



*Recherche de l'atteinte du  
bon état chimique des  
masses d'eau :  
Développement d'un outil  
d'aide à l'élaboration d'un  
programme de mesures*

*Rapport Final*

*Géraldine DUCOS, INERIS*

*Décembre 2010*

## Contexte de programmation et de réalisation

---

### Les auteurs

---

Géraldine DUCOS

Ingénieur d'Etudes de l'Unité Economie et Décision pour l'environnement (EDEN)

Email : [geraldine.ducos@ineris.fr](mailto:geraldine.ducos@ineris.fr)

Parc Technologique Alata – BP N°2 – 60550 Verneuil en Halatte

### Les correspondants

---

Onema : Pierre François STAUB, ONEMA-DAST, Chargé de Mission Chimie des Milieux Aquatiques

E-mail : [pierre-francois.staub@onema.fr](mailto:pierre-francois.staub@onema.fr)

Référence du document :

Partenaire :

Référence du document : DRC-11-112065-07040A

Référence du document : DRC-10-112065-14265A

| Approbation INERIS                                                                                   | Approbation ONEMA                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Mme Laurence ROUÏL<br>Responsable du Pôle DECI<br>Direction des Risques Chroniques<br><br>15/06/2011 | M. Pierre François STAUB<br>ONEMA DAST<br><br>24/04/2011 |

|                                                             |                                |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Droits d'usage :</b>                                     | <i>Accès libre</i>             |
| <b>Couverture géographique :</b>                            | <i>National</i>                |
| <b>Niveau géographique</b> [un seul choix] :                |                                |
| <b>Niveau de lecture</b> [plusieurs choix possibles] :      | <i>Professionnels, experts</i> |
| <b>Nature de la ressource</b> [plusieurs choix possibles] : | <i>Document</i>                |

## **PRÉAMBULE**

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

**Recherche de l'atteinte du bon état chimique des masses d'eau :  
Développement d'un outil d'aide à l'élaboration d'un programme de mesures**

*Rapport final  
Géraldine DUCOS*

**SOMMAIRE**

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Résumé.....</b>                                                                                                                  | <b>5</b>  |
| <b>Abstract .....</b>                                                                                                               | <b>6</b>  |
| <b>Synthèse pour l'action opérationnelle .....</b>                                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>1. Glossaire .....</b>                                                                                                           | <b>11</b> |
| <b>2. LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES .....</b>                                                                                   | <b>12</b> |
| 2.1. Tableaux.....                                                                                                                  | 12        |
| 2.2. Figures .....                                                                                                                  | 12        |
| <b>3. INTRODUCTION.....</b>                                                                                                         | <b>13</b> |
| <b>4. PROBLEMES SOULEVES PAR LA NOTION DE COMBINAISON .....</b>                                                                     | <b>15</b> |
| 4.1. L'évaluation des combinaisons.....                                                                                             | 15        |
| 4.2. L'énumération des combinaisons pertinentes .....                                                                               | 17        |
| <b>5. PROBLEME DU CHOIX DE LA METHODE DE HIERARCHISATION.....</b>                                                                   | <b>18</b> |
| 5.1. Type d'optimisation recherchée .....                                                                                           | 18        |
| 5.1.1 L'analyse coûts-bénéfices.....                                                                                                | 18        |
| 5.1.2 L'optimisation multi-objectifs .....                                                                                          | 18        |
| 5.1.3 Maximisation sous contrainte.....                                                                                             | 19        |
| 5.1.4 L'analyse multicritère.....                                                                                                   | 19        |
| 5.1.5 Bilan des méthodes de hiérarchisation .....                                                                                   | 21        |
| 5.2. Type de résultats recherchés .....                                                                                             | 21        |
| 5.2.1 La meilleure combinaison.....                                                                                                 | 21        |
| 5.2.2 La répartition en classes .....                                                                                               | 21        |
| 5.2.3 De la meilleure combinaison à la moins bonne .....                                                                            | 21        |
| 5.2.4 Bilan des façons de présenter les résultats .....                                                                             | 21        |
| <b>6. PROPOSITION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION .....</b>                                                                         | <b>22</b> |
| 6.1. L'évaluation des combinaisons de mesures.....                                                                                  | 22        |
| 6.2. L'énumération des combinaisons pertinentes .....                                                                               | 23        |
| 6.3. La méthode de hiérarchisation .....                                                                                            | 25        |
| 6.4. Les critères de hiérarchisation .....                                                                                          | 28        |
| 6.5. Synthèse de l'outil.....                                                                                                       | 29        |
| <b>7. CONCLUSION .....</b>                                                                                                          | <b>31</b> |
| 7.1. Avantages de l'outil .....                                                                                                     | 31        |
| 7.2. Limites et perspectives d'évolution de l'outil .....                                                                           | 31        |
| <b>Annexe I : Echantillon de la base de données, section « critères de tri ».....</b>                                               | <b>34</b> |
| <b>Annexe II : Echantillon de la base de données, section « critères de performances<br/>environnementale et économique » .....</b> | <b>35</b> |

**Recherche de l'atteinte du bon état chimique des masses d'eau :  
Développement d'un outil d'aide à l'élaboration d'un programme de mesures**

*Rapport final*

Géraldine DUCOS

**Résumé**

**Résumé**

---

Ce rapport propose un outil d'aide à la décision à destination des gestionnaires de l'eau français pour établir un programme de mesures mono-polluant ou multi-polluants. L'outil d'analyse multicritère développé dans le projet européen Socopse a servi de point de départ à la conception de l'outil actuel. Ce dernier a trois principales contributions par rapport à l'outil Socopse.

- Chaque étape de la démarche est scientifiquement justifiée ;
- Un réel effort d'adéquation avec les exigences de la DCE a été réalisé. La préoccupation majeure étant celle de l'identification de la combinaison de mesures la plus coût-efficace et non pas des mesures individuellement coût-efficaces ;
- L'outil a été développé en partenariat avec l'Agence de l'Eau RMC afin de répondre au mieux aux besoins des Agences de l'Eau françaises.

L'outil est associé à une base de données sur l'efficacité et les coûts des mesures de dépollution. L'écriture de cette base a été initiée en 2010 et sera enrichie en 2011.

Des améliorations sont encore à apporter notamment concernant l'évaluation de la performance des combinaisons de mesures. Le projet européen Aquarehab, débuté en 2009 pour une durée de quatre ans et demie, essaiera, notamment, de proposer des solutions sur cet aspect.

**Mots clés (thématique et géographique)**

---

**Polluant, Bon Etat, Analyse Multicritère, Mesures, Coût, Efficacité**

***Decision support tool for French water managers in order to establish a programme of measures mono-pollutant or multi-pollutants***

*Final Report*

Géraldine DUCOS

***Abstract***

**Abstract**

---

This report suggests a decision support tool for French water managers in order to establish a programme of measures mono-pollutant or multi-pollutants. The multicriteria tool developed in Socopse European project was used as a baseline for the design of the current tool. The latter has three main contributions compared to Socopse tool:

- Each step of the process is scientifically justified;
- Efforts were focused on the appropriateness of the tool to WFD requirements, the main concern being the identification of the most cost-effective combination of measures and not of the combination of individually cost-effective measures;
- The tool was developed in partnership with the Rhône-Méditerranée-Corse Water Agency so as to fulfill French Water Agencies' needs as much as possible.

The tool is linked to a database on the efficiency and costs of abatement measures. This database was initiated in 2010 and will be enriched in 2011.

Improvements are still to be brought concerning the performance assessment of combinations of measures. The European project Aquarehab, initiated in 2009 for four years and a half, will try, among other, to suggest solutions on this issue.

**Key words (thematic and geographical area)**

---

**Pollutant, Good Status, Multicriteria Analysis, Measures, Cost, Efficiency**

**Recherche de l'atteinte du bon état chimique des masses d'eau :  
Développement d'un outil d'aide à l'élaboration d'un programme de mesures**

*Rapport final*

Géraldine DUCOS

**Synthèse pour l'action opérationnelle**

L'outil développé et présenté dans ce rapport vise à aider le gestionnaire lors de l'élaboration de son programme de mesures en vue :

- D'atteinte du bon état chimique des masses d'eaux (NQE) ;
- D'identifier la combinaison de mesures techniques la plus coût-efficace : Il peut s'agir tout aussi bien de mesures « à la source » (qu'elles s'apparentent à l'optimisation du processus de production ou à l'utilisation de substances chimiques moins nocives), que de mesures dites « end-of-pipe » qui consistent à traiter les eaux usées à l'issue du processus de production.

Lorsque la DCE demande d'inclure la combinaison de mesures « la plus coût-efficace » dans le programme de mesures, deux problèmes se posent au gestionnaire :

Le premier découle du fait que la DCE exige une combinaison coût-efficace et non pas une somme de mesures individuellement coût-efficaces. Cette nuance entraîne des difficultés méthodologiques de deux types :

- Comment évaluer le coût et l'efficacité environnementale globale de chaque combinaison ?  
L'évaluation de la performance de coût-efficacité d'une combinaison ne peut, en effet, se faire par une simple somme des performances des mesures qui composent la combinaison. Chaque combinaison nécessite en réalité une évaluation individuelle afin de prendre en compte (i) les incompatibilités de mesures entre elles, (ii) si incompatibilité, la non-linéarité des rendements de dépollution, (iii) les économies d'échelle et de gamme éventuelles. Cette étape peut constituer un travail important si le nombre de combinaisons de mesures est élevé.
- Comment énumérer les combinaisons de mesures pertinentes ?  
Le nombre théorique de combinaisons de mesures augmente très rapidement avec le nombre de mesures considérées. Par exemple, dans le cas où le gestionnaire souhaite faire un programme de mesures pour deux substances et dispose de 4 mesures pour la première et 6 mesures pour la seconde, cela revient à considérer  $(2^4 \cdot 2^6) - 1 = 1023$  combinaisons !

