

Évaluation de l'écocompatibilité de déchets mis en dépôts ou valorisés en travaux publics : une méthode pluridisciplinaire pour une approche « en scénario »

Assessment of the ecocompatibility of waste disposed of or reuse in civil works: a pluridisciplinary method for a scenario-based approach

L. GRELIER-VOLATIER ¹*, C. HUGREL ¹, Y. PERRODIN ¹, L. CHATEAU ²

SUMMARY

The disposal and reuse of waste (e.g., reuse of waste material for civil engineering or construction) are subjected to regulations that are mainly based on the best available technologies. They usually do not directly take into account the impact on human health and on the environment due to a lack of technical data in this field. Recent emphasis on the need to evaluate this impact has resulted in the necessity for new evaluation tools.

The ADEME (the french agency for environment and energy management) launched a research programme in 1995 called "Waste Ecocompatibility" to define a reliable methodology for measuring the impact of waste storage or reuse scenarios. This method could be used as a decision tool for environmental policy makers. It can also be used to determine what the acceptable levels of waste dumping or waste-based civil works are, while still being ecocompatible. The approach to set up this methodology is based on the concept of ecocompatibility. This is now defined as the situation where the pollutant flux from waste, either disposed of or reused, under specified conditions (physical, hydrogeological, chemical and biological conditions), is compatible with the environmental acceptance of the concerned receptor mediums. This definition integrates the evaluation of the pollutants emitted from the waste, the transport of these pollutants from the waste to the receptor media and their impact on the target receptor media.

1. INSAVALOR, Division POLDEN, PO Box 2132, 69603 Villeurbanne cedex, France.

2. ADEME, Direction de l'industrie, PO Box 406, 49004 Angers cedex 01, France.

* Correspondance. E-mail : polden@insa-lyon.fr

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 2003.

An introduction to the research program was proposed by MAYEUX and PERRODIN (1996) and GOBBEY and PERRODIN (1999) in previous papers. The experimental sections were tackled in BARNA *et al.* (2000a), BARNA *et al.* (2000b) and FERRARI (2000) concerning the emission pollutant term and the assessment of waste ecotoxicological properties. Experimentation dealing with the environmental impact on the soil and aquatic media was developed by CANIVET (2001) and POLY (2000). This program led to an operational methodology introduced by the ADEME (2000). The general steps in conducting the ecocompatibility assessment of waste disposal or reuse scenarios are:

- the preliminary description of the studied scenario;
- the implementation of tests and measurements;
- the assessment of the global waste scenario ecocompatibility.

Ecocompatibility assessment is a multidisciplinary approach requiring researchers in biology, ecotoxicology, ecology, chemistry, hydrogeology, geology, etc. Some of them are specialists in the study of waste characterisation and waste leaching behaviour, especially with respect to investigations on long-term predictions. Researchers in charge of the impact term are skilled in the environmental impact assessment of complex effluents on soil, plants, micro-organisms, soil fauna and benthic invertebrates. In this paper, we stress the critical role of the scientific manager in the multidisciplinary work of an ecocompatibility assessment. The scientific manager must make the general problems understandable for each researcher involved. It is necessary to translate the general question into a series of specific questions related to each term of the methodology. To take advantage of a multidisciplinary study it is necessary to encourage and facilitate communication and discussion. If this is not efficient, each team will focus on its specific objective without taken into account data from the other teams. A lack of effective interactions between the involved researchers and the scientific manager will lead to a series of individual studies that are not of interest with regards to the general question. Similarly, it is essential that the various results lead to a joint discussion to draw a common conclusion.

