

Comment mettre en oeuvre des solutions de stabilisation in situ ou de phytoremédiation dans les stratégies de gestion durable des sols contaminés en éléments traces

Michel Mench, Valérie Bert, Giancarlo Renella, Jaco Vangronsveld, Kristin Adriaensen, Jurate Kumpiene, Ingo Muller, Marie-Claire Magnie, Pavel Tlustos, Andy Cundy

▶ **To cite this version:**

Michel Mench, Valérie Bert, Giancarlo Renella, Jaco Vangronsveld, Kristin Adriaensen, et al.. Comment mettre en oeuvre des solutions de stabilisation in situ ou de phytoremédiation dans les stratégies de gestion durable des sols contaminés en éléments traces. 2. Rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués, Oct 2009, Paris, France. pp.NC. ineris-00973367

HAL Id: ineris-00973367
https://ineris.hal.science/ineris-00973367

Submitted on 4 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comment mettre en oeuvre des solutions de stabilisation *in situ* ou de phytoremédiation dans les stratégies de gestion durable des sols contaminés en éléments traces

Michel Mench [(1)], Valérie Bert [(2)], Giancarlo Renella [(3)], Jaco Vangronsveld [(4)], Kristin Adriaensen [(4)], Jurate Kumpiene [(5)], Ingo Müller [(6)], Marie Claire Magnié [(7)], Pavel Tlustos [(8),] Andy Cundy [(9)]

[(1)] UMR BIOGECO INRA 1202, Univ. Bordeaux 1, Bât B8, Av. des Facultés, 33405 Talence, France, mench@bordeaux.inra.fr.

[(2)] INERIS, Unité Technologies et Procédés Propres et Durables, Parc Technologique Alata, BP2, 60550 Verneuil en Halatte, France

[(3)] Dep[t] of Soil Science-Plant Nutrition, Univ. Florence, P[le] delle Cascine 28, 50144 Florence, Italie

[4]Univ. Hasselt, Environmental Biology, Diepenbeek, Belgique

[(5)] Division of Waste Science & Technology, LTU, 971 87 Luleå, Suède,

[6]Saxon State Agency for Environment and Geology, Soil Protection Unit, Zur Wetterwarte 11 01109 Dresden, Allemagne

[(7)] 6 rue de Watford, 92000 Nanterre, France

[(8)] Dep[t] of Agrochemistry and Plant Nutrition, Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources, Kamýcká 957, 165 21 Prague 6 – Suchdol, Republique Tchèque

[(9)] School of the Environment, Univ. of Brighton, Lewes Road, Brighton BN2 4GJ, Royaume Uni

Résumé

Une stratégie de gestion durable pour un sol contaminé en éléments traces (TECS) décrit comment une solution ou une combinaison de solutions, incluant ou non une remédiation, choisie pour chaque relation source-exposition-récepteur, sera mise en œuvre sur site afin que la gestion du sol puisse satisfaire les besoins écologiques, économiques et sociaux actuels et futurs. Elle donne une description claire et détaillée comment les relations sources-récepteurs seront assainies et le travail de remédiation vérifié. Les aspects pratiques tels que le zonage du site, l'interprétation de l'état des milieux, le planning des travaux, et les moyens pour obtenir les autorisations environnementales sont à renseigner dans la stratégie. Une stratégie optimale comprend au minimum 3 phases, avec des procédures itératives, i.e. :

1) l'évaluation des risques (schéma conceptuel, interprétation initiale des milieux sur site et hors site, évaluation quantitative des relations source-exposition-récepteurs biologiques) ;
2) l'évaluation des solutions faisables (solutions possibles, évaluation quantitative des solutions, développement de la stratégie de remédiation)
3) la mise en œuvre et la vérification des solutions (préparation des travaux, planning, mise en œuvre et vérification des travaux, surveillance à long terme et maintenance).

