

# 3

## Quelle utilité des mésocosmes pour



# Les questionnaires de milieux aquatiques ?



Les différentes contributions présentées au séminaire du Croisic ont permis de retracer et d'analyser les utilisations passées et actuelles des approches en mésocosmes dans les domaines de l'écologie aquatique, de l'écotoxicologie et de l'évaluation des risques. À l'issue d'un examen ciblé des besoins nouveaux induits par l'évolution volontariste des politiques publiques pour la surveillance des milieux aquatiques, les participants du séminaire se sont attachés à préciser dans quelle mesure les mésocosmes, avec leurs avantages mais aussi leurs limites, pouvaient constituer des outils pour relever les défis auxquels sont confrontés aujourd'hui les questionnaires de la qualité des milieux aquatiques.

Cette réflexion collective, la première sur le sujet en France, a été conduite en parallèle par trois groupes de travail d'une dizaine de personnes. Chaque groupe s'est saisi successivement des trois thèmes de discussion proposés par les organisateurs :

- utilité des mésocosmes pour l'élaboration des valeurs de référence de concentrations de substances chimiques acceptables vis-à-vis des écosystèmes aquatiques ;
- représentativité des mésocosmes pour une utilisation dans un cadre réglementaire ;
- utilité des mésocosmes pour le développement et la validation d'outils d'aide à la surveillance des milieux.

Les conclusions des groupes de travail pour ces trois thèmes sont présentées dans les sections suivantes.

### 3.1 – Utilité des mésocosmes pour l'élaboration de valeurs de référence des concentrations en substances chimiques acceptables

Dans le cadre de la DCE, l'obtention de normes de qualité environnementale (NQE) robustes constitue un enjeu majeur pour la gestion des milieux aquatiques. Pour fixer ces valeurs-seuils, l'utilisation des résultats d'études réalisées en mésocosmes a notamment été proposée comme approche complémentaire dans le document-guide produit par le Fraunhofer Institute (Lepper 2005), ainsi que dans le document-guide technique européen à paraître sur l'élaboration des NQE dans le contexte de la DCE. L'apport de ces outils permettrait en particulier de réduire le niveau d'incertitude associé au calcul des concentrations prédites sans effet (PNEC ; « *Predicted No-Effect Concentration* ») sur l'environnement et ainsi d'obtenir des NQE plus fiables et réalistes.

Bien qu'en principe l'outil mésocosme puisse être utilisé pour évaluer les effets et le devenir dans l'environnement d'une grande variété de substances chimiques, la grande majorité des études réalisées

en mésocosmes se sont en pratique concentrées sur les produits phytosanitaires. Ce thème de réflexion conduit dès lors à s'interroger sur la pertinence et la faisabilité, y compris économique, d'utiliser les mésocosmes pour valider et/ou établir des NQE pour des substances chimiques autres que les produits phytosanitaires, et plus particulièrement pour celles :

- ayant un haut pouvoir de bioaccumulation et qui sont bio-amplifiables dans les réseaux trophiques (problématique des NQE<sub>biote</sub>) ;
- se retrouvant majoritairement associées à la matrice sédimentaire une fois rejetées dans l'environnement aquatique (problématique des NQE<sub>sédiments</sub>) ;
- ou ayant des modes d'action spécifiques, comme les résidus de médicaments dont les concentrations dans l'environnement sont faibles (de l'ordre du ng/L) et les effets exercés sur les organismes aquatiques typiquement chroniques.

## Élaboration de NQE<sub>biote</sub>

Certains participants ont confirmé la pertinence de l'utilisation d'outils de type mésocosmes dans l'optique de la détermination des PNEC<sub>orale</sub> – valeurs de référence essentielles à l'élaboration des NQE correspondantes.

Ces outils apparaissent particulièrement adaptés à la détermination des facteurs de bioaccumulation dans les organismes, grâce à la prise en compte des différentes voies d'exposition dans des conditions contrôlées. Dans le cas des substances persistantes, l'exposition en mésocosme d'espèces à cycle de vie court, afin d'étudier les effets sur plusieurs générations, apparaît faisable et intéressante.

