

CARACTÉRISATION DE LA MOBILISATION POTENTIELLE DES POLLUANTS INORGANIQUES DANS LES SOLS POLLUÉS : APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Claire Blanchard, Pierre Moszkowicz, Florence Sanchez

Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels (Laepsi), Insa de Lyon

Ce travail vise à caractériser la mobilisation potentielle des polluants inorganiques contenus dans les sols pollués. Une revue exhaustive des tests de lixiviation existants a permis l'élaboration de fiches techniques, présentées sous forme de guide critique et discutées dans le cadre d'une commission Afnor. Après une étude préliminaire des interactions sol-métaux sur sol naturel, des tests sélectionnés (extractions séquentielles, extractions simples, colonne de perco-lixiviation et Compact Granular Leach Test) ont été expérimentés sur un sol artificiellement pollué (As, Cr, Zn) « frais », puis vieilli, et un sol industriel contenant des métaux (As, Cr, Pb, Zn). La comparaison des résultats obtenus a permis de proposer une méthodologie de caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques contenus dans les sols pollués, nécessaire pour une évaluation approfondie des risques environnementaux.

The specific objective of this study was to characterize the mobility of metals from contaminated soils through laboratory testing. A complete review of leaching/extraction tests was carried out in collaboration with the French normalisation committee (Afnor). The selected leaching tests (sequential extractions, single extractions, column test and Compact Granular Leach Test) were performed on an artificially contaminated soil (fresh and aged) and an industrial soil containing As, Cr, Pb, Zn. The obtained results allowed to set up a methodology for assessing metal potential mobilisation from contaminated soils.

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le recensement des sites pollués au début des années 1990 a fait apparaître en France l'importance du risque environnemental lié aux transferts potentiels des polluants dans les sols. Le BRGM et le ministère de l'Environnement ont proposé une méthodologie d'évaluation de ce risque environnemental, en soulignant la nécessité d'une évaluation plus approfondie pour les sites à plus haut risque. L'établissement d'un diagnostic requiert l'utilisation de tests de laboratoires

pouvant être mis en œuvre dans un contexte industriel, ce qui implique des contraintes de temps, de coût et de facilité de mise en œuvre. Cependant, la multiplicité des procédures de lixiviation/extraction rend difficile l'établissement de comparaisons et de diagnostics. En particulier, la compréhension des phénomènes mis en jeu dans les processus de rétention et de mobilisation des polluants doit sous-tendre toute méthodologie de caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un programme de recherche contractuel liant l'association Record et le Laepsi (Insa Lyon), en collaboration avec l'Afnor. Dans le cadre de cette étude, les polluants suivis ont été choisis en fonction de leur fréquence d'apparition dans les sites pollués français, soit par ordre décroissant: le plomb, le zinc, le chrome, l'arsenic.

DÉMARCHE SUIVIE

Dans un premier temps, un état de l'art critique sur les tests de laboratoire pratiqués de manière courante a été établi en collaboration avec le groupe « Tests de lixiviation » de la Commission de normalisation Afnor X31E. Cette revue bibliographique, sous forme de fiches, a pour objectif de présélectionner quelques tests destinés à être mis à l'épreuve de manière expérimentale et constitue un guide critique pour le décideur. L'application des tests de lixiviation déjà largement développés pour le cas des déchets solides à celui des sols pollués nécessite la connaissance des principaux phénomènes qui gouvernent spécifiquement les transferts des métaux dans les sols. Aussi, afin de mettre en évidence ces phénomènes et leur importance dans le processus de mobilisation du polluant, nous avons mené des essais préliminaires destinés à mettre en évidence les mécanismes de fixation et de mobilisation des polluants inorganiques dans les sols, dans diverses conditions: isothermes et cinétiques d'adsorption/désorption, rôle des constituants du sol dans la rétention des polluants.

Dans un second temps, nous avons « testé » les tests sélectionnés à l'issue de l'étude bibliographique. Les essais ont d'abord été menés sur le sol naturel pollué artificiellement

avec trois éléments: As, Cr, Zn, puis sur ce même sol après un « vieillissement » de quatre mois. Enfin les tests retenus ont été appliqués à un sol réel pollué par des éléments inorganiques (As, Cr, Pb, Zn).

Revue bibliographique des tests de lixiviation/extraction

L'évaluation de critères de mobilité passe par la mise en œuvre de tests de laboratoires. L'association de plusieurs tests sélectionnés judicieusement permet d'identifier les facteurs jouant un rôle prépondérant dans le transfert des polluants dans les sols.

La réflexion sur la mise en place d'une normalisation sur les tests de lixiviation des sols a conduit à la création de deux groupes de travail au sein de la commission de normalisation Afnor X31E:

- « scénario » chargé de lister les quelques scénarios principaux,
- revue critique des « tests existants » (limites, domaines d'application...).

Le sous-groupe « liste de tests » de l'Afnor a établi, en fonction des besoins évoqués par le sous-groupe « scénario », cinq types de tests prioritaires en vue de la normalisation:

- les tests d'adsorption-désorption (isothermes d'équilibre),
- les tests d'extractions séquentielles,
- les tests de lixiviation en réacteur agité fermé (études cinétiques),
- les tests en colonne (percolation en milieu saturé et non saturé),
- les tests de biodégradation.

