ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

EVALUATION DE LA STABILITE FONCTIONNELLE DES ISDND FERMEES

SYNTHESE

Méthodologie d'évaluation de la stabilité fonctionnelle des ISDND fermées

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL STABILITY OF CLOSED LANDFILLS

EXECUTIVE SUMMARY

Methodology for the assessment of the functional stability of closed landfills

28 Février 2011

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par Suez-Environnement (Contrat n°0706C0030)
Coordination Technique : Isabelle HEBE, Service Prévention et Gestion des Déchets (SPGD) – Direction Consommation Durable et Déchets (DCDD) – ADEME (Angers)

Rédaction	Vérification	Validation
Marion CREST	Jean-Marc Audic	Laurent Galtier

Référence : 18575

SUEZ ENVIRONNEMENT – CIRSEE
38 rue du Président Wilson
78230 LE PECQ

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

www.ademe.fr

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES 4

ABREVIATIONS 5

RESUME 6

ABSTRACT 7

TERMINOLOGIE ADOPTEE 8

PREAMBULE 10

A –PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE EPCC 12

1. CONCEPTS, PRINCIPES, STRUCTURE 12

1.1 MODULE LIXIVIAT 15
1.2 MODULE BIOGAZ 15
1.3 MODULE EAUX SOUTERRAINES 16
1.4 MODULE COUVERTURE 17
1.5 ISSUE GLOBALE 17

2- CONDITIONS D'UTILISATION 19

2.1 COHERENCE REGLEMENTAIRE 19
2.2 PERIMETRE D'APPLICATION 20
2.3 APPLICABILITE ET FLEXIBILITE 20
2.4 PRE-REQUIS : INFORMATIONS, DONNEES, STRATEGIE 20
2.5 COHERENCE ENTRE LES PRE-REQUIS ET LE CONTEXTE FRANÇAIS 23
2.6 MOMENTS OPPORTUNS POUR REALISER LES EVALUATIONS 23
2.7 USAGE FUTUR DU SITE 24
2.8 GARDIENNAGE MINIMAL (« CUSTODIAL CARE ») 24
2.9 IMPOSSIBILITE DE PREDIRE UNE DUREE DE SPE : ILLUSTRATION PAR LE CAS D'UNE TOMBE SECHE 25
2.10 CONSIDERATIONS ECONOMIQUES 25

B- CONSIDERATIONS SUR LA CONSTRUCTION, L'EXPLOITATION, LA POST-EXPLOITATION DES ISDND POUR SECURISER LA GESTION POST-EXPLOITATION 26

1- RECOMMANDATIONS SUR LA GESTION DES DONNEES 26

2- UTILISATION DE PARAMETRES INDICATEURS GLOBAUX OU INDIVIDUELS 26

3- OPTIONS DE CONCEPTION ET DE GESTION D'UNE ISDND POUR DIMINUER LA DUREE DU SPE 26

4- LIMITATION DES RISQUES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX 28

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 30

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 32

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1: Résumé des démarches prévues dans la méthodologie EPCC d'évaluation du suivi post-exploitation des ISDND..... 18
Tableau 2: Liste indicative des pré-requis actuellement identifiés pour appliquer la méthodologie EPCC à une ISDND 21

– – – – – –

Figure 1 : Illustration des concepts d'émission, impact, risque 9
Figure 2 : Illustration des concepts constitutifs de la méthodologie EPCC. 12
Figure 3 : Structure modulaire de la méthodologie EPCC 13
Figure 4 : Illustration des moments opportuns pour implémenter la méthodologie 24

ABREVIATIONS

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ASTEE	Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
AEP	Alimentation en Eau Potable
AM	Arrêté Ministériel
AN	Atténuation Naturelle
AP	Arrêté Préfectoral
APE	Activités de Post-Exploitation
BMP	Biologic Methane Potential =TPM, Test de Potentiel Méthanogène
CET	Centre d'Enfouissement Technique
CC	Contrôle de Confirmation
DCSC	Dispositif de contrôle (du biogaz) Sans Combustion
DDC	Dispositif de Destruction (du biogaz) par Combustion
COC	Capacité d'Oxydation (du biogaz) de la Couverture
CS	Contrôle de Sûreté
Cl	Chlorures
COV (VOC)	Composés Organiques Volatils (Volatil Organic Compounds)
DBO_5	Demande Biologique en Oxygène (à 5 jours)
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DD	Déchets Dangereux
DND	Déchets Non Dangereux
EREF	Environmental Research & Education Foundation (USA)
EPCC	Evaluation of Post-Closure Care (évaluation du suivi post-exploitation)
ES	Eaux de Surface
ESout	Eaux Souterraines
FEE	Flux d'Emission (de méthane) Equivalent
GES	Gaz à Effet de Serre
GIDAF	Gestion Informatisée des Données d'Autosurveillance Fréquente
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ISDND	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
ITRC	Interstate Technology and Regulatory Council (USA)
LMIM	Landfill Methane Inventory Model
LQ	Limite de Quantification
MEEDDEM	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
NTK	Azote Kjeldhal
POC	Point of Compliance=Point de conformité pour évaluation impact (piézomètre aval, par ex.)
POE	Point of Exposure =Point d'exposition (récepteur environnemental ou humain)
RSDE	Réduction des Substances Dangereuses dans les Eaux
SGB	Système de Gestion du Biogaz
SGL	Système de Gestion des Lixiviats
SES	Surveillance des Emissions (de méthane) en Surface
SLF	Sustainable Landfill Foundation
SLTG	Sustainable Landfilling Task Group
SMM	Surveillance des Migrations de Methane
SPE	Suivi Post-Exploitation (= Aftercare = PCC Post-closure Care)
SUP	Servitudes d'Utilité Publiques
STEP	STation d'EPuration des eaux usées
TDT	Temps De Transfert
95% UCL	Upper Confidence Limit = valeur représentative d'un ensemble de données avec un intervalle de confiance de 95%
95% UPL	Upper Prediction Limit = valeur prédictive d'un ensemble de données avec un intervalle de confiance de 95%
USEPA	Agence de l'Environnement des USA
VTR	Valeur Toxicologique de référence

RESUME

La Directive Européenne concernant la mise en décharge des déchets (1999/31/CE) impose pour les décharges ayant cessé leurs activités « la surveillance et l'analyse des gaz de décharge et des lixiviats du site ainsi que des nappes d'eau souterraines situées à proximité » « aussi longtemps que l'autorité compétente estime qu'une décharge est susceptible d'entraîner un danger pour l'environnement …» (Par. D, art 13, Directive EU 1999/31/CE).

A ce jour, il n'y a pas de méthodologie réglementée en Europe ni en France pour démontrer qu'une décharge n'est pas susceptible d'entraîner un danger.
La méthodologie EPCC (Evaluation of Post-Closure Care) pourrait fournir un outil de démonstration adapté et utile.

Le présent projet R&D financé par Suez Environnement et subventionné par l'ADEME a pour but d'adapter cette méthodologie EPCC au contexte européen et de l'appliquer à plusieurs sites fermés, pour déterminer son applicabilité et sa validité. En effet, cette méthode a été développée par le bureau d'étude américain Geosyntec Consultant dans le contexte réglementaire américain. Le but de la méthodologie EPCC est de déterminer comment et quand les activités de post-exploitation (gestion des effluents, maintenance des systèmes, surveillance des milieux récepteurs) peuvent être modifiées ou terminées. Elle évalue si le risque résiduel engendré par le site d'enfouissement suite à l'arrêt ou à la modification d'une activité de post-exploitation est acceptable. La période de post-exploitation peut alors se terminer lorsque aucun traitement/contrôle actif n'est nécessaire pour ré-utiliser le site dans des conditions compatibles avec ses caractéristiques (atteinte de l'état de stabilité fonctionnelle). Pour s'assurer qu'une modification du Suivi Post-Exploitation (SPE) est effectivement acceptable, on contrôle tant que nécessaire l'absence d'impact potentiellement généré par cette modification.

Cette synthèse rappelle les principales phases d'investigation du programme, présente les principes et les conditions d'utilisation de la méthodologie EPCC et fait part des principaux enseignements retirés du programme.

Les principales conclusions de ce programme sont les suivantes :
L'approche proposée se veut un outil qui, avec d'autres, peut être mis au service de la démonstration de la modification, voire de l'arrêt du SPE. La méthodologie développée donne un cadre scientifique et rigoureux de démonstration, suffisamment générique pour traiter la plupart des types d'installations de stockage de déchets non dangereux. Son plus grand avantage est de permettre un passage progressif et contrôlé vers un arrêt du SPE, limitant le risque environnemental et économique. Ce cadre peut prendre en compte les spécificités des réglementations nationales, ce qui lui permettra d'intégrer les modalités d'évaluation (paramètres, critères seuils...) proposées par les acteurs du stockage des déchets.

En perspective de ce programme, nous proposons d'appliquer entièrement la méthodologie sur plusieurs ISDND (Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux).

Mots Clef : ISDND Fermée, Stabilité Fonctionnelle, Suivi Post-Exploitation, Méthodologie, Usage Futur, Gardiennage minimal.

ABSTRACT

The European Directive (1999/31/CE) on the landfill of waste states that “for as long as the competent authority considers that a landfill is likely to cause a hazard to the environment… the operator of the site shall be responsible for monitoring and analyzing landfill gas and leachate from the site and the groundwater regime in the vicinity of the site”. (Par. D, art 13, Directive EU 1999/31/CE).

Today, there is no regulated methodology in Europe or in France enabling to demonstrate that a landfill is not likely to cause a hazard to the environment.
The EPCC Methodology (Evaluation of Post-Closure Care) could provide an adapted and useful demonstration tool.

The main objective of the current R&D project, funded by Suez Environnement and subsidized by the ADEME, is to adapt the EPCC Methodology to the European regulatory context and to apply the demonstration framework on a number of French and English non hazardous waste landfills in order to assess its applicability and its validity. Indeed, the EPCC Methodology has been developed by the American consultancy office Geosyntec Consultant, for the USA regulations. The purpose of the EPCC Methodology is to determine how and when the aftercare activities (effluents management, maintenance of the control and treatment systems, monitoring of receiving bodies) can be modified or ended. It assesses if the residual risk caused by the closed landfill after an aftercare activity modification or stop is acceptable. The aftercare period can thus end when no more active treatment/control is needed to re-use the land under conditions compatible with its characteristics (reach state of functional stability). In order to ensure that an aftercare activity modification is acceptable, the operator must control the absence of impact that might be potentially caused by the modification, for as long as necessary.

This report recalls the main phases of the R&D project, presents the principles and conditions of use of the EPCC Methodology, provides examples and exposes the main lessons learned from the project. It concludes on outlooks.

The principal conclusions from this R&D project are the following:
The proposed approach is meant to be a tool that, together with other tools, could serve the demonstration of modifications and completion of the aftercare activities. The developed methodology provides a scientific and rigorous framework of demonstration, generic enough to deal with most of the non hazardous waste landfill types/configurations. Its major advantage is to enable a progressive and controlled pathway to aftercare completion, thus limiting the environmental and economical risks. National regulatory specificities can be taken into account within the demonstration framework, and would allow the waste landfilling stakeholders to better define the evaluation modalities (parameters, threshold criteria…).

As a perspective, we propose to fully implement the EPCC Methodology to several French non hazardous waste landfills.

Key Words: Closed landfill, functional stability, aftercare (or post-closure care), methodology, end-use, custodial care.

TERMINOLOGIE ADOPTEE

Installation de stockage, décharge, site, décharge brute :

- Ce rapport traite essentiellement de sites de stockage de déchets non dangereux. La considération d'autres types de déchets enfouis sera spécifiée explicitement.
- « **Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) »** sera utilisé pour des sites de stockage conformes aux exigences réglementaires et standards actuels (Arrêté Ministériel du 9/9/97 modifié, relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, Directive 1999/31/CE sur la mise en décharge). Toute ISDND est soumise à un suivi post-exploitation (SPE) réglementaire.
- « **Site»** ou « **décharge »** : tout site de stockage soumis à un SPE, qu'il soit réglementé par l'Arrêté Ministériel du 9/9/97 ou antérieurement.
- On parlera de « **décharge brute »** pour des lieux de stockage de déchets non contrôlés et non soumis à un SPE.

Post-exploitation :

Pour les ISDND françaises, la période (ou phase) de post-exploitation commence après la notification de la mise à l'arrêt définitif de l'ISDND. Le **Suivi-Post Exploitation** (SPE) commence après que les travaux de réhabilitation et de remise en état du site aient été réalisés et constatés par les autorités. Ce SPE réglementaire inclut des **activités de post-exploitation (APE)** qui consistent en la **gestion des effluents** (collecte, traitement, contrôle des rejets de lixiviat et biogaz) et de **surveillance des milieux récepteurs** (eaux de surface, eaux souterraines, air, santé humaine).
On parlera de **gestion active** (nécessitant la présence d'équipements, d'énergies, de main d'œuvre humaine pour leur maintenance et surveillance) et de **gestion passive** (ne les nécessitant pas, ou beaucoup moins). Les actions de gestion passive peuvent commencer pendant le SPE et parfois se maintenir après, si l'usage futur le nécessite.

