, certains pesticides organochlorés, retardateurs de flammes polybromés - qui se retrouvent associées aux sédiments ou bio-accumulées dans les réseaux trophiques.

Par Thomas Pelte  
Agence de l'eau  
Rhône-Méditerranée et Corse

Le mésocosme est un outil très complexe avec un potentiel d'informations techniques et scientifiques important, mais il semblerait qu'il reste sous-exploité. Les procédures d'évaluation de risque qui accompagnent les demandes d'homologation de produits phytosanitaires mobilisent régulièrement des mésocosmes, mais l'interprétation porte sur la définition d'une valeur de concentration sans effet et n'exploite qu'une partie des connaissances produites par l'essai. A l'inverse, les travaux scientifiques menés pour comprendre les phénomènes liés à l'écotoxicologie utilisent relativement peu les mésocosmes. Il faut identifier les éléments de connaissance qui passent par de tels systèmes expérimentaux et les mettre en avant : caler certains indicateurs biologiques, caractériser les transferts d'un polluant dans l'écosystème, alimenter les approches de modélisation. A l'heure actuelle, l'offre et la demande se cherchent un peu pour ce type d'outil, d'autant plus que leur mise en place peut s'avérer relativement contraignante et coûteuse. L'agence de l'eau peut aider l'Onema ou les scientifiques à identifier les processus de connaissance où un mésocosme peut s'avérer pertinent et le faire valoir.

**- définir des NQE pour des substances présentant des risques à long terme**

Les mésocosmes pourraient servir à définir des NQE pour des substances présentant une toxicité aiguë faible mais des risques préoccupants d'effets à long terme, telles que certaines substances pharmaceutiques et les perturbateurs endocriniens. En effet, les mésocosmes permettent l'étude des impacts écologiques sur le long terme (plusieurs générations) et prennent en compte les effets des produits de dégradation des substances. Dans cette perspective, la place de cet outil dans le processus d'élaboration des NQE devra être précisée avec les groupes de travail existants au niveau national et européen, à l'image de ce qui est pratiqué dans la démarche d'évaluation du risque pour la mise sur le marché des pesticides. De même, un groupe de substances pour lesquelles des normes de qualité pour les sédiments et le biote sont à établir en priorité devra être identifié. Plutôt que de vouloir utiliser ces systèmes pour des substances «anciennes» déjà réglementées, il pourrait être plus pertinent de dédier une partie des efforts correspondants à l'étude de contaminants «émergents», ne faisant pas encore l'objet d'une réglementation.

**Par Thierry Caquet, Inra Rennes, membre du conseil scientifique animé par l'Onema**

La restauration des écosystèmes contaminés est un élément important de l'évaluation du risque écotoxicologique. Or, il ne suffit pas que l'exposition à un toxique cesse pour que les systèmes perturbés retrouvent leur état originel. Les mésocosmes permettent de mieux comprendre les processus de restauration. Les travaux réalisés à l'Inra de Rennes ont montré que, dans le cas de systèmes d'eau stagnante, la restauration des communautés d'invertébrés repose à la fois sur une recolonisation à partir d'autres écosystèmes (restauration exogène ; insectes par exemple) et sur l'existence de formes «dormantes» dans les mésocosmes contaminés (restauration endogène ; zooplankton par exemple). Ces résultats ont permis d'alimenter la réflexion sur l'importance de la connectivité entre écosystèmes dans l'évaluation du risque écotoxicologique. Ceci illustre l'intérêt des mésocosmes comme source d'informations originales et pertinentes. Or, il existe toujours des réticences à les utiliser, en raison notamment de contraintes matérielles dont leur coût. C'est pourquoi la capitalisation des expériences et la mise en réseau des capacités expérimentales existantes constituent des enjeux très importants.

**- optimiser les outils actuellement utilisés pour l'évaluation ou pour la surveillance**

Les expérimentations en mésocosmes offrent la possibilité d'optimiser les outils actuellement utilisés pour l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques tels que les indices biocénétiques, en précisant notamment leur domaine d'applicabilité : recherche des conditions limites d'utilisation, analyse de l'effet de facteurs de confusion. Ils peuvent également permettre de développer ou de valider des outils pour la surveillance : capteurs passifs, biomoniteurs-espèces sentinelles, biomarqueurs d'exposition et d'effets. Dans ce domaine, les mésocosmes représentent un outil expérimental particulièrement approprié pour mettre en relation la réponse de biomarqueurs avec l'apparition d'effets délétères à des niveaux d'organisation biologique pertinents pour la gestion (population notamment).

