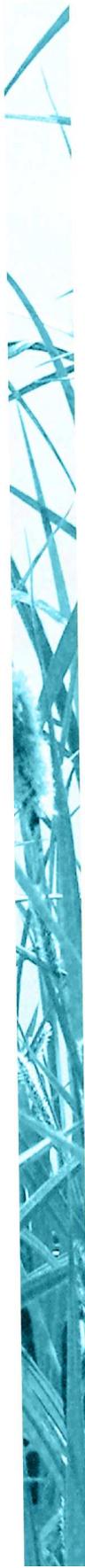


Partenariat 2013.
Domaine : Fiche thématique 16
Action C2 : Programmation à l'échelle des grands bassins versants



Analyse multicritère pour le choix d'actions de réduction des émissions

*Etude pilote menée en
collaboration avec l'Agence de
l'Eau Rhin-Meuse*

INERIS
*Pierre Boucard
Aurélien Gouzy
Cynthia Denize*

Agence de l'Eau Rhin-Meuse
*Nathalie Delavie
Stéphane Petitgenet
Claire Riou*

Contexte de programmation et de réalisation

Cadre : Convention ONEMA-INERIS 2013
Commanditaires et financeurs : ONEMA

Les auteurs

Pierre Boucard, Aurélien Gouzy, Cynthia Denize
pierre.boucard@ineris.fr
Parc technologique ALATA
BP2
60550 Verneuil-en-Halatte

Nathalie Delavie, Stéphane Petitgenet, Claire Riou
Route de Lessy
57160 Rozérieulles

Les correspondants

Onema : Pierre-François, Staub, DAST, pierre-francois.staub@onema.fr

Référence du document : Convention ONEMA-INERIS 2013

Partenaire : Pierre Boucard, INERIS, pierre.boucard@ineris.fr

Référence du document : DRC-14-136882-05634A

| Approbation INERIS | Approbation ONEMA |
|--|-------------------------------|
| Mme Laurence ROUIL Direction des Risques Chroniques 13/06/2014 | Pierre-François STAUB DAST |

| | |
|----------------------------------|--|
| Droits d'usage : | <i>Accès libre</i> |
| Couverture géographique : | <i>Bassins du Rhin et de la Meuse</i> |
| Niveau géographique : | <i>Régional</i> |
| Niveau de lecture : | <i>Professionnels, Experts</i> |
| Nature de la ressource : | <i>Document, Base de données, Tableau de données</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.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| Résumé..... | 5 |
| Abstracts | 6 |
| Synthèse pour l'action opérationnelle | 7 |
| 1. Glossaire..... | 10 |
| 2. Liste des tableaux et des figures | 10 |
| 3. Introduction | 12 |
| 4. L'analyse multicritère comme outil de hiérarchisation..... | 12 |
| 5. Le choix d'une substance : le Nickel | 13 |
| 6. Inventaire des sources de rejets de Nickel | 13 |
| 6.1 Inventaire des rejets ponctuels..... | 14 |
| 6.1.1 Méthodologie..... | 14 |
| 6.1.2 Panorama et sources prises en compte dans l'étude..... | 14 |
| 6.2 Inventaire des rejets diffus : le cas des rejets agricoles..... | 16 |
| 6.2.1 Panorama des rejets diffus | 16 |
| 6.2.2 Inventaire des rejets diffus d'origine agricole : méthodologie | 17 |
| 6.2.3 Engrais minéraux et Déjections animales..... | 18 |
| 6.2.3 Inventaire des rejets diffus d'origine agricole : résultats | 23 |
| 7. Inventaire des mesures de réduction des rejets | 25 |
| 7.1 Mesures applicables aux sources de rejets ponctuels | 25 |
| 7.2 Mesures applicables aux STEP..... | 26 |
| 7.3 Mesures applicables aux rejets diffus..... | 27 |
| 7.4 Bilan des mesures prises en compte dans l'étude | 27 |
| 8. Exercice de hiérarchisation | 29 |
| 8.1 Choix des critères et pondération : | 30 |
| 8.2 Méthodologie et évaluation | 31 |
| 8.2.1 Les critères environnementaux | 31 |
| 8.2.2 Les critères économiques | 34 |
| 8.2.3 Le critère socio-économique | 36 |
| 8.3 choix de la méthode de hiérarchisation..... | 36 |
| 8.3.1 L'analyse coûts-bénéfices..... | 37 |
| 8.3.2 Maximisation sous contrainte..... | 37 |
| 8.3.3 L'analyse multicritère | 37 |
| 9. Mise en œuvre de l'AMC | 40 |
| 10. Conclusions et perspectives pour 2014 | 42 |
| 11. Annexe : Triplets et hiérarchisation ELECTRE..... | 44 |

Etude pilote pour le choix d'actions de réduction des émissions à l'aide d'un outil d'analyse multicritère – collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Pierre Boucard

Résumé

Résumé

Le travail présenté dans ce rapport vise à développer un outil d'aide à la définition d'un Programme De Mesures (PDM) fondé sur l'analyse multicritère et à destination des Agences de l'Eau.

Une collaboration a ainsi été initiée avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dans le cadre d'un travail portant spécifiquement sur les bassins du Rhin et de la Meuse, et spécifiquement sur les pollutions au Nickel.

Ce rapport détaille les différentes étapes de la mise en œuvre de l'analyse multicritère en en spécifiant les enjeux méthodologiques, ceux qui ont trouvé une réponse appropriée comme ceux qui devront faire l'objet d'une étude approfondie en 2014.

Cette étude repose en particulier sur :

- La prise en compte de 39 sources de rejets de Nickel ponctuelles, représentant plus de 90% des rejets ponctuels sur la zone d'étude (inventaire fourni par AE R-M) ;
- L'estimation des rejets diffus d'origine agricole ;
- L'inventaire d'une dizaine de mesures de réduction de rejets de Nickel applicables aux sources préalablement identifiées ;
- L'évaluation de la performance des ces mesures selon 5 critères environnementaux et socio-économiques ;
- L'exercice de hiérarchisation au moyen du logiciel ELECTRE.

Elle s'inscrit dans un travail ayant débuté en 2012 et qui sera développé en 2014. Dans le cadre d'une collaboration approfondie avec l'AE-RM, l'ambition sera en particulier d'intégrer de nouvelles substances à notre étude (cuivre, zinc, mercure...), de nouvelles sources de rejets diffus et de développer le travail d'évaluation de la performance des mesures de réduction des rejets identifiées.

Mots clés

Analyse Multicritère, Programme de Mesures, Coût-efficacité, Bassin du Rhin, Bassin de la Meuse, Aide à la décision, Nickel

**Etude pilote pour le choix d'actions de réduction des émissions à l'aide d'un outil
d'analyse multicritère – collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse**
Pierre Boucard

Abstracts

Abstracts

This report presents the development of a decision support tool designed for the definition of a « program of measures » for the Water Framework Directive. It is based on a multi-criteria analysis and designed for French Water Agencies.

This report refers to a case study: the prioritization of measures to reduce emissions of nickel (Ni) in the basins of the Meuse and the Rhine.

It presents the different steps in the implementation of the multi-criteria analysis, and gives special attention to methodological issues (some of which were solved, and other would be further studied in 2014).

This study includes:

- The integration of 39 point sources of Ni emissions on the case-study area (data provided by AE R-M);
- The calculation of diffuse agricultural emissions;
- The inventory of a dozen of measures appropriate to reduce Ni emissions;
- The evaluation of their performances with regard to 5 environmental and socio-economic criteria;
- The ranking performed with ELECTRE.

This study paves the way for future developments. In 2014 the collaboration with AE Rhin-Meuse will be developed in order to tackle such issues as: the integration of several new substances in our tool (Cu, Zn, Hg...); the calculation of news diffuse emissions; the development of the evaluation of the measures' performances.

Key words (thematic and geographical area)

Multicriteria Analysis, Program of measures, Cost efficiency, Rhine basin, Meuse basin, Decision support, Nickel

Etude pilote pour le choix d'actions de réduction des émissions à l'aide d'un outil d'analyse multicritère – collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Pierre Boucard

Synthèse pour l'action opérationnelle

Le travail présenté dans ce rapport vise à développer un outil d'aide à la définition d'un Programme De Mesures (PDM) fondé sur l'analyse multicritère et à destination des Agences de l'Eau.

Une collaboration a été initiée avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dans le cadre d'un travail portant spécifiquement sur les bassins du Rhin et de la Meuse, et sur les pollutions au Nickel.



Bassins de la Meuse et du Rhin (parties françaises)

Ce rapport détaille les différentes étapes de la mise en œuvre de l'analyse multicritère en en spécifiant les enjeux méthodologiques.

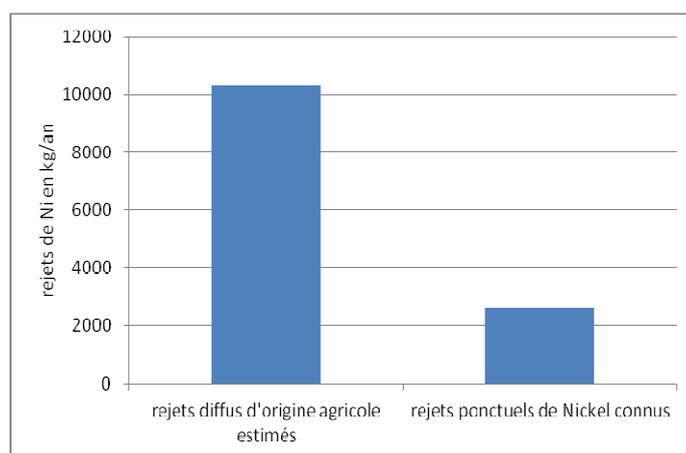
Ces étapes sont :

- L'inventaire des sources de rejets de nickel vers les eaux superficielles.
- L'inventaire des mesures de réduction des rejets applicables aux sources identifiées.
- L'évaluation de ces mesures selon cinq critères socio-économiques jugés pertinents.
- L'exercice de hiérarchisation multicritère lui-même.

L'inventaire des sources de rejets est constitué de :

- L'inventaire des sources ponctuelles fourni par l'AE-RM ;
- L'inventaire des rejets diffus que nous avons établi en se limitant pour cette première étude aux rejets agricoles.

Il ressort de cette partie que les rejets diffus constituent la plus grande part des rejets de Ni dans les eaux du territoire d'étude.



Rejets de Ni vers les eaux des bassins du Rhin et de la Meuse

L'inventaire des mesures de réduction des rejets s'est appuyé sur des données récentes et particulièrement sur plusieurs études technico-économiques fournies par des industriels français des secteurs de la sidérurgie et de la chimie dans le cadre de la circulaire du 5 janvier 2009 relative aux actions de recherche et de réduction des substances dangereuses dans les rejets aqueux des installations classées.

L'analyse multicritère repose sur cinq critères reflétant les enjeux de coût-efficacité que l'on doit associer à un programme de mesures : le coût des mesures, leur efficacité, leur disponibilité, leur acceptabilité par les acteurs responsables des rejets et leurs éventuels co-effets (réduction conjointe des émissions d'autres substances, impact environnemental...).

| Catégorie | Critères | Pondération |
|--|-----------------------------------|-------------|
| Critères économiques (poids : 1/3) | Coût | 1/2 |
| | Disponibilité | 1/2 |
| Critères environnementaux (poids : 1/3) | Importance de l'émetteur | 1/3 |
| | Efficacité | 1/3 |
| | Effets collatéraux | 1/3 |
| Contexte socio-économique (poids : 1/3) | Acceptabilité locale de la mesure | 1 |

Choix des critères pour l'analyse multicritère (pondérations arbitraires dans le cadre de cette étude pilote)

Un premier exercice de hiérarchisation a enfin été mené à l'aide du logiciel ELECTRE III. Avec toutes les précautions dues aux nombreuses hypothèses formulées au long de cette étude « pilote », les premiers résultats indiquent que :

- Les actions les plus pertinentes touchent les principales sources de rejets ponctuels et sont cohérentes avec les mesures plébiscitées dans le cadre des études technico-économiques fournies par les industriels.
- Les solutions de réduction des rejets diffus apparaissent mal classées, en particulier du fait des hypothèses faites quant à leur coût et à la difficulté de leur mise en œuvre, qui sont pour le moment assez arbitraires.

