



Approche méthodologique pour la validation environnementale d'un projet de remblaiement de cavités terrestres de la zone littorale à l'aide de sédiments de dragage d'un port

Robert MORETTO¹, Yves PERRODIN²

1. INSAVALOR SA, GIS EEDEMS, 66 boulevard Niels Bohr, BP 52132, 69603 Villeurbanne Cedex, France.
robert.moretto@insavalor.fr
2. Université de Lyon, ENTPE, Laboratoire LEHNA, UMR CNRS 5023, 2 rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France.
yves.perrodin@entpe.fr

Résumé :

L'objectif du programme *SEDIGEST* est de lever les principaux verrous qui s'opposent à la rédaction d'une méthodologie d'évaluation des risques écologiques adaptée à la problématique du stockage à terre des sédiments de dragage des ports traités. Ce type de méthodologie, largement utilisée dans le monde pour la gestion de matériaux pollués dans d'autres contextes, est encore peu pratiquée en France, mais on assiste actuellement à un véritable intérêt de la part des services de l'Etat, de l'ADEME, des organismes techniques centraux, ainsi que des industriels, compte-tenu de leur caractère incontournable pour la validation de nouvelles filières.

Les principaux blocages scientifiques qui s'opposent à la rédaction d'une telle méthodologie, dans le cas particulier de la gestion à terre de sédiments marins, sont pour l'essentiel liés à une compréhension encore très partielle des différents mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui interviennent lors de leur dépôt à terre.

L'innovation dans ce programme est présente à deux niveaux :

- 1) dans le concept d'ingénierie écologique original dans lequel elle s'inscrit (restauration conjointe de deux milieux anthropisés, de type "gagnante-gagnante"), correspondant à une réelle rupture par rapport aux pratiques existantes ;
- 2) dans le véritable "bond en avant" nécessaire à effectuer concernant les connaissances sur le comportement à terre des sédiments marins, puisqu'ils y seront stockés dans des conditions complètement différentes de celles où ils se situaient auparavant.

Mots-clés :

Sédiments marins – Dragage – Ecosystèmes – Méthodologie – Evaluation des Risques Ecologiques – Restauration – Carrières – Cavités terrestres – Environnement

1. Introduction

Actuellement, il existe en France un stock important de sédiments contaminés (10 millions de tonnes estimés), localisés dans les ports maritimes, qui ne peuvent pas être dragués en raison d'une évolution de la réglementation interdisant leur rejet en mer. Cela conduit à un nouveau gisement de matériaux pollués « orphelins » de filières, les filières classiques (incinération, mise en décharge,...) n'étant pas adaptées à leur traitement, ni sur le plan économique, ni sur le plan des volumes traitables. Parmi les solutions de substitution envisagées, le remblaiement de carrières sèches représente une des filières les plus prometteuses, car une des plus adaptées sur le plan technique et économique, mais aussi parce qu'elle offre des capacités suffisantes pour gérer des volumes aussi importants. Cette filière nécessite toutefois d'engager un programme de recherche d'envergure visant à proposer une "méthodologie d'évaluation des risques écologiques spécifique" permettant de valider, lors de chaque opération de remblaiement d'envergure, sa compatibilité avec les écosystèmes (terrestres et aquatiques) continentaux voisins.

Le but principal de ce projet était donc l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation des risques écologiques (EDRE) adaptée à ces matériaux et à cette filière, ceci sur la base d'une recherche amont traitant de l'ensemble des facettes de la problématique.

2. Méthodes

D'une manière générale, sur le plan international, les méthodologies d'EDRE, développées pour divers scénarios de stockage ou d'usage de matériaux potentiellement polluants, comprennent les quatre étapes suivantes :

- a) formulation du problème,
- b) caractérisation de l'exposition des écosystèmes cibles,
- c) caractérisation des effets des flux polluants sur les écosystèmes,
- d) caractérisation finale des risques écologiques.

Ces quatre étapes ont été élaborées dans le cadre de *SEDIGEST* pour un scénario de type "stockage en carrière de sédiments pollués préalablement traités". Les principaux blocages scientifiques qui s'opposaient à la rédaction d'une telle méthodologie étaient pour l'essentiel liés à la compréhension des différents mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui interviennent lors du stockage à terre de tels matériaux salins pollués, notamment lors de la phase de mise en dépôt, puis sous l'action de la pluie, et enfin lors du contact des eaux potentiellement contaminées qui en résultent avec les écosystèmes continentaux voisins. Ils concernent en particulier la nécessaire prise en compte de la problématique des changements d'échelles spatiales et temporelles en vue d'une prévision réaliste des émissions de polluants et de leurs (non) impacts à long terme sur l'environnement.

Trois matrices sédimentaires (deux du Var et une du Finistère) ont été sélectionnées pour le programme sur la base d'un compromis entre deux critères : le niveau de

contamination et le type de prétraitement. Trois pilotes lysimétriques ont ensuite été mis en œuvre en prenant en considération les résultats obtenus par des essais hydromécaniques sur chacun des trois sédiments. Ils ont permis de simuler les conditions de stockage, avec réalisation du bilan hydrique sur une durée de douze mois, et de collecter des percolats régulièrement analysés et utilisés pour les essais d'écotoxicité destinés à évaluer les impacts sur les écosystèmes voisins du dépôt. D'autre part, suite à l'établissement d'une typologie des cavités terrestres présentes dans les deux départements pilotes de *SEDIGEST* (Var et Finistère), deux sites expérimentaux ont été retenus pour les investigations de terrain. Sur ces sites, une analyse structurale, une prospection radar et sismique réfraction ont été effectuées sur trois zones dans une carrière du Var et sur deux zones dans une carrière du Finistère.