Key-words: *ecocompatibility, waste, disposal, reuse, impact, method, scenario.*

RÉSUMÉ

Fondée sur le concept de l'écocompatibilité des déchets et élaborée à l'issue d'un programme de recherche de 5 ans, la méthode présentée nécessite une étroite collaboration entre chercheurs ou experts provenant de disciplines variées (physicochimie, hydrogéologie, géotechnique, biologie, microbiologie...) et travaillant sur divers milieux (déchets, sol de surface, sous-sol et eau). Elle comprend une procédure d'évaluation *stricto sensu*, suivie d'une procédure de décision au cours de laquelle on se prononce sur l'écocompatibilité (ou non) des scénarios de stockage ou de valorisation des déchets étudiés (ex : valorisation en technique routière). L'évaluation est effectuée selon une approche dite « en scénario », inspirée de la norme expérimentale européenne ENV 12 920 « Caractérisation des déchets – Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées ». Elle repose sur l'étude successive des flux de polluants émis par le dépôt ou l'ouvrage contenant les déchets (terme source), du transport de ces flux vers les milieux récepteurs (terme transport) et de l'impact des flux de polluants atteignant les milieux récepteurs (terme impact). Elle comprend une étape préalable d'analyse visant à décrire finement chacun de ces trois termes fondamentaux (source, transport et impact), de manière à identifier et à hiérarchiser les différents paramètres ayant une influence déterminante sur leur comportement. Cette analyse, qui correspond à la description du déchet et du scénario de stockage ou de valorisation des déchets, permet

ensuite d'effectuer une sélection pertinente des essais à mettre en œuvre pour procéder à l'évaluation de chacun des trois termes et donc de l'écocompatibilité du scénario étudié. Les grands principes de la méthode et les principaux résultats obtenus lors du programme relatif à sa mise au point ayant fait l'objet de précédentes publications, le présent document porte sur le caractère fondamentalement pluridisciplinaire de l'application de cette méthode.

Mots clés : *écocompatibilité, déchet, stockage, valorisation, impact, méthode, scénario.*

1 – INTRODUCTION

Les politiques de gestion des déchets intègrent de plus en plus la maîtrise des impacts sur les milieux pour fixer des exigences environnementales associées aux systèmes de traitement et de valorisation. Cette évolution prend une dimension particulièrement sensible dès que les orientations finales des déchets impliquent un contact direct et à long terme avec le milieu naturel. Cela est notamment le cas de la valorisation des déchets en travaux publics.

Dans ce contexte, l'ADEME a développé une méthode pluridisciplinaire d'évaluation de scénarios de stockage et de valorisation des déchets qui intègre la connaissance du comportement des déchets à long terme (MEHU, 1999) et prend en compte leurs impacts sur les écosystèmes (MAYEUX et PERRODIN, 1996).

Cette méthode s'adresse en particulier :

- aux autorités administratives désireuses de mieux intégrer les impacts environnementaux lors de l'élaboration de nouvelles réglementations relatives à la gestion des déchets ;
- aux industriels souhaitant définir les aménagements de leurs dépôts ou ouvrages, existant ou à venir, afin de les rendre écocompatibles.

À ce jour, la méthode est opérationnelle en l'état dans le cas des déchets à caractère minéral placés dans des scénarios pour lesquels l'eau est le principal vecteur de transport des polluants, et pour lesquels les milieux cibles sont les sols de surface et/ou les eaux superficielles courantes. Des travaux de thèse sont en cours afin d'étendre son domaine d'application aux milieux lenticules et d'approfondir l'évaluation de l'impact sur le milieu sol et le milieu aquatique superficiel d'eau courante par extension de la batterie d'essais actuellement proposée (GROS *et al.*, 2001).

Le programme de recherche ayant conduit à l'élaboration du principe et des fondements de la méthode a été présenté lors de publications précédentes par MAYEUX et PERRODIN (1996), GOBBEY et PERRODIN (1999) et PERRODIN *et al.* (2000). Quant à la partie expérimentale, celle-ci a été abordée par BARNÀ *et al.* (2000a), BARNÀ *et al.* (2000b), POLY (2000), FERRARI (2000), CANIVET (2001) et PERRODIN *et al.*, (2001).

Dans le présent document, après un bref rappel du principe de la méthode, nous en reprenons les grandes étapes en développant les aspects liés à son

caractère fondamentalement pluridisciplinaire (disciplines mobilisées, articulation des essais expérimentaux, mode de collaboration, coordination...).

