

SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE (SUIVI)



DESCRIPTION DE L'ÉTAPE « SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE »

Une surveillance environnementale peut être mise en œuvre de manière préventive, en contexte post-accidentel, à l'issue des deux démarches de gestion (interprétation de l'état des milieux ou plan de gestion) ou à l'issue d'une cessation d'activité.

Cette surveillance intègre une analyse globale de la situation à travers des prélèvements, mesures, observations et/ou analyses des milieux et conclut sur l'existence d'un éventuel impact ou, le cas échéant, sur l'évolution d'une pollution, préalablement identifiée et en cours de gestion depuis la précédente campagne ou non. L'efficacité des mesures de gestion est évaluée à l'issue des constats.

Les résultats de la surveillance sont interprétés après chaque

campagne de suivi et des actions appropriées sont recommandées en cas de constats d'anomalies (vérification des résultats d'analyse, analyse de doublons d'échantillons, nouvelle campagne de prélèvements et d'analyses, extension du périmètre de surveillance, traitement du milieu concerné).

Cette surveillance permet de vérifier sur le long terme l'efficacité des mesures de gestion mises en œuvre (gestion du risque pour l'environnement, dépollution, dispositions constructives...) et de s'assurer, dans la durée, de la compatibilité effective entre l'état des milieux et leurs usages.

Ce chapitre présente différents outils permettant de concevoir, optimiser et réaliser une surveillance environnementale.

TECHNIQUES UTILISABLES ET RÉPONSES APPORTÉES LORS DE L'ÉTAPE « SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE »

CERTAINES TECHNIQUES INNOVANTES AIDENT À DÉFINIR LE PROGRAMME DE SURVEILLANCE

Comment concevoir et optimiser le réseau de surveillance ?

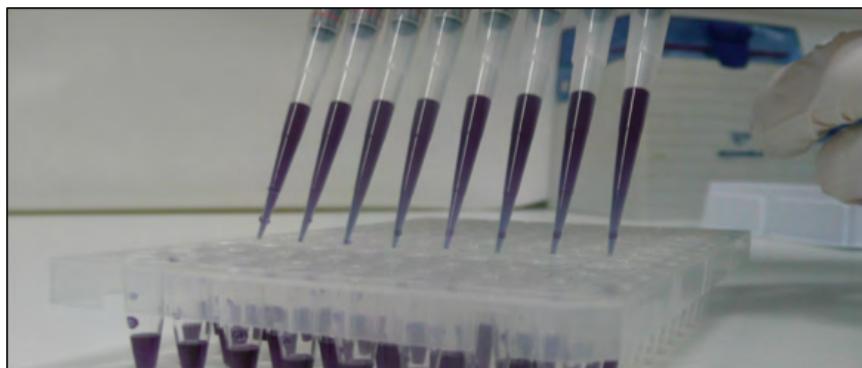
- Les **méthodes géophysiques** permettent de décrire le sol (géologie et hydrogéologie locale) à partir des variations de propriétés physiques entre les différentes couches, sous réserve d'avoir un contraste suffisant entre les couches géologiques. Les investigations sont non-intrusives et leur rendement est optimal sur de grandes surfaces. Grâce à une meilleure connaissance du milieu sur des surfaces importantes, les méthodes géophysiques permettent d'optimiser les zones à surveiller. Certaines méthodes permettent également de délimiter l'extension du panache de pollution à travers l'évolution de paramètres physiques s'il existe un contraste suffisant et que les processus de dégradation impliqués et leur influence sur le milieu sont connus. Les investigations sont non-intrusives et il est possible de réaliser le suivi à distance. L'information fournie est continue spatialement et semi-quantitative. Elle est à coupler avec des analyses chimiques des eaux du panache qui donnent des informations ponctuelles et quantitatives.
- Les **méthodes de télédétection aéroportée** permettent de cartographier finement et de manière non-intrusives le relief du terrain, et d'identifier les zones les plus favorables à l'accumulation ou au transfert de polluants. Ces techniques aident à prioriser les zones sensibles ou à risque, permettant d'optimiser le positionnement stratégique des points de mesure et le suivi du site. Leur rendement est optimal sur des sites complexes de grandes surfaces. Ces méthodes sont indirectes et caractérisent le milieu et pas la pollution.
- Les **outils isotopiques** déterminent les rapports entre différents isotopes des composés organiques. Ils étudient à travers un prélèvement d'eau ou de sol le phénomène de dégradation *in situ* des polluants. Ils permettent de prendre des décisions sur la base d'informations tangibles et indépendantes des concentrations en polluants et ainsi d'optimiser le positionnement des piézomètres ou de réduire le nombre et la durée des campagnes de prélèvements et donc le coût de la surveillance.
- Les **bioindicateurs d'accumulation** sont des outils de terrain qui visent à évaluer la biodisponibilité et l'accumulation des polluants du sol dans les organismes vivants (animaux ou végétaux). La mesure de ces bioindicateurs se fait en laboratoire ou *in situ* et les résultats des investigations renseignent de manière qualitative sur l'état du sol en place et de manière quantitative sur les risques de transfert des polluants vers l'écosystème. Ils permettent de cibler les zones où le risque de transfert et de bioaccumulation est le plus important.
- Les **biotests ou bioessais** dits de court-terme c'est-à-dire identifiant une exposition aiguë sont des techniques de laboratoire standardisées exposant des organismes à des sols ou eaux prélevées sur site. Les résultats des essais quantifient les effets toxicologiques de la pollution sur ces organismes. La différence de réaction des organismes selon les zones prélevées permet d'identifier sur une grande surface les zones qui méritent le plus d'attention pour la surveillance environnementale.