La revue bibliographique exhaustive des méthodes et tests de laboratoire a permis de réaliser un état de l'art critique sur les méthodes d'évaluation de la mobilité potentielle de polluants inorganiques contenus dans un sol. Des fiches techniques ont ainsi été rédigées en collaboration avec le groupe de normalisation Afnor. Chaque fiche recense des critères d'évaluation tels que le domaine d'application, le protocole opératoire ou l'état de validation du test, mais aussi des critères plus subjectifs comme les limites d'applicabilité, les avantages ou les améliorations envisageables. Le document obtenu constitue un premier outil d'aide à la décision sous forme d'un guide critique des tests disponibles. La liste complète des tests répertoriés et des fiches bibliographiques est disponible en annexe de la thèse de Claire Blanchard (Insa de Lyon, 2000).

Sélection des tests et programme expérimental

L'objectif de l'étude n'est pas de simuler les conditions naturelles, mais de favoriser la compréhension des phénomènes et de caractériser la mobilité des polluants. À l'issue du recensement des tests de lixiviation existants, une sélection de tests a été effectuée selon des critères de facilité de mise en œuvre, de coût et de temps requis. Les tests retenus pour la mise à l'épreuve expérimentale sont: un protocole d'extractions, trois types d'extractions simples (à

l'eau déminéralisée, avec une solution de CaCl_2 0,01 M et une solution de EDTA 0.05 M tamponnée à pH 7), un test de percoliviation en colonne noyée et un test effectué sur sol consolidé: le Compact Granular Leach Test (NVN 7347, 1996).

Ces tests ont été mis en œuvre dans un premier temps sur un sol pollué artificiellement par ajout d'arsenic, chrome et zinc. Ce même sol artificiellement pollué a été soumis à vieillissement, puis les tests de nouveau appliqués. Dans un dernier temps, les tests sélectionnés ont été appliqués à un sol réel pollué.

Justification des choix de tests expérimentaux

Un test d'extractions séquentielles (protocole du Bureau communautaire des références: Quevauviller *et al.*, 1997; Ure *et al.*, 1993) est mis en œuvre pour déterminer les fractions de la pollution fixées selon différents mécanismes supposés et de l'intensité de cette rétention: fraction échangeable et liée aux carbonates (acide acétique), fraction liée aux (hydr)oxydes métalliques (hydrochlorure d'hydroxylamine) et fraction liée à la matière organique (eau oxygénée + acétate d'ammonium). Dans le cadre de notre étude, les extractions séquentielles apparaissent ainsi comme un outil de discrimination globale des interactions sol-polluants, ce qui permettra par la suite d'éclairer les résultats des autres tests, plus quantitatifs.

Afin de permettre une quantification de la mobilité, des tests d'extractions simples sont appliqués au sol artificiellement pollué. L'objectif visé est l'obtention d'une échelle de mobilité des polluants en relation avec le contenu total (déterminé par une méthode destructive: fusion alcaline + digestion micro-ondes), c'est-à-dire la détermination des fractions soluble, mobile et mobilisable (Gupta, 1996). Les extractants choisis sont l'eau déminéralisée et des solutions de chlorure de calcium et d'EDTA. La solution de chlorure de calcium a été choisie avec l'objectif de représenter au mieux les conditions dictées par la solution du sol en terme de force ionique. L'EDTA est choisie pour ses propriétés complexantes. Les résultats des extractions simples sur le sol frais et sur le sol vieilli fournissent une estimation quantitative de la mobilité des polluants dans le sol, sans faire intervenir le facteur temps et sont commentés en des données qualitatives fournies par le test d'extractions séquentielles. Le rapport liquide-solide adopté pour les expériences en batch est égal à 10 ml/g pour une granulométrie de 2 mm, pour assurer une dispersion correcte des particules dans la solution.

L'objectif de cette étude étant de sélectionner et de mettre à l'épreuve des tests simples à utiliser et susceptibles de caractériser la mobilité des polluants dans les sols, nous avons choisi deux types de tests de comportement dynamique:

- un test classique de perco-lixiviation en colonne noyée. Ce type de test fait partie des tests fréquemment utilisés afin d'approcher expérimentalement au laboratoire les conditions de terrain;

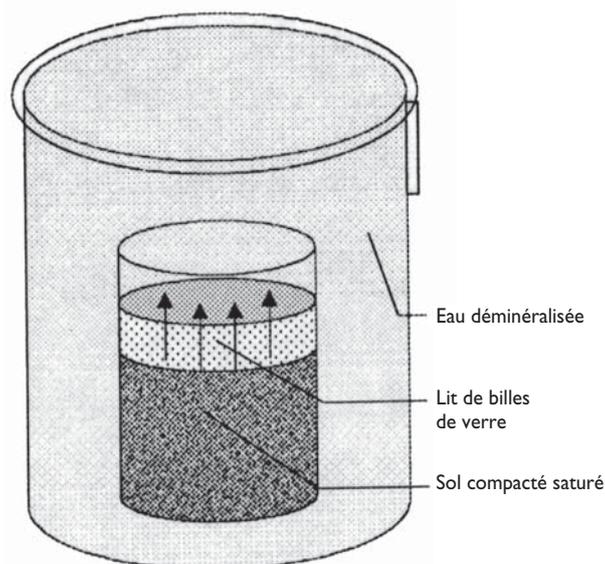


Figure 1 : Compact Granular Leach Test: principe

– le « Compact Granular Leach Test » (NVN 7347, 1996; figure 1), qui permet d'appréhender la mobilisation des polluants en absence de convection. La conception du test évite la dispersion des colloïdes et la déstructuration du sol soumis à la lixiviation. La solution de lixiviation est renouvelée séquentiellement ce qui permet de déterminer la cinétique du relargage des polluants.

PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Sols étudiés

Le *sol naturel* étudié est un sol brun lessivé argilo-limoneux, d'origine fluvioglaciale, représentatif d'une grande partie des sols européens, et utilisé pour une culture céréalière intensive. Il contient 18 % d'argiles, 2,5 % de matière organique, 1,5 % de carbone organique et 0,2 % de carbonate de calcium.

Le sol artificiellement pollué est préparé à partir du sol naturel précédent selon le protocole suivant. Le rapport L/S est de 5 ml/g. Dans un flacon en verre à bouchon, 400 g de sol sont mis en contact avec 2 l de solution métallique à 0,5 g/l en chaque polluant. Les flacons sont agités sur une table d'agitation horizontale pendant 48 h. La solution est laissée décanter pendant une demi-heure. La suspension est filtrée sur un support muni d'un papier filtre et monté sur une unité de filtration sous vide. Le gâteau de filtration est décollé du filtre.

L'ensemble des gâteaux de filtration est malaxé et un aliquote est prélevé pour déterminer l'humidité de la pâte obtenue. Le contenu total en métaux est calculé grâce au bilan matière et vérifié par détermination expérimentale du contenu total. Le sol artificiellement pollué est conservé à 4 °C à l'obscurité dans un récipient hermétique pour éviter des modifications structurales (séchage, activité biologique) durant

le temps nécessaire à la mise en œuvre de tous les tests sur sol frais.

Le sol artificiellement pollué vieilli est obtenu grâce à la démarche suivante. Une fraction du sol artificiellement pollué est placée dans un récipient hermétique à l'intérieur d'une enceinte thermostatée (28 °C) à hygrométrie contrôlée (atmosphère saturée) pendant quatre mois et demi. Les conditions choisies ont pour objectif d'affranchir notre étude de l'effet du séchage et des variations de température. Ce protocole ne prétend pas reproduire les conditions naturelles de vieillissement, contrairement aux protocoles mettant en œuvre des cycles humidification/séchage et gel/dégel. L'objectif visé est l'appréhension de la migration des polluants dans la microporosité avec le temps.

Le sol réel pollué est un sol industriel fortement pollué par des espèces métalliques. Les principales caractéristiques des sols étudiés sont rapportées ci-après (tableau 1).

Tableau 1

	Humidité	pH	Contenus totaux (mg/kg sol sec)				
			As	Cr	Na	Pb	Zn
Sol frais	23 %	6.5	1190	235	6840	-	1570
Sol vieilli	18 %	6.9	1190	235	6840	-	1570
Sol réel	10 %	3.3	1560	38	2210	10500	3700

Méthodologie expérimentale

Les étapes de la méthodologie expérimentale sont schématisées dans la figure 8 en fin de texte.

RÉSULTATS

Études préliminaires sur sol naturel

Les études préliminaires réalisées sur sol naturel : cinétiques d'adsorption - désorption du chrome et du zinc, isothermes d'adsorption - désorption de l'arsenic, du chrome, du plomb et du zinc, spéciation des éléments dans le sol et rôle des constituants du sol ont permis d'appréhender la complexité des interactions entre le sol et les espèces métalliques :

– le contexte chimique est prépondérant dans l'étude des interactions sol/métaux. Les mécanismes de fixation, donc l'intensité de la rétention, dépendent du contexte chimique, ce qui se traduit dans la forme des graphes obtenus pour les isothermes ;

– la notion d'état d'équilibre recouvre parfois des réalités différentes pour l'adsorption et la désorption (cinétique, contexte chimique), ce qui entraîne une irréversibilité réelle ou apparente de la fixation. La modélisation des isothermes nous a permis de déterminer le cas échéant la teneur à saturation du sol (Langmuir) et de traduire l'intensité de la rétention (Freundlich). Le coefficient de partage KL ou Kf constitue un indicateur des interactions des éléments avec le sol ;

– les constituants du sol jouent un rôle différent dans les mécanismes de rétention. L'étendue et l'intensité de l'adsorption simultanée de plusieurs métaux dépendent de leur affinité respective pour le sol en général et pour les consti-

tuants particuliers du sol (argiles, oxydes métalliques, matière organique). L'intensité de la rétention est fonction de la liaison créée. Les liaisons avec les oxydes métalliques ou avec la matière organique mettent en œuvre des énergies plus élevées qui favorisent la rétention, tandis que l'adsorption échangeable est facilement réversible.

