

Comment réduire les écarts entre les quantités de terres à traiter estimées en phase diagnostic et celles réellement dépolluées en phase chantier ? Telle est la difficulté à laquelle les professionnels sont confrontés dans de nombreuses opérations de dépollution. Une étude financée par l'association Record a permis de mener un retour d'expérience sur 23 cas de dépollution de sites industriels, pour analyser les éléments contribuant aux écarts et suggérer des voies d'amélioration.

// ÉCONOMIE CIRCULAIRE

FIABILITÉ DES ESTIMATIONS DES QUANTITÉS DE TERRES À DÉPOLLUER

Les estimations des quantités de terres polluées qui devront être excavées, puis traitées, éliminées ou bien encore valorisées, jouent un rôle déterminant dans l'économie globale des opérations de réhabilitation de sites. Des écarts significatifs entre les estimations menées en phase diagnostic et les quantités réellement dépolluées en phase travaux sont en effet lourds de conséquences, que ce soit en termes de dépassements de budget, de retards pris dans les travaux, ou de risques sanitaires associés aux pollutions résiduelles.

Malgré l'expérience des professionnels de la dépollution acquise au cours des 20 dernières années, il semble que des écarts importants peuvent encore être observés dans certaines opérations. Mais qu'en est-il vraiment ? Est-ce que cela concerne uniquement quelques cas isolés, ou bien encore une bonne partie des sites traités ? Quelles sont dans ce cas les raisons ayant conduit à ces situations, et pourrait-on les éviter en améliorant certaines pratiques ? Tel fut l'objet de l'étude confiée en 2015 aux sociétés eOde et Geovariances par l'association RECORD. Des données de 23 sites déjà dépollués ont été mises à disposition par des industriels, bureaux d'études et sociétés de dépollution, membres

de RECORD et autres, pour mener une analyse comparative des cas. L'analyse a été précédée d'une enquête auprès des professionnels pour vérifier que les cas rassemblés étaient représentatifs des situations fréquemment rencontrées et recueillir leur expérience. La validité opérationnelle des recommandations fournies en fin d'étude a, quant à elle, été assurée par un comité de suivi composé de membres de RECORD, et par un comité d'experts indépendants.

DES SITUATIONS TRÈS DIVERSES

Les 23 cas recouvrent des situations très diverses. Les activités historiques à l'origine de la pollution sont liées par exemple à la production et la distribution de produits pétroliers ou de gaz, au traitement du bois par imprégnation, au travail des métaux ou bien encore au nettoyage de vêtements. Les pollutions du sol rencontrées sont des mélanges de substances organiques et inorganiques, des hydrocarbures pétroliers, des hydrocarbures aromatiques polycycliques ou des composés organiques volatils. Les surfaces concernées vont de 1 000 à 100 000 m². Les terres ont été traitées après excavation pour la majorité des sites (83%), mais 17% d'entre eux ont

subi un traitement in situ. Les volumes de sol concernés par le traitement vont de 300 à 80 000 m³.

DES ÉCARTS ACCEPTABLES DANS LA PLUPART DES CAS

Pour chacun des sites, la différence entre le volume de sol à traiter estimé en fin de diagnostic et le volume réellement excavé a été calculée et rapportée à ce dernier, considéré comme le volume de référence¹. Les écarts correspondent plus souvent à des sous-estimations au stade diagnostic (57%) qu'à des sur-estimations.

Ces écarts s'avèrent en moyenne de l'ordre de 25%. Dans cet ordre de grandeur, ils sont considérés comme usuels et acceptables par les professionnels consultés, compte-tenu de l'avancée de la technique et du niveau de renseignement atteint en général en fin de diagnostic. "Il faut systématiquement avertir le client qu'une définition à 10% près relève de la chance plutôt que de la science..." commente en effet l'un d'entre eux.

Les écarts sont supérieurs à 30% pour un tiers des cas rassemblés. De cette am-

¹ Dans le cas des dépollutions in situ, l'écart a été calculé comme la différence entre la masse de polluants à extraire estimée en fin de diagnostic et la masse de polluants effectivement extraite, rapporté à cette masse de référence.