2 – DÉFINITION ET PRINCIPE GÉNÉRAL

L'écocompatibilité est définie comme « une situation où les flux de polluants émis par les déchets — lorsque ceux-ci sont placés dans un certain contexte physique, hydrologique, hydrogéologique, physicochimique et biologique — sont compatibles avec les flux de polluants acceptables par les milieux récepteurs du site concerné ». Une illustration générale de la définition est donnée dans la *figure 1*.

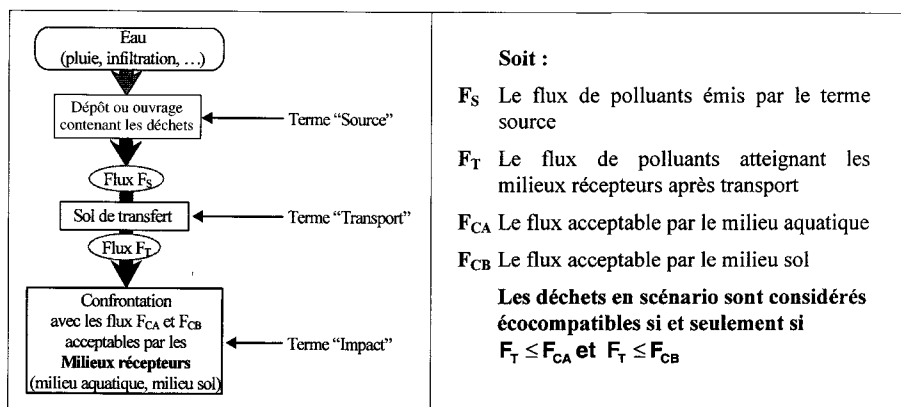


Figure 1 Illustration générale de la définition de l'écocompatibilité.

General scheme of ecocompatibility definition.

Notons que cette définition souligne l'importance de la situation dans laquelle est placé le déchet puisqu'il ne s'agit en aucun cas de se limiter aux propriétés intrinsèques de celui-ci mais bien d'en évaluer l'écocompatibilité dans des conditions d'exposition particulières, c'est-à-dire « en scénario ».

Pour répondre aux objectifs de la définition de l'écocompatibilité, la méthode développée s'articule autour de la caractérisation :

- des flux de polluants émis par le dépôt ou l'ouvrage contenant les déchets, désignés dans la méthode par l'appellation *terme source* ;
- du transport de ces flux vers chacun des milieux récepteurs sollicités, désigné par l'appellation *terme transport* ;
- de l'impact des flux de polluants atteignant les milieux récepteurs, appelé *terme impact*.

Soulignons que certains milieux tels que les nappes phréatiques et le sol peuvent, dans une même problématique, être le siège des termes transport et impact.

La caractérisation du *terme source* est généralement conduite dans le cadre d'une collaboration associant des techniciens du traitement des déchets avec des spécialistes du comportement à court, moyen et long terme des déchets (physicochimistes, géotechniciens et microbiologistes du déchet). La caractérisation du *terme transport* nécessite au moins l'intervention d'hydrogéologues, de géochimistes et de microbiologistes du sol. La caractérisation du *terme impact* fait appel au minimum aux compétences de biologistes spécialistes de la faune, de la flore, des micro-organismes du sol et des milieux aquatiques.

3 – PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA MÉTHODE

La méthode comporte trois étapes essentielles :

- une étape d'étude préliminaire consistant à décrire la situation sur le terrain ;
- une deuxième étape consacrée au choix des essais appropriés au cas étudié ;
- une troisième étape pendant laquelle sont mis en œuvre ces essais ;
- une dernière étape où il s'agit d'interpréter les résultats obtenus afin de conclure sur l'écocompatibilité du scénario étudié.

3.1 Description du scénario

La description détaillée du scénario, réalisée dans le cadre d'un travail pluridisciplinaire, permet d'acquérir une connaissance approfondie et quantifiée des éléments et des phénomènes les plus déterminants vis-à-vis du comportement du déchet en situation, ainsi que de ses impacts environnementaux.

La vision globale de la situation est tout d'abord construite par le coordinateur scientifique sur la base d'informations à caractère général mais aussi d'informations spécifiques à chacun des domaines d'expertise mobilisés. Pour chacun des termes (source, transport et impact), les experts des différentes disciplines décrivent finement les paramètres et l'ensemble des conditions spécifiques ayant une influence déterminante sur le comportement du terme qui les concerne.

