



## **Selection of recovery paths for dredged sediments A multicriteria analysis approach**

**Mickael BURONFOSSE<sup>1,2,3</sup>, Sokha LEANG<sup>1</sup>, Youcef BOUZIDI<sup>2</sup>,  
Nicolas ANTHEAUME<sup>3</sup>, François THERY<sup>1</sup>**

1. EDF R&D, TREE, Technologies et Recherche pour l'Efficacité Énergétique, Groupe Territoires et Économie circulaire, EDF Lab. Les Renardières, 77250, Moret-sur-Loing et Orvanne, France.  
*mickael.buronfosse@edf.fr*
2. Université de Technologie de Troyes, CNRS, ICD – CREIDD, UMR 6281, 12 rue Marie Curie, CS 42060, 10 004, Troyes cedex France.
3. Université de Nantes, LEMNA, Chemin de la Censive du Tertre, BP 52231, 44322 Nantes Cedex 3, France.

### **Abstract:**

Waste management is one of the key drivers for the success of the transition towards a circular economy (ADEME, 2012). However, waste management is an increasingly complex issue due to the several dimensions we need to take into account.

In this context, EDF is working on the development of a decision support tool. This multicriteria tool will compare waste management facilities based on five dimensions: technical, economic, environmental, territorial and regulatory. To build the comparison criteria, we propose to use and adapt the methodology Analytic Hierarchy Process (AHP). This method allows, via experts' opinions, the aggregation of qualitative and quantitative criteria to compare waste management facilities.

This methodology is applied for dredged sediments and should help operational decision-makers to choose a recovery path considering the five previous dimensions. In this article, we propose to apply our approach to compare the waste management paths of the Rhine river sediment management plan (dredged sediments from EDF concession field for hydroelectric production). We evaluate each way with some criteria of our tool.

**Keywords:** Sediment, Multicriteria, Decision support, Environment, Technique, Economy, Territory, Regularly, Waste management, AHP, Circular economy.

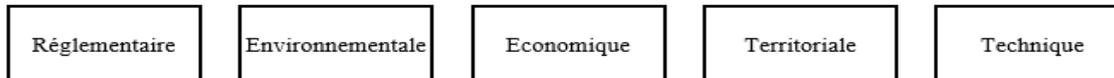
### **1. Introduction et contexte**

Le devenir des sédiments issus de dragage et gérés à terre est un sujet de préoccupation important pour les gestionnaires de ports, de voies d'eau et les exploitants d'ouvrages hydroélectriques, comme EDF (ANGER, 2014). Depuis la directive cadre 2008/98/CE portant sur les déchets (UE, 2008) et sa transposition en droit français en 2010 (JORF,

*<https://dx.doi.org/10.5150/cmcm.2017.006>*

2010), les sédiments gérés à terre sont considérés comme des déchets. Il devient nécessaire d'aider les décideurs opérationnels à choisir une bonne orientation de ces matières qui doivent être considérées comme des ressources. Dans un contexte d'économie circulaire, cette gestion apparaît complexe et multidimensionnelle.

À ce constat, l'objet de cet article est d'utiliser des méthodes d'analyse multicritères d'aide à la décision, appliquées au cas de sédiments extraits sur un ouvrage du Rhin. Ce cas de gestion récurrent pour l'entreprise EDF est intéressant du fait de son caractère frontalier. Une étude de la littérature montre que, dans un contexte de développement durable, les outils et méthodes principalement utilisés pour les études de gestion de déchets portent principalement sur les dimensions environnementale et économique (ALLESCH & BRUNNER, 2014). La prédominance de la partie environnementale s'explique, en partie, par l'utilisation de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), méthode normée et qui fait consensus à l'international (AFNOR, 2006). Or, aujourd'hui, les méthodes d'analyse multicritères peuvent prendre en compte des facteurs plus nombreux : environnementaux, politiques, économiques, socio-économiques, réglementaires, territoriaux, et techniques (NOURI *et al.*, 2016 ; OYOO *et al.*, 2013). Nous proposons d'étudier et de comparer les différentes possibilités de gestion selon les cinq dimensions (figure 1) citées par la réglementation (JORF, 2010) :



*Figure 1. Les 5 dimensions intégrées pour la comparaison d'installations de valorisation de sédiments de dragage.*

Le caractère novateur de notre travail réside dans le fait que si ces dimensions sont souvent utilisées dans les études, aucune n'aborde ces cinq dimensions ensemble. Rares sont les travaux qui prennent en compte plus de trois dimensions dans les études multicritères et adaptées aux choix d'orientation d'un déchet vers une filière (VUCIJAK *et al.*, 2016 ; HOKKANEN & SALMINEN, 1997).

