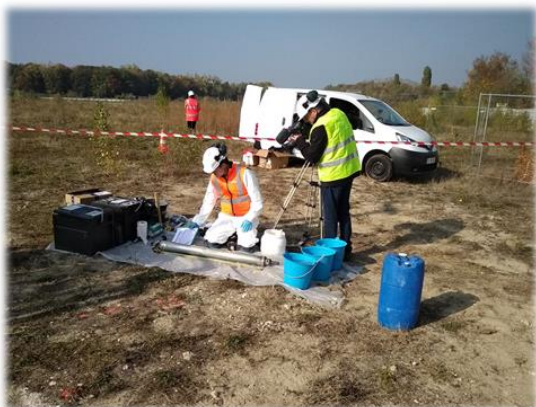


Guide Diagnostics des sites et sols pollués



Rédacteurs

Ce guide a été rédigé par le BRGM, l'INERIS et l'ADEME pour le compte du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT/DGPR/B3S).

ADEME : Franck Marot

Avec la collaboration de : Hélène Roussel, Yves Duclos, Cécile Grand, Philippe Bégassat, Guillaume Masselot, Patrick Jacquemin

BRGM : Sophie Favéreaux, Pauline Drzewiecki, Fabien Lion, Aline Coftier

Avec la collaboration de : N. Dubrac, V. Guérin

DGPR/B3S : Guillaume Gay, Christian Vincq

INERIS : Karen Perronnet

Avec la collaboration de Laurence Lethielleux, Corinne Hulot, Fabrice Quiot, Jessica Quéron et Bénédicte Lepot.

Historique des versions du document

Version	Date	Auteurs	Contributeurs du groupe de travail	Commentaires
0	Février 2007	MEDAD	BRGM, ADEME, INERIS	Première version du guide
1	Avril 2023	MTECT	BRGM ADEME INERIS	Mise à jour au regard des évolutions législatives, réglementaires, normatives et techniques depuis la première version du guide.

Le présent guide relatif aux diagnostics des sites et sols pollués a été élaboré en concertation avec un groupe de travail composé de :

- MTECT - Direction générale de la prévention des risques - Bureau du sol et du sous-sol
- BRGM, Bureau de Recherches Géologique et Minières
- ADEME, Agence de la Transition Ecologique
- INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

Il a fait l'objet d'une consultation auprès de différents acteurs de la profession (donneurs d'ordre, exploitants, aménageurs, bureau d'études Site et Sols Pollués et entreprises de dépollution, établissements publics, ...).

Un grand merci à ceux qui ont répondu à cette consultation :

- EDF
- ENVISOL
- EVADIES
- GEODERIS
- UPDS

Avertissement : Ce guide ne constitue pas un modèle standard, désigné comme tel, visant à éliminer le jugement et la valeur d'expertise des équipes réalisant les investigations. Le choix et l'adaptation au contexte local relèvent du savoir-faire et des compétences des opérateurs. Par ailleurs, les moyens et les méthodes exposés ici concernent exclusivement la caractérisation de l'état des milieux et la description des enjeux liés à l'exposition chronique des populations vis à vis des sites et des environnements potentiellement pollués par des activités industrielles.

Avant-propos

Le Ministère en charge de l'environnement a engagé depuis plusieurs années la révision de l'ensemble des outils techniques de gestion et d'évaluation des sites et sols potentiellement pollués, dans le cadre de la démarche nationale sur la gestion de ces sites.

Ce document est une mise à jour du guide « Diagnostic du Site » édité en février 2007 lors de la réécriture complète des textes relatifs à la gestion des sites et sols pollués.

Les éléments figurant dans ce document sont en cohérence avec la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, la partie 2 de la série de normes NF X31-620 sur les prestations de services relatives aux sites pollués » (en particulier les prestations « LEVE », « INFOS » et « DIAG »), ainsi que les normes actuellement en vigueur sur les études historique et documentaire, le schéma conceptuel et l'échantillonnage des milieux (sol, gaz, eaux souterraines, ...). Ce guide présente les différentes étapes nécessaires à la conception et la réalisation d'un diagnostic de site pollué ou potentiellement pollué adapté à chaque contexte et à chaque milieu, dans le but 1) d'acquérir une bonne connaissance de l'état du site et de son environnement, 2) d'élaborer une stratégie d'investigations et un programme d'échantillonnage, et 3) de caractériser l'état des milieux *via* des investigations de terrain.

Ce guide décrit ainsi les différentes composantes du diagnostic (contextes, stratégies d'investigations et d'échantillonnage, outils de prélèvement, méthodes d'échantillonnage, préparation et conditionnement des échantillons, informations à collecter sur le terrain) avec des points d'attention suite aux retours d'expérience. Par contre, il n'aborde pas directement les moyens d'interpréter les données acquises, ce travail reposant sur les outils développés dans la méthodologie nationale qui sont spécifiques aux objectifs visés par l'étude dans sa globalité.

Les milieux étudiés dans ce guide sont les sols, les eaux souterraines, les eaux superficielles et les sédiments, l'air, les poussières, les denrées alimentaires. Les techniques d'investigations et de mesures sur site et la notion d'Environnement Local Témoin (ELT), qui peuvent concerner différents milieux, sont également abordées dans ce guide.

Les modalités de réalisation des études pouvant être réalisées préalablement au diagnostic (études historique et documentaire, étude de vulnérabilité), le comportement des polluants et le schéma conceptuel ont également été intégrés dans le guide.

Pour chaque milieu, ce guide fait référence à des guides issus d'instituts spécialisés (ARS, INRAE, CEREMA, AQUAREF, etc.) et de résultats de groupes de travail (terres excavées, valeurs de fond, végétaux, laboratoires, échantillonnage, techniques innovantes en diagnostic, ...).

Le public visé par ce guide comprend tous les acteurs du domaine des sites et sols pollués (gestionnaires de sites, entreprises, bureaux d'études, aménageurs, maîtres d'ouvrages, services de l'État, collectivités, ...), impliqués dans la gestion des sites et sols pollués et la réalisation de diagnostics.

Sommaire

1	Champ d'application	19
2	Cadre méthodologique	21
2.1	Méthodologie de gestion des SSP	21
2.2	Élaboration du schéma conceptuel	21
2.3	Place des diagnostics dans la gestion des SSP	22
3	Contexte et objectifs des diagnostics	25
3.1	Cadre normatif des diagnostics	25
3.2	Contextes des diagnostics	27
3.3	Objectifs des diagnostics	27
3.4	Milieus concernés.....	28
3.5	Limites des diagnostics	29
4	Rôles et responsabilité des acteurs	31
4.1	Prestataire	31
4.2	Laboratoire	32
4.3	Sous-traitant	34
4.4	Donneur d'ordre.....	34
4.5	Administration.....	35
4.6	Riverains	37
5	Gestion des aspects liés à la sécurité et à l'environnement.....	39
5.1	La sécurité et la protection des travailleurs	39
5.1.1	Analyse des sources de danger.....	40
5.1.2	Recherche de la présence de réseaux	41
5.1.3	Recherche de la présence d'amiante avant travaux	42
5.1.4	Mesures de protection et compétences requises	42
5.2	Gestion des déchets liés aux investigations	43
6	Etapas préalables aux investigations.....	45
6.1	Étude historique et documentaire	45
6.1.1	Objectifs de l'étude.....	45
6.1.2	Informations à collecter.....	46
6.1.2.1	Identification du site	46
6.1.2.2	Recensement des activités et des polluants associés	46
6.1.2.3	Identification des pratiques de gestion environnementales	47
6.1.2.4	Sources d'informations	48
6.1.3	Localisation des zones potentiellement polluées.....	51
6.1.4	Documents et informations à fournir dans le livrable.....	53
6.1.5	Recommandations / retour d'expérience	53

6.2	Étude de vulnérabilité des milieux	54
6.2.1	Objectifs de l'étude.....	54
6.2.2	Informations à collecter.....	55
6.2.3	Sources d'information	57
6.2.4	Documents et informations à fournir dans le livrable.....	58
6.2.5	Recommandations / retour d'expérience	58
6.3	Visite du site et de son environnement	59
6.3.1	Préparation de la visite et objectifs.....	59
6.3.1.1	Démarches préalables.....	59
6.3.1.2	Objectifs	60
6.3.2	Informations à recueillir	61
6.3.3	Documents et informations à fournir dans le livrable.....	61
6.3.4	Recommandations / retour d'expérience	62
6.4	Comportement des polluants.....	62
6.4.1	Généralités.....	62
6.4.2	Typologies et familles de polluants	64
6.4.3	Mobilité et transfert des polluants.....	65
6.4.4	Points d'attention sur les polluants recherchés lors d'un diagnostic.....	66
6.4.4.1	Recherche des métabolites et produits de dégradation plus toxiques.	66
6.4.4.2	Recherche des spéciations des éléments chimiques	66
6.4.4.3	Recherche de polluants d'intérêt émergents.....	67
7	Élaboration d'un programme d'investigations	69
8	Campagnes d'investigations sur les milieux	73
8.1	Les investigations sur les sols	74
8.1.1	Stratégies d'investigations.....	74
8.1.1.1	Généralités	74
8.1.1.2	Éléments de stratégie.....	75
8.1.1.3	Stratégie d'échantillonnage	75
8.1.1.4	Densité de sondages à l'échelle du site	79
8.1.1.5	Profondeur d'investigations	80
8.1.1.6	Profondeur des échantillons prélevés.....	81
8.1.1.7	Type d'échantillon prélevé.....	82
8.1.1.8	Volume de sol à prélever.....	83
8.1.2	Techniques d'échantillonnage des sols	84
8.1.2.1	Choix de la technique de forage ou d'excavation	84
8.1.2.2	Choix de la méthode d'échantillonnage.....	87
8.1.2.3	Précautions concernant les protocoles de prélèvement	92

8.1.2.4	Précautions concernant les outils de prélèvement.....	93
8.1.3	Contrôle de la présence de COV lors de l'échantillonnage des sols.....	93
8.1.4	Préparation physique des échantillons	94
8.1.5	Conditionnement, stockage et transport	96
8.1.6	Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic.....	96
8.1.7	Retours d'expérience.....	97
8.1.8	Documents de référence pour le milieu sol	99
8.2	Les investigations sur les eaux souterraines	101
8.2.1	Stratégie d'investigations	101
8.2.1.1	Généralités	101
8.2.1.2	Réseau piézométrique.....	101
8.2.1.3	Stratégie d'échantillonnage	103
8.2.2	Réalisation des ouvrages	104
8.2.3	Matériels d'échantillonnage	108
8.2.4	Mesures dans l'ouvrage.....	109
8.2.5	Protocoles d'échantillonnage en cas d'utilisation d'une pompe	112
8.2.5.1	Purge de l'ouvrage (le cas échéant)	112
8.2.5.2	Mise en place du matériel d'échantillonnage	113
8.2.5.3	Préparation de l'échantillon : cas de la filtration	116
8.2.5.4	Opérations post-échantillonnage.....	117
8.2.5.5	Conditionnement et stockage	119
8.2.6	Protocoles d'échantillonnage en cas d'utilisation d'échantillonneurs passifs	120
8.2.6.1	Purge de l'ouvrage (le cas échéant)	120
8.2.6.2	Mise en place du matériel d'échantillonnage	120
8.2.6.3	Conditionnement et stockage	122
8.2.7	Retours d'expérience.....	122
8.2.7.1	Retours d'expérience de terrain	122
8.2.7.2	Projets	123
8.2.8	Documentation de référence pour le milieu eaux souterraines	125
8.3	Les investigations sur les eaux superficielles	127
8.3.1	Stratégie d'investigations	127
8.3.1.1	Phase de préparation de la campagne.....	127
8.3.1.2	Localisation des points d'échantillonnage	128
8.3.1.3	Profondeur d'échantillonnage	129
8.3.1.4	Fréquence et période de prélèvement	130
8.3.1.5	Mesures de sécurité	130

8.3.2	Méthodes d'échantillonnage.....	131
8.3.2.1	Emplacement de l'opérateur	131
8.3.2.2	Types d'échantillonnage.....	131
8.3.2.3	Échantillonnage ponctuel et composite.....	133
8.3.3	Outils d'échantillonnage.....	133
8.3.3.1	Outils manuels.....	133
8.3.3.2	Préleveurs automatiques	134
8.3.3.3	Échantillonnage passif (EP)	135
8.3.3.4	Recommandations	135
8.3.4	Filtration, conditionnement, stockage et assurance qualité	136
8.3.4.1	Pourquoi et à quel moment filtrer ?	136
8.3.4.2	Réactif de stabilisation	137
8.3.4.3	Conditionnement et stockage	138
8.3.4.4	Assurance et contrôle qualité	138
8.3.5	Mesures et observations <i>in situ</i>	139
8.3.6	Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic.....	141
8.3.7	Prélèvements associés aux eaux superficielles	141
8.3.7.1	Les matières en suspension	141
8.3.7.2	Les outils biologiques : présentation des bioindicateurs	142
8.3.8	Retours d'expérience.....	144
8.3.9	Documentation technique de référence pour le milieu eaux superficielles	145
8.4	Les investigations sur les sédiments.....	146
8.4.1	Stratégie d'investigations	146
8.4.1.1	Généralités	146
8.4.1.2	Stratégie d'échantillonnage	147
8.4.1.3	Mesures de sécurité	148
8.4.2	Méthodes d'échantillonnage.....	148
8.4.2.1	Emplacement de l'opérateur	148
8.4.2.2	Types d'échantillon	148
8.4.2.3	Échantillonnage ponctuel ou composite.....	148
8.4.3	Outils d'échantillonnage.....	149
8.4.4	Mesures et observations <i>in situ</i>	150
8.4.5	Recommandations.....	151
8.4.5.1	Nettoyage.....	151
8.4.5.2	Assurance et contrôle qualité	151
8.4.6	Conditionnement, stockage et transport	152
8.4.7	Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic.....	152

8.4.8	Retours d'expérience.....	152
8.4.8.1	Analyse granulométrique en laboratoire	152
8.4.8.2	Échantillonnage dans le cadre d'une étude de l'impact d'une friche industrielle.....	153
8.4.9	Documentation technique de référence pour le milieu sédiments	153
8.5	Les investigations sur les gaz du sol, l'air ambiant extérieur et l'air intérieur	155
8.5.1	Stratégie d'échantillonnage.....	155
8.5.1.1	Généralités	155
8.5.1.2	Contextes nécessitant une caractérisation des gaz du sol et de l'air ambiant ...	156
8.5.1.3	Éléments à prendre en compte	157
8.5.1.4	Implantation des prélèvements	159
8.5.1.5	Fréquence et période des prélèvements	160
8.5.1.6	Durée des prélèvements	160
8.5.2	Réalisation des ouvrages	161
8.5.3	Mesures préliminaires pour les gaz du sol	165
8.5.4	Méthodes d'échantillonnage.....	165
8.5.4.1	Matériel d'échantillonnage	165
8.5.4.2	Protocoles d'échantillonnage.....	170
8.5.4.3	Conditionnement, blanc de transport et stockage	171
8.5.5	Retours d'expérience.....	172
8.5.5.1	Écueils à éviter lors des échantillonnage multi-lignes	172
8.5.5.2	Gestion de l'humidité au niveau des gaz du sol.....	172
8.5.5.3	Quelques exemples illustrant l'importance d'un diagnostic le plus exhaustif possible.....	173
8.5.5.4	La particularité des ERP.....	174
8.5.5.5	La particularité des logements et locaux ouverts au public en lien avec les recommandations du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP).....	175
8.5.6	Documentation technique de référence pour le milieu gaz du sol et air ambiant intérieur et l'air extérieur	175
8.6	Les investigations sur les poussières	177
8.6.1	Généralités.....	177
8.6.1.1	Définitions	177
8.6.1.2	Investigation des poussières en contexte Sites et Sols Pollués	178
8.6.2	Les investigations sur les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs...	180
8.6.2.1	Stratégie d'investigation	180
8.6.2.2	Techniques d'échantillonnage	181
a.	Technique par aspiration.....	181
b.	Technique par essuyage avec une lingette.....	182
8.6.2.3	Conditionnement et stockage	183

8.6.3	Les investigations sur les poussières en suspension dans l'air extérieur	184
8.6.3.1	Stratégie d'investigations.....	184
8.6.3.2	Préparation de l'intervention.....	185
8.6.3.3	Techniques d'échantillonnage	186
8.6.3.4	Conditionnement et stockage	189
8.6.3.5	Cas particulier : les poussières en suspension dans l'air intérieur.....	190
8.6.4	Les investigations sur les poussières sédimentables dans les environnements extérieurs.....	191
8.6.4.1	Stratégie d'investigations.....	191
8.6.4.2	Préparation de l'intervention.....	192
8.6.4.3	Techniques d'échantillonnage	193
	a. Outils de prélèvement.....	193
	b. Méthodes d'échantillonnage.....	194
8.6.4.4	Conditionnement et stockage	196
8.6.5	Documentation de référence pour le milieu poussières.....	196
8.7	Les investigations sur les denrées alimentaires	198
8.7.1	Généralités.....	198
8.7.2	Produits végétaux.....	198
8.7.2.1	Contexte	199
8.7.2.2	Stratégie d'investigations.....	200
8.7.2.3	Méthodes d'échantillonnage	201
8.7.2.4	Conditionnement, stockage et consignes de préparation	203
	a. Conditionnement.....	203
	b. Préparation des échantillons.....	204
8.7.2.5	Documents et informations à fournir	204
8.7.2.6	Retours d'expérience	204
	a. Végétaux potagers et historique des parcelles cultivées :	204
	b. Végétaux et évaluation quantitative des risques sanitaires :.....	205
	c. Pâtures et variabilités saisonnières des concentrations dans la biomasse.....	205
8.7.2.7	Projets de recherche, ouvrages et bases de données.....	205
	a. Bases de données	205
	b. Ouvrages.....	206
	c. Projets de recherche sur les transferts sol-plantes.....	206
8.7.2.8	Documents de référence sur les produits végétaux	207
8.7.3	Produits animaux.....	208
8.7.3.1	Contexte	208

8.7.3.2	Stratégie d'investigations.....	208
a.	Faune aquatique.....	208
b.	Animaux d'élevage et sauvages.....	210
c.	Productions animales.....	210
8.7.3.3	Méthodes d'échantillonnage et de préparation.....	211
8.7.3.4	Conditionnement et stockage.....	211
8.7.3.5	Documents et informations à fournir.....	212
8.7.3.6	Retours d'expérience.....	212
8.7.3.7	Documents de référence sur les produits animaux.....	213
8.7.4	Eau du robinet.....	213
8.7.4.1	Contexte.....	213
8.7.4.2	Stratégie d'investigations.....	214
8.7.4.3	Méthodes d'échantillonnage.....	214
8.7.4.4	Conditionnement et stockage.....	215
8.7.4.5	Documents et informations à fournir.....	216
8.7.4.6	Retours d'expérience.....	216
8.7.4.7	Documents de référence sur l'eau du robinet.....	216
8.8	Les investigations sur les terres excavées ou à excaver.....	217
8.8.1	Généralités.....	217
8.8.2	Objectifs et principes des investigations sur les terres excavées ou à excaver.....	217
8.8.2.1	Réemploi sur site.....	217
8.8.2.2	Valorisation hors site.....	217
8.8.2.3	Passage par une plateforme de tri, transit, regroupement ou de traitement (ICPE).....	218
8.8.2.4	Mise en installation de stockage de déchets.....	218
8.8.3	Stratégie d'échantillonnage.....	218
8.8.3.1	Plan d'échantillonnage.....	218
8.8.3.2	Types de prélèvement.....	220
8.8.3.3	Stratégie d'analyse.....	221
8.8.4	Préparation, conditionnement, conservation et transport.....	221
8.8.5	Traçabilité des mouvements de terres.....	221
8.8.6	Retours d'expérience.....	222
8.8.7	Documentation technique de référence pour les terres excavées.....	222
9	Techniques d'investigations et de mesures de terrain.....	225
9.1	Intérêt des investigations et des mesures de terrain.....	225
9.2	Recensement des appareils de mesures.....	226
9.3	Techniques par fonçage direct (DPT).....	234
9.3.1	Principes.....	234

9.3.2	Avantages	235
9.3.3	Limites.....	235
9.4	Méthodes de caractérisation sur site par la géophysique	236
9.5	Retour d'expérience sur les appareils de mesures	237
9.5.1	Analyseur portable de fluorescence X.....	237
9.5.2	Appareil de mesures PID.....	237
9.6	Documentation de référence pour les techniques d'investigations et de mesures de terrain ...	238
10	Techniques d'investigations innovantes.....	239
11	Environnement local témoin	243
11.1	Définition et objectifs	243
11.2	Approche par milieu	244
11.2.1	Milieu sol	244
11.2.2	Milieu eau souterraine et eau superficielle.....	246
11.2.3	Milieu sédiments	246
11.2.4	Milieu air intérieur.....	247
11.2.5	Milieu denrées alimentaires.....	248
12	Transport et stockage des échantillons	251
13	Recommandations générales pour les livrables	253
14	Définitions.....	255
15	Acronymes	257