**- tester la validité et/ ou calibrer des démarches de modélisation**

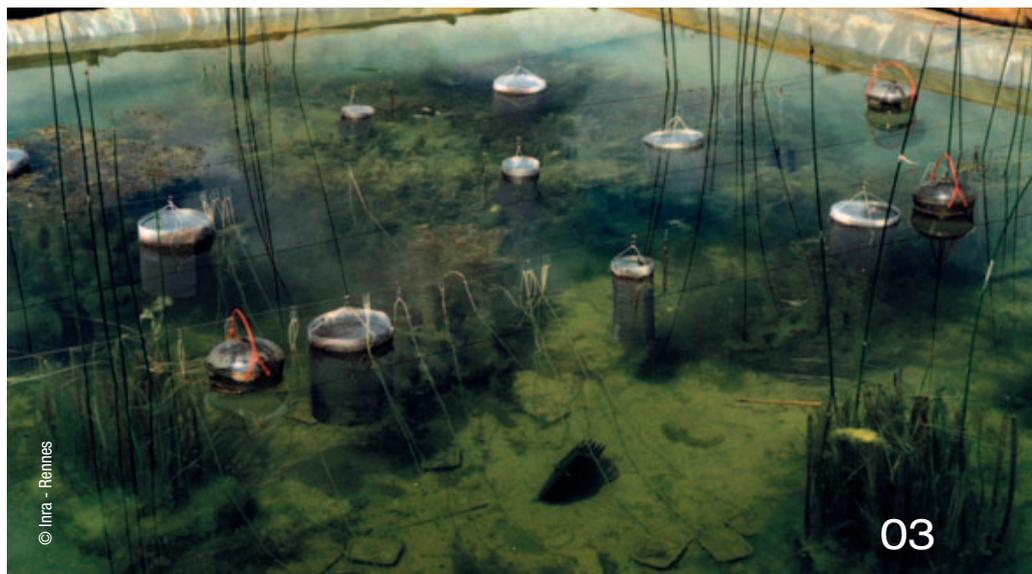
Les mésocosmes pourraient aussi être utilisés pour tester la validité et/ou pour calibrer des démarches de modélisation en écotoxicologie actuellement en plein développement. Cet aspect pourrait faire l'objet d'une programmation de recherche nationale, couplée aux initiatives européennes en cours dans le domaine. Ces démarches répondent pleinement aux besoins d'outils d'aide à la décision. Une utilisation dans le cadre de la définition d'approches multicritères d'évaluation des risques écotoxicologiques est également envisageable.

**- mieux comprendre la restauration des systèmes aquatiques**

Les mésocosmes pourraient également être utilisés pour mieux comprendre la dynamique de restauration des systèmes aquatiques après une perturbation chimique et définir des critères pertinents pour la caractériser (voir témoignage de Thierry Caquet).

**Par Anne Bassères et Kevin Cailleaud  
Pôle Recherche et Développement  
Mont/Lacq Service Environnement,  
Total Petrochemicals**

Un mésocosme aquatique est un système qui récrée des rivières. On parle également de rivières artificielles. Les rivières pilotes développées par Total dans les Pyrénées-Atlantiques permettent de disposer de systèmes proches du milieu naturel car, alimentés en eau douce, ils sont naturellement colonisés. Ce dispositif permet d'injecter en conditions contrôlées les substances et/ou rejets à étudier. Les rivières pilotes sont utilisées pour différents types d'études : recherches et évaluation de risque pour les substances. Les recherches concernent le développement et la validation de bioindicateurs de la qualité de l'eau et de méthodes alternatives dans le cadre de l'application de la directive cadre sur l'eau. Les rivières pilotes sont également utilisées pour évaluer les risques de substances, par exemple dans le cadre de la réglementation REACH. Des valeurs seuils, comme les normes de qualité environnementale, peuvent également être générées pour des substances d'intérêt pour le groupe Total. L'intérêt de ces expérimentations est de produire des résultats fiables et pertinents car proches du milieu naturel, ce qui permet de répondre aux nouveaux enjeux auxquels l'industriel est confronté en réponse à ces récentes réglementations.