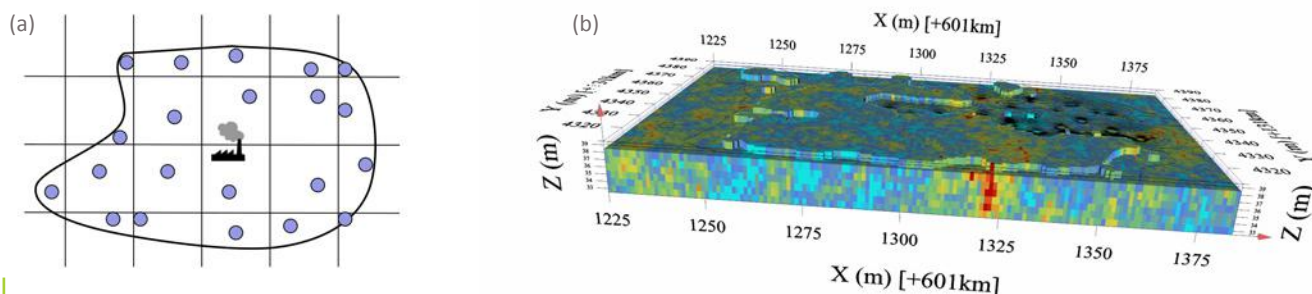


Figure 1 : L'étude montre que des conditions d'échantillonnage adaptées au stade diagnostic (a) et le recours à des méthodes géostatistiques pour estimer les quantités de terres à traiter (b) contribuent à la réduction des erreurs de prédiction.

pleur, les écarts ont des conséquences significatives sur le coût et la durée des opérations, qui peuvent mener à l'insatisfaction des donneurs d'ordre et à une dégradation de l'image de la profession (même si, au final, 70% des opérations de dépollution « se passent bien »). L'écart maximal trouvé lors de cette étude est de 84%.

DES ÉCARTS INÉVITABLES EN CAS DE POLLUTION TRÈS COMPLEXE

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine des écarts significatifs. La complexité de la situation de pollution en fait partie. Les quantités de terres à traiter sont en effet plus difficiles à prédire en cas de forte hétérogénéité du sous-sol impliquant un nombre important de substances. Les 23 sites rassemblés en font l'illustration : les écarts y sont en moyenne 10% plus élevés dans les situations les plus complexes. A ce titre, il est notable que les écarts les plus élevés correspondent tous à des pollutions aux hydrocarbures lourds, notamment aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, par nature délicats à caractériser. En l'absence de prise sur la complexité des sites, ce constat permet à défaut d'anticiper et de

prévenir les donneurs d'ordre pour que ceux-ci intègrent la gestion des imprévus dans la planification de l'opération.

DES AMÉLIORATIONS PAR L'ÉCHANTILLONNAGE ET LA GÉOSTATISTIQUE

Mais d'autres facteurs - qui sont autant de moyens d'action des professionnels - influent sur les erreurs de prédiction. Les 23 cas rassemblés montrent que les conditions d'échantillonnage au stade du diagnostic jouent un rôle de premier ordre dans la réduction des erreurs entre estimations et quantités traitées. De fait, l'erreur moyenne observée est de 18% sur les cas présentant des conditions d'investigation favorables, à comparer aux 32% d'erreur moyenne obtenus sur les autres cas.

L'amélioration des conditions d'échantillonnage au stade diagnostic passe par 1) une homogénéisation des protocoles d'échantillonnage, 2) une homogénéisation de la répartition des sondages dans la zone d'intérêt, 3) un échantillonnage systématique le long des sondages et une densité minimale de sondages et échantillons, avec 4) 1 sondage pour 100 m² de

surface de site, et 5) 1 échantillon par mètre de sondage. Il est à noter que 3 de ces 5 recommandations suffisent à réduire de 15% en moyenne les erreurs de prédiction observées sur les 23 sites.

Les conditions d'échantillonnage au stade dépollution ne doivent par ailleurs pas être négligées et il est important de renforcer et harmoniser les contrôles.

Le recours à des méthodes de modélisation géostatistique pour estimer les quantités de terres à traiter, en complément du jugement d'expert en sites pollués, contribue également à une amélioration des prédictions. On observe en effet sur les 23 sites que les estimations qui ont été menées sur la seule base du jugement d'expert donnent lieu à une plus grande dispersion des écarts entre diagnostic et dépollution. A contrario, l'utilisation de méthodes géostatistiques conduit aux écarts à la fois les plus faibles et les moins dispersés, surtout lorsqu'elles sont appliquées dans les règles de l'art en respectant quelques recommandations méthodologiques objectives².

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE

RECORD, Méthodes d'estimation et d'optimisation des quantités de terres polluées à traiter. Retour d'expérience sur la validité des estimations à partir de données réelles, 2016, 15 p, n°14-0515/1A.

Hélène DEMOUGEOT-RENARD, eOde
 Claire FAUCHEUX, GEOVARIANCES
 Bénédicte COUFFIGNAL, RECORD
 Gregory LANFREY, RECORD/SOCOTEC
 Nicolas JEANNÉE, GEOVARIANCES

² Des méthodes déterministes sont parfois également utilisées pour réaliser les estimations, mais sans que les données rassemblées sur les 23 sites soient suffisantes pour en évaluer rigoureusement l'intérêt.