Une solution d'assainissement du sol peut ne pas être suffisante pour remédier toutes les relations sources-récepteurs, parce qu'il existe plus d'un contaminant, que son efficacité est appropriée à une relation source-récepteur, ou qu'il existe des zones sur site avec des contaminations diverses.
Les stratégies d'assainissement peuvent être de 3 types :

i) l'intégration de processus est l'utilisation combinée de 2 solutions ou plus d'assainissement, pour augmenter l'efficacité du traitement au-delà de celle potentielle de chaque solution si elle était employés comme solution simple et autonome ;
ii) zones actives de confinement/traitement in situ : les zones de traitement visent à améliorer la remédiation in situ en segmentant les surfaces ou les volumes contaminés en plus petites unités, mieux définies, pour bien prendre en compte les limites caractéristiques de chaque solution appliquée, la disponibilité et l'accessibilité des contaminants ;
iii) les approches étendues fonctionnent sur une plus longue période avec de faibles besoins d'entretien, coûts et consommation d'énergie

S'assurer de l'efficacité d'une stratégie de remédiation comprenant les travaux de plus d'une solution de remédiation exige bien plus de soin pendant la conception et la planification détaillée. Il peut être nécessaire de découper le site en zones et les phases du travail de remédiation de telle manière que différentes solutions de remédiation puissent être mises en application sans interruption, retard ou erreur. Il peut être faisable et rentable de combiner certaines composantes de différentes solutions, tout en laissant d'autres être procédées indépendamment.

L'évaluation de chaque stratégie de remédiation et de gestion comprend de nombreux points, dont 2 sont cruciaux, i.e. les échelles de temps pour devenir totalement effective et la longévité prévue de la gestion proposée. Le procédé d'exécution comprend 3 étapes principales :

1. Préparation du plan d'exécution, tel que la stratégie de remédiation puisse être installée d'une façon efficace et ordonnée ;
2. Conception, exécution et vérification de la remédiation ;
3. Surveillance et entretien à long terme.

On rappelle également le rôle des autorités réglementaires qui « approuvent » la remédiation et son exécution.

Les besoins identifiés de Recherche- Développement sont :

- des données comparables sur les coûts ;
- des systèmes de QA/QC pour l'efficacité, l'exécution et les émissions ;
- des retours d'expériences comparables (sites de démonstration) ;
- des approches harmonisées, faisant une large place aux aspects environnementaux pour l'évaluation des technologies durables;
- une intégration des technologies et solutions pour résoudre la variété de problèmes se posant sur site ;
- une intégration des phases de planification, recherche, remédiation, maintenance et surveillance ;
- des expériences à long terme sur les technologies contrôlant les voies d'exposition;
- la modélisation de l'échelle de temps pour accomplir les diverses taches
- la modélisation de l'échelle de temps pour la surveillance et l'évaluation résiduelle des risques
- prise de décisions sur les fonctions à restaurer, atteindre ou maintenir en sol contaminé
  - pour quelques pays, la prise de décision basée sur le risque reste à adopter
- développement de technologies efficaces et économiques
- développement de technologies intégrées pour résoudre des problèmes de contamination mixte.

Ce projet est réalisé grâce au soutien du programme SNOWMAN, qui regroupe des organisations et des administrations nationales. SNOWMAN est un des 70 ERA-Nets (European Research Area – réseaux) financé par le 6ème PCRD. D'autres informations sont disponibles aux adresses suivantes : http://www.snowman-era.net et http://www.rhizo.at/Sumatecs.

Une stratégie de gestion durable pour un sol contaminé en éléments traces (TECS) décrit comment une solution ou une combinaison de solutions, incluant ou non une remédiation, choisie pour chaque relation source-exposition-récepteur, sera mise en œuvre sur site afin que la gestion du sol puisse satisfaire les besoins écologiques, économiques et sociaux actuels et futurs. Elle donne une description claire et détaillée de comment les relations source(s)-récepteurs seront assainies et comment le travail de remédiation sera vérifié. Elle contient les pratiques améliorant la gestion des sols et du site. D'autres aspects liés à la mise en œuvre tels que le zonage du site, l'interprétation de l'état des milieux, le planning des travaux et les moyens pour obtenir les autorisations environnementales, sont aussi à renseigner dans la stratégie.

Le but d'une stratégie de gestion pour TECS est de permettre aux utilisateurs du sol, aux propriétaires du terrain et à tous ceux qui leur fournissent appuis et services pour assainir les risques inhérents à la contamination du sol, de travailler ensemble plus efficacement pour maintenir la capacités des sols à répondre aux besoins écologiques, économiques et sociaux (y compris la santé des personnes), actuels et futurs.