3. Résultats

Modèle conceptuel global : Pour visualiser l'ensemble des interactions entre les sources identifiées et les populations cibles, un modèle conceptuel a été élaboré, précisant les sources d'émission, les voies de transfert et les écosystèmes cibles, ainsi que les différents éléments quantitatifs ou qualitatifs caractéristiques du scénario (ex. ratios massiques/volumiques, facteurs de dilution, ou organismes et paramètres d'effet à tester). Les résultats de l'analyse des caractéristiques hydromécaniques du dépôt à terre ont permis par ailleurs de préciser les conditions de mise en œuvre optimum des trois matrices sédimentaires lors du remblaiement de carrières.

Emissions du dépôt : La caractérisation des émissions potentielles de polluants a été réalisée via une méthodologie basée sur l'utilisation d'une batterie de tests de lixiviation complémentaires, adaptée et intégrée dans une démarche expérimentale (à l'échelle du laboratoire) d'évaluation de la mobilisation potentielle des polluants présents dans des matrices sédimentaires portuaires traitées ou non. Les résultats montrent : (1) un faible risque de mobilisation des métaux cibles (As, Cu, Pb et Zn) à pH naturel mais une instabilité de ce dernier ; (2) un risque à plus ou moins long terme dans des conditions de lixiviation particulières (milieu complexant, milieu acide) et mise en évidence des effets des contraintes environnementales (carbonatation, eaux de pluie, anaérobiose) ; (3) un rôle prépondérant des carbonates dans le contrôle du pH et la mobilisation des polluants ; (4) une réactivité des sulfures (pyrite) ; (5) un rôle prépondérant de la matière organique - solubilisation et minéralisation observées en conditions de pH basiques ou fortement acides ; (6) une forte contamination en HAPs. La modélisation géochimique de l'émission des polluants a ensuite permis de mettre en évidence la cohérence et la complémentarité des trois approches menées (physico-chimie, lixiviation et modélisation). La modélisation des émissions apparaît comme un outil de compréhension intéressant vis-à-vis de la connaissance des sédiments, mais elle devrait être utilisée plus comme un outil d'aide à la décision permettant d'encadrer des conditions possibles de stockage, que comme un outil de prédiction.

Transfert des polluants : Suite aux analyses structurales sur les deux sites pilote, des modèles d'écoulement 3D ont permis l'étude des transferts d'eau et de polluants afin d'évaluer l'impact de sédiments potentiellement pollués sur le milieu souterrain.

Impact des polluants : L'impact sur les écosystèmes terrestres situés à la surface du dépôt, abordée via l'évaluation des effets sur la germination et la croissance de plantes (*Lolium perenne* et une plante halophyte *Armeria maritima*), a montré que la germination et de développement des plantules étaient possibles pour certains sédiments après lessivage par les eaux météorites. Concernant l'étude de l'impact sur les milieux aquatiques périphériques, un diagnostic fonctionnel des milieux aquatiques présents dans les bassins de drainage des deux sites pilote a tout d'abord été réalisé pour déterminer la valeur patrimoniale et fonctionnelle des écosystèmes aquatiques et estimer la vulnérabilité de ces milieux aux effluents issus des dépôts. Les principaux enseignements tirés de cette étude résident dans le fait qu'un des risques identifiés pour les communautés aquatiques est l'eutrophisation pouvant être provoquée par la libération de phosphates initialement présents dans les sédiments du cours d'eau, sous l'action d'une réaction en cascade initiée par les sulfates apportés par les percolats des sédiments en dépôt. Cette étude a ensuite été complétée à l'aide de tests écotoxicologiques mono-spécifiques normalisés. Il ressort que : la bactérie *V. fisheri* n'est pas sensible aux percolats de certains sédiments, le rotifère et l'algue verte sont les organismes les plus sensibles de la batterie ; la toxicité n'évolue pas significativement dans le temps ; un sédiment chaulé est toxique pour les organismes aquatiques. Les essais sur lignées cellulaires de poisson ne montrent aucune génotoxicité primaire mais cela reste à vérifier en fonction du temps d'exposition. Des essais en microcosmes aquatiques de 2 L ont fourni des résultats cohérents avec ceux obtenus avec les essais mono-spécifiques, ce qui a permis de consolider les résultats.

4. Conclusions

L'ensemble des résultats expérimentaux et théoriques acquis au cours du programme *SEDIGEST* ont permis d'optimiser et de valider l'approche méthodologique proposée pour la validation environnementale d'un projet de remblaiement de cavités terrestres de la zone littorale à l'aide de sédiments de dragage d'un port.

5. Remerciements

Nous remercions l'ensemble des équipes ayant participé au programme de recherche *SEDIGEST*, appartenant aux organismes suivants (détail des intervenants sur www.sedigest.org) : ENTPE, INSA de Lyon, BRGM, INSAVALOR, INERIS, IN VIVO Environnement, CETMEF, CG 83 et CG 29.

Nous remercions également l'Agence Nationale de la Recherche et les Pôles de Compétitivité Axelera et Mer PACA et Mer Bretagne (labellisation du projet) pour l'aide financière attribuée pour mener à bien ce programme *SEDIGEST*.