Sur cette base, le coordinateur scientifique élabore un schéma de principe du scénario qui permet une visualisation concrète de la situation. Ce schéma permet de clarifier la problématique de l'étude pour l'ensemble des personnes impliquées : commanditaire, coordinateur scientifique et experts des domaines mobilisés. Il met par ailleurs en évidence les principales interactions entre les différentes équipes, évitant ainsi à chacune d'entre elles de se refermer sur sa spécialité, ce qui conduirait à une étude multidisciplinaire sans interdisciplinarité. Concrètement, le coordinateur dispose ainsi d'un support validé par l'ensemble des partenaires lui permettant non seulement de guider chaque équipe et de favoriser les échanges mais aussi de mieux identifier les résultats attendus. Quant aux équipes, elles acquièrent par cet intermédiaire une vision plus

précise de leur rôle, des données dont dépendent l'orientation et l'avancée de leurs travaux et des résultats qu'elles ont à produire pour les autres équipes. Enfin, cette « mise à plat » de la problématique et des articulations entre les équipes fait bien souvent émerger de nouvelles questions.

3.2 Sélection et mise en œuvre des essais

La deuxième et la troisième étapes consistent à sélectionner et à mettre en œuvre les essais appropriés au scénario précédemment défini. Une présentation plus détaillée de ces essais a été publiée par l'ADEME (2000).

Dans le cas des termes source et transport on distingue les essais de caractérisation intrinsèque, qui permettent d'évaluer le potentiel polluant du terme source et d'aider à l'interprétation des résultats ultérieurs et les essais d'évaluation du comportement en scénario. Ces derniers sont eux-mêmes classés en deux grandes familles regroupant :

- les essais intégraux destinés à simuler le comportement des termes source et transport dans des conditions proches de celles du terrain ; ils servent notamment à produire les lixiviats utilisés pour les essais d'évaluation du terme impact ;
- les essais paramétriques destinés à mesurer un paramètre nécessaire à l'évaluation du comportement du terme considéré ou à apprécier l'influence de facteurs pertinents sur ce paramètre ; dans le cadre de la méthode, le but de ces essais est d'expliquer les phénomènes observés et de permettre la construction du modèle de comportement qui, à terme, permettra de situer la « période critique » et de vérifier que celle-ci a bien été prise en compte au cours de l'évaluation. On appelle ici « période critique » la période durant laquelle les lixiviats produits sont les plus défavorables d'un point de vue chimique et écotoxique.

Dans le cas du terme impact, la méthode comporte aujourd'hui des essais en microcosmes (terrestre et aquatique), en mésocosmes (rivières artificielles) et sur site (prairie expérimentale). À terme, un recours minimum aux essais sur site est prévu mais ils sont tout de même utilisés en attendant que des essais équivalents soient validés à l'échelle du laboratoire.

Pour le milieu aquatique, les essais portent sur les invertébrés benthiques et interstitiels. Les paramètres suivis sont la mortalité, la diversité, l'abondance et les émergences (CANIVET, 2001). L'étude du milieu sol concerne la faune, la flore et la microflore (POLY, 2000) et conduit également au suivi de paramètres mesurés à l'échelle de l'individu et de la communauté.

À ce stade de la méthode, le travail de coordination peut s'avérer particulièrement délicat. Le coordinateur est en effet en charge de toutes parties qui ne relèvent pas clairement d'une des disciplines, que ce soit d'un point de vue pratique ou scientifique.

Du point de vue pratique, la pluridisciplinarité multiplie les intervenants et les échanges et accroît le besoin d'une logistique efficace ; ceci peut constituer une tâche relativement lourde et notamment dans le cadre de cette méthode où les essais du terme impact sont eux-mêmes tributaires des effets de saisonnalité.