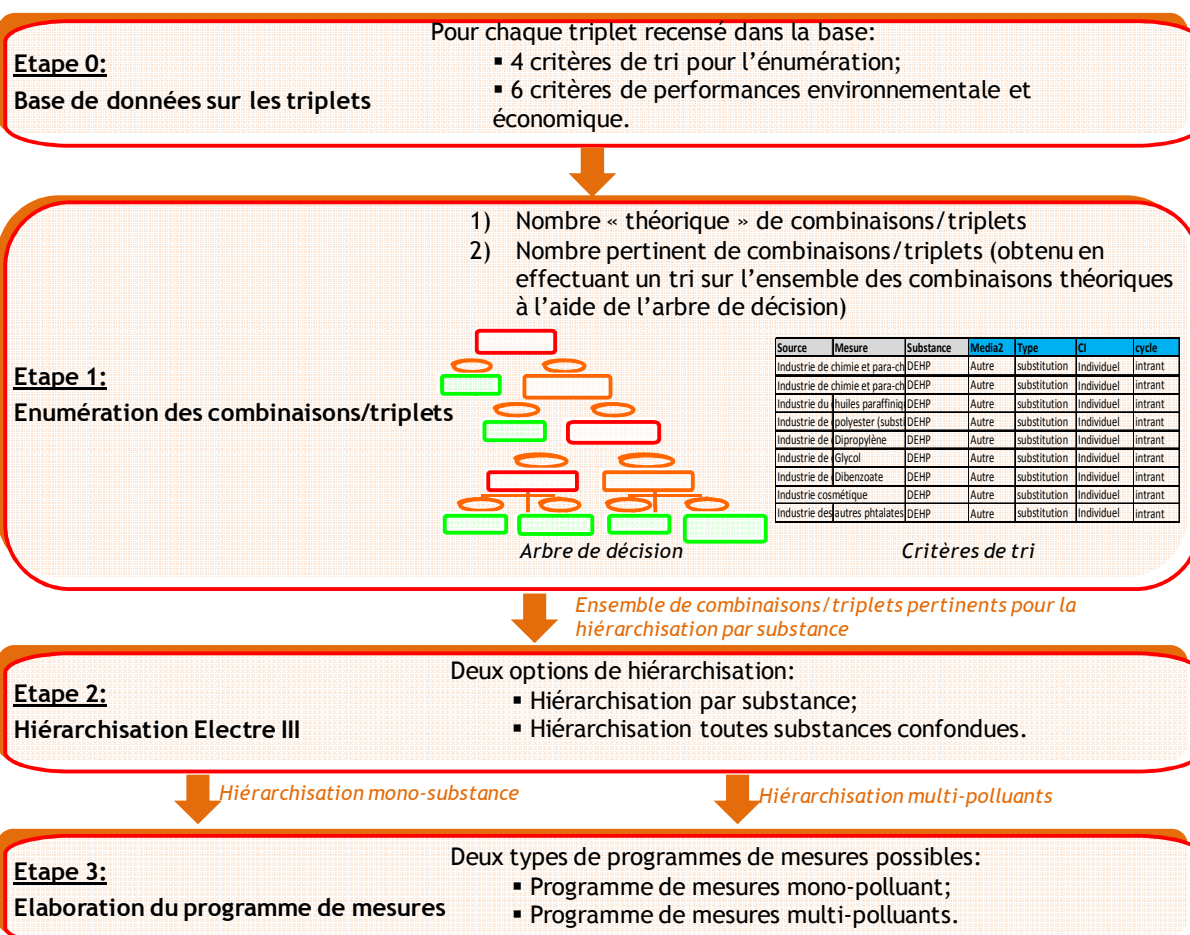
Le deuxième porte sur l'identification de la combinaison la plus coût-efficace : quelle méthode de hiérarchisation privilégier ?

La « meilleure » combinaison de mesures peut, en effet, être différente selon le système d'optimisation choisi. Dans cette étude nous avons opté pour une analyse multicritères de type « agrégation partielle », et dans ce cas la meilleure combinaison de mesures sera celle qui répond le plus souvent aux conditions de concordance et de non-discordance par rapport aux autres combinaisons.

Ces deux conditions permettent de ne pas avoir de compensation entre les critères qui caractérisent chacune des mesures. La non-compensation repose sur le principe que les mesures sont comparées deux à deux, chaque comparaison cherchant à vérifier la proposition « la mesure X est meilleure que la mesure Y » selon les deux conditions suivantes :

- La majorité des critères sont en faveur de la proposition (principe de concordance), autrement dit, lorsque la majorité des critères de la mesure X sont supérieurs aux critères de la mesure Y, la proposition « la mesure X est meilleure que la mesure Y » est acceptée ;
- Aucun écart de performance n'est trop important pour réfuter la proposition (principe de non-discordance), autrement dit, lorsqu'il n'y a pas d'opposition trop forte entre les critères de la mesure X, la proposition « la mesure X est meilleure que la mesure Y » est acceptée.

L'outil d'aide à la décision proposé dans ce rapport, essaye de trouver un compromis entre ce qui est demandé par la DCE et ce qui est possible sur le terrain et à court terme. Le diagramme suivant présente la démarche générale de l'outil :



La principale difficulté a consisté à trouver un moyen de contourner l'évaluation des combinaisons de mesures, tâche impossible à réaliser dans des temps limités. Il est suggéré de travailler tout d'abord sur les « combinaisons » composées d'une seule mesure (autrement dit sur les mesures individuelles) jusqu'à la hiérarchisation (étape 2), puis, à partir du classement obtenu, d'identifier « à la main » et à dire d'expert la combinaison de mesures la plus coût-efficace (étape 3).

Cette proposition ne devrait pas représenter de difficulté particulière si le gestionnaire souhaite élaborer un programme sur une substance uniquement. Cependant, s'il souhaite agir sur plusieurs substances, il devra procéder avec méthode lors de l'étape 3 afin de bien contrôler l'efficacité de la combinaison de mesures pour chaque substance d'une part et le coût de la combinaison compte tenu des économies d'échelle et de gamme qu'elle peut induire.

L'outil présenté dans ce rapport vient compléter la panoplie des outils d'aide à la décision déjà existant pour élaborer un programme de mesures. Le tableau suivant montre une classification des outils d'évaluation et d'aide à la décision auxquels l'INERIS contribue.

|                                       | Modélisation hydrologique        | Analyse technico-économique                                 |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Gestion à l'échelle du bassin versant | PEGASE<br>SENEQUE                | Outil SOCOPSE et son adaptation française (présent rapport) |
| Gestion des rejets industriels locaux | SENEQUE<br>Autres modèles locaux | Tableau de bord des flux                                    |

Chacun de ces outils apporte des éléments utiles à la construction d'un programme :

- Concentrations de substances polluantes dans les masses d'eau pour les modèles hydrologiques ;
- Identification de la combinaison de mesures la plus coût-efficace pour les outils type Socopse, l'efficacité étant en terme de réduction maximale du flux de substance polluante ;
- Correspondance entre les concentrations et les flux de substances polluantes pour le tableau de bord.



Des projets comme le projet européen Aquarehab tentent d'intégrer l'ensemble de ces « briques » dans un méta-modèle afin de ne plus avoir affaire qu'avec un outil d'aide à la décision.

En 2011, la base de données qui comprend actuellement 324 mesures pour 7 substances polluantes<sup>1</sup> sera enrichie. Une démonstration de l'outil sera également effectuée auprès d'un groupe de travail élargi (Agences de l'Eau, ONEMA) dans une logique de validation.

D'un point de vue pratique, plusieurs logiciels ont informatisé la méthode d'analyse multi-critère « ELECTRE » sur laquelle est fondé l'outil proposé, notamment le laboratoire LAMSADE de l'université Paris-Dauphine.

Enfin, indiquons que les « fiches technico-économiques » réalisées par l'INERIS pour l'ONEMA font partie des outils mobilisables pour construire une base de données de mesures employées par un tel outil.

---

<sup>1</sup> DEHP, HAP, isotroturon, tétrachlorure de carbone, nickel, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène



***Recherche de l'atteinte du bon état chimique des masses d'eau :  
Développement d'un outil d'aide à l'élaboration d'un programme de mesures***

*Rapport final*  
Géraldine DUCOS

## **1. GLOSSAIRE**

|      |                                         |
|------|-----------------------------------------|
| DCE  | Directive Cadre sur l'Eau               |
| HAP  | Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques |
| DEHP | Di(2-ethylhexyl) phthalate              |
| RMC  | Rhône-Méditerranée-Corse                |
| NQE  | Norme de Qualité Environnementale       |
| CCA  | Chrome, <i>Cuivre</i> , <i>Arsenic</i>  |
| STEP | Station d'Épuration                     |

## 2. LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

### 2.1. TABLEAUX

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tableau 1 : bilan des méthodes de hiérarchisation.....</i>                                    | <i>21</i> |
| <i>Tableau 2 : Types de résultats possibles pour un programme de mesures .....</i>               | <i>22</i> |
| <i>Tableau 3 : Exemple de triplets pour l'Isoproturon.....</i>                                   | <i>24</i> |
| <i>Tableau 4 : Critères de tri.....</i>                                                          | <i>25</i> |
| <i>Tableau 5 : Critères et leurs poids.....</i>                                                  | <i>29</i> |
| <i>Tableau 6 : Outils d'aide à la décision pour l'élaboration d'un programme de mesures.....</i> | <i>32</i> |

### 2.2. FIGURES

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figure 1 : Sélection des combinaisons composées d'un seul triplet .....</i>                                          | <i>22</i> |
| <i>Figure 2 : Arbre de décision pour déterminer l'ensemble des triplets pertinents pour la<br/>hiérarchisation.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figure 3 : Synthèse des comparaisons de triplets .....</i>                                                           | <i>28</i> |
| <i>Figure 4 : Synthèse du nouvel outil .....</i>                                                                        | <i>30</i> |

### 3. INTRODUCTION

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE), la Directive fille et le Programme National de Réduction des substances dangereuses imposent de connaître et de réduire (voire supprimer) les rejets de substances polluantes afin d'atteindre un bon état des eaux. La réduction des émissions est dimensionnée dans des programmes de mesures qui, pour être établis, s'appuient sur des données concernant les émissions, les coûts, les bénéfices, et la faisabilité des mesures de réduction des émissions envisagées. Sur la base de ces données, un outil multicritères peut aider le gestionnaire à identifier les mesures les plus aptes à entrer dans son programme de mesures.

C'est dans ce contexte et en vue d'établir une stratégie mono-polluant (en l'occurrence pour les HAP et le DEHP) ou multi-polluants que l'ONEMA a demandé à l'INERIS de préparer une méthodologie d'analyse multicritères.

Les travaux présentés dans ce rapport essaient de répondre à cette demande. Ils se situent dans la continuité de l'outil d'aide à la décision développé lors du projet européen Socopse (voir rapport de G. Ducos, 2009<sup>2</sup>). L'outil Socopse avait pour but de produire un classement des mesures techniques de dépollution en fonction de leurs performances environnementale et économique. Il a été développé en collaboration avec des chercheurs européens et a, par essence, une dimension européenne.

L'objectif de la présente étude est double :

- Faire la revue, en l'améliorant du point de vue de sa justification scientifique et de son adéquation avec la DCE, de l'outil Socopse.
- Faire intervenir une agence de l'eau (Agence Rhône-Méditerranée-Corse) durant tout le processus de révision de l'outil afin de concevoir un outil utilisable par les gestionnaires français, et commencer à valider et enrichir la base de données de l'outil avec les Agences.