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Principales sources potentielles de danger liées aux travaux effectués sur sites pollués ou potentiellement pollués.....	40
Tableau 2 : Principales sources d'informations disponibles sur internet et informations associées.....	49
Tableau 3 : Principales informations à collecter sur chaque milieu dans l'étude de vulnérabilité des milieux.....	55
Tableau 4 : Principales informations à collecter sur chaque milieu dans l'étude de vulnérabilité des milieux.....	57
Tableau 5 : Préconisations pour la profondeur d'investigations des sols selon l'usage de la zone.....	81
Tableau 6 : Fractions granulométriques de sol pertinentes en contextes sites et sols pollués (hors composés volatils) (extrait du guide BRGM sur l'échantillonnage des sols, 2022).	95
Tableau 7 : Matériel pouvant être mis en œuvre lors d'un échantillonnage ponctuel d'eau superficielle + très adapté, o adapté, - à éviter sauf contexte spécifique, na : non adapté ; np : non pertinent (extrait de l'Annexe 3 du Guide BRGM, INERIS, 2023).	135
Tableau 8 : Avantages et inconvénients de trois types d'échantillonnage de gaz (actif, passif, dispositif sous vide).	169
Tableau 9 : Principales sources des substances ou familles de substances chimiques retrouvées dans la poussière (Anses, 2020).	180
Tableau 10 : Exemples de quantités à envoyer au laboratoire d'analyses pour des fourrages.....	202
Tableau 11 : Liste des contenants et leurs propriétés pour le conditionnement de végétaux (source guide INERIS).	203
Tableau 12 : Exemples de quantités à envoyer au laboratoire d'analyses pour des productions animales.	212
Tableau 13 : Liste des principales méthodes utilisées pour les mesures de terrain (sol, eau, gaz).	227
Tableau 14 : Principales techniques d'investigations in situ par forçage direct.....	234
Tableau 15 : Liste des techniques innovantes utilisables en diagnostic (selon Fiches Etape « Diagnostic » du site ssp-infoterre).....	240

Liste des Figures

Figure 1 : La place des diagnostics dans la gestion des sites et sols pollués.....	22
Figure 2 : Composantes d'un diagnostic en sites et sols pollués et codifications associées dans la série de normes NF X31-620.	26
Figure 3 : Synoptique des relations entre les différents acteurs impliqués dans les diagnostics en sites et sols pollués.....	31
Figure 4 : Exemple d'un bilan matière pour l'identification des substances polluantes.	46
Figure 5 : Pratiques de gestion environnementale et sources d'information correspondantes.....	48
Figure 6 : Poids global des 7 familles de polluants couramment identifiées dans les sols ou les nappes des SSP (extrait de « MTEs/DGPR, Basol au 4 juillet 2018. Traitements : SDES, 2018 »).	65
Figure 7 : Exemple de mécanisme de dégradation de solvants chlorés sur un site pollué.....	66
Figure 8 : Influence du niveau de détail des investigations sur les coûts associés (d'après Lecomte « Les sites pollués » Editions Lavoisier, 1998).	71
Figure 9 : Exemples de plans d'échantillonnage systématique ou aléatoire.	77

Figure 10 : Exemples de plans d'échantillonnage guidé.....	78
Figure 11 : Exemples de techniques de forage couramment utilisées en France.....	85
Figure 12 : Exemple de sondage réalisé au carottier Sonique (à gauche) - Ensachage de la carotte (à droite et en bas).	86
Figure 13 : Exemples de tranchées réalisées à la pelle mécanique.....	87
Figure 14 : Prélèvement de sol avec le kit méthanol : seringue coupée (à gauche) et flacon pré-rempli de méthanol (à droite).	89
Figure 15 : Prélèvement de sol avec un cylindre d'échantillonnage en inox (photo du haut) et un échantillonneur à usage unique (photo du bas).	90
Figure 16 : Cylindre d'échantillonnage en inox « grand volume ».	91
Figure 17 : Prélèvement de sol en flacon brut.	92
Figure 18 : Schéma conceptuel de propagation d'une phase LNAPL en milieu granitique dans l'horizon fracturé (traduit de Claire, 2014).	103
Figure 19 : Exemples d'adaptation de la profondeur des ouvrages et de la position de la crépine en fonction du polluant (source BRGM).....	105
Figure 20 : Coupe schématique d'un forage équipé (adaptée du Guide MTECT sur la surveillance des eaux souterraines, décembre 2022).....	106
Figure 21 : À gauche : exemple d'un forage équipé de deux tubes (source Guidance on Monitoring of Landfill Leachate, Groundwater and Surface Water, 1_533191 - UK Environment Agency). À droite : exemple de forages en flûte de Pan – légende voir Figure 20 (source : Guide MTECT, décembre 2022).	107
Figure 22 : Exemple de sonde permettant de réaliser des diagraphies des eaux souterraines (Aquatroll 600) (source INERIS).	109
Figure 23 : Micromoulinet (source BRGM).....	110
Figure 24 : Mesures des paramètres physico-chimiques d'une eau souterraine (source BRGM).	111
Figure 25 : Exemples de différents types de pompes.	114
Figure 26 : Différentes configurations pour l'utilisation des packers : A – prélèvement à différents niveaux de la nappe, B –prélèvement en fond d'ouvrage (source Projet BIODéPOL, INERIS).	115
Figure 27 : Illustration de bailers (source INERIS).	116
Figure 28 : Exemple de filtration à l'aide d'une seringue et d'un filtre (source BRGM).	117
Figure 29 : Traitement des eaux sur site par filtre à sable puis filtre à charbon (source BRGM).....	118
Figure 30 : Flacons et glacière de transport (source BRGM).	119
Figure 31 : Exemple d'échantillonneur passif instantané : Hydrasleeve™ type "SKINNY SuperSleeve 2", avant (à gauche) et après prélèvement (à droite) (source INERIS).	121
Figure 32 : Exemple d'échantillonneur passif à l'équilibre : PDB (polyethylene diffusion bag) (source INERIS).	121
Figure 33 : Exemple d'échantillonneurs passifs intégratifs : Dosimètre en céramique (à gauche) POCIS pour les polluants polaires (à droite) (source INERIS).	121
Figure 34 : Difficultés possibles dans le cadre d'investigations des eaux souterraines.	123
Figure 35 : Préleveur multi-niveaux à bas débit (source BRGM).....	124
Figure 36 : Illustration d'échantillonnages directs (© BRGM).	132

Figure 37 : Illustrations d'échantillonnages indirects (canne d'échantillonnage avec un bécet à gauche, seau à droite) (© BRGM).....	132
Figure 38 : Exemples d'outils manuels d'échantillonnage.	134
Figure 39 : Préleveur d'échantillons automatique & portable - SIGMA AS950 isotherme (©SIGMA).....	134
Figure 40 : Illustration de la filtration d'une eau superficielle à l'aide d'une seringue (© BRGM).....	136
Figure 41 : Sources d'erreur d'échantillonnage (NF EN ISO 5667-14).....	139
Figure 42 : Échantillonneur Surber (à gauche) et drague (à droite) (source (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011).	144
Figure 43 : Échantillons de bryophytes collectés sur la Tardes (source Ademe).	144
Figure 44 : Protocole d'échantillonnage pour les composés inorganiques et organiques dans les sédiments adapté (Schiavone et Coquery, 2011).....	149
Figure 45 : Exemples d'outils d'échantillonnage de sédiments.	150
Figure 46 : Vue d'une carotte de sédiment du dessus : répartition spatiale du sédiment en fonction des analyses à réaliser (IFREMER, 2007).....	151
Figure 47 : Influence de facteurs liés à la construction sur l'intrusion de vapeurs dans un bâtiment (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).	158
Figure 48 : Schéma de principe d'un piézair (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).	162
Figure 49 : Exemples de chambres à flux sur dalle béton ou sol nu (© Guide BRGM, INERIS, 2016).....	164
Figure 50 : Différents types d'ouvrages permettant les mesures de gaz du sol (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).	164
Figure 51 : Exemples de pompes de prélèvement d'air.	166
Figure 52 : Photographie d'un tube de charbon actif (source © BRGM).....	166
Figure 53 : Différents types de supports pour l'échantillonnage passif.....	167
Figure 54 : Photographie d'un canister.	167
Figure 55 : Figure permettant de visualiser les contextes d'investigations de chaque type de poussières (source BRGM).....	178
Figure 56 : Exemple de lingette et gabarit utilisés pour le prélèvement de poussières sédimentées intérieures.	182
Figure 57 : Exemples de préleveurs automatiques séquentiels (source : INERIS).	188
Figure 58 : Photographie d'une station météorologique avec mat de 10 m (source : EVADIES/BRGM).....	189
Figure 59 : Exemple de prélèvement de poussières en suspension dans l'air intérieur de logements (prélèvement en continu, à bas débit, durant une période de 7 jours consécutifs au niveau de la pièce de vie principale) (source : INERIS).....	190
Figure 60 : Exemples de collecteurs de dépôts atmosphériques totaux (source : photo en haut EVADIES/Brgm, photo en bas INERIS).	194
Figure 61 : Schéma de principe du devenir des polluants dans les systèmes sol-air- plante et voies d'entrées dans les végétaux (« Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux », ADEME, INERIS, 2014).	199
Figure 62 : Exemples d'espèces prélevées en rivière.	209
Figure 63 : Exemples d'échantillonnage de poissons en rivière.....	210
Figure 64 : Echantillons de poissons conditionnés pour expédition au laboratoire (source Ademe).....	211

Figure 65 : Potentiel de perméation de composés organiques.	214
Figure 66 : Représentation schématique des types d'échantillonnage de terres à excaver (in situ) ou des lots de terres excavées (en andains sur site) (source : BRGM).....	219
Figure 67 : Entreposage des terres sur site en tas (source : BRGM).	220

1 Champ d'application

Les diagnostics peuvent intervenir dans différents contextes de gestion des sites et sols pollués. Ils ont pour objet la collecte de données et mesures sur le site (et/ou dans son environnement) dans le but de caractériser les sources de pollution, les voies de transfert et/ou les milieux d'exposition et de comprendre les mécanismes de propagation des pollutions constatées. De ce fait, la nature et le contenu des diagnostics à entreprendre dépendent spécifiquement du contexte et des objectifs attendus. Ils prennent nécessairement un caractère itératif et répondent aux principes de spécificité et de proportionnalité.

Le présent guide constitue un point d'entrée intégrant les informations essentielles sur les différentes étapes de conception et de réalisation des diagnostics avec la mise en œuvre des campagnes d'investigations spécifiques à chaque milieu. Le tableau suivant présente toutes les étapes décrites dans ce guide avec un renvoi aux chapitres du guide.

<u>Chapitres du guide</u>	<u>Etapes décrites dans le guide</u>
[§ 2 et § 3]	Définition des enjeux et des objectifs
[§ 4]	Responsabilités des acteurs
[§ 5]	Gestion des aspects liés au site et à la sécurité
[§ 6]	Etudes documentaires préalables Au diagnostic (<i>le cas échéant</i> *)
[§ 7]	Elaboration du programme d'investigations
[§ 8]	Campagnes d'investigations sur les milieux
[§ 9]	Techniques d'investigation et de mesures sur site
[§ 10]	Techniques d'investigation innovantes
[§ 11]	Elaboration de l'Environnement Local Témoin
[§ 12]	Transport et stockage des échantillons
[§ 13]	Livrables

Note 1 () : les études documentaires ne sont pas réalisées systématiquement. Elles peuvent être menées préalablement au diagnostic (selon le contexte), afin de collecter des données sur le site (et son environnement) et élaborer un premier schéma conceptuel à partir duquel le diagnostic sera mis en œuvre.*

Ce guide fait un rappel des enjeux et des objectifs des diagnostics avec un point d'attention sur leurs limites et les incertitudes inhérentes à chacune des étapes d'investigations. Il précise également le rôle des acteurs impliqués dans les diagnostics (leurs responsabilités et leur inter relations dans les différentes tâches à accomplir).

Il s'applique à tous les sites relevant de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués c'est-à-dire présentant potentiellement des problématiques de pollution affectant un ou plusieurs milieux. Les sites concernés peuvent relever ou non de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Il peut s'agir de sites industriels, civils, militaires, d'anciennes friches à réhabiliter, etc.

Les milieux abordés dans ce guide et pouvant faire l'objet d'une caractérisation dans le cadre d'un diagnostic sont les sols en place, les terres excavées, les eaux souterraines et les eaux superficielles mais également d'autres milieux intégrateurs d'une pollution (sédiments, gaz du sol, air ambiant/air intérieur, poussières, denrées alimentaires (produits végétaux et animaux, l'eau du robinet).

Les polluants étudiés dans ce guide et recherchés dans ces milieux correspondent aux pollutions chimiques : pollutions inorganiques et organiques (composés volatils et non volatils).

La gestion des pollutions par des substances radioactives, pathogènes ou infectieuses, l'amiante ou des pollutions pyrotechniques, est couverte par des réglementations ou normes spécifiques, et n'est pas traitée dans ce guide.

Ce guide prend également en compte le retour d'expérience et les nouvelles connaissances acquises depuis la dernière version du guide en 2007, et notamment :

- des groupes de travail sur l'échantillonnage et les analyses en laboratoires ;
- des guides techniques spécifiques à certains milieux (sols, eaux, air, végétaux, terres excavées, ...) ;
- des progrès techniques et scientifiques sur les diagnostics (géophysique, dendrochimie, phytoscreening, outils de biologie moléculaires, ...).

Les valeurs de référence des milieux de même que le traitement des données et l'interprétation des résultats ne sont pas abordés dans ce guide.

2 Cadre méthodologique

2.1 Méthodologie de gestion des SSP

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, publiée le 19 avril 2017, a réaffirmé les grands principes de gestion édictés en 2007 (principe de spécificité, gestion des risques selon l'usage des milieux, maîtrise des sources de pollution et de leurs impacts, traitement proactif des sources de pollution, prise en compte du bilan environnemental global).

La méthodologie présente de façon détaillée les principaux outils de gestion (schéma conceptuel, études documentaires, études de vulnérabilité des milieux, visite de site, diagnostics, ...) et les deux démarches de gestion (interprétation de l'état des milieux, plan de gestion).



Pour aller plus loin, le lecteur est invité à consulter les documents relatifs à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués accessibles sur le site :

<http://ssp-infoterre.brgm.fr/methodologie-nationale-gestion-sites-sols-pollues> :

- Introduction à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués
- Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués
- Plaquette de présentation de la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués

2.2 Élaboration du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel est la première étape nécessaire et indispensable à toute démarche de gestion. Il schématise de manière synthétique toutes les données collectées sur le site pour évaluer qualitativement un risque pour la population et l'environnement, au regard des usages, des modes d'exposition et des enjeux.

Cette étape doit permettre d'appréhender l'état du site (et des milieux) et identifier les relations entre les sources de pollution, les voies de transfert et les enjeux à protéger (population, ressources en eau, zones naturelles, ...). Elle repose sur une collecte d'informations issues des études réalisées sur le site. Parmi ces études, le diagnostic va permettre d'acquérir un degré de connaissance proportionné aux enjeux visés sur la qualité des milieux.

L'identification des sources et l'étendue des pollutions doivent être fondées sur des diagnostics dont les incertitudes doivent être identifiées et discutées. Dans la mesure du possible, et lorsque l'objectif est de caractériser les expositions des populations, la mesure directe dans les milieux d'exposition est ainsi à privilégier aux études de modélisation.

Le schéma conceptuel s'inscrit dans une démarche progressive et itérative. Il va évoluer à chaque étape du processus de gestion au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données (étude documentaire, visite de site, investigations, plan de gestion, ...). C'est ainsi que les hypothèses formulées en début d'étude pour identifier les milieux, les enjeux, les voies de transfert et d'exposition potentiels vont être confirmées ou infirmées au fur et à mesure de ce processus.

Les études réalisées sur un site et dans son environnement doivent donc être menées avec grand soin et sans négligence pour aboutir à un schéma conceptuel solide et robuste qui permettra de proportionner et d'orienter les actions à mener.

Après mise en œuvre des mesures de gestion, le schéma conceptuel va évoluer vers un modèle de fonctionnement qui va intégrer les résultats des campagnes de surveillance des milieux et vérifier l'efficacité des mesures de gestion.



Documents relatifs au schéma conceptuel :

Ministère de l'Écologie — Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement, V0. Février 2007 : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/schema-conceptuel>

Norme NF EN ISO 21365 - Qualité du sol - Schémas conceptuels de sites pour les sites potentiellement pollués.

2.3 Place des diagnostics dans la gestion des SSP

Les diagnostics visent à fournir les éléments nécessaires à la construction du schéma conceptuel et, de manière générale, à la gestion du site (cf. Figure 1). Ainsi, dans le cadre de l'interprétation de l'état des milieux, ils doivent fournir les éléments permettant d'évaluer la compatibilité entre le niveau de pollution et les usages constatés. Dans la phase préliminaire d'un plan de gestion, les diagnostics visent à caractériser les pollutions et leur extension. Ultérieurement, la définition des mesures de gestion et des objectifs de réhabilitation associés peut conduire à engager de nouvelles phases de diagnostic, prenant généralement la forme d'investigations complémentaires. Le caractère itératif de la démarche de diagnostic est encore accentué.

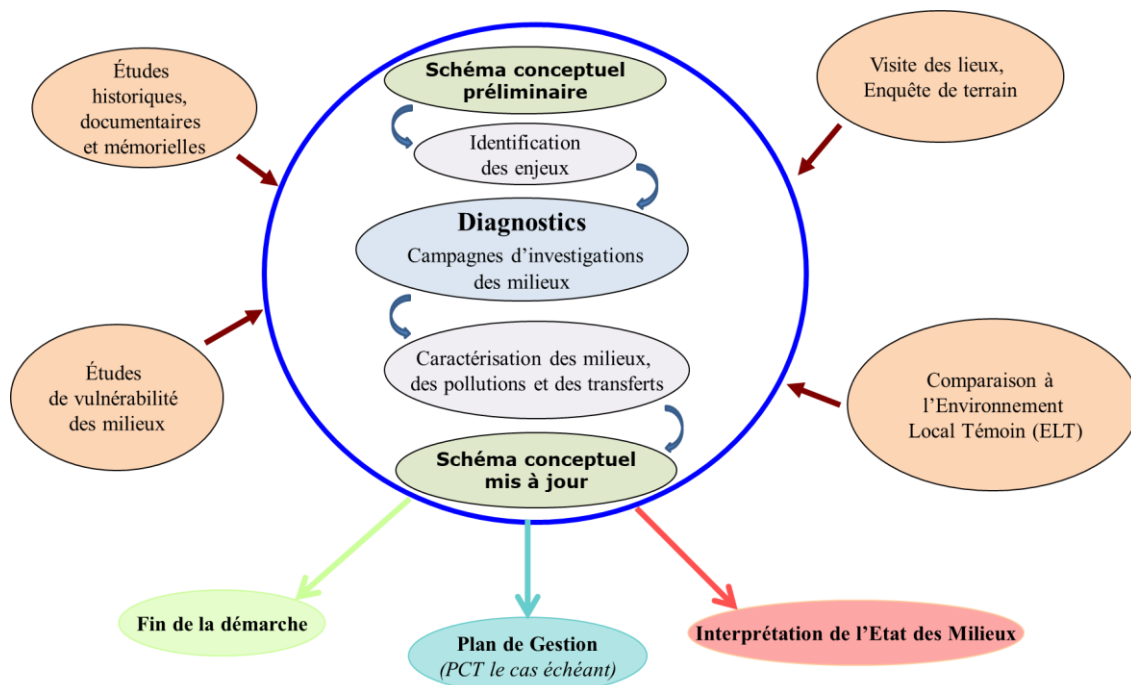


Figure 1 : La place des diagnostics dans la gestion des sites et sols pollués.

Le processus de gestion présenté dans ce guide décrit de manière générale et chronologique la succession de différentes étapes d'études (déclinaison linéaire de la méthodologie d'avril 2017). Néanmoins, ce processus est à adapter au contexte du site et aux enjeux associés afin de mettre en œuvre l'étape la plus adaptée au besoin rencontré.

Dans ce contexte, les diagnostics reposent sur un schéma conceptuel pouvant être alimenté par des études préalables (réalisées ou non selon le contexte et les objectifs des diagnostics).

Ces études préalables au diagnostic peuvent comprendre :

- des recherches historiques et documentaires permettant de recenser les activités exercées par le passé, les produits utilisés et stockés, les pratiques de gestion, les accidents et incidents répertoriés, et d'identifier les zones potentiellement polluées (**cf. § 6.1**) ;
- une étude de vulnérabilité des milieux qui consiste notamment à étudier les contextes géologique et hydrogéologique, appréhender les mécanismes de transfert ou de rétention des polluants et ainsi définir les milieux susceptibles d'être atteints par une pollution, et enfin de connaître les usages des différents milieux concernés sur site et aux abords du site (**cf. § 6.2**) ;
- une ou plusieurs visites sur site et dans son environnement pour compléter les recherches documentaires, vérifier l'état actuel du site, identifier les pratiques des usagers, ... (**cf. § 6.3**) ;
- une étude du comportement des polluants identifiés sur le site (**cf. § 6.4**).

