

## 1.2 – Utilisation des mésocosmes en écotoxicologie : un outil éprouvé

Source : Thierry Caquet, Inra, Le Croisic 2009

Mis en œuvre à l'origine pour des utilisations en écologie, les écosystèmes aquatiques artificiels se sont rapidement imposés comme des outils expérimentaux de choix pour l'évaluation du devenir et des effets des produits chimiques dans les milieux aquatiques. La section qui suit propose successivement une typologie de ces outils et de leurs usages en écotoxicologie, et aborde certains aspects pratiques de leur utilisation propres à cette discipline. Elle se conclut par une réflexion sur la place et les apports des mésocosmes en écotoxicologie aquatique.

### Typologie des outils

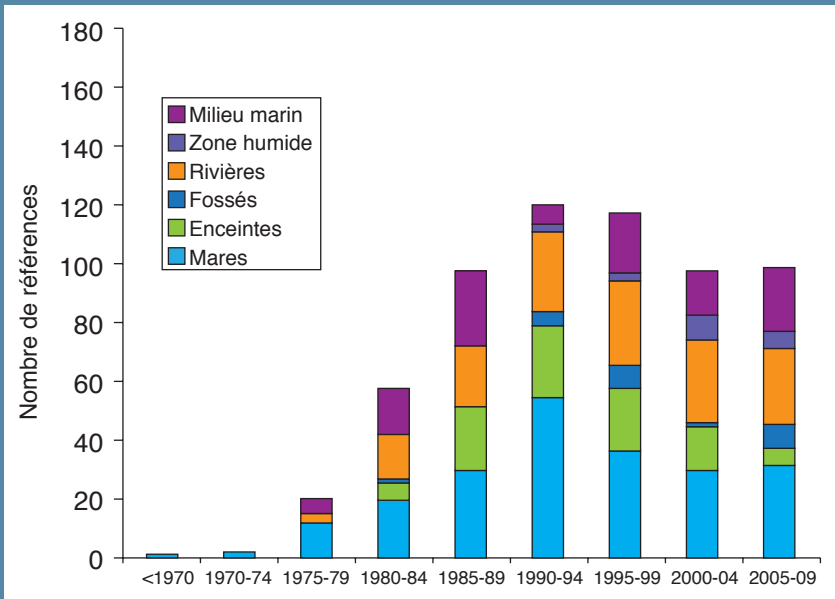
Une analyse de la littérature internationale sur les approches expérimentales en écotoxicologie utilisant des mésocosmes a été menée, par des requêtes vers les bases de données *CAB Abstracts* et *Web of Science*, pour les années 1975 à 2009. Aux références obtenues par la recherche des mots-clés (*mesocosm, artificial stream, eclosure, ditch...*) ont été soustraites toutes

celles relatives à des études en intérieur, ou à des travaux en écologie. La liste de publications ainsi constituée regroupe 769 références, dont une majorité de publications primaires – publications originales présentant des données inédites. Non exhaustive, cette liste peut cependant être considérée comme une bonne base pour une analyse statistique de l'utilisation des mésocosmes en écotoxicologie aquatique.

La figure 1 (page suivante) présente l'évolution au cours du temps du nombre de références en écotoxicologie mentionnant des systèmes de type mésocosmes, en distinguant les différents types d'outils utilisés.

C'est à partir des années 1980 et surtout 1990 que les mésocosmes ont été utilisés de façon intense en écotoxicologie, avec une apogée entre 1990 et 1995. Depuis, ils continuent à apparaître régulièrement, à un rythme moyen de 20 publications annuelles, en léger déclin, ce qui peut s'expliquer par une banalisation de ces outils en

Figure 1 : Typologie des outils Mésocosmes (d'après T. Caquet).



écotoxicologie, conduisant à un moindre emploi du mot « mésocosme » (ou dénominations apparentées) dans les titres des publications.