Toutefois, certaines étapes de notre travail mériteront d'être approfondies en 2014, en collaboration avec l'AE R-M, particulièrement :

- L'identification et l'évaluation des mesures pouvant être mises en œuvre pour diminuer les rejets diffus, en se basant par exemple sur les discussions et études en cours dans l'UE sur l'évolution des teneurs en métaux admissibles dans les engrais.
- La prise en compte de la situation précise des sources ponctuelles les plus importantes du bassin, et notamment des mesures de réduction qu'elles auraient déjà mises en œuvre.
- Et l'évaluation de l'acceptabilité des mesures.

Ceci devra être fait en intégrant par ailleurs de plusieurs nouvelles substances à notre étude (Cu, Zn).

Etude pilote pour le choix d'actions de réduction des émissions à l'aide d'un outil d'analyse multicritère – collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Pierre Boucard

1. GLOSSAIRE

| | |
|---------|---|
| ADEME | Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie |
| AE R-M | Agence de l'Eau Rhin-Meuse |
| Agreste | Statistique Agricole Française (Ministère en charge de l'Agriculture) |
| AMC | Analyse Multicritère |
| ANPEA | Agence Nationale Professionnelle pour les Engrais et les Amendements |
| CIPR | Commission Internationale pour la Protection du Rhin |
| DCE | Directive Cadre sur l'Eau |
| DRIEE | Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie |
| ETM | Eléments Traces Métalliques |
| FTE | Fiche Technico-Economique |
| g | Gramme |
| kg | Kilogramme |
| MS | Matière sèche |
| Ni | Nickel |
| NQE | Norme de Qualité Environnementale |
| PDM | Programme de Mesure |
| SIERM | Système d'Information sur l'Eau Rhin-Meuse |
| STEU | Station d'Epuration des Eaux Usées |
| t | Tonne |
| UNIFA | Union des Industries de la Fertilisation |
| Zn | Zinc |

2. LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Inventaire des principales sources de Nickel dans les bassins du Rhin et de la Meuse..... | 15 |
| Tableau 2 : Principaux secteurs d'activités concernés par les rejets de Ni dans les bassins du Rhin et de la Meuse (* ne tient compte que des 39 sources étudiées)..... | 16 |
| Tableau 3 : Méthodologie appliquée pour le calcul des rejets diffus issus des activités agricoles..... | 18 |
| Tableau 4 : Coefficients de normalisation des données départementales et régionales utilisées dans l'étude..... | 20 |
| Tableau 5 : Evaluation des quantités d'engrais minéraux épandus dans le bassin Rhin-Meuse et quantité de Nickel associée | 21 |
| Tableau 6 : Calcul de la teneur en Ni des effluents du sous-groupe "ovins, caprins, équins" ... | 22 |
| Tableau 7 : Emission de Ni vers les terres agricoles dues aux engrais organiques (2012)..... | 23 |
| Tableau 8 : estimation des variables associées à l'érosion éolienne..... | 23 |
| Tableau 9 : estimation des variables associées au ruissellement..... | 24 |
| Tableau 10 : estimation des variables associées à l'érosion des sols..... | 24 |
| Tableau 11 : estimation des variables associées au drainage | 24 |
| Tableau 12 : bilan des émissions diffuses d'origine agricole | 25 |
| Tableau 13 : Contribution moyenne des différentes activités urbaines à l'enrichissement en Ni des eaux usées (source : Bouallegue, [2010])..... | 27 |
| Tableau 14 : Applicabilité des mesures de réduction de rejet du Ni dans les différents secteurs étudiés | 29 |

| | |
|---|-----------|
| Tableau 15 : Inventaire des critères retenus pour l'évaluation des triplets | 30 |
| Tableau 16 : inventaire des sources de Ni et évaluation pour l'AMC | 32 |
| Tableau 17 : Evaluation des mesures selon le critère d'efficacité (* : évaluations incertaines). | 33 |
| Tableau 18 : Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines) | 34 |
| Tableau 19 : Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines) | 35 |
| Tableau 20: Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines) | 36 |
| Tableau 21 : Exemple de triplets "substance-source-mesure" | 41 |
| Tableau 22 : Ensemble des triplets "substance-source-mesure" | 50 |
| Tableau 23 : Rang final des 178 triplets de notre étude selon la hiérarchisation par la méthode ELECTRE III/IV | 51 |

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 (PDM) qui, pour être établis, s'appuient sur des données concernant les émissions, les coûts, les bénéfices, et la faisabilité des mesures envisagées de réduction des émissions. Sur la base de ces données, un outil multicritère peut aider le gestionnaire à définir des priorités, et identifier les mesures les plus aptes à entrer dans son programme de mesures.

Le travail engagé ici par l'INERIS à la demande de l'ONEMA répond à cette perspective et vise à développer un outil d'aide à la définition d'un PDM fondé sur l'analyse multicritère à travers un cas d'étude pilote : la hiérarchisation des mesures de réduction des émissions de nickel (Ni) dans les bassins du Rhin et de la Meuse.

La définition de ce cas d'étude a naturellement découlé de :

- La volonté de capitaliser sur l'expérience acquise par l'unité EDEN en matière de choix de stratégies de réduction des émissions de polluants (notamment au travers du projet européen Socopse auquel avait collaboré l'INERIS, et qu'avait cofinancé l'ONEMA, et dans lequel les bases d'un outil multicritère avaient été élaborées¹) mais également en matière de méthodologies d'inventaire des émissions de polluants vers les eaux de surface.
- La nécessité de réaliser une étude simple, basée sur la recherche d'une stratégie mono-polluant, afin de clarifier une méthodologie générale, transférable aisément à de nouveaux cas d'études.
- L'importance de faire intervenir une Agence de l'Eau durant le processus d'élaboration de l'outil afin d'assurer son adaptation aux besoins des gestionnaires de l'eau français et sa cohérence avec leur expertise de terrain.

Tout au long de ce rapport, le développement du cas d'étude permettra d'illustrer les étapes fondamentales de la mise en œuvre de l'analyse multicritères, du choix des substances étudiées à celui des sources et à l'étude des actions de réduction existantes.

En 2014, le travail de développement méthodologique et d'aide à la décision ainsi initié et présenté dans ce rapport sera approfondi en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Il s'agira en particulier d'étendre l'étude à de nouvelles substances en prenant en compte les effets de synergie éventuels, une mesure pouvant agir sur plusieurs substances. Par ailleurs, l'inventaire des émissions ponctuelles et diffuses pourra être approfondi dans le cadre de cette nouvelle étude.

4. L'ANALYSE MULTICRITERE COMME OUTIL DE HIERARCHISATION

L'objectif de cette étude pilote est de développer un outil pouvant servir de support à la définition d'un Programme de Mesures. Elle s'inscrit dès lors dans le cadre conceptuel de plusieurs études menées ces dernières années à l'INERIS et ayant eu pour objectif de hiérarchiser des actions de dépollution² ou de réductions de rejets polluants³.

¹ Cf. le rapport final "SOCOPSE WP3 : Emission Reduction Strategy Report"

² Voir par exemple FP7 Socopse et FP7 Aquarehab

³ Voir Boucard P., Gouzy A. et Le Gall A.-C., 2013, « Analyse multicritère pour le choix d'action de réduction des émissions – Etude pilote menée sur le bassin de la Saône », convention ONEMA-INERIS 2012.

Nous reprendrons le formalisme développé dans ces études.

Il s'agira ainsi de hiérarchiser des *actions* entendues comme des triplets « *substance – source - mesure* » dans lesquels les *mesures* sont entendues comme des solutions technologiques ou organisationnelles appliquées au niveau de *sources* de rejets polluants et permettant de limiter les émissions d'une *substance* identifiée.

Les trois parties suivantes du rapport seront respectivement consacrées aux trois variables de ces triplets : la substance choisie, l'inventaire des sources émettrices de cette substance, et les mesures que l'on peut y appliquer.

5. LE CHOIX D'UNE SUBSTANCE : LE NICKEL

Cette étude pilote pour le développement de l'outil multicritère s'est focalisée sur le Nickel.

Ce choix nous a semblé opportun à deux titres :

- Le nickel, qui est inscrit à l'Annexe X de la DCE⁴ est une substance problématique vis-à-vis de l'atteinte du bon état des masses d'eau dans les bassins du Rhin et de la Meuse.

En effet, il fait partie des substances dites « significatives pour le Rhin » identifiées par la Commission Internationale pour la Protection du Rhin⁵ au motif que « les critères de qualité sont nettement dépassés ».

Nous avons par ailleurs pu vérifier ce constat en étudiant les relevés de concentrations des 890 stations de qualité des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse⁶. Ces relevés ont laissé apparaître des dépassements de NQE dans 11% des mesures sur la période 2010-2012.

- Le Nickel est par ailleurs une substance sur laquelle l'INERIS a capitalisé de la connaissance ces dernières années puisqu'elle a fait l'objet d'un inventaire des émissions sur un sous-bassin de la Marne⁷ et d'une fiche technico-économique disponible sur le portail substance de l'INERIS⁸.

Il conviendra dans le cadre des études futures, et particulièrement dans le cadre de la convention ONEMA-INERIS 2014, de développer la méthodologie mise en place dans ce rapport et de l'appliquer à d'autres substances identifiées comme problématiques sur le bassin (zinc, cuivre, HAP...).

6. INVENTAIRE DES SOURCES DE REJETS DE NICKEL

L'analyse multicritère repose sur l'inventaire préalable des rejets de Nickel dans les eaux du bassin Rhin-Meuse.

Il convient alors de distinguer les rejets ponctuels des rejets diffus car les méthodologies mises en œuvre pour les caractériser diffèrent notablement.

⁴ « Liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau »

⁵ Voir CIPR, 2001, « Liste des substances Rhin 2011 ». Les substances identifiées comme faisant partie de la liste des substances significatives pour le Rhin doivent voir leurs concentrations mesurées tous les ans dans les stations d'analyse internationales.

⁶ Données disponibles sur le site du SIERM : <http://www.rhin-meuse.eaufrance.fr/choixtheme-QSUP?lang=fr#> (dernière connexion le 23 mai 2014)

⁷ Gouzy A., 2010, « Première approche pour l'établissement des inventaires d'émissions de substances dangereuses DCE : Eléments méthodologiques et applications pour le cas d'étude du nickel dans le bassin Marne-Amont », Convention ONEMA-INERIS 2010.

⁸ <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

6.1 INVENTAIRE DES REJETS PONCTUELS

6.1.1 METHODOLOGIE

L'inventaire des rejets ponctuels réalisé en 2013 par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dans le cadre des obligations de rapportage de la DCE et selon la méthodologie nationale [INERIS, 2014]⁹ a constitué la source de données de cette étude. Soulignons que l'inventaire des sources de rejets ponctuels comprend certaines sources dont les charges annuelles ne sont pas renseignées : dans ce cas, elles n'ont pas été intégrées à notre analyse.

6.1.2 PANORAMA ET SOURCES PRISES EN COMPTE DANS L'ETUDE

L'inventaire qui a été fourni distingue les sources de rejets ponctuels par sous-bassins, ce qui pourrait permettre à l'avenir d'appliquer notre analyse à des échelles très locales. Cependant, nous avons fait le choix dans le cadre de ce rapport d'étendre la méthodologie à l'ensemble des bassins du Rhin et de la Meuse afin de confronter notre méthodologie à une plus grande hétérogénéité des sources de rejets et donc à un nombre important de cas de figures.

196 sources de rejets de Nickel ont été identifiées sur le bassin pour un rejet cumulé dans les eaux de 2634 kg/an. Ces sources sont particulièrement concentrées puisque 4.5.% d'entre elles (9 sources) sont responsables à elles seules des deux tiers (65%) de l'ensemble des rejets sur le bassin.

Pour des raisons de temps et de pertinence de l'analyse, nous avons concentré notre étude sur les 39 principales sources qui cumulent ensemble 92 % des émissions¹⁰.

Le **Tableau 1** présente ces 39 sources rendues anonymes mais dont nous avons précisé le secteur d'activité.

Le **Tableau 2** inventorie les secteurs d'activité de ces sources en simplifiant la nomenclature. Les STEP, le traitement de surface et la production chimique sont ainsi les trois principaux secteurs émetteurs, responsables à eux seuls de plus de 70% des rejets totaux de Nickel¹¹.