À l'issue de ces études, un premier schéma conceptuel est élaboré, ce qui permet d'argumenter sur la nécessité d'élaborer, ou non, un programme prévisionnel d'investigations.

Les diagnostics, réalisés sur la base d'un programme d'investigations (**cf. § 7**), comprennent :

- des campagnes d'investigation des milieux et de mesures réalisées sur site, voire hors site: (**cf. § 8, § 9, § 10**) ;
- des campagnes de prélèvements réalisées en dehors des zones d'influence du site : investigations pour caractériser l'Environnement Local Témoin (**ELT ; cf. § 11**).

À l'issue des diagnostics, le schéma conceptuel est mis à jour pour caractériser les pollutions, les voies de transfert et les milieux d'exposition, et évaluer les risques au regard du contexte et des enjeux à protéger (population, ressources en eau, biodiversité, ...).

3 Contexte et objectifs des diagnostics

3.1 Cadre normatif des diagnostics

Les prestations relatives aux études de diagnostics sont décrites dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620 - Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués.



Pour aller plus loin, le lecteur est invité à consulter les parties 1 et 2 de la norme NF X31-620 sur le site :

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/norme/nf-x31-620>

- Partie 1 : Exigences générales
- Partie 2 : exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle

Cette norme fixe les exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle. Elle a pour objet de guider les donneurs d'ordre dans la définition de leurs besoins et de clarifier les relations contractuelles avec les prestataires. Elle donne un référentiel commun à tous les acteurs des sites et sols pollués, en cohérence avec la méthodologie nationale et la réglementation en vigueur.

Les diagnostics sont codifiés dans la norme par la prestation globale « DIAG ». Cette prestation comprend des campagnes d'investigations sur les milieux (prestations élémentaires référencées A200 à A260, selon le milieu). La prestation « DIAG » comporte également une interprétation des résultats (prestation A270) qui n'est pas traitée dans ce guide.

Les études préalables au diagnostic, présentées dans ce guide, sont codifiées dans la norme par la prestation globale « INFOS ». Cette prestation comprend la réalisation d'une ou plusieurs visites de site (A100), des études historiques et documentaires (A110) et les études de vulnérabilité des milieux (A120), afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations (prestation A130).

Toutes ces prestations sont réalisées sur des sites relevant de la méthodologie nationale SSP pouvant être identifiés après une prestation LEVE (levée de doute).

La Figure 2 suivante présente les composantes d'un diagnostic en sites et sols pollués et les prestations codifiées dans la série de normes NF X31-620 (partie 2).

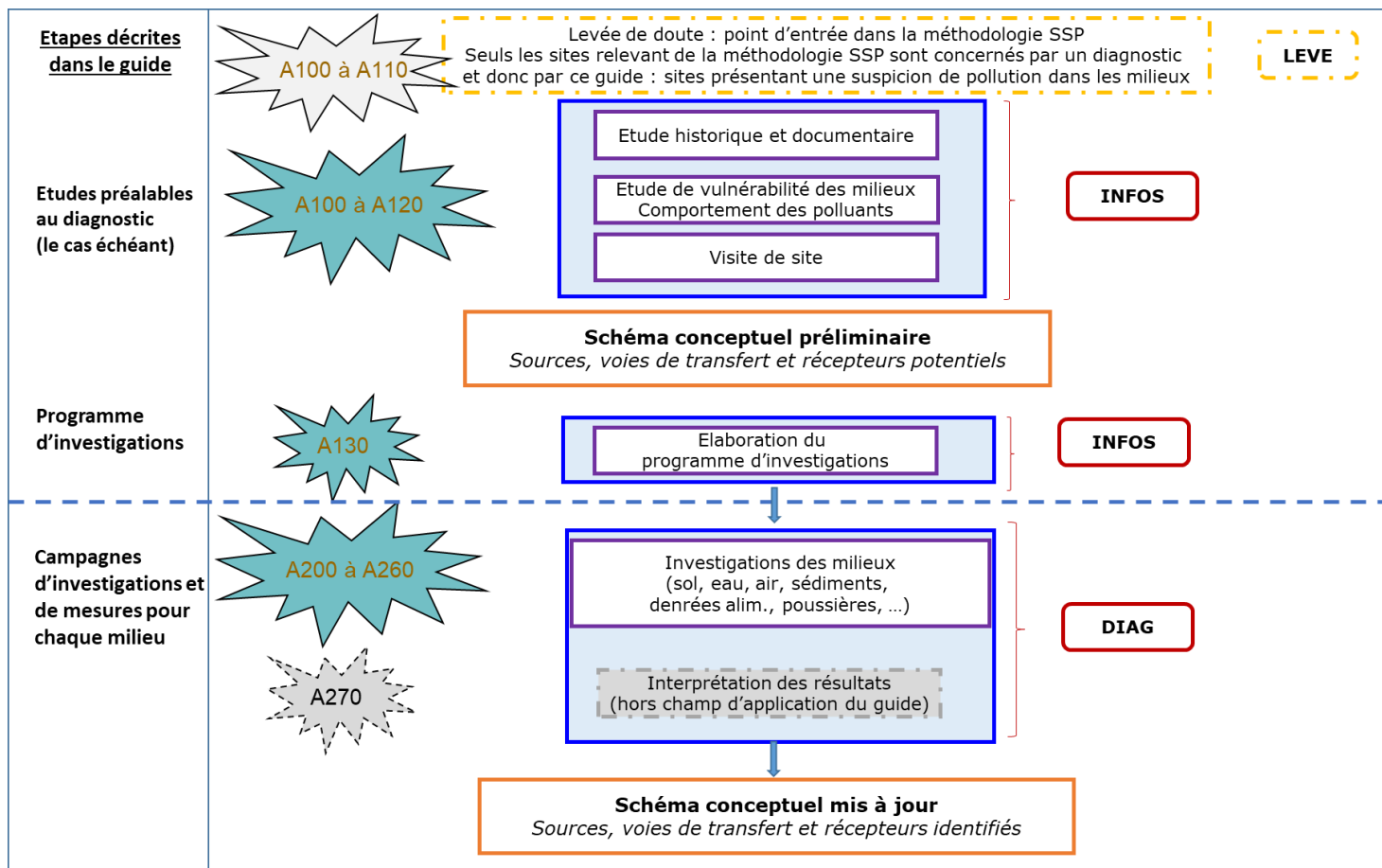


Figure 2 : Composantes d'un diagnostic en sites et sols pollués et codifications associées dans la série de normes NF X31-620.

3.2 Contextes des diagnostics

Dans la gestion des sites et sols pollués, les diagnostics peuvent être réalisés dans différents contextes :

- état initial dans le cadre de l'exploitation d'une ICPE (étude d'impact, autorisation environnementale, ouvrages d'installation, rapport de base, ...) ;
- état des lieux dans le cadre d'une transaction immobilière (opérations de rachat/vente, loueur/bailleur, expropriation) ou d'un projet de requalification de sites ;
- évaluation du passif environnemental d'un site dans le cadre d'une cession/acquisition d'une entreprise ;
- gestion des terres dans le cadre de travaux et de terrassements ;
- constat de pollution dans le cadre d'un accident (fuite, incendie...) ;
- cessation d'activité d'une ICPE en vue du mémoire de réhabilitation ;
- caractérisation des milieux d'exposition pour vérifier la compatibilité de la pollution avec les usages constatés sur ces milieux ou l'impact d'une pollution hors site ;
- acquisition d'informations nécessaires au dimensionnement et/ou au contrôle des opérations de dépollution ;
- mise en place d'un programme de surveillance environnementale ;
- ...

Ces diagnostics peuvent donc être menés sur la base d'actions volontaires ou réglementaires.

Dans le cadre de la cessation d'activité d'une ICPE, la priorité va à la mise en œuvre de mesures de mise en sécurité afin de supprimer rapidement les dangers et inconvénients associés à l'installation mise à l'arrêt. Les diagnostics nécessaires à l'élaboration du mémoire de réhabilitation doivent donc être menés après la mise en sécurité, sauf s'ils s'avèrent indispensables au bon déroulement de cette étape préalable. Dans ce cas, ils devront être menés avec les précautions indispensables pour prévenir les risques associés à l'installation.

3.3 Objectifs des diagnostics

Selon le contexte, les diagnostics peuvent être menés pour différents objectifs :

- caractériser les sources de pollution et les milieux de transfert/d'exposition ;
- évaluer et comprendre le comportement des polluants ;
- cartographier les zones en fonction de leur niveau de pollution ;
- quantifier et caractériser les volumes de terres à gérer / de masse de polluant (sols pollués en place, terres excavées) ;
- caractériser un état de référence (Environnement Local Témoin) ;
- contrôler l'atteinte des objectifs de réhabilitation fixés ;
- contrôler la qualité des milieux et suivre leur évolution dans le temps et l'espace.

Les diagnostics sont des outils itératifs et évolutifs qui interviennent à différents stades et dans différents contextes de gestion. Ils vont permettre de construire et affiner le schéma conceptuel et le modèle de fonctionnement du site au fur et à mesure de l'acquisition des données sur les différents milieux.

Les moyens mis en œuvre pour réaliser ces diagnostics doivent être proportionnés aux enjeux et spécifiques au site : à chaque situation, son diagnostic.

3.4 Milieux concernés

Les milieux abordés dans ce guide et pouvant faire l'objet d'une caractérisation dans le cadre d'un diagnostic sont présentés dans le tableau suivant.

<u>Chapitres du guide</u>	<u>Milieux traités dans le guide</u>
[§ 8.1]	Les sols
[§ 8.2]	Les eaux souterraines
[§ 8.3]	Les eaux superficielles
[§ 8.4]	Les sédiments
[§ 8.5]	Les gaz du sol, l'air ambiant extérieur et l'air intérieur
[§ 8.6]	Les poussières (sédimentées, en suspension, sédimentables)
[§ 8.7]	Les denrées alimentaires (produits végétaux et animaux, eau du robinet)
[§ 8.8]	Les terres excavées

Ces milieux peuvent constituer une source de pollution, un milieu de transfert (selon le contexte environnemental) et/ou un milieu d'exposition (selon l'usage de ces milieux), et/ou un futur déchet (cas des terres excavées sortant du site).

La faune et la flore sont abordées dans le cadre des investigations menées sur certains milieux (par exemple : recherche d'indicateurs biologiques des milieux aquatiques pour évaluer la qualité d'un cours d'eau : poissons, bryophytes ou diatomées, etc.). Ils sont également abordés au chapitre 1 « techniques d'investigations innovantes ».

3.5 Limites des diagnostics

La qualité globale des diagnostics de sites et sols pollués dépend de la qualité de chaque étape, à savoir, l'étude documentaire (le cas échéant), la stratégie d'investigation, l'échantillonnage, la préparation, l'analyse, l'évaluation et l'interprétation des résultats.

Les campagnes d'investigations menées dans le cadre des diagnostics consistent à échantillonner les milieux en vue de leur caractérisation. Cette action consiste à prélever une partie considérée comme représentative d'un milieu, dans le temps et dans l'espace, en vue de l'examen de diverses caractéristiques définies. Ces investigations sont dépendantes des contraintes du site (difficultés d'accès à certaines zones, source de pollution extérieure), de l'hétérogénéité du milieu (nature des sols, perméabilité, porosité, ...), et du comportement des polluants (propriétés, variabilité dans le temps et l'espace). Elles ne peuvent donner qu'une vision discontinue et ponctuelle de la qualité des milieux et de leur évolution.

Des incertitudes existent à chacune des étapes d'investigations : de la phase documentaire jusqu'à l'échantillonnage et l'analyse de l'échantillon. Certaines incertitudes sont quantifiables comme les incertitudes analytiques, d'autres uniquement qualifiables (par exemple : estimation des pertes par volatilisation lors d'une étape de foration ou d'échantillonnage).



Document ADEME - Prise en compte des notions d'incertitude dans la gestion des sites et sols pollués (novembre 2019) :

Ce document s'attache à identifier des sources d'incertitude aux différentes étapes du cycle de la donnée, qui va de l'échantillonnage des milieux, à l'utilisation des informations collectées pour définir des choix de gestion, en passant par l'analyse, la représentation, l'interprétation, etc.

Document disponible sur le site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/prise-compte-incertitude-gestion-ssp>

Les incertitudes en lien avec les modes opératoires peuvent être estimées et contrôlées sur la base d'une procédure d'assurance et de contrôle de la qualité.

Des incertitudes sont également associées à l'interpolation des données. Elles peuvent être quantifiées dans le cas d'interpolation par géostatistique et être utilisées pour cibler les diagnostics complémentaires dans le but de les réduire.

L'ensemble des **sources de variabilité liées au diagnostic** (limites, représentativité, incertitudes analytiques, ...) est à prendre en compte dans l'interprétation des résultats. Leurs conséquences sur les aspects techniques et financiers sont également à préciser dans les livrables et accompagnées de propositions visant à les réduire (par exemple, par l'acquisition de données de terrain complémentaires, etc.).

4 Rôles et responsabilité des acteurs

Le synoptique ci-dessous (cf. Figure 3) présente les acteurs classiquement rencontrés dans le contexte des sites et sols pollués ainsi que leurs relations, pour les prestations conduites dans le cadre du domaine A « études, assistance et contrôle » (NF X31-620 - Parties 1 et 2).

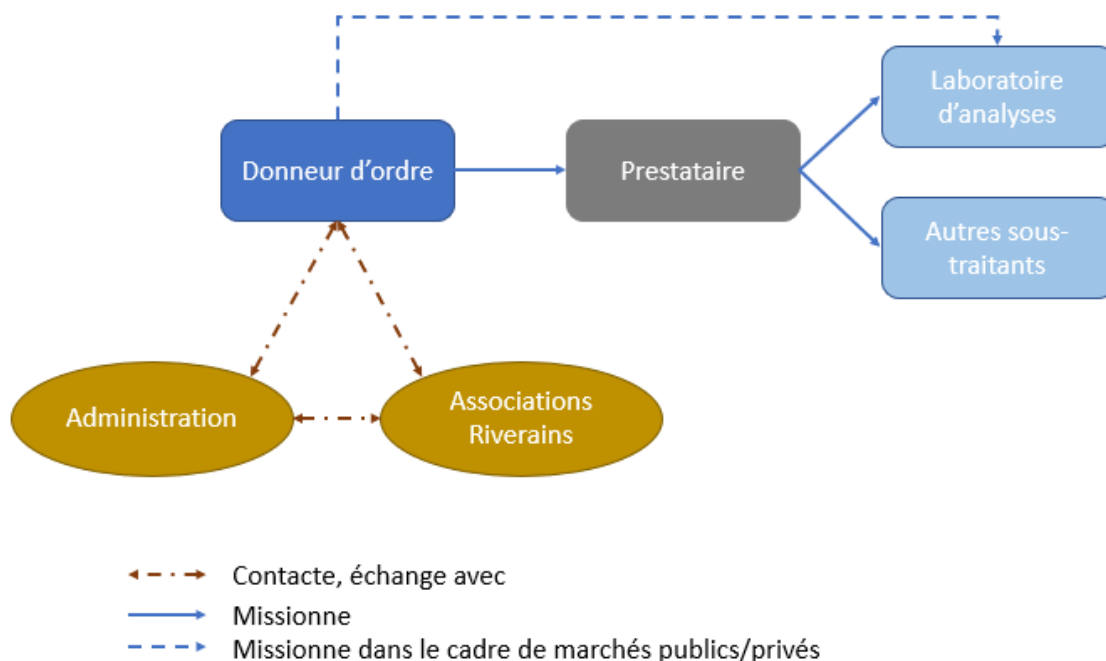


Figure 3 : Synoptique des relations entre les différents acteurs impliqués dans les diagnostics en sites et sols pollués

Les rôles et responsabilité décrits ci-dessous reflètent ce qui est observé à ce jour.

4.1 Prestataire

Le prestataire est missionné par le donneur d'ordre pour réaliser le diagnostic. Il fournit à ce dernier un service (cf. définition NF X31-620-1) et engage sa responsabilité, le cas échéant, vis-à-vis de l'organisme de certification. Ses tâches consistent à prélever les milieux pour répondre aux objectifs de l'étude (localiser et délimiter les sources de pollution, réaliser un bilan-massique, évaluer les risques sanitaires...), envoyer les échantillons au laboratoire d'analyse et interpréter les résultats, afin de formuler le cas échéant des recommandations. Les conseils techniques émis visent à orienter les décisions du donneur d'ordre en termes de mesures de gestion, par exemple.

Vis-à-vis du donneur d'ordre, et selon les exigences de la NF X31-620-1 (Annexes A et B), il est exigé qu'un prestataire en sites et sols pollués, lors de prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur un milieu, mette à disposition du personnel compétent et disposant des formations adaptées, des matériels et équipements conformes aux procédures. Les 16 engagements auxquels doit satisfaire le prestataire sont décrits dans la norme précitée. Dans le cadre du domaine A, le prestataire est également redevable de conseils et est tenu à une obligation de moyens. À titre illustratif, le prestataire est responsable des moyens mis en œuvre pour garantir la représentativité des échantillons prélevés sur le terrain, en lien avec les objectifs de l'étude.



Lorsque plusieurs campagnes d'investigations sont menées **sur un même site**, il convient si possible et si pertinent de garder **le même prestataire et le même protocole de prélèvement**.

En concertation avec le donneur d'ordre, le prestataire s'adapte autant que possible aux aléas et opportunités rencontrés sur le terrain : niveaux d'eau constatés entraînant des modifications sur la profondeur des piézomètres, présence de réseaux enterrés conduisant au décalage voire l'annulation des points de sondages, absence d'autorisation d'accès sur les parcelles privées, mais aussi articulation différente des tâches du fait de la co-activité...

Les contenus administratif, technique et financier de l'offre de prestation sont détaillés dans la partie 1 de la norme NF X31-620. Le recours à la sous-traitance est mentionné ainsi que les responsabilités.

Le livrable remis au donneur d'ordre est suffisamment décrit et détaillé pour que ce dernier dispose de tous les éléments relatifs à la stratégie d'investigation engagée, aux tâches réalisées, et aux difficultés rencontrées (traçabilité des actions mises en œuvre) pour mettre en perspective les résultats de l'étude.

Le prestataire peut être missionné par le donneur d'ordre pour procéder en fin de chantier à certaines déclarations administratives (comme par exemple : déclaration de sondages, forages, prélèvements).

Vis-à-vis du laboratoire, le prestataire est responsable des tâches suivantes :

- collecte d'échantillons, conditionnement et envoi des échantillons dans les glacières mises à disposition par le laboratoire ;
- transmission des consignes relatives à la préparation des échantillons : tamisage ou non des sols, filtration ou non des eaux, lavage/épluchage des végétaux...

Vis-à-vis des sous-traitants, le prestataire est en charge de définir les tâches sous-traitées et d'assurer leur sécurité sur le terrain en transmettant les informations relatives aux dangers potentiels et éventuellement les protocoles de sécurité (PGCSPS¹, PDP²). Le prestataire s'assure que le personnel en sous-traitance bénéficie des connaissances et du savoir-faire nécessaires à ses tâches, et s'engage à garantir la qualité de la prestation sous-traitée.

4.2 Laboratoire

Le laboratoire est soit choisi par le prestataire, soit imposé par le donneur d'ordre dans le cadre de marchés publics ou privés. Le laboratoire est en charge de préciser au prestataire, voire de lui fournir le flaconnage/les contenants/le matériel de prélèvement adaptés, de recevoir les échantillons, de conduire leur analyse et d'établir le rendu des résultats analytiques.

La sélection du laboratoire repose sur des critères à la fois techniques, organisationnels et budgétaires :

- critères techniques :
 - capacité à accepter et traiter le volume d'échantillons de la campagne envisagée,
 - analyses chimiques selon les accréditations (matrices et substances chimiques), agréments,
 - application de méthodes normalisées ou, à défaut, de méthodes internes (prétraitement, mise en solution, analyse). *A minima*, le laboratoire répond aux exigences de la norme ISO 17025³,
 - respect des consignes de préparation transmises par le préleveur,
 - limites de quantification (voire de détection) atteintes,

¹ PGCSPS : plan général de coordination, de sécurité et de protection de la santé

² PDP : plan de prévention

³ Norme ISO/IEC 17025 :2005, Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais

- incertitudes analytiques,
- fourniture du flaconnage adapté aux matrices et aux analyses ;
- critères organisationnels :
 - délai d'analyses,
 - jours de réception des échantillons ;
- critères budgétaires :
 - coût unitaire d'analyses,
 - frais supplémentaires éventuels liés à l'approvisionnement du flaconnage, à l'allongement de la durée de conservation.



Une **étroite collaboration entre le laboratoire d'analyse et le prestataire** est indispensable pour avoir une bonne traçabilité des méthodes de préparation et d'analyse des échantillons. Il est recommandé de communiquer avec le laboratoire en amont et lors de la phase d'échantillonnage.