L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC)<sup>3</sup> s'est intéressée à ce nouvel outil, d'une part, parce qu'il permettait d'établir des scénarios « théoriquement<sup>4</sup> » coûts-efficaces, et, aussi parce que ces scénarios pouvaient servir de base de discussion avec les différentes parties prenantes lors de l'élaboration de son programme de mesures.

Afin de répondre au premier objectif cité ci-dessus, nous avons repris les termes de la DCE concernant l'élaboration des programmes de mesures, et, en particulier, ceux de son annexe III (voir Encart 1).

---

<sup>2</sup> Ducos G., 2010, Note de synthèse sur le projet de recherche européen SOCOPSE - Rapport final

<sup>3</sup> Deux réunions de travail avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ont eu lieu au printemps 2010

<sup>4</sup> Selon la base de données constituée pour cet outil et la méthode de hiérarchisation choisie.

A l'horizon 2015, les eaux de l'espace européen devront avoir atteint le « bon état » (article 4). Chaque Etat membre veille à ce que soit élaboré un programme de mesures par district hydrographique afin de réaliser l'objectif de bon état des eaux (article 11). L'annexe III de la DCE précise que :

« L'analyse économique doit comporter des informations suffisantes et suffisamment détaillées (compte tenu des coûts associés à la collecte des données pertinentes) pour :

[...]

b) apprécier, sur la base de leur coût potentiel, la combinaison la plus efficace au moindre coût des mesures relatives aux utilisations de l'eau qu'il y a lieu d'inclure dans le programme de mesures visé à l'article 11. »

Les utilisations de l'eau englobent, selon l'article 2 de la DCE, « les services liés à l'utilisation de l'eau ainsi que toute autre activité, identifiée aux termes de l'article 5 [sur les états des lieux] et de l'annexe II, susceptible d'influer de manière sensible sur l'état des eaux ». L'article précise, en outre, que « ce concept s'applique aux fins de l'article 1er et pour l'analyse économique effectuée conformément à l'article 5 et à l'annexe III, point b).

*Encart 1 : Extrait de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) concernant le programme de mesures*

L'étude du problème posé par la DCE, lorsqu'elle demande d'inclure la combinaison « la plus coût-efficace » de mesures, a permis de mettre en évidence deux sous-problèmes structurant pour le développement du nouvel outil :

- Le premier découle du fait que la DCE exige une combinaison coût-efficace et non pas une somme de mesures individuellement coût-efficaces : comment énumérer les combinaisons et comment évaluer leurs performances tant économiques qu'environnementales ;
- Le deuxième porte sur l'identification de la combinaison la plus coût-efficace : quelle méthode de hiérarchisation privilégier ?

Traiter ces deux sous-problèmes est primordial pour élaborer un programme de mesures répondant aux exigences de la DCE. L'outil d'aide à la décision proposé dans ce rapport, essaye de trouver un compromis entre ce qui est demandé par la DCE et ce qui est possible sur le terrain et à court terme.

Pour rappel, l'outil développé et présenté dans ce rapport concerne uniquement :

- L'objectif de bon état chimique des eaux : Atteinte des NQE
- Les mesures techniques des programmes de mesures : Il peut s'agir tout aussi bien de mesures « à la source » (qu'elles s'apparentent à l'optimisation du processus de production ou à l'utilisation de substances chimiques moins nocives), que de mesures dites « end-of-pipe » qui consistent à traiter les eaux usées à l'issue du processus de production.

L'outil reprend le concept de « triplet » déjà présent dans le projet Socopse. Une mesure est donc systématiquement associée à une substance et à une source émettrice (un triplet = 1 mesure, 1 source émettrice, 1 substance émise). Par exemple, la substitution de la créosote contenant des HAP par le CCA lors de l'imprégnation du bois est caractérisée par le triplet « substitution par le CCA, imprégnation du bois à la créosote, HAP ».

Ce rapport présente tout d'abord la problématique des combinaisons de mesures dans le chapitre 2. Puis, celle du choix de la méthode de hiérarchisation en chapitre 3. Enfin, une solution est proposée dans le chapitre 4.

#### 4. PROBLEMES SOULEVES PAR LA NOTION DE COMBINAISON

La DCE fait référence à une combinaison de mesures (ici, combinaison de triplets) coût-efficace et non pas à un ensemble de mesures individuellement coût-efficaces. Cette nuance entraîne des difficultés méthodologiques de deux types : l'évaluation du coût et de l'efficacité globale de chaque combinaison et l'énumération des combinaisons pertinentes.

##### 4.1. L'EVALUATION DES COMBINAISONS

L'information disponible (fiches technico-économiques de l'INERIS, rapports par substance du projet Socopse, base de données des Agences de l'Eau,...) sur les mesures de traitement se rapporte, la plupart du temps, à la mesure individuelle. Or, la DCE fait référence à la performance environnementale et économique d'une combinaison de mesures et non pas d'une mesure individuelle. Cette précision entraîne des difficultés de calcul de performance non négligeables que l'

*Encart 2* tente d'illustrer.

Prenons l'exemple de deux triplets concernant la même substance (Cd), la même source (STEP) mais 2 mesures différentes (mesure 1 et 2). L'efficacité individuelle de chacune des mesures est de 50%.

| Combinaisons de triplets    | Substance émise | Source émettrice | Mesure                    | Quantité de Cd avant traitement | Quantité de Cd après traitement |
|-----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Triplet 1                   | Cadmium         | STEP             | Mesure 1                  | Cd en quantité y                | 0.5 y                           |
| Triplet 2                   | Cadmium         | STEP             | Mesure 2                  | Cd en quantité y                | 0.5y                            |
| Triplet 1<br>+<br>Triplet 2 | Cadmium         | STEP             | Mesure 1<br>+<br>Mesure 2 | Cd en quantité y                | ???                             |

Supposons que ces deux mesures puissent également être mises en place en même temps. Quelle sera la quantité de Cd restante dans les eaux usées à l'issue de l'application de ces deux mesures ? L'efficacité des deux mesures en séquentiel ne peut pas dépasser 75 % (il reste 50% de 50% du Cd initial). Par ailleurs, il est possible que la seconde mesure soit moins efficace si le Cd restant à l'issue de la première procédure est plus difficile à traiter.

*Encart 2 : Evaluer les performances environnementales d'une combinaison de mesures*

L'évaluation des performances environnementales d'une combinaison ne découle donc pas de façon triviale des performances individuelles. La même difficulté peut se poser lorsqu'il s'agit d'évaluer les performances économiques d'une combinaison. Le coût d'une combinaison ne s'obtient pas, en effet, nécessairement en additionnant les coûts des différents triplets qui la composent comme illustré dans les deux exemples suivants.

Considérons un nouveau procédé de décantation applicable dans une station d'épuration des eaux usées. Le coût individuel lié à un triplet est estimé à 100 k€. Ce coût comprend deux éléments : le coût du nouveau bassin de décantation (70 k€), et un coût de raccordement (30 k€). Qu'advient-il des coûts lorsqu'une seconde entreprise se raccorde à la station d'épuration ? On comprend bien que les frais liés à l'installation du nouveau bassin ne seront pas supportés une deuxième fois. Seules les dépenses de raccordement seront refacturées par la deuxième entreprise. Le coût total de la combinaison qui consiste à mettre en œuvre deux triplets (la technique de décantation pour l'entreprise A et la même technique de décantation pour l'entreprise B) est donc de 130k€, soit un coût par entreprise de 65k€.

| Combinaisons de triplets | Substance émise | Source émettrice            | Mesure                | Coût du bassin | Coût du raccordement | Coût total |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|------------|
| Triplet 1                | Cadmium         | Entreprise A                | Mesure de décantation | 70 k€          | 30 k€                | 100 k€     |
| Triplet 2                | Cadmium         | Entreprise B                | Mesure de décantation | 70 k€          | 30 k€                | 100 k€     |
| Triplet 1 + Triplet 2    | Cadmium         | Entreprise A + Entreprise B | Mesure de décantation | 70 k€          | 30 k€ + 30 k€        | 130 k€     |

Plus le nombre d'entreprises raccordées au réseau est important, plus le coût supporté par entreprise diminue. En économie on parle d'économies d'échelle.

*Encart 3 : Evaluer les performances économiques d'une combinaison de mesures en présence d'économie d'échelle*

Considérons à présent 2 triplets concernant la même source et la même mesure mais 2 substances différentes (HAP et DEHP). Le tableau suivant montre que le coût total de la combinaison des deux triplets reste le même que la combinaison contienne un triplet ou deux triplets.

|                       | Substance émise | Source émettrice | Mesure                                 | Coût du système d'adsorption sur charbon actif | Coût total |
|-----------------------|-----------------|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|------------|
| Triplet 1             | HAP             | Entreprise A     | STEP avec adsorption sur charbon actif | 50 k€                                          | 50 k€      |
| Triplet 2             | DEHP            | Entreprise A     | STEP avec adsorption sur charbon actif | 50 k€                                          | 50 k€      |
| Triplet 1 + Triplet 2 | HAP + DEHP      | Entreprise A     | STEP avec adsorption sur charbon actif | 50 k€                                          | 50 k€      |

En économie, on parle d'économies de gamme.

*Encart 4 : Evaluer les performances économiques d'une combinaison de mesures en présence d'économie de gamme*

L'évaluation de la performance environnementale et économique d'une combinaison de triplets ne peut donc se faire par une simple somme des performances des triplets qui composent la combinaison. Chaque combinaison nécessite en réalité une évaluation individuelle qui peut constituer un travail important si le nombre de ces combinaisons est élevé.



## 4.2. L'ENUMERATION DES COMBINAISONS PERTINENTES

L'énumération des combinaisons dépend de l'ensemble des possibles considérés par le gestionnaire. Par exemple :

- Si le gestionnaire souhaite faire un programme de mesures pour une substance (la substance  $X$ ) et dispose de  $n$  triplets pour cette substance. L'ensemble des combinaisons possibles est alors  $2^n - 1$  (on ne compte pas la combinaison avec aucun triplet) ;
- Si le gestionnaire souhaite faire un programme de mesures pour deux substances ( $X$  et  $Y$ ) et dispose de  $n$  triplets pour la substance  $X$  et de  $m$  triplets pour la substance  $Y$ . L'ensemble des combinaisons possibles est alors  $(2^n \cdot 2^m) - 1$ .

De façon générale, l'ensemble  $E$  des combinaisons possibles est :

$$E = \left( \prod_{x=1}^{n=X} 2^{t_x} \right) - 1$$

Où :

$1 \leq x \leq X$  est le nombre de substances considérées dans le programme de mesures.

$1 \leq t \leq n$  est le nombre de triplets disponibles pour la substance  $x$ .

Par exemple, dans le cas où le gestionnaire souhaite faire un programme de mesures pour deux substances et dispose de 4 triplets pour la première et 6 triplets pour la seconde, cela revient à considérer  $(2^4 \cdot 2^6) - 1 = 1023$  combinaisons !