Cet inventaire constitue une étape nécessaire avant d'identifier les mesures potentiellement applicables (cf. partie 7).

⁹ INERIS, 2014, *Méthodologie d'établissement des inventaires d'émissions, rejets et pertes de substances chimiques en France*, VERSION 4 _ mars 2014.rapport INERIS-DRC-14-136877-02879A. 86p.

¹⁰ La 36^{ème} source est responsable de 0.4% des émissions de Ni sur l'ensemble du bassin d'étude.

¹¹ Ce calcul ne tient compte que des 39 principales sources de rejets ponctuels. Les valeurs sont plus importantes lorsque l'on tient compte de l'intégralité des sources : les STEP représentent ainsi 40.2% de l'ensemble des rejets de Ni.

| # | Secteur d'activité | Charge annuelle (kg/an) | Part des émissions totales |
|----------------|--|-------------------------|----------------------------|
| S1 | Traitement et revêtement des métaux | 555,5 | 21,1% |
| S2 | STEP | 205,3 | 7,8% |
| S3 | STEP | 183,7 | 7,0% |
| S4 | Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base nca | 183,3 | 7,0% |
| S5 | Construction de véhicules automobiles | 132,0 | 5,0% |
| S6 | Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base | 126,6 | 4,8% |
| S7 | Fabrication de caoutchouc synthétique | 116,0 | 4,4% |
| S8 | Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base nca | 112,8 | 4,3% |
| S9 | STEP | 108,7 | 4,1% |
| S10 | Sidérurgie | 80,9 | 3,1% |
| S11 | Distribution et commerce d'électricité | 54,2 | 2,1% |
| S12 | STEP | 53,8 | 2,0% |
| S13 | Traitement et élimination des déchets dangereux | 53,6 | 2,0% |
| S14 | STEP | 40,7 | 1,5% |
| S15 | STEP | 38,9 | 1,5% |
| S16 | STEP | 36,0 | 1,4% |
| S17 | Construction de véhicules automobiles | 30,4 | 1,2% |
| S18 | Collecte et traitement des eaux usées | 22,5 | 0,9% |
| S19 | Fabrication d'articles en papier à usage sanitaire ou domestique | 20,8 | 0,8% |
| S20 | STEP | 20,2 | 0,8% |
| S21 | STEP | 18,9 | 0,7% |
| S22 | Fabrication de papier et de carton | 17,2 | 0,7% |
| S23 | STEP | 15,4 | 0,6% |
| S24 | STEP | 14,8 | 0,6% |
| S25 | Sidérurgie | 14,1 | 0,5% |
| S26 | Traitement et élimination des déchets dangereux | 13,8 | 0,5% |
| S27 | STEP | 13,4 | 0,5% |
| S28 | Traitement et revêtement des métaux | 12,4 | 0,5% |
| S29 | STEP | 12,3 | 0,5% |
| S30 | STEP | 12,1 | 0,5% |
| S31 | Fabrication d'autres articles métalliques | 11,7 | 0,4% |
| S32 | Fabrication d'autres produits laitiers | 11,5 | 0,4% |
| S33 | STEP | 11,4 | 0,4% |
| S34 | STEP | 11,2 | 0,4% |
| S35 | Produits chimiques | 11,1 | 0,4% |
| S36 | STEP | 10,4 | 0,4% |
| S37 | STEP | 9,9 | 0,4% |
| S38 | STEP | 9,9 | 0,4% |
| S39 | Métallurgie de l'aluminium | 9,4 | 0,4% |
| Total : | | 2417 | 91,8% |

Tableau 1 : Inventaire anonymisé des principales sources de Nickel dans les bassins du Rhin et de la Meuse

| Ni (39 sources, 92% des rejets) | |
|---|---------------------|
| Secteur d'activité (nombre des sources concernées parmi les 39 premières) | Part des émissions* |
| STEP et Collecte et traitement des eaux usées (20) | 32.1% |
| Traitement et revêtement des métaux (2) | 21.6% |
| Fabrication de produits chimiques (4) | 16.4% |
| Construction de véhicules automobiles (2) | 6.2% |
| Fabrication de caoutchouc synthétique (1) | 4.4% |
| Sidérurgie, Fabrication d'autres articles métalliques et Métallurgie de l'aluminium (4) | 4.4% |
| Distribution et commerce d'électricité (1) | 2.0% |
| Traitement et élimination des déchets dangereux (2) | 2,6% |
| Fabrication d'articles en papier, de papier et de carton (2) | 1.5% |
| Fabrication de produits laitiers (1) | 0.4% |

Tableau 2 : Principaux secteurs d'activités concernés par les rejets de Ni dans les bassins du Rhin et de la Meuse (* ne tient compte que des 39 sources étudiées)

6.2 INVENTAIRE DES REJETS DIFFUS : LE CAS DES REJETS AGRICOLES

6.2.1 PANORAMA DES REJETS DIFFUS

En l'absence de données portant sur les rejets diffus de Nickel sur les bassins du Rhin et de la Meuse, nous avons procédé à leur étude.

La fiche technico-économique « Nickel et principaux composés » disponible sur le portail substance de l'INERIS¹² identifie 6 voies diffuses de contamination des eaux de surface :

- Les rejets diffus liés aux activités agricoles
- Les dépôts atmosphériques à la surface des eaux
- Les rejets diffus liés aux transports (usure de pièces mécaniques...)
- Les rejets depuis les matériaux et les constructions en zone non-urbaine
- Les rejets accidentels
- Les rejets depuis les eaux profondes

Parmi ces 6 voies, les rejets liés aux matériaux et aux constructions en zone urbaine, ainsi que les rejets accidentels sont jugés négligeables : ils ne feront donc pas l'objet d'une étude approfondie dans le cadre de ce rapport.

Les rejets liés aux eaux profondes sont quant à eux en dehors du périmètre d'action d'un Programme de Mesure portant sur la qualité des eaux de surface.

Les trois premières sources de rejets diffus citées ci-dessus semblent en revanche pertinentes pour notre étude. Dans un délai de réalisation contraint il n'a cependant pas été possible de les étudier toutes et nous avons choisi de nous concentrer sur les rejets liés aux activités agricoles, qui sont les plus significatifs, et nécessitent un important travail méthodologique et de recueil de données.

D'un point de vue méthodologique, deux principales sources ont été utilisées :

- le travail d'inventaire réalisé en 2003 par la Commission Internationale pour la Protection du Rhin¹³
- le rapport ADEME-SOGREAH de 2007 portant sur l'évaluation des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine¹⁴.

¹² <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/cas/7440-02-0>

¹³ Marc Braun, 2003, CIPR, *Inventaire 2000 des émissions de substances prioritaires*

6.2.2 INVENTAIRE DES REJETS DIFFUS D'ORIGINE AGRICOLE : METHODOLOGIE

Les rejets diffus d'origine agricole peuvent être liés à plusieurs phénomènes : l'érosion (ruissellement ou érosion éolienne) des terres agricoles dont les particules sont chargées de nickel (du fait notamment des engrais minéraux et organiques), et le ruissellement ou le drainage des eaux comportant du nickel dissous.

L'évaluation de chacun de ces rejets nécessite la mise en œuvre de calculs spécifiques intégrant l'évaluation des quantités de Ni apportées au sol par le biais des pratiques de fertilisation. Le tableau ci-après synthétise la méthodologie utilisée et précise les sources de données requises.

| Etapes | | Source de données |
|--|--|--|
| 1. Erosion éolienne | <p>Définition : Entrainement par le vent des particules sur lesquelles le nickel est fixé et rejoignant les eaux superficielles</p> <p>Données nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quantité d'engrais utilisée (engrais minéraux et déjections animales) - Teneur polluante dans les engrais - Part de la quantité d'engrais utilisée rejoignant les eaux superficielles par entrainement éolien <p>Méthodologie : Les rejets diffus liés à l'érosion éolienne sont le produit des trois variables décrites ci-dessus</p> | <p>UNIFA, campagne 2012 pour les engrais minéraux Agreste, Biomasse Normandie [2000] pour les déjections animales ADEME-SOGREAH [2007] pour engrais minéraux et déjections animales</p> <p>CIPR [2003]</p> |
| 2. Ruissellement des intrants agricoles | <p>Définition : Entrainement du nickel dans les eaux qui ruissellent sur le sol et rejoignent les cours d'eau</p> <p>Données nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quantité d'engrais utilisée - Teneur polluante dans les engrais - Part de la quantité d'engrais utilisée rejoignant les eaux superficielles par ruissellement <p>Méthodologie : Les rejets diffus liés au ruissellement des intrants agricoles sont le produit des trois variables décrites ci-dessus</p> | <p>Cf. ci-dessus Cf. ci-dessus CIPR [2003]</p> |
| .../... | | |

¹⁴ ADEME, 2007, *Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France Métropolitaine, - Bilan qualitatif de la contamination par les ETM et CTO et application quantitative pour les ETM.*

| | | |
|--|--|---|
| 3. Erosion des terres agricoles | <p>Définition : Particules sur lesquelles du nickel est fixé emportées par les eaux de ruissellement vers les eaux de surface</p> <p>Données nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erosion moyenne des surfaces labourées - Surface labourées - Teneur en polluants dans les fines particules de terre - Part des matériaux érodés rejoignant les eaux de surface <p>Méthodologie : Les rejets diffus liés au ruissellement des intrants agricoles sont le produit des quatre variables décrites ci-dessus</p> | <p>CIPR [2003] A partir de CIPR [2003] CIPR [2003]</p> <p>CIPR [2003] (Facteur de dépôt intermédiaire des matériaux érodés)</p> |
| 4. Drainage | <p>Définition : Catégorie qui prend en compte le nickel dissous dans l'eau qui s'infiltré dans les terres agricoles puis passe par les drains avant d'être rejeté dans les eaux</p> <p>Données nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quantité d'eau qui s'écoule par le biais du drainage - Concentration de polluants dans les eaux de drainage <p>Méthodologie : Les rejets diffus liés au drainage sont le produit des deux variables décrites ci-dessus</p> | <p>A partir de CIPR [2003] CIPR [2003]</p> |

Tableau 3 : Méthodologie appliquée pour le calcul des rejets diffus issus des activités agricoles

D'un point de vue méthodologique, nous devons noter qu'en dehors des épandages d'engrais minéraux et organiques, les sols agricoles reçoivent d'autres types d'amendements comme les produits résiduaux organiques (PRO : boues, résiduaux urbaines, composts...) qui peuvent être sources de pollution au Nickel. Leurs quantités restant faibles en comparaison des apports de déjections animales et d'engrais minéraux, nous n'avons pas tenu compte de cette source de pollution diffuse dans l'étude. Leurs concentrations en Ni potentiellement élevées rendraient néanmoins leur étude utile dans le cadre du développement futur du présent rapport.

6.2.3 ENGRAIS MINÉRAUX ET DEJECTIONS ANIMALES

La quantité d'engrais épandue sur le territoire du bassin est une donnée importante puisqu'elle permet d'évaluer dans un second temps les émissions de Nickel dans l'environnement. Mais les teneurs en Nickel des différents engrais sont hétérogènes ; il convient donc de réaliser un inventaire précis des engrais utilisés. En particulier les engrais minéraux et les engrais organiques nécessitent l'utilisation de sources d'information différentes.

Concernant les engrais minéraux les statistiques de livraisons de fertilisants minéraux (campagne 2012-2013) publiées chaque année par l'UNIFA¹⁵ au niveau

¹⁵ Disponible suivant le lien : <http://www.unifa.fr/le-marche-en-chiffres/la-fertilisation-en-france.html> (dernière connexion 02/06/2014)

régional ont été utilisées. Cette source d'information induit l'hypothèse que les quantités d'engrais livrées sont représentatives des quantités épandues sur les sols agricoles de la même zone géographique.

Les données disponibles au niveau régional ont été recalculées au prorata de la surface de chaque région incluse dans le bassin Rhin-Meuse (cf. **Encart 1**).

Faute d'information nouvelle, les teneurs moyennes en Eléments Traces Métalliques (ETM) des engrais minéraux utilisées sont reprises de l'étude 2007 ADEME-SOGREAH (p.261). Il convient de noter que ces informations sont peu documentées et très variables selon les sources utilisées du fait de l'origine-même des ETM dans les engrais qui sont des impuretés naturelles présentes dans les matières premières et non éliminées lors du processus de fabrication.