Pour un même site d'étude, il est recommandé de conserver le même protocole de prélèvement lors des différentes campagnes et de faire appel, **si possible et si pertinent**, au même laboratoire d'analyse pour l'ensemble des campagnes, afin d'éviter tout biais analytique (différence de préparation, limites de quantification, méthodes analytiques, incertitudes analytiques, etc.).

En cas de changement de laboratoire, quelques analyses réalisées en doublon par l'ancien et le nouveau laboratoire sont recommandées.

L'incertitude analytique doit être systématiquement réclamée au laboratoire d'analyse si elle n'a pas été transmise par celui-ci.



À consulter également :

Un guide sur les analyses en laboratoire en contexte SSP disponible via le lien : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-analyses-en-laboratoire-en-contexte-sites-sols-pollues>

Les méthodes de préparation et d'analyses sur les sols sont identifiées **dans la partie 1 de la série de normes NF X31-620 – Annexe C (normative)** : « Normes analytiques de référence et performances minimales exigées pour la gestion des sites et sols pollués.

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/norme/nf-x31-620>

L'avis ministériel [NOR : TREP2027860V / JORF n°0315 / Texte n° 134] en date du 22 février 2022

[portant sur les méthodes normalisées de référence pour les mesures dans l'air, l'eau et les sols dans les installations classées pour la protection de l'environnement.

<https://aida.ineris.fr/reglementation/avis-220222-methodes-normalisees-reference-mesures-lair-leau-sols-installations>

Dans le cadre du groupe de travail relatif aux laboratoires, pour chacune des matrices traitées (sol, gaz du sol/air intérieur, eau, végétaux), un rappel est fait sur la répartition des responsabilités entre les préleveurs et les laboratoires, et sur l'importance des échanges techniques entre eux. Ainsi, des échanges préalables en amont de la phase de prélèvement sont essentiels pour assurer un bon déroulement de la prestation d'analyse.

Dans un objectif d'harmonisation des méthodes analytiques, les normes applicables et les performances analytiques, comprenant les limites de quantification à atteindre sur le territoire français sont compilées dans les 4 rapports suivants :

- Analyse des sols dans le domaine des sites et sols pollués – synthèse des réunions du Groupe de Travail Laboratoires, BRGM/RP-64749-FR, mai 2015 (mise à jour 2022) ; Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/analyse-sols-domaine-ssp> ;
- Analyse des gaz du sol, de l'air intérieur et extérieur en contexte sites et sols pollués – synthèse des réunions du Groupe de Travail des Laboratoires, BRGM/RP-65745-FR, mars 2016 ; Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/analyse-gaz-sol-air-interieur-exterieur-contexte-ssp> ;
- Analyse des eaux en contexte sites et sols pollués – synthèse des réunions du Groupe de Travail des Laboratoires, BRGM/RP-68202-FR, septembre 2018 ; Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/analyse-eaux-contexte-ssp>
- Guide pratique pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués, Ineris-201081-2373869-V1, mai 2022 ; Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/preparation-analyse-vegetaux-consommes-contexte-ssp>.

4.3 Sous-traitant

Le sous-traitant est la personne physique ou morale liée par contrat avec le prestataire qui lui confie, sous sa responsabilité, l'exécution d'une opération, dans le respect des règles et procédures internes du prestataire, à défaut selon les exigences de ce dernier (définition issue de NF X31-620-1). Il s'agit généralement d'entreprises de foration, de bureaux d'études (environnement, géomètre...) ou de laboratoires d'analyse.

La partie 1 de la série de normes NF X31-620 précise les tâches pouvant être sous-traitées dans le cadre des prestations élémentaires et globales. Le sous-traitant remonte au prestataire les éventuelles difficultés rencontrées qui ont nui à la qualité de la sous-traitance.

4.4 Donneur d'ordre

Comme précisé dans la norme X31-620-1, le donneur d'ordre est l'entité qui reçoit le produit d'une prestation. Il est nommé « client » dans un cadre transactionnel par son prestataire, mais aussi « maître d'ouvrage » ou « commanditaire » selon les usages et les métiers. Il peut s'agir d'un propriétaire terrien, d'un exploitant industriel, d'une collectivité, d'un promoteur immobilier ou d'un organisme public tel que l'ADEME.

En dehors du périmètre du site faisant l'objet du diagnostic, le donneur d'ordre assure généralement la communication avec les tiers (courriers, réunions, ...), notamment pour informer les parties prenantes sur la réalisation du diagnostic. Il peut se charger d'obtenir les autorisations et l'accès aux propriétés privées potentiellement localisées dans le périmètre d'impact ou dans les zones témoins, ou confier cela à son prestataire. Cette communication peut se faire sous l'égide du préfet selon le contexte.

Vis-à-vis des candidats à une consultation puis du prestataire retenu :

Le donneur d'ordre a la responsabilité d'informer de toutes les contraintes et risques qu'il aura identifiés en procédant le cas échéant aux diagnostics qui s'avèreraient pertinents (liste non exhaustive) :

- contraintes liées au site et à son activité (réseaux souterrains du domaine privé et du domaine public, stockages dangereux, co-activité...) dont les protocoles de sécurité ;
- l'autorisation d'accès à des parcelles ;

- les éventuelles conventions de rejet sur son site ;
- la présence d'amiante dans les enrobés, les bâtiments ;
- ...

Le donneur d'ordre sera en outre chargé de valider :

- les documents relatifs à la sécurité (plan de prévention) ;
- l'implantation prévisionnelle des sondages/forages ;
- le plan d'assurance qualité ;
-

Vis-à-vis de l'administration, le donneur d'ordre assure :

- la réalisation des études environnementales requises en missionnant les prestataires *ad hoc* et la proposition de mesures de gestion adéquates, le cas échéant ;
- la déclaration des piézomètres et ouvrages réalisés (qu'il peut éventuellement déléguer au prestataire) ;
- la transmission des résultats du diagnostic aux services compétents.

Vis-à-vis des riverains et des associations, le donneur d'ordre facilite :

- la communication avec les parties prenantes pour expliquer les étapes relatives aux études environnementales, pour obtenir les autorisations d'accès, pour diffuser les résultats des études et pour assurer la confidentialité des données privées (règlement RGPD⁴) ;
- la prise en compte et le traitement des plaintes.

4.5 Administration

Dans le contexte des sites et sols pollués, l'administration concernée est essentiellement territoriale et se compose des services déconcentrés de l'État relevant des ministères en charge de l'environnement (DREAL⁵, DEAL⁶, DRIEAT⁷), des services des affaires sociales et de la santé (ARS⁸, DD(CS)PP⁹), de l'Agriculture (DRAAF¹⁰) de la sûreté nucléaire (ASN¹¹) et des services interministériels (DDT(M)¹²). L'administration peut également inclure les maires qui exercent un pouvoir de police relatif aux déchets et aux pollutions hors contexte ICPE.

⁴ RGPD (règlement général sur la protection des données) : Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données)

⁵ DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁶ DEAL (DROM-COM) : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁷ DRIEAT : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports

⁸ ARS : Agence Régionale de la Santé

⁹ DD(CS)PP : Direction Départementale (de la Cohésion Sociale et) de la Protection de la Population

¹⁰ DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

¹¹ ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

¹² DDT(M) : Direction Départementale des Territoires (et de la Mer)

Les pouvoirs publics veillent en l'occurrence à la bonne application des textes régissant la gestion des sites et sols pollués, en particulier les textes réglementaires comme l'article R. 512-75-1 du code de l'environnement et la note du 19 avril 2017 relative à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. En tant que de besoin, notamment lorsque les risques environnementaux ou sanitaires peuvent survenir hors du site à l'origine de la pollution, les services coordonnent leurs actions conformément aux règles définies par l'instruction interministérielle du 27 avril 2017¹³ et l'instruction du 13 juin 2019¹⁴. Dans ce cadre les constats sont partagés afin que chacun apprécie les enjeux le concernant et adopter en conséquence les mesures relevant de ses missions (santé, environnement, alimentation, urbanisme, ...).

- *Le préfet coordonne l'intervention de ses services à partir du moment où il a été informé de la découverte d'une pollution relevant de son pouvoir de police.*

Dans un autre contexte (cadre de la directive cadre sur l'eau), l'administration (agences et offices de l'eau, DREAL, collectivités locales...) participe également à la mise en œuvre et à la coordination des politiques publiques de l'État en matière de préservation de la qualité des milieux (eau, air, sol), de la biodiversité et des paysages, de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances.

L'administration permet notamment de :

- développer et optimiser des méthodes analytiques ;
- améliorer la qualité des données du système d'information sur l'eau ;
- réaliser une veille scientifique et alerter sur les polluants qui ne font pas encore l'objet de réglementations.

Lorsque nécessaire, l'administration met en place une communication en direction des populations pouvant être affectées par une pollution. À l'initiative du Préfet et/ou du Maire, et de préférence en concertation, des réunions publiques sont organisées pour rendre compte des résultats des études et des investigations réalisées sur le terrain. D'autres actions plus ciblées (documents d'informations ou courriers en direction des riverains ou des associations qui les représentent) peuvent également être mises en œuvre afin d'aider à la réalisation des diagnostics (accès aux propriétés pour des prélèvements, recensement des usages des sols et de l'utilisation des terrains, etc.).

Vis-à-vis du donneur d'ordre, l'administration assure l'instruction des études de sols prescrites au titre de son pouvoir de police. Elle implique le donneur d'ordre dans les actions de communication entreprises d'un commun accord.

Passé l'examen des diagnostics et l'élaboration d'une communication, l'administration fait application de ses prérogatives ou de ses pouvoirs vis-à-vis du responsable de la dépollution :

- prescription le cas échéant d'études complémentaires et de travaux résultant des conclusions des diagnostics ;
- accord sur les mesures de gestion et des objectifs de réhabilitation, éventuellement sur la base de l'attestation réglementaire ATTES-MÉMOIRE pour les cessations d'activité déclarées à compter du 1^{er} juin 2022 ;
- accord sur les travaux de réhabilitation menés, éventuellement sur la base de l'attestation réglementaire ATTES-TRAVAUX pour les cessations d'activité déclarées à compter du 1^{er} juin 2022 ;

¹³ Instruction interministérielle n° DGS/EA1/DGPR/DGAL/2017/145 du 27 avril 2017 relative à la gestion des sites pollués et de leurs impacts nécessitant la mise en œuvre de mesures de gestion sanitaire et d'études de santé et/ou de mesures de gestion sanitaire des productions animales et végétales

¹⁴ Instruction n°DGS/EA1/2019/43 du 13 juin 2019 précisant les missions des Agences régionales de santé dans la gestion sanitaire des sites et sols pollués

- mise en œuvre, le cas échéant, des mesures de conservation de la mémoire de l'état des sols après travaux et/ou des mesures de restriction d'usage, par exemple par leur transcription dans les documents d'urbanisme par l'intermédiaire de SUP (restriction d'usage) ou de SIS (secteur d'informations sur les sols).

4.6 Riverains

Les riverains, parfois regroupés au sein d'une association, peuvent subir des dommages liés aux pollutions. Dans le cadre du diagnostic, ils ont un rôle actif dès lors qu'ils permettent un accès à leur propriété et à l'information.

Ces parties prenantes apportent leur connaissance et formulent leurs préoccupations. Elles peuvent participer à la prise de décision lors des commissions de suivi de sites (CSS¹⁵) qui succèdent aux CLIC et aux CLIS¹⁶, sous l'égide du Préfet. Le rôle des CSS est d'informer le public des problèmes posés par la gestion des déchets en ce qui concerne la santé humaine et l'environnement, et par les risques technologiques générés par les établissements classés « AS » (autorisation avec servitudes). Les CSS sont associées tout au long de l'élaboration des PPRT (Plan de Prévention des Risques Technologiques). À noter qu'il existe d'autres commissions auxquelles les riverains peuvent participer, comme par exemple la Commission Locale de l'Eau (CLE) dont les missions sont l'élaboration, la révision, le suivi de l'application du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

Lorsque les diagnostics peuvent induire des investigations en dehors d'un site, l'implication des populations est essentielle notamment pour leur expliquer les objectifs du diagnostic et répondre aux éventuelles questions (désignation d'un contact, horaires et planning de réalisation, gestion des nuisances, modalités de restitution des résultats, ...).

Pour cela, des supports de communication sont mis à disposition pour faciliter les échanges :

- Site <https://comrisk.fr/> pour **organiser l'implication des populations dans l'évaluation et la gestion des sites pollués** ;
- **Guide INERIS-IRSN, 2008. Implication des populations dans l'évaluation et la gestion des sites et sols pollués** : État de l'art. En partenariat avec la Cire Île-de-France. B. Hazebrouck, G. Baumont, C. Legout. INERIS DRC-07-61078-13306B. Mars 2008. Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/implication-populations-evaluation-gestion-ssp>.

Les riverains peuvent aussi participer au plan d'échantillonnage en autorisant un accès à leurs propriétés et des prélèvements (le droit au respect du domicile est protégé par l'article 8 de la convention européenne des droits de l'Homme).

Les riverains et les associations sont aussi à même d'alerter le donneur d'ordre, le prestataire, ou l'administration sur d'éventuels nuisances, dommages ou dysfonctionnements. Leur mobilisation peut conduire à la demande de réunions d'informations et de tierce-expertises des études environnementales et sanitaires réalisées.

Dès lors que les prélèvements ont lieu sur des parcelles privées, l'autorisation d'accès doit s'accompagner d'un engagement à restituer les résultats auprès du propriétaire. Cette restitution des résultats doit être complète, étayée et accessible à tous. Il est d'usage sur bien des sites de produire une note technique par parcelle, accompagnée d'un courrier plus général qui sera signé par l'autorité compétente et reprenant les principales conclusions et recommandations.

¹⁵ Décret n° 2012-189 du 7 février 2012 relatif aux commissions de suivi de site (CSS)

¹⁶ Comités Locaux d'Information et de Concertation (CLIC) et Commissions Locales d'Information et de Suivi (CLIS) respectivement relatives aux installations Seveso seuil haut et aux installations de traitement de déchets

5 Gestion des aspects liés à la sécurité et à l'environnement

Les aspects liés à la sécurité et à l'environnement sont présents dans les documents normatifs suivants :

- Partie 1 de la série de normes NFX 31-620 : Exigences générales - Engagement E9 et Annexe B (normative) ; Site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/norme/nf-x31-620>.
- Norme NF ISO 18400 - Qualité du sol - Échantillonnage - Partie 103 : Sécurité. Cette norme traite de la sécurité durant l'échantillonnage et d'autres activités d'investigation des sols.

Ces aspects sont également abordés au chapitre 3.7 de l'introduction à la méthodologie nationale de gestion des sites et sol pollués.

5.1 La sécurité et la protection des travailleurs

La fréquentation d'un site pollué sans précaution peut conduire à être exposé (ou à exposer autrui) à des risques de différentes natures (accidents tels que chute, coupure, électrocution, intoxication, irradiation, inhalation...). Ces dangers et les risques associés ne doivent pas être occultés. De la même façon, lorsque les travaux sont réalisés sur un site en cours de démolition, construction, réaménagement, il est nécessaire de réaliser un plan de prévention afin de gérer notamment les risques de co-activité.

Lorsqu'il s'agit d'un site en activité, l'exploitant est en mesure d'accueillir le visiteur (souvent son prestataire) et de lui préciser les conditions de sa visite sur le plan sécuritaire (lieux autorisés et interdits, consignes de sécurité, équipements, encadrement par du personnel interne, plans des installations à visiter, plan de circulation, ...). En général, les travaux réalisés sur un site en activité sont soumis à un plan de prévention afin de gérer notamment les risques de co-activité.

Lorsqu'il s'agit d'un site en friche, cette prise en charge est loin d'être aussi systématique et n'est pas nécessairement assurée par des personnes averties (élus, propriétaire du terrain, ...). L'intervention sur site doit alors être soigneusement préparée en amont. L'absence d'activité et même l'absence de danger connu ou apparent ne doit pas conduire à négliger cette préparation.

Différentes informations doivent être collectées en amont de la visite pour pré-identifier les sources de danger potentiellement présentes sur le site et prévoir les Équipements de Protection Collective (EPC tels que balisage, mesures d'air ambiant, ...) et les Équipements de Protection Individuelle (EPI tels que chaussures de sécurité, gants, casque, appareil de protection respiratoire, gilet de sauvetage, ...) qu'il convient d'utiliser pour se prémunir des risques identifiés.

Une fois sur le terrain, la première des règles qui s'impose est celle de la prudence. Lorsque l'on a un doute sur la solidité d'un bâtiment ou d'une structure, sur la présence de débris amianté, un diagnostic doit être engagé avant de s'y aventurer. Des travaux préalables de démontage, de désamiantage ou de renforcement peuvent parfois être ainsi décidés. Lorsqu'il s'agit d'espace confiné (cave...), des précautions particulières devront être prises (port de masque de protection respiratoire, analyseur terrain, contrôles de qualité de l'air ...) afin de garantir un accès en toute sécurité.

Le bon sens a aussi largement sa place comme l'interdiction de fumer, de boire, de manger, l'interdiction d'ouvrir des contenants (fûts, cubitainer, cuves, ...) si on ne dispose pas des protections, des formations et du matériel adéquat et si on n'a pas une bonne raison de le faire.

Enfin, il ne faut pas hésiter à repousser la visite si les conditions météorologiques sont mauvaises (vent fort, neige, etc.).

Au-delà de ces précautions, il convient aussi de rappeler que le code du travail impose aux employeurs, aux salariés et aux maîtres d'ouvrage un certain nombre de règles qui concourent à leur sécurité et à leur santé. Parmi ces règles, figurent l'obligation de réaliser une évaluation des risques pour définir les mesures de protection à mettre en place, et assurer un suivi des expositions et un suivi médical spécifique.

Les règles d'environnement, de santé au travail et de sécurité relatives aux interventions sur les sites et sols pollués sont à respecter par l'ensemble des intervenants (y compris les sous-traitants).

Sur le terrain, le foreur ou tout autre prestataire/sous-traitant doit être informé par son client (bureau d'étude ou maître d'ouvrage) des risques d'exposition à une pollution du sous-sol.

Au-delà du chantier, et lorsque cela est possible, la personne en charge des prélèvements signale au laboratoire d'analyses les échantillons susceptibles de présenter des fortes concentrations, pour la sécurité des laborantins, pour éviter les contaminations croisées et pour ne pas endommager les appareils.

Une attention particulière doit être portée aux échantillons susceptibles de contenir de l'amiante, des radioéléments, des substances générant un risque bactériologique et/ou infectieux,



Documents INRS liés à la sécurité et la protection des travailleurs :

- Article INRS (janvier 2001) : Réhabilitation de sites industriels pollués : prévention des risques professionnels : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/article/rehabilitation-sites-industriels-pollues-prevention-risques-professionnels>
- INRS : Documents de prévention relatifs à la sécurité des travailleurs : <http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html>

5.1.1 Analyse des sources de danger

Avant toute intervention sur site, l'ensemble des sources potentielles de danger doit être recherché, afin de définir les mesures pour les éviter ou sinon évaluer les risques pour identifier les mesures et moyens de protection à mettre en place.

Ces sources potentielles de danger peuvent avoir plusieurs origines (cf. Tableau 1 suivant).

Tableau 1 : Principales sources potentielles de danger liées aux travaux effectués sur sites pollués ou potentiellement pollués.

Principales sources potentielles de danger liées aux travaux sur sites pollués	
Origine mécanique :	<ul style="list-style-type: none"> - Machine de forage, - Appareils sous pression/dépression - Éléments sous contraintes : câbles, tuyauteries, ... - Éléments pouvant être à l'origine de chutes de hauteur : bâtiment délabrés, escalier, planchers, échelles en mauvais état, fosses, puits, tas de pneus, ... - Éléments pouvant être à l'origine de chutes de plain-pied : topographie, regards, caniveaux ouverts, souillures au sol, sol gelé, encombrement du sol, éclairage insuffisant, ... - Éléments menaçant de chute : toiture dégradée, structure menaçant de chuter, murs présentant des fissures, vitres cassées, ...
Origine chimique :	<ul style="list-style-type: none"> - Agents chimiques dangereux (ACD) : substances ou mélanges toxiques, agressifs, ..., dont des agents cancérigène, mutagène et toxique pour la reproduction (CMR),

Principales sources potentielles de danger liées aux travaux sur sites pollués	
	<p>Réactions chimiques induites par des produits réagissant à l'air, l'humidité, les UV, la chaleur, par un mélange de produits incompatibles,</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambiances inflammables et explosives générées par l'activité industrielle sensible (« zone feu ») et/ou par un milieu pollué, - Asphyxie : espaces ou enceintes confinées de types réservoirs, citernes, cuves, canalisations, caves mal aérées, ...
Origine électrique (lignes aériennes, réseau enterrés)	<ul style="list-style-type: none"> - Lignes aériennes, réseau enterré, utilisation d'appareils électriques, armoires électriques, transformateurs...
Origine humaine :	<ul style="list-style-type: none"> - Ancienne activités : pyrotechnie, pyrochimie, ... - Circulation - Malveillance - Co-activités sur le chantier - ...
Origine environnementales.	<ul style="list-style-type: none"> - Présence dans les sols de déchets et/ou de polluants renfermant des substances instables à l'air ou potentiellement dangereuses, - Contraintes climatiques (intempéries, grands froids, canicule, ...), - ...
Autres sources de danger	<ul style="list-style-type: none"> - Sources potentielles d'origine biologique (hôpitaux, bactéries virus, toxines, animaux), radioactive (hôpitaux, ancien site industriel ayant utilisé des sources radioactives (mesures de niveau ...), pyrotechnique (sites militaires, sites industriels stratégiques, zones historiques de bataille, bombardements, ...), ou liées à la présence d'amiante (remblais, bâtiment, matériaux, ...)