Danger, dommage, risque, impact :

- **Danger** (Directive 96/82/CE) : « propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement. »
- **Dommage** (Guide ISO/CEI 51 : 1999) : « blessure physique ou atteinte à la santé des personnes ou atteinte aux biens ou à l'environnement **»**
- **Risque** (Guide ISO/CEI 51 : 1999) : « combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité. »

→ Le risque est la probabilité de réalisation du danger ; c'est une éventualité, plus ou moins prévisible, liée à la réalisation d'une situation/action dangereuse. Un danger existe lorsqu'une situation/action constitue une menace. La menace provient de l'éventualité d'un dommage.

On utilisera également :

- **Stresseur** : entité chimique, physique ou biologique pouvant induire des effets néfastes sur un récepteur (faune, flore, santé humaine).
- **Effet** : changement fonctionnel ou structural d'un récepteur suite à l'exposition à un stresseur.
- **Cible = récepteur** : entité (organisme, communauté, écosystème...) pouvant subir les effets de l'exposition à un stresseur. Dans l'évaluation du risque sanitaire, la cible est la population humaine.
- **Source** : origine des stresseurs.
- **Emission** : évolution spatio-temporelle du relargage de stresseurs par une source (flux, concentration, dynamique…)
- **Impact environnemental** (ISO 14001) : ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa "*fin de vie*".
- **Exposition** : caractérisation en terme de fréquence, de durée et d'intensité, du contact entre un stresseur et un récepteur.

→ Le risque lié à un impact est la probabilité que l'exposition d'une cible à un stresseur engendre des effets néfastes. Pour qu'il y ait un risque, il faut une source de stresseur, une émission de cette source, un transport des stresseurs vers une cible et une exposition de cette cible.

La figure 1 illustre ces concepts.

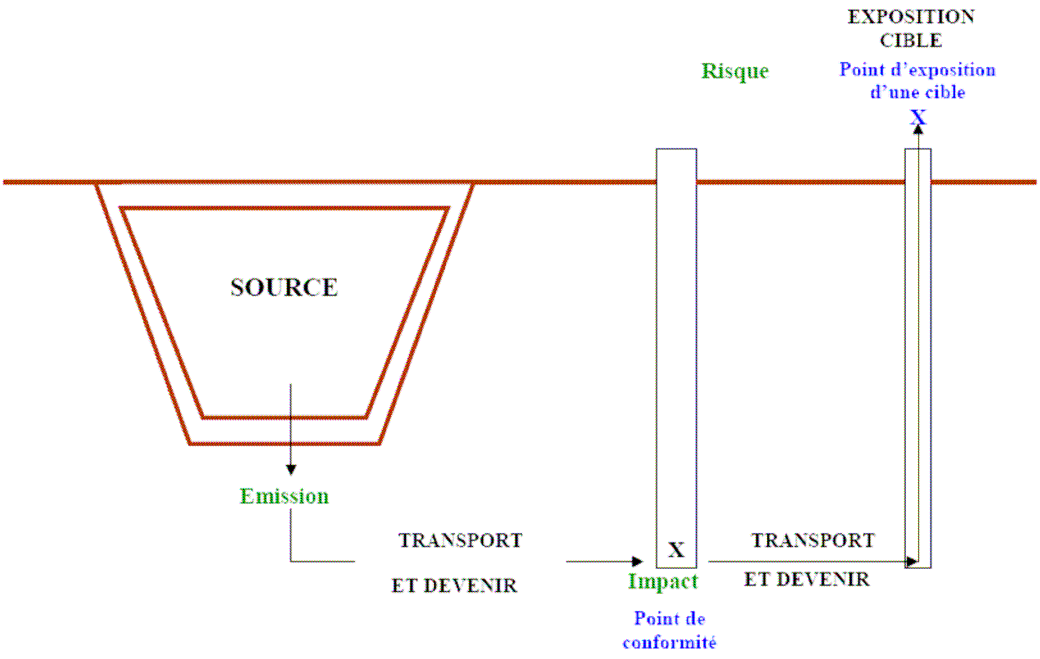


Figure 1 : Illustration des concepts d'émission, impact, risque

Ecocompatibilité, stabilité fonctionnelle, stabilité du massif de déchet :

L'**écocompatibilité** des déchets vis à vis de l'environnement est définie comme « une situation dans laquelle les flux de polluants émis par les déchets (stockés ou valorisés), placés dans un certain contexte physique, hydrologique, hydrogéologique, physico-chimique ou biologique – sont compatibles avec les flux de polluants acceptables par les milieux récepteurs concernés par le scénario étudié » (ADEME, 2002).

Toute ISDND doit être écocompatible avec son environnement, tout au long de sa vie (ses émissions ne doivent pas impacter l'environnement). Pour que le SPE puisse être arrêté, l'ISDND doit être écocompatible en l'absence de gestion active (sans nécessiter de captage et torchage du biogaz, sans nécessiter de traitement des lixiviats…). Un certain type de gestion passive peut être mis en place selon les sites et les usages. Le site a alors atteint un **état de stabilité fonctionnelle** (car il est en état de remplir une nouvelle fonction compatible avec les Servitudes d'Utilités Publiques (SUP)).

On parlera de **stabilité du massif de déchet** lorsque plus aucune réaction bio-physico-chimique et effet géotechnique ne sera susceptible d'exister en son sein. Cette notion de stabilité absolue implique que le massif de déchet n'évoluera pas quelles que soient ses conditions de stockage (brèche dans la couverture, entrée d'eau, d'air…).

PREAMBULE

La Directive Européenne concernant la mise en décharge des déchets (1999/31/CE) impose pour les décharges ayant cessé leurs activités « la surveillance et l'analyse des gaz de décharge et des lixiviats du site ainsi que des nappes d'eau souterraines situées à proximité » « aussi longtemps que l'autorité compétente estime qu'une décharge est susceptible d'entraîner un danger pour l'environnement …» (Par. D, art 13, Directive EU 1999/31/CE).

A ce jour, il n'y a pas de méthodologie réglementée en Europe ni en France pour démontrer qu'une décharge n'est pas susceptible d'entraîner un danger.

Ce projet a pour objectif de proposer une méthodologie en cohérence avec les principes réglementaires européens sur la post-exploitation des Installations de Stockages de Déchets Non Dangereux (ISDND) fermées, afin de démontrer leur stabilité fonctionnelle (absence de risque inacceptable pour la santé et l'environnement en l'absence d'activité de post-exploitation) permettant de justifier la cessation définitive de la période de suivi post-exploitation (SPE).

La principale tâche du projet a été d'adapter la méthodologie EPCC développée aux Etats-Unis (EREF, 2006 et 2007) aux contextes réglementaires et opérationnels français et anglais, et de l'implémenter avec les données de plusieurs sites de stockage fermés en France et en UK afin d'estimer son applicabilité. L'adaptation a été réalisée par itérations afin d'établir un cadre argumentaire et démonstratif rigoureux et général, tout en identifiant les éléments spécifiques à renseigner. Au final, l'approche proposée se veut un outil qui, avec d'autres, peut être mis au service de la démonstration de l'arrêt du SPE**.**

Les deux premières tâches du projet sont restituées dans le 1er rapport intermédiaire et ont consisté à :

- **Etablir un état de l'art sur la thématique de la post-exploitation**. Cet état de l'art tente de mettre en lumière les différences entre les réglementations internationales et entre les méthodologies de démonstration de fin de post-exploitation (aucune n'étant réglementée pour l'instant).
- **Développer un processus de sélection** afin d'identifier des sites de stockage aptes à être étudiés et formant un panel représentatif de différentes catégories de décharges fermées existantes soumises réglementairement à un SPE. 10 sites ont été sélectionnés pour participer à la phase ultérieure de collecte de données (5 sites en UK, 4 sites en France et 1 site en Italie).

Les trois tâches suivantes du projet ont été réalisées simultanément car elles sont interdépendantes. Elles sont restituées dans le second rapport d'avancement.

- **Phase de collecte de données** : le transfert d'information entre les responsables de chaque site fermé en France, UK et Italie et l'équipe projet en France et Etats-Unis s'est effectué grâce à une succession d'évaluation des données existantes, visite, récupération de données, synthèse des informations, évaluation de la complétude des données, recherche de nouvelles données etc. Ce processus de collecte s'est révélé très fastidieux, essentiellement parce qu'il a constitué une recherche « tout azimut » : les informations nécessaires n'étaient pas encore identifiées, la méthodologie devant être adaptée, développée, testée, évaluée. Le nombre de sites étudiés a été restreint par la suite pour ne garder que ceux qui offraient le plus de données utiles à l'application de la méthodologie.

- **Phase d'adaptation et de développement de la méthodologie** : la méthodologie EPCC développée initialement est un cadre d'argumentation scientifique cohérent avec les réglementations américaines.

  - Une étape importante du présent projet a donc consisté à vérifier son applicabilité et à adapter le cadre existant aux particularités des réglementations régissant les sites (UK et France, le site italien étant géré par SITA France en suivant les pratiques françaises). Les pratiques d'exploitation et les données habituellement disponibles ont également conditionné cette adaptation. Pour éviter de décliner une multiplicité de versions, une attention particulière a été portée à consolider une structure d'évaluation suffisamment générale pour englober la plupart des scénarios existants. Cette phase d'adaptation a abouti au choix de procédures, paramètres et critères pour réaliser les évaluations.

  - Lors de la phase de développement, des tableurs Excel ont été créés, des outils de traitements statistiques de données et des modèles ont été choisis afin d'appliquer le cadre théorique d'évaluation aux données des sites sélectionnés.

- Ces deux sous-tâches ont permis de fixer les données nécessaires et optionnelles pour implémenter la méthodologie.

- **Phase d'évaluation de l'applicabilité de la méthodologie** : les différents modules de la méthodologie EPCC ont été appliqués aux sites sélectionnés appropriés. Cette étape a permis d'affiner les choix réalisés lors de l'adaptation et du développement et d'améliorer l'applicabilité de la méthodologie, tant en terme de procédures que de données requises mais aussi en terme de facilité d'implémentation et de communication..

L'ensemble de ce projet a également suscité des réflexions et des recommandations sur les pratiques de conception, exploitation et post-exploitation des ISDND dans une optique de réduction des risques à long terme et/ou de la durée de la période de SPE.

La suite du rapport synthétise l'état des travaux à ce jour.

- La partie A présente la méthodologie (principes, périmètre et conditions d'utilisation).
- La partie B synthétise les réflexions et enseignements acquis sur les pratiques de gestion des ISDND.

Ce rapport se focalise sur le contexte réglementaire et les pratiques opérationnelles français et utilise prioritairement les cas d'étude français.

A –PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE EPCC

1. Concepts, principes, structure

La méthodologie EPCC propose un cadre de démonstration basé sur un mécanisme d'évaluation du danger en trois étapes (Tiers) de plus en plus spécifiques au site, si besoin (à la source, point d'impact ou point d'exposition). Elle considère les émissions actuelles et passées, ainsi que les performances actuelles et futures du site. Elle en déduit le niveau d'activités de la post-exploitation (APE) suffisant pour que le site n'engendre pas de risque inacceptable. Ainsi les APE sont adaptées progressivement jusqu'à être supprimées. Les effets des modifications sont contrôlés pendant le suivi post-exploitation (SPE) pour vérifier qu'aucun risque inacceptable n'est généré. Lorsqu'il est confirmé que toutes les activités de gestion active ont été éliminées avec sûreté, le site a atteint un état de stabilité fonctionnelle[1] cohérent avec un usage futur du site défini préalablement, ou éventuellement identifié pendant l'évaluation (Figure 2).