Sol artificiellement pollué frais

Arsenic : au cours du test de perco-lixiviation (colonne) comme lors du Compact Granular Leach Test, la cinétique de relargage de l'arsenic semble beaucoup plus lente que celle du sodium et du chrome (figures 2 et 3). D'après les résultats des extractions séquentielles, l'arsenic est principalement retenu sur les oxydes et hydroxydes métalliques. D'après Yong *et al.* (1992), les oxydes de fer et d'aluminium sont responsables de l'adsorption spécifique des anions, par une réaction d'échange de ligand et l'énergie de la liaison ainsi créée est très importante. Cette hypothèse semble confirmée par l'extraction à l'EDTA, qui permet la solubilisation de 53 % de l'arsenic initial. La différence entre les deux extractions « ménagées » (47 % extraits par l'eau déminéralisée et 13 % extraits par le CaCl₂) peut s'expliquer par la fixation de l'arsenic sur les colloïdes, stabilisés par la solution de chlorure de calcium, mais également par le temps de contact plus long de l'extraction à l'eau (24 h). L'arsenic peut également être présent sous forme de précipité d'arséniate de sodium et d'arséniate de zinc. L'arséniate de zinc est insoluble tandis que l'arséniate de sodium devient mobile lorsque le pH devient neutre. Dans le CGLT comme dans le test en colonne, le pH tend vers la neutralité avec le temps, ce qui pourrait expliquer le relargage accru de l'arsenic après des temps de contact importants.

Chrome : un premier relargage provenant de la solution interstitielle a lieu dès les premiers instants de la percolation et dès le premier prélèvement du lit granulaire compacté (visible grâce à la coloration jaune-orangé de l'ion dichromate en solution). Les extractions « ménagées » et l'extraction à l'EDTA solubilisent toutes environ 30 % du chrome total dans

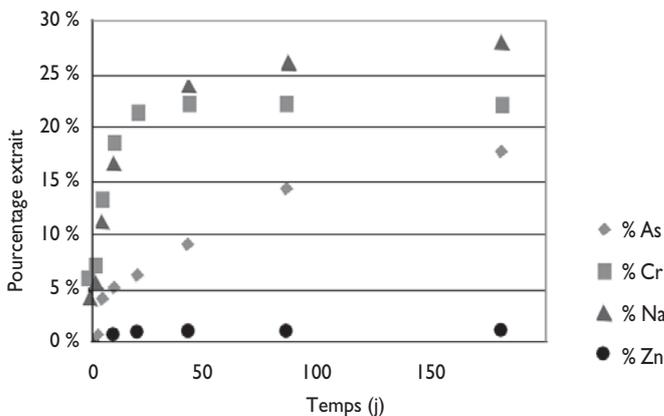


Figure 2: Pourcentages de polluants extraits (CGLT sol frais)

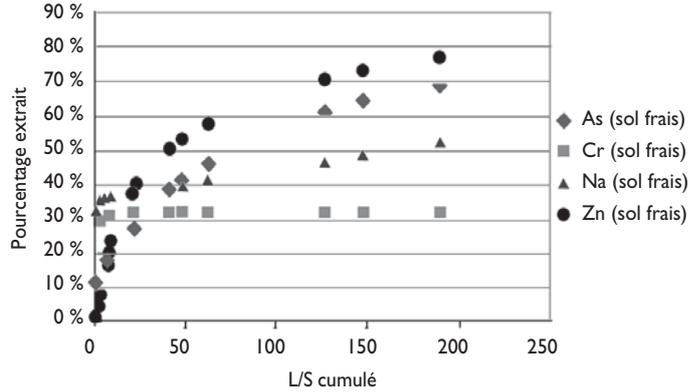


Figure 3: Pourcentages de polluants extraits (colonne sol frais)

le sol frais. Le chrome lixiviable semble donc provenir majoritairement de la solution interstitielle dans le sol frais, la fraction restante semble fortement fixée par le sol réel étudié. Zinc: les quantités de zinc extraites en batch sont faibles, 1 % dans le cas du lit granulaire compacté. Les extractions « ménagées » en batch (CaCl₂ 0,01 m: 20 % et eau déminéralisée: 6 %) montrent elles aussi une forte rétention du zinc. Les extractions sélectives successives et parallèles présentent une part importante de zinc dans la fraction échangeable et liée aux carbonates: la lixiviation en colonne met en jeu un échange cationique qui permet un relargage accru, contrairement au CGLT où la solution de lixiviation est constituée d'eau déminéralisée. La fraction extraite par l'hydrochlorure d'hydroxylamine est également importante.

	As	Cr	Na	Zn
Contenu total (mg/kg sol sec)	1190	235	6840	1570
Fraction mobilisable EDTA (mg/kg sol sec)	629	72	2178	1450
Somme des extractions séquentielles (mg/kg sol sec)	1230	180	2936	1745
Fraction mobile CaCl ₂ (mg/kg sol sec)	154	71	2226	342
Fraction soluble (mg/kg sol sec)	565	75	2140	100
Colonne (mg/kg sol sec)	814	73	3550	1201
U _{max} expérimental CGLT (mg/kg sol sec)	181	52	1907	18

D'après Yong *et al.* (1992), les oxydes de fer et d'aluminium des sols sont responsables de la précipitation ou de la co-précipitation sous formes d'hydroxydes des cations. Cette liaison conduit à une forte rétention.