- Les **techniques géostatistiques** sont un outil d'interprétation rapide et poussée de l'ensemble des données disponibles obtenues par une ou plusieurs techniques, sous réserve qu'elles soient suffisamment nombreuses. Ils permettent de produire des cartes d'incertitudes sur la connaissance d'un paramètre physique étudié dans le sol ou dans la nappe et ainsi aider dans le choix d'implantation de forages ou piézomètres complémentaires. Le paramètre physique étudié peut être une concentration en polluant, une donnée géologique, ou encore un sens d'écoulement. Les données d'entrées peuvent être ponctuelles (résultats d'analyses) ou bien tridimensionnelles (résultats d'investigations géophysiques). **Couplés à des mesures de terrain**, les outils géostatistiques permettent de conduire et de rationaliser une campagne d'investigations (réduction de l'incertitude).
- Les **outils de caractérisation haute résolution de la nappe** et **les échantilleurs passifs** permettent de réaliser un prélèvement ou de mesurer un paramètre physico-chimique à une profondeur particulière. La mesure ou le prélèvement sur une plage de profondeur donnée permet de mieux concevoir le réseau et le protocole de surveillance.

LES CAMPAGNES DE SURVEILLANCE CONTRÔLENT L'ÉVOLUTION DE LA POLLUTION DANS LE TEMPS ET L'ESPACE ET SON IMPACT SUR LES MILIEUX

Le polluant est-il encore présent et dans quel état ?