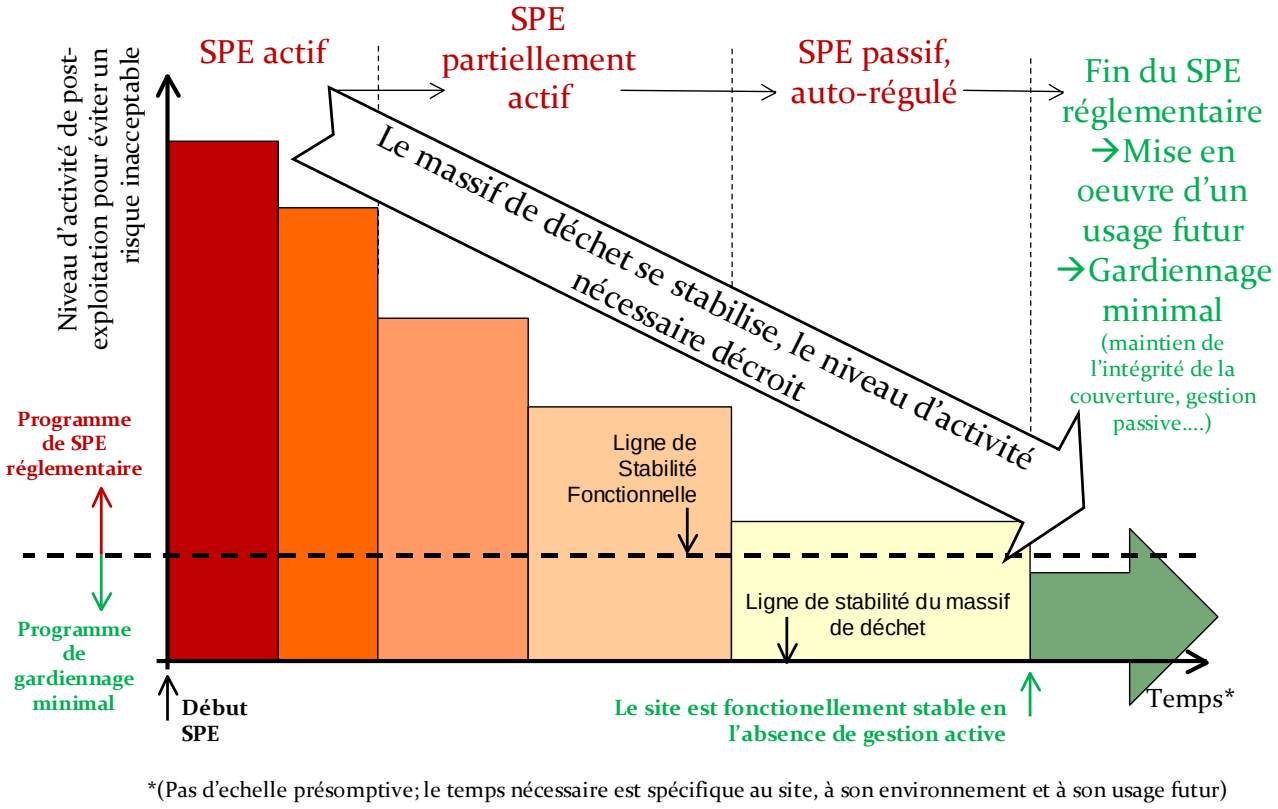


Figure 2 : Illustration des concepts constitutifs de la méthodologie EPCC : les activités de post-exploitation sont adaptées jusqu'à ce que le site n'engendre plus de risque inacceptable en l'absence de gestion active, pour l'usage futur envisagé.
(Source : SUEZ Environnement – Geosyntec)

[1] Définition Stabilité Fonctionnelle : un site de stockage a atteint un état de stabilité fonctionnelle lorsqu'il ne représente plus un risque inacceptable en l'absence d'activités de post-exploitation (EREF, 2006, Morris, 2010). Il est en état de remplir une nouvelle fonction acceptable après le SPE.

Le but de la méthodologie EPCC est donc de déterminer comment et quand les activités de post-exploitation (gestion des effluents, maintenance des systèmes, surveillance des milieux récepteurs) peuvent être modifiées ou terminées, pour les 4 éléments suivants, constituant 4 modules d'évaluation :

1. Gestion des lixiviats (Module Lixiviat - Leachate Module)
2. Gestion du biogaz (Module Biogaz - Gas Module)
3. Surveillance des Eaux souterraines (Module Eaux Souterraines - GW (Groundwater) Module)
4. Maintenance du système final de couverture (Module Couverture - Cap Module)

La structure modulaire de la Méthodologie EPCC est illustrée dans la Figure 3.

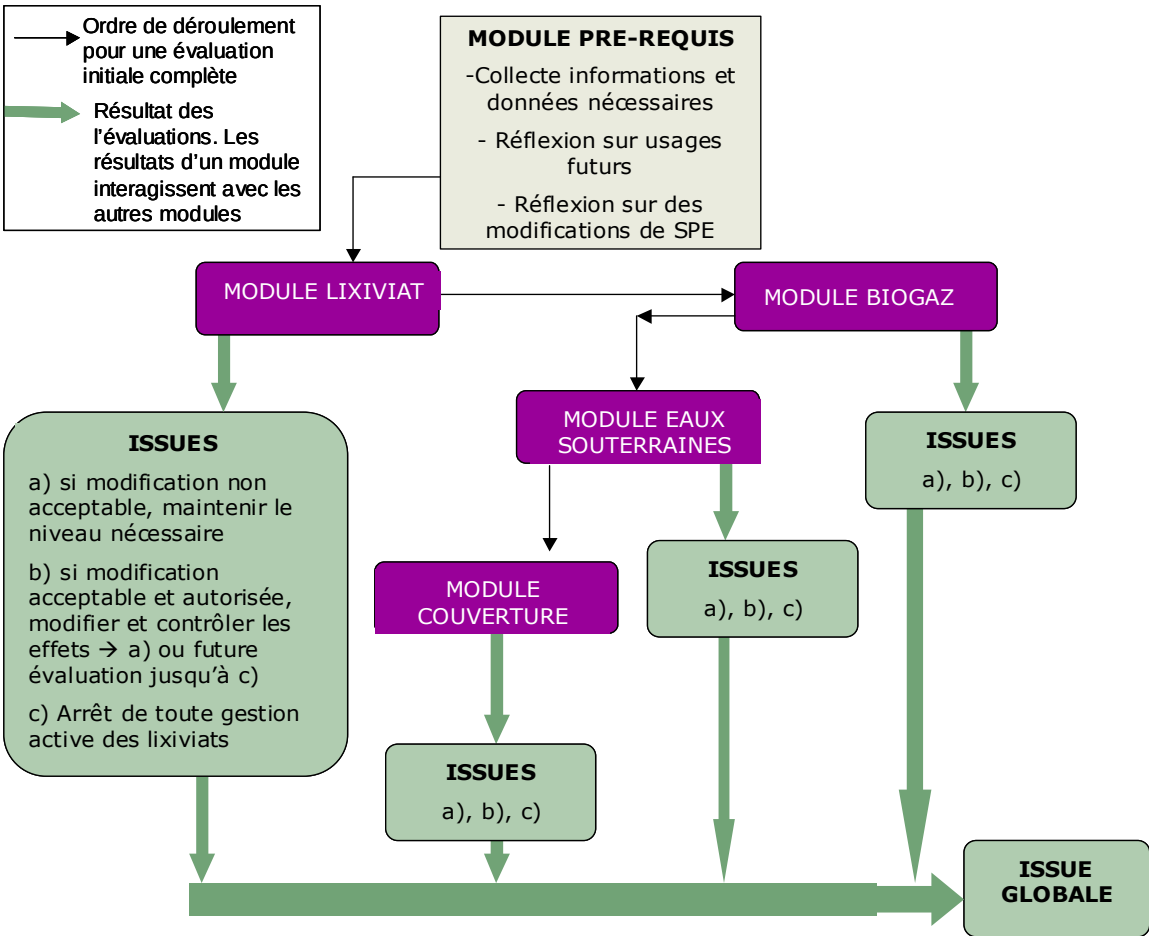


Figure 3 : Structure modulaire de la méthodologie EPCC (Source : SUEZ Environnement – Geosyntec)

Un module préliminaire et indépendant (Module Prérequis) indique les données et informations nécessaires et utiles pour conduire l'évaluation complète des 4 modules. Il incite également à définir la stratégie d'usage futur du site (*cf.* A-2-7) : en effet, l'usage futur détermine la finesse de l'évaluation et le type de modification d'activités. Par exemple, la probabilité d'exposition d'une cible à un impact potentiel sera très différente si le site est utilisé en terrain de golf ou en zone de biodiversité. Ce module a été développé afin de faciliter la mise en œuvre (identification des manques et des blocages avant de déployer un effort considérable pour appliquer l'intégralité des procédures de la méthodologie) et d'encourager la gestion proactive des données et du site.

Les 4 autres modules sont interdépendants et il est conseillé de conduire l'évaluation des lixiviats, puis du biogaz, lesquels affectent fortement les modules Eaux Souterraines et Couverture. Des évaluations partielles indépendantes peuvent être réalisées lorsque cela est pertinent (*cf.* A-2-6).
Les Modules Lixiviat et Biogaz dépendent très peu l'un de l'autre. Toutefois, dans le cas d'une évaluation complète, il est préférable d'aborder en premier le Module Lixiviat car il permettra d'établir une stratégie de gestion des lixiviats acceptable. Toute modification de la stratégie de gestion des lixiviats (en adéquation avec les performances de la couverture) risquerait d'affecter la production de biogaz et le potentiel de

migration/émissions. Cette stratégie doit, par la suite, être appliquée de façon cohérente à tous les modules suivants.
Les modifications de gestion des lixiviats et du biogaz peuvent affecter l'adéquation des systèmes de contrôle des eaux souterraines, évaluée dans le Module Eaux Souterraines.
Le Module Couverture figure en fin de liste car la structure de la couverture ainsi que les activités de maintenance et de contrôle doivent être cohérentes avec les résultats de tous les autres modules. En contrepartie, une modification de la couverture impose la ré-évaluation des autres modules. Les caractéristiques de la couverture en place sont donc un des pré-requis des autres modules *(cf.* § A-2.4).

D'une manière générale, le déroulement des modules est le suivant:

(i) évaluer s'il convient ou non de modifier les APE,
(ii) réaliser la modification si l'évaluation indique qu'elle est acceptable
(iii) effectuer un contrôle du site et de ses impacts potentiels afin de confirmer que toute modification apportée ne provoque aucun effet inacceptable.

Les éléments suivants figurent parmi les caractéristiques majeures de chacune des évaluations réalisées avec l'un des quatre modules :

- Pour réaliser des évaluations complètes dans chaque module, il faut que les conditions préalables (pré-requis) soient remplies et que les données nécessaires aux évaluations aient été recueillies. Si l'ensemble des pré-requis ne sont pas satisfaits, il est quand même possible de réaliser des évaluations partielles qui fourniront des informations utiles pour améliorer le SPE.
- L'évolution de la qualité des effluents est évaluée grâce au traitement statistique des séries de données temporelles permettant d'observer des tendances statistiquement significatives.
- Les évaluations sont faites selon des procédures, en considérant des paramètres et des seuils spécifiques à la réglementation applicable, à la sensibilité de l'environnement du site, et aux futures conditions pour l'usage (conditions d'exposition par exemple). Dans la plupart des cas, l'évaluation est morcelée en trois « Tiers » (Emission/Impact/Risque), de plus en plus spécifiques au site. Le premier Tiers est une comparaison simple et sévère de la source d'émission (lixiviats bruts par exemple) à des paramètres d'impact (dans les eaux souterraines par exemple). Si le résultat de l'évaluation ne passe pas ce premier Tiers, le second Tiers calcule les impacts potentiels aux points de conformité. De même, si le résultat de l'évaluation ne passe pas ce second Tiers, le troisième Tiers estime les risques d'impact au point d'exposition (c'est-à-dire pour la cible exposée), pour les paramètres pertinents dans le scénario d'usage futur (*cf*. schéma du § « Terminologie »).
- Les modifications des APE qui semblent acceptables à l'issue de cette phase d'évaluation « théorique », « conceptuelle », sont confirmées réellement sur site. Deux types de contrôle sont proposés dans la Méthodologie EPCC, tous deux visant à garantir, moyennant un degré de fiabilité élevé, que toute décision de modifier les APE est pertinente et qu'elle respecte la santé humaine et l'environnement :
    - Le *Contrôle de Confirmation (CC)* : effectué pendant la période de SPE pour confirmer qu'une modification apportée aux systèmes et/ou activités a permis d'obtenir les résultats escomptés ;
    - Le *Contrôle de Sûreté (CS*) : il est effectué avec une fréquence géométriquement décroissante, une fois que le Contrôle de Confirmation a révélé que les APE pour un élément (lixiviat, gaz, eaux….) étaient désormais superflues. Cette surveillance peut éventuellement continuer ou commencer après le SPE, dans le cadre d'un gardiennage minimal (cf. § A-2-8).

Si le CC prouve que la modification est susceptible d'engendrer un risque inacceptable, il est obligatoire de revenir au mode de gestion précédent.
Le SPE ne peut être terminé pour un élément (ou pour tous les éléments) qu'une fois que le Contrôle de Confirmation a révélé qu'aucune autre gestion active n'était nécessaire. Pour les Modules Lixiviat, Biogaz et Eaux souterraines, la fin du Contrôle de Confirmation représente la condition de finalisation du SPE réglementaire pour ces composantes, bien que cet état puisse reposer sur l'efficacité à long terme de la couverture. Par exemple : finaliser le SPE dans le Module Lixiviat peut signifier qu'aucune opération de maintenance ou de suivi des contrôles de lixiviats ou des milieux potentiellement affectés n'est nécessaire, tant que la couverture continue de garantir un niveau minimum de maîtrise des infiltrations.
La fin du Contrôle de Sûreté implique que tout suivi additionnel est désormais inutile. Le CS constitue donc une phase de transition entre le SPE réglementaire et un éventuel gardiennage minimal. Certains CS peuvent rester maintenus pendant ce gardiennage minimal (par exemple, analyse quadri-annuelle de la nappe souterraine).

En définitif, la méthodologie EPCC est cohérente avec les concepts promus dans les guides nationaux sur les sites et sols pollués (évaluation réalisée pour un usage futur, diagnostic initial avec collecte des informations, évaluation simplifiée des risques et, si besoin, évaluation détaillée des risques avec collecte d'informations supplémentaires, établissement de restrictions d'usage…). Elle fixe le schéma conceptuel relatif aux sites de stockages et complémente l'approche « Sites et sols pollués » pour les sources de risques spécifiques à ces installations (biogaz, instabilité géotechnique…). Enfin, elle considère tout type de cible (environnement et santé humaine).