Le **Tableau 5** fournit les données relatives à l'utilisation d'engrais sur le territoire du bassin Rhin-Meuse. Il en ressort que la fertilisation des terres agricoles au moyen des engrais minéraux s'accompagne de l'émission de **4155 kg de Nickel** sur les sols.

De nombreuses données utilisées ne sont disponibles qu'aux niveaux départemental et régional. Mais le bassin Rhin-Meuse est situé sur 3 régions (Alsace, Lorraine, et Champagne-Ardenne) et 8 départements (Bas-Rhin, Haut-Rhin ; Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges ; Ardennes, et Haute-Marne) sans nécessairement les couvrir intégralement.

Lorsque nous ne disposons pas d'information géographique spécifique ou de précision quant à l'utilisation du territoire du bassin Rhin-Meuse, nous avons normalisé les informations recueillies au prorata de la surface de chaque département ou région comprise dans le territoire du bassin.

Pour cela, un calcul d'intersection via un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) a été effectué pour obtenir les surfaces d'intersection entre chacun des départements et le bassin Rhin-Meuse¹⁶.

Le **Tableau 4** indique les coefficients calculés et utilisés dans la suite de notre étude.

| Entité administrative | Part du territoire comprise dans le bassin Rhin-Meuse |
|---------------------------|---|
| Alsace | 100% |
| <i>Bas-Rhin</i> | 100% |
| <i>Haut-Rhin</i> | 100% |
| Lorraine | 85% |
| <i>Meurthe-et-Moselle</i> | 100% |
| <i>Meuse</i> | 60% |
| <i>Moselle</i> | 100% |
| <i>Vosges</i> | 81% |
| Champagne-Ardenne | 12% |
| <i>Ardennes</i> | 49% |
| <i>Haute Marne</i> | 8% |

Tableau 4 : Coefficients de normalisation des données départementales et régionales utilisées dans l'étude

Encart 1 : Inférence des données départementales et régionales à l'échelle du bassin Rhin-Meuse

¹⁶ Deux couches géographiques ont été utilisées pour obtenir ces résultats :
- la couche REGION_HYDROGRAPHIQUE de la BD CARTHAGE (source <http://professionnels.ign.fr/bdcarthage>)
- et la couche département issue de la BD Topo de l'IGN (source <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>).

| Engrais | Teneur en Ni en mg/kg de MS | Tonnages d'engrais estimés dans les différentes régions du bassin | | | Quantité totale de nickel (kg/an) |
|--------------------------|-----------------------------|---|----------------|-------------------------|-----------------------------------|
| | | ALSACE (100%) | LORRAINE (85%) | CHAMPAGNE-ARDENNE (12%) | |
| AMMONITRATES | 1 | 56 778 | 99 200 | 23 738 | 180 |
| SOLUTION AZOTEE | | 4 820 | 171 106 | 53 925 | 0 |
| UREE | 0 | 33 700 | 6 947 | 1 479 | 0 |
| AUTRES SIMPLES N | 4 | 2 639 | 16 031 | 1 666 | 89 |
| SIMPLES N | | 97 937 | 293 284 | 80 809 | 269 |
| TSP | 32 | 1 706 | 15 784 | 6 187 | 762 |
| AUTRES SUPERPHOSPHATES | 25 | 444 | 2 349 | 1 257 | 102 |
| AUTRES SIMPLES P | 27 | | 1 774 | 208 | 54 |
| SIMPLES P | | 2 533 | 19 906 | 7 651 | 918 |
| CHLORURE DE POTASSIUM | 3 | 12 886 | 4 949 | 5 841 | 63 |
| AUTRES SIMPLES K ET MG | 0 | 5 890 | 5 981 | 15 180 | 4 |
| SIMPLES K ET MG | | 18 776 | 10 929 | 21 021 | 67 |
| SUPERPOTASSIQUE | 21 | 21 443 | 33 167 | 7 682 | 1 278 |
| PHOSPHO-POTASSIQUE | 21 | | 394 | 108 | 10 |
| AUTRES PK | 21 | 3 392 | 2 265 | 2 005 | 157 |
| BINAIRES PK | | 25 321 | 35 826 | 9 795 | 1 445 |
| DAP - MAP | 28 | 8 103 | 13 873 | 1 197 | 640 |
| AUTRES NP | 11 | 905 | 4 984 | 1 110 | 76 |
| NK - NPK | 14 | 14 891 | 30 516 | 4 316 | 715 |
| ORGANO-MINERAUX | 8 | 1 203 | 285 | 1 724 | 24 |
| COMPOSES NP, NK, NPK, OM | | 25 102 | 49 657 | 8 347 | 1 455 |
| Total | | | | | 4 155 kg/an |

Tableau 5 : Evaluation des quantités d'engrais minéraux épandus dans le bassin Rhin-Meuse et quantité de Nickel associée

Concernant les engrais organiques dont nous évaluons la part attribuable aux déjections animales, nous nous sommes référés au rapport Biomasse Normandie¹⁷ qui évaluait à l'échelle des départements les quantités de déjections animales produites par différentes catégories de cheptels (bovins ; porcins ; volailles ; ovins, caprins et équins).

Les données fournies datant de 2000, nous les avons réévaluées en tenant compte de l'évolution entre 2000 et 2013 des effectifs des différents cheptels à l'échelle de chaque région¹⁸, cette donnée étant elle-même déduite des statistiques agricoles fournies par Agreste.

$$Déjections_{2013, i, r} = Déjections_{2000, i, r} \times (cheptel_{2013, i, r} - cheptel_{2000, i, r}) / cheptel_{2000, i, r}$$

¹⁷ Biomasse Normandie, 2002, *Evaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités – lot 3 : effluents d'élevage* (rapport et annexes)

¹⁸ Concernant les effectifs, la statistique agricole Agreste ne fournit que des données régionales, sauf dans le cas des bovins où l'échelon départemental est disponible ; il a alors été utilisé.

Où : *i fait référence aux différentes catégories de cheptels r représente les trois régions administratives présentes sur le bassin Rhin-Meuse les effectifs des cheptels 2000 et 2013 pour les différentes régions sont des données Agreste, les déjections de 2000 des données Biomasse Normandie*

D'un point de vue méthodologique, il importe de souligner que les données de Biomasse Normandie ne permettent pas de discriminer dans le sous-groupe « ovins, caprins et équins » les déjections propres à chacune des espèces. Ce point pourra être amélioré dans la suite de cette étude.

Par ailleurs, les effluents d'élevage étant des produits peu transportables, nous avons supposé qu'ils étaient épanchés dans leur zone de production. Mais de la même manière que pour les engrais minéraux, les données départementales ou régionales utilisées ont ensuite été corrigées au prorata de la surface de chaque département comprise dans le bassin (cf. **Encart 1**).

Les teneurs moyennes en Nickel des déjections animales utilisées sont issues de l'étude ADEME-SOGREAH [2007, p271]. Il convient ici de noter qu'à l'exception des volailles pour lesquelles peu de références existent, les données sont généralement bien documentées pour toutes les espèces.

Concernant le sous-groupe « ovins, caprins et équins », nous avons utilisé la moyenne des teneurs en nickel propres aux déjections de chaque espèce en la pondérant par les effectifs de ces espèces en 2013. Le **Tableau 6** présente les détails de ce calcul.

| | | Equins | Caprins | Ovins |
|--|-------------------|-----------|---------|-------|
| Part de chaque espèce dans l'effectif global du sous-groupe "ovins, caprins, équins" en 2012 (données Agreste) | Champagne-Ardenne | 6% | 1% | 93% |
| | Lorraine | 10% | 2% | 88% |
| | Alsace | 27% | 8% | 65% |
| | moyenne | 14% | 4% | 82% |
| Teneur en Nickel des effluents (mg/kg MS) (ADEME-SOGREAH) | | 100 | 77 | 66 |
| Moyenne pondérée des teneurs en Ni des effluents du sous-groupe "ovins, caprins, équins" | | 71 | | |

Tableau 6 : Calcul de la teneur en Ni des effluents du sous-groupe "ovins, caprins, équins"

Le **Tableau 7** synthétise les données et calculs relatifs aux émissions de Nickel sur les sols agricoles par le biais des déjections animales. La quantité globale obtenue, de **180 t/an** semble un peu surévaluée par rapport à l'étude ADEME-SOGREAH qui donne une valeur de 365 t/an pour la France métropolitaine dans son intégralité. Elle peut s'expliquer par la conjugaison du fait que les quantités de déjections animales produites à l'échelle du bassin sont très élevées, et que leur teneur en Nickel sont également fortes (3 à 6 fois plus élevées que les plus fortes teneurs observées dans les engrais minéraux).

Toutefois, l'ordre de grandeur est cohérent entre notre estimation et celle d'ADEME-SOGREAH.

| | Département | Bovins | Porcins | | Volailles | Ovins, Caprins et Equins |
|--|----------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| | | | lisiers | fumiers | | |
| tonnages de déjections animales (t de MS/an) évalués sur le bassin en 2013 | Ardennes | 237 668 | 766 | 1 196 | 4 860 | 9 015 |
| | Haute-marne | 31 644 | 122 | 176 | 126 | 1 680 |
| | Meurthe et Moselle | 365 424 | 2 461 | 3 674 | 4 646 | 26 634 |
| | Meuse | 255 283 | 1 655 | 2 824 | 1 537 | 9 889 |
| | Moselle | 490 059 | 1 900 | 2 933 | 2 019 | 39 506 |
| | Vosges | 407 529 | 1 262 | 1 770 | 4 150 | 24 757 |
| | Bas-Rhin | 221 318 | 3 964 | 15 400 | 13 133 | 18 158 |
| | Haut-Rhin | 115 683 | 1 072 | 6 329 | 2 999 | 14 141 |
| | Total | 2 124 606 | 13 202 | 34 302 | 33 470 | 143 781 |
| Teneur en Nickel des effluents (mg/kg MS) | 78 | 140 | 25 | 64 | 71 | |
| Quantité de Nickel associée aux effluents (kg/an) | 165 719 | 1 848 | 858 | 2 142 | 10 208 | |
| Total | 180 776 kg/an | | | | | |

Tableau 7 : Emission de Ni vers les terres agricoles dues aux engrais organiques (2012)

D'après nos calculs, **la quantité de Nickel apportée par les engrais minéraux et les déjections animales sur les sols des bassins du Rhin et de la Meuse s'élève donc à 184 930 kg/an¹⁹**.

6.2.3 INVENTAIRE DES REJETS DIFFUS D'ORIGINE AGRICOLE : RESULTATS

Cette partie présente dans un premier temps les valeurs clefs associées aux diverses voies de rejets diffus d'origine agricole que nous avons retenues sur le territoire des bassins du Rhin et de la Meuse.

Evaluation des rejets par érosion éolienne (1)

| Variable | Valeur | Source |
|---|---|-------------------|
| Quantité de Nickel apportée par les engrais | 4 155 kg/an pour les engrais minéraux 180 776 kg/an pour les déjections animales | Voir partie 3.2.3 |
| Part de la quantité d'engrais utilisée rejoignant les eaux superficielles par entrainement éolien | 0.01% pour les engrais minéraux 0.2% pour les effluents d'élevage | [CIPR, 2003] |

Tableau 8 : estimation des variables associées à l'érosion éolienne

¹⁹ 180 776 kg/an sont liés aux déjections animales et 4155 kg/an sont liés aux engrais minéraux.

Evaluation des rejets par ruissellement des intrants agricoles (2)

| <i>Variable</i> | <i>Valeur</i> | <i>Source</i> |
|---|---|-------------------|
| Quantité de Nickel apportée par les engrais | 4 155 kg/an pour les engrais minéraux 180 776 kg/an pour les déjections animales | Voir partie 3.2.3 |
| Part de la quantité d'engrais utilisée rejoignant les eaux superficielles par ruissellement | 0.3% pour les effluents d'élevage | [CIPR, 2003] |

Tableau 9 : estimation des variables associées au ruissellement

Evaluation des rejets par érosion (3)

| <i>Variable</i> | <i>Valeur</i> | <i>Source</i> |
|---|---------------|------------------------------------|
| Erosion moyenne des surfaces labourées | 2,7 t/ha/an | [CIPR, 2003] |
| Surfaces labourées | 828 500 ha | Calculées à partir de [CIPR, 2003] |
| Teneur en polluants dans les fines particules de terre | 33 mg/kg MS | [CIPR, 2003] |
| Facteur de non dépôt intermédiaire des matériaux érodés | 10% | [CIPR, 2003] |

Tableau 10 : estimation des variables associées à l'érosion des sols

L'évaluation des surfaces labourées repose sur la donnée présente dans le rapport CIPR, qui indique que 26,4% du territoire du bassin du Rhin (partie française) est occupé par des terres labourées. Nous avons ensuite fait l'hypothèse que la part de surfaces labourées restait identique sur le bassin de la Meuse et recalculé la donnée en conséquence pour l'ensemble du territoire de notre étude.