Sol artificiellement pollué vieilli

L'augmentation de l'intensité de la rétention avec le temps est conjointe avec une évolution de la spéciation, ce qui diminue la mobilité des polluants considérés. Des cinétiques plus lentes peuvent se mettre en place, qui permettent l'incorporation de certains éléments dans la maille cristalline (arsenic, chrome) ou des phénomènes de co-précipitation (zinc). Les réactions d'oxy-

Tableau 3 : Comparaison des différents sur le sol artificiellement pollué vieilli

	As	Cr	Na	Zn
Contenu total (mg/kg sol sec)	1190	235	6840	1570
Fraction mobilisable EDTA (mg/kg sol sec)	528	3	1598	1170
Somme des extractions séquentielles (mg/kg sol sec)	912	212	2229	1472
Fraction mobile CaCl ₂ (mg/kg sol sec)	61	0.37	2225	162
Fraction soluble (mg/kg sol sec)	266	2.11	1665	45
Colonne (mg/kg sol sec)	320	0,18	2700	530
U _{max} expérimental CGLT (mg/kg sol sec)	105	0.93	1590	13

fréquente dans les sols. La liaison du chrome avec la matière organique se fait essentiellement avec les acides humiques ou fulviques du sol qui stabilisent en outre la forme cationique réduite par chélation. Par exemple, l'oxyanion Cr₂O₇²⁻ est réduit par l'acide humique en cation à propriétés de chélation Cr³⁺. Ces propriétés de chélation déplacent l'équilibre suivant vers la droite en présence de matière humique (Manahan, 1989) :



McBride (1989) décrit la désorption des métaux depuis la matière organique comme un processus de déplacement de ligands par l'eau. Les vitesses de formation des complexes ligand – métal sont réputées fortement corrélées avec les vitesses auxquelles les molécules d'eau de sphère interne sont échangées sur les hydrates métalliques. Cr(H₂O)₆³⁺ est un exemple de complexe aqueux avec des vitesses d'échanges d'eau et surtout d'échange de ligands extrêmement lentes. L'ampleur inhabituelle de l'énergie de stabilisation de Cr³⁺ crée une barrière énergétique à l'échange de ligand, car le processus d'échange implique la déformation d'un complexe coordonné six fois. L'intensité de la liaison créée explique ainsi les concentrations inférieures au seuil de détection observées dans les lixiviats.

Sol réel

Arsenic: les extractions séquentielles montrent une fixation prépondérante de l'arsenic sur les oxydes métalliques du sol, d'où la forte rétention observée.

La somme des fractions extraites lors des extractions séquentielles est équivalente à la fraction extraite par l'EDTA (environ 11 %). La partie mobilisable de la pollution du sol par l'arsenic est donc relativement faible, mais très supérieure à la fraction facilement mobile (0,16 %). Le risque de mobilisation (faible) s'inscrit dans une perspective

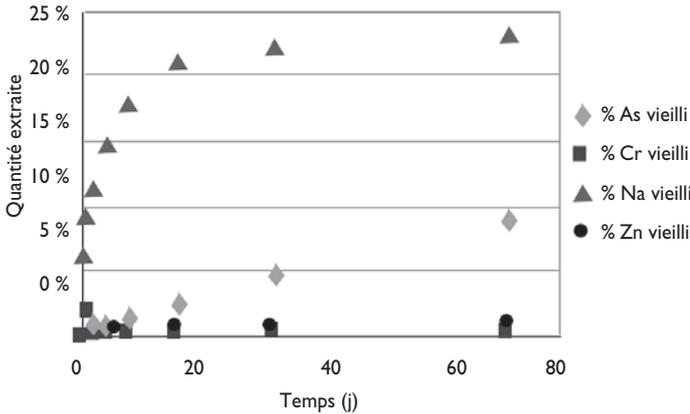


Figure 4: Pourcentages de polluants extraits (CGLT sol vieilli)

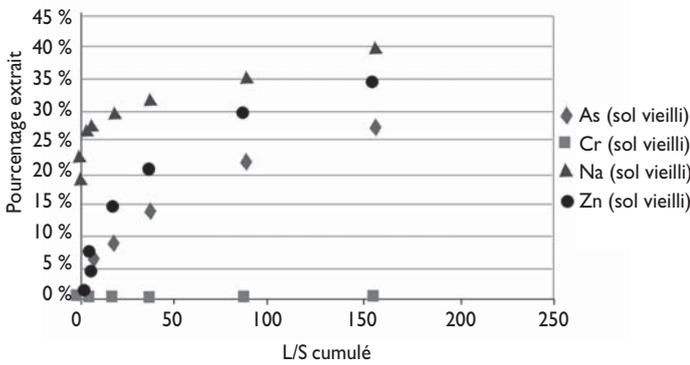


Figure 5: Pourcentages de polluants extraits (colonne sol vieilli)

do-réduction conditionnées par des mécanismes biologiques contribuent à la modification du contexte chimique, mais également à la modification des surfaces adsorbantes.

Le comportement du chrome (immobilisation totale) est à remarquer. Dans le sol vieilli, les teneurs extraites sont négligeables (figures 4 et 5). L'hypothèse la plus probable d'après les résultats des extractions séquentielles est la complexation du chrome sur la matière organique. Le chrome Cr(VI) initial peut être réduit immédiatement après adsorption en Cr(III) immobilisé à la surface du sol. La réduction des composés de Cr⁶⁺ est

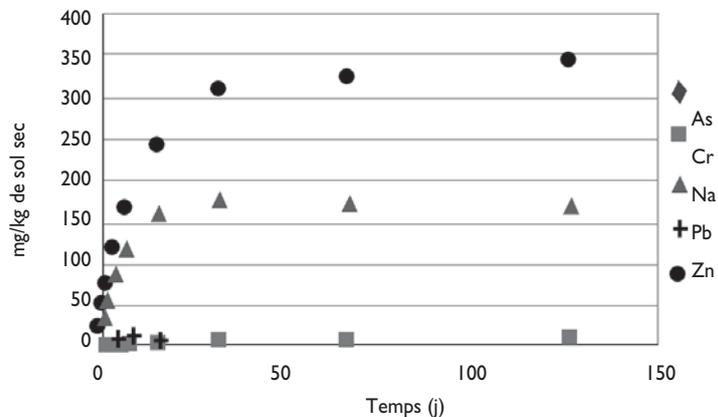


Figure 6: Relargage cumulé en mg/kg sol sec (CGLT sol réel pollué)

de durée importante ou de conditions de lixiviation agressives.