## **2. Démarche globale**

Pour chacune des cinq dimensions, l'objectif est de comparer les installations de gestion de déchets à partir de critères préalablement établis (tableau 1). Pour construire les critères et pour l'agrégation multicritères, le travail bibliographique nous a conduit à retenir la méthode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1977 ; ACHILLAS *et al.*, 2013). Cette méthode offre plusieurs avantages, notamment d'agrèger des critères qualitatifs et quantitatifs (HAJKOWICZ & HIGGINS, 2008), et d'avoir une flexibilité permettant en cas de modifications portant sur des critères, de ne pas remettre en cause

la structure hiérarchique générale. La méthode permet de comparer les éléments deux à deux en se basant sur l'avis d'experts sélectionnés pour leur domaine de compétence. Les dimensions environnementale, réglementaire, économique, territoriale et technique sont composées d'un ensemble de critères sélectionnés ou construits dans le cadre de cette étude (3 à 6 par dimension). Chaque critère (tableau 1) est composé d'éléments repartis sur une échelle d'évaluation (tableau 2).

*Tableau 1. Extrait de la liste des critères retenus par dimension.*

<i>Réglementaire</i>	<i>Économique</i>	<i>Technique</i>	<i>Environnementale</i>	<i>Territoriale</i>
<i>R1 — Respect de la hiérarchie de la gestion des déchets</i>	<i>Ec1 — Coût d'utilisation de l'installation</i>	<i>T3 — Adéquation du produit dans une filière (encadrement)</i>	<i>Env1 — Impacts environnementaux réglementés</i>	<i>Te2 — Utilisation locale de la ressource</i>
<i>R3 — Respect du principe de proximité</i>	<i>Ec2 — Intensité concurrentielle</i>	<i>T5 — Capacité d'absorption annuelle de l'installation</i>	<i>Env3 — Économie de ressources vierges</i>	<i>Te3 — Capacité à transporter le déchet sur le territoire</i>

Ainsi, le tableau 2 présente l'échelle du critère *R1 — Le respect de la hiérarchie de gestion des déchets* de la dimension réglementaire. Il s'agit pour ce critère d'évaluer les installations de gestion de déchets envisagées par rapport à leur positionnement sur l'échelle de la hiérarchie de gestion des déchets (UE, 2008).

*Tableau 2. Échelle du critère R1 — Le respect de la hiérarchie de gestion des déchets.*

<i>Élément de l'échelle</i>	<i>Préparation en vue de la réutilisation</i>	<i>Recyclage</i>	<i>Valorisation matière</i>	<i>Valorisation énergétique</i>	<i>Élimination</i>
<i>Note*</i>	<i>0,38</i>	<i>0,28</i>	<i>0,22</i>	<i>0,11</i>	<i>0,01</i>

*(\*) Les notes des éléments d'une échelle sont normalisées, la somme est égale à 1.*

Les notes obtenues via l'avis d'experts confirment, évidemment, l'ordre établi par la réglementation, mais montrent une non-linéarité dans la distribution des éléments de l'échelle (tableau 2).

Au niveau hiérarchique supérieur, les critères d'une même dimension sont ensuite comparés les uns par rapport aux autres pour déterminer le poids de chacun d'entre eux. Ainsi, pour chaque installation on obtient une note qui est pondérée par le poids du critère pour obtenir un score (1).

$$\text{Score} = \text{Note} * \text{Poids du critère} \quad (1)$$

Pour chaque installation, les scores obtenus pour chacun des critères sont additionnés par dimension. Il s'agit ensuite de comparer ces résultats afin d'apporter une aide à

*Mediterranean rocky coasts:  
Features, processes, evolution and problems*

l'arbitrage. Pour utiliser les critères, il est nécessaire de disposer, au préalable, d'un jeu de données minimum. Celui-ci a été construit dans le cadre du travail de recherche.