Pour ce qui est des études menées sur des écosystèmes d'eau douce, les mares – écosystèmes préexistants ou systèmes construits spécifiquement – sont les mésocosmes les plus utilisés (43,2 %), suivies par les rivières artificielles (29,4 %). Ces systèmes d'eau courante, qui ont une représentativité écologique limitée lorsqu'ils ne sont pas con-

nectés à d'autres éléments du bassin versant, restent cependant bien adaptés au suivi de la réponse de divers organismes à la présence de polluants.

Parmi les enceintes, on distingue les enclos limniques ou *limnocorrals* – enceintes disposées en pleine eau, en contact ou non avec les sédiments – et les enclos littoraux, d'une profondeur maximale de 2 à 4 m, qui isolent une portion de la zone littorale. Les fossés expérimentaux (*ditches*), très utilisés aux Pays-Bas, peuvent

être considérés selon les cas comme des systèmes lotiques ou lentiques. Enfin, il faut signaler l'émergence progressive des zones humides artificielles comme outil de recherche en écotoxicologie.

### Typologie des toxiques étudiés

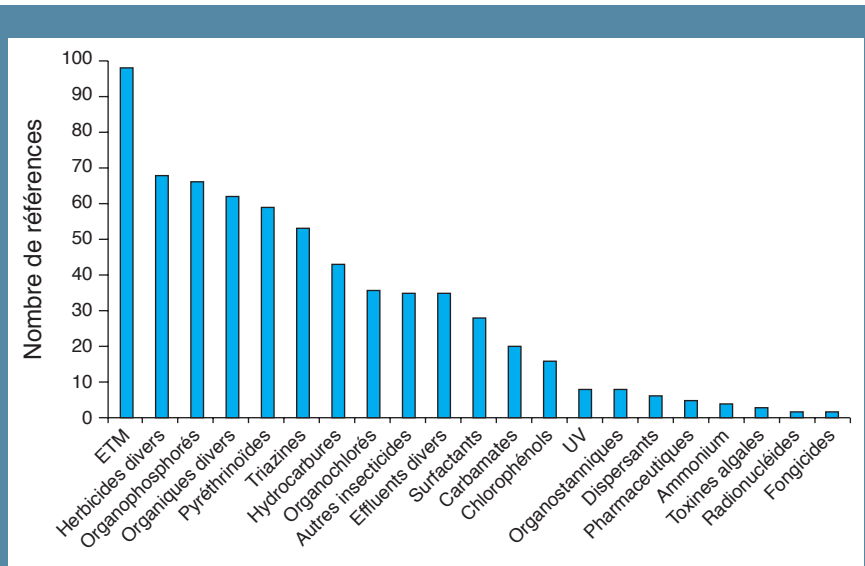
Toujours à partir de la base bibliographique évoquée ci-dessus, il est également possible d'observer la répartition des utilisations des mésocosmes en écotoxicologie en fonction des substances étudiées (fig. 2).

Il ressort de cet examen la

nette prédominance des études concernant les pesticides (46,1 % des publications, eaux douces et marines confondues), ce qui s'explique par les travaux qui ont permis d'aboutir à l'utilisation en routine des mésocosmes dans les procédures d'homologation de ces substances. Les éléments traces métalliques (15 %) forment la seconde composante en nombre.

Une analyse en composantes principales (ACP) réalisée à partir des mêmes données bibliographiques permet de relier les types de

**Figure 2 : Fréquence d'étude en mésocosmes des différentes catégories de contaminants de l'environnement (d'après T. Caquet).**



mésocosmes utilisés aux toxiques étudiés. On met ainsi en évidence la spécificité de certaines utilisations :

– dispersants, organostanniques et toxines algales pour les écosystèmes expérimentaux marins ;

– effluents, ammonium et surfactants pour les rivières artificielles ;

– organochlorés, carbamates, organophosphorés, éléments traces métalliques (ETM), triazines et pyréthrinoides pour les mésocosmes lentiques (mares, fossés, enceintes...).

### **Taille, espèces, critères d'effet : quelques questions pratiques**

Une importante littérature est consacrée à l'analyse des différentes étapes de la mise en œuvre des mésocosmes en écotoxicologie aquatique (par exemple Graney *et al.* 1994, Hill *et al.* 1994, Campbell *et al.* 1999, Caquet *et al.* 2000, Giddings *et al.* 2002). Quelques considérations relatives à la taille de ces systèmes, à leurs caractéristiques biologiques et aux critères d'effet utilisés sont présentées ici.