Ces sources de danger concernent tous les intervenants associés à la réalisation d'un diagnostic.

Selon les substances rencontrées, la présence de personnel non permanent (intérimaire, CDD) peut être interdite par le code du travail.

5.1.2 Recherche de la présence de réseaux

La prise en compte de la présence des réseaux en amont des investigations (notamment sondages, forages) est nécessaire pour qu'elles se déroulent en toute sécurité. Les travaux projetés à proximité de canalisations et réseaux enterrés doivent faire l'objet de déclarations à leurs exploitants, avant leur exécution.

Le maître d'ouvrage (ou responsable de projet) doit remplir la DT¹⁷ et l'exécutant des travaux (qui peut être une entreprise ou un particulier), doit compléter la DICT¹⁸. Depuis le 1^{er} février 2012, il est possible dans certains cas de lancer une procédure conjointe de DT-DICT.

Préalablement à toute DT et à toute DICT, il est obligatoire de consulter le téléservice du guichet unique « reseaux-et-canalizations.gouv.fr » ou un prestataire de service conventionné avec le guichet unique ou, en cas d'absence de connexion à Internet, la mairie de la commune sur laquelle se situe le projet de travaux, afin de connaître la liste des opérateurs de réseaux concernés par l'emprise du projet ou l'emprise des travaux.

¹⁷ DT : Déclaration de projet de travaux

¹⁸ DICT : Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux



Pour aller plus sur la recherche de présence de réseaux :

Guide d'application de la réglementation relative aux travaux à proximité des réseaux – Fascicule 1 version 2 - Novembre 2019 :

[https://www.reseaux-et-canalizations.ineris.fr/gu-presentation/userfile?path=/fichiers/Guides techniques/Fascicule1 en vigueur 01012020.pdf](https://www.reseaux-et-canalizations.ineris.fr/gu-presentation/userfile?path=/fichiers/Guides%20techniques/Fascicule1_en_vigueur_01012020.pdf)

Le site « Réseaux et Canalisations » fournit depuis 2012 une information exhaustive et centralisée sur les réseaux : www.reseaux-et-canalizations.ineris.fr

En l'absence de plan de réseaux enterrés, ou pour vérifier les indications données par les plans, le recours à des méthodes de détection ou d'intervention adaptées (détecteurs de réseaux, géoradar, réalisation d'avant-trou, aspiratrice, sociétés spécialisées dans le repérage de réseaux, ...) est recommandé.

Pour toute intervention nécessitant la réalisation de forages, terrassements et/ou affouillements de sols à plus de 40 cm de profondeur, il convient de désigner des personnes autorisées à intervenir à proximité des réseaux (habilitation AIPR¹⁹, obligatoire depuis janvier 2018). Cela concerne les donneurs d'ordre, les prestataires et les sous-traitants.

La recherche de présence de réseaux devra porter sur les réseaux du domaine public (notamment via les DICT) mais également sur les réseaux du domaine privé. Sur les propriétés privées, il est essentiel de disposer également des plans de réseaux internes existants (du propriétaire, de l'ancien exploitant de l'installation, des archives, ...), notamment ceux non pris en compte par la procédure DICT.

5.1.3 Recherche de la présence d'amiante avant travaux

Le code du travail (décret n° 2012-639 du 4 mai 2012 relatif aux risques d'exposition à l'amiante) impose aux maîtres d'ouvrage de joindre aux documents de consultation des entreprises tout document permettant le repérage des matériaux contenant de l'amiante. Le repérage amiante avant travaux au droit des zones qui vont faire l'objet d'investigations (amiante anthropique dans les enrobés) est réalisé en amont de la consultation pour être transmis aux candidats.

Dans le cas où des matériaux amiantés seraient identifiés suite au repérage amiante, un protocole spécifique permettant de protéger les opérateurs au risque d'exposition à l'amiante lors des travaux intrusifs devra être mis en œuvre selon les modalités fixées dans la « Sous-section 4 »²⁰ du code du travail. La mise en place de ce protocole induit nécessairement la formation des opérateurs et des mesures de protection (utilisation de matériel adapté avec aspersion d'eau pour limiter l'émission de fibres d'amiante dans l'atmosphère, port d'EPI adaptés de type masque à cartouches filtrantes P3, combinaison jetable, etc. ; décontamination du matériel après intervention, ...).

5.1.4 Mesures de protection et compétences requises

Les risques et les mesures de protection sont consignés dans une analyse des risques précisant pour la mission les dispositions qui sont prises concernant l'hygiène, la santé et la sécurité des salariés de l'entreprise et ses éventuels sous-traitants. Cette analyse s'intègre dans le plan de prévention ou le plan général de

¹⁹ AIPR : Autorisation d'Intervention à Proximité des Réseaux

²⁰ Dispositions particulières aux interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante (Articles R4412-144 à R4412-148)

coordination, de sécurité et de protection de la santé (PGCSPS) s'ils existent. Dans certains cas, un coordinateur sécurité peut être également mandaté.

Les opérateurs intervenant sur site lors des investigations doivent avoir à disposition des équipements de protection adaptés et en nombre suffisant au regard de l'analyse des risques :

- des mesures de protection collectives (dispositif de ventilation, etc.) et individuelles (masque, gants, lunettes, hygiène, etc.) ;
- les balises et dispositifs de contrôle et d'alerte portatifs (explosimètre, détecteurs, badges, etc.) ;
- des mesures matérielles (contraintes ATEX, etc.).

Le Tableau B.2 en annexe de la norme NF X31 620 (partie 1) présente la « Liste des matériels et équipements présents pour chaque opération sur site » pour les prestations du domaine A (études).

En fonction des risques potentiels identifiés sur chaque chantier, le personnel intervenant devra disposer des procédures de travail (permis de fouille, permis de feux, etc.), de formations de sécurité adaptées, ou faire intervenir des sociétés spécialisées.

Sur tout type de chantier en SSP, une personne qualifiée SST doit être présente pendant toute la durée des travaux (cf. norme NF X31-620-partie 1, engagements E9).

En cas de risques pyrotechniques suspectés (sur la base de l'étude historique et documentaire) ou avérée, une société spécialisée et disposant d'un agrément doit intervenir sur site en amont et/ou pendant la phase d'investigations pour assurer la sécurisation pyrotechnique des sondages et forages.

Pour les sites pollués par des substances radioactives, des mesures de protections complémentaires collectives (retrait ou atténuation des sources) et individuelles (utilisation d'un dosimètre actif) doivent être envisagées selon le niveau de risque ou le contexte d'intervention. De la même manière, selon le contexte, le personnel peut devoir être formé, suivi médicalement et une évaluation dosimétrique devra être réalisée avant chaque intervention. Pour un projet de construction ou de lotissement prévu dans un secteur d'information sur les sols concernés par des substances radioactives, l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) délivre l'attestation mentionnée à l'article L. 556-2 du code de l'environnement.

5.2 Gestion des déchets liés aux investigations

La conduite des investigations occasionne généralement la production de déchets qu'il convient de gérer dans le respect des règles en vigueur. Ces déchets peuvent provenir de l'approvisionnement en matériaux et produits, d'une intervention suivant le protocole Sous-section 4, ainsi que des équipements utilisés (emballage, équipements à usage unique, tuyaux de pompe jetables, équipement de protection individuelle...). Ils peuvent provenir aussi des milieux investigués. Ainsi, la foration de piézomètres ou la réalisation de sondages va générer des déblais de sol (cuttings). De même, les purges de piézomètre, les essais de pompage ou encore le nettoyage du matériel utilisé va générer des eaux potentiellement polluées.

Ces déchets doivent prioritairement être gérés sur place dans des conditions telles qu'ils ne présentent pas d'impact sur la santé et l'environnement. Quel que soit le volume ou la quantité mis en jeu, dès lors qu'un rejet est opéré, celui-ci doit être contrôlé et sa modalité de gestion précisée.

Si le maître d'ouvrage souhaite que les déchets de chantier (cuttings de forage, eaux de pompage...) soient gérés par le prestataire, le coût associé doit figurer dans le bordereau de prix du dossier de consultation et dans le devis du prestataire. Ce coût peut être forfaitisé ou fonction des volumes en jeu.

Si le maître d'ouvrage souhaite prendre en charge et gérer lui-même ces déchets, ce choix devra être mentionné dans les documents de consultation, ainsi que dans le devis du prestataire.

Certains déchets (EPI souillés, tuyau de pompage, préleveurs à usage unique...) sont généralement pris en charge par le prestataire.

Cette gestion implique en amont une identification de la nature des déchets générés et des quantités produites. Ce poste de dépense lié à la sécurité ne représente que 1 à 3% du coût global des études, mais son affichage explicite permet de clarifier contractuellement les rôles et responsabilités de chacun pour garantir une prise en charge satisfaisante de tous les déchets produits au cours de l'étude.



Le décret n° 2021-321 du 25 mars 2021 relatif à la traçabilité des déchets, des terres excavées et des sédiments prévoit que les gestionnaires de déchets dangereux doivent transmettre le contenu de leur(s) registre(s) chronologique(s) au registre national des déchets à partir du 1^{er} janvier 2022.

<https://rndts-diffusion.developpement-durable.gouv.fr/fr/lapplication-rndts>

Le système de gestion des bordereaux de suivi de déchets (BSD) mentionné dans le décret correspond à l'application Trackdéchets : <https://trackdechets.beta.gouv.fr/>

6 Etapes préalables aux investigations

La structuration de ce chapitre suit le processus général et linéaire de gestion d'un site pollué, notamment en phase études. Néanmoins, la réalisation d'un diagnostic peut s'effectuer en dehors de ce cheminement (par exemple, gestion de terres excavées, suivi d'une unité de traitement, etc.).

Les études décrites dans ce chapitre ne sont pas réalisées systématiquement. Elles peuvent être menées préalablement au diagnostic (selon le contexte), afin de collecter des données sur le site (et son environnement) et élaborer un premier schéma conceptuel sur lequel le diagnostic sera mis en œuvre.

6.1 Étude historique et documentaire

L'étude historique et documentaire est encadrée par la série de normes NF X31-620, prestation globale INFOS et prestation élémentaire A110 « Études historique, documentaire et mémorielle ». Elle est également décrite dans la norme 18400 Qualité du sol – Échantillonnage – Partie 202 : investigations préliminaires.

6.1.1 Objectifs de l'étude

L'étude historique et documentaire a pour objectif de reconstituer l'histoire des activités industrielles et artisanales, ainsi que les pratiques environnementales du site, afin de pouvoir identifier les zones potentiellement polluées. Ainsi, elle s'attache à :

- recenser et localiser les activités (plans, visite), les installations potentiellement polluantes actuelles ou passées, les pratiques de gestion environnementales utilisées (gestion des déchets, rejets, etc.) et tout incident ou accident passés pouvant être à l'origine d'une pollution potentielle des milieux ;
- déterminer la nature et la quantité des produits utilisés, et identifier les polluants et leurs métabolites de dégradation potentiellement présents dans les milieux.

Par ailleurs, cette étude recense également :

- l'historique des situations administratives ;
- les événements pouvant conduire à suspecter la présence d'engins pyrotechniques (dans ce cas, une démarche préalable aux investigations et des protocoles spécifiques devra être mis en œuvre) ;
- les contraintes éventuellement imposées par des restrictions d'usage, des servitudes d'utilité publique inscrites dans le PLU, des zones de protection de la faune et la flore qui pourraient contraindre les modalités et le planning des investigations et/ou des travaux ultérieurs. Il peut notamment s'agir de zones polluées confinées, d'interdiction d'accès à certaines zones, de zones accueillant des espèces protégées à certaines périodes de l'année, ... ;
- les sources de pollution extérieures pouvant avoir impacté le site (remblais provenant d'une fonderie locale, dépôts atmosphériques concentrés ou diffus, ancienne zone minière, etc.).

L'étude historique et documentaire, lorsqu'elle est réalisée dans le cadre de la prestation LEVE, permet de savoir si un site relève ou non de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Elle aboutit à un premier schéma conceptuel et, le cas échéant, à un programme prévisionnel d'investigations.

Elle contribue également à apprécier les risques d'extension d'une pollution en dehors du site. Le cas échéant, des investigations de terrain seront réalisées à l'extérieur de l'emprise du site pour infirmer ou confirmer sur cette hypothèse.

6.1.2 Informations à collecter

6.1.2.1 Identification du site

Préalablement, le site étudié devra être identifié par le nom de son représentant (exploitant actuel et ancien en cas de succession d'activités, voire mandataire liquidateur / et propriétaire actuel et ancien du terrain), sa raison sociale, son adresse détaillée, ses références légales ou administratives (SIS, ex-BASOL, CASIAS, code établissement ICPE, ...). De même, les aspects réglementaires propres au site devront être indiqués tels que les déclarations d'installations classées, les arrêtés préfectoraux d'autorisation, ...

Sa localisation géographique et son contour actuel, voire historique, via la consultation de cartes topographiques locales, cartes thématiques, photographies aériennes historiques, plans cadastraux... pourront être reportés sur un fond cartographique adéquat. Les numéros des parcelles cadastrales occupées par le site tout au long de son histoire sont également précisés. Éventuellement, les coordonnées géo-référencées du site et des différentes installations pourront faire l'objet d'une détermination par un système de positionnement par satellite (GPS).

Toutefois, les milieux où des pollutions sont présentes ou suspectées, ne se limitent souvent pas aux seules parcelles cadastrales du site. Rappelons ainsi qu'une pollution peut s'étendre en dehors des limites d'un site et que l'évolution des parcelles cadastrales au cours de l'histoire (notamment en cas d'agrandissement puis de diminution de la taille d'un site) peut aboutir à la présence de (sources de) pollution à l'extérieur des limites actuelles d'un site. Le diagnostic doit permettre de confirmer cela et d'apporter le cas échéant une meilleure connaissance de l'extension de la pollution.

6.1.2.2 Recensement des activités et des polluants associés

La connaissance des procédés industriels mis en œuvre, en matière de principes de fabrication, de schémas de fonctionnement des unités, de bilans matière, d'historiques de production et de listes de matières premières, produits, co-produits, déchets associés à chacune des activités industrielles ayant été pratiquées sur le site, permet d'établir une liste de substances ayant pu être utilisées, déversées sur le site ou dans les eaux (souterraines et/ou de surface), ou de déchets générés ayant pu être enfouis (cf. Figure 4).

↳ Connaître les produits utilisés et fabriqués et donc les déchets générés

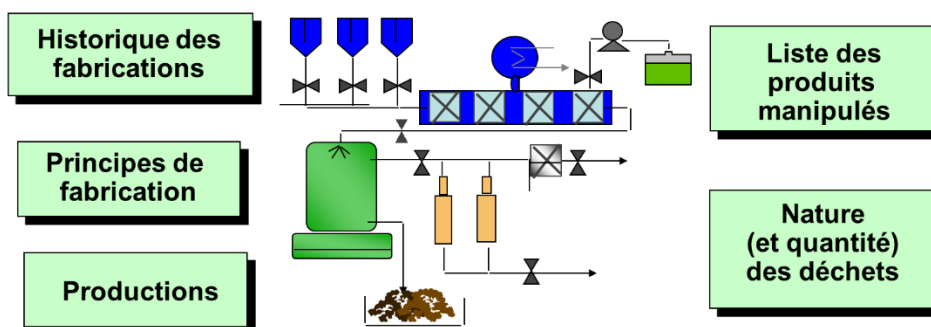


Figure 4 : Exemple d'un bilan matière pour l'identification des substances polluantes.

Pour retracer l'historique du site et recenser les activités passées, plusieurs sources d'information sont consultables en ligne (cf. références des sources de données dans le Tableau 2, liste non exhaustive).

Ces informations peuvent être obtenues en questionnant le personnel travaillant (ayant travaillé) sur le site, mais également des professionnels de l'activité.

En complément des premiers éléments collectés lors de la recherche documentaire, la BD ActiviPoll²¹ permet de constituer un premier filtre pour la construction d'un programme d'investigation en identifiant les substances susceptibles d'être retrouvées dans les milieux. Cette base de données répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés d'après le croisement de diverses sources d'information (bases de données françaises et littérature internationale spécialisée) :

- <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/base-de-donnees/bd-activipoll>

L'identification des substances permet ensuite de déterminer leurs propriétés physico-chimiques, leur comportement et leurs effets sanitaires et environnementaux. Pour cela, différentes sources d'information existent, au premier rang desquelles les fiches de données de sécurité, les fiches toxicologiques élaborées par l'INRS et l'INERIS, les bases de données françaises (notamment celle de l'INERIS) et internationales sur les substances :

- <https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>
- <https://substances.ineris.fr/fr/>

Dans le cas des sites miniers, il convient de s'intéresser à la paragenèse des gisements exploités afin de savoir quels métaux sont susceptibles d'être rencontrés.

6.1.2.3 Identification des pratiques de gestion environnementales

Les pratiques en matière de gestion environnementale dans le passé sont bien souvent à l'origine de pollutions historiques qu'il s'agit d'identifier afin d'en maîtriser les impacts.

En matière de rejets liquides, les exutoires couramment utilisés dans le cadre des pratiques de gestion habituelles étaient les cours d'eau ou les étangs, ou l'infiltration dans le milieu souterrain, au travers de fissures ou de puits perdus mis en place dans ce but. Par ailleurs, le contrôle ou le traitement des rejets liquides ou gazeux, tant en termes de flux que de qualité, n'a pas toujours été institué. Quand ils en faisaient l'objet, les performances passées des techniques de traitement des effluents aqueux ou gazeux n'étaient pas toujours au niveau des standards environnementaux actuels. De même, des pratiques aujourd'hui interdites ont pu avoir lieu par le passé en raison de connaissances scientifiques limitées à l'époque, ce qui a pu générer une pollution des milieux (sol, eau, air...).

La gestion des résidus solides ou pelletables ne fait l'objet d'un suivi rigoureux que depuis récemment, au regard de l'histoire industrielle. Quand les résidus de fabrication ou les déchets ne pouvaient être recyclés, leur élimination habituelle consistait souvent à les utiliser comme matériaux de remblaiement s'ils présentaient des caractéristiques mécaniques adaptées. Les zones au sein du site ou les sites extérieurs qui les réceptionnaient, n'ont pas toujours été aménagées de façon à prévenir les transferts vers les nappes ou l'envol de poussières. Il ressort de ces pratiques qu'il convient de caractériser ces zones où des doutes peuvent subsister.

²¹ Base de données des activités polluantes

Dans certains cas, ces dépôts peuvent être suffisamment anciens pour ne plus représenter un facteur majeur d'impact sur les nappes par lixiviation, mais leur présence peut cependant s'avérer problématique en cas de changement d'usage du site. La réalisation des diagnostics devra intégrer ces aspects lorsqu'il s'agira de procéder à des investigations plus détaillées de ces zones.

Depuis la mise en place de la politique en matière de déchets et de surveillance des ICPE, ces anciennes pratiques sont maintenant réglementées par le code de l'environnement. Les outils mis en place tels que les tableaux de suivi de la production des déchets, ou les bordereaux de suivi des déchets en cas de traitements ou de stockage dans des installations externes adaptées, constituent de précieuses sources d'information à ce stade de l'étude du site.

Les sources d'information susceptibles d'apporter des éléments d'appréciation sur les pratiques de gestion environnementale et le devenir des déchets sont essentiellement les témoignages du personnel actuel ou passé, lorsqu'ils sont possibles, les riverains des sites, les archives des sociétés, les prescriptions consignées dans les arrêtés d'autorisation d'exploiter, les études déchets qui ont pu être réalisées, ainsi que les archives administratives (cf. illustration sur la Figure 5).