1. ETAPES DANS UNE STRATEGIE DE GESTION DURABLE.

D'après une revue des stratégies de gestion pour les sites contaminés par les éléments traces et leurs environnements adjacents, une stratégie optimale comprend au minimum 3 phases, avec des procédures itératives, i.e. [1, 2] (Fig. 1):

1.1. L'évaluation des dangers et risques initiaux. Elle comprend plusieurs phases, i.e., schéma conceptuel, interprétation initiale des milieux sur site et hors site, évaluation quantitative des relations source-exposition-récepteurs biologiques, etc. Elle valide la présence de dangers et de risques, quantifie leur intensité et établit des objectifs de remédiation en fonction de scénario d'usage. Le modèle conceptuel (diagramme ou écrit) représente les caractéristiques du site et montre les relations possibles entre les contaminants, les voies d'exposition et les récepteurs, biologiques ou abiotiques. La procédure s'accompagne de rapports et de guides techniques. Elle peut être phasée ou non.

1.2. L'évaluation des solutions faisables inclut aussi plusieurs phases, i.e., identification des solutions possibles, évaluation quantitative générique puis détaillée des solutions de remédiation, développement de la stratégie de remédiation et vérification de la faisabilité, incertitude de la faisabilité, etc.). Cette étape doit montrer si après l'évaluation des dangers et des risques, le site contaminé par les éléments traces peut être géré, en totalité ou partie, dans un contexte de développement durable avec des solutions douces de remédiation qui doivent satisfaire des objectifs techniques et de gestion. Elle doit évaluer quelles solutions sont acceptables. Quand ce n'est pas possible, elle doit évaluer s'il existe des alternatives ou des actions pour réduire ou contrôler le risque. Pour évaluer les solutions de remédiation, les facteurs spécifiques au site sont pris en compte, comme la nature du schéma conceptuel, les critères de gestion du risque, la localisation et les quantités de contaminants et matériaux à traiter, les solutions de remédiation disponibles, la localisation du site, les caractéristiques spécifiques des contaminants et du site, etc. Les critères techniques, réglementaires, commerciaux et financiers qui peuvent affecter la prise de décision sont aussi pris en compte.

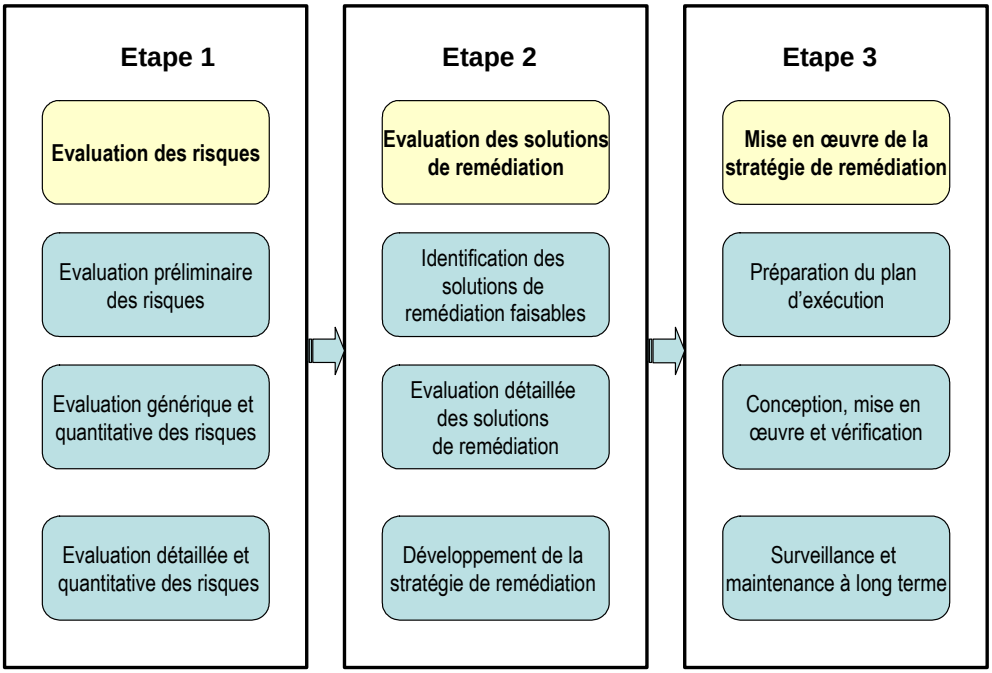


Figure 1. Etapes de la stratégie de gestion d'un sol contaminé en éléments traces.