L'exemple suivant illustre l'énumération des combinaisons pour un programme de mesures devant traiter le DEHP et les HAP.

Imaginons le cas d'une rivière pour laquelle deux substances chimiques seraient déclassantes : le DEHP et les HAP. Supposons qu'il existe deux triplets pour le DEHP et un triplet pour les HAP. Ces trois triplets, appelés A, B et C, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

| Triplet   | A                      | B                      | C                 |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Technique | Nanofiltration         | Osmose inverse         | Osmose inverse    |
| Secteur   | Industrie de la chimie | Industrie de la chimie | Industrie textile |
| Substance | DEHP                   | DEHP                   | HAP               |

Théoriquement, avec ces trois triplets il est possible de construire  $(2^1 \cdot 2^2) - 1$  soit 7 combinaisons différentes : trois combinaisons comprenant un triplet unique, et quatre combinaisons comprenant plusieurs triplets.

Ensemble théorique des combinaisons

Encart 5 : Enumération théorique des combinaisons

On voit bien que le nombre théorique de combinaisons augmente très rapidement avec le nombre de triplets considérés. Il est donc important que le gestionnaire effectue un tri des triplets les plus pertinents dans son contexte dans un premier temps et évacue au moins les combinaisons non pertinentes ou impossibles à mettre en œuvre avant d'énumérer les combinaisons possibles de triplets. Cet aspect sera pris en compte dans l'outil proposé du chapitre 4.

## 5. PROBLEME DU CHOIX DE LA METHODE DE HIERARCHISATION

Le choix de la méthode de hiérarchisation dépend, entres autres, du type d'optimisation et du type de résultats recherchés.

### 5.1. TYPE D'OPTIMISATION RECHERCHEE

La « meilleure » combinaison de triplets est différente selon le système d'optimisation choisi. Il existe ainsi différentes façons de hiérarchiser les combinaisons de triplets en fonction de la formalisation du problème et de la règle d'optimisation.

#### 5.1.1 L'ANALYSE COUTS-BENEFICES

L'analyse coût-bénéfices permet de mettre en avant le profit en euros de chaque combinaison. Ce profit s'obtient par le calcul de la différence entre les bénéfices et les coûts de la combinaison.

Formellement, ce problème peut se présenter ainsi :

$$\text{Max } \pi_i = B_i - C_i$$

$\pi_i$  est le profit de la combinaison  $i$

$B_i$  est le bénéfice de la combinaison  $i$

$C_i$  est le coût de la combinaison  $i$

Il est aussi possible de maximiser le ratio  $B_i/C_i$ .

La meilleure combinaison est simplement celle qui présente le profit le plus élevé (ou le ratio le plus élevé).

Cette méthodologie présente certaines difficultés d'application. Le principal frein à sa mise en œuvre repose sur l'évaluation monétaire des impacts environnementaux des combinaisons de mesures. Il existe de nombreuses méthodes de monétarisation mais leur mise en œuvre est souvent complexe et difficilement transférable.

#### 5.1.2 L'OPTIMISATION MULTI-OBJECTIFS

La performance d'une combinaison est ici décrite par plusieurs fonctions d'objectif, comme par exemple, une fonction de coût,  $C_i$ , et une fonction d'efficacité environnementale,  $E_i$  :

$$\begin{cases} \text{Max } E_i \\ \text{Min } C_i \end{cases}$$

La meilleure combinaison est celle qui est « Pareto optimale », autrement dit, celle qui a une meilleure performance sur au moins une fonction d'objectif par rapport aux autres combinaisons.

Cette méthode s'apparente à une analyse coût-efficacité.

Par ailleurs, le groupe de travail WATECO (EC, 2003<sup>5</sup>) missionné par la Commission Européenne pour établir un guide à la mise en œuvre du volet économique de la DCE préconise ce type d'analyse.

Comparée à la méthode précédente, celle-ci a l'avantage de ne pas nécessairement passer par l'étape de monétarisation des impacts environnementaux, chaque objectif étant optimisé indépendamment de l'autre.

#### 5.1.3 MAXIMISATION SOUS CONTRAINTE

Outre le fait que cette méthode ne nécessite pas non plus de monétarisation des impacts environnementaux, elle permet également de prendre en compte la contrainte budgétaire du gestionnaire. Elle peut être résumée par la fonction suivante :

$$\begin{aligned} \text{Max } E_i \\ \text{sc. } C_i \leq B \end{aligned}$$

La meilleure combinaison est celle qui présente la performance environnementale la plus élevée avec un coût inférieur ou égale au budget fixé par le gestionnaire.

Cette option reste relativement proche de l'esprit du rapport WATECO et de la DCE puisque, même s'il n'est pas optimisé, on recherche un seuil de performance en termes de coût/efficacité.

#### 5.1.4 L'ANALYSE MULTICRITERE

L'analyse multicritère est technique qui, selon ses modalités de mise en œuvre, peut offrir une alternative à chacune des méthodes précédentes. Chaque combinaison de mesures est évaluée sur plusieurs critères et l'analyse est centrée sur la performance  $P_{ij}$  de la combinaison  $i$  sur le critère  $j$ , pour tout  $i \in [1, \dots, n]$  et  $j \in [1, \dots, m]$ .

La meilleure combinaison est celle qui répond au mieux aux règles d'optimisation fixées dans la méthode d'analyse multicritères mobilisée. Il existe trois grands types de méthodes d'analyse multicritères, chacune ayant ses propres règles d'optimisations.

Dans les méthodes d'analyse multicritères type « agrégation totale », la meilleure combinaison aura la meilleure note globale (exemple de la moyenne pondérée). La formulation est similaire à celle de l'analyse coût-bénéfice présentée ci-dessus :

$$\text{Max } P_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot P_{ij}$$

Où  $P_i$  est la performance globale de la combinaison  $i$  et  $\alpha_j$  est le poids du critère  $j$ .

Dans les méthodes type « agrégation partielle », le problème est formulé comme une maximisation multi-objectif :

---

<sup>5</sup> European Commission, 2003. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC), Guidance document N°1, Economics and the environment - The implementation challenge of the water framework directive, 49p.

$$\begin{cases} \text{Max (ou Min)} P_{i1} \\ \text{Max (ou Min)} P_{i2} \\ \text{Max (ou Min)} P_{i3} \\ \dots \\ \text{Max (ou Min)} P_{im} \end{cases}$$

La meilleure combinaison répondra le plus souvent aux deux conditions de surclassement développées par B. Roy (1996<sup>6</sup>), à savoir la concordance<sup>7</sup> et la non-discordance<sup>8</sup>.

Ces deux conditions permettent de ne pas avoir de compensation entre critères. La non-compensation repose sur le principe que les triplets sont comparés deux à deux, chaque comparaison cherchant à vérifier la proposition « le triplet X est meilleur que le triplet Y » (ou le triplet X « surclasse » le triplet Y) selon les deux conditions de Roy :

- La majorité des critères sont en faveur de la proposition (principe de concordance), autrement dit, lorsque la majorité des critères du triplet X sont supérieurs aux critères du triplet Y, la proposition « le triplet X est meilleur que le triplet Y » est acceptée ;
- Aucun écart de performance n'est trop important pour réfuter la proposition (principe de non-discordance), autrement dit, lorsqu'il n'y a pas d'opposition trop forte entre les critères du triplet X, la proposition « le triplet X est meilleur que le triplet Y » est acceptée.

L'Encart 6 illustre ces deux conditions.

Comparons les triplets X et Y par rapport à 4 critères de performances (taux d'abattement, co-effets positifs, co-effets négatifs et coûts) et testons la proposition « le triplet X est meilleur que le triplet Y » selon le principe de concordance :

|   | Taux d'abattement | Co-effets positifs | Co-effets négatifs | Coûts |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|-------|
| X | 9.5               | 8.5                | 8.5                | 20    |
| Y | 10.5              | 9.5                | 10                 | 16    |
| Z | 10                | 11.5               | 10                 | 14    |

Le triplet Y a une meilleure performance que le triplet X pour 3 critères sur 4. La proposition est donc rejetée car le principe de concordance n'est pas vérifié.

Testons à présent la même proposition selon le critère de non-discordance :

|   | Taux d'abattement | Co-effets positifs | Co-effets négatifs | Coûts |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|-------|
| X | 9.5               | 8.5                | 8.5                | 20    |
| Y | 10.5              | 9.5                | 10                 | 16    |
| Z | 10                | 11.5               | 10                 | 14    |

L'écart entre les critères extrêmes du triplet X (20-8,5=11,5) est supérieur à celui du triplet Y (16-9,5=6,5). Le triplet X ne vérifie pas la condition de non-discordance vis-à-vis la mesure Y et la proposition est rejetée.

Encart 6 : Les conditions de concordance et de non-discordance

Dans les méthodes de type « agrégation itérative », on fixe d'abord pour chaque critère la valeur de performance que l'on souhaite avoir. Puis, pour chaque combinaison, on détermine pour quel critère la performance est la plus éloignée de la cible. La meilleure combinaison est celle qui se rapproche le plus de la cible (méthode d'agrégation itérative simple).

(Voir Schärlig, 1985 pour plus de détails sur les différents types de méthodes<sup>9</sup>)

<sup>6</sup> Bernard Roy, 1996. Multi-criteria Methodology for Decision Aiding, Dordrecht, Kluwer Academic, 316 p.

<sup>7</sup> La condition de concordance peut se résumer ainsi : pour que le triplet A soit mieux classé que le triplet B, le triplet A devra avoir une performance au moins aussi bonne que celle du triplet B sur la plupart des critères.

<sup>8</sup> La condition de non-discordance peut se résumer ainsi : pour que le triplet A soit mieux classé que le triplet B, il ne doit pas y avoir plus d'écart entre les performances des critères du triplet A qu'entre les critères du triplet B.

<sup>9</sup> Schärlig, A., 1985. Décider sur plusieurs critères. Université de Lausanne

### 5.1.5 BILAN DES METHODES DE HIERARCHISATION

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des méthodes de hiérarchisation utilisables pour établir un programme de mesures de dépollution.

| Méthode de hiérarchisation   | Nature des critères       | Fonction de performance                     | Règle d'optimisation                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analyse coût-bénéfices       | Quantitatifs (en euros)   | Profit                                      | Profit le plus élevé possible                                                                                                                                                                                        |
| Multi-objectifs              | Quantitatif               | Fonction d'efficacité +<br>Fonction de coût | Optimisation de Pareto                                                                                                                                                                                               |
| Analyse multi-critères       | Qualitatif et quantitatif | Critères de performance                     | Note globale la plus élevée possible (agrégation totale).<br>Conditions de concordance et de non-discordance (agrégation partielle).<br>Minimisation de l'écart avec la combinaison objectif (agrégation itérative). |
| Maximisation sous contrainte | Quantitatif               | Fonction d'efficacité +<br>Fonction de coût | Efficacité la plus élevée possible sans dépasser un coût maximal préalablement fixé.                                                                                                                                 |

Tableau 1 : bilan des méthodes de hiérarchisation

## 5.2. TYPE DE RESULTATS RECHERCHES

Selon la méthode de hiérarchisation, les résultats peuvent être présentés de différentes façons. Le choix de la présentation des résultats ne doit pas être négligé en vue de construire un outil qui soit le mieux adapté aux besoins du gestionnaire. Nous retenons trois types de présentation pour l'élaboration de programmes de mesures.