Evaluation des rejets par drainage (4)

| <i>Variable</i> | <i>Valeur</i> | <i>Source</i> |
|--|--|--|
| Quantité d'eau qui s'écoule par le biais du drainage | 202.10 ⁶ m ³ /an | Calculée à partir de [CIPR, 2003, p70 et 10] |
| Concentration de polluants dans les eaux de drainage | 10µg/L | [CIPR, 2003, p68] |

Tableau 11 : estimation des variables associées au drainage

L'évaluation de la quantité d'eau qui s'écoule par le biais du drainage sur le bassin Rhin-Meuse repose sur la donnée présente dans le rapport CIPR, qui n'est fournie que pour bassin du Rhin (partie française). Nous avons ensuite fait l'hypothèse que cette donnée pouvait être étendue à l'ensemble du bassin proportionnellement à sa surface.

Bilan

| Voie d'émission | Quantification des rejets diffus dans les bassins du Rhin et de la Meuse (2012-2013) |
|--------------------------------------|--|
| Erosion éolienne | 362 kg/an dus pour plus de 99% aux déjections animales |
| Ruissellement des intrants agricoles | 555 kg/an (dont 542.3 dus aux déjections animales) |
| Erosion des terres agricoles | 7 380 kg/an |
| Drainage | 2 020 kg/an |
| Total | 10 317 kg/an |

Tableau 12 : bilan des émissions diffuses d'origine agricole

Il ressort de ce travail que les rejets diffus de Nickel d'origine agricole dans les eaux sont, compte tenu des données disponibles, très supérieurs aux rejets ponctuels connus : 2630 kg/an²⁰ contre 10320 kg/an (cf. Figure 1).

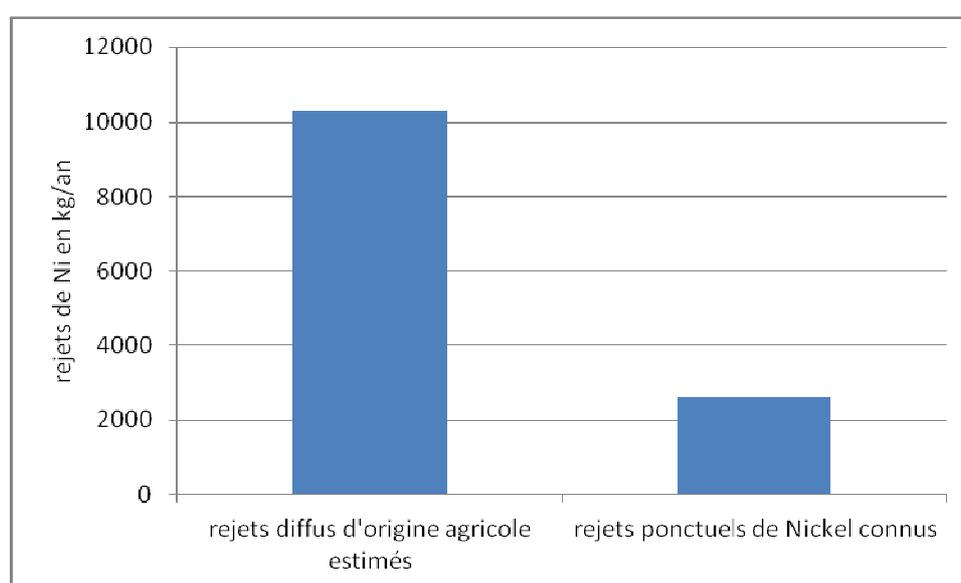


Figure 1 : Bilan des rejets de Nickels connus et estimés sur les bassins du Rhin et de la Meuse (données 2012-2013)

7. INVENTAIRE DES MESURES DE REDUCTION DES REJETS

Les mesures étudiées visent à être appliquées dans le cadre de programmes de mesures : il peut s'agir tout aussi bien de mesures de réduction « à la source » (qu'elles s'apparentent à l'optimisation du processus de production ou à l'utilisation de substances chimiques alternatives), que de mesures dites « end-of-pipe » qui consistent à traiter les eaux usées à l'issue du processus de production.

7.1 MESURES APPLICABLES AUX SOURCES DE REJETS PONCTUELS

L'inventaire des mesures applicables dans le cas de rejets ponctuels de Nickel a été réalisé sur la base :

- de la FTE Nickel²¹ (elle-même compilant les données de nombreuses sources d'information) ;
- de données technico-économiques sur les possibilités de réduction des émissions fournies par des industriels français dans le cadre de la circulaire

²⁰ 2417 kg/an pour les 39 premières sources ponctuelles connues.

²¹ Accessible sur le « Portail Substances » sur le site de l'INERIS (www.ineris.fr)

du 5 janvier 2009 relative aux actions de recherche et de réduction des substances dangereuses dans les rejets aqueux des installations classées.. Nous avons pu disposer de 9 études, dont deux traitant particulièrement du nickel dans les secteurs de la sidérurgie et de la chimie.

Nous avons ainsi identifié 7 mesures qui reposent sur le traitement des eaux de lavage et sont spécifiquement applicables aux secteurs de la chimie, du traitement de surface, de la sidérurgie et du traitement des déchets. En première analyse, elles semblent également applicables aux autres secteurs concernés par l'étude (**Tableau 2**). Classiquement, ces mesures sont les suivantes :

- La **clarification** qui regroupe les processus suivants : coagulation, floculation et décantation. Le coagulant ajouté à l'eau a pour rôle de transformer le Ni dissous dans l'eau en composé insoluble qui précipite. La décantation permet ensuite de terminer le traitement.
Son efficacité lorsqu'elle est utilisée seule est néanmoins faible dans le cas du traitement du Nickel (0 à 20 %).
- La **clarification couplée à une filtration par charbon actif**, dont le fonctionnement repose sur le phénomène d'adsorption. Elle présente une efficacité comprise entre 20 et 50 %.
- La **clarification couplée à une filtration par osmose inverse** ou à une **nanofiltration** dont l'efficacité est importante, comprise entre 80 et 100 %

Ce procédé de couplage entre clarification et filtration peut par ailleurs être optimisé. Les études consultées réalisées par des industriels de la sidérurgie évoquent en particulier :

- L'**optimisation du processus de décantation par injection de soude** dont l'efficacité avancée est de l'ordre de 80% et le coût d'environ 1€/kg de Ni évité, économies sur la redevance et aides des Agences de l'eau incluses.
- Le **remplacement du coagulant par Nalmet²²**, cette solution atteignant le même niveau d'efficacité mais pour un coût bien supérieur, de l'ordre de 160€/kg de Ni évité.
- Le **recyclage des eaux de rinçage** documenté en particulier dans le secteur du traitement de surface qui permet de minimiser les pertes de Ni lors des opérations de rinçage. Son efficacité peut atteindre 95% pour un fonctionnement en circuit fermé et 80% sans circuit fermé.
- Dans le secteur du traitement des déchets dangereux issus de l'industrie électronique, la DRIEE d'Ile de France rend compte d'un projet de **traitement des effluents liquides** fonctionnant sur la valorisation de Ni **par voie électrolytique** permettant d'extraire du Ni pur des déchets, Ni qui peut ensuite être **recyclé**.

7.2 MESURES APPLICABLES AUX STEP

Concernant les stations d'épuration des eaux polluées, des mesures à la source pourraient être envisagées. D'après le **Tableau 13**, 17 % des rejets en Nickel liés aux STEP sont d'origine domestique.

| Origine | Domestique | Pluviale | Industrielles | Non identifiée |
|-----------|------------|----------|---------------|----------------|
| Part dans | 17 % | 9% | 27% | 47% |

²² Technologie polymère commercialisée par Nalco (<http://www.nalco.com/documents/Brochures/B-1210.pdf>).

l'enrichissement
en Ni des eaux
usées

Tableau 13 : Contribution moyenne des différentes activités urbaines à l'enrichissement en Ni des eaux usées (source : Bouallegue, [2010]²³)

Cependant, peu de rejets de Nickel d'origine domestique sont spécifiquement identifiés, hormis ceux liés aux batteries et accumulateurs.

La **collecte et recyclage sans danger des batteries** seront donc considérés comme une mesure à la source applicable (indirectement) aux STEP, mesure dont l'efficacité maximale sera donc de l'ordre de 17%²⁴.

Par ailleurs, deux mesures de traitement complémentaire peuvent être envisagées. Selon Choubert *et al.* [2011]²⁵, le rendement moyen global de l'épuration de Nickel dans les stations d'épuration d'eaux usées urbaines est de 57%, mais il peut néanmoins être amené à des niveaux supérieurs à 70% dans le cadre de deux pratiques :

- en cas de traitement constitué d'une **décantation primaire + boues activées moyenne charge + Biofiltre à 1 étage (DP+BA+B)**
- en cas de traitement tertiaire par osmose inverse

Nous considérerons dans la suite de cette étude que toutes les STEP sont au niveau de rendement moyen et pourraient se voir installer l'une de ces mesures « end-of-pipe ».

7.3 MESURES APPLICABLES AUX REJETS DIFFUS

L'inventaire détaillé des rejets diffus réalisé dans ce rapport pourrait permettre d'envisager de nombreuses mesures de réduction des rejets diffus en ciblant par exemple spécifiquement certains cheptels. L'objectif sera de réaliser un tel travail dans le prochain rapport.

En 2013, seulement trois mesures ont été prises en considération :

- Une action destinée à **réduire de 10% l'usage des engrais minéraux, ou de 10% la teneur en nickel des engrais minéraux**
- Une action destinée à **réduire de 10% les émissions de nickel liées aux déjections animales par réduction appropriée des cheptels**
- Une action destinée à **réduire de 20% les émissions de nickel liées aux déjections animales par réduction appropriée des cheptels**

7.4 BILAN DES MESURES PRISES EN COMPTE DANS L'ETUDE

²³ Bouallegue Mohamed Mehdi, "Des métaux dans les boues de station d'épuration ? Conséquences, origines et prévention – Synthèse technique », AgroParisTech

²⁴ Faisant l'hypothèse que l'essentiel des rejets de nickel d'origine domestique proviennent des batteries, nous nous plaçons dans le cas limite d'une campagne de collecte idéalement efficace, permettant de réduire complètement les rejets de nickel d'origine domestique et donc de 17% ceux associés aux STEPs.

²⁵ Choubert J.-M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Lagarrigue C., Coquery M., 2011, « Evaluer les rendements des stations d'épuration – Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées », Techniques Sciences Méthodes, n°1/2 2011

Le **Tableau 14** fait l'inventaire des mesures jugées pertinentes pour un programme de mesures dans le cadre de ce projet, sur la base de la documentation indiquée ci-dessus. La partie 8 présente les modalités d'évaluation de chacune de ces mesures.

| | Traitement et revêtement des métaux | Fabrication de produits chimiques | Construction de véhicules automobiles | Fabrication de caoutchouc synthétique | Sidérurgie, Fabrication d'autres articles métalliques et métallurgie de l'aluminium | Distribution et commerce d'électricité | Traitement et élimination des déchets dangereux | Fabrication d'articles en papier, de papier et de carton | Fabrication d'autres produits laitiers | STEP et collecte et traitement des eaux usées | Rejets diffus |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|--|---|---------------|
| Clarification | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Filtration par charbon actif | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Filtration par osmose inverse | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Optimisation décantation soude | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Optimisation coagulation Nalmet | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Recyclage des eaux de rinçage circuit fermé | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Recyclage des eaux de rinçage sans circuit fermé | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| Traitement électrolytique | | | | | | | x | | | | |
| Collecte et recyclage sans danger des batteries | | | | | | | | | | x | |
| DP+BA+B | | | | | | | | | | x | |
| Diminution des engrais minéraux de 20% | | | | | | | | | | | x |
| Diminution des cheptels de 10% | | | | | | | | | | | x |
| Diminution des cheptels de 20% | | | | | | | | | | | x |

Tableau 14 : Applicabilité des mesures de réduction de rejet du Ni dans les différents secteurs étudiés

EXERCICE DE HIERARCHISATION

Les programmes de mesures doivent être élaborés en tenant compte des performances environnementales attendues mais également de variables socio-économiques jugées pertinentes par le décideur public.