1.1 Module Lixiviat

Les lixiviats représentent l'une des trois sources majeures de risque pour la santé humaine et l'environnement d'un site de stockage de déchets (les autres étant le biogaz et l'instabilité géotechnique). Par conséquent, démontrer que les lixiviats n'engendrent pas de risque inacceptable pour la santé humaine et l'environnement est un facteur essentiel à la stabilité fonctionnelle et à l'arrêt de la gestion active des lixiviats. Le Module Lixiviat a pour objectif principal d'évaluer comment modifier, optimiser ou finaliser les activités de gestion des lixiviats, s'ils n'engendrent plus un risque inacceptable pour la santé humaine et l'environnement. Lorsqu'il est nécessaire de poursuivre une gestion des lixiviats sur le moyen ou long terme, ce module facilite la prise de décisions sur la mise en œuvre de moyens suffisants, autorégulés, nécessitant peu de maintenance (pompage intermittents par panneaux solaire, traitements passifs par des zones humides ou des biofiltres naturels, permettant un rejet local plutôt qu'un acheminement vers une station d'épuration).
Les risques pour la santé humaine et l'environnement potentiellement générés par le rejet des lixiviats, sont évalués au moyen d'une approche échelonnée fondée sur :

- L'existence de données de contrôle représentatives, recueillies sur une période suffisamment longue pour évaluer avec fiabilité, pour les paramètres réglementés pour le site ou le pays, les effets des lixiviats sur les eaux souterraines et/ou superficielles ;
- La démonstration d'une tendance décroissante ou stable de concentrations des lixiviats. Cette démonstration est appliquée au paramètre décisionnel DBO_5, qui constitue un « garde-fou » : si la DBO_5 des lixiviats n'est pas statistiquement décroissante, cela ne vaut pas la peine de réaliser l'évaluation pour les autres paramètres réglementés, car il y a de très grandes chances que la gestion des lixiviats ne soit pas optimisable ;
- La proposition d'une stratégie de gestion à long terme des lixiviats ;
- La démonstration de l'acceptabilité de la stratégie de gestion des lixiviats proposée, d'après l'évaluation étagée (émission/impact/risque) du risque potentiel pour la santé humaine et l'environnement. Typiquement, sont étudiées :
    - acceptabilité de fuite de lixiviats dans les eaux souterraines (cette sous-partie est liée avec le Module Eaux Souterraines) ;
    - acceptabilité de rejet de lixiviat (avec ou sans traitement) dans les eaux de surface ;
    - acceptabilité d'arrêt de pompage (stabilité géotechnique et épanchement de lixiviat).
- Lorsqu'une nouvelle stratégie de gestion des lixiviats semble acceptable, elle peut être mise en œuvre afin d'être validée (après accord des autorités). Les différents processus de CC et CS constituent une sorte de validation grandeur réelle et contrôlée des simulations. Ils sollicitent le Module Eaux souterraines et peuvent éventuellement se prolonger dans le Module Couverture ou pendant un gardiennage minimal.

1.2 Module Biogaz

Le Module Biogaz a pour objectif principal d'évaluer comment modifier, optimiser ou finaliser les activités de gestion du biogaz. Lorsqu'il est nécessaire de poursuivre une gestion du biogaz, ce module facilite la prise de décisions sur la mise en œuvre de moyens suffisants, passifs, nécessitant peu de maintenance (biofiltre, couverture oxydante…).
Initialement focalisé sur la migration souterraine du biogaz (la réglementation américaine exige d'assurer le contrôle du biogaz en priorité dans l'objectif de maîtriser la migration de gaz explosif), le Module Biogaz a été totalement repensé et refondu. Un cadre générique est proposé afin de tenter d'englober les disparités des exigences réglementaires internationales en termes de suivi et de contrôle du biogaz. Ainsi, le nouveau Module Biogaz traite des problématiques d'émission surfacique de gaz à effet de serre (GES), de migration et risque d'explosion, d'odeurs, d'impacts potentiels du biogaz sur les eaux souterraines, de risque pour la santé humaine par l'exposition à certains polluants. Ces différentes thématiques peuvent être explorées en

fonction du contexte réglementaire applicable, de la disponibilité de critères d'évaluation, de l'environnement du site et de son usage futur, afin de déterminer les besoins actuels en matière de gestion du gaz.
Le principe du Module Biogaz se distingue du Module Lixiviat par le fait que ce sont les limites techniques des systèmes de gestion qui induisent des modifications. Lorsque c'est possible, les évaluations sont étagées par Tiers (comparaison de la source d'émission à des valeurs strictes, étude d'impact au point de conformité, telle que la limite de propriété par exemple, analyse des risques liés à l'impact potentiel au point d'exposition).

Les risques pour la santé humaine et l'environnement potentiellement générés par la production de biogaz sont évalués au moyen d'une approche échelonnée fondée sur :

- L'existence d'informations sur le biogaz (données et modélisation de production de biogaz, vérification d'absence d'impact, identification des seuils réglementaires et des limites de fonctionnement des meilleures techniques disponibles) ;
- La démonstration d'une tendance décroissante ou stable de génération de biogaz ;
- L'impossibilité technique de continuer un contrôle actif avec un dispositif de combustion (torchère) ou l'opportunité de mettre en œuvre un système plus passif étant données les caractéristiques du site (couverture, qualité et quantité de gaz…) ;
- La proposition d'une nouvelle stratégie de gestion du biogaz avec, par exemple, ventilation passive, oxydation passive à travers la couverture, oxydation passive à travers un dispositif spécialement conçu (fenêtre oxydante, biofiltre passif), oxydation dans un biofiltre actif, voire combustion passive grâce à des torchères automatiques installées sur les puits si les autorités l'acceptent.
- L'acceptabilité du nouveau système est fondée sur l'évaluation des émissions, migrations, odeurs… selon ce qui est requis.
- Lorsqu'une nouvelle stratégie de gestion du biogaz semble acceptable, elle peut être mise en œuvre afin d'être validée (après accord des autorités). Les différents processus de contrôle et de confirmation consécutifs aux modifications apportées dépendent des exigences réglementaires et de l'usage futur. Ils constituent une sorte de validation grandeur réelle et contrôlée des simulations. Ils peuvent solliciter ou se prolonger dans les Modules Eaux souterraines et Couverture.

1.3 Module Eaux souterraines

Le Module Eaux souterraines a pour objectif principal de fournir un cadre de démonstration permettant de décider du moment opportun pour finaliser la surveillance des eaux souterraines. Le Module Eaux Souterraines fait suite à l'évaluation des Modules Lixiviats et Biogaz qui ont permis d'évaluer (entre autres et si demandé par la réglementation) si les lixiviats ou le biogaz représentent un risque inacceptable actuel ou futur pour la santé humaine et l'environnement au point d'entrée et/ou d'exposition avec les eaux souterraines.
La démonstration repose sur :

- L'optimisation des activités de contrôle des eaux souterraines, à partir du calcul de deux durées de parcours (Temps de Transfert, TDT).
    - La durée maximale de parcours d'une fuite potentielle de lixiviat / (biogaz, si applicable) établit la durée de contrôle optimale.
    - La durée minimale définit la fréquence de contrôle optimale.
    - La liste de paramètres surveillés peut être aussi adaptée, en fonction de la qualité des lixiviats (et du biogaz si applicable).
- Lorsque le Module Lixiviat (et Biogaz si applicable) indique que des fuites potentielles seraient acceptables par les Eaux Souterraines, le Contrôle de Confirmation des eaux souterraines permet de confirmer que tout rejet antérieur susceptible d'avoir un impact sur les eaux souterraines aurait déjà atteint le point de contact et aurait été détecté s'il s'était réellement produit. Ce contrôle est effectué pour la durée et la fréquence calculées précédemment, pour les paramètres indicateurs appropriés, définis par avance en accord avec les autorités ;
- La finalisation éventuelle de l'ensemble des activités de contrôle des eaux souterraines, moyennant un processus de Contrôle de Sûreté géométriquement décroissant, démontrant l'absence de risque inacceptable pour la santé humaine et l'environnement via les eaux souterraines.
- S'il peut être démontré avec un grand degré de confiance que le temps de transfert est long (par exemple, > 100 ans), l'évaluation et la surveillance des impacts potentiels du site de stockage sur les eaux souterraines pourraient être dispensées, pendant et après le SPE.

1.4 Module Couverture

Le Module Couverture est la dernière composante du processus d'évaluation, car le système de couverture finale ne constitue pas un danger en soi : il sert avant tout à empêcher tout contact entre les déchets et le milieu environnant, à limiter la génération de lixiviats et de biogaz en minimisant l'infiltration des précipitations, et à permettre la maîtrise de ces effluents.
La couverture doit garantir un confinement du site jusqu'à ce que le risque de contact direct avec les déchets, le biogaz, les lixiviats, soit insignifiant. En résumé, les questions centrales auxquelles il convient de répondre en termes d'efficacité de la couverture sont les suivantes :

- Est-il nécessaire de poursuivre le confinement du site ?
- Si la couverture devait s'altérer, ou en cas d'absence de couverture, la quantité et/ou la qualité des lixiviats, du biogaz et/ou des déchets deviendrait-elle un risque pour la santé humaine et l'environnement et, par conséquent, imposerait-elle une maintenance active du confinement ?
- Étant données ces exigences relatives à l'efficacité de la couverture, quelles sont les actions à mener pour que la couverture assure ou continue d'assurer sa fonction ?
- À quelle étape et sous quelles conditions peut-on affirmer avec certitude que le niveau de SPE requis dans le Module Couverture sera minimal ?

Le statut des Modules Lixiviats et Biogaz (et, par conséquent, du Module Eaux souterraines) sont généralement fonction d'un certain degré d'intégrité de la couverture et, donc, de sa maintenance. L'évaluation du Module Couverture indiquera probablement que la couverture nécessite un minimum de soin au-delà du SPE réglementaire, une fois les 3 autres modules finalisés, pour continuer à satisfaire aux exigences locales en matière d'occupation du sol, pour confiner les déchets et/ou maintenir les résultats des trois autres modules. Cette phase d'entretien minimal après la terminaison du SPE réglementé est désignée « gardiennage minimal » (*cf.* § A-2-8).

1.5 Issue globale

Les résultats des évaluations peuvent indiquer la nécessité de maintenir un SPE actif pour tous les éléments, ou la possibilité de mettre en œuvre un SPE partiellement actif, voire passif, dans un ou plusieurs modules, jusqu'à l'absence finale d'exigences de post-exploitation (chaque autorité devant décider quel niveau de gardiennage minimal est approprié et acceptable, pour l'usage futur considéré).

Tout module nécessitant le maintien d'un SPE actif doit être réévalué dans le futur, lorsque les conditions évolueront. Des indicateurs garde-fou permettent d'estimer s'il est opportun de reconduire une évaluation. Lorsqu'il apparaît que l'un des modules devra probablement rester à l'état actif pour une période prolongée, il est possible d'envisager la mise en œuvre de certaines mesures proactives pour réduire les besoins/la durée de SPE (accélération de la dégradation ou aération sur site, *cf.*§ B-3), en fonction de l'intérêt de l'usage futur.

Le tableau 1 résume la démarche démonstrative mise en œuvre dans chaque module et le rapport final fournit plus d'illustrations et de détails.

Tableau 1: Résumé des démarches prévues dans la méthodologie EPCC d'évaluation du suivi post-exploitation des ISDND

Composante du SPE	Rôle de la composante dans le SPE	Enjeux de l'évaluation	Démarche démonstrative dans le MODULE associé
Systèmes de collecte et traitement des lixiviats	Collecte et traitement des lixiviats pour éviter des fuites de lixiviats, des impacts sur les eaux de surface et souterraines, des instabilités géotechniques	- Adaptation de la surveillance des lixiviats - Modification/élimination du système de collecte et de traitement des lixiviats	- Montrer que le relargage incontrôlé des lixiviats ne provoquera pas le dépassement des critères spécifiés (d'émission, d'impact ou de risque) pour les eaux souterraines - Montrer que la modification/arrêt de la gestion active des lixiviats ne provoquera pas le dépassement des critères spécifiés (d'émission, d'impact ou de risque) pour les eaux de surface - Montrer que la stabilité géotechnique n'est pas affectée par la modification de la collecte des lixiviats
Systèmes de gestion du biogaz	Collecte et destruction du biogaz en cas de gestion active, contrôle des impacts potentiels en cas de gestion passive, pour : - Limiter l'émission de GES - Limiter et prévenir les migrations latérales (avec risque d'explosion) - Limiter les odeurs, les inhalations - Limiter les impacts (sur les eaux, la faune, la flore)	- Adaptation et maîtrise du système de captage de biogaz - Arrêt et enlèvement du système de captage et de destruction du biogaz	Montrer que la modification/arrêt de la gestion du biogaz ne provoquera pas un dépassement des critères spécifiés (d'émission, d'impact, de risque, d'efficacité…). Selon les réglementations et l'usage futur, ces critères peuvent porter sur : - les émissions de gaz (par ex. capacité d'oxydation de la couverture suffisante) - la migration de gaz (si réglementé, ou suspecté ou si risque lié à l'usage) - les odeurs - le risque d'exposition des cibles de l'usage futur à des polluants du biogaz
Suivi des eaux souterraines	Vérifier qu'aucun impact inacceptable n'a eu lieu avant que la qualité des lixiviats soit acceptable pour les eaux souterraines (ou par la migration du biogaz si la réglementation l'exige)	- Adaptation de la surveillance des eaux souterraines - Arrêt de la surveillance des eaux souterraines	- Evaluation réalisable si les 2 modules précédents ont montré que les systèmes de gestion des lixiviats et/ou biogaz peuvent être arrêtés (émission, impact ou risque acceptable). - Montrer l'absence d'impact sur les eaux souterraines due à une fuite antérieure au moment où les émissions ont été acceptables : calcul du temps de transfert entre la source et le point de conformité, surveillance des eaux souterraines pendant ce temps estimé.
Maintenance de la couverture	Permet de maîtriser et surveiller : - l'infiltration (volume de lixiviats produits) - les émissions et migrations de gaz - l'exposition directe aux déchets - la stabilité géotechnique (tassements différentiels et érosion)	1) Déterminer quel type de couverture est nécessaire, quelles doivent être ses caractéristiques (entrée de la méthodologie pour évaluer les autres composants) 2) La détérioration/modification de la couverture impacte-t-elle les autres composants du suivi ? 3) Quels contrôle et maintenance pour la couverture?	1) L'usage futur du site, puis les résultats des modules précédents aident à répondre aux questions. 2) Evaluer l'effet de l'altération de la couverture sur toutes les autres composantes. 3) Etude des données de stabilité géotechnique, érosion, effet des modifications des systèmes de gestion de lixiviat et biogaz sur la couverture.