⚡ Prendre en compte les pratiques et incidents passés

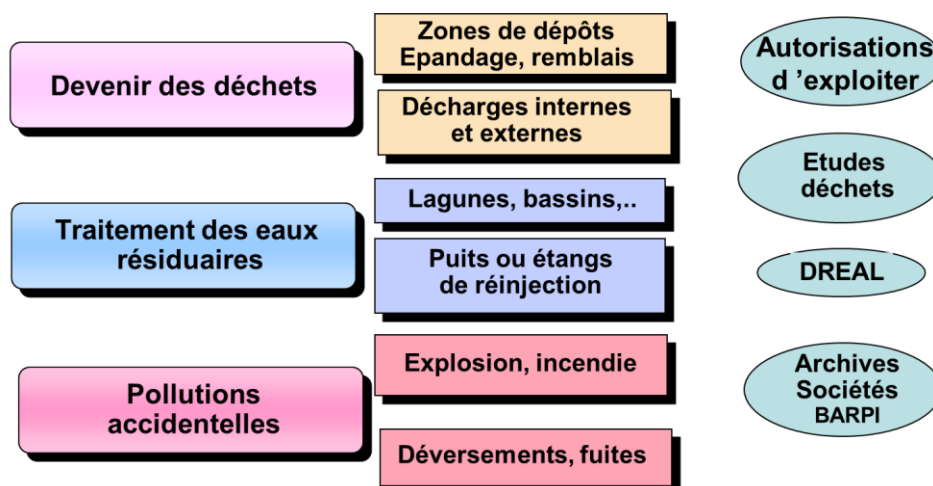


Figure 5 : Pratiques de gestion environnementale et sources d'information correspondantes

6.1.2.4 Sources d'informations

Une liste (non exhaustive) de sources de données à consulter est proposée. Les principales bases de données et inventaires disponibles sur internet et les informations associées sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Principales sources d'informations disponibles sur internet et informations associées.

Type de données	Type de sources	Nom	Description	Adresse du site internet
Historique, localisation	Cartographie	Géorisques	Site d'information et de visualisation des risques présents sur le territoire français.	https://www.georisques.gouv.fr/
Historique, activités	Cartographies, Base de données	Géorisques	Carte des anciens sites industriels et activités de service (CASIAS).	https://www.georisques.gouv.fr/risques/basias/donnees#/
Historique, activités	Cartographies, Base de données	Géorisques	Information de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée (ancienne dénomination : BASOL)	https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/pollutions-sols-sis-anciens-sites-industriels/basol
Historique	Base de données	ARIA	Base de données d'Analyse, Recherche et Informations sur les Accidents (incendie, explosion, déversement...)	https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr
Historique, typologie de produits	Base de données	MIMAUUSA	Anciens sites miniers français d'uranium	https://mimausabdd.irsnn.fr/
Typologie de polluants	Base de données	BD ActiviPoll	Outil permettant d'identifier des typologies de substances potentiellement liées à des sites industriels	http://ssp-infoterre.brgm.fr/bd-activipoll
Typologie de produits	Base de données	Secteurs d'Information sur les Sols (SIS)	Les SIS comprennent les terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et la mise en place de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publique et l'environnement	https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/pollutions-sols-sis-anciens-sites-industriels/secteurs-information-sols
Historique, localisation	Cartographie	Géoportail	L'IGN met à disposition différentes cartes (cadastre, données topographiques, données géographiques, etc.)	https://www.geoportail.gouv.fr/
Historique	Photographies, cartes	IGN « Remonter le Temps »	Photographies aériennes anciennes (1919 à nos jours), cartes de Cassini (18e siècle) et cartes de l'État-Major (1825-1866)	https://remonterletemps.ign.fr/
Localisation	Carte	Cadastre	Fournit les plans cadastraux avec les références des parcelles et les superficies	https://www.cadastre.gouv.fr/
Typologie de produits	Fiches techniques, base de données	Portail Substances chimiques	Données sur les substances chimiques (chimie, toxicologie aiguë et chronique, physique)	https://substances.ineris.fr/fr/page/21#fictox
Historique	Cartes postales, objets, etc.	Delcampe	Objets de collection : photographies, cartes postales, timbres, manuscrits, etc.	https://www.delcampe.net/fr/collections/
Historique	Base de données	Infogreffe	Informations légales sur les entreprises	https://www.infogreffe.fr/

Archives nationales du monde du travail	Archives		Archives provenant d'entreprises, syndicats, comités d'entreprises, etc.) : elles concernent notamment : Charbonnage de France, chemin de fer, industrie textile, industrie métallurgique, production d'énergie, etc.	http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/camt/index.html
Ressources numérisées par zone géographique ou par thématique	Bibliothèque	Gallica	Bibliothèque numérique Gallica de la Bibliothèque Nationale de France (livres, manuscrits, cartes, images, presses et revues, enregistrements sonores, objets, vidéos)	https://gallica.bnf.fr/
Informations sur les entreprises	Base de données	Sirene®	Service de diffusion de la base Sirene®, de l'Insee : base de données comportant des informations économiques et juridiques sur les entreprises et leurs établissements dans tous secteurs d'activité	https://public.opendatasoft.com/explore/dataset/sirene_v3/
Données scientifiques	Etudes	BRGM	Etudes antérieures : rapports publics sur le site du BRGM	https://infoterre.brgm.fr/actualites/acces-simplifie-aux-rapports-publics-brgm
Données relatives aux études d'impact	Etudes, rapports	MTECT	Informations sur tous les projets susceptibles d'avoir un impact notable sur l'environnement et devant, de ce fait, établir un rapport d'évaluation des incidences du projet sur l'environnement (« étude d'impact »), produite à l'occasion de la demande d'autorisation du projet.	https://www.projets-environnement.gouv.fr/pages/home/

D'autres sources d'informations à consulter dans différents services administratifs peuvent être citées :

- *Archives départementales : dossiers d'installations classées ou dossier d'établissements dangereux, incommodes et insalubres, casiers d'hygiène, bottins du commerce, documents de justice, finances, cadastres et remembrements, etc. ;*
- *Archives municipales ;*
- *Service de l'urbanisme de la mairie (cadastres, restrictions d'usage, PLU) ;*
- *Archives de la Préfecture ;*
- *Archives de la DREAL, DRIEAT, DEAL, voire de l'ADEME si le site a fait l'objet d'une intervention de l'agence dans le cadre des sites à responsables défaillants ;*
- *Archives notariales ;*
- *Documents des branches professionnelles d'activité.*

Précisons enfin que les dossiers des exploitants/propriétaires du site peuvent contenir des éléments intéressants pour cette étape de recherche historique et documentaire :

- les archives des sociétés (bons de commande, bordereaux de suivi des déchets...) ;
- les rapports de surveillance de l'état des milieux (bilan annuel ou quadriennal des émissions, bilan de la surveillance des eaux souterraines, ...) ;
- les études de diagnostic du site et/ou de ses environs proches, plan de gestion, IEM ;
- les dossiers de récolement, en cas de dépollution de tout ou partie du site ;
- les plans des réseaux enterrés du site (idéalement plan de récolement), utiles pour l'implantation des investigations et la mise en évidence d'éventuels chemins préférentiels pour la migration d'une pollution ;
- les études déchets, le Plan de Gestion de Solvants (PGS) et le Schéma de Maîtrise des Emissions (SME) des installations classées pour la protection de l'environnement ;
- les plans d'aménagement en cours ou antérieurs...

6.1.3 Localisation des zones potentiellement polluées

La localisation des zones potentiellement polluées est une étape importante dans la phase de diagnostic, d'une part, parce qu'elle permet d'orienter et optimiser les campagnes de terrain qui seront nécessaires pour appréhender les enjeux liés à la présence de substances polluantes dans les milieux, et, d'autre part, parce que cette information est également susceptible d'influer sur les options de réaménagement du site et sur les coûts de réhabilitation associés. Bien que cette étape puisse être réalisée sur la base de documents et photographies historiques, sa pertinence et son exhaustivité seront fortement accrues lors de la ou des visites de site et de son environnement (voir § 6.3).

Différentes installations ou dysfonctionnements sur ces installations ont pu générer des pollutions du sol, des gaz du sol ou des eaux (souterraines et/ou de surface) :

- réservoirs enterrés ou aériens (avec ou sans bac de rétention, stockage des produits sans dalle, cuve simple peau ou double peau) ;
- réseaux d'égouts, galeries, canalisations (enterrées ou aériennes) ;
- fosses, bassins, lagunes (même inutilisées) ;
- installation de traitement de déchets ou d'effluents ;
- incinérateurs, installations de combustion ;
- transformateurs électriques.

Différentes zones d'activités du site ou évènements ont pu également être à l'origine d'une pollution des milieux :

- ateliers de fabrication, zones de dépotage ou d'empotage ;
- aires de chargement et de déchargement des différents produits, zones de stockage ;
- zones de décharge, de dépôt, de brûlage ou d'enfouissement, puits perdu, puisard, lagunes ;
- faits de guerre ou bombardement endommageant des structures aériennes comme enterrées ;
- catastrophes naturelles (inondations, séismes, tempêtes, ...) ;
- catastrophes industrielles (incendie, explosion, ...) ;
- modalités de dégraissage ou de nettoyage inadaptées (nettoyage de sols avec des solvants chlorés, enfoncement dans le sol de palplanches dégraissées avec des solvants chlorés, ...).

Toutes ces zones doivent faire l'objet d'un questionnement et peuvent être localisées au moyen d'investigations documentaires auprès des archives des sociétés ou des services déconcentrés de l'État (notamment en cas d'incidents survenus tels que des explosions, des incendies, des déversements accidentels ou des dégâts de guerre) et d'interviews. Le recours à des photographies aériennes historiques est également une source pertinente d'information.

Par ailleurs, toutes les activités industrielles à proximité du site (dans un rayon justifié par le bureau d'étude) doivent également être recherchées, notamment quand les polluants potentiellement liés à ces activités sont identiques ou sont susceptibles d'interagir avec ceux du site étudié. Un site situé à l'amont hydraulique du site faisant l'objet du diagnostic peut être lui-même à l'origine d'une pollution détectée lors des investigations de terrain : cas d'une pollution des eaux souterraines, de retombées atmosphériques,... : En effet, bien que cela ne paraisse pas forcément pertinent au premier abord, une inversion du sens d'écoulement des eaux souterraines pourrait faire migrer des polluants sans lien avec le site étudié, au droit de celui-ci, en cas de travaux de pompage ultérieurs au droit ou en amont du site étudié.

La localisation des zones potentiellement polluées nécessitera d'être confirmée par des campagnes d'investigation sur le terrain, qui pourront être d'autant mieux ciblées que l'information de départ sur les produits et les zones concernées est précise.

6.1.4 Documents et informations à fournir dans le livrable

La restitution d'une étude historique et documentaire est de présenter la localisation sur un plan de toutes les sources potentiellement de pollution identifiées (ou activités / pratiques à risque de pollution).

L'ensemble des informations collectées lors de l'étude historique, documentaire et mémorielle est synthétisé et permet d'alimenter le schéma conceptuel du site et de son environnement.

Conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620, le livrable intègre la liste des sources d'informations consultées, une analyse des données collectées et les illustrations cartographiques synthétiques.

6.1.5 Recommandations / retour d'expérience

L'accès aux informations et documents (sources multiples, confidentialité, non archivage des documents, absence de sources écrites par manque d'intérêt, disparition avec les exploitants successifs) constitue autant de difficultés à gérer, notamment pour les sites très anciens ou abandonnés.

Compte tenu des difficultés couramment rencontrées dans ce type de démarche, quelques principes de base peuvent être rappelés :

- les principales difficultés concernent la fiabilité des données recueillies : méconnaissance de l'origine des documents (plan projet vs plan de récolement), absence de date sur les documents, fiabilité de la mémoire humaine lors du recueil de témoignages. Il est donc primordial de recueillir toutes les données quelles que soient leurs origines, et de veiller à les localiser dans le temps et l'espace et de tenir compte de leur fiabilité lors de leur intégration dans la compréhension globale du fonctionnement du site (i.e. : *in fine* dans le schéma conceptuel) ;
- les sources d'information utilisées dans le cadre de ces recherches (références précises, dates de consultation ou de mise à jour, dates et échelles des documents cartographiques et photographiques, ...) sont consignées dans le rapport de l'étude historique et documentaire ;
- pour les sites anciens, il convient de garder à l'esprit que les pratiques industrielles ont évolué et qu'elles étaient parfois très différentes de celles connues aujourd'hui (y compris en matière de valorisation et d'élimination des déchets) ;
- toute information recueillie doit, si possible, pouvoir être validée (par recoupement via les témoignages et les visites de terrain) avant d'être utilisée pour les interprétations ultérieures. En l'absence de validation, il conviendra d'apprécier la fiabilité de la donnée au travers de celle de la source d'information. Rappelons qu'au stade de l'étude "historique du site", toutes les validations ne pourront sans doute pas être réalisées. Elles pourront éventuellement l'être lors des phases suivantes ;
- le rapport mentionnera si des contraintes n'ont pas permis d'accéder à des vérifications d'informations (document, témoignage, ...). Ainsi, toute lacune connue ou toute incertitude de nature à impacter significativement la qualité et l'exhaustivité de l'étude devra être clairement mise en avant dans le rapport final afin qu'elle ne soit pas omise ultérieurement dans le cadre des études et travaux futurs.



Ces incertitudes sur l'exhaustivité des sources de pollution et/ou polluants susceptibles d'être présents demeureront tout au long du déroulé du diagnostic.

Par ailleurs, la difficulté dans le cadre de cette étude réside dans la bonne compréhension des documents et de la synthèse de l'ensemble des données collectées (être attentif à la lisibilité et l'adaptation des formats des plans ou figures réalisées).

L'analyse historique doit également remonter aussi loin que possible dans le temps, les activités les plus anciennes étant bien souvent les plus polluantes. Cette phase de recherche peut prendre du temps et ne doit pas être négligée.

6.2 Étude de vulnérabilité des milieux

L'étude de vulnérabilité est encadrée par la partie 2 de la série de normes NF X31-620, prestation élémentaire A120 « étude de vulnérabilité des milieux ».

6.2.1 Objectifs de l'étude

L'étude de vulnérabilité des milieux vise à identifier les possibilités de transfert des pollutions et les usages réels des milieux concernés (enjeux à protéger).

Les transferts peuvent s'effectuer par exemple par une nappe d'eau souterraine sous-jacente, par les gaz du sol ou par les eaux superficielles, et impacter des milieux d'exposition tels que les sols, l'air intérieur de bâtiments, ...

Les enjeux à protéger peuvent être des populations et les usages qu'elles font des milieux : habitations, établissements recevant du public, activités récréatives (baignade, pêche, etc.), zones agricoles, potagers, etc. Ils peuvent également être des ressources et des milieux naturels à protéger.

Pour répondre à ces objectifs, il convient de collecter des informations sur :

- les caractéristiques des milieux (géologie, hydrogéologie, hydrologie, météorologie, etc.) pour déterminer les voies de migration possibles des polluants et identifier les facteurs pouvant favoriser ou ralentir des transferts ;
- les caractéristiques physico-chimiques des polluants (ex : solubilité dans l'eau, volatilité, densité, polarité, dégradabilité, etc.), déterminant leur transfert dans les différents milieux de l'environnement qui feront l'objet d'investigations. Elles déterminent également sa répartition entre différents milieux environnementaux ;
- les usages et les milieux d'exposition pouvant être impactés par les pollutions, leur fréquentation, leur accessibilité et le type de populations concerné ;
- le recensement des ouvrages existants, pouvant être utilisés pour des contrôles le cas échéant.

Note : *le périmètre défini pour rechercher ce type d'informations est à justifier par le prestataire en charge de l'étude.*

6.2.2 Informations à collecter

L'ensemble des informations à collecter pour déterminer la vulnérabilité des milieux est présenté dans le Tableau 3. Certaines de ces informations ne pourront être connues précisément que lors des investigations de terrain.

Tableau 3 : Principales informations à collecter sur chaque milieu dans l'étude de vulnérabilité des milieux.

Paramètres à rechercher	Caractéristiques à prendre en compte
Milieu eaux souterraines	
Nature (perméabilité) et épaisseur de la ZNS Caractéristique de la zone aquifère Type de nappe (libre ou captive) Variations basses et hautes eaux – niveaux piézométriques Hétérogénéité des milieux aquifères, présence de nappes superposées, existence de flux verticaux naturels Usage(s) de l'eau / Nombre de personnes concernées / Type de population Niveau de pollution Relations nappe - eaux superficielles Existence d'ouvrages de confinement (en cas de dépollution de nappe)	<ul style="list-style-type: none"> - Extension, nature, continuité et épaisseur du recouvrement (conditionnent les temps de transfert des polluants) - Nombre d'aquifères concernés, nature et structure de l'aquifère, le type de porosité et de perméabilité (interstices, fissures, fractures, etc.), gradient et conductivité hydraulique, débit - Discontinuités ou interconnexions entre aquifères dans un périmètre donné - Influence de la marée sur les variations du niveau piézométrique – Existence d'un biseau salé - Existence / position de captages (AEP²² ou industriels), pouvant parfois inverser des sens d'écoulement théoriques - Objectifs de qualité des eaux de la masse d'eau, SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux), SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) - Qualité de la nappe en amont du site étudié
Milieu eaux superficielles	
Typologie (cours d'eau, plan d'eau) et relations entre les différents éléments (plusieurs cours d'eau, présence de zones humides, etc.) Variations temporelles d'origine anthropique (prélèvements dans le cours d'eau, rejets, retenues d'eau, etc.) Topographie / Ruissellement (pente, réseaux) - Pluviométrie Distance entre la source de pollution et les eaux superficielles concernées Stations de mesure existantes (débit, qualité) Existence / position de captages Usage(s) de l'eau (eau brute boisson, pêche, baignade...) Nombre de personnes concernées / Type de population Existence d'ouvrages de confinement (barrages)	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre et types des eaux superficielles concernées dans un périmètre donné - Relations nappe - eaux superficielles - Existence de voies préférentielles (karst) - Zones inondables - Variation des débits, dont celui d'étiage - Profondeur (lacs) ou profil du cours d'eau - Objectifs de qualité des eaux - Variations temporelles d'origine naturelle (précipitations annuelles, présence de glace, épisodes cévenols, etc.) - Régime hydraulique annuel du cours d'eau et potentiel d'inondation - Suivi de la qualité des eaux superficielles (DCE)

²² AEP Alimentation en Eau Potable

Paramètres à rechercher	Caractéristiques à prendre en compte
Milieu sols	
<p>Topographie</p> <p>Nature pédologique et lithologique, épaisseur</p> <p>Accessibilité à la source de pollution (profondeur de la source, confinement, existence de clôture, fréquentation et types de populations présentes, etc.)</p> <p>Usages du sol</p> <p>Fréquentation et typologie de population</p> <p>Niveau de pollution</p> <p>Retombées atmosphériques</p> <p>Existence d'ouvrages de confinement (paroi étanche par exemple)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation de la surface concernée - Etat du sol sur site et dans son environnement - Nature pédologique / géologique - Type de recouvrement superficiel (béton, enrobé, végétalisé, etc.) - Constat d'un stress végétatif sur certaines zones comparativement à d'autres pour tenir compte autant que faire se peut des autres facteurs pouvant impacter la végétation - Phénomènes de perméation potentielle : localisation des réseaux de distribution d'eau potable par rapport à la pollution suspectée dans les sols
Milieu air (air ambiant / air intérieur) et gaz du sol	
<p>Fréquentation sur site ou à proximité du site</p> <p>Configuration et usage des bâtiments (présence de sous-sols, vides sanitaires, présence de réseaux, systèmes de ventilation, ascenseurs, etc.), et utilisation des espaces</p> <p>Caractéristiques des sols et des murs enterrés (perméabilité, profondeur et fluctuation du niveau statique de la nappe, présence de structures drainantes d'origine naturelle (fracturation) ou anthropique (réseaux et structures enterrées), présence de cuvelage sous le bâtiment</p> <p>Niveau de pollution dans les sols, à l'intérieur des bâtiments, dans l'air ambiant</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Données climatiques (température, pluviométrie, vent) pouvant avoir une influence sur le risque d'intrusion de vapeur « global » dans le bâtiment. - Distribution des vents, force du vent - Dans les bâtiments, présence et type de systèmes d'aération ou de climatisation, différence de pression, de température entre les bâtiments et l'extérieur - Nature du recouvrement des sols, qui influe sur la migration des gaz du sol dans les bâtiments, présence et bon réglage d'un système limitant l'intrusion de vapeurs - Proximité de stations de mesures de la qualité de l'air (AASQA)

6.2.3 Sources d'information

Les sources permettant de collecter des informations lors de cette étude sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Principales informations à collecter sur chaque milieu dans l'étude de vulnérabilité des milieux

Types de données	Adresse du site internet
Géologie Cartes géologiques, Coupes géologiques, qualité chimique des sols	BRGM : http://infoterre.brgm.fr http://www.bdsolu.fr/ http://ssp-infoterre.brgm.fr/bases-donnees-qualite-sols BDETM : Base de Données Eléments Traces Métalliques https://www.gissol.fr/le-gis/programmes/base-de-donnees-elements-traces-metalliques-bdetm-65 RMQS : Réseau de Mesures de la Qualité des Sols pour une série d'éléments traces métalliques : https://www.gissol.fr/le-gis/programmes/rmqs-34 Seuils de détection d'anomalies pour une série d'éléments traces métalliques : https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.15454/UEZXBY etc.
Hydrogéologie Carte de vulnérabilité des eaux souterraines, carte piézométrique, recensement des ouvrages et leurs usages (puits individuel, abreuvement, captage AEP, etc.)	BRGM http://infoterre.brgm.fr https://bdlisa.eaufrance.fr/ Agences de l'eau (ex : Gesteau) SIGES Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines ADES Accès aux Données sur les Eaux Souterraines ARS BNPE : Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau Sites régionaux (ex : GEOBretagne) etc.
Hydrologie, topographie, débit, hauteurs d'eau, qualité, prélèvements	Carte IGN https://www.geoportail.gouv.fr/ OFB, MTES : https://www.eaufrance.fr/la-qualite-des-rivieres https://www.eaufrance.fr/ https://www.hydro.eaufrance.fr/ ; https://quadrige.eaufrance.fr/ Naiades : http://www.naiades.eaufrance.fr/ BD Carthage, etc.
Contexte écologique (ZNIEFF, ZICO, Natura 2000, etc.)	DREAL : cartes interactives CARMEN https://www.geoportail.gouv.fr/ etc.
Contexte aux alentours du site (Usages, populations)	Photographies aériennes (https://remonterletemps.ign.fr/) PLU, Google Streetview®, Cadastre (https://www.cadastre.gouv.fr/), etc.
Données environnementales Rapports environnementaux, études d'impact	Exploitants, maître d'ouvrage, Mairie, DREAL, préfecture, Archives, etc.