### 3. Cas d'étude

Électricité de France (EDF) exploite une large part des installations du parc hydraulique français et doit gérer des sédiments dragués. Le Plan de Gestion Pluriannuel des Opérations de Dragage 2015-2025 (PGPOD) du Rhin fixe les étapes à réaliser pour l'évaluation du besoin de dragage et la valorisation des sédiments (EDF, 2017). Parmi les solutions de gestion proposées pour l'écluse de Strasbourg, cinq possibilités de gestion à terre pour les sédiments du Rhin sont retenues V<sub>1</sub>-Aménagement paysager, V<sub>2</sub>-Valorisation en technique routière, V<sub>3</sub>-Comblement de carrière, V<sub>4</sub>-Valorisation en cimenterie et V<sub>5</sub>-Installation de stockage de déchets inertes. Les gestionnaires de déchets sont alors confrontés au questionnement suivant : *Comment arbitrer entre les différentes voies de gestion, présentées ci-dessus, pour le devenir des sédiments d'un barrage sur le Rhin ?*

### 4. Résultats

Pour répondre à la question, nous avons utilisé le référentiel décrit en section 2 complété par les données issues des sources du tableau 3.

*Tableau 3. Exemple de sources des données par critère.*

<i>Dimension</i>	<i>Critères</i>	<i>Données</i>	<i>Sources</i>
<i>Réglementaire</i>	<i>R1</i>	<i>Positionnement vis-à-vis de la hiérarchie de gestion des déchets.</i>	<i>Codes R &amp; D (Annexe I et II de la directive cadre 2008/98/CE)</i>
	<i>R3</i>	<i>Distance entre lieu de production et lieu de valorisation</i>	<i>Google MAP (Service Web sur Excel et filtre HTML).</i>
<i>Environnementale</i>	<i>Env2</i>	<i>L'impact sur le changement climatique</i>	<i>Bibliographie - ACV</i>
	<i>Env3</i>	<i>Rendement de l'installation : quantité évitée de matières premières vierges</i>	<i>Interviews — Bibliographie</i>
<i>Économique</i>	<i>Ec1</i>	<i>Coût final d'utilisation de l'installation envisagée (et transport)</i>	<i>Interviews — Bibliographie - Devis</i>
	<i>Ec2</i>	<i>Nombre d'installations concurrentes, dans une même filière</i>	<i>Interviews — Bibliographie – BDD INSEE sur les entreprises françaises</i>
<i>Technique</i>	<i>T3</i>	<i>Existence d'un cahier des charges</i>	<i>AFNOR (normes produits), Guide de la filière, Site web de l'installation</i>
	<i>T5</i>	<i>Capacité de l'installation : Le tonnage annuel de l'installation.</i>	<i>Arrêtés d'exploitation (ICPE)</i>
<i>Territoriale</i>	<i>Te3</i>	<i>(1) La surface des réseaux de transport (2) L'importance de la</i>	<i>Base de données SOES OC30 — Occupation du territoire</i>

<i>Dimension</i>	<i>Critères</i>	<i>Données</i>	<i>Sources</i>
		<i>diversité des moyens de transport</i>	<i>TR10 — Transport de marchandises</i>

Le jeu de données requises et nécessaires pour étudier et comparer les installations de gestion des sédiments sur l'ensemble des critères est en cours de finalisation. Cette étude appliquée pour les critères R1 et Env3 permet d'obtenir le tableau 4.