L'exercice de hiérarchisation consiste à proposer une méthode de classement de mesures dont les performances peuvent être très hétérogènes selon les critères que nous avons sélectionnés.

8.1 CHOIX DES CRITERES ET PONDERATION :

L'objectif général étant d'identifier des mesures coût-efficaces, les critères sélectionnés se divisent naturellement en deux grandes catégories : une première relative à la performance environnementale et une seconde portant sur l'analyse des coûts.

Des discussions antérieures avec plusieurs Agences de l'Eau nous ont par ailleurs conduits à identifier une troisième catégorie pertinente dans la perspective du développement d'un PDM, à savoir la prise en compte du contexte socio-économique dans lequel la mesure devrait être mise en place. Plus spécifiquement, c'est l'acceptabilité de la mesure par les parties prenantes concernées par sa mise en place qui doit être évaluée afin de tenir compte de variables contextuelles particulières.

Le **Tableau 15** répertorie les critères retenus. Il est à noter que ce choix s'est fondé en partie sur des travaux antérieurs sur l'analyse multicritère (notamment Socopse) mais tient également compte des retours dont nous avons pu disposer de la part des gestionnaires de l'eau interrogés.

| Catégorie | Critères | Pondération |
|--|-----------------------------------|-------------|
| Critères économiques (poids : 1/3) | Coût | 1/2 |
| | Disponibilité | 1/2 |
| Critères environnementaux (poids : 1/3) | Importance de l'émetteur | 1/3 |
| | Efficacité | 1/3 |
| | Effets collatéraux | 1/3 |
| Contexte socio-économique (poids : 1/3) | Acceptabilité locale de la mesure | 1 |

Tableau 15 : Inventaire des critères retenus pour l'évaluation des triplets

Remarque sur le choix des pondérations

Tout exercice d'AMC nécessite d'établir une pondération des critères retenus afin de respecter au mieux les priorités du décideur.

Le **Tableau 15** présente le choix des pondérations retenues pour la suite de l'analyse. Celui-ci est ici arbitraire dans le présent exercice. Il pourrait dans un volet ultérieur du développement de la méthodologie de reposer sur des protocoles de révélation des préférences des gestionnaires²⁶.

Dans cette étude, un profil de poids « neutre » est affecté, chaque catégorie de critères (économique, environnementaux, socio-économique) se voyant associée

²⁶ Méthode mise en œuvre à l'INERIS. Voir par exemple Karr, G., Boudet, C., Le Gall, A. C., Brignon, J. M., Rouïl, L., and Ramel, M., 2014, « Aide au choix de substances prioritaires en santé environnementale : un processus associant un avis d'expert et une analyse multicritère participative », *Environnement, Risques & Santé*, **13**(2), pp : 135-143.

une pondération égale (1/3), celle-ci se trouvant ensuite également répartie sur tous les critères de la catégorie. Par exemple, la pondération finale du critère « disponibilité » est $1/3 \times 1/2 = 1/6$.

8.2 METHODOLOGIE ET EVALUATION

8.2.1 LES CRITERES ENVIRONNEMENTAUX

- Le critère « Importance de l'émetteur » permet de hiérarchiser les triplets selon la part des émissions totales de nickel dans les bassins étudiés. La partie 6 a permis d'évaluer ces rejets ; nous avons en particulier observé que les rejets diffus d'origine agricole constituaient une source beaucoup plus importante que les autres, particulièrement du fait des déjections animales. Dans le cadre de l'exercice de hiérarchisation, nous avons posé deux hypothèses de travail :
 - o Parmi les rejets diffus, ceux associés aux engrais minéraux et ceux associés aux déjections animales ont été distingués. Compte tenu de la méthodologie employée, il n'était pas évident d'estimer la part de chacune de ces sources dans deux compartiments de contamination particuliers : les rejets par érosion et les rejets par drainage. Faute de donnée précise nous avons estimé que ces parts étaient proportionnelles à celles de Nickel portées respectivement par les déjections animales et les engrais minéraux.
 - o Si nous avons associé au critère « importance de l'émetteur » une échelle linéaire attribuant à chaque source une note proportionnelle aux rejets dont elle est responsable, les rejets diffus associés aux déjections auraient écrasé l'échelle. Afin donc de ne pas faire de ce critère un critère binaire, nous avons lui avons associé une échelle linéaire comprise entre 1 et 10, 10 témoignant de rejets supérieurs à 555 kg/an (niveau de la plus importante source de rejets ponctuels sur le territoire de notre étude)

Le **Tableau 16**, ci-après, répertorie les données retenues.

| Source | charge kg/an | notation | Source | charge kg/an | notation |
|--------|-----------------|----------|--|-----------------|----------|
| S1 | 555,5 | 10 | S22 | 17,2 | 1 |
| S2 | 205,3 | 4 | S23 | 15,4 | 1 |
| S3 | 183,7 | 3 | S24 | 14,8 | 1 |
| S4 | 183,3 | 3 | S25 | 14,1 | 1 |
| S5 | 132 | 3 | S26 | 13,8 | 1 |
| S6 | 126,6 | 3 | S27 | 13,4 | 1 |
| S7 | 116 | 2 | S28 | 12,4 | 1 |
| S8 | 112,8 | 2 | S29 | 12,3 | 1 |
| S9 | 108,7 | 2 | S30 | 12,1 | 1 |
| S10 | 80,9 | 2 | S31 | 11,7 | 1 |
| S11 | 54,2 | 2 | S32 | 11,5 | 1 |
| S12 | 53,8 | 2 | S33 | 11,4 | 1 |
| S13 | 53,6 | 2 | S34 | 11,2 | 1 |
| S14 | 40,7 | 1 | S35 | 11,1 | 1 |
| S15 | 38,9 | 1 | S36 | 10,4 | 1 |
| S16 | 36 | 1 | S37 | 9,9 | 1 |
| S17 | 30,4 | 1 | S38 | 9,9 | 1 |
| S18 | 22,5 | 1 | S39 | 9,4 | 1 |
| S19 | 20,8 | 1 | S40 DIFFUS AGRICOLE - Déjections animales | 10101 | 133,2 |
| S20 | 20,2 | 1 | S40 DIFFUS AGRICOLE - Engrais minéraux | 219 | 4 |
| S21 | 18,9 | 1 | | | |

Tableau 16 : inventaire des sources de Ni et évaluation pour l'AMC

- Le critère « Efficacité » est une mesure du taux d'abattement des émissions de la substance polluante visée par la mesure présente dans le triplet. Il peut être évalué en pourcentages de réduction (%). Par souci d'uniformité, nous avons cependant choisi une échelle linéaire de 0 à 10, 10 traduisant une mesure efficace à plus de 90 %, 0 une mesure totalement inefficace. L'évaluation des triplets selon ce critère s'est largement appuyée sur les études d'industriels dont nous avons bénéficié et sur la FTE Nickel. Le **Tableau 17** présente les évaluations retenues et rappelle les sources d'information utilisées. Dans ce tableau, ainsi que dans les trois suivants, les mesures marquées d'une * indiquent les évaluations pour lesquelles nous avons disposé de peu d'information et qui nécessiteraient d'être réétudiées ultérieurement.

| | Effacité | Commentaire |
|--|----------|---|
| Clarification | 1 | comprise entre 0 et 20% d'après Degrémont [2005] |
| Filtration par charbon actif | 4 | comprise entre 20 et 50% d'après Degrémont [2005] |
| Filtration par osmose inverse | 9 | comprise entre 80 et 100% d'après Degrémont [2005] |
| Optimisation décantation soude | 8 | données industrielles |
| Optimisation coagulation Nalmet | 8 | données industrielles |
| Recyclage des eaux de rinçage circuit fermé | 10 | égal à 95% d'après FTE-Nickel (p78) |
| Recyclage des eaux de rinçage sans circuit fermé | 9 | compris entre 80 et 85% d'après FTE-Nickel (p76) |
| Traitement électrolytique | 8 | extrapolé de données DRIIE (voir FTE-Nickel, p76) |
| Collecte et recyclage sans danger des batteries | 2 | issue de FP7 - Socopse et tient compte de la part de domestique dans les rejets de STEU * |
| DP+BA+B (décantation primaire + boues activées moyenne charge + Biofiltre) | 8 | supérieure à 70% d'après Choubert et al. [2011] |
| Diminution des engrais minéraux de 20% | 1 | supposé égal à 20% |
| Diminution des cheptels de 10% | 2 | supposé égal à 10% |
| Diminution des cheptels de 20% | 3 | supposé égal à 20% |

Tableau 17 : Evaluation des mesures selon le critère d'efficacité (* : évaluations incertaines)

- Le critère « Co-effets » doit permettre d'inventorier aussi bien les co-effets positifs que négatifs. Côté positif, nous inventorions le nombre de substances préoccupantes sur lesquelles la mesure est également efficace (+1 par substance, plafonné à substances). L'évaluation des effets négatifs de la mesure intègre en particulier les effets environnementaux : consommation énergétique de la mesure, son impact sur la pollution atmosphérique, sur la pollution des sols, etc (-2 par impact négatif reconnu).

| | Co-effets | Commentaire | |
|--|-----------|--|---|
| Clarification | 6 | permet de traiter efficacement certaines substances d'après Degrémont [2005] | |
| Filtration par charbon actif | 8 | issue de FP7 - Socopse | |
| Filtration par osmose inverse | 6 | issue de FP7 - Socopse | |
| Optimisation décantation soude | 7 | permet de traiter d'autres MES (donnée industrielle) | |
| Optimisation coagulation Nalmet | 4 | permet de traiter d'autres MES, mais impact environnemental du Nalmet potentiellement élevé (donnée industrielle) | |
| Recyclage des eaux de rinçage circuit fermé | 8 | | * |
| Recyclage des eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | | * |
| Traitement électrolytique | 5 | interprétation à partir de FP7 - Socopse | * |
| Collecte et recyclage sans danger des batteries | 5 | issue de FP7 - Socopse | |
| DP+BA+B | 10 | permet d'atteindre plus de 70% d'efficacité pour 11 substances prioritaires (dangereuses) d'après Choubert et al. [2011] | |
| Diminution des engrais minéraux de 20% | 8 | les engrais minéraux sont sources de rejets de nombreux ETM (en particulier As, Cd, Cr, Se) | |
| Diminution des cheptels de 10% | 9 | les engrais déjections animales sont sources de rejets de nombreux ETM (en particulier As, Cu, Zn, Mo) | |
| Diminution des cheptels de 20% | 9 | les engrais déjections animales sont sources de rejets de nombreux ETM (en particulier As, Cu, Zn, Mo) | |

Tableau 18 : Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines)

L'évaluation des mesures selon ce critère est obtenue à dire d'expert pour plusieurs mesures et reste donc soumise à une forte incertitude. Améliorer les procédures de notation de ce critère fait partie des axes d'amélioration et de travail sur la méthode.