### 5.2.1 LA MEILLEURE COMBINAISON

Cette option permet d'identifier, parmi toutes les combinaisons possibles, la meilleure combinaison. Le résultat se présente ainsi sous la forme d'une combinaison unique.

### 5.2.2 LA REPARTITION EN CLASSES

Ici, toutes les combinaisons de triplets sont passées en revue et classées dans différentes catégories ou classes en fonction de leur ratio coût-efficacité. On a alors une idée de l'écart de performance d'une combinaison selon qu'elle est positionnée dans une classe ou dans une autre. Les catégories peuvent être formulées, par exemple, comme « combinaisons très coût-efficaces », « combinaisons moyennement coût-efficaces », « combinaisons non coût-efficaces ». Si plusieurs combinaisons appartiennent à la première catégorie, il revient au gestionnaire de choisir celle qui est la mieux adaptée au contexte de l'agence.

### 5.2.3 DE LA MEILLEURE COMBINAISON A LA MOINS BONNE

Il s'agit dans ce cas d'ordonner les combinaisons de la meilleure à la moins bonne. Le résultat ainsi présenté permet au gestionnaire d'avoir un aperçu global sur l'ensemble des combinaisons. Par rapport à la présentation en classes, le rangement ne fournit aucune information sur la performance des combinaisons. Ainsi, une combinaison, même en première position, peut ne pas permettre la satisfaction des objectifs.

### 5.2.4 BILAN DES FAÇONS DE PRESENTER LES RESULTATS

Le Tableau 2 illustre les trois types de présentation des résultats retenus pour un programme de mesures.

Ensemble de combinaisons :

Combinaison a

Combinaison b

Combinaison c

Combinaison d

Combinaison e

Présentation des résultats

La meilleure combinaison

Combinaison c

Répartition en classes

| Classe 1 :<br>Coût-efficace    | Classe 2 :<br>Moyennement Coût-efficace | Classe 3 :<br>Non coût-efficace |
|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| Combinaison c<br>Combinaison b | Combinaison e<br>Combinaison a          | Combinaison d                   |

Rangement

1<sup>er</sup> Combinaison c

2<sup>ème</sup> Combinaison b

3<sup>ème</sup> Combinaison e

4<sup>ème</sup> Combinaison a

5<sup>ème</sup> Combinaison d

Tableau 2 : Types de résultats possibles pour un programme de mesures

## 6. PROPOSITION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Le problème posé par la DCE peut donc être envisagé de plusieurs façons. Cette partie présente les choix que nous avons effectués parmi les options possibles, dans le but de développer un outil d'aide à l'élaboration d'un programme de mesures adapté au contexte d'une l'Agence de l'eau.

### 6.1. L'EVALUATION DES COMBINAISONS DE MESURES

L'évaluation des combinaisons de triplets nécessite d'évaluer la performance environnementale et économique de chaque combinaison en tenant compte :

- des incompatibilités de triplets entre eux ;
- si compatibilité, de la non-linéarité des rendements de dépollution ;
- et des économies d'échelle et de gamme.

Cette tâche s'avère très consommatrice de temps et peut nécessiter l'intervention d'experts pour certaines associations de triplets.

La seule alternative possible dans l'état actuel des bases de données est d'évaluer la performance des combinaisons composées d'un seul triplet (voir Figure 1). La méthode de hiérarchisation devra alors être adaptée (voir plus loin) de façon à ce que l'outil respecte au mieux la demande de la DCE vis-à-vis la performance de coût-efficacité d'une combinaison de triplets.

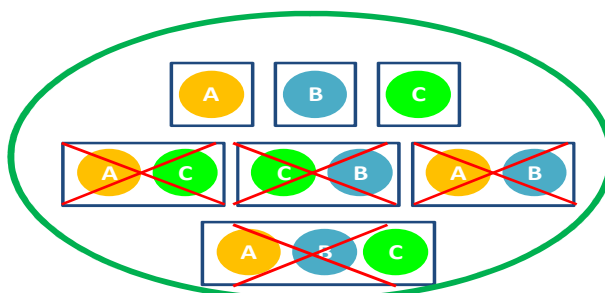


Figure 1 : Sélection des combinaisons composées d'un seul triplet

## 6.2. L'ENUMERATION DES COMBINAISONS PERTINENTES

Une base de données a été initiée cette année<sup>10</sup> afin de rassembler les informations disponibles<sup>11</sup> sur un maximum de triplets associés à des substances d'intérêt pour l'Agence de l'Eau RMC notamment.

L'énumération des combinaisons constituées d'un seul triplet correspond alors au nombre de triplets existants par substance dans cette base de données.

Un tri doit ensuite être effectué parmi ces « combinaisons » pour ne conserver que les combinaisons pertinentes pour la hiérarchisation. En effet, comme dit plus haut, dans certaines situations, il peut être techniquement impossible de mettre en œuvre un triplet. Dans le cas d'une pollution historique par exemple, il est inutile de conserver les mesures de substitution puisque la source émettrice de la substance n'existe plus.

Des critères de tri ont été établis avec l'aide de l'Agence RMC en procédant par la construction de l'arbre de décision ci-dessous.

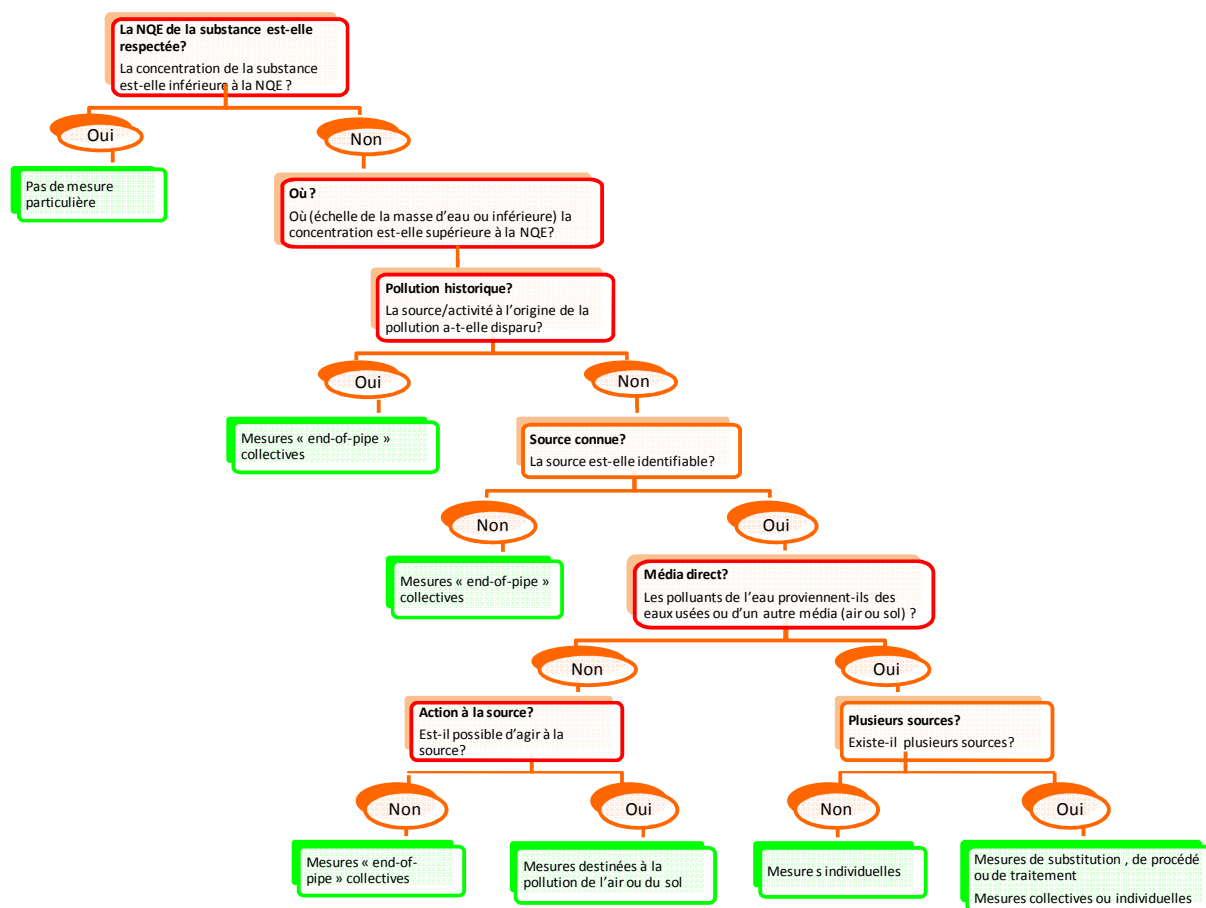


Figure 2 : Arbre de décision pour déterminer l'ensemble des triplets pertinents pour la hiérarchisation

Cet arbre se lit par substance de haut en bas. Les rectangles verts indiquent le type de mesures pertinentes pour la hiérarchisation.

<sup>10</sup> Base de données initiée en 2010 pour cette étude. Elle sera complétée en 2011.

<sup>11</sup> La performance des triplets sur chaque critère a été attribuée par l'INERIS de la même façon que dans le projet Socopse. Elle a été évaluée sur la base d'une note allant de 0 à 10 (10 étant la performance maximale). Les données sources proviennent des fiches technico-économiques de l'INERIS (<http://www.ineris.fr/substances/fr/page/14>), des BREF (<http://eippcb.jrc.es/reference/>) ainsi que de la base de données de SOCOPSE (<http://www.socopse.se/projectoutput/substancereportsandfinalersr.4.3d9ff17111f6fef70e9800054023.html>).