2- CONDITIONS D'UTILISATION

2.1 Cohérence réglementaire

Les réglementations européennes suivantes ont été considérées pour adapter la Méthodologie EPCC :
- Directive sur la mise en décharge (1999/31/CE)
- Directive relative aux déchets (2008/98/CE)
- Directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (2008/1/CE)
- Directive sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux (2004/35/CE)
- Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et ses directives filles (2006, 2008)

La Directive sur la mise en décharge (1999/31/EC) stipule : « aussi longtemps que l'autorité compétente estime que la décharge est susceptible d'entraîner un danger pour l'environnement, l'exploitant du site est responsable de la surveillance… ». Le terme « susceptible » introduit une notion de probabilité de réalisation du danger, et conduit au concept de risque (le risque étant la probabilité de réalisation du danger). La méthodologie n'évalue pas l'absence de danger[2], mais l'absence de risque inacceptable.
La méthodologie EPCC propose un mécanisme d'évaluation du risque en considérant les émissions actuelles et passées, ainsi que les performances actuelles et futures du site, afin de fixer le niveau de contrôle et d'activité de post-exploitation suffisant pour maintenir un risque acceptable. Les évaluations sont réalisées à la source d'émission, au point d'impact potentiel ou au point d'exposition potentiel de l'impact, de manière de plus en plus spécifique au site.
La période de post-exploitation peut se terminer lorsque aucun traitement/contrôle actif est nécessaire pour ré-utiliser le site dans des conditions sûres et cohérentes avec les caractéristiques du site (atteinte de l'état de stabilité fonctionnelle).
Les effets de l'adaptation progressive des activités de post-exploitation (pour les supprimer ou les rendre de plus en plus passives) sont contrôlés pour s'assurer qu'elles sont acceptables. Ce processus de contrôles et d'évaluation progressif et itératif est sécurisant pour les autorités et les opérateurs. La possibilité d'adapter le niveau des activités de post-exploitation est acceptée par la directive 1999/31/EC.

Les réglementations et guides français suivants ont été considérés pour adapter la méthodologie EPCC :
- Arrêté Ministériel relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux (09/09/1997 modifié)
- Arrêté préfectoraux des sites étudiés
- Livre V, Titre 1er du Code de l'Environnement, relatif aux ICPE
- Guide pour l'évaluation des risques sanitaires dans le cadre de l'étude d'impact d'une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés, (ASTEE, 2005)
- Nouveaux Outils de gestion des sites (potentiellement) pollués (http://www.sites-pollues.developpement-durable.gouv.fr/)
- Evaluation des risques liées aux émissions gazeuses des décharges : proposition de seuils de captage . (Bour, 2005, INERIS DRC 05-46533)

[2] Presque tout peut constituer un danger (un bébé sapin pourra tuer un homme dans 58 ans lors d'une tempête). S'il n'y a pas de probabilité de réalisation du danger, le risque n'existe pas même si le danger existe. Dans la réalité, la probabilité n'est pas nulle, mais elle peut être suffisamment faible pour que le risque soit acceptable.

2.2 Périmètre d'application

Comme l'objectif de la méthodologie est de démontrer que le SPE peut être terminé, elle est théoriquement applicable à tout site de stockage soumis à un SPE. Elle n'a pas été conçue pour traiter des décharges brutes, non soumises à un SPE.
Plus particulièrement, la méthodologie a été développé pour des ISDND, c'est à dire des installations de stockage de déchets non dangereux confinées, instrumentées et contrôlées, soumises à un SPE réglementaire, telles que celles réglementées par la Directive européenne sur la mise en décharge (1999/31/EC) et l'Arrêté Ministériel relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux (09/09/1997 modifié en 2001, 2002, 2006).
Elle est utilisable pour les sites réglementés antérieurement soumis à un SPE, même sans barrière active de confinement (*cf*. §. A.2.4).
Son principe et son déroulement démonstratif pourraient être applicables aux ISDD (déchets dangereux), les paramètres et critères d'évaluation pouvant différer.

La méthodologie est applicable théoriquement à une zone fermée sur une ISDND encore exploitée. Cependant, il est rare d'avoir des données sur les effluents (qualité/quantité) et les émissions spécifiques à la zone fermée (pas de collecte/traitement/analyse séparé des lixiviats et biogaz de la zone fermée). En conséquence, les données disponibles représentent des effluents mélangés, en principe plus chargés que ceux de la zone fermée, limitant le bénéfice d'une application de la méthodologie à cette zone.

2.3 Applicabilité et flexibilité

La méthodologie actuelle, développée pour être adaptée à la plupart des cas, constitue un cadre de démonstration. Afin de l'appliquer à des sites, nous avons pris le parti de définir des procédures et des paramètres d'évaluation et nous avons choisi des critères pour ces paramètres ainsi que des outils d'évaluation (modèles, traitement statistique…).
Aujourd'hui, les éléments choisis sont simples et sévères afin de faciliter la réalisation des évaluations. Ils instaurent une démonstration rigoureuse, qui maximise les risques et sécurisent les résultats. A titre d'exemple, nous avons pour l'instant évalué le risque lié à une fuite de lixiviat en considérant que les barrières actives et passives étaient totalement dégradées (la totalité du lixiviat généré fuit). Pour constituer un dossier de fin de SPE, cette hypothèse simple à implémenter mais extrêmement conservative pourra être testée dans un premier temps. Si cette hypothèse aboutit au calcul d'une émission/impact/risque inacceptable, elle pourra être affinée par l'estimation de l'évolution du débit de fuite en fonction des performances des barrières actives et passives dans le temps. La définition d'un scénario d'émission réaliste va généralement complexifier l'évaluation, et pourrait être plus contestable qu'une hypothèse simple et maximisante. Pour légitimer les scénarios choisis, des analyses de sensibilité des résultats d'évaluation en fonction des hypothèses considérées (très maximisante, simpliste, réaliste…) pourraient être présentées dans les dossiers.
Ainsi, pour faire en sorte que la méthodologie soit applicable, il serait utile de rédiger un guide méthodologique qui proposerait et délimiterait les modalités d'évaluation (procédures, hypothèses, paramètres et critères, outils…), pour qu'elles soient à la fois rigoureuses et raisonnables, et reposent sur des études scientifiques reconnues et des pratiques courantes en France.

2.4 Pré-requis : informations, données, stratégie

L'adaptation et le développement de la méthodologie ont permis de faire évoluer la liste de pré-requis initialement établie dans la méthodologie américaine. Le tableau suivant regroupe l'ensemble des éléments utiles pour implémenter la méthodologie. Ils réfèrent au scénario complet de SPE (considérant tout type d'impact potentiel) pour une ISDND.

Tableau 2: Liste indicative des pré-requis actuellement identifiés pour appliquer la méthodologie EPCC à une ISDND (meilleures techniques disponibles, considération de tout impact potentiel)

	Pré-requis
Stratégie d'usage futur du site	Plan d'usage futur, contrôle institutionnel sur l'usage, contraintes liées au redeveloppement du site, critère de performance du site pour l'usage (couverture)
Descriptifs du site	Plan du site, topographie, caractéristiques du site ; caractéristiques et localisation des points de conformité (piézomètres) et des points d'exposition (habitations); limite de propriété; étendu des zones tampon; nature et sensibilité des récepteurs (anthropogénique et naturel)
	Systeme de collecte et traitement des lixiviats : caractéristiques, type, composant ; plan de construction et de récolement; historique d'exploitation et de maintenance
	Fond de forme : caractéritiques de la barriere active, intégrité, topographie du fond de forme
	Points de prélèvement de lixiviat : type (puits, station de pompage, bassin, drain de drainage…), nombre et localisation
	Casiers : géometrie, taille; épaisseur de déchets, volume
	Enfouissement : date de début/fin d'opération, composition des déchets, masse / volume total
	Pratiques d'enfouissement spéciale (par ex recirculation de lixiviat) : localisation et information
	Couverture : design / plan de construction /recolement, condition physique, réparation, problème récurrent
	Systeme de gestion des eaux pluviales : caratéristiques et performances; problème d'erosion, fuite, casse
	Stabilité géotechnique : information de dimensionnement pour assurer la stabilité
	Points d'alimentation en eau potable : localisation avec rayon de protection réglementaire
	Caratéristique de l'aquifère supérieur (lithologie, épaisseur, conductivité hydraulique)
	Caractéristiques de la zone non saturée (lithologie, épaisseur à la nappe, conductivité hydraulique)
	Ecoulement de la nappe (direction prédominante, vitesse, composantes verticale/horizontale); chemins préférentiels, comportements de recharge et décharge
	Caracteristiques des eaux de surface (zone de mélange); débit moyen/maximal/minimal; usages
Données de suivi	Eaux souterraines : données actuelles/historiques et direction d'ecoulement (amont et aval)
	Eaux de surface : données actuelles/historiques
	Lixiviats (dans les puits, en mélange): données actuelles/historiques sur les paramètres reglementés dans les eaux de surface et souterraines ; DBO et DCO
	Volumes de lixiviat générés actuels/historiques
	Etude de migration de biogaz (si réglementé)
	Etude des émissions de surface de biogaz (si réglementé)
	Etude d'impact lié à l'emission de biogaz dans les eaux souterraines (si réglementé)
	Génération de biogaz actuel /historique, paramètres d'entrée de modèle specifiques au site, résultat de modélisation
	Volume de biogaz collecté actuel (au moins 3 ans)
	Composition actuelle du biogaz (majeurs, traces non méthaniques); méthodes de prélevements et d'analyse, localisation des prélèvements
	Contenu en méthane du biogaz (au moins 3 ans)
	Pression de gaz interne (dans les puits de biogaz, de surveillance de migration)
	Performance de la couverture : données et information (contrôle d'infiltration, erosion…)
	Levés topographiques et/ou suivi des tassements ; analyse des tassements
	Données de stabilité géotechnique, information sur les glissements de talus
	Données météorologiques (précipitation, temperature, évapotranspiration, ...)
Réglementation	Historique des non-conformités ; impact ancien/actuel attribué au site, histoire/état actuel des mesures correctives
	Identification des paramètres et seuils reglementaires applicables aux eaux de surface (norme de qualité, qualité eaux amont)
	Identification des paramètres et seuils reglementaires applicables aux eaux souterraines (norme de qualité, qualité eaux amont)
	Identification des seuils réglementaires applicables au biogaz (emissions, migration, odeurs) ; identification des performances des meilleures techniques disponibles pour le contrôle du biogaz (torchère, biofiltre…)
	Réglementations sur la qualité et l'usage des eaux souterraines
	Facteur d'exposition aux risques; informations toxicologiques pour les paramètres pertinents
Actions	Résultat du Module Lixiviat établi
	Résultat du Module Biogaz établi
	Selection d'indicateur(s) de surveillance pour les eaux souterraines (Cl, NH4)
	Résultat du Module Eaux Souterraines établi
	Couverture finale ou provisiore installée

Il est important de garder à l'esprit que cette liste reste évolutive car les procédures d'évaluation ainsi que les critères choisis jusqu'à présent peuvent être re-discutés et modifiés.
Certains éléments ne sont pas critiques, mais préférables, ou potentiellement critiques selon le cas d'étude : la criticité des données dépend des caractéristiques du site et du scénario d'usage futur.
L'absence de certains éléments informatifs ou données peut ne pas s'avérer bloquante : l'évaluation peut tout de même permettre d'identifier des opportunités d'amélioration des activités de post-exploitation, ne serait-ce qu'en terme de paramètres de suivi. Certaines données peuvent être substituées par des paramètres définis par défaut ou une gamme de valeurs, mais cela induit généralement un durcissement des hypothèses de modélisation et éventuellement une maximisation des effets (par exemple, modélisation de la production de gaz à partir d'un mix de déchet supposé).
Le nombre d'analyses à effectuer dépend du traitement statistique. Actuellement, entre 4 et 8 évènements analytiques sont nécessaires pour les lixiviats et les eaux souterraines, 36 mesures de débit de biogaz collecté, un relevé des tassements par an jusqu'à stabilisation… Certaines analyses ou études peuvent être réalisées au moment favorable à partir duquel l'évaluation a des chances d'aboutir à des propositions de modifications du SPE (cartographie des concentrations de méthane dans l'air à la surface de la couverture, analyse des lixiviats prélevés en fond de puits…). Il est important de noter que, pour certains paramètres, le nombre minimal de données nécessaires pour conduire le traitement statistique n'assure pas automatiquement le succès de son issue (décroissance ou stabilité de la concentration) et que la présence de données sur une longue période permet plus sûrement de démontrer une amélioration de la concentration pour chaque paramètre régulé.