L'identification des solutions de remédiation faisables doit contenir (i) un résumé pour toutes les solutions appropriées à chaque relation source-récepteur présentant un risque avéré, leurs caractéristiques et la méthode pour collecter l'information sur ces solutions ; (ii) une liste courte des solutions faisables qui feront par la suite l'objet d'une évaluation détaillée, avec un argumentaire de leur pertinence pour le site et également les raisons pour rejeter certaines solutions.

L'évaluation détaillée des solutions au cours de l'étape 2 comporte les critères d'évaluation utilisés : *e.g.* bases scientifiques et technique, intervalle d'expositions aux contaminant où l'efficacité est démontrée, efficacité en combinaison avec d'autres solutions si ce point est requis, certitude, travaux préparatoires requis, projet de zonage et de phasage, moyens de vérification de l'efficacité et de la surveillance, contraintes et limites, temps requis pour atteindre l'efficacité et les objectifs d'assainissement, permis et documents éventuellement nécessaires, estimation de la persistance, besoins de maintenance et surveillance, flexibilité de l'usage du site après la remédiation, mesures pour prévenir la contamination de l'environnement hors site (dont les eaux) dûe aux activités de remédiation, justification des modifications préconisées vis-à-vis de certaines relations source-récepteurs, résumé de l'évaluation des stratégies alternatives, acceptabilité par les communautés, les autorités, et le public, gestion de la communication, contexte légal, commercial et juridique. Elle mentionne l'identité des solutions appropriées pour chaque relation source-récepteurs présentant des risques non acceptés et décrit les objectifs de remédiation. Elle inclut un argumentaire pour justifier la sélection et un autre pour le rejet de solutions, et une justification pour les propositions éventuelles de combiner des solutions de remédiation.

Les limites principales à l'emploi d'une solution de phytoremédiation sont : une localisation des contaminants en dehors de la zone explorée par les racines, un développement des végétaux trop faible ou un temps de croissance trop long, une migration des contaminants vers le sous-sol ou les eaux souterraines ne pouvant être empêchée par la solution de remédiation, une survie incertaine des plantes face aux conditions du sol ou l'excès de contaminants, un danger de bioaccumulation de contaminant(s) dans des consommateurs primaires et secondaires, la présence d'une

contamination mixte (e.g. éléments traces et xénobiotiques organiques), les opérations de maintenance à réaliser à cause des conditions édaphiques, et l'absence d'une filière permettant de valoriser ou d'éliminer la biomasse contaminée ou non.

1.3. La mise en œuvre et la vérification des solutions comprennent la préparation des travaux, le planning, la mise en œuvre et la vérification des travaux, la surveillance à long terme et la maintenance.

S'assurer de l'efficacité d'une stratégie de remédiation comprenant les travaux de plus d'une solution de remédiation exige plus de soins pendant les phases de la conception et de la planification détaillée. Il peut être nécessaire de découper le site en zones et les phases du travail de remédiation de telle manière que différentes solutions de remédiation puissent être mises en application sans interruption, retard ou erreur. Il peut être faisable et rentable de combiner certaines composantes de différentes solutions, tout en laissant d'autres être procédées indépendamment.

L'évaluation de chaque stratégie de remédiation et de gestion comprend de nombreux points, dont deux sont cruciaux, i.e. les échelles de temps pour qu'une ou des solutions deviennent totalement effectives et la longévité prévue de la gestion proposée.

L'étape 3 d'exécution comprend trois phases principales:

1. Préparation du plan d'exécution, tel que la stratégie de remédiation puisse être installée d'une façon efficace et ordonnée ;

Cette phase doit indiquer qui sera responsable et maître d'oeuvre de chaque point de l'exécution de la stratégie de remédiation (et notamment des mesures de vérification, de surveillance, d'entretien, de santé et sécurité et de protection de l'environnement) et quelles compétences sont exigées. Elle mentionne la forme de contrat et les spécifications techniques qui seront employées dans la stratégie de remédiation

Elle inclut les objectifs retenus de remédiation, le contenu des rapports d'évaluation de solutions, les plans d'installation sur le site, les évaluations et résumés des rapports antérieurs, le résumé des relations sources – récepteurs biologiques nécessitant une remédiation et les informations détaillées sur les moyens d'atteindre les objectifs d'assainissement pour chacune d'entre elles, les critères de remédiation par rapport auxquels la conformité aux objectifs de remédiation pour chaque contaminant et relation source-récepteurs peut être mesurée, et les critères globaux de remédiation de site (ceux-ci devraient toujours être protecteurs des eaux sous contrôle) s'ils diffèrent des critères dérivés pour les relations source-récepteurs impliquant un ou des contaminants.