Il peut se dérouler, par exemple, comme suit :

- la concentration de HAP dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse est-elle supérieure à la NQE ?  
Si non, l'arbre de décision s'arrête là (pas de mesure particulière à mettre en œuvre)  
Si oui, alors dans quelles zones est-elle supérieure à la NQE ?
- Dans ces zones, la pollution est-elle historique ?  
Si la pollution est historique (ex : stock de HAP dans les sédiments), alors seules des mesures « end-of-pipe » collectives seront efficaces (ex : dragage et traitement des sédiments).  
Si la pollution est actuelle (ex : effluents de STEP), alors il est nécessaire de savoir si la source est identifiable/connue pour identifier les mesures efficaces (suite de l'arbre de décision).  
Si la pollution est en partie historique et en partie actuelle (par exemple en fonction des différentes zones de dépassement de la NQE), le gestionnaire peut agir sur les deux plans et poursuivre l'arbre de décision dans les deux branches.
- Pour les pollutions actuelles, la source est-elle connue ?  
Si non, alors seules les mesures end-of-pipe collectives seront efficaces (ex : mise en place de l'adsorption sur charbon actif dans la STEP).  
Si oui, alors il est important de différencier les sources qui émettent vers l'eau, le sol et/ou vers l'air pour savoir si l'Agence de l'Eau est compétente pour réduire ces émissions.
- La pollution est-elle émise vers l'eau directement ?  
Si non, i.e. elle est émise vers l'air ou le sol, alors l'Agence doit se renseigner auprès des organismes responsables de la gestion de ce type de pollution.  
Si oui, alors il est nécessaire de savoir si la pollution est ponctuelle ou diffuse. Si la pollution ne provient que d'un nombre très restreint de sources, i.e. pollution ponctuelle, les mesures individuelles seront efficaces. Si la pollution provient d'un nombre important de sources, i.e. pollution diffuse, l'Agence pourra choisir parmi l'ensemble des mesures recensées dans la base de données.

Ce jeu de questions-réponses permet finalement d'éliminer de la base de données les mesures (triplets en réalité) non pertinentes dans le contexte considéré par l'Agence de l'eau. Il est important de noter que ce tri s'effectue pour chaque ensemble de triplets associés à une même substance, i.e. on déroule l'arbre de décision pour chaque ensemble de triplets associés à une même substance (voir l'exemple de l'isoproturon du Tableau 3).

| Triplet N° | Source d'émission                       | Technologie d'abattement                   | Substance   |
|------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
| 1          | Utilisation de pesticide en Agriculture | Substitution avec le flupyrsulfuron-méthyl | Isoproturon |
| 2          | Utilisation de pesticide en Agriculture | Substitution avec le prosulfocarbe         | Isoproturon |
| 3          | Utilisation de pesticide en Agriculture | Substitution avec le pendiméthalin         | Isoproturon |
| 4          | Utilisation de pesticide en Agriculture | Inspection régulière des pulvérisateurs    | Isoproturon |
| 5          | Ruissellement en zone rurale            | Bandes enherbées                           | Isoproturon |
| 6          | Station d'épuration                     | Nanofiltration                             | Isoproturon |

Tableau 3 : Exemple de triplets pour l'isoproturon

Cet arbre de décision est apparu comme bien représentatif de l'ensemble des questions que se pose une Agence de l'Eau lorsqu'elle établit un programme de mesures.

Enfin, en vue de pouvoir dérouler cet arbre et effectuer le tri, la base de données des triplets en cours d'élaboration devra être conçue de façon à ce que l'énumération puisse se faire aisément. Ainsi, elle pourra comprendre les 4 critères de tri présentés dans le tableau suivant.



| Critères de tri ( <i>nom du critère dans la base de données</i> )                       | Modalités                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Récepteur direct du polluant ( <i>Media</i> )                                           | -Eau<br>-Air<br>-Sol                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Type de mesure ( <i>Type</i> )                                                          | -Substitution<br>-Mesure de procédé<br>-Mesure « end-of-pipe »<br>-Recyclage                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Echelle de la mesure ( <i>Indiv/Coll</i> )                                              | -Mesure individuelle (mesure traitant une source à la fois)<br>-Mesure collective (mesure traitant plusieurs sources à la fois)                                                                                                                                                                                                                       |
| Stade du cycle de vie de la substance auquel s'applique la mesure ( <i>Stadecycle</i> ) | -Production de la substance<br>-Utilisation de la substance en tant qu'intrant dans un procédé de fabrication<br>-Utilisation d'un produit contenant la substance<br>-Stade déchet du produit contenant la substance (distinction entre déchet primaire et déchet secondaire)<br>-La substance se trouve dans l'environnement (pollution historique). |

Tableau 4 : Critères de tri

Le renseignement des critères de tri est plus facile que celui des critères de performance puisqu'ils peuvent se déduire de la nature de la mesure (collective/individuelle, substitution/end-of-pipe,...) et de la nature du flux polluant (déchets liquides/solides,...).

Un échantillon de la base de données est visible en annexe I.

### 6.3. LA METHODE DE HIERARCHISATION

Afin de ne pas trop s'éloigner de l'esprit de la DCE, il est proposé de procéder en deux temps :

- 1) Hiérarchisation des « combinaisons » composées d'un seul triplet ;
- 2) A partir du classement obtenu, identification « à la main » de l'ensemble de triplets le plus coût-efficace.

Cette proposition ne représente pas de difficulté particulière dans la mesure où le gestionnaire souhaite élaborer un programme sur une substance uniquement. Cependant, s'il souhaite agir sur plusieurs substances, il devra procéder avec méthode afin de bien contrôler l'efficacité de l'ensemble de triplets pour chaque substance d'une part et le coût de l'ensemble compte tenu des économies d'échelle et de gamme qu'elle peut induire.

Concernant la première étape de hiérarchisation des triplets, la méthode d'analyse multicritère ELECTRE III (méthode de surclassement) est considérée comme la meilleure option. Plusieurs arguments justifient ce choix :

- *La volonté de non-compensation des critères.* Dans le cadre de l'élaboration de programmes de mesures, deux aspects sont en effet importants :
  - o Chaque critère de performance représente une caractéristique importante du triplet et indépendante des autres caractéristiques. Un critère ne doit donc pas compenser un autre critère. Par exemple, il n'est pas souhaitable qu'un triplet extrêmement efficace d'un point de vue strictement technique figure parmi les meilleurs triplets alors qu'il est économiquement à un prix inabordable pour une entreprise. Il faut, autre exemple, éviter qu'un triplet très efficace pour réduire les émissions de HAP (ex de l'osmose inverse) génère des co-effets négatifs très prononcés (augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>)...
  - o La qualité de la base de données actuelle serait de toute façon trop insuffisante pour permettre un système de classement basé sur la compensation des critères. Dans un tel système, la performance d'un critère,

même très incertaine, pourrait influencer sur le classement général du triplet.

Nous préférons donc avoir recours à un système non-compensatoire.

Dans les méthodes d'agrégation (type moyenne pondérée), une performance très médiocre sur un critère peut être totalement occultée par une très bonne performance sur un autre critère. Les méthodes d'agrégation partielles, dont ELECTRE III fait partie, permettent en revanche de ne pas avoir de compensation entre critères.

- La méthode ELECTRE III est également capable de produire une *hiérarchisation robuste sur des bases de données qualitatives et quantitatives* dont le niveau d'incertitude est relativement important.
- Enfin, cette méthode permet de présenter un *rangement de combinaisons de la meilleure à la moins bonne*. L'avantage d'une présentation des résultats sous forme d'un rangement est qu'elle donne une vue globale de l'ensemble des triplets. Aussi, elle a l'avantage de laisser une marge de manœuvre au gestionnaire et de bien adapter le programme de mesures au contexte local.

L'exemple suivant a pour but de montrer l'intérêt de la non-compensation des critères permise par ELECTRE III dans le cadre de l'élaboration d'un programme de mesures.

environnementales (*taux d'abattement de la substance, co-effets positifs, co-effets négatifs*) et un critère de performance économique (*coût*). Les performances de chaque triplet, exprimées via des notes allant de 0 à 20, sont données ci-dessous.

| Triplets | Taux d'abattement | Co-effets positifs | Co-effets négatifs | Coût |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|------|
| X        | 9.5               | 8.5                | 8.5                | 20   |
| Y        | 10.5              | 9.5                | 10                 | 16   |
| Z        | 10                | 11.5               | 10                 | 14   |

Sur la base de cette grille de performance, le choix d'un triplet n'est pas évident. En effet, aucun triplet ne dépasse les autres sur les 4 critères. En effectuant une moyenne, on obtient la note globale suivante pour chaque triplet.

| Triplet | Note moyenne | Rang |
|---------|--------------|------|
| X       | 11.625       | 1    |
| Y       | 11.5         | 2    |
| Z       | 11,375       | 3    |

Avec cette méthode d'analyse multicritères, le triplet X occupe la première place, suivie par le triplet Y et le triplet Z. Or, X est le plus mauvais sur les 3 critères environnementaux et c'est sa très bonne performance économique qui lui vaut sa première place. A l'inverse, le triplet Z qui est le seul à avoir une note supérieure à 10 sur les 4 critères se positionne en dernière place. En appliquant la méthode de surclassement ELECTRE III, les triplets sont rangés de la façon suivante :

| Rang | Action |
|------|--------|
| 1    | Y      |
| 2    | Z      |
| 3    | X      |

Le triplet Z passe en première position et le triplet X en dernière.

*Encart 7 : Non-compensation des critères dans ELECTRE III.*

Enfin, la hiérarchisation effectuée par Electre III peut être résumée par le graphique ci-après.