Une limite à l'utilisation des mésocosmes peut apparaître dans le cas des substances bio-amplifiables dans la mesure où la longueur des chaînes trophiques, limitée par les dimensions des systèmes, rend difficile l'évaluation des effets chez les prédateurs piscivores. En particulier, les phénomènes de bioamplification chez le poisson ne sont pas facilement observables en mésocosmes. Une approche

couplée terrain et laboratoire semble indispensable dans ce cas.

La question du choix des espèces utilisées en mésocosmes pour l'élaboration des concentrations-seuils implique une réflexion sur la finalité réelle des NQE : s'agit-il de limiter l'impact des contaminants sur les organismes présents dans les écosystèmes, ou de préserver, *in fine*, la santé humaine ? Dans le premier cas, c'est l'espèce la plus sensible au polluant qui devra être retenue, et les études en mésocosme peuvent contribuer à son identification. Dans le second cas, l'intérêt prioritaire portera sur les espèces de poissons consommées par l'Homme. Du fait des variations de bioaccumulation au sein d'un organisme, la question de l'organe étudié devra également être tranchée.

Au final, le choix de l'organisme étudié apparaît comme un point critique : il devra être défini en fonction de la molécule ciblée, et de l'objectif de protection visé.

## Élaboration de NQE sédiments

Dans l'optique de l'élaboration de NQE sédiments, la capacité des mésocosmes à rendre compte des différentes voies d'exposition des organismes benthiques, à étudier simultanément une grande variété taxonomique du benthos, ou encore à appréhender la biodégradation des contaminants organiques, constituent des atouts indiscutables. Ces outils pourraient s'avérer particulièrement utiles dans le cas des substances hydrophobes se liant de manière significative à la matière organique particulaire et se retrouvant *in fine* au niveau du compartiment sédimentaire.

Du point de vue technique, leur utilisation implique cependant de s'interroger sur la mise au point de procédés de contamination des sédiments.

## Contaminants émergents

Les substances émergentes (perturbateurs endocriniens, produits pharmaceutiques, OGM, nanoparticules...) recensées dans la liste des substances émergentes prioritaires en Europe SCENIHR (Comité pour l'évaluation

des risques nouveaux et émergents pour la santé de la Direction Santé et Consommation – SANCO de la Communauté européenne), constituent un vaste champ d'étude en écotoxicologie et en évaluation du risque. Il apparaît aujourd'hui indispensable de progresser dans la compréhension de leurs effets sur les milieux aquatiques et de les doter de valeurs-seuils dans l'esprit de la DCE.

Pour ce faire, les mésocosmes sont appelés à compléter l'éventail des outils mobili-sables, de par leur capacité à intégrer les effets « retard » (c'est-à-dire trans-générationnels) supposés de ces substances, et à prendre en compte leurs produits de dégradation, pour lesquels peu d'informations sont disponibles en termes d'écotoxicité.

Dans le cas des produits pharmaceutiques, comme cela se pratique déjà pour les pesticides ou les biocides, il apparaît notamment essentiel d'étudier les effets de la substance active parente, mais aussi de ses produits de métabolisation. Une piste proposée consiste à tester en mésocosmes l'impact des effluents hospitaliers ou des rejets d'élevages.

Enfin, la question de la faisabilité économique et politique d'études en mésocosmes pour ces contaminants émergents est soulignée.

### **Appropriation des résultats**

Un développement de l'utilisation des mésocosmes pour l'élaboration de nouvelles NQE apparaît donc à la fois envisageable et particulièrement judicieux pour cer-

taines substances. Il suppose cependant un effort de standardisation méthodologique et d'organisation de l'expression des résultats, par exemple sur le modèle des travaux menés par le groupe AMPERE dans le domaine de l'évaluation du risque des produits phytosanitaires (Alix *et al.* 2007). La constitution d'un groupe de travail spécifique pour ces enjeux de valorisation et d'appropriation a été proposée.