### **Quelle taille de mésocosme ?**

Elle est très variable pour les études d'écotoxicologie, où peuvent être utilisées des rivières artificielles de moins d'un mètre à plus de 1000 m de longueur, des mares de 2 à 1000 mètres cubes, des enclos limniques de 2 litres à 2500 mètres cubes. Les réflexions présentées dans la section précédente, relative aux utilisations en écologie, restent évidemment valables ici. S'y ajoute le fait que la présence de dispositifs de mesure et d'échantillonnage et les interventions expérimentales doivent garder un impact négligeable sur la structure et la dynamique des systèmes. À l'inverse, l'utilisation de systèmes de très grande taille (plusieurs centaines de mètres cubes) rend plus délicate l'application des contaminants et présente en outre un risque de divergence entre les différentes parties du système, ce qui se traduit par un accroissement de la variabilité de nombreux paramètres et complique l'échantillonnage.

### **Quels organismes y introduire ?**

Les plantes supérieures aquatiques jouent un rôle majeur dans la structuration des mésocosmes : elles constituent des supports pour le

développement du périphyton, des refuges et des supports de ponte pour différentes espèces animales. Cette structuration est également assurée par le phytoplancton, dont la répartition influe sur la distribution spatiale des animaux herbivores du zooplancton, ou par certains prédateurs qui peuvent influencer la taille ou la répartition de leurs proies.

Le fonctionnement des mésocosmes est quant à lui largement conditionné par les producteurs primaires (phytoplancton, périphyton) et les détritivores (micro-organismes et invertébrés). Les consommateurs, poissons par exemple, exercent des effets directs (prédation sélective) et indirects (diminution de la pression du zooplancton sur le phytoplancton) sur ce fonctionnement.

#### ***Quels critères mesurer ?***

Les mésocosmes permettent l'utilisation simultanée de divers descripteurs. En les confrontant, il est possible de caractériser des relations de cause à effet difficilement appréhendables dans le milieu naturel. Le premier type de descripteurs utilisables correspond à des paramètres écologiques (oxygène dissous, pH...) qui rendent

compte des effets des polluants sur l'écosystème dans son ensemble. D'autres descripteurs sont fournis par les organismes présents, au niveau des populations (abondance, structure de taille...) ou des communautés (diversité, dominance...). Les macroinvertébrés et le plancton, ainsi que le périphyton dans les systèmes d'eau courante, constituent les groupes les plus étudiés.

#### ***Place et apport des mésocosmes en écotoxicologie aquatique***

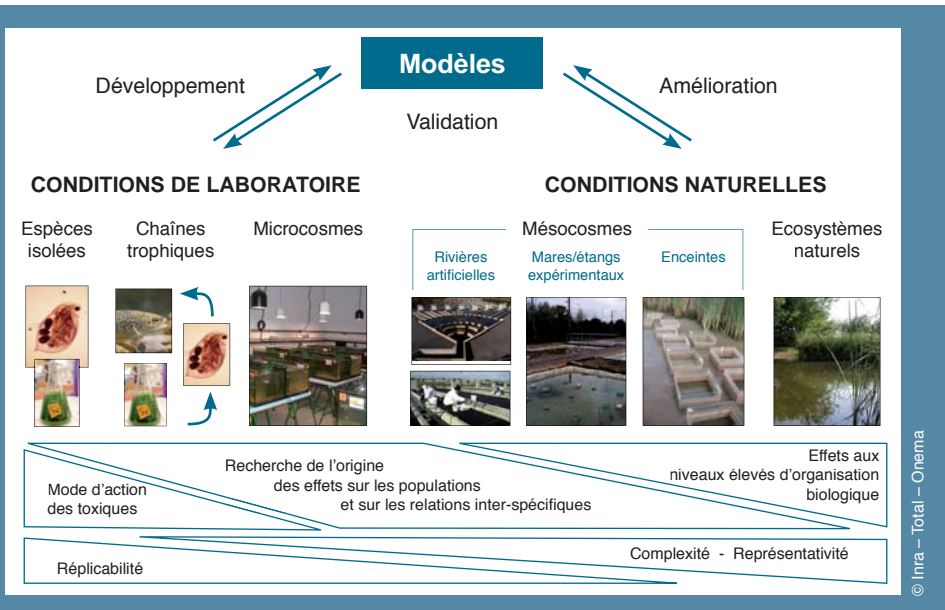
Les mésocosmes s'inscrivent dans un continuum d'outils utilisables en écotoxicologie, qui va du test de toxicité en laboratoire à la mise en œuvre d'études en milieu naturel (figure 3). De manière générale, ils y constituent un bon compromis entre réalisme (meilleur qu'en laboratoire) et facilité de réalisation (par rapport aux études en milieu naturel).