2. Conception, exécution et vérification de la remédiation ;
3. Surveillance et entretien à long terme.

Il s'agit de surveiller les relations source-exposition-récepteurs et les éventuels effets non intentionnels. Le programme d'entretien, en liaison avec la surveillance, doit maintenir l'efficacité de la stratégie et des solutions de remédiation, notamment vis-à-vis des objectifs de remédiation.

Le besoin de surveillance sur le long terme, la durée de mise en œuvre, et les limites du domaine d'application sont parmi les principaux obstacles qui sont cités pour la mise en œuvre des solutions douces de remédiation (stabilisation in situ, phytoremédiation) [3]. Les phases 2 et 3 sont cruciales pour valider comment la remédiation a atteint les objectifs convenus de remédiation.

2. STRATEGIES DE GESTION

Une solution d'assainissement du sol peut ne pas être suffisante pour remédier toutes les relations sources-récepteurs, parce qu'il existe plus d'un contaminant, ou que son efficacité est appropriée à une relation source-récepteurs mais pas aux autres, ou bien qu'il existe des zones sur site avec des contaminations diverses combinant plusieurs contaminants. Les stratégies de gestion pour l'assainissement des sols contaminés peuvent être de 3 types :



Figure 2. – Phytostabilisation aidée du Cu et rhizodégradation des HAPs dans une parcelle de la plate-forme de phytoremédiation BIOGECO.

2.1. L'intégration de processus est l'utilisation combinée de 2 solutions ou plus d'assainissement, pour augmenter l'efficacité du traitement au-delà de celle potentielle de chaque solution si elle était employée comme solution simple et autonome ;

Des combinaisons de solutions mises en œuvres sur certains sites sont [1, 4]:
- la stabilisation *in situ* + la phytostabilisation = phytostabilisation aidée (e.g. Cu : plate-forme de phytoremédiation BIOGECO (FR), As : La Combe du Sault (Difpolmine, FR), Cu/Ni : Copper Cliff (CN), Pb/Zn/Cd : Joplin, MO, Leadville, CO, Palmerton, PA, Bunker Hill, ID aux USA, Arnoldstein (Autriche), Piekary Slaskie (Pologne), As/métaux : El Vicario (Espagne) ;

- la phytostabilisation (ou phytoextraction) aidée + la rhizodégradation (e.g. Cu/HAP: plate-forme de phytoremédiation BIOGECO (FR) (Fig. 2), métaux/xénobiotiques organiques : Homécourt (FR).

2.2. traitement par zones: les zones de traitement visent à améliorer la remédiation *in situ* en segmentant les surfaces ou les volumes contaminés en plus petites unités, mieux définies, pour bien prendre en compte les limites caractéristiques de chaque solution appliquée, la disponibilité et l'accessibilité des contaminants. Un exemple est La Combe du Sault (FR), où le confinement *in situ* a été réalisé selon les zones avec la phytostabilisation aidée ou la technique de 'capping' (recouvrement avec du sol non contaminé) et où l'excavation des sols ont été pratiquée sur d'autres zones (Fig. 3).