Pour les sites plus anciens, ne disposant pas de gestion du biogaz ou des lixiviats, ainsi que dans le cas de conditions environnementales spéciales (absence d'eaux souterraines…), ces listes peuvent être adaptées. Le cadre de démonstration intègre ces cas particuliers. Quelques exemples sont donnés ci-dessous.

Ex 1: Les sites français ne surveillant pas en routine les migrations de gaz, il n'est pas nécessaire d'appliquer la partie du Module Biogaz permettant de modifier les activités de surveillance des migrations. Si une étude particulière est demandée en fin de SPE (à cause de la sensibilité de l'usage futur ou la présence d'habitations proches du site) les opérateurs pourront collecter les données utiles pendant le temps nécessaire lorsque la fin du SPE est pressentie.

Ex 2 : Les sites ne réalisant pas de gestion des lixiviats et n'ayant pas de barrière active, mais surveillant les eaux souterraines et maintenant la couverture devront uniquement appliquer les modules Eaux Souterraines et Couverture : il suffit de montrer qu'il n'y a pas d'impact présent et futur. Le calcul (maximisant dans notre étude) du temps de transfert (TDT) de l'ensemble du lixiviat fuyant jusqu'au point de conformité indique le temps de surveillance nécessaire pour vérifier l'absence d'impact. La validité de cette évaluation repose sur l'hypothèse que les lixiviats s'améliorent dans le temps (qualité meilleure et quantité moindre), ce qui est garanti par le maintien des performances de la couverture, même après la fin du SPE.

Ex 3. Les sites ne réalisant pas de gestion du biogaz (absence de réseau de captage, de torchère) pourraient vérifier, si l'usage du site le requiert, qu'il n'y pas de risque d'explosion par migration latérale ou d'émissions/exposition inacceptables.

En résumé, les données requises et leur criticité dépendent du type de site, de son environnement, de son mode de gestion, de sa réglementation et de son usage futur.
La liste de données est indicative et reste évolutive.
L'absence de certaines données peut être dépassée par l'utilisation de « données substituts » ou par l'utilisation d'hypothèses plus strictes, qui risquent de prolonger la durée de SPE.

2.5 Cohérence entre les pré-réquis et le contexte français

Certains éléments pré-requis pour appliquer la méthodologie ne sont pas disponibles en France, soit parce qu'ils ne sont pas exigés réglementairement (divergence des programmes de surveillance par rapport aux Etats-Unis) ou qu'ils n'existent pas (absence de réglementation, divergences des pratiques opérationnelles…).

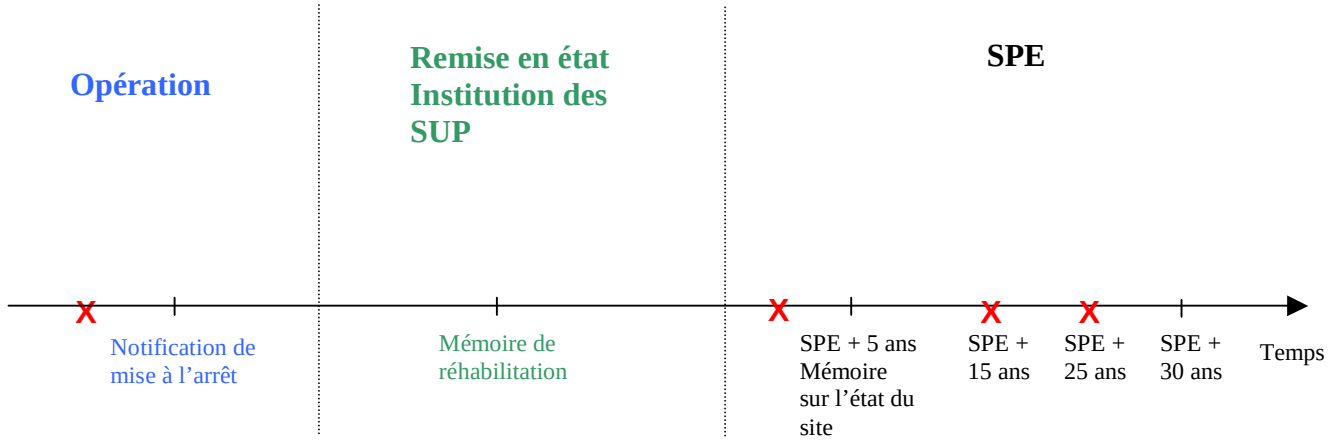
- La notion d'usage futur est désormais réglementaire en France pour tout type d'ICPE. Il peut être envisagé dès l'ouverture (un avis sur l'état dans lequel devra être remis le site lors de l'arrêt définitif de l'installation est obligatoire dans une demande d'ouverture d'ISDND) ou au moment de l'arrêt de l'activité (la procédure de cessation d'activité visée aux articles R512-39-1 et suivants du Code de l'Environnement impose de fixer un usage futur au moment de la fermeture de toute ICPE). En général, un type d'usage est défini, sans donner plus de précisions. La méthodologie EPCC peut aider à identifier un usage futur acceptable (*cf*. § A-2-7).
- Les AP instituant les programmes de SPE sont généralement adaptés en fonction de l'environnement du site mais sont peu modulables dans le temps. Il est nécessaire d'instaurer des AP complémentaires pour réglementer les modifications des APE.
- Ces AP indiquent rarement les paramètres, modalités et valeurs seuils ou textes de référence envers lesquels il serait possible de réaliser les évaluations → une procédure d'évaluation française générique a été mise au point pour le Module Lixiviat (*cf*. rapport final)
- Les paramètres analysés dans les lixiviats ne sont pas toujours les mêmes que ceux analysés dans les eaux de surface et les eaux souterraines[3] (*cf.* rapport final) → 4 à 8 événements analytiques sont nécessaires au minimum.
- Les analyses de lixiviats bruts sont en général réalisées dans des bassins tampon/citernes alors que c'est la qualité du lixiviat brut fuyant en fond de forme qui est nécessaire pour évaluer son impact potentiel sur les eaux souterraines → des analyses supplémentaires sont nécessaires au moment opportun (*cf*. rapport final).
- La réglementation française n'impose pas de suivi de routine des migrations de biogaz → cette partie de la méthodologie est conservée pour avoir un cadre générique, mais son évaluation est facultative et fonction du risque lié à l'usage futur (*cf.* rapport final).
- La réglementation française n'impose pas de suivi des émissions de surface. Aucune méthode de modélisation ou de mesure n'est pour l'instant valide et des travaux sur le sujet sont en cours. Il n'y a pas de seuil d'émission réglementaire. Dans ce cas, l'évaluation est essentiellement basée sur les limites de fonctionnement des meilleures techniques disponibles.

2.6 Moments opportuns pour réaliser les évaluations

La Méthodologie EPCC a été conçue pour être utilisable à tout moment pendant ou avant la phase de post-exploitation. Par conséquent, le propriétaire/exploitant peut faire conduire une évaluation initiale avant la fermeture afin d'identifier les données requises qu'il convient de recueillir pendant le SPE.
Une application préalable à la fermeture est fortement recommandée et exigera, au minimum, la mise en œuvre du Module Prérequis, bien que l'examen préliminaire des quatre autres modules puisse également s'avérer avantageux.
Si cela n'est pas entrepris avant, il est pertinent de réaliser l'évaluation initiale pour la remise du mémoire quinquennal sur l'état du site, dans lequel l'exploitant peut proposer des modifications de suivi, sur une base argumentée.
Il sera judicieux de soumettre à d'autres reprises des propositions argumentées de modification des APE (par exemple à l'occasion des bilans décennaux réalisés dans le cadre de l'autorisation de l'ICPE).

Tout module nécessitant le maintien d'un SPE actif doit être réévalué dans le futur, lorsque les conditions évolueront (des indicateurs ont été proposés dans ce sens). Ces réévaluations seront probablement plus simples que les évaluations initiales, puisque les données requises auront été identifiées et que l'intensité du SPE dans un ou plusieurs modules aura probablement été réduite. Dans ces cas de figure, la réévaluation peut se limiter aux éléments responsables du maintien actif des APE pour le module concerné.

[3] Même si l'annexe V de l'arrêté ministériel du 09/09/97 relatif aux ISDND précise que "Les paramètres à analyser dans les échantillons prélevés doivent être déterminés en fonction des polluants susceptibles d'être contenus dans le lixiviat et de la qualité des eaux souterraines dans la région".



X Moments opportuns pour évaluation EPCC

Figure 4 : Illustration des moments opportuns pour implémenter la méthodologie

2.7 Usage futur du site

C'est un élément primordial de la méthodologie. En France, le type d'usage futur est, en principe, fixé au moment du démarrage du SPE et consiste généralement en un usage de surface.
Définir un usage futur signifie définir les conditions du site et ses relations avec l'environnement et la communauté humaine sur le long-terme.
La définition de l'usage futur oriente la gestion pro-active du site pendant le SPE. L'usage futur du site détermine la finesse de l'évaluation : les récepteurs potentiellement impactés peuvent être différents, ce qui conditionne les données nécessaires et les critères choisis. La stratégie d'adaptation des activités de SPE peut varier.
Si aucun usage futur n'a été fixé, il est recommandé d'envisager pendant le SPE plusieurs types d'usages futurs potentiels, afin de tester plusieurs stratégies d'adaptation du SPE par la méthodologie, et ainsi orienter/argumenter le choix de l'usage futur. Comme la démonstration est dépendante de l'usage futur, celui-ci devra devenir réel par la suite. Cela aidera également à déterminer les mesures nécessaires pour assurer la mise en sécurité du site après la fin du SPE, et d'instituer des Servitudes d'Utilité Publiques adaptées à l'usage.
Si un usage est vraiment désiré sur un site non stable fonctionnellement pour cet usage, des travaux d'excavations et/ou réaménagements sont envisageables, mais cela sort du cadre d'application de la méthodologie EPCC.
Finalement, la démonstration que le SPE réglementaire peut être arrêté pourrait se faire plus ou moins tôt selon les usages. Ayant prouvé que le risque au moment de l'arrêt du SPE est acceptable, la confirmation des prévisions par sûreté peut se faire en dehors du cadre du SPE, avec un financement autonome (« gardiennage minimal »). Certains traitements passifs, surveillances ou maintenances légères pourraient être poursuivis et pris en charge par le responsable de l'activité sur le site (locataire, municipalité, propriétaire). Le partage des responsabilités de chaque partie sera à définir et à notifier avec précision.

2.8 Gardiennage minimal (« Custodial Care »)

Une fois qu'il est prouvé que l'ISDND n'engendre plus de risque inacceptable sur son environnement, le SPE réglementaire peut être arrêté et les garanties financières levées.
Pour limiter l'occurrence du risque résiduel dans le long-terme (perturbation du système par infiltration d'eau et d'air essentiellement), certaines réglementations (Etats-Unis, Danemark) sont en train d'opter pour une continuation de la maintenance de la couverture après la fin du SPE (ITRC, 2006a et b).

Cet entretien minimal est appelé « Custodial Care » (gardiennage minimal) et permet d'assurer la mise en place de l'usage prévu du site et les éventuelles restrictions d'usage nécessaires.
Le financement de ce gardiennage et les responsabilités respectives sont à décider entre les parties prenantes. L'usage futur pourrait permettre de financer ce gardiennage, comme expliqué ci-dessus.

Le programme de gardiennage minimal consisterait principalement à maintenir l'intégrité de la couverture. Selon les usages et les sites, le gardiennage pourrait également inclure quelques activités de gestion passives (pompage intermittent de lixiviats, traitement rustique des lixiviats, maintenance légère…) ou quelques surveillances (inspection des évents de biogaz, analyse quadri-annuelle de la nappe…).

2.9 Impossibilité de prédire une durée de SPE : illustration par le cas d'une tombe sèche

La durée pendant laquelle une ISDND engendre un risque et nécessite un contrôle et une surveillance actifs dépend des conditions climatiques, hydro-géologiques, environnementale, de sa conception et de son mode d'opération, de son contenu et des performances des systèmes de gestion des émissions.
La durée de SPE dépend en plus du niveau d'acceptation du risque par la société : cela transparaît dans le choix des critères seuils et des modalités d'évaluation, mais aussi dans le type d'usage futur accepté (golf, lieu de biodiversité…).
On comprendra qu'il est impossible de prédire la durée de SPE.