Chrome: la rétention du chrome se fait majoritairement sur la matière organique. Cependant la majorité du chrome semble retenu de manière irréversible: la différence entre le contenu total et la quantité extraite par les trois étapes montre une fraction résiduelle de l'ordre de 75 %. En outre l'EDTA extrait seulement 17 % du chrome total. Le chrome semble donc exhiber une faible mobilité à court et à long terme. La mobilisation du chrome nécessite donc des conditions de lixiviation beaucoup plus agressives.

Plomb: le support principal de la rétention du plomb semble être les (hydr)oxydes métalliques. L'extraction (plus de 57 %) de la pollution par l'EDTA corrobore cette hypothèse de chimisorption. D'autre part, les niveaux d'énergie mis en jeu dans ce mécanisme étant élevés, la complexation des cations métalliques par les (hydr)oxydes métalliques conduit à une fixation stable, d'où la faible mobilité du plomb en conditions non agressives.

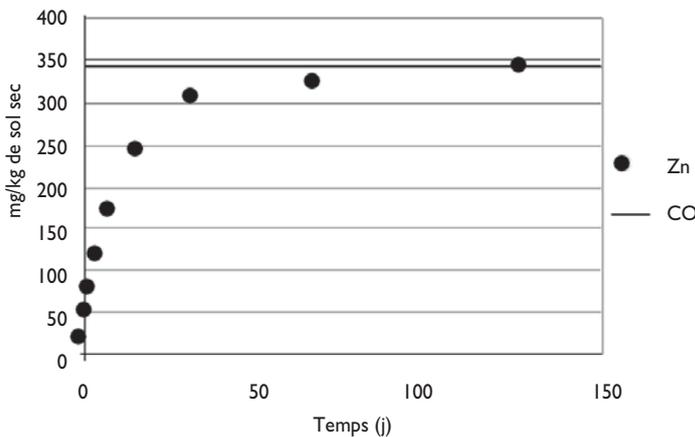


Figure 7: Relargage cumulé du zinc en mg/kg de sol sec (CGLT sur sol réel)

Zinc: la fixation du zinc semble se faire majoritairement par échange cationique ou par fixation sur les carbonates. La fraction liée à la matière organique représente environ 10 %. La fraction résiduelle est de l'ordre de 80 %.

Dans le cas où la limitation du relargage dans le Compact Granular Leach Test intervient par épuisement du soluté au sein du matériau et non par atteinte de l'équilibre thermodynamique, il est possible de déterminer une quantité maximale lixiviable et un coefficient de diffusion observé qui prend en compte les interactions physico-chimiques.

Le retard physique dû à la matrice ou tortuosité est calculé à partir des coefficients de diffusion dans l'eau et effectif du sodium, en considérant que les interactions du sodium avec le sol sont minimales:

$$T = D_{\text{eauNa}}/D_{\text{eNa}}$$

Le retard chimique est fonction de la tortuosité, des coefficients de diffusion dans l'eau et observé de l'élément considéré:

$$R = D_{\text{eau}}/(D_{\text{obs}} \cdot T)$$

Pour le zinc (figure 7), le potentiel relargable est corrélé au résultat de l'extraction à l'EDTA (343 mg/kg sol sec). Le coefficient de diffusion observé permet de quantifier un retard chimique par rapport à une espèce de référence (sodium). Ce retard est de 1.2, ce qui traduit la faible interaction (échange ionique) du zinc avec le sol considéré.

CONCLUSION: MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE

Une interprétation précise des phénomènes mis en évidence dans les tests de lixiviation - extraction paraît indispensable pour traiter les cas particuliers: l'influence du contexte chimique (pH, Eh) sur la mobilité d'un élément donné dans un sol donné (atteinte de l'équilibre thermodynamique, limite de solubilité) semble en effet prépondérante.

D'autre part, l'importance du temps de contact choisi pour les tests d'extraction en batch est révélée par l'existence d'effets cinétiques importants pour certains éléments comme l'arsenic. Nous avons choisi de préconiser un temps de contact de 24 heures pour toutes les extractions sur des échantillons de granulométrie égale à 2 mm, ce qui représente un compromis entre une durée de test courte et une mise en équilibre complète.