8.2.2 LES CRITERES ECONOMIQUES

- Le critère « Coût » renvoie au montant des coûts liés à la mise en œuvre de la mesure. Il intègre lui-même 4 sous-critères : les coûts d'investissement, les coûts de maintenance, les coûts variables, et il tient par ailleurs compte des économies potentiellement associées à la mise en place de la mesure (baisse de la redevance due aux Agences de l'Eau, éventuelles subventions des Agences de l'Eau, etc.). Cette variable est normalisée entre 0 (coûts infinis) et 10 (coûts les plus faibles). La notation de ce critère s'est appuyée directement sur des données industrielles lorsqu'elles étaient disponibles.

| | Coûts | Commentaire | |
|---|-------|---|---|
| Clarification | 8 | | * |
| Filtration par charbon actif | 6 | issue de FP7 - Socopse | |
| Filtration par osmose inverse | 5 | issue de FP7 - Socopse | |
| Optimisation décantation soude | 10 | 1€/kg de Ni évité (donnée industrielle) | |
| Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 160€/kg de Ni évité (donnée industrielle) | |
| Recyclage des eaux de rinçage circuit fermé | 6 | | * |
| Recyclage des eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | | * |
| Traitement électrolytique | 5 | | * |
| Collecte et recyclage sans danger des batteries DP+BA+B | 8 | issue de FP7 - Socopse | |
| | 7 | interprété d'après Choubert et al. [2011] | |
| Diminution des engrais minéraux de 20% | 6 | hypothèse sur la base de FP7-Aquarehab | * |
| Diminution des cheptels de 10% | 4 | hypothèse sur la base de FP7-Aquarehab | * |
| Diminution des cheptels de 20% | 2 | hypothèse sur la base de FP7-Aquarehab | * |

Tableau 19 : Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines)

Concernant les coûts associés aux mesures contre la pollution diffuse, un travail avait été engagé par VITO dans le cadre du projet FP7 - Aquarehab²⁷ qui évoquait des coûts élevés de mise en œuvre du fait de modifications structurelles importantes à apporter au secteur de l'agriculture. Toutefois ces études n'avaient pas été menées à leur terme et les hypothèses formulées dans notre étude doivent donc être considérées avec précaution.

Plus généralement, l'étude plus précise de ces coûts devrait être un axe de développement prioritaire pour les développements futurs de cette étude.

- Le critère « Disponibilité » fait référence à l'accessibilité de la mesure pour les opérateurs. Il est lui aussi normalisé de 0, pour les mesures à l'état de projet de recherche, à 10 pour les mesures déjà en usage et disponibles sur le marché.

²⁷ <https://aquarehab.vito.be/home/Pages/home.aspx>

| | Disponibilité | Commentaire | |
|--|---------------|--|---|
| Clarification | 10 | procédé existant et largement développé d'après d'après Degremont [2005] | |
| Filtration par charbon actif | 10 | issue de FP7 - Socopse | |
| Filtration par osmose inverse | 7 | issue de FP7 - Socopse | |
| Optimisation décantation soude | 8 | sans difficulté flagrante (donnée industrielle) | |
| Optimisation coagulation Nalmet | 6 | essais industriels | |
| Recyclage des eaux de rinçage circuit fermé | 7 | mises en œuvre existantes et concluantes (FTE-Nickel, p76) | |
| Recyclage des eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | mises en œuvre existantes et concluantes (FTE-Nickel, p76) | |
| Traitement électrolytique | 7 | mises en œuvre existantes et concluantes (FTE-Nickel, p78) | |
| Collecte et recyclage sans danger des batteries | 9 | issue de FP7 - Socopse | |
| DP+BA+B | 6 | interprété d'après Choubert et al. [2011] | * |
| Diminution des engrais minéraux de 20% | 5 | La mesure est connue, mais les conditions de sa mise en œuvre difficile | |
| Diminution des cheptels de 10% | 5 | La mesure est connue, mais les conditions de sa mise en œuvre difficile | |
| Diminution des cheptels de 20% | 5 | La mesure est connue, mais les conditions de sa mise en œuvre difficile | |

Tableau 20: Evaluation des mesures selon le critère des co-effets (* : évaluations incertaines)

8.2.3 LE CRITERE SOCIO-ECONOMIQUE

- Le critère « Acceptabilité locale de la mesure » a déjà été présenté dans la partie 8.1. Il doit traduire une problématique souvent évoquée par les Agences de l'Eau liée à la pertinence d'associer certaines mesures à certains acteurs locaux.

L'évaluation de ce critère devrait reposer sur une étude précise à l'échelle du bassin, ce qui n'a pas pu être fait dans le cadre de cet exercice. Nous avons donc attribué (provisoirement) la même note à toutes les mesures. Il ne sera donc pas discriminant dans l'exercice de hiérarchisation.

Un objectif particulier de l'étude que nous développerons en 2014 pourrait être de réaliser le travail autour de ce critère en collaboration avec l'AE Rhin-Meuse. Il s'agira en particulier de définir une méthodologie d'évaluation robuste et transférable à d'autres bassins.

8.3 CHOIX DE LA METHODE DE HIERARCHISATION

Ce paragraphe est largement emprunté à [Ducos, 2011]²⁸. Il vise à présenter les raisons du choix d'une hiérarchisation des mesures par le biais d'une analyse multicritère, puis à expliciter le recours au logiciel ELECTRE III pour la réalisation de cette analyse.

La méthode de hiérarchisation sélectionnée doit dépendre du type d'optimisation et du type de résultats recherchés.

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

²⁸ G.Ducos, 2011, "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 mesure"

8.3.1 L'ANALYSE COUTS-BENEFICES

L'analyse coût-bénéfices permet de mettre en avant le profit en euros associé à une mesure. Formellement, ce problème se présente ainsi :

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

π_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

La meilleure mesure est simplement celle qui présente le profit le plus élevé.

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

8.3.2 MAXIMISATION SOUS CONTRAINTE

Outre le fait que cette méthode ne nécessite pas 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 :

$$\text{Max } E_i$$

sc. $C_i \leq B$

La meilleure combinaison est celle qui présente la performance environnementale (par exemple une réduction des émissions annuelles) la plus élevée avec un coût inférieur ou égal au budget fixé par le gestionnaire.

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

8.3.3 L'ANALYSE MULTICRITERE

L'analyse multicritère est une technique qui, selon ses modalités de mise en œuvre, peut offrir une alternative à chacune des méthodes précédentes. Chaque mesure est évaluée selon 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 multicritère mobilisée. Il existe trois grands types de méthodes d'analyse multicritère, chacune ayant ses propres règles d'optimisation.

Dans les méthodes d'analyse multicritère type « agrégation totale », la meilleure combinaison est celle qui présente 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 α_j est le poids du critère j .

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

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

La meilleure combinaison répond le plus souvent aux deux conditions de surclassement développées par B. Roy (1996²⁹), à savoir la concordance³⁰ et la non-discordance³¹.

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) la proposition « le triplet X est meilleur que le triplet Y ».

²⁹ Bernard Roy, 1996. Multi-criteria Methodology for Decision Aiding, Dordrecht, Kluwer Academic, 316 p.

³⁰ 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.

³¹ 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.

L'Encart 2 ci après 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 | <u>20</u> |
| Y | <u>10.5</u> | 9.5 | <u>10</u> | 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 2 : Les conditions de concordance et de non-discordance

A la lumière de cette présentation, parmi les méthodes d'analyse multicritère, la méthode ELECTRE III/IV (méthode de surclassement) est considérée comme la meilleure option de hiérarchisation des triplets.

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.
 - 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/IV fait partie, permettent en revanche de ne pas avoir de compensation entre critères.

- La méthode ELECTRE III/IV 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.

9. MISE EN ŒUVRE DE L'AMC

Compte tenu des évaluations présentées dans la partie 8.2, nous avons constitué une base de données portant sur 178 triplets « substances-source-mesure »³² dont un échantillon arbitraire est présenté dans le **Tableau 21**.

L'ensemble des triplets étudiés est présenté en annexe (voir **Tableau 22**).

³² Il convient enfin de noter que faute de temps, nous n'avons pu contacter toutes les installations responsables de rejets de Ni sur le territoire de notre étude et ainsi faire l'inventaire des mesures qui ont d'ores-et-déjà été mises en place. Aussi, est-il possible que parmi les triplets présentés dans notre étude certains correspondent à des actions qui ont déjà été menées. L'étude permet alors de situer ces actions dans la hiérarchie d'ensemble des mesures possibles.

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'émetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|-----|-----------|--|---|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 1 | Nickel | S1 | Clarification | 8 | 10 | 10 | 1 | 6 | 5 |
| 2 | Nickel | S4 | Clarification | 8 | 10 | 3 | 1 | 6 | 5 |
| 22 | Nickel | S5 | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 5 |
| 36 | Nickel | S32 | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 37 | Nickel | S35 | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 46 | Nickel | S11 | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 62 | Nickel | S7 | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 76 | Nickel | S39 | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 83 | Nickel | S10 | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 91 | Nickel | S28 | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 104 | Nickel | S13 | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 124 | Nickel | S17 | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 131 | Nickel | S32 | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 135 | Nickel | S26 | Traitement électrolytique | 5 | 7 | 1 | 8 | 5 | 5 |
| 136 | Nickel | S2 | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 4 | 2 | 5 | 5 |
| 144 | Nickel | S20 | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 157 | Nickel | S3 | DP + BA + B | 7 | 6 | 3 | 8 | 10 | 5 |
| 168 | Nickel | S27 | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 176 | Nickel | S40 Diffus agricole : engrais minéraux | Diminution des engrais minéraux de 20% | 6 | 5 | 4 | 2 | 8 | 5 |
| 178 | Nickel | S41 Diffus agricole : déjections | Diminution des cheptels de 20% | 2 | 5 | 10 | 3 | 9 | 5 |

Tableau 21 : Exemple de triplets "substance-source-mesure"

La hiérarchisation des triplets « substance-source-mesure » a été réalisée à l'aide d'une version Excel d'ELECTRE III³³.

Les rangs finaux de tous les triplets étudiés sont présentés dans le **Tableau 23** en annexe, à la suite de leur définition.

Il convient cependant de prendre ces résultats avec de nombreuses précautions, l'enjeu de cette étude étant de démontrer la fiabilité, la simplicité et la cohérence d'une méthodologie.

Donc, avec toutes les précautions dues aux nombreuses hypothèses formulées au long de cette étude « pilote » et compte tenu du jeu de pondération arbitraire que nous avons postulé, nous observons que :

- L'action la plus pertinente est celle qui consisterait à optimiser le procédé de décantation à l'aide de soude sur la source S1, la plus importante des sources ponctuelles inventoriées sur le bassin Rhin-Meuse.
- D'une manière générale, cette mesure occupe toutes les premières places de la hiérarchisation, ceci allant fortement dans le sens du très bon rapport coût-efficacité de la mesure suggéré par les données industrielles disponibles.
- Viennent ensuite toutes les mesures qu'il est possible de mettre en place sur la source S1, à l'exception de la nanofiltration et de la coagulation optimisée au Nalmet, solutions trop onéreuses.
- Les solutions de clarification sont également bien classées en dépit de leur faible efficacité, tout comme les deux mesures proposées au niveau des STEP : Dépôt primaire + boues activées + biofiltre, et collecte et recyclage des batteries.
- Les solutions de réduction des rejets diffus apparaissent mal classées, en particulier du fait des hypothèses faites quant à leur coût et à la difficulté de leur mise en œuvre, qui sont pour le moment assez arbitraires³⁴. Un des premiers travaux à réaliser pour poursuivre ce travail sera de préciser et évaluer de façon plus fiable ces mesures, car les sources diffuses sont de loin la première source de Nickel et un levier d'action potentiellement stratégique.

10. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES POUR 2014

L'élaboration d'un Programme de Mesures est un processus complexe nécessitant la prise en compte d'un grand nombre de variables. L'objet de ce rapport était de présenter l'ossature d'un outil d'aide à la décision répondant à une telle problématique par l'usage d'une analyse multicritère. Ce travail nous a permis de mettre clairement en évidence les jalons nécessaires à ce type d'étude et de présenter les difficultés méthodologiques qui y sont liées.

De l'inventaire des rejets ponctuels et diffus à la hiérarchisation des actions à entreprendre, en passant par l'inventaire des mesures de réduction des rejets et l'évaluation de leurs performances, les étapes de notre travail sont nombreuses mais leur mode de mise en œuvre maintenant éclairé.

Certaines étapes de notre travail mériteront d'être approfondies en 2014, en collaboration avec l'AE R-M, particulièrement :

³³ MCDA Electre Toolkit v 1.3, Poznam University of Technology, Poland

³⁴ Par ailleurs, l'évaluation du critère « importance de la source » a également été artificiellement réduite pour ce qui concerne les rejets diffus. Voir 8.2.

- L'identification et l'évaluation des mesures pouvant être mises en œuvre pour diminuer les rejets diffus, en se basant par exemple sur les discussions et études en cours dans l'UE sur l'évolution des teneurs en métaux admissibles dans les engrais.
- La prise en compte de la situation précise des sources ponctuelles les plus importantes du bassin, et notamment des mesures de réduction qu'elles auraient déjà mises en œuvre.
- Et l'évaluation de l'acceptabilité des mesures.