## Les recommandations des experts

A l'issue de ce séminaire, les experts recommandent de valoriser les données déjà disponibles. Une méta-analyse pourrait par exemple être réalisée sur une ou plusieurs substances testées en mésocosmes afin d'évaluer la variabilité des résultats entre plusieurs plates-formes expérimentales et identifier les complémentarités (et les manques) entre celles-ci. Il apparaît également nécessaire de compléter l'enquête initiée par l'Institut écologie et environnement (InEE) du CNRS sur les plates-formes expérimentales destinées à l'écotoxicologie en France, afin de mieux caractériser «l'offre mésocosmes» au niveau national. Ensuite, le besoin de mettre en réseau les plates-formes expérimentales existantes a clairement été exprimé, notamment pour optimiser l'acquisition de données dans les différents compartiments de l'écosystème et rationaliser les coûts liés à la mise en

œuvre des expérimentations. A cette fin, une structure partenariale de type Groupement d'intérêt scientifique (GIS) pourrait être constituée. La réalisation d'expériences mobilisant des équipes ayant des compétences complémentaires pourrait aussi aller dans ce sens.

Enfin, une opération de communication sur ces outils devrait être entreprise pour présenter aux gestionnaires des milieux aquatiques les avantages et les limites des mésocosmes et leur montrer le potentiel d'utilisation de ces outils pour répondre à des questions opérationnelles.



DR

## Les mésocosmes en résumé

**1.** Les mésocosmes ne sont pas destinés à mimer un quelconque écosystème naturel. Ce sont des dispositifs expérimentaux auto-suffisants dans lesquels vont pouvoir être testés des scénarios variés, définis en fonction des questions posées. Ils sont complémentaires des tests de laboratoire et des suivis de terrain auxquels ils ne prétendent pas se substituer, et leur utilisation s'inscrit obligatoirement dans un *continuum* d'approches.

**2.** Les questions auxquelles les expérimentations en mésocosmes sont censées apporter des réponses doivent être co-construites par les différents acteurs : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, experts... La construction des systèmes et la conception du plan expérimental sont à envisager en fonction des questions posées et doivent être optimisées afin de favoriser des approches inter-disciplinaires et de recueillir le maximum d'informations sur le

devenir et les effets des contaminants dans les écosystèmes aquatiques, y compris en matière de traitement des données et de modélisation.

**3.** En dehors d'applications pour des substances déjà réglementées, pour lesquelles la plus-value d'études en mésocosmes doit être analysée de manière objective en regard des enjeux environnementaux et sociétaux, il faudrait dédier une partie des projets faisant appel à ces outils à l'étude de contaminants émergents, notamment ceux présentant des effets sur plusieurs générations, dans une démarche collective basée sur la mise en œuvre d'outils variés.

**4.** Les mésocosmes sont des environnements intéressants pour tester des versions avancées de nouveaux outils de surveillance de la qualité des milieux aquatiques, et aider à l'élaboration de leurs «guides d'utilisation».

### Pour en savoir plus :

[www.onema.fr/](http://www.onema.fr/)  
La synthèse du séminaire sera publiée d'ici la fin 2010 sur le site de l'Onema, dans la rubrique «publication».

### Organisateur du séminaire

**Olivier Perceval, chargé de mission « Ecotoxicologie »**

LES  
Rencontres  
DE L'ONEMA



Directeur de publication : Patrick Lavarde  
Coordination : Véronique Barre - direction de l'action scientifique et technique, Claire Roussel - délégation à la communication et à l'information  
Rédaction : Olivier Perceval  
Secrétariat de rédaction : Béatrice Gentil  
Maquette : Eclats Graphiques  
Réalisation : Accord Valmy  
Impression sur papier issu de forêts gérées durablement : Panoply  
Onema - 5 Square Félix Nadar - 94300 Vincennes  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