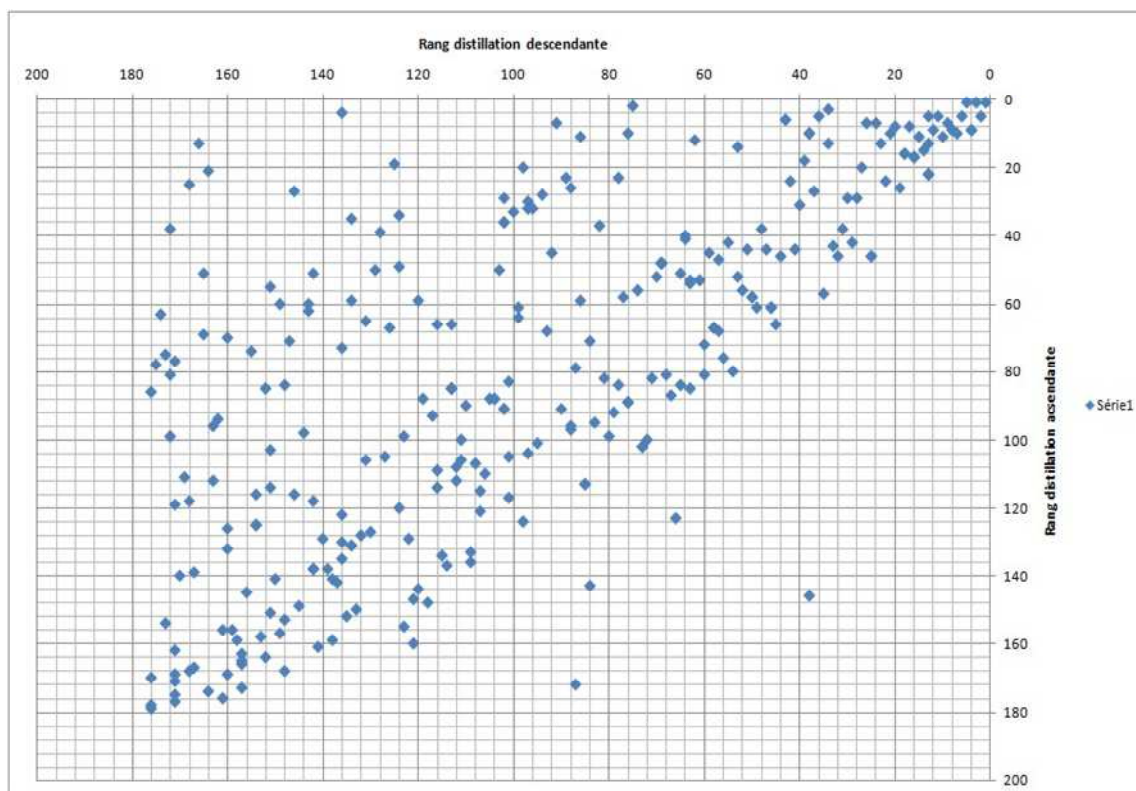


Figure 3 : Synthèse des comparaisons de triplets

Chaque point représente le classement d'un triplet en distillation descendante (abscisse) et en distillation ascendante (ordonnée). La distillation descendante consiste à effectuer une première hiérarchisation, à enlever le triplet le plus surclassant, puis à effectuer une nouvelle hiérarchisation sur les n-1 triplets et ainsi de suite.

La distillation ascendante repose sur le même principe mais en supprimant après chaque hiérarchisation, le triplet le plus déclassant.

Les meilleurs triplets, i.e. les triplets qui surclassent les autres triplets lors de la distillation descendante et ascendante, sont situés en haut à droite de ce graphique.

#### 6.4. LES CRITERES DE HIERARCHISATION

Chaque « combinaison » (chaque triplet) est évaluée sur la base de 6 critères : 2 critères de performances économiques et 4 critères de performance environnementale. Ces critères proviennent du projet européen Socopse<sup>12</sup> et ont été jugés pertinents par l'Agence de l'eau RMC.

Les critères économiques :

- Coût : Montant des coûts liés à la mise en œuvre de la mesure.
- Applicabilité de la mesure dans le secteur émetteur de la substance : Niveau de disponibilité de la mesure dans le secteur considéré.

Les critères environnementaux :

- Importance de l'émetteur de la substance : Indicateur de la part de responsabilité de la source émettrice du triplet dans l'émission globale de la substance.
- Taux de réduction des émissions de la substance par la mesure : Taux de réduction du flux de la substance suite à la mise en œuvre de la mesure.

<sup>12</sup> Ducos G., 2010, Note de synthèse sur le projet de recherche européen SOCOPSE - Rapport final

- Co-effets positifs : Ce critère permet de recenser l'ensemble des autres substances (autre que celle identifiée dans le triplet) sur lesquelles la mesure agit (à secteur donné). Ainsi, une mesure sera d'autant plus efficace qu'elle agit sur plusieurs substances.
- Co-effets négatifs : Ce critère indique les effets négatifs de la mesure sur le plan environnemental et sanitaire. Sur le plan environnemental, il s'agit par exemple d'évaluer la consommation énergétique de la mesure ou l'impact de la mesure sur la pollution atmosphérique ou la pollution des sols.

Les poids de chaque critère ont été attribués de la même façon que dans le projet Socopse, à savoir le même poids pour les critères environnementaux que pour les critères économiques (voir Tableau 5).

| Les critères économiques<br>Poids : 1/2 | Les critères environnementaux<br>Poids : 1/2 |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| ✓ Coût<br>Poids : 2/3                   | ✓ Importance de l'émetteur<br>Poids : 1/3    |
| ✓ Disponibilité<br>Poids : 1/3          | ✓ Taux de réduction<br>Poids : 1/3           |
|                                         | ✓ Co-effets positifs<br>Poids : 1/6          |
|                                         | ✓ Co-effets négatifs<br>Poids : 1/6          |

*Tableau 5 : Critères et leurs poids*

Ces critères et poids ont été discutés avec l'Agence RMC.

Un échantillon de la base de données sur les triplets avec leurs critères de performance correspondants est présenté en annexe II.

## 6.5. SYNTHÈSE DE L'OUTIL

L'outil proposé peut être résumé de la façon suivante :

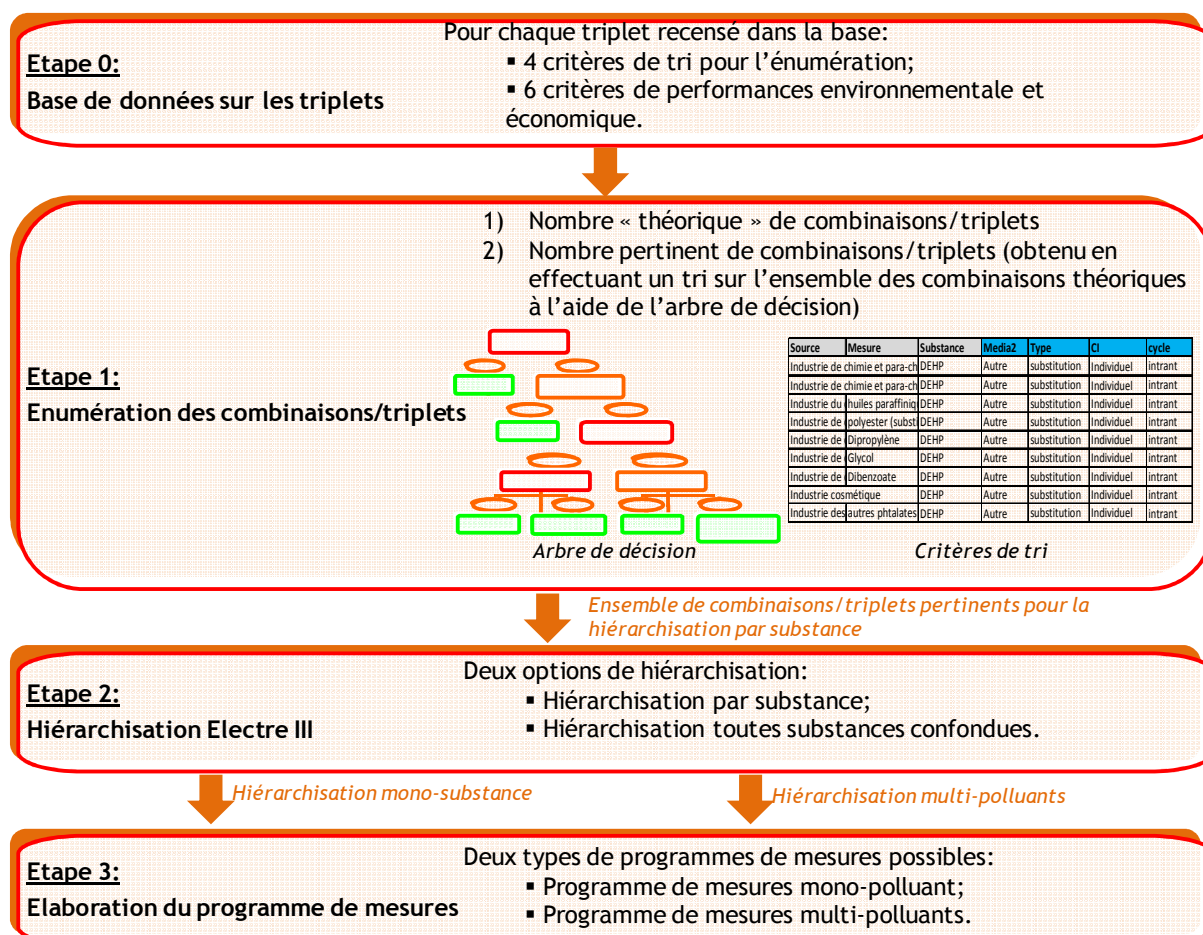


Figure 4 : Synthèse du nouvel outil

Concernant l'étape 3 :

- Si le gestionnaire souhaite élaborer un programme de mesures pour une substance, il lui suffira de construire un programme de mesures à partir des triplets figurant en haut du classement mono-substance, en faisant en sorte que la combinaison choisie soit la plus coût-efficace.
- Si le gestionnaire doit traiter plusieurs substances dans son programme de mesures, il devra procéder comme suit :
  - o Effectuer la hiérarchisation par triplet,
  - o Sur la base de cette hiérarchisation, choisir les triplets les plus pertinents dans le contexte en question pour chaque substance,
  - o Evaluer les différentes combinaisons possibles à partir de ces triplets,
  - o Identifier à dire d'expert la combinaison la plus coût-efficace. Le dire d'expert semble seule méthode praticable, car on ne dispose pas actuellement d'outils permettant systématiquement de comparer et d'additionner l'efficacité de mesures agissant sur des substances ayant des caractéristiques éco-toxicologiques différentes. Une autre difficulté est de prendre en compte, dans l'estimation économique d'un programme de mesures, l'effet qu'une mesure ciblant une substance en particulier peut également avoir sur d'autres substances.

## **7. CONCLUSION**

### **7.1. AVANTAGES DE L'OUTIL**

#### **Adapté au contexte local du gestionnaire**

Comme dit en introduction, la base de données de l'outil Socopse a été conçue avec des données européennes et ne permet pas de prendre en compte les particularités de la zone considérée par l'Agence de l'eau.

La base de l'outil actuel est en revanche liée à une base de données établie sur des données françaises en premier lieu et éventuellement complétées par des données internationales. La base de données comprend en outre des critères supplémentaires discutés avec l'Agence de l'eau RMC qui permettent d'effectuer un tri (guidé par l'arbre de décision) et de ne travailler qu'avec les mesures ayant un intérêt pour la zone considérée.

Le gestionnaire peut également remplacer les données de la base avec ses propres données.

#### **Simple et rapide**

La prise en main de cet outil est rapide. Il ne nécessite pas de capacité de stockage importante. Les résultats apparaissent quasi immédiatement.

#### **De multiples utilisations possibles**

L'outil permet d'élaborer un programme de mesures mono-polluant ou multi-polluants sur la base du classement des triplets, selon le besoin du gestionnaire.

Le programme de mesures ainsi établi peut servir de base de discussion avec les parties prenantes en vue de définir le programme de mesures qui sera intégré dans le SDAGE de l'Agence.

L'outil peut également servir à l'élaboration des « scénarios » simulés par des modèles hydrologiques comme c'est le cas dans le projet européen Aquarehab.