Cependant, les difficultés logistiques ne doivent pas totalement accaparer le coordinateur qui doit par ailleurs orchestrer la circulation de l'information et des besoins entre les équipes ; il doit rester vigilant vis-à-vis des premiers résultats obtenus de manière à pouvoir soulever de nouvelles questions, anticiper les difficultés à venir voire réorienter les travaux si nécessaire ; mais il doit aussi veiller à exploiter les résultats de chacun dans le sens de la problématique d'ensemble et assurer leur transmission vers les équipes sous une forme accessible à tous.

3.3 Interprétation finale des résultats

L'interprétation finale des résultats se fait conformément à l'organigramme décisionnel présenté dans la *figure 2*. Il s'agit tout d'abord de valider le modèle d'évaluation du comportement à long terme des termes source et transport puis de s'assurer que les lixiviats destinés aux essais du terme impact intègrent la période critique. Si ces deux conditions sont réunies, l'interprétation des résultats se conclut par l'évaluation de l'impact des flux de polluants sur les milieux récepteurs en vue de se prononcer sur l'écocompatibilité (ou non) du scénario.

Le rendu final des résultats doit s'accompagner d'une revue critique dans laquelle on peut notamment rappeler les différentes hypothèses effectuées, les limites des outils mis en œuvre ainsi que les divers problèmes ou aléas rencontrés au cours de l'étude.

4 – CONCLUSION

Élaborée à partir de 1996 à l'initiative de l'ADEME dans l'objectif de contribuer à l'amélioration des conditions de gestion des déchets, tant sur le plan du stockage que de la valorisation, la méthode est désormais opérationnelle.

Son intérêt réside dans son caractère pluridisciplinaire extrêmement poussé, couplé avec une approche à la fois expérimentale (essais paramétriques et intégraux, essais en laboratoire, pilotes et de terrain) et théorique (modélisation du comportement à long terme). Ceci en fait une méthode performante et originale dans le domaine de la gestion des déchets.

La pluridisciplinarité qui constitue une part essentielle de son intérêt, exige en contrepartie la mise en place d'une collaboration et d'une coordination absolument parfaites entre les équipes qui participent à son application. La mise en place de cette collaboration et de cette coordination repose notamment sur le coordinateur dont le « savoir-faire » conditionne pour partie la qualité de l'évaluation effectuée. Le coordinateur est un maillon essentiel lors de l'application de la méthode. Il endosse un rôle logistique pour l'orchestration des différents essais mais également un rôle scientifique important.

La logistique est un aspect habituel mais il est rendu particulièrement important dans le cadre de cette méthode du fait de l'interdépendance des essais d'évaluation du terme impact et des essais intégraux des termes source et transport.