6.2.4 Documents et informations à fournir dans le livrable

Le livrable spécifique à l'étude de vulnérabilité des milieux intègre les éléments suivants (NF X31-620) :

- une liste de toutes les sources d'information consultées ;
- l'analyse des données collectées (en particulier des résultats de chaque source d'informations consultée, notamment des études environnementales existantes) ;
- des illustrations cartographiques des résultats (carte de localisation des ouvrages existants identifiés lors de cette prestation, carte de localisation du site avec report du sens d'écoulement des eaux souterraines, avéré ou supposé) ;
- un argumentaire sur la vulnérabilité (degré de protection du milieu) et la sensibilité (liée à l'usage du milieu) de chacun des milieux jugés pertinents au regard du contexte. Une justification est à apporter pour les milieux non retenus à l'issue cette étude ;
- l'ensemble des documents pertinents collectés par le prestataire.

6.2.5 Recommandations / retour d'expérience

Au stade de l'étude de vulnérabilité, des recherches sont menées pour évaluer l'état des milieux au droit du site et dans son environnement, à partir des données disponibles dans les bases de données régionales et locales.

- *La mise à jour de l'étude de vulnérabilité est recommandée dès lors qu'on constate une évolution de l'environnement du site (évolution des pratiques et des usages, aménagement des terrains autour du site, etc.).*

Cette étape va permettre de constituer un état de référence de l'environnement du site non impacté, appelé Environnement Local Témoin, à partir d'informations locales issues de diverses sources (état initial, éléments du rapport de base, données de qualité des milieux documentaires ou extraites de bases de données : RMQS pour les sols, NAIADES pour les eaux de surface, ADES pour les eaux souterraines).

- L'Environnement Local Témoin est traité plus en détail au chapitre 11 de ce guide.

Pour les études mettant en évidence des sols avec des anomalies géochimiques marquées (contexte minier), il est recommandé d'évaluer le fond pédogéochimique. Cette évaluation, réalisée à une échelle plus vaste que celle de l'ELT, permet en effet de préciser l'extension géographique de ces anomalies et leur position par rapport au site étudié. Cette étape est basée sur une analyse des données existantes (notamment celles de l'inventaire minier lorsqu'elles existent), des mesures de terrain et un traitement statistique des données.

6.3 Visite du site et de son environnement

La visite de site est encadrée par la partie 2 de la série de normes NF X31-620, prestation globale INFOS et prestation élémentaire A100 « Visite du site ».

Cette étape est également décrite dans le document méthodologique « La visite de site »²³ du MEDD en 2007 et dans la norme 18400, Qualité du sol – Échantillonnage – Partie 202 : Investigations préliminaires.

6.3.1 Préparation de la visite et objectifs

La (ou les) visite(s) du site est (sont) réalisée(s) au cours des études historique et documentaire (§ 6.1) et de l'étude de vulnérabilité (§ 6.2). Ces démarches, réalisées de manière combinée, permettent de rassembler les premiers éléments nécessaires aux campagnes d'investigations et études ultérieures, de consolider la compréhension du site et de son environnement et d'alimenter le schéma conceptuel.

6.3.1.1 Démarches préalables

Dans le cas d'une visite d'un site en activité, l'encadrement du prestataire se fait selon les mesures de sécurité propres à l'entreprise accueillante (équipements de protection, protocole de sécurité, etc.).

Dans le cas des friches et des anciens sites industriels, la réalisation d'une visite sur un site inconnu du prestataire peut présenter des risques pour sa propre sécurité. On peut citer par exemple : état des bâtiments (délabrés, non entretenus), produits potentiellement stockés (déchets, produits purs, etc.), installations présentes (sous-sols, cuves, réseaux à nus, regards ouverts, etc.), isolement du site, site occupé illégalement, etc. Ainsi, le prestataire, qui se déplacera sur site, doit veiller à sa sécurité, et à celle des autres le cas échéant. Bien que cela soit pertinent dans tous les cas, il est d'autant plus conseillé, dans ce cas de figure, de se faire accompagner des personnes ayant une bonne connaissance du site (ancien exploitant, anciens salariés, inspecteur Installations Classées...).

Cependant, en plus du respect de la réglementation imposée par le code du travail, il est recommandé préalablement à la visite de :

- s'informer sur le réseau d'alimentation électrique (en tension ou hors tension) et la desserte en gaz (ouverte ou coupée) ;
- vérifier auprès de l'IRSN et dans l'inventaire national de l'Andra, la présence ou non de sources radioactives / déchets radioactifs ;
- demander au donneur d'ordre tout document permettant le repérage des matériaux contenant de l'amiante ;
- se procurer des plans du site permettant de localiser d'éventuelles zones à risque (lagune, sous-sol, activités spécifiques...) ;
- disposer d'un minimum d'informations sur l'historique du site de manière à identifier les substances les plus probables afin de se protéger et de s'équiper en conséquence (casque, chaussures ou bottes de sécurité et vêtements de protection *a minima*).

Cette recherche d'informations peut être utilement amorcée en même temps que la collecte des premières informations techniques sur l'historique du site de manière à rendre la visite la plus profitable possible (localisation de piézomètres, de réseaux...).

²³ <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/methodologie/visite-site>

Enfin, il est utile, avant la visite, d'informer un collaborateur des horaires prévus et de l'adresse du site, de manière à ce qu'il puisse déclencher une procédure d'alerte en cas de problème.

6.3.1.2 Objectifs

En compléments des éléments historiques et documentaires d'ores et déjà récupérés lors de la préparation de la visite de site (notamment au regard des risques identifiés et des précautions associés pour protéger les équipes réalisant la visite), l'objectif de cette visite est de compléter les éléments bibliographiques par des informations spécifiques du site en question (plans, arrêtés préfectoraux, DDAE, procédés de fabrications, quantité de matières premières utilisées et de produits/déchets générés, modalités de stockage et d'élimination, compte-rendus d'incident/accident, constats de terrain,...).



Avant la visite de site, il est donc pertinent de faire appel à (aux) personne(s) pouvant avoir ces éléments en sa (leur) possession : dernier exploitant, ancien employé, riverain, DREAL/DRIEAT, propriétaire du site, notaire, archives, client, etc.

Plus précisément, la visite de site réalisée dans le cadre d'un diagnostic permet de :

- faire un premier état des lieux : examen de l'état actuel du site et de son environnement, identification de pollutions locales identifiables visuellement ou à l'aide de certains appareils de mesures portatifs ;
- procéder à une analyse préliminaire des enjeux liés à la présence des polluants ;
- compléter les informations acquises lors de l'étude historique et documentaire (modification des lieux, pratiques environnementales, zone de stockage de produits ou de déchets, etc.) ;
- identifier les contraintes de terrain (accès, hauteur et largeur des ouvertures ou des locaux, besoin d'une embarcation si plan d'eau...) ;
- identifier des risques inconnus au stade de la préparation de la visite (intervention en espace confiné ou dans un bâtiment dégradé, présence de réseaux enterrés), les caractériser par des contrôles préalables sur site (gaz, rayonnement, stabilité, ...) et les moyens permettant de s'en prémunir ;
- orienter la stratégie d'investigations et préparer les (éventuelles) futures campagnes de reconnaissance (accès des engins, circulation sur site) ;
- vérifier ou orienter les recherches documentaires par des constats effectués sur site : activités, usages, puits, cours d'eau, etc. ;
- recenser les ouvrages piézométriques/piézaires existants et leur état.

Lors de la visite du site, toute action concernant la présence de déchets abandonnés aura été réalisée préalablement.

6.3.2 Informations à recueillir

Conformément à ce qui est demandé dans la norme NF X31-620-2, les informations à recueillir lors de la visite de site sont :

- des informations sur les milieux et leurs usages (site et environnement) ;
- des données sur la typologie des bâtiments, superstructures/ouvrages et des stockages ;
- des informations relatives aux pollutions visibles et à la vulnérabilité des milieux ;
- des témoignages recueillis sur site concernant les pratiques, la gestion des déchets, l'existence de puisards, de canalisation, d'incident, d'accident, de plaintes, de constats de pollution, ... ;
- des résultats des mesures sur le terrain (ex : mesures piézométriques dans les ouvrages existants).

Par ailleurs, la visite de site doit également s'attacher à observer l'état des milieux au droit du site et à son voisinage. Une appréciation de la vulnérabilité de ces milieux est à déterminer, en fonction des observations réalisées :

- **Sol** : observation visuelle et organoleptique des sols nus et des dalles, repérage de zones polluées ou de remblais, relevé des usages, ... ;
- **Eaux souterraines** : ouvrages piézométriques existants ou à créer, type d'usage sur site et au voisinage, contrôles éventuels sur les ouvrages existants (profondeur, niveau d'eau, présence de produit en phase, mesure au PID, ...) ;
- **Eaux de surface** : risque d'atteinte des eaux de surface, présence d'ouvrages souterrains (égouts, drains, réseaux électriques, ...), bassins de rétention des eaux pluviales ou des eaux d'extinction, rejets éventuels extérieurs au site, incidents, ... ;
- **Air** : pulvérulence des matériaux au niveau des sources sur le site, éventuelles émissions voisines (plaintes), odeurs détectées, type d'occupation du site et de ses environs, état général des dalles et des murs, présence ou non de sous-sol ou vide sanitaire, en prévision de réflexion sur les risques d'intrusion de vapeurs, ... ;

Le guide « visite de site » propose un questionnaire rapportant l'ensemble des éléments collectés lors de la visite de site, pour les sites en activité et les sites abandonnés. Il est conçu comme un fil rouge pour optimiser le travail d'investigations préliminaire.

6.3.3 Documents et informations à fournir dans le livrable

Conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620, le livrable intègre le questionnaire de visite, une carte avec les principales observations réalisées sur le site et ses environs, un reportage photographique (si autorisation du donneur d'ordre), les résultats d'éventuelles mesures sur site, l'organisation d'actions ultérieures en matière de diagnostic ou de surveillance, l'identification des contraintes et les possibilités de mener des investigations.

6.3.4 Recommandations / retour d'expérience

Il convient de ne pas confondre la visite de site réalisée au stade de l'offre et qui n'est pas nécessairement particulièrement longue et détaillée (objectif principal selon la norme : identifier les risques éventuels pour ajuster son offre à la réalité du projet), avec la visite de site réalisée dans le cadre du diagnostic qui devra être la plus approfondie possible pour fiabiliser les informations rapportées à l'issue de l'étude historique et documentaire et organiser au mieux, les éventuelles futures investigations environnementales.

Lors des visites de site, outre le respect des consignes du type de celles que l'on rencontre habituellement sur les sites industriels (ne pas fumer, ne pas boire, ni manger...), la principale consigne de bon sens, une fois les équipements de sécurité en place, est celle de la prudence. Ainsi, naturellement, il faudra éviter :

- d'ouvrir des contenants (cuves, fûts...) de même que d'échantillonner des produits lors de la première visite, sauf si l'on dispose de suffisamment d'informations (étude historique, présence d'un sachant...) pour mener ces opérations dans des conditions de sécurité satisfaisantes avec les équipements de protection adéquats ;
- de s'aventurer spontanément et sans précaution dans des zones confinées telles que des caves ou des sous-sols (risque d'asphyxie...) ;
- de s'aventurer spontanément et sans précaution sous un bâtiment ou sur un ouvrage vétuste (risque d'effondrement, de chute, de noyade...).

Il sera nécessaire d'être d'autant plus vigilant que les conditions météorologiques seront mauvaises (vent, neige...), voire ne pas hésiter à repousser la date de visite en cas de conditions trop difficiles.

Dans certains cas, il peut être utile de prévoir une caméra pour visiter certains ouvrages ou un survol du site et de son environnement.

Il est recommandé de préciser dans le compte-rendu de visite les éventuelles difficultés rencontrées pour atteindre certaines zones ou certains documents, afin de tracer les lacunes de connaissance générées le cas échéant, qui seront à prendre en compte dans les investigations et les travaux ultérieurs.

En cas de découverte de situation à risque de pollution, des recommandations de mesures de gestion immédiates doivent être précisées à l'issue de la visite.

Précisons enfin que plusieurs visites peuvent s'avérer nécessaires dès lors qu'une modification a eu lieu sur le site (démolition de bâtiments, réaménagement d'une partie du site, nouveaux éléments historiques ou documentaires, intrusion ou dépôts illégaux, etc.).

6.4 Comportement des polluants

6.4.1 Généralités

La connaissance des polluants, des propriétés intrinsèques des sols, des gaz du sol et des eaux souterraines et des aménagements spécifiques à chaque site, a une incidence majeure sur les objectifs, le dimensionnement (technique et financier) des diagnostics au même titre que pour les éventuelles mesures de gestion à mettre en œuvre.

Du comportement des polluants dépendent les dynamiques spatiales et temporelles de ces composés et donc de la manière dont 1) ils vont se distribuer 2) persister ou non au sein des différents compartiments de l'environnement 3) affecter de possibles milieux d'exposition ou des enjeux à protéger.

Les études historiques et documentaires, spécifiques des sites étudiés, visent à identifier les activités exercées qui se sont succédées, les produits manipulés, les déchets produits, les pratiques environnementales, les incidents ou accidents. D'éventuels sous-produits de transformation environnementale des composés susceptibles d'avoir été introduits dans les sols sont également à considérer. Ces études préliminaires sont de prime importance dans un processus de gestion des pollutions historiques car constituent le socle des diagnostics. Ils permettent de répondre aux questions : que rechercher ? où rechercher ? quel(s) milieu(x) concerné(s) ?

La méthodologie nationale propose de nombreux outils pour alimenter ces études. Certains sont présentés ci-dessous.

La base de données ActiviPoll répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés d'après le croisement de diverses sources d'information (bases de données françaises et littérature internationale spécialisée).



Base de données ActiviPoll :

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/base-de-donnees/bd-activipoll>

Le guide « comportement des polluants » (*en cours de mise à jour*) peut être consulté pour disposer d'informations sur les composés d'intérêt. Il présente notamment :

- les principaux facteurs contribuant à la dynamique spatiale et temporelle des polluants en phase huileuse (libre), aqueuse (dissoute), gazeuse (volatile). Sont exclus les transferts vers le biote ;
- la dynamique des polluants en phase huileuse (LNAPL, DNAPL), aqueuse (processus intervenant dans le transport réactif –biotique et abiotique – dans les eaux souterraines), gazeuse ;
- des fiches monographiques sur les polluants traditionnellement rencontrés dans les sites et sols pollués: inorganiques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Se, Sb, Zn, U, NO₃⁻/NH₄⁺, cyanures,), organiques (Hydrocarbures pétroliers, BTEX, HAP, CAV (chlorobenzènes), COHV, phénols et chlorophénols, PCB, dioxines et furanes chlorés et bromés) ;
- des fiches monographiques relatives aux thématiques émergentes ((per)chlorates ClO₃⁻/ClO₄⁻, famille du 1,4-dioxane, composés nitroaromatiques et autres composés organiques énergétiques, PFAS/PFOS/PFOA, NSO hétérocycles.



Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes :

<http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-comportement-polluants>

En complément, le « portail substances chimiques » de l'INERIS apporte des informations détaillées sur les substances chimiques. Il centralise, dans une seule et même base, toutes les données produites par l'Institut sur les risques et impacts des substances chimiques (données toxicologiques, écotoxicologiques, physico-chimiques, socio-économiques...).



Portail substances chimiques de l'INERIS :

<https://substances.ineris.fr/fr/>

L'acquisition de toutes ces informations relève des campagnes de diagnostics à mettre en œuvre au niveau de chacun des sites et justifie le principe de spécificité inhérent à la gestion des sols pollués.

6.4.2 Typologies et familles de polluants

Les activités humaines ont introduit une grande diversité de composés et substances dans les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol). Ces substances peuvent être réparties en deux grandes familles :

- **Les polluants inorganiques**

Ces polluants présentent la caractéristique d'être présents naturellement à des concentrations généralement faibles dans le sol et le sous-sol. À noter que certains contextes géologiques présentent des concentrations naturellement élevées qui ont pu faire l'objet d'exploitation minière (anomalie géochimique naturelle). Ils sont souvent associés à d'autres constituants du sol et peuvent ainsi être présents sous différentes formes chimiques. Seul le mercure Hg^0 peut être présent à l'état liquide et gazeux dans les conditions de pression et de température standards. À l'exception des couples NO_3^-/NH_4^+ et ClO_3^-/ClO_4^- , ils ne sont pas dégradables au cours du temps. Certains peuvent changer de spéciation sous l'action microbiologique. Les activités humaines ont conduit à les extraire et à les concentrer pour répondre à différents usages.

Certains de ces composés (par exemple les métaux comme le cadmium ou le plomb) sont toxiques au-delà de certaines concentrations (variables selon la population et leurs formes chimiques).

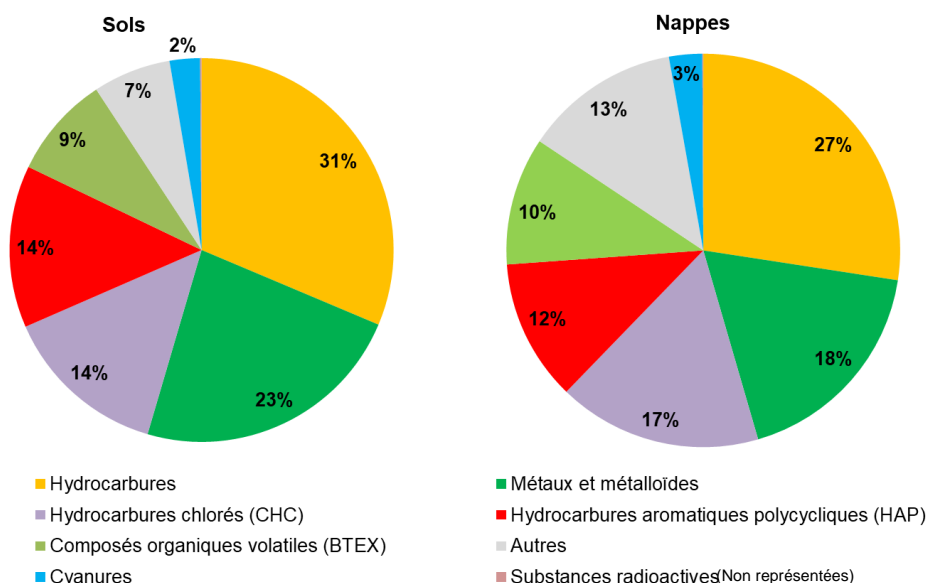
- **Les polluants organiques**

Dans le cas des polluants organiques, leur origine est principalement associée aux activités humaines (certaines molécules « xénobiotiques » sont des produits de synthèse issus de la chimie et n'existent pas dans la nature). Contrairement aux éléments métalliques, les substances organiques peuvent dans certains cas, selon notamment leur structure et composition chimique, se dégrader ou se transformer dans le sol en lien avec les activités des micro-organismes.

Cette dégradation plus ou moins rapide aboutit à des éléments minéraux simples, assimilables par les plantes (tel que le carbone) (minéralisation) ou à de nouveaux composés organiques, de toxicité variable (parfois plus toxiques que les composés d'origine) (métabolites).

La figure suivante présente la répartition de sept familles de polluants identifiées dans les sols ou les nappes en contexte de sites et sols pollués en date de 2018. Les polluants que l'on retrouve majoritairement dans ces milieux sont : les hydrocarbures, les métaux/métalloïdes et les solvants chlorés (COHV). Cette répartition est le reflet de l'importance historique (tonnages, usages) de ces familles dans l'industrie et les activités humaines.

Poids global des 7 familles de polluants identifiées dans les sols ou les nappes mi-2018



Note de lecture : un tiers des pollutions des sols identifiées dans Basol implique des hydrocarbures de type minéral.
Source : MTES/DGPR, Basol au 4 juillet 2018. Traitements : SDES, 2018

Note : la huitième famille de polluant (substances radioactives) n'est pas représentée sur cette figure.