### **7.2. LIMITES ET PERSPECTIVES D'EVOLUTION DE L'OUTIL**

#### **Amélioration de la richesse et du réalisme de la base de données sur les mesures**

La base de données actuelle nécessite d'être complétée au moins à trois niveaux :

- Elle doit être complétée sur les triplets déjà recensés (DEHP, HAP, isoproturon, tétrachlorure de carbone, nickel, trichloroéthylène et tétrachloroéthylène),
- Elle doit être plus exhaustive, autrement dit, une recherche serait nécessaire pour recenser l'ensemble des triplets existants pour les substances considérées aujourd'hui,
- Elle devrait aussi être élargie à d'autres substances préoccupantes dans les bassins versants français.

#### **Encore des progrès à réaliser pour l'évaluation de la performance d'un programme de mesures multi-polluants**

La limite la plus importante de cet outil est la prise en compte des combinaisons ne contenant qu'un triplet, et non pas de toutes les combinaisons possibles à partir de l'ensemble pertinent de triplets. Cela a pour conséquence d'effectuer une hiérarchisation de triplets individuels substance par substance ou toutes substances confondues. Il n'est donc pas possible de dire si le programme de mesures multi-polluants établi sur la base des meilleurs triplets par substance est le plus coût-efficace.

Il serait nécessaire de mettre en place un système d'évaluation simple et rapide permettant d'attribuer une performance environnementale et économique à chaque combinaison de triplets pour améliorer sensiblement la qualité de l'outil.

La question est complexe. Pour les performances environnementales, une solution pourrait être de bâtir un indicateur permettant d'additionner des performances de réduction des émissions sur des substances ayant des caractéristiques éco toxicologiques différentes.

Certaines méthodes ont pu être proposées, notamment dans le cadre des Analyses de Cycle de Vie, mais elles sont actuellement encore très rudimentaires.

### **Pas d'information sur l'atteinte du bon état chimique**

Le programme de mesures issu de cet outil est conçu pour réduire les flux de substances polluantes au moindre coût mais l'outil n'informe pas le gestionnaire sur l'atteinte des Normes de Qualité Environnementale. La combinaison de l'outil avec un modèle hydrologique permettrait de combler une telle lacune (le projet Aquarehab évoqué plus haut cofinancé par l'ONEMA permettra de réaliser une telle combinaison).

### **Le système de notation des performances devra être amélioré**

La méthode d'évaluation des performances n'est pas encore bien établie. Le système de notation sur une échelle de 0 à 10 n'est en effet pas satisfaisant, notamment parce qu'il génère une perte d'information importante lors de la traduction de l'information brute en valeurs de performance.

Il serait sans doute intéressant d'améliorer ce système pour, notamment, intégrer les valeurs de performance initialement en absolu (montant des investissements par exemple) tout en ne faisant pas de double comptage comme dans le cas des mesures de traitement collectif.

L'ensemble de la démarche doit être validé de manière plus approfondie

Même si une Agence de l'eau a suivi le développement de cet outil, la démarche générale ainsi que les divers choix méthodologiques (choix de la méthode de hiérarchisation, des critères et de leur poids,...) nécessitent d'être validés auprès d'un panel d'utilisateurs élargi.

**En 2011**, la base de données qui comprend actuellement 324 triplets pour 7 substances polluantes<sup>13</sup> sera enrichie. Une application de l'outil sera également effectuée auprès d'un groupe de travail élargi (Agences de l'Eau, ONEMA) dans une logique de validation.

### **Intégration de la démarche dans un outil intégré d'aide à la décision**

L'outil proposé ici vient compléter la panoplie des outils d'aide à la décision déjà existants pour élaborer un programme de mesures. Le Tableau 6 montre comment il se situe par rapport aux autres outils auxquels l'INERIS contribue.

|                                       | Modélisation hydrologique        | Analyse technico-économique                                 |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Gestion à l'échelle du bassin versant | PEGASE<br>SENEQUE                | Outil SOCOPSE et son adaptation française (présent rapport) |
| Gestion des rejets industriels locaux | SENEQUE<br>Autres modèles locaux | Tableau de bord des flux                                    |

*Tableau 6 : Outils d'aide à la décision pour l'élaboration d'un programme de mesures*

Chacun de ces outils apporte des éléments utiles à la construction d'un programme de mesures :

- Concentrations de substances polluantes dans les masses d'eau pour les modèles hydrologiques ;
- Identification de la combinaison de mesures la plus coût-efficace pour les outils type Socopse, l'efficacité étant en terme de réduction maximale du flux de substance polluante ;
- Correspondance entre les concentrations et les flux de substances polluantes pour le tableau de bord.

---

<sup>13</sup> DEHP, HAP, isoproturon, tétrachlorure de carbone, nickel, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène



Il importe à présent de mettre ces différentes briques en cohérence les unes avec les autres afin d'avoir un outil intégré d'aide à la décision.

Le projet Aquarehab se situe dans cette perspective. Il consiste à mettre en relation un modèle hydrologique de bassin versant produisant des concentrations avec un modèle technico-économique produisant des combinaisons de mesures coût-efficaces. L'outil d'analyse multicritère du présent rapport sera d'ailleurs intégré dans ce méta-modèle. La question de l'évaluation des combinaisons de mesures sera également au cœur des réflexions.

**Annexe I : Echantillon de la base de données, section « critères de tri »**

| N° triplet | Source                                                                      | Mesure                                 | Substance           | Media | Type         | Indiv/Coll | Stade cycle   |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-------|--------------|------------|---------------|
| 6          | Industrie de chimie et para-chimie                                          | Glycol                                 | DEHP                | Autre | substitution | Individuel | intransit     |
| 54         | Industrie du textile                                                        | benzoates                              | DEHP                | Autre | substitution | Individuel | intransit     |
| 77         | Produits contenant du DEHP : Polymères PVC pour usages extérieurs (voir les |                                        | DEHP                | Autre |              |            | utilisation   |
| 92         | STEP                                                                        | bassin de décantation primaire + tra   | DEHP                | Eau   | mesure secon | Collectif  | déchet primai |
| 107        | Déchets laissées sur les voiries, chauss                                    | nettoyage des voiries                  | DEHP                | Eau   | mesure secon | Collectif  | déchet primai |
| 110        | Déchets laissées sur les voiries, chauss                                    | réduire la concentration par des tech  | DEHP                | Eau   | mesure secon | Collectif  | déchet primai |
| 113        | Industrie du pneu et caoutchouc                                             | substitution de l'huile : TDAE (Treat  | HAP                 | Autre | substitution | Individuel | intransit     |
| 119        | Créosote (traitement du bois)                                               | Formulation à base de sel de chrome    | HAP                 | Autre | substitution | Individuel | intransit     |
| 122        | Créosote (traitement du bois)                                               | Traitement par imprégnation d'huile    | HAP                 | Autre | substitution | Individuel | intransit     |
| 263        | Industrie de chimie et para-chimie                                          | Adsorption sur charbon actif           | Trichloroéthylène   |       | mesure secon | Individuel | production    |
| 288        | Industrie de la métallurgie                                                 | filtre à air au charbon actif          | Tetrachloroéthylène |       | mesure secon | individuel | déchet primai |
| 297        | Industrie de chimie et para-chimie                                          | oxydation thermique                    | Tetrachloroéthylène |       | mesure secon | individuel | déchet primai |
| 313        | Industrie du textile                                                        | recondensation des COV concentrés      | Tetrachloroéthylène |       | recyclage    | individuel | déchet primai |
| 317        | Mécanique et traitement de surfaces                                         | Filtration sur membrane : Ultra filtra | Trichloroéthylène   |       | mesure secon | individuel | déchet primai |
| 322        | Industrie du papier                                                         |                                        | isoproturon         |       |              |            | déchet primai |

**Annexe II : Echantillon de la base de données, section « critères de performances environnementale et économique »**

| N° triplet | Source                                                                      | Mesure                                 | Substance        | taux reduc | share_eau | Co-effets + | Co-effets - | Coûts | Dispo |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------|-------|
| 6          | Industrie de chimie et para-chimie                                          | Glycol                                 | DEHP             | 1,00       | 0,00      | 0           | 3           | 5     | 4     |
| 54         | Industrie du textile                                                        | benzoates                              | DEHP             | 1,00       | 0,00      | 0           | 4           | 7     | 4     |
| 77         | Produits contenant du DEHP : Polymères PVC pour usages extérieurs (voir les |                                        | DEHP             |            | 10        |             |             |       |       |
| 92         | STEP                                                                        | bassin de décantation primaire + tra   | DEHP             | 0,90       | 0,00      | 0           | 1           | 7     | 4     |
| 107        | Déchets laissées sur les voiries, chauss                                    | nettoyage des voiries                  | DEHP             | 0,70       | 0,20      | 1           | 1           | 4     | 5     |
| 110        | Déchets laissées sur les voiries, chauss                                    | réduire la concentration par des tech  | DEHP             | 0,80       | 0,20      | 1           | 1           | 2     | 1     |
| 113        | Industrie du pneu et caoutchouc                                             | substitution de l'huile : TDAE (Treat  | HAP              | 1,00       | 0,00      | 0           | 2           | 8     | 2     |
| 119        | Créosote (traitement du bois)                                               | Formulation à base de sel de chrome    | HAP              | 1,00       | 0,00      | 0           | 2           | 9     | 5     |
| 122        | Créosote (traitement du bois)                                               | Traitement par imprégnation d'huile    | HAP              | 1,00       | 0,00      | 0           | 5           | 5     | 4     |
| 263        | Industrie de chimie et para-chimie                                          | Adsorption sur charbon actif           | Trichloroéthylèr | 0,90       | 0,00      | 0           | 4           | 3     | 5     |
| 288        | Industrie de la métallurgie                                                 | filtre à air au charbon actif          | Tetrachloroéthyl | 0,50       | 0,00      | 0           | 1           | 8     | 5     |
| 297        | Industrie de chimie et para-chimie                                          | oxydation thermique                    | Tetrachloroéthyl | 0,96       | 0,00      | 1           | 1           | 7     | 5     |
| 313        | Industrie du textile                                                        | recondensation des COV concentrés      | Tetrachloroéthyl | 0,80       | 0,00      | 0           | 1           | 8     | 4     |
| 317        | Mécanique et traitement de surfaces                                         | Filtration sur membrane : Ultra filtra | Trichloroéthylèr | 1,00       | 0,00      | 1           | 2           | 6     | 5     |
| 322        | Industrie du papier                                                         |                                        | isoproturon      |            | 4,0       |             |             |       |       |

Onema  
Hall C – Le Nadar  
5 Square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

Ineris  
Parc Technologique Alata  
BP 2  
60550 Verneuil-en-Halatte  
03 44 55 66 77  
[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)