Dans la méthodologie EPCC, l'évaluation des lixiviats et du biogaz repose sur l'idée que leur qualité s'améliore dans le temps. Cette hypothèse sous-jacente est fondée si l'ISDND reste maintenue protégée de nouvelles infiltrations d'eau et d'air. Pour l'instant, aucune étude n'a suivi de site suffisamment longtemps pour appréhender l'effet d'une ré-oxygénation ou d'une ré-infiltration d'eau sur une potentielle mobilisation de polluants jusqu'alors immobilisés ou sur le redémarrage de la production de gaz. Les études d'aération forcée peuvent apporter des éléments de réponse.
Un risque peut exister dans le cas d'une «tombe sèche ». Cependant, la méthodologie ne permet pas de déceler si le site évalué est une tombe sèche. Certains indicateurs existent (valeur de DBO_5, ratio DBO_5/DCO, production de biogaz réelle par rapport à la modélisation, bilan hydrique…). Des forages et analyses des caractéristiques du déchet seraient envisageables (BMP, acide humiques, fulviques, potentiel de lixiviation résiduel …). Mais nous pensons que ces résultats sont non représentatifs (combien de forage/ha ?) et non probants (une grande partie du potentiel polluant reste immobilisé dans les déchets enfouis, (Van Zomeren et al., 2009)).
Dans le cas d'une tombe sèche, le SPE pourrait durer… plus que 30 ans. Pour sortir de cette situation sur les sites susceptibles de présenter une réactivité résiduelle conséquente, deux possibilités :

- voie technique : mise en œuvre de systèmes d'accélération de la dégradation de la matière organique (humidification, aération). Les balances coût-bénéfice de telles opérations ne sont pas encore consolidées et sont à considérer en regard de l'intérêt de l'usage futur.
- voie institutionnelle : substitution du cadre réglementaire de SPE par un gardiennage minimal, lié à un usage futur du site approprié et autofinancé par cet usage.

2.10 Considérations économiques

Toutes les méthodologies de démonstration de fin de SPE proposées jusqu'à aujourd'hui sont susceptibles d'induire des surcoûts par rapport au SPE provisionné (ADEME, 2007) (analyses, études, forages supplémentaires, coût de réalisation de la démonstration, allongement de la durée de SPE…). Cependant, il n'est pas aisé de réaliser une évaluation des coûts-bénéfices relatifs à chaque méthodologie car, au-delà des données et du niveau d'expertise nécessaires, les implications en terme de durée du SPE ne sont pas prédictibles et les efficacités des actions pro-actives de stabilisation du massif ne sont pas suffisamment connues pour estimer leur coût-bénéfice.

Un des intérêts de la méthodologie proposée est de pouvoir justifier l'adaptation de l'utilisation des provisions en fonction de la stratégie d'usage du site. Par exemple, face à une opportunité d'usage futur économiquement intéressant, l'exploitant pourra mettre en œuvre des actions coûteuses mais rentables à terme pour accélérer l'atteinte de la stabilité fonctionnelle relative à cet usage futur. Au contraire, si aucun usage n'est envisagé, l'exploitant pourra mener les APE de manière dégressive selon les besoins du site, et même, si besoin, le poursuivre après 30 ans grâce aux dépenses économisées par rapport à un SPE quasi monotone.

B- CONSIDERATIONS SUR LA CONSTRUCTION, L'EXPLOITATION, LA POST-EXPLOITATION DES ISDND POUR SECURISER LA GESTION POST-EXPLOITATION

Cette section liste des réflexions et des enseignements acquis lors du programme qui peuvent aider les exploitants, les autorités, les bureaux d'étude et les entreprises sous-traitantes à mieux penser et réaliser une ISDND.

1- Recommandations sur la gestion des données

La Directive Européenne sur la Mise en Décharge (1999/31/EC) spécifie que le SPE « doit être maintenu aussi longtemps que l'autorité compétente estime que la décharge est susceptible d'entraîner un danger pour l'environnement ». Quelle que soit la méthodologie employée pour démontrer l'arrêt du SPE, une interprétation des données en fonction du temps sera donc nécessaire (ne serait-ce que pour prouver l'absence d'impact sur les nappes, par exemple).

Les pratiques de gestion des informations et des données relatives aux ISDND ont fortement évolué au cours des dernières décennies, en cohérence avec les évolutions réglementaires et l'avènement des technologies informatiques. L'archivage papier a été progressivement supplanté par l'archivage électronique, facilitant l'interprétation et la consolidation des données, libérant de l'espace physique, mais subissant néanmoins des aléas de conservation.

Les éléments suivants peuvent être des obstacles à la collecte des données utiles à l'implémentation de la méthodologie :

- Peu de données et d'historique pour des sites ouverts avant les années 1980 ;
- Archivage papier majoritaire jusqu'aux années 1999 ;
- Peu d'intégration des archives papier dans les consolidations électroniques ;
- Perte d'anciennes données informatiques conservées sous des versions de logiciel qui ne sont plus applicables par les systèmes d'exploitation informatique actuels ;
- Disparité de présentation des données, qui induit une étape de mise en forme standardisée pour les intégrer dans la méthodologie.

Pour les sites soumis à un SPE et déjà en exploitation avant les années 1999, un effort de reconstitution de l'historique et des données d'analyses pourrait être nécessaire, mais une campagne d'analyse poussée pendant au moins 2 ans pourrait tout autant suffire.

2- Utilisation de paramètres indicateurs globaux ou individuels

Pendant le SPE et sous couvert des évaluations de la méthodologie, chaque opérateur pourrait proposer aux autorités de ne suivre que les paramètres pertinents pour son site (substances individuelles en forte concentration ou dangereuses, paramètres globaux indicateurs (DCO, DBO, somme des HAP…)) dans les lixiviats bruts mélangés, dans les eaux de surface et les eaux souterraines et si besoin/pertinent dans les lixiviats en fond de puits, dans le biogaz. Une décroissance géométrique des fréquences de suivi, et une analyse complète tous les 4 ans permettrait de remettre à plat la liste de composés à analyser à fréquence plus soutenue. Au bout d'un certain nombre d'analyses quadri-annuelles inférieures à la limite de détection, le paramètre pourrait être définitivement rayé de la liste (avec la possibilité d'une ultime analyse avant le rendu du mémoire de fin de SPE).

3- Options de conception et de gestion d'une ISDND pour diminuer la durée du SPE

Les discussions et débats autour de la définition de la décharge durable et des modes de gestion associés sont nombreux (SLTG, SLF, SWANA, Sardinia Symposium…). L'enjeu est de contrôler les combinaisons de déchets entrants et d'instrumenter des systèmes permettant d'accélérer les phénomènes de dégradation, de collecter et traiter les effluents le plus efficacement possible, en utilisant

le moins d'énergie possible, pour globalement limiter les risques engendrés par la présence d'une ISDND et diminuer la durée de post-exploitation (surtout la phase de surveillance et traitement actif)[4].

Plusieurs actions sont à l'étude pour atteindre ces objectifs. Elles pourraient être combinées sur un même site, en fonction des déchets entrants et des contraintes réglementaires. Elles pourraient être mises en œuvre simultanément ou à des moments différents (construction, exploitation, post-exploitation) :

- En sélectionnant les déchets:
    - Par prévention : interdiction d'enfouir des déchets dont le contenu est prohibé (certains pays bannissent les matières organiques des ISDND, par exemple) ;
    - En valorisant certains déchets comme consommables (compost non homologué, utilisable en couverture intermédiaire pour supplanter la terre, sauf si non homologation à cause des métaux…) ;
    - En combinant des matériaux dont les interactions réduisent les émissions, ou créent des conditions favorables aux phénomènes (matériaux à fort pouvoir tampon, à forte charge organique, l'humus produit facilitant la complexation des ions métalliques et leur immobilisation)[5].
    - En séparant les déchets à synergie négative (le stockage conjoint de plâtre et de matières organiques, par exemple, produisent un biogaz fortement chargé en H2S, composé toxique, odorant et néfaste aux moteurs de valorisation)[6].

- En pré-traitant certains déchets avant enfouissement pour extraire des polluants spécifiques et/ou améliorer leur comportement en conditions de stockage[7] (tri mécanique des métaux, papier, plastiques, humidification préalable, lessivage des sels, broyage, pré-traitement biologique aérobie ou anaérobie, immobilisation de composés dans des matrices minérales ou argileuses…).

- En modifiant les principes de gestion des eaux :
    - accélération de la dégradation du massif de déchet par recirculation de liquide[8] (lixiviat, autres effluents industriels non pollués…). L'humidification optimale du déchet devrait commencer après la phase acidogène, et être modulée selon la teneur en eau du massif pour éviter de le noyer, et en cohérence avec la capacité de collecte du réseau de biogaz installé ;
    - gestion séparée des lixiviats de nature différente (lixiviat issu de zones en phase méthanogène injecté dans les cellules en phase acidogène, lixiviat acidogène « pré-traité » dans les zones méthanogènes, lixiviat traité réinjecté pour favoriser l'extraction de substances…);
    - certains imaginent même une modification de la composition de la solution interstitielle (inoculation par des effluents organiques[9], de substances lavantes ou immobilisantes), pour favoriser les process et les immobilisations sous des spéciations peu impactantes).

Note : Ces options imposent des contraintes de construction et d'exploitation, en particulier en terme de performance des systèmes de confinement, de collecte et de traitement des lixiviats et du biogaz. Les volumes de lixiviat et les coûts de traitement risquent d'augmenter pendant la phase active d'opération et de début de post-exploitation, mais seraient « ramassés » sur un nombre d'années moins important (coût-bénéfice à évaluer).

- utilisation de couvertures analogues aux sols imperméables, évapo-transpirantes et oxydantes (biomimétisme), permettant de réduire les infiltrations d'eau dans le temps et de mitiger les émissions de gaz résiduel (Barlaz et al., 2004). Leur importante épaisseur doit être prise en compte lors de l'institution des côtes finales. L'utilisation des géomembranes PEHD, extrêmement efficaces sur le court-moyen terme, conduit à un

[4] De nombreux concepts et études multi-échelles et multi-process ont évalué des possibilités et aboutissent parfois à des guides de conception et opération (EREF, 2007, Mathlener *et al*., 2006, études sur les bioréacteurs tels que Yazdani et *al*., 2003 ; Benson *et al*. , 2007, Ritkowski *et al*., 2006, Benson et al. 2007...).
[5] Des études (Van zomeren, 2005 ; décharge Equifill, Scharff et Jacobs, en ligne) ont démontré la possibilité de créer des synergies positives pour diminuer la durée de vie d'une décharge de classe III (déchets inertes).
[6] Stentsoe et Houe (en ligne) décrivent une ISDND réalisée pour la municipalité de Copenhague avec des alvéoles dédiées par type de déchet et des systèmes de collecte de lixiviats séparés.
[7] Guide Bioréacteur, ADEME, 2007
[8] Reinhart et *al.* 1998 et 2002, Warith 2005
[9] Les boues de STEP, les lisiers, les boues de fosses septique, et les OM anciennes ont été étudiés comme des inocula potentiels (Warith *et al*. 2005, Reinhart & Townsend 1998, Reinhart et al. 2002).

risque de tombe sèche (nécessité d'injection contrôlée de liquide) et à une difficulté d'arrêt du système de collecte de biogaz (surpression) qui peut être résolu en aérant le massif, *cf.* ci-dessous).

- pour éviter des risques d'instabilité géotechnique ou de déversement de lixiviat en surface à cause de la montée des lixiviats dans le massif :
  - favoriser le drainage des lixiviats par voie gravitaire. Cette pratique peut parfois induire un assèchement du massif plus important que pour les sites collectant les lixiviats par pompage interne (présence de lixiviat en fond de casier) : des postes de relève externes pourront être utilisés pour recirculer les lixiviats, et seront plus facilement éliminés ;
  - s'il n'est pas possible de drainer gravitairement, le pompage peut se faire de manière intermittente, grâce à une alimentation par énergie photovoltaïque ou éolienne (nécessite un minimum de maintenance) ;
  - construire des drains latéraux, fonctionnels une fois la qualité de lixiviat acceptable et le pompage arrêté, permettant la surverse des lixiviats et leur drainage vers le fossé des eaux de ruissellement ;

- En aérant le massif lorsque la production de biogaz n'est plus suffisante pour être valorisée, afin de bloquer les procédés de dégradation anaérobie et stabiliser par aérobiose le résiduel de matière biodégradable.
- En améliorant le niveau de dégradation de la matière organique en alternant les phases aérobie/anaérobie grâce à une installation combinée permettant d'injecter liquide et air.
- En établissant les ISD sur des zones géologiques favorables, avec des capacités d'atténuation naturelle, permettant des barrières de confinement naturelles performantes. Cette pratique est habituelle pour les ISDND françaises.

Ces options de gestion peuvent impliquer des modifications de construction et d'exploitation et induire des augmentations des coûts de stockage. Ces augmentations sont à mettre en regard de l'efficacité de ces pratiques et de leurs bénéfices en terme de réduction du risque long terme et de la durée de post-exploitation. Une étude sur cet aspect serait bienvenue.

4- Limitation des risques économiques et environnementaux

La décroissance progressive des activités de post-exploitation pour aboutir à un gardiennage minimal financé par un usage acceptable est un mécanisme rassurant et sécurisant. Il permet d'instaurer des activités cohérentes avec les caractéristiques du site, de maintenir son intégrité et de le préserver de l'oubli. L'ensemble de ces éléments limite les risques environnementaux et économiques.
Une réflexion commune de la part du propriétaire du site, de la municipalité et des citoyens est recommandée afin d'envisager une utilisation future bénéfique à tous, éventuellement encadrée par des servitudes d'utilités publiques.
Voici quelques exemples d'usages futurs existants :
- activités industrielles légères (zone de compostage, panneaux photovoltaïques …)
- activités de loisir et d'éducation (lieu de promenade, terrain de jeux, terrains de sports…)
- activités agricoles (cultures énergétiques adaptées à la couverture, pâturage, zone de chasse...)
- zone de biodiversité surveillée.