- Les **techniques géophysiques** peuvent être utilisées pour observer l'évolution de panaches de pollution. Elles permettent de suivre l'extension et les concentrations des polluants dans le sol et dans la nappe à partir des variations de propriétés physiques, sous réserve d'avoir un contraste suffisant entre la cible et son encaissant et d'avoir un état de référence acquis lors du diagnostic ou du suivi de dépollution. Les investigations sont non-intrusives et leur rendement est optimal sur de grandes surfaces. L'information fournie est continue spatialement et semi-quantitative. Elle est à coupler avec des analyses chimiques qui donnent des informations ponctuelles et quantitatives.
- Les **techniques de biologie moléculaire** permettent de déterminer les processus de biodégradation de la pollution lorsqu'elles mettent en évidence une activité spécifique de dépollution par des microorganismes. Les investigations sont réalisées à partir d'échantillons de sol ou d'eau prélevés sur site sur lesquels sont réalisés l'extraction et l'analyse des composants moléculaires d'une cellule (ADN, ARN ou protéines). Les résultats interprétés fournissent des informations sur l'activité de ces microorganismes responsable de la biodégradation du polluant.
- Les **outils isotopiques** déterminent les rapports entre différents isotopes des composés organiques ou des éléments traces métalliques. Ils étudient à travers un prélèvement d'eau ou de sol le phénomène de dégradation des polluants. Ces outils interviennent en complément des analyses chimiques et donnent une information sur l'état de dégradation des polluants. Une approche multi-isotopique permet d'identifier la voie de biodégradation d'un composé organique.
- Les **techniques de séparation chimique** caractérisent la spéciation chimique (état de valence et/ou complexation) des éléments traces métalliques qui peuvent présenter des formes différentes. Ces outils, complémentaires aux analyses chimiques classiques, donnent une information sur les concentrations des différentes formes chimiques ce qui permet d'évaluer si les éléments traces métalliques ont évolué vers des formes plus ou moins toxiques et/ou plus ou moins stables (forme chimique) dans l'environnement.
- Les **extractions uniques et séquentielles** caractérisent la spéciation des éléments traces métalliques en regardant leur association avec les différentes phases porteuses du sol. À travers une ou plusieurs mises en solution de fractions solides spécifiques, ces techniques, complémentaires aux analyses chimiques classiques, permettent d'évaluer si les éléments traces métalliques ont évolué vers des formes plus stables (mobilité) dans l'environnement.
- Les **outils géostatistiques** sont un outil d'interprétation rapide et poussé de l'ensemble des données disponibles obtenues par une ou plusieurs techniques, sous réserve qu'elles soient suffisamment nombreuses. Ils permettent de produire des cartes d'incertitudes sur la connaissance d'une pollution étudiée dans le sol ou dans la nappe. Les données d'entrées peuvent être ponctuelles (résultats d'analyses) ou bien tridimensionnelles (résultats d'investigations géophysiques). **Le couplage des mesures de terrains avec des outils géostatistiques** permet l'obtention très rapide de cartographies ou d'estimation de quantités et apporte un indice de fiabilité important à ces résultats.
- Les **techniques d'analyse ou de mesure de terrain** comme la **PXRF**, la **PID** ou la **MIP** permettent d'obtenir des informations sur la présence (résultats qualitatifs) et la quantité (résultats semi-quantitatifs à quantitatifs) de certains polluants pendant la phase de terrain, et donc sur l'efficacité à long terme des mesures de gestion. Les investigations peuvent être non intrusives ou être réalisées sur des prélèvements de sol, d'eau ou d'air à l'issue de la phase d'échantillonnage.



© Genosol

Les techniques de biologie moléculaire peuvent mettre en évidence une activité spécifique de dépollution par des microorganismes.

- Les **outils de caractérisation haute résolution de la nappe** et les **échantilleurs passifs** permettent de réaliser un ou des prélèvements ponctuels sur une plage de profondeur donnée qui informent sur l'extension verticale du panache de pollution dans la nappe et permettent une meilleure caractérisation chimique verticale.
- Concernant les pollutions aux microplastiques, certaines **méthodes de caractérisation des microplastiques** comme la spectroscopie FTIR et la pyrolyse GC-MS permettent d'identifier et quantifier les microplastiques présents dans différents milieux, et ainsi assurer un suivi temporel et spatial de la pollution pour détecter les zones critiques et l'évolution des concentrations.

Quels sont la biodisponibilité/bioaccessibilité des polluants et les transferts potentiels ?