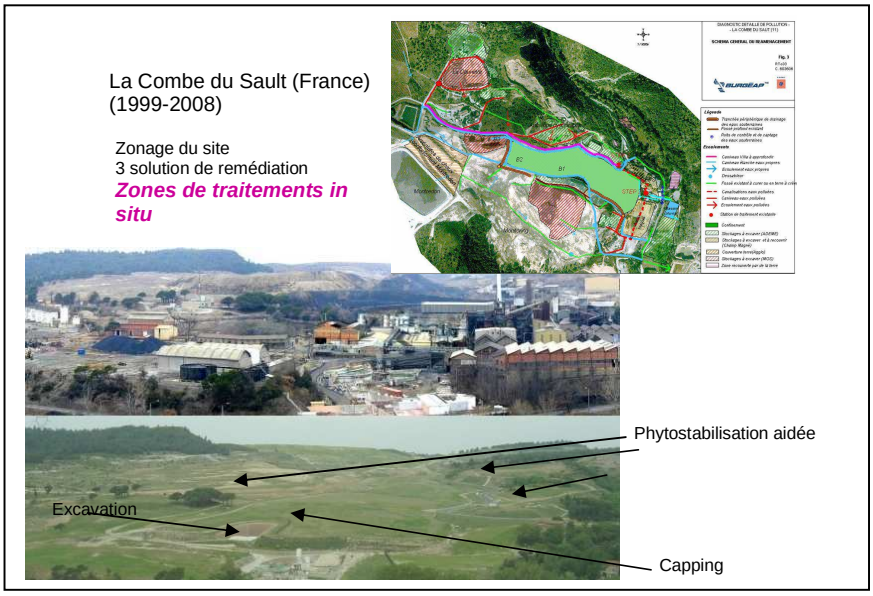


Figure 3. – Zones actives de confinement de l'arsenic par la phytostabilisation aidée ou la solution de capping et zone d'excavation de sols sur le site réhabilité de La Combe du Sault, France.

2.3. Les approches étendues fonctionnent sur une plus longue période avec de faibles besoins d'entretien, coûts et consommation d'énergie.

Des solutions de phytostabilisation aidé ou non, de phytoextraction avec des taillis à courte rotation (TCR) (Fig. 4), de rhizodégradation peuvent être mises en place sans contraintes de temps pour la réaffectation de l'usage du site. Une biomasse valorisable est produite et une fraction du pool labile de contaminants est exportée ou dégradée.

On rappelle le rôle des autorités réglementaires qui « approuvent » la remédiation et son exécution. Elles évaluent les données fournies sur les taux de stabilisation ou de dégradation des contaminants dans les milieux (sol, eaux souterraines ou de surface). Elles fixent les paramètres à minima que les maîtres d'œuvre se doivent de mesurer pendant la remédiation et après lors la surveillance du site (e.g. pH, oxygène dissous, débits, concentrations des pools labiles en polluants, propriétés géochimiques en eaux souterraine) pour démontrer l'efficacité des traitements actifs et/ou de l'atténuation normale. L'accomplissement des objectifs de remédiation sur une période convenue peut être le déclenchement pour cesser des activités de surveillance.

Des travaux sur plusieurs sites, i.e. La Combe du Sault et plate-forme BIOGECO en France, Lommel en Belgique, s'efforcent de mettre en œuvre des stratégies de gestion durable [4, 5].



(a)



(b)

Figure 4. Exemples d'approches étendues (a) Solutions de phytoextraction de métaux (Zn, Cd, et Pb) et métalloïdes (As) avec des taillis de peuplier et de saules à courte rotation (Freiberg, Allemagne), (b) solution de phytostabilisation avec du miscanthus sur des terres contaminées par l'ancienne usine Métaleurop près d'Evin-Malmaison.

3. BESOINS EN RECHERCHES ET DEVELOPPEMENT.

Les besoins identifiés de Recherche- Développement sont [1]:

- des figures comparables présentant les coûts des différentes solutions ; des méthodes permettant d'obtenir ces données sont à développer. A La Combe du Sault, la mise en œuvre des solutions de remédiation ne représente que 24% de tous les coûts engagés par la stratégie de gestion.
- des systèmes de contrôle (QC) et de garantie (QA) de la qualité pour les solutions douces de remédiation (*soit l'ensemble des techniques d'organisation qui concourent à l'obtention d'une qualité dans le cadre du pilotage de la remédiation*) afin de s'assurer de leur efficacité, de leur bonne réalisation et des éventuelles émissions ;
- des retours d'expériences comparables (sites de démonstration) ;
- des approches harmonisées, faisant une large place aux aspects environnementaux pour l'évaluation des technologies durables;
- une intégration des technologies et solutions pour résoudre la variété de problèmes se posant sur site, et notamment les contaminations mixtes (éléments traces et xénobiotiques organiques ;
- une intégration des phases de planification, recherche, remédiation, maintenance et surveillance ;
- des expériences à long terme sur les technologies contrôlant les voies d'exposition; l'enquête SUMATECS en Europe de 2008 montre qu'elles sont connues mais peu appliquées, que les régulateurs sont plus sceptiques que les scientifiques et consultants et qu'il existe une demande pour des pilotes de démonstration convaincants favorisant la dissémination des techniques, des connaissance et retour d'expériences [3] ;
- la modélisation de l'échelle de temps pour accomplir les diverses tâches et de celle pour la surveillance et l'évaluation résiduelle des risques. Actuellement les échelles de temps restent longues, mais dépendent notamment de l'intensité des pools labiles de contaminants dans le sol, de leurs localisations dans le profil et des espèces végétales pouvant être mises en œuvre ;
- un guide de la prise de décisions sur les fonctions à restaurer, atteindre ou maintenir en sol contaminé ;
  - pour quelques pays, la prise de décision basée sur le risque reste à adopter ;
- le développement de technologies encore plus efficaces et économiques ;

L'ensemble de ces connaissances est à intégrer dans des outils de décision pour la sélection des stratégies et des solutions de remédiation [6].