### 3.2 – Représentativité des mésocosmes pour une utilisation dans un cadre réglementaire

L'outil mésocosme peut être utilisé, comme précisé dans les sections précédentes, dans le cadre réglementaire des procédures d'évaluation des risques pour les écosystèmes aquatiques, avant la mise sur le marché de substances chimiques (produits phytosanitaires, biocides, substances chimiques...) ou pour l'établissement de valeurs de référence telles que les concentrations prédites sans effet (PNEC) pour les écosystèmes dans le cadre de la détermination de NQE.

Ces valeurs sont estimées à partir de données produites dans des conditions expérimentales plus ou moins représentatives des conditions naturelles, et des facteurs d'extrapolation, dont la valeur dépend du nombre et de la nature des données disponibles, leur sont affectés.

Lors de l'utilisation de telles données, les évaluateurs sont confrontés à un certain nombre de questions, liées notamment au positionnement des études en mésocosmes par rapport aux essais en laboratoire, ou aux possibilités de prise en compte de données obtenues

dans des systèmes différents en termes de protocole expérimental (durée d'exposition, mode de contamination, composition des biocénoses) et de conditions environnementales (Tableau 4).

La question du positionnement des études en mésocosmes par rapport au laboratoire fait appel à la représentativité des systèmes par rapport au milieu naturel.

Le tableau comparatif ci-contre, proposé lors des ateliers du Croisic, permet de préciser les avantages et limites des données obtenues en mésocosmes, par rapport à celles issues de tests monospécifiques d'exposition chronique ou aiguë en laboratoire. Ce comparatif illustre le grand intérêt du point de vue cognitif, des données obtenues dans des expérimentations en mésocosmes. Celles-ci sont considérées comme les plus représentatives et pondérées des facteurs de sécurité les plus bas.

La pertinence des NOEAEC reste cependant à consolider dans le cadre de l'élaboration des NQE : ce critère, typiquement obtenu en mésocosme, ne semble pas compatible

**Tableau 4 : Avantages et limites des données obtenues en mésocosmes, par rapport aux données issues de tests d'exposition en laboratoire.**

Paramètre	Test aigu	Test chronique	Mésocosme
Nombre d'espèces	algues, macrophytes, Daphnie, chironomes, poissons	algues, macrophytes, Daphnie, chironomes, poissons	100–200 espèces (phytoplancton, macrophytes, zooplancton, macro-invertébrés, périphyton, poissons juvéniles, etc.)
Exposition	permanente	permanente	dépend de la vitesse de dégradation (DT50) prise en compte des produits de dégradation
Variabilité des résultats	limitée	limitée	importante (mais se rapproche de la variabilité naturelle)
Information sur l'exposition	eau	eau, sédiment	eau, sédiment, eau interstitielle, MES, périphyton, etc.
Critères d'effets toxiques disponibles?	CL50, CE50	CE10 NOEC	NOEC NOEAC
Information acquise sur les niveaux trophiques	producteurs primaires consommateurs primaires (Daphnie) consommateurs secondaires (poisson), pris individuellement	producteurs primaires consommateurs primaires (Daphnie) consommateurs secondaires (poisson), pris individuellement	mêmes niveaux mais en association (difficulté à maintenir des piscivores)
Détection des effets toxiques indirects	non	non	oui
Information acquise au niveau de la population	non	non (peut-être test Daphnie et Chaoborus)	oui
Information acquise au niveau des biocénoses	non	non	oui (possibilité d'une approche intégrée prenant en compte des aspects écologiques)



avec les objectifs de protection des organismes aquatiques contre une exposition chronique quand les conditions de restauration de la qualité des milieux ne sont jamais réunies (le cas le plus défavorable). Inversement, la capacité des mésocosmes à rendre compte de la restauration des milieux mérite d'être davantage exploitée, par exemple pour évaluer le gain écologique suite à la levée, même partielle, d'une pression.