- Les **bioindicateurs d'accumulation** sont des outils de terrain qui visent à évaluer la biodisponibilité et l'accumulation des polluants du sol dans les organismes vivants (animaux ou végétaux). La mesure de ces bioindicateurs se fait en laboratoire ou *in situ* et les résultats des investigations renseignent de manière qualitative sur l'état du sol en place et de manière quantitative sur les risques de transfert des contaminants vers l'écosystème. Ils permettent de cibler les zones où le risque de transfert et de bioaccumulation est le plus important.
- La **bioaccessibilité orale** dans les sols est une méthode analytique en laboratoire permettant d'évaluer la biodisponibilité des polluants pour l'être humain. Elle permet de quantifier la fraction de polluant capable d'être réellement assimilée par l'organisme. L'évaluation des expositions et des risques est ainsi affinée et permet une optimisation de la gestion des sites. Une méthode d'analyse simplifiée avec acide chlorhydrique (HCl) permet d'estimer la bioaccessibilité orale en tant que démarche exploratoire à moindre coût afin de choisir les échantillons de sol à valider par une méthode normalisée dite «UBM» plus proche des conditions physiologiques mais plus longue et plus coûteuse.
- Les **techniques de séparation chimique** caractérisent la spéciation chimique (état de valence et/ou complexation) des éléments traces métalliques qui peuvent présenter des formes différentes. Les résultats des analyses sur des prélèvements de sol ou d'eau donnent une réponse quantitative complémentaire aux analyses chimiques classiques. Ces techniques permettent d'évaluer si les éléments traces métalliques ont évolué vers des formes plus biodisponibles et bioaccessibles

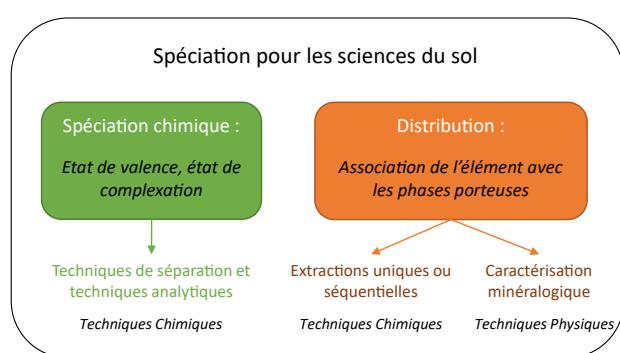
aux organismes présents, la biodisponibilité et la bioaccessibilité d'un métal dans les sols dépendant également de sa spéciation.

- Les **extractions uniques et séquentielles** caractérisent la spéciation des éléments traces métalliques en regardant leur association avec les différentes phases porteuses du sol. À travers une ou plusieurs mises en solution de fractions solides spécifiques, ces techniques, complémentaires aux analyses chimiques classiques, informent sur la répartition des éléments traces métalliques dans les différentes phases du sol et donc éventuellement sur la variabilité de biodisponibilité/bioaccessibilité de ces éléments.

- Les **techniques de caractérisation minéralogique** sont des techniques d'imagerie ou d'analyse globale qui peuvent indiquer la répartition des éléments traces métalliques dans les minéraux présents. Leur utilisation permet d'observer une éventuelle modification de la répartition des éléments traces métalliques vers des formes plus stables ou la stabilisation ou l'élimination des minéraux réactifs.

Quelle est la toxicité des polluants ou de la matrice sur l'être humain et l'environnement ?

- Les **techniques de biologie moléculaire** permettent de connaître les populations de microorganismes naturellement présentes. La diversité et l'abondance des microorganismes fournissent ainsi des informations sur l'impact de la pollution sur la biodiversité. Les prélèvements sur site de sol, d'eau, d'air ou de déchets sont complémentaires aux prélèvements pour analyse microbiologique classique.
- Les **biotests ou bioessais** sont des techniques de laboratoire exposant des organismes à des sols pollués prélevés sur site. Les résultats de ces essais quantifient les effets toxicologiques de la pollution sur ces organismes. Ces essais en laboratoire sur des prélèvements de sol sont standardisés et peuvent être qualitatifs ou quantitatifs.
- Les **techniques de séparation chimique** caractérisent la spéciation chimique (état de valence et/ou complexation) des éléments traces métalliques qui peuvent présenter des formes différentes. Les prélèvements de sol ou d'eau donnent une réponse quantitative complémentaire aux analyses chimiques classiques. Ces techniques permettent d'évaluer si les éléments traces métalliques ont évolué vers des formes plus ou moins toxiques et donc de valider l'efficacité ou non des mesures de gestion.



La séparation chimique permet d'évaluer si les éléments traces métalliques ont évolué vers les formes plus ou moins toxiques, ici pour l'arsenic (As) et le chrome (Cr).