Certaines activités pourraient être mises en place pendant le SPE, et pourraient contribuer à son financement.

Aires de verdure urbaines

Aire de jeux

Piste de test pour modèles réduits d'avions

Terrains d'entraînement sportif

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet « Evaluation de la stabilité fonctionnelle des ISDND fermées » a proposé une méthodologie en cohérence avec les principes réglementaires européens sur la post-exploitation, afin de démontrer la stabilité fonctionnelle des ISDND fermées (absence de risque inacceptable pour la santé et l'environnement en l'absence d'activités de post-exploitation) et donc justifier la cessation de la période de suivi post-exploitation (SPE). L'approche proposée se veut un outil qui, avec d'autres, peut être mis au service de cette démonstration.

L'implémentation de cette méthodologie pourrait permettre de :

- mieux contrôler et évaluer l'impact environnemental des sites de stockage sur le long-terme,
- aider à leur trouver un usage futur adéquat,
- sécuriser la mise en œuvre de l'usage futur grâce à l'instauration d'un gardiennage minimal, qui consisterait principalement à maintenir l'intégrité de la couverture et pourrait inclure des activités de traitement passif ou de surveillance à faible fréquence,
- limiter le risque économique lié à un SPE très long,
- faciliter l'adaptation des activités de post-exploitation (APE) en fonction de l'évolution du site et de la sensibilité de son environnement,
- fournir des recommandations aux opérateurs en ce qui concerne la gestion des sites existants fermés et des données à collecter,

Ce projet a en outre permis :

- de recommander une gestion optimale des données sur les ISDND fermées soumises à un suivi post-exploitation réglementé. Une gestion efficace des données et informations provenant de toutes les phases de la vie d'une ISDND est un avantage pour démontrer l'arrêt du SPE ;
- d'identifier les données nécessaires à la réalisation d'une évaluation pour une ISDND ;
- de tempérer les besoins de données pour les sites possédant moins de systèmes de contrôle ;
- d'identifier les blocages dus à des manques de données et de fournir des solutions/hypothèses de substitution pour ne pas bloquer l'évaluation. En particulier, l'accent a été mis sur la possibilité de réaliser les évaluations par Tiers de plus en plus spécifiques (donc demandant plus d'informations). Ainsi, le recours à une évaluation des risques liés aux impacts potentiels (telle que réalisée actuellement en France) n'est indispensable que pour certains paramètres, lorsque les évaluations à la source et au point d'impact ont échoués pour ces paramètres. C'est donc une étude spécifique à réaliser si besoin, en fin de SPE. Dans la plupart des cas, l'étude d'impact devrait suffire.
- de montrer que, même si toutes les données ne sont pas présentes, l'évaluation à partir des données existantes peut déjà indiquer des optimisations dans les activités de post-exploitation (paramètres qui n'ont plus besoin d'être surveillés dans les eaux et les lixiviats, intérêt à forer un piézomètre plus près du site, intérêt à analyser des lixiviats en fond de casier, données à collecter, possibilité d'envisager un traitement passif prochainement…) ;
- de mettre en évidence :
    - la nécessité de modifier les AP de SPE au fur et à mesure de l'évolution du site et des évaluations ,
    - la mauvaise représentativité des forages de déchets enfouis pour évaluer un état de dégradation ou d'émission potentielle attribué à l'ensemble du massif,
    - la difficulté d'établir et de vérifier l'atteinte de certains critères, en particulier sur l'émission fugitive de biogaz,
    - la limite des modèles pour représenter les « fins de production »,
    - la problématique de l'arrêt du pompage des lixiviats,
    - l'inutilité de la surveillance des eaux souterraines pour des aquifères très lents,
    - l'incapacité de prédire la durée de SPE.
- de fournir des pistes de réflexion et des solutions sur l'achèvement du SPE (importance de la définition de l'usage futur pour orienter la diminution des activités de SPE, accélération de la dégradation du massif si l'usage « vaut le coût », gardiennage minimal post-SPE).
- de suggérer des bonnes pratiques de conception, exploitation, post-exploitation des ISDND permettant de limiter la durée de SPE et les risques engendrés à long-terme ;

En résumé, la méthodologie développée est un cadre scientifique et rigoureux de démonstration, suffisamment générique pour traiter la plupart des types de décharges de déchets non dangereux. Son plus grand avantage est de permettre un passage progressif et contrôlé vers un arrêt de SPE, limitant le risque environnemental et économique. Ce cadre peut prendre en compte les spécificités des réglementations nationales.

Dans la présente étude, les modalités d'évaluation choisies sont sévères et maximisent les risques. Pour faire en sorte que les modalités d'évaluation restent rigoureuses mais deviennent raisonnables, pour que les critères soient atteignables et que la méthodologie soit applicable, des discussions demeurent sur les points suivants :

- valider les procédures d'évaluation (manière de conduire les études d'impact et de risques, paramètres de décisions ou indicateurs acceptés, conditions de surveillance de la nappe…)
- confirmer les outils choisis (traitements statistiques des données, modèles, phénomènes à prendre en compte comme l'atténuation naturelle, logiciels acceptables, éventuellement valeurs de paramètres par défaut …)
- définir les critères de comparaison (qualité amont de la nappe, standard réglementaire, norme de qualité environnementale, valeur limite d'émission, valeur toxicologique de référence, limite technique…)

En perspective de cette étude, nous proposons l'implémentation de la méthodologie sur deux sites (1 en cours de SPE, un en fin de SPE), afin de :

- appliquer la méthodologie avec les critères/procédures/hypothèses définis pour éviter une majoration excessive des risques générés ;
- constituer un premier dossier de fin de SPE argumenté par la méthodologie ;
- tester les procédures de confirmation et estimer l'efficacité des gestions passives, afin de montrer que des modifications de SPE sont appropriées (lien avec d'autres projets Post-Exploitation subventionnés par l'ADEME).

Nous proposons également d'étudier la cohérence et la complémentation de cette méthodologie avec des approches existantes telles que celles réalisées pour l'évaluation des sites et sols pollués.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME, **Provisionnement des coûts de post-exploitation des ISDND**, 2007
http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=49033&p1=02&p2=0509&ref=17597

ADEME **Etat des connaissances techniques et recommandations de mise en œuvre pour une gestion des installations de stockage de déchets non dangereux**, 2007.

ADEME **Guide d'usage de la méthode d'évaluation de l'écocompatibilité des scénarios de stockage et de valorisation**, 2002.

ASTEE, Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement. **« Guide pour l'évaluation des risques sanitaires dans le cadre de l'étude d'impact d'une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés »**, 2005.
[en ligne].http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/astee2_ei52.pdf.

Benson C., Barlaz M., Lane D., Rawe J. **Practice review of five bioreactor recirculation landfills**., Waste management, Vol. 27, pp. 13-29, 2007.

Bour O., Berger C., CouturierS., Riquier L. **« Evaluation des risques liées aux émissions gazeuses des décharges : proposition de seuils de captage ».** INERIS DRC 05-46533, 2005.

EREF (Environmental Research and Education Foundation). **"Project executive summary: performance-based system for post-closure care at MSW landfills a procedure for providing long-term stewardship under RCRA subtitle D".** 2007.

EREF (Environmental Research and Education Foundation). **"Project summary report – Appendix E: Technical manual for evaluation of post-closure car (EPCC) methodology – Performance-Based System for Post-Closure Care at MSW Landfills: A Procedure for Providing Long-Term Stewardship under RCRA Subtitle D",** 2006.

Interstate Technology and Regulatory Council (2006a). **"Planning and promoting ecological land reuse of remediated sites".** ECO-2, Washington DC, USA, July 2006.

Interstate Technology and Regulatory Council (2006b). **"Technical and regulatory guidance for evaluating, optimizing, or ending post-closure care at MSW landfills based on site-specific data evaluation".** ALT-4, Washington DC, USA, September 2006.

Journal officiel du 20 juillet 1976**. Loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux ins tallations classées pour la protection de l'environnement.**

Journal officiel. **Décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'a pplication de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.**
[En ligne], consulté le 25/02/08 :
http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006062567&dateTexte=20080226

Journal officiel du 2 octobre 1997, 2 mars 2002, 19 avril 2002. **Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets ménagers et assimilés.**

Journal officiel n° L 182 du 16/07/1999 p. 0001 – 0 019, Rectificatif dans le Journal officiel n° L 282 du 05/11/1999 p. 0016 – 001).**Directive 1999/31/CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets.**

Journal officiel de l'Union Européenne, **Directive 2008/98/CE relative aux déchets**
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:FR:PDF

Journal officiel de l'Union Européenne, **Directive 2008/1/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 janvier 2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution** http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:0029:FR:PDF

Journal officiel de l'Union Européenne, **Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.** http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:FR:PDF

Journal officiel de l'Union Européenne, **Directive 2004/35/CE du Parlement européen et du Conseil, du 21 avril 2004, sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux** http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:143:0056:0075:FR:PDF

Mathlener R., Heimovaara T., Oonk H., Luning L., van der Sloot H., van Zomeren A. **Opening the Black Box : Process-Based Design Criteria to Eliminate Aftercare of Landfills**. DSLF, 2006, [en ligne] : http://www.sustainablelandfillfoundation.eu/documenten/Sustainable%20landfill%20final%20report.pdf

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. Circulaire MC0803 du 05/01/09. **Mise en œuvre de la deuxième phase de l'action nationale de recherche et de réduction des substances dangereuses pour le milieu aquatiques dans les rejets d'ICPE soumises à autorisation**. http://rsde.ineris.fr/doc/circulaires/circulaireRSDE050109.pdf

Morris J.W.F, Barlaz M.A. **A performance-based system for the long-term management of municipal waste landfills**. *Waste Management*, *Available online 24 December 2010*

Reinhart, D. R., P. T. McCreanor & T. Townsend. **The bioreactor landfill: its status and future**. 2002, Waste Manage. Res., 20, 172-186.

Reinhart, D. R. & D. T. G. Townsend. **Landfill bioreactor design and operation**. 1998, CRC Press LCL.

M. Ritzkowski, K.-U. Heyer, R. Stegmann **Fundamental processes and implications during in situ aeration of old landfills**. 2006, Waste Management, Volume 26, Issue 4, Pages ,356-372

Scharff H. **Ideas and intentions of the Dutch sustainable landfill research programme,** [en ligne], http://www.sustainablelandfillfoundation.eu/documenten/Ideas%20and%20intentions%20of%20the%20Dutch%20sustainable%20landfill%20research%20programme.pdf

Stensoe S., Houe N. **Sustainable Landfilling**. [en ligne], consulté le 01/02/08 : http://www.cowi.dk/NR/rdonlyres/6A70AE92-D6B3-4660-84B1-1E5D4D04DA92/0/Sustainablelandfilling.pdf

Van Zomeren A., van de Sloot H., Meeussen J., Jacobs J., Scharff H. **Prediction of long term leachate behaviour of a sustainable landfill containing predominantly inorganic waste**. Proceedings of the 10th IWML Symposium Sardinia, oct 2005

Van Zomeren A., Scharff H. and Van der Sloot H. **"Environmental risk assessment for determination of long-term emissions of landfills".** Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 - 9 October 2009.

Warith, M. A., X. Li & H. Jin. **Bioreactor landfill : state-of-the-art review**. 2005, Emirates Journal for Engineering Research, 10(1), 1-14.

Yazdani R, Kieffer J, Akau H, Augenstein, D. **Monitoring the performance of anaerobic landfill cells with fluids recirculation**. Final project report October 2003, [en ligne].

Liste des publications faisant état des travaux actuels :

Morris J., Crest M., Åkerman A., Budka A., Hayward-Higham S.' Barlaz M.A. **Evaluation of the aftercare requirements in the context of functional landfill,** ICLRS 2008, Colorado, USA, September 2008

Morris J., Crest M., Åkerman A., Budka A., Hayward-Higham S.' Barlaz M.A. **Case study evaluation of aftercare requirements in the context of functional stability of closed MSW landfills**. Proc. Global Waste Manag. Symp., Sept 7-10, 2008, Copper Mountain CO, USA

Crest M., Akerman A., Budka B. **Application d'une méthodologie d'évaluation de la stabilité fonctionnelle des ISDND fermées.** Journée ADEME, Besançon, Dec 2008

M. Crest, A. Akerman, J.W.F. Morris, A. Budka, D. Presse, S. Hayward-Higham, M.A. Barlaz. **"Application of the EPCC methodology to evaluate functional stability at closed MSW landfills in Europe".** Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 - 9 October 2009.

Crest M. **Evaluation of the Functional Stability of closed landfills - Case study.** Journées ADEME sur la post-exploitation des ISDND, Paris, Avril 2010

Crest M.,. Morris J., Barlaz M.A. **How demonstrate that landfill aftercare period can be ended ? Presentation of EPCC Methodology** ICLRS 2010, Hokkaido Japan, June 2010

Crest M., Åkerman A., Morris J., A., Budka A., Presse P., Hayward-Higham S. **Aftercare Completion and the Path to Sustainable Reuse of Closed Landfills,** ISWA 2010, Hamburg, November 2010

Liste des brevets déposés : aucun brevet