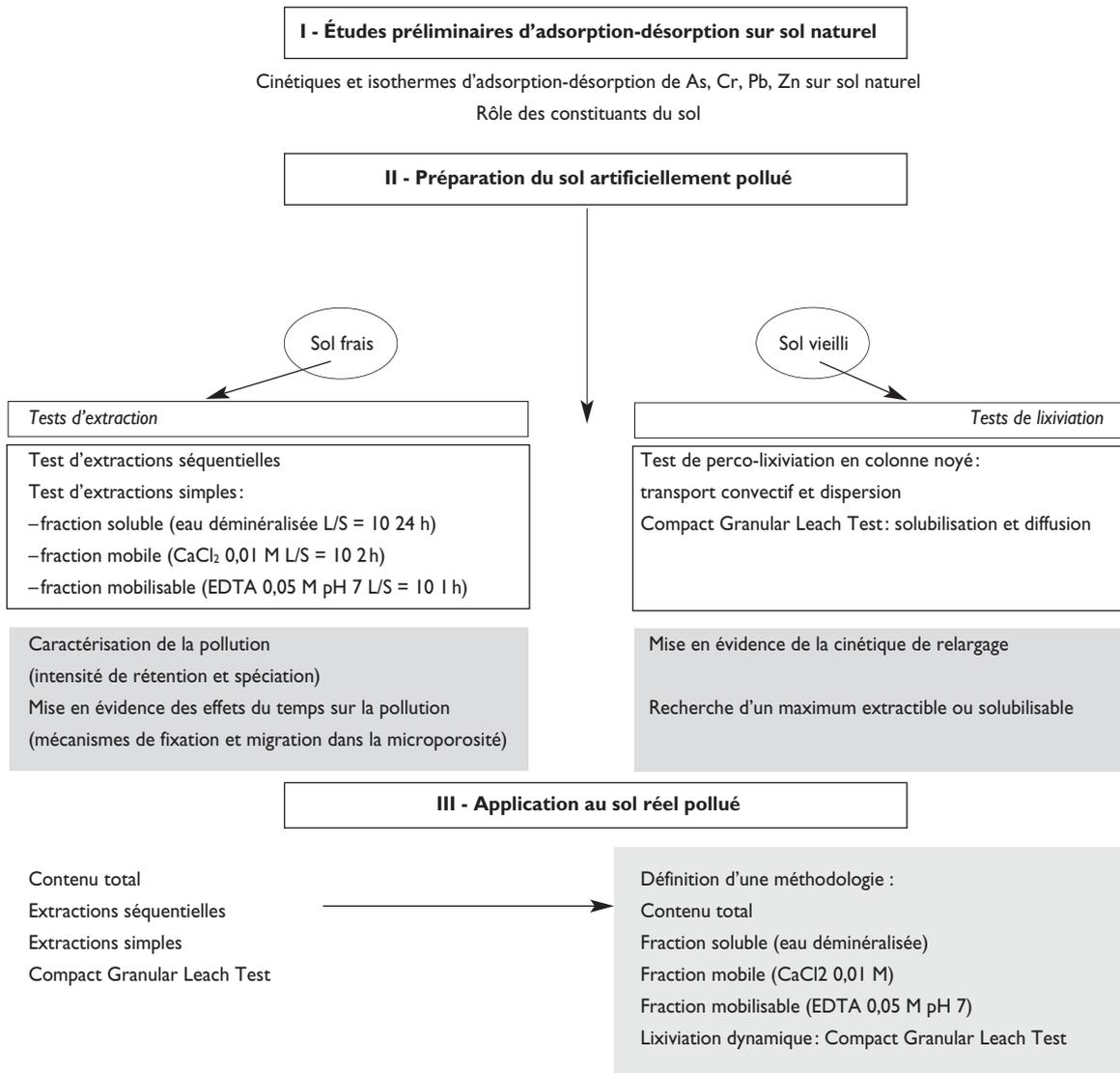
Il semble également important de mettre en œuvre des tests modifiant le moins possible la structure du sol, ce qui rend le Compact Granular Leach Test préférable au test en colonne. Le remplissage de la colonne nécessite en effet des pré-traitements (séchage) susceptibles d'affecter les propriétés du sol. En revanche, l'utilisation du Compact Granular Leach Test rend possible la mise en place du sol brut, compacté et saturé. D'autre part, la définition de l'état initial est plus aisée pour le CGLT qu'en colonne.

À l'issue de notre recherche, la méthodologie proposée pour la caractérisation de la mobilisation

potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués comporte donc:

- une détermination du contenu total;
- une étude du contexte chimique: test de capacité de neutralisation acido-basique (projet de norme CEN/TC 292/WG6/NI48, 1996);
- une série d'extractions simples de 24 heures: dans un contexte chimique et un scénario d'exposition définis, les extractions simples déterminent une échelle de mobilité pour les différents polluants présents dans un sol. Le choix du chlorure de calcium 0,01 M comme extractant ménagé permet de quantifier une fraction mobile. L'EDTA 0,05 M semble permettre l'appréhension de la fraction mobilisable ou potentiellement relargable;
- la mise en œuvre du Compact Granular Leach Test dans des conditions optimisées permettant la mise en place d'une dynamique de relargage. Le cas échéant, l'identification d'un comportement diffusionnel observé en référence au com-

Figure 8 : Tableau synoptique, méthodologie expérimentale



portement d'un « traceur » permet la quantification des interactions sol/métal.

La démarche progressive adoptée dans cette étude a permis de mettre en évidence des paramètres fondamentaux qui contrôlent la mobilisation des polluants inorganiques dans les sols. Les résultats se présentent sous la forme d'un guide critique des tests de lixiviation existants et d'une pro-

position de méthodologie expérimentale. Dans un scénario défini, pour un polluant inorganique donné dans un sol particulier, la « boîte à outils » ainsi constituée peut être utilisée par le décideur comme une aide au diagnostic environnemental.