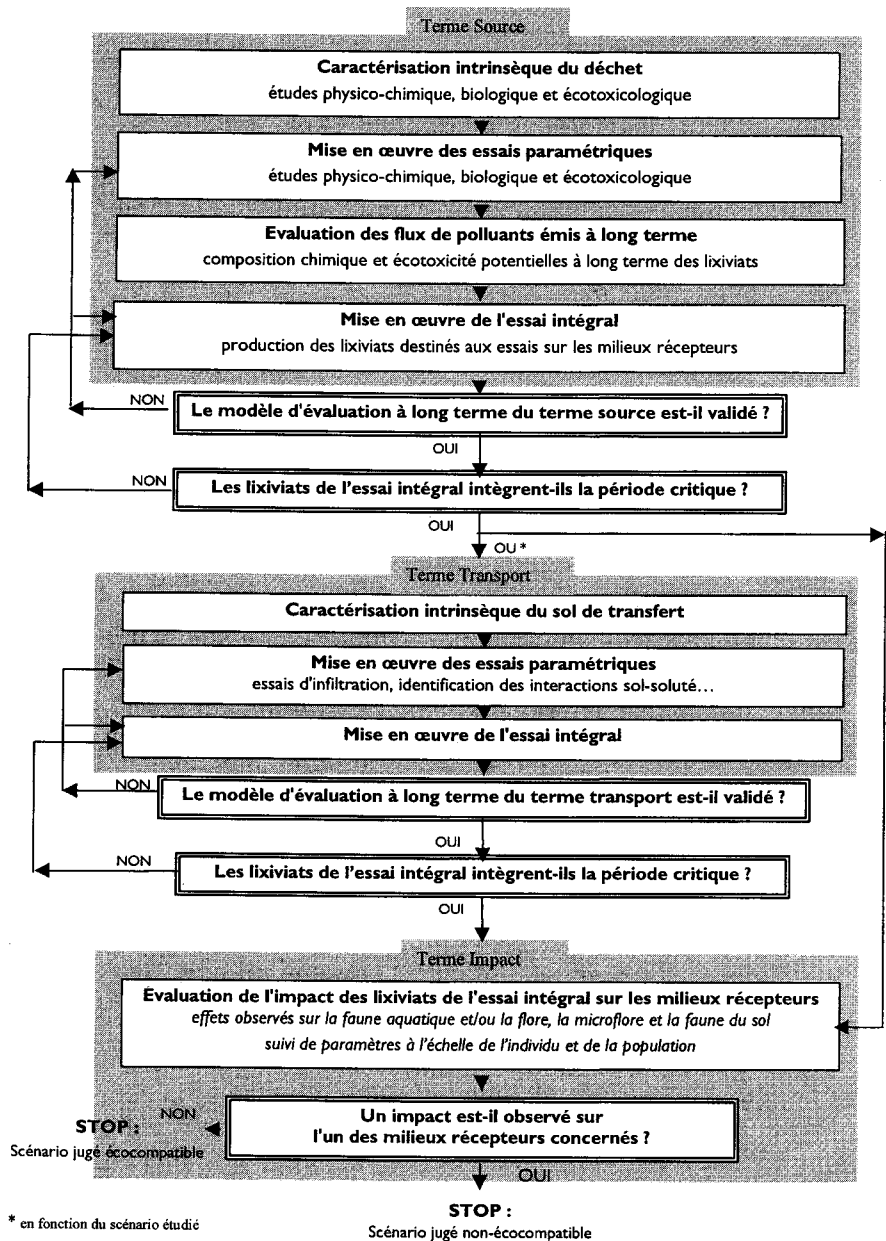


Figure 2 Organigramme décisionnel d'évaluation de l'écocompatibilité de déchets en scénario.
Decision scheme of ecocompatibility assessment.

Du point de vue scientifique, le coordinateur doit assurer un dialogue permanent avec et entre les différents partenaires. De la qualité et de la rigueur de ce dialogue dépendent la clarté des objectifs fixés à chacun et la pertinence

des travaux effectués par rapport à la problématique générale. Ce processus d'échanges est initié par une traduction de la question globale de l'écocompatibilité en une série de questions spécifiques à chacune des disciplines mais compréhensibles par tous. Il se poursuit tout au long de l'étude par une exploitation progressive et orientée dans le sens de la problématique d'ensemble, des nouvelles informations et des résultats obtenus par chacun puis par leur transmission aux différents partenaires sous une forme qui leur soit accessible.

Sans cet échange scientifique, le risque est grand de voir l'aboutissement du travail se limiter à une série d'études spécialisées qu'il devient alors très difficile de resituer par rapport à la question générale. Il importe de se rappeler que la pluridisciplinarité n'est rien sans assurer une convergence des travaux de recherche vers la problématique globale. Cette convergence relève précisément de la responsabilité du coordinateur.