Ce projet a été réalisé grâce au soutien du programme SNOWMAN, qui regroupe des organisations et des administrations nationales. SNOWMAN est un des 70 ERA-Nets (European Research Area – réseaux) financé par le 6ème PCRD. D'autres informations sont disponibles aux adresses suivantes : http://www.snowman-era.net et http://www.rhizo.at/Sumatecs.

4. REMERCIEMENTS

SUMATECS a été financé par l'ADEME (Département Sites et Sols Pollués, France), l'OVAM (Communauté flamande de Belgique), le Naturvardsverket (Suède), le UmweltBundesAmt für Mensch und Umwelt, le Stichting Kennissontwikkeling Kenniseverdracht Bodem (Allemagne) et Lebenministerium.at (Autriche). Les auteurs remercient également le Conseil Régional d'Aquitaine et le propriétaire du site de la plate-forme de phytoremédiation BIOGECO.

5. REFERENCES

[1] Adriaensen K, Bert V, Böhm K, Brignon J-M, Cochet N, Cundy A, Denys S, Friesl-Hanl W, Gombert D, Haag R, Hurst S, Jaunatre R., Jollivet P, Kumpiene J, Magnie M-C, Marschner B, Mench M, Mikhalovsky S, Müller I, Onwubuya K, Puschenreiter M, Raspail F, Renella G, Rouïl L, Ruttens A, Schoefs O, Soularue J.P, Stolz R, Tack K, Teasdale P, Tlustoš P, Vangronsveld J, Vialletelle F, Waite S (2009) Sustainable management of trace element contaminated soils (SUMATECS) – Development of a decision tool system and its evaluation for practical application. Project No. SN-01/20. Final Research Report, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU). 314 p. (http://www.snowman-era.net/downloads/SUMATECS_FINAL_REPORT.pdf).

[2] Bert V, Mench M, Ruttens A, Kumpiene J, Müller I, Cundy A, Friesl-Hanl W, Tlustos P, Renella G, Tack K, Denys S, Cochet N, Vialletelle F, Magnié MC, Brignon JM, Jollivet P, Marschner B, Puschenreiter M, Soularue JP, Raspail F (2009). SUMATECS – SUstainable MAnagement of Trace Element Contaminated Soils: un projet soutenu par le programme européen SNOWMAN-ERANET. 2ème rencontres nationales de la recherche sur les sites & sols pollués, pollutions locales et diffuses, ADEME, 20-21 octobre 2009.

[3] Marschner B, Haag R, Müller I, Bert V, Mench M, Magnié MC, Cundy A, Renella G, Kumpiene J (2008) Current perception of gentle remediation options for contaminated sites: results from a survey in Europe. COST859, meeting WG4, Phytotechnologies in practice: biomass production, agricultural methods, legacy, legal and economic aspects, Verneuil en Halatte, France, October 16-17. p. 97.

[4] Mench M, Schwitzguébel JP, Schröder P, Bert V, Gawronski S, Gupta S (2009) Assessment of successful experiments and limitations of phytotechnologies: contaminant uptake, detoxification and sequestration, and consequences for food safety. Environ Sci Pollut Res (DOI: 10.1007/s11356-009-0241-2).

[5] Mench M, Bert V, Schwitzguébel JP, Gawronski S, Schröder P, Vangronsveld J (2009) Assessment of successful experiments and limitations of phytotechnologies: Outcomes at field scale and outlook from COST Action 859. Journal Soils Sediments (accepté).

[6] Onwubuya K, Cundy A, Puschenreiter M, Kumpiene J, Bone B, Greaves J, Teasdale P, Mench M, Tlustos P, Mikhalovsky S, Waite S, Friesl W, Marschner B, Muller I (2009) Developing decision support tools for the selection of "gentle" remediation approaches. Science Total Environment (STOTEN 11478, doi:10.1016/j.scitotenv.2009.08.017).