*Tableau 4. Extrait des notes pour les critères R1 et Env3.*

<i>Voie de valorisation</i>	<i>V<sub>1</sub></i>	<i>V<sub>2</sub></i>	<i>V<sub>3</sub></i>	<i>V<sub>4</sub></i>	<i>V<sub>5</sub></i>
<i>Note R1</i>	<i>0,28</i>	<i>0,22</i>	<i>0,22</i>	<i>0,22</i>	<i>0,01</i>
<i>Note Env3</i>	<i>0,43</i>	<i>0,07</i>	<i>0,26</i>	<i>0,07</i>	<i>-</i>

Parmi les cinq dimensions, certains critères ont un poids prépondérant. Ainsi, la voie V<sub>1</sub>-Aménagement paysager est favorisée par le critère R1- *hiérarchie*. La position relative des filières V<sub>2</sub>-Valorisation en technique routière, V<sub>3</sub>-Comblement de carrière, V<sub>4</sub>-Valorisation en cimenterie dépend essentiellement des critères Env3- *ressources vierges* et R3 *proximité*. En effet, ce dernier a une influence sur les critères Ec2-*coût* et Env2-*impact sur le changement climatique*.

## 5. Conclusions et perspectives

La démarche multicritères proposée permettra la construction d'un guide opérationnel pour aider les gestionnaires de déchets dans leur choix d'orientation. À ce jour, l'adaptation de la méthode AHP afin d'obtenir un outil d'aide à la décision pour le choix d'une voie de valorisation semble solide à la condition de s'appuyer sur un panel d'expert étendu. En effet, ces derniers participent pleinement à la construction des critères en établissant les notes, et en proposant une pondération des critères entre eux.

Il s'agit maintenant pour les sédiments gérés à terre de comparer les installations de gestion sur la totalité des critères, et de réaliser des cas d'études sur les différents barrages hydroélectriques d'EDF. Ces résultats doivent permettre de repérer les zones de chalandise des installations de valorisation et d'élimination sur le territoire national.

Enfin, des études qui porteront sur les gravats de la déconstruction, les déchets amiantés et les déchets de bois permettront de consolider la démarche et de mettre en avant son caractère polyvalent.

## 6. Références bibliographiques

ACHILLAS C., MOUSSIOPOULOS N., KARAGIANNIDIS A., BANIAS G., PERKOULIDIS G. (2013). *The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review*. Waste Management & Research, Vol. 31(2), pp. 115–129. <https://doi.org/10.1177/0734242X12470203>

*Mediterranean rocky coasts:  
Features, processes, evolution and problems*

ADEME. (2012). *Economie circulaire : notions*.

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>

AFNOR. (2006). *NF EN ISO 14040 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre*.

ALLESCH A., BRUNNER P.H. (2014). *Assessment methods for solid waste management: A literature review*. Waste Management & Research, Vol. 32(6), pp. 461-473. <https://doi.org/10.1177/0734242X14535653>

ANGER B. (2014). *Caractérisation de sédiments fins de retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière*. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie.

<http://researchers.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/TheseAnger.pdf>.

EDF. (2017). *Dragage avec gestion à terre des sédiments du garage aval de l'écluse de Strasbourg*.

HAJKOWICZ S., HIGGINS A. (2008). *A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management*. European Journal of Operational Research, Vol. 184 (1), pp. 255-65. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.045>

HOKKANEN J., SALMINEN P. (1997). *Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis*. European journal of operational research 98 (1), pp. 19–36. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00325-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00325-8)

JORF. (2010). *Ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne dans le domaine des déchets*. (2015). Code de l'environnement, Article L541-1, Code de l'environnement, Vol. L541-1.

NOURI D., SABOUR M. R., GHANBARZADEHLAK M. (2016). *Industrial solid waste management through the application of multi-criteria decision-making analysis: a case study of shamsabad industrial complexes*. Journal of Material Cycles and Waste Management, 16 p. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0544-6>

OYOO R., LEEMANS R., MOL A. P. J. (2013). *The determination of an optimal waste management scenario for Kampala, Uganda*. Waste Management & Research, Vol. 31(12), pp. 1203–1216. <https://doi.org/10.1177/0734242X13507307>

SAATY T. L. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. journal of mathematical psychology. Vol. 15 (3), pp. 234-281. [doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

UE. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain Directives*. Brussels.

VUČIJAČ B., MIDŽIĆ KURTAGIĆ S., SILAJDŽIĆ I. (2016). *Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: A municipal case study from Bosnia and Herzegovina*. Journal of Cleaner Production, 130, pp. 166-74. [doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.030](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030).