Ceci devra être fait en intégrant par ailleurs plusieurs nouvelles substances à notre étude.

11. ANNEXE : TRIPLETS ET HIERARCHISATION ELECTRE

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'émetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|----|-----------|------------------------------------|------------------------------|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 1 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Clarification | 8 | 10 | 10 | 1 | 6 | 5 |
| 2 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Clarification | 8 | 10 | 3 | 1 | 6 | 5 |
| 3 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Clarification | 8 | 10 | 3 | 1 | 6 | 5 |
| 4 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Clarification | 8 | 10 | 3 | 1 | 6 | 5 |
| 5 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Clarification | 8 | 10 | 2 | 1 | 6 | 5 |
| 6 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Clarification | 8 | 10 | 2 | 1 | 6 | 5 |
| 7 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Clarification | 8 | 10 | 2 | 1 | 6 | 5 |
| 8 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Clarification | 8 | 10 | 2 | 1 | 6 | 5 |
| 9 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Clarification | 8 | 10 | 2 | 1 | 6 | 5 |
| 10 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 11 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 12 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 13 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 14 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 15 | Nickel | S28 DELCROS | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 16 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 17 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 18 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 19 | Nickel | S39 Constellium | Clarification | 8 | 10 | 1 | 1 | 6 | 5 |
| 20 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 10 | 4 | 8 | 5 |
| 21 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 5 |
| 22 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 5 |
| 23 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 3 | 4 | 8 | 5 |
| 24 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 5 |
| 25 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'emetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|----|-----------|------------------------------------|---|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 26 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 5 |
| 27 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 5 |
| 28 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 5 |
| 29 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 30 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 31 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 32 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 33 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 34 | Nickel | S28 DELCROS | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 35 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 36 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 37 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 38 | Nickel | S39 Constellium | Filtration par charbon actif | 6 | 10 | 1 | 4 | 8 | 5 |
| 39 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 10 | 9 | 6 | 5 |
| 40 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 |
| 41 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 |
| 42 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 3 | 9 | 6 | 5 |
| 43 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 44 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 45 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 46 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 47 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 48 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 49 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 50 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 51 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 52 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'emetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|----|-----------|------------------------------------|---|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 53 | Nickel | S28 DELCROS | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 54 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 55 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 56 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 57 | Nickel | S39 Constellium | Filtration par osmose inverse ou nanofiltration | 5 | 7 | 1 | 9 | 6 | 5 |
| 58 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 10 | 8 | 7 | 5 |
| 59 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 3 | 8 | 7 | 5 |
| 60 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 3 | 8 | 7 | 5 |
| 61 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 3 | 8 | 7 | 5 |
| 62 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 63 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 64 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 65 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 66 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 2 | 8 | 7 | 5 |
| 67 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 68 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 69 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 70 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 71 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBORG | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 72 | Nickel | S28 DELCROS | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 73 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 74 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 75 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 76 | Nickel | S39 Constellium | Optimisation décantation - soude | 10 | 8 | 1 | 8 | 7 | 5 |
| 77 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 10 | 8 | 4 | 5 |
| 78 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 3 | 8 | 4 | 5 |
| 79 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 3 | 8 | 4 | 5 |
| 80 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 3 | 8 | 4 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'emetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|-----|-----------|------------------------------------|---|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 81 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 82 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 83 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 84 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 85 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 5 |
| 86 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 87 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 88 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 89 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 90 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 91 | Nickel | S28 DELCROS | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 92 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 93 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 94 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 95 | Nickel | S39 Constellium | Optimisation coagulation Nalmet | 4 | 6 | 1 | 8 | 4 | 5 |
| 96 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 10 | 10 | 8 | 5 |
| 97 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 3 | 10 | 8 | 5 |
| 98 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 3 | 10 | 8 | 5 |
| 99 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 3 | 10 | 8 | 5 |
| 100 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 101 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 102 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 103 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 104 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 2 | 10 | 8 | 5 |
| 105 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 106 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 107 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'émetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|-----|-----------|------------------------------------|--|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 108 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 109 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 110 | Nickel | S28 DELCROS | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 111 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 112 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 113 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 114 | Nickel | S39 Constellium | Recyclage eaux de rinçage - circuit fermé | 6 | 7 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| 115 | Nickel | S1 ELECTROPOLI | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 10 | 9 | 7 | 5 |
| 116 | Nickel | S4 REJET SUD RHODIA | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 3 | 9 | 7 | 5 |
| 117 | Nickel | S5 RRU PEUGEOT SAUSHEIM | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 3 | 9 | 7 | 5 |
| 118 | Nickel | S6 ARKEMA FINALE | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 3 | 9 | 7 | 5 |
| 119 | Nickel | S7 LANXESS EMULSION RUBBER | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 2 | 9 | 7 | 5 |
| 120 | Nickel | S8 REJET NORD RHODIA | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 2 | 9 | 7 | 5 |
| 121 | Nickel | S10 ASCOMETAL | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 2 | 9 | 7 | 5 |
| 122 | Nickel | S11 SNET - Centrale Emile HUCHET | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 2 | 9 | 7 | 5 |
| 123 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 2 | 9 | 7 | 5 |
| 124 | Nickel | S17 SOVAB FRANCEAUX | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 125 | Nickel | S19 NOVATISSUE | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 126 | Nickel | S22 PAPETERIES CLAIREFONTAINE | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 127 | Nickel | S25 SOLLAC TAF | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 128 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 129 | Nickel | S28 DELCROS | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 130 | Nickel | S31 TURQUAIS EAUX DILUEES | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 131 | Nickel | S32 LACTO SERUM FRANCE | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 132 | Nickel | S35 Etablissement de Cliron. dit B | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 133 | Nickel | S39 Constellium | Recyclage eaux de rinçage sans circuit fermé | 7 | 7 | 1 | 9 | 7 | 5 |
| 134 | Nickel | S13 REJET CEDILOR MALAN | Traitement électrolytique | 5 | 7 | 2 | 8 | 5 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'émetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|-----|-----------|----------------------------|---|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 135 | Nickel | S26 REJET TREDI HOMBOURG | Traitement électrolytique | 5 | 7 | 1 | 8 | 5 | 5 |
| 136 | Nickel | S2 MAXEVILLE/NANCY | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 4 | 2 | 5 | 5 |
| 137 | Nickel | S3 SAUSHEIM (ILE NAPOLEON) | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| 138 | Nickel | S9 SCHWINDRATZHEIM | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 2 | 2 | 5 | 5 |
| 139 | Nickel | S12 CERNAY | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 2 | 2 | 5 | 5 |
| 140 | Nickel | S14 ISSENHEIM | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 141 | Nickel | S15 GOLBEY | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 142 | Nickel | S16 VILLAGE-NEUF | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 143 | Nickel | S18 STEIH | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 144 | Nickel | S20 SELESTAT | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 145 | Nickel | S21 BISCHWILLER | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 146 | Nickel | S23 RUELISHEIM | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 147 | Nickel | S24 SAINT-DIE LA PECHERIE | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 148 | Nickel | S27 LONGWY | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 149 | Nickel | S29 REMIREMONT | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 150 | Nickel | S30 SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 151 | Nickel | S33 MOOSCH | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 152 | Nickel | S34 NEUVES-MAISONS | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 153 | Nickel | S36 SIERENTZ | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 154 | Nickel | S37 EGUISHHEIM | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 155 | Nickel | S38 FOLSCHVILLER | Collecte et recyclage sans danger des batteries | 8 | 9 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 156 | Nickel | S2 MAXEVILLE/NANCY | DP + BA + B | 7 | 6 | 4 | 8 | 10 | 5 |
| 157 | Nickel | S3 SAUSHEIM (ILE NAPOLEON) | DP + BA + B | 7 | 6 | 3 | 8 | 10 | 5 |
| 158 | Nickel | S9 SCHWINDRATZHEIM | DP + BA + B | 7 | 6 | 2 | 8 | 10 | 5 |
| 159 | Nickel | S12 CERNAY | DP + BA + B | 7 | 6 | 2 | 8 | 10 | 5 |
| 160 | Nickel | S14 ISSENHEIM | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 161 | Nickel | S15 GOLBEY | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 162 | Nickel | S16 VILLAGE-NEUF | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 163 | Nickel | S18 STEIH | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 164 | Nickel | S20 SELESTAT | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 165 | Nickel | S21 BISCHWILLER | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 166 | Nickel | S23 RUELISHEIM | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |

| # | Substance | Source | Mesure | Coût | Disponibilité | Importance de l'émetteur | Efficacité | Co-effets | Acceptabilité de la mesure |
|-----|-----------|--|--|------|---------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|
| 167 | Nickel | S24 SAINT-DIE LA PECHERIE | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 168 | Nickel | S27 LONGWY | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 169 | Nickel | S29 REMIREMONT | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 170 | Nickel | S30 SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 171 | Nickel | S33 MOOSCH | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 172 | Nickel | S34 NEUVES-MAISONS | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 173 | Nickel | S36 SIERENTZ | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 174 | Nickel | S37 EGUISHHEIM | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 175 | Nickel | S38 FOLSCHVILLER | DP + BA + B | 7 | 6 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 176 | Nickel | S40 Diffus agricole : engrais minéraux | Diminution des engrais minéraux de 20% | 6 | 5 | 4 | 2 | 8 | 5 |
| 177 | Nickel | S41 Diffus agricole : déjections | Diminution des cheptels de 10% | 4 | 5 | 10 | 2 | 9 | 5 |
| 178 | Nickel | S41 Diffus agricole : déjections | Dimintuion des cheptels de 20% | 2 | 5 | 10 | 3 | 9 | 5 |

Tableau 22 : Ensemble des triplets "substance-source-mesure"

| Rang | Triplets |
|------|--|
| 1 | T58 |
| 2 | T59 T60 T61 T62 T63 |
| 3 | T64 |
| 4 | T65 T66 |
| 5 | T67 |
| 6 | T68 T69 T70 T71 T72 T73 T74 T75 T76 |
| 7 | T1 T20 T96 T115 T156 |
| 8 | T2 T157 |
| 9 | T3 T4 T5 T6 T7 T116 |
| 10 | T21 T97 T117 T118 |
| 11 | T8 T9 T10 T22 T119 T120 |
| 12 | T98 T99 T136 T137 |
| 13 | T23 T24 T25 T138 T158 T159 T160 T161 T162 |
| 14 | T11 T12 T13 T14 T15 T16 T17 T18 T100 T121 T139 T140 T141 T142 T163 T164 T165 T166 T167 T168 T169 T170 T171 T172 T173 T174 T175 |
| 15 | T19 T101 T122 T123 T143 |
| 16 | T102 T124 T144 T145 T146 T147 T148 T149 T150 T151 T152 |
| 17 | T26 T103 T104 T105 T106 T107 T108 T109 T110 T111 T112 T113 T114 T125 T126 T127 T128 T129 T130 T131 T132 T133 T153 T154 T155 |
| 18 | T27 T28 T29 T39 |
| 19 | T30 T31 T32 T33 T34 T35 T36 T37 |
| 20 | T38 T176 |
| 21 | T40 |
| 22 | T41 T177 |
| 23 | T42 T77 |
| 24 | T43 T178 |
| 25 | T44 T78 |
| 26 | T45 |
| 27 | T46 |
| 28 | T47 |
| 29 | T48 |
| 30 | T49 T50 T51 T52 T53 T54 T55 T56 T79 |
| 31 | T57 T80 |
| 32 | T134 |
| 33 | T135 |
| 34 | T81 |
| 35 | T82 T83 |
| 36 | T84 T85 T86 |
| 37 | T87 T88 T89 T90 T91 T92 T93 T94 |
| 38 | T95 |

Tableau 23 : Rang final des 178 triplets de notre étude selon la hiérarchisation par la méthode ELECTRE III/IV

***Etude pilote pour le choix d'actions de réduction des émissions à l'aide d'un outil
d'analyse multicritère – collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse***

*Rapport 2013
Pierre Boucard*

Onema
Hall C – Le Nadar
5 square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Ineris
Parc Technologique Alata
BP 2
60550 Verneuil-en-Halatte
03 44 55 66 77
www.ineris.fr