La principale problématique

liée à l'utilisation des données fournies par des mésocosmes dans un cadre réglementaire tient à la possibilité de normaliser les outils et méthodes mis en œuvre dans ces approches. La standardisation de la composition du mésocosme ne semble pas souhaitable : un mésocosme ne peut représenter l'ensemble des écosystèmes, et doit être conçu dans l'optique de répondre à une question donnée. Cette diversité des systèmes expérimentaux permet en outre



de recueillir une information sur la variabilité des réponses. Si les comparaisons inter-mésocosmes à l'échelle internationale semble indiquer une certaine stabilité des NOEC, le cas des autres critères d'effets toxiques reste à évaluer.

Dans ce contexte, l'effort doit porter en priorité sur la standardisation des méthodes de mesure et d'échantillonnage, les gammes de concentrations appliquées, ainsi que sur l'optimisation du nombre de réplicats.

De manière générale, l'importance d'inscrire l'exploitation des résultats obtenus en mésocosmes dans le cadre d'une démarche intégrée a été rappelée : l'élaboration des NQE doit

être issue d'une confrontation entre données obtenues en mésocosmes, tests de laboratoire et monitoring sur le terrain. Ces allers et retours permettent une meilleure compréhension des incohérences éventuelles entre les différentes approches. Une réflexion spécifique, probablement appuyée par une méta-analyse, doit être conduite pour agréger ces différents niveaux d'information dans une perspective de décision – à l'instar de ce qui a été fait pour l'évaluation de risque des pesticides.

Une telle réflexion, si elle est portée au niveau européen, pourrait permettre l'organisation des retours d'expérience et se traduire par une reformulation des documents-guides.

### **3.3 – Développement et validation d'outils d'aide à la surveillance des milieux**

L'introduction d'une substance toxique dans un écosystème peut produire des effets à différents niveaux d'organisation biologique, depuis celui des individus et des populations, jusqu'à celui de l'écosystème dans son ensemble, en passant par les assemblages d'espèces et les communautés. Les

paramètres biologiques mesurés à ces différents niveaux constituent autant de signaux et peuvent, de ce fait, être utilisés dans des approches de bioindication. Ainsi, dans le cadre de l'évaluation de la qualité des milieux naturels, plusieurs outils biologiques complémentaires peuvent

être utilisés : mesure de biomarqueurs, analyses sur des espèces-sentinelles, étude des assemblages ou des communautés.

Dans ce contexte, le recours aux mésocosmes peut notamment permettre d'optimiser le potentiel d'utilisation des biomarqueurs, en contribuant à valider des biomarqueurs identifiés en laboratoire et susceptibles d'être utilisés dans le milieu naturel, voire même d'identifier de nouveaux biomarqueurs. Utilisés dans ce cadre, ces outils favoriseraient notamment la mise au point de grilles d'interprétation des données de terrain, permettant par exemple d'induire des messages de type « alerte ». En outre, les études en mésocosmes apparaissent adaptées à la mise en évidence des relations entre certains biomarqueurs et des modifications à plus long terme au sein des populations en vue de proposer des outils prédictifs.

La nécessité d'établir des liens entre contamination et bioindicateurs a déjà été soulignée dans la seconde partie. Lors des ateliers, les participants ont confirmé l'intérêt de tester en mésocosme des outils de bioindication basés sur l'analyse de la structure des com-

munautés ou de certains paramètres fonctionnels, en préalable ou en complément à des tests d'application en milieu naturel. De même, les mésocosmes permettraient d'évaluer l'impact de substances sur des indices biologiques nouveaux ou utilisés sur le terrain. Dans ce cadre, on peut envisager une analyse de sensibilité par rapport à différentes familles de toxiques, qui pourrait se doubler d'une évaluation des facteurs confondants. Dans ce contexte, les mésocosmes pourraient contribuer à la mise au point d'outils de bioindication spécifiques de certaines familles de contaminants.