Une caractéristique fondamentale des approches en mésocosmes est leur capacité à mettre en évidence les réponses de communautés d'organismes de différents types (microalgues, invertébrés, etc.) exposées à un ou

des contaminants, ce que ne permettent pas les tests de toxicité monospécifiques conduits en laboratoire. Ce point se double d'un second atout essentiel lié à l'utilisation des mésocosmes : la possibilité d'analyser simultanément le devenir et les effets des toxiques. Ces dispositifs permettent notamment la prise en compte des phénomènes qui réduisent (adsorption sur les matières en suspension par ex.) ou accroissent (bioturbation par ex.) la biodisponibilité des contaminants – et donc leurs

effets. Cette donnée est essentielle, en particulier dans le cadre de l'évaluation des risques environnementaux. Citons le cas des insecticides pyréthriinoïdes : leur toxicité aiguë (CL50,96 h < 1 µg/L en laboratoire) se traduit, comme l'ont montré des études en mésocosmes, par un risque écotoxicologique limité pour les poissons, du fait de l'adsorption rapide de ces substances sur les particules en suspension dans l'eau et les sédiments, suivie de leur dégradation en substances non toxiques.

**Figure 3 : Place des mésocosmes dans le continuum des outils d'analyse des effets à différents niveaux d'organisation biologique (d'après Caquet *et al.* 2000).**



Un autre avantage majeur des approches en mésocosmes réside dans le fait qu'ils permettent d'identifier et d'étudier les effets indirects des toxiques. Ceux-ci se produisent lorsque une substance affecte directement certaines espèces-clés de l'écosystème (plantes supérieures, herbivores dominants, prédateurs, etc.), entraînant des conséquences variées : évolution de paramètres abiotiques (pH par ex.), sélection de génotypes tolérants entraînant une perte de diversité génétique, prolifération d'espèces tolérantes au détriment d'autres plus sensibles, ou encore vulnérabilité accrue de certaines proies du fait de l'altération de leur comportement ou de leur habitat.

Ces avantages, d'un intérêt primordial en écotoxicologie, s'ajoutent aux caractéristiques déjà exposées des mésocosmes (complexité, répliquabilité, contrôle des conditions d'exposition et possibilité de comparaison avec des systèmes témoins). En contrepartie, leur mise en œuvre doit bien sûr tenir

compte des limites exposées plus haut – perte de productivité liée à l'isolement, durée limitée des expériences, variabilité intra-traitement. En outre, l'investissement est en général important : l'utilisation des mésocosmes doit être pensée de manière à optimiser le rapport coût/informations recueillies.

Au final, les systèmes de type mésocosmes s'imposent comme des outils de grand intérêt pour faire progresser les connaissances en écotoxicologie ou mettre au point des méthodes de caractérisation de la qualité des milieux aquatiques. Leur utilisation doit cependant être pensée de manière judicieuse, c'est-à-dire en général dans le cadre d'une démarche intégrée. Leur coût de mise en œuvre impose en particulier d'identifier clairement les questions auxquelles l'on souhaite répondre : c'est sur la base de ce questionnement que des décisions peuvent être prises quant au type de méthodes d'échantillonnage et de mesure à utiliser et aux paramètres à suivre.