Pour conclure de manière plus générale sur le thème de la pluridisciplinarité et de l'évolution de ce type de démarche, nous soulignerons enfin la nécessité pour ses initiateurs de savoir rester ouverts. La tentation de figer l'éventail des disciplines impliquées, leur organisation et leur mode d'échanges peut être grande suite à la réussite d'un projet ; c'est le cas de le dire « on ne change pas une équipe qui gagne ». Cette manière de faire présenterait d'ailleurs les avantages d'un système qui « tourne bien ». Mais, les projets se succédant, elle conduirait à terme à la création d'un nouveau point de vue particulier autant dire à la création d'une nouvelle discipline ; on perdrait de ce fait toute la richesse et la pertinence initialement recherchées par la mise en place d'une démarche pluridisciplinaire. Il faut donc toujours conserver à l'esprit que ce sont les projets qui doivent normer le travail interdisciplinaire et non pas le paradigme comme c'est le cas dans la résolution d'un problème relevant d'une discipline en particulier (FOUREZ, 1996).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, 2000. Évaluation de l'écocompatibilité de scénarios de stockage et de valorisation des déchets : principes généraux. *Actes du Colloque national sur le comportement des déchets et impacts environnementaux – Recherches et méthodes*. ADEME, Paris, 8 juin, 27 p.
- BARNA R., RETHY Z., IMYIM A., PERRODIN Y., MOSZKOWICZ P., TIRUTABARNA L., 2000a. Environmental behaviour of a construction made of a mixture of hydraulic binders and Air Pollution Control residues from Municipal Solid Waste Incineration, Part 1: Physico-chemical characterisation and modelling of the source term. *Waste Management*, 20, 741-750.
- BARNA R., RETHY Z., IMYIM A., PERRODIN Y., MOSZKOWICZ P., TIRUTABARNA L., 2000b. Environmental behaviour of a construction made of a mixture of hydraulic binders and Air Pollution Control residues from Municipal Solid Waste Incineration, Part 2: Simulation tests and validation of the source term modelling. *Waste Management*, 20, 751-759.
- CANIVET V., 2001. Détermination de l'influence d'une contamination sur les biocénoses d'invertébrés benthiques et interstitiels présents dans la zone saturée d'un milieu aquatique poreux. Étude en laboratoire et en rivières artificielles. *Th. Doct. Univ. Lyon*, 1, 226 p.

- FERRARI B., 2000. Contribution à l'étude de l'écocompatibilité de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères et de scories de seconde fusion du plomb. *Th. Doct. Univ. Metz*, 151 p.
- FOUREZ G., 1996. La méthode scientifique : disciplines intellectuelles et interdisciplinarité. In : DE BOECK université (ed.), *La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences*, 81-110.
- GOBBEY A., PERRODIN Y., 1999. Écocompatibilité des déchets. *Comptes rendus Colloque STAB & ENV'99 sur la stabilisation des déchets et l'environnement*. France, Lyon, 13-16 avril, 189-197.
- GROS R., POLY F., JOCTEUR MONROZIER L., TROSSET L., FAIVRE P., 2001. Méthode d'évaluation du risque écotoxicologique de solutions issues de déchets d'incinération revalorisés : Transfert des polluants dans le sol et impacts sur la flore et la structure des communautés bactériennes telluriques. *Comptes rendus Colloque franco-québécois sur la pluridisciplinarité dans les problèmes de l'environnement : les interactions Air Sol Eau*. Canada, Québec, 14-16 mars, 1, 409-422.
- MAYEUX V., PERRODIN Y., 1996. Écocompatibilité des déchets : vers une prise en compte de la notion d'impact pour l'élimination et la valorisation des déchets. *Déchets - Sciences et Techniques*, 3, 10-18.
- MEHU J., 1999. Déchets ultimes stabilisés. Vers une stratégie environnementale unifiée. *Comptes rendus Colloque STAB & ENV'99 sur la stabilisation des déchets et l'environnement*. France, Lyon, 13-16 avril, 385-391.
- PERRODIN Y., GOBBEY A., GRELIER-VOLATIER L., CANIVET V., FRUGET J.F., GIBERT J., TEXIER C., CLUZEAU D., JOCTEUR-MONROZIER L., POLY F., 2001. Waste ecocompatibility in storage and reuse scenarios: global methodology and detailed presentation of the impact study on the recipient environments. *Waste Management*, 22/2, 215-228.
- PERRODIN Y., GRELIER-VOLATIER L., GOBBEY A., BARNA R., 2000. Assessment of the ecocompatibility of waste disposal or waste use scenarios: towards the elaboration and implementation of a comprehensive methodology. *Proceeding of the International Conference on the Science and Engineering of recycling for Environmental Protection*. United Kingdom, Harrogate International Conference Centre, 31 May-2 June, 504-512.
- POLY F., 2000. Réponses des communautés bactériennes telluriques à des perturbations chimiques complexes : activités potentielles et empreintes génétiques. *Th. Doct. Univ. Lyon*, 1, 187 p.