La démarche progressive adoptée dans cette étude a permis de mettre en évidence des paramètres fondamentaux

DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES

SAP - 7, chemin de Gordes - 38100 Grenoble - Tél. : 04 76 43 28 64 - Fax : 04 76 56 94 09 - Mél : E.et.T@wanadoo.fr

Service abonnement : Joséphine Sambito/SAP (téléphoner du lundi au vendredi de 9 H à 12 H et de 13 H à 15H30).

N° de commission paritaire : 76929 - N° ISSN : 0753-3454. Dépôt légal : 909 décembre 2000 - Imprimerie Louis Jean/Gap - Photocomposition SAP

Principaux associés : Groupe Miller Freeman.

qui contrôlent la mobilisation des polluants inorganiques dans les sols. Les résultats se présentent sous la forme d'un guide critique des tests de lixiviation existants et d'une proposition de méthodologie expérimentale. Dans un scénario défini, pour un polluant inorganique donné dans un sol particulier, la « boîte à outils » ainsi constituée peut être utilisée par le décideur comme une aide au diagnostic environnemental. La fiabilité de la méthodologie proposée pourra être améliorée par des études plus approfondies sur l'influence de différents facteurs pouvant avoir à terme une influence sur la mobilité des polluants (en particulier celle des microorganismes). Sa validation sera renforcée par les retours d'expériences obtenus pour divers cas de sols pollués et par la définition précise des limites de son domaine d'application (polluants organiques, types de sols...).

Claire Blanchard, Pierre Moszkowicz, Florence Sanchez
Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels
- Insa de Lyon - 20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex

Bibliographie

- Blanchard, C. *Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués*. Thèse. Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2000, 301 p.
- CEN/TC 292/WG6/N148. *Projet de norme: Caractérisation de déchets - Influence du pH en conditions stationnaires - Méthode automatique*. 1999.
- CEN/TC 292/WG6/N148. *Projet de norme: Caractérisation de déchets - Influence du pH en conditions stationnaires - Méthode manuelle*. 1999.
- Gupta, S.K., Vollmer, M.K., Krebs, R. *The importance of mobile, mobilisable and pseudo-total heavy metal fractions in soil for three-level risk assessment and risk management*. The Science of the Total Environment, 1996, 178: 11-20.
- Manahan, E. *Aquatic Humic Substances: influence on fate and treatment of pollutants*. Washington DC: American Chemical Society, 1989, 864 p.
- Mc Bride, M.B. *reactions controlling Heavy Metal Solubility in Soils*. In: *Advances in Soil Science*, volume 10. New York: Springer-Verlag, 1989, pp. 1-56.
- NVN 7347. « Compact Granular Leach Test » *Determination of the maximum leachable quantity and the emission of inorganic contaminants from granular construction materials and waste materials - The compacted granular leach test*. Concept Dutch pre-standard. 1996.
- Quevauviller, Ph., Rauret, G., Lopez-Sanchez, J.F., Rubio, R., Ure, A., Muntau, H. *Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three step sequential extraction procedure*. The Science of the Total Environment, 1997, 205: 223-234.
- Ure, A.M., Quevauviller, Ph., Muntau, H., griepink, B. *Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction technique*. Intern. Journal. Environ. Anal. Chem., 1993, 51: 135-151.
- Yong, R.N.; Mohamed, A.M.O.; Warkentin, B.P. *Principles of contaminant transport in soils*. Developments in Geotechnical Engineering, 73, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992, 327 p.

Stabilisation des Déchets et Environnement 99

Waste Stabilisation and Environment 99

Actes du congrès des 13-16 avril 1999 - Lyon-Villeurbanne, France

Thème I Déchets stabilisés : rétention et émission des polluants

Thème II Transfert et évolution dans l'environnement des polluants issus des déchets stabilisés

Thème III Impact potentiel des déchets stabilisés sur la santé et l'environnement

Thème IV Approches intégrées - Application à l'alternative entre stockage et utilisation

Conférences invitées et sessions parallèles

Atelier I Gestion des résidus d'incinération des ordures ménagères

Atelier II Valorisation des résidus de process thermiques (cendres volantes de charbon...)

Atelier III Étude des matrices cimentières

Atelier IV Réglementation, normalisation, outils d'évaluation

Format 14,5*21 - 1999 - 504 pages : 580 F TTC franco

Posters du congrès

Format 14,5*21 - 1999 - 264 pages : 270 F TTC franco

ctes + posters : 800 F TTC franco

Règlement à la commande

Société Alpine de Publications (SAP)
7, chemin de Gordes - 38100 Grenoble - Tél. : 04 76 43 28 64
- Fax : 04 76 56 94 09 - sap@pro-environnement.com

**800 F
LES 2 TOMES**

BON DE COMMANDE

Oui, je désire commander les actes du congrès (580 F TTC)
 les posters (270 F TTC) , les deux ouvrages (800 F TTC)
 en ... exemplaire(s) par chèque à l'ordre de la SAP
 par virement bancaire
 (CCP n° 1346.95.R Grenoble)
 Je recevrai une facture
 en ... exemplaire(s).