Plusieurs autres domaines dans lesquels les mésocosmes peuvent jouer un rôle ont été précisés :

- acquisition de connaissances sur les caractéristiques biologiques d'espèces-sentinelles destinées à la surveillance de la qualité des milieux aquatiques ;

- développement d'outils nouveaux tels que les capteurs passifs, à lier avec la capacité des mésocosmes à appréhender les phénomènes de bioaccumulation en regard de la biodisponibilité des substances ;

– mise en œuvre de méthodes analytiques complémentaires permettant de caractériser les relations exposition-effets ;

– élaboration de modèles conceptuels, voire numériques, reliant l'exposition aux toxiques aux effets biologiques. Il apparaît nécessaire d'interpeller les gestionnaires sur les opportunités qu'offre ce domaine pour la prise de décision.

De plus, un point fort souligné des mésocosmes tient à la possibilité d'intégrer le développement de ces différents outils au sein d'une même étude expérimentale.

Enfin, la possibilité de tester un sédiment et/ou une eau représentative d'un milieu donné fait des mésocosmes un outil particulièrement adapté au suivi de la qualité environnementale dans le cas d'un problème ponctuel sur le terrain.

Le potentiel des mésocosmes pour le développement et la validation d'outils d'aide à la surveillance des milieux apparaît donc particulièrement riche. La réalisation des études dans ce type de systèmes reste néanmoins conditionnée à l'adoption d'une stratégie permettant la mobilisation des financements nécessaires. Au préalable, il



© C. Maitre – INRA

est nécessaire de favoriser l'utilisation des données déjà disponibles, dont une part n'est pour l'heure pas diffusée car protégée.

### 3.4 – Perspectives de développement et recommandations

Les développements qui précèdent, basés sur le rendu des ateliers de réflexion du séminaire du Croisic, ont permis de confirmer l'utilité des approches en mésocosmes en regard des attentes actuelles des gestionnaires des milieux aquatiques, et d'en préciser le potentiel et la pertinence pour chacun des trois thèmes proposés. À l'issue des discussions menées en clôture du séminaire, les perspectives de développement suivantes ont été soulignées :

- amélioration des NQE existantes et développement de NQE pour le biote et les sédiments ;
- validation de PNEC en retour ;
- analyse des relations entre contaminants et bioindicateurs ;
- élaboration de modèles conceptuels et numériques pour relier exposition et effets ;
- évaluation des effets des substances émergentes, en particulier les nanoparticules et les perturbateurs endocriniens ;
- suivi spécifique pour un écosystème donné ou un rejet donné ;

– impacts du changement climatique et couplage avec les effets des substances toxiques ;

– impacts des espèces invasives exogènes sur les écosystèmes et les transferts de contaminants.

Le développement de ces outils et leur appropriation par les gestionnaires, faisable et évidemment souhaitable au regard des perspectives décrites précédemment, restent toutefois conditionnés par les impératifs de moyens. La mise en place de plates-formes expérimentales de type mésocosmes doit être pensée dans une logique d'optimisation des résultats obtenus par rapport à l'investissement consenti : l'utilisation en réseau de tels outils, par des équipes pluridisciplinaires, est fortement recommandée. Cela revient à exploiter l'un des avantages des mésocosmes : toute expérimentation peut y être menée dans le souci de maximiser la somme d'informations récoltée, dans une double perspective d'aide à la gestion et d'avancée des connaissances scientifiques. Cette

exigence comporte également un enjeu d'information et de communication envers les gestionnaires : la pertinence et la faisabilité des études en mésocosmes doit être rappelée et soulignée, tout comme leurs limites – en particulier quant à la capacité à représenter des écosystèmes naturels. La publication du rapport du groupe de travail AMPERE (Alix *et al.* 2007) a contribué à valoriser l'utilisation des mésocosmes dans le domaine de l'analyse du risque associé aux pesticides. La transposition de ce type d'initiative pour d'autres familles de micropolluants peut être envisagée.

Plus globalement, la création d'un consortium dédié à la mise en réseau des plateformes de mésocosmes existantes ou à venir, à l'optimisation des études menées dans ces systèmes (y compris en termes de standardisation des protocoles d'échantillonnage et de mesure), ainsi qu'aux enjeux de valorisation et d'appropriation, sous la forme d'un GIS (Groupement d'intérêt scientifique) a été proposée. ■