Figure 6 : Poids global des 7 familles de polluants couramment identifiées dans les sols ou les nappes des SSP (extrait de « MTES/DGPR, Basol au 4 juillet 2018. Traitements : SDES, 2018 »).

6.4.3 Mobilité et transfert des polluants

Tous les polluants sont susceptibles de faire l'objet de transferts, à des vitesses et selon des voies différentes (dans les sols, les eaux, les sédiments, ...) et d'accumulations à des degrés variables par exemple dans les végétaux (racines, tiges, feuilles, fruits) et la faune du sol (vers de terre, escargots, petits mammifères, ...).

Lorsqu'ils sont sous forme liquide ou soluble, les polluants peuvent migrer en profondeur et impacter les eaux souterraines. Ces processus vont dépendre des propriétés des substances, des caractéristiques du sol (par exemple : texture, perméabilité, pH, teneurs en matière organique, en eau, en calcaire).

Enfin, sous l'action du ruissellement ou du vent, les particules fines de sol ou celles issues d'émissions (origines agricole, urbaine ou industrielle) et les polluants qu'elles contiennent peuvent se disperser dans l'environnement. Il convient de prendre en compte par exemple la granularité des solides pour évaluer leur propension à s'envoler ou à être lixiviés sous forme particulaire.

Un transfert des composés métalliques et organiques vers les végétaux et les sols de surface est alors également possible via les retombées atmosphériques. Des rejets directs ou indirects de polluants peuvent également impacter les milieux (eaux superficielles, sédiments, ...).

La présence de produits en mélange peut également modifier le comportement de transfert, comme l'effet fluidifiant de composés organiques légers dans des lourds.

La consultation de guides et de base de données pour chaque composé permet d'évaluer la mobilité des polluants dans les milieux.

6.4.4 Points d'attention sur les polluants recherchés lors d'un diagnostic

6.4.4.1 Recherche des métabolites et produits de dégradation plus toxiques.

Les réactions susceptibles de se produire dans le milieu naturel par interaction avec d'autres polluants ou organismes vivants, ainsi que l'évolution des polluants dans le temps, sont également des notions essentielles. Un polluant peut se dégrader dans le temps pour former des produits de nature physique différente ou des produits de décomposition plus toxiques et/ou plus mobiles que le polluant initial. Il en va par exemple du tétrachloroéthylène qui, par dégradation et sous certaines conditions, peut former du chlorure de vinyle. Il convient donc de rechercher les métabolites de dégradation jugés pertinents par le prestataire en charge du diagnostic. Le schéma suivant met en évidence le mécanisme de dégradation de solvants chlorés sur un site pollué. Dans les milieux pollués, les solvants les plus chlorés (tétra- et trichloroéthylène) sont situés au centre du panache de pollution (au niveau de la source) et les moins chlorés (chlorure de vinyle) se retrouvent vers l'extérieur.

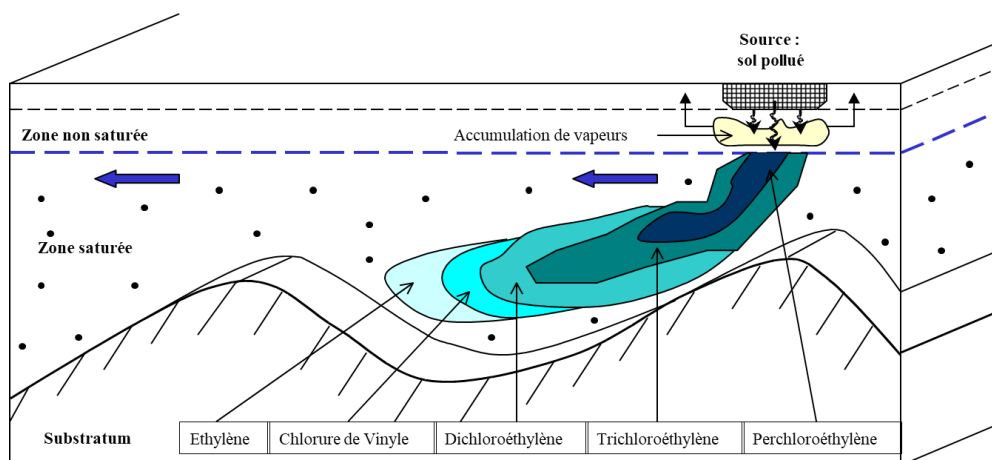


Figure 7 : Exemple de mécanisme de dégradation de solvants chlorés sur un site pollué.

Dans le cadre d'un diagnostic, le polluant à rechercher et/ou responsable du risque, n'est pas forcément celui qui était utilisé au niveau du site. Si le polluant s'est déjà transformé, il conviendra de tenir compte des propriétés de transfert, de solubilité et d'accumulation des produits de dégradation dans les milieux.

6.4.4.2 Recherche des spéciations des éléments chimiques

Pour certains polluants, tels que métaux ou métalloïdes, et dans certains contextes, la **caractérisation de la spéciation** est nécessaire. Il s'agit de la connaissance de l'espèce ou de la forme moléculaire précise du polluant en cause dans le milieu considéré. En effet, pour un même polluant, la toxicité et la mobilité peuvent être très différentes d'une espèce à une autre (il en va notamment des différentes formes du chrome ($Cr\ III/Cr\ VI$), de l'arsenic ($As\ III /As\ V$), du plomb, du mercure, ...). La spéciation permet de sélectionner la valeur toxicologique de référence la plus adaptée (si elle existe) et de renseigner sur d'autres propriétés physico-chimiques (solubilité par exemple).

La connaissance de la spéciation du polluant en cause peut donc s'avérer nécessaire aussi bien pour mieux comprendre les mécanismes de transfert et avoir une meilleure appréciation des impacts à l'issue des premiers éléments de l'état des lieux, que pour mettre au point un plan de gestion du site.

6.4.4.3 Recherche de polluants d'intérêt émergents

Parmi les polluants d'intérêt émergents, peuvent être mentionnés :

- les substances per et polyfluorés alkylés (PFAS) ;
- les additifs du trichloroéthane (1,1,1 TCA) dont le plus connu, le 1,4-dioxane.

Les PFAS sont des substances per et polyfluoro alkylés, dont les acides perfluorés PFOA et PFOS. On dénombre plusieurs milliers de composés (3000 à 5000 selon les sources) dont certains sont suspectés d'être des perturbateurs endocriniens.

Les acides perfluorés ont une grande solubilité dans l'eau, et une sorption faible à moyenne. Le milieu récepteur principal est le milieu eaux (souterraines et superficielles). Ils sont résistants à la dégradation chimique et biologique.

Les sources principales des PFAS sont les suivants :

- sites industriels de production et d'utilisation : industrie du cuir, du textile, du papier, des résines et plastiques, dans les pesticides et les insecticides, ... ;
- mousses anti-incendie ;
- produits de consommation courante : emballages, vêtements, cosmétiques, équipements de sport, ustensiles de cuisine anti-adhésifs ;
- installation de stockage et stations d'épuration des eaux usées.

Pour prendre un autre exemple, le 1,1,1 TCA est un solvant utilisé pour le nettoyage des métaux, aérosols, nettoyage à sec, détachant et de nombreux autres usages. Les additifs de ce solvant sont utilisés pour éviter que le 1,1,1 TCA ne se détériore lors de son stockage ou de son utilisation. On dénombre plus de 180 composés (ou familles de composés).

Ces composés sont solubles à totalement solubles dans l'eau. Ils sont mobiles dans les eaux souterraines (le 1,4 dioxane est plus mobile que le TCA). Ils sont volatils à faiblement volatils. Leur dégradation est très variable selon les substances et les conditions du milieu. Le composé 1,4 dioxane a la particularité d'être relativement récalcitrant à la dégradation. Néanmoins, son atténuation naturelle a été récemment documentée.



Journée Technique n°16 - 07 novembre 2019 - Actualités 2019 :

https://ssp-infoterre.brgm.fr/sites/default/files/documents/2022-06/JT16_21_jt_ssp_2019_pfas_additifs_tca_brgm_boissard-vf.pdf

Rapport BRGM/RP-70190-FR sur les additifs du 1,1,1-trichloroéthane - État de l'art et enjeux en contexte "sites et sols pollués" : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/revue-additifs-TCA>

7 Élaboration d'un programme d'investigations

Avant toute intervention sur site, un programme d'investigations doit être défini en fonction des enjeux (contexte de l'étude et usage du site et de son environnement), des caractéristiques du site (lithologie, concentration, type de polluants, ...), de la nature des informations à acquérir (caractérisation des sources, des impacts et de l'état des milieux, estimation des volumes de sources à traiter, gestion des terres sur site, ...), du degré d'approfondissement recherché (carte d'iso-concentrations, bilan massique, étude géostatistique, ...), et du budget alloué pour réaliser les futures campagnes d'investigations.

- *Le choix des moyens d'investigations mis en œuvre repose également sur le jugement et l'expertise des équipes impliquées.*

Dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620, cette étape correspond à la prestation A130 « élaboration d'un programme prévisionnel d'investigations ».

Le programme d'investigations repose nécessairement sur un schéma conceptuel synthétisant toutes les données collectées sur le site. Il peut s'agir notamment :

- des résultats des études historique, documentaire et de vulnérabilité, des résultats des diagnostics antérieurs (y compris les caractéristiques des milieux et la nature des polluants) ;
- des paramètres susceptibles d'influencer les résultats propres à chaque milieu (conditions météorologiques, variations saisonnières, configurations du bâti, ...) ;
- des aménagements spécifiques à chacun des sites (structures enterrées, voiries, sols compactés, ...) et des réseaux enterrés de toute nature desservant le site et son voisinage (eau, assainissement, électricité, ...) qui peuvent modifier les transferts des polluants notamment dans les sols et les gaz du sol et constituer des vecteurs préférentiels de propagation ;
- du projet d'aménagement (localisation des bâtiments, présence de sous-sol, ...).

Ce programme d'investigations comporte *a minima* :

- définition des objectifs et enjeux des investigations ;
- définition de la zone, périmètre d'études ;
- stratégie d'échantillonnage (période et fréquence d'échantillonnage, localisation, densité et profondeur des points de prélèvement, ...) ;
- plan d'échantillonnage donnant des instructions détaillées sur la manière dont il convient d'effectuer l'échantillonnage :
 - choix de la ou les techniques de forage,
 - procédures d'échantillonnage, de conservation, de stockage et de transport des échantillons,
 - procédures de nettoyage des outils de prélèvement (y compris les modalités de gestion des déchets générés),
 - ... ;

- définition du programme analytique (substances à analyser, méthodes d'analyses, LQ, ...);
- planning des interventions.

Différentes stratégies d'investigations peuvent être proposées sur le site et dans son environnement, en fonction des informations disponibles au moment du diagnostic. Ces stratégies sont présentées par la suite dans le guide pour chaque milieu (§ 8).

Il est important de noter, qu'en règle générale, l'échantillonnage ne se limite pas à un seul milieu, mais il inclut l'échantillonnage de différents milieux (sol, eaux souterraines, eau de surface et/ou gaz du sol, etc.), afin d'associer et de comparer l'ensemble des résultats obtenus sur les milieux. Par exemple, les gaz du sol sont notamment à privilégier en présence de composés volatils afin de mieux comprendre leur migration et d'être plus représentatif dans le modèle de transfert lors de calculs de risques sanitaires.

Le programme d'investigations peut être optimisé par la mise en œuvre de techniques d'investigations et de mesures sur site spécifiques à chaque milieu (cf. § 9 et Tableau 2 sur les principales méthodes utilisées pour les mesures sur site (sol, eau, gaz)).

Ce programme peut être aussi ajusté lors des campagnes d'investigations en s'adaptant autant que possible aux observations, aléas et opportunités rencontrés sur le terrain : contexte hydrogéologique local entraînant des modifications sur la profondeur des piézomètres, présence de réseaux enterrés conduisant au décalage voire l'annulation des points de sondages, absence d'autorisation d'accès sur les parcelles privées, mais aussi articulation différente des tâches du fait de la co-activité....

À noter également que des outils issus des projets de recherche ont été développés dans le but d'affiner les diagnostics et de préciser les zones à échantillonner en priorité.

Citons par exemple le projet FUI « MATRICE » : Outil de prospection intégré et d'analyse en temps réel pour améliorer les diagnostics.

- *Le projet de recherche appliquée MATRICE vise à développer une méthodologie complète (du prélèvement à l'analyse terrain, couplés à des outils géostatistiques) capable de fournir rapidement des données quantitatives sur les micropolluants inorganiques et organiques dans les sols, afin de pouvoir caractériser les sols de manière plus rapide, plus fiable (en réorientant la stratégie d'investigation au jour le jour pour garantir la caractérisation des milieux en une unique phase d'investigations) et à moindre coût, par rapport aux techniques classiques utilisées dans le cadre des études relatives aux Sites et Sols Pollués.*

Ainsi, améliorer la connaissance de l'état des milieux permet de mieux préparer un chantier de dépollution, de réduire la probabilité de découvrir une pollution fortuite et de gagner en flexibilité et en marge de manœuvre pendant la phase travaux.

La multiplication des données est un avantage pour caractériser le phénomène spatial lié à une pollution. Il convient néanmoins d'avoir une maîtrise sur le jeu données (représentativité du milieu étudié, précision, incertitude, reproductibilité, etc..) et une répartition spatiale adéquate (en fonction des informations disponibles) pour un traitement optimal des données.

Au final, la décision revient au donneur d'ordre à l'origine des diagnostics qui doit équilibrer les considérations environnementales, sanitaires, techniques et financières, politiques et sociétales et trouver le meilleur compromis via un bilan coûts/avantages.

Pour l'aspect financier, il faut néanmoins garder à l'esprit que les coûts d'investigations représentent généralement une faible partie du montant global des projets de réhabilitation. Au droit du site, l'augmentation du nombre de données permet généralement de diminuer le coût global d'une réhabilitation (cf. Figure 8).

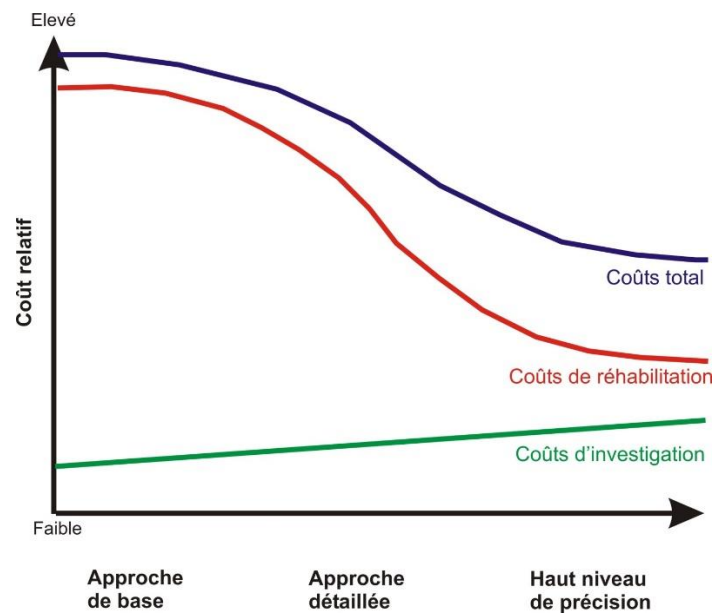


Figure 8 : Influence du niveau de détail des investigations sur les coûts associés (d'après Lecomte « Les sites pollués » Editions Lavoisier, 1998).

Enfin, parmi toutes les données à apprécier, une est essentielle : le facteur temps. Les délais de réalisation des différentes mesures de gestion varient en fonction des caractéristiques du projet (ancienneté du site, surface des terrains, complexité des pollutions). À titre indicatif, la connaissance de l'état des milieux jusqu'à l'élaboration du schéma conceptuel peut prendre plusieurs mois, voire plusieurs années (avec différentes campagnes de mesures selon le cycle hydrique ou les variations temporelles et spatiales pour les gaz du sol).

Notons également que des investigations peuvent également être réalisées dans un temps très bref, à la suite d'un incident par exemple, afin d'avoir une première estimation, bien que partielle, de l'état des milieux.

8 Campagnes d'investigations sur les milieux

Les chapitres suivants apportent des éléments clés pour mettre en œuvre les différentes étapes d'investigations sur chaque milieu (stratégies d'investigations, méthodes d'échantillonnage, protocoles de prélèvement, conditionnement des échantillons, ...), avec des points d'attention suite aux retours d'expérience et aux projets de recherche.

8.1 Les investigations sur les sols

Les investigations sur les sols sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31 620 (Prestation A200 « Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.1.8.

8.1.1 Stratégies d'investigations

8.1.1.1 Généralités

En contexte de sites et sols pollués, les investigations sur les sols peuvent être réalisées pour répondre à différents objectifs :

- identifier la présence de polluants ;
- délimiter des sources de pollutions et des pollutions concentrées ;
- quantifier des pollutions et caractériser leur mobilité ;
- vérifier la faisabilité de scénarios de réhabilitation envisagés ;
- dimensionner des installations de traitement ;
- gérer des terres excavées ;
- contrôler et vérifier, en phase travaux, l'atteinte des objectifs de réhabilitation ;
- assurer le suivi d'un site avant et après la mise en place de mesures de gestion.

Lorsque les sols constituent des matériaux (terres à excaver), il convient de les gérer selon leur qualité chimique et/ou mécanique, lors de travaux de terrassement (cf. § 1.1).

Une campagne d'échantillonnage des sols avec la réalisation d'échantillons témoins peut être également envisagée dans le but de constituer un Environnement Local Témoin et d'avoir un état de référence du milieu non impacté (cf. 11.2.1).

Une fois les objectifs de l'étude bien définis, un programme prévisionnel d'investigations doit être élaboré de manière à garantir la représentativité des échantillons de sols et acquérir des données dont le niveau de qualité est suffisant pour répondre à l'objectif visé.

Ce programme peut être ajusté lors de la campagne d'investigations, en fonction notamment des observations ou des mesures de terrain qui permettent d'avoir une réactivité sur le site et d'orienter en temps réel les investigations.

La caractérisation des sols doit être également associée et corrélée aux données disponibles sur les autres milieux (notamment les eaux souterraines et les gaz du sol), afin de permettre une évaluation globale de la situation au droit du site.

Globalement, ces investigations sont menées à différentes étapes selon une démarche progressive et itérative :

- étape de pré-caractérisation de la pollution dans les sols (investigations exploratoires) ;
- étape de caractérisation plus fine de la pollution dans les sols (investigations détaillées).

8.1.1.2 Éléments de stratégie

Lors d'un diagnostic, l'élaboration du programme d'investigations (cf. § 7) comprend tous les éléments permettant de définir la stratégie et le plan d'échantillonnage.

Sur les sols, ce programme est couramment le fruit d'un compromis entre les objectifs de l'étude, les données spécifiques au site et à la zone à investiguer (caractéristiques des sols, type de polluants, surface (ou volume) à investiguer, contraintes liées au site), les moyens disponibles et le degré de précision souhaité. La plupart du temps, ce compromis est arbitré par le jugement et l'expertise des concepteurs du plan d'échantillonnage sur la base des informations issues de l'étude historique et documentaire du site, des constats visuels, des relevés organoleptiques.

Le programme d'investigations sur les sols peut être optimisé par la mise en œuvre de techniques d'investigations et de mesures sur site (Niton, MIP, ...), afin de cibler les zones d'intérêt pour l'implantation des sondages.

➤ *Pour plus de détail sur les appareils de mesures de terrain, se référer aux § 9.1 et § 9.2.*

L'acquisition de données locales peut être également nécessaire dans l'élaboration du programme : par exemple, l'acquisition de données sur la rose des vents pour évaluer les retombées atmosphériques sur les sols (cf. § 6.2 sur les études de vulnérabilité).

8.1.1.3 Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage, dont les grandes lignes sont présentées dans ce chapitre, a pour objectif de caractériser la répartition spatiale des pollutions dans les sols et le degré de pollution associé, en fonction des caractéristiques et suspicions propres à chaque zone, mais également en prenant en compte les usages actuels et futurs du site.



Des recommandations normatives concernant l'élaboration des stratégies d'échantillonnage sont données dans la norme ISO 18400-104 « Stratégie et évaluations statistiques ».

Le plan d'échantillonnage, qui découle de cette stratégie, fournit à la personne en charge des prélèvements des instructions détaillées sur la manière dont il convient d'effectuer l'échantillonnage. Il détermine la localisation et la densité de sondages, le nombre et le type d'échantillons (ponctuel, composite), la profondeur de forage et d'échantillonnage, les techniques de forage et d'échantillonnage et la préparation physique des échantillons sur le terrain. Il est donc nécessaire de se rapprocher du laboratoire d'analyses au moment d'établir ce plan d'échantillonnage afin de cadrer la phase logistique (quantité de sol à prélever, conditionnement et transport appropriés des échantillons de sols, modalités de préparation des échantillons avant analyse).



Des recommandations normatives sur la préparation du plan d'échantillonnage sont fournies dans la norme ISO 18400-101 « Cadre pour la préparation et l'application d'un plan d'échantillonnage ».

Pour répartir les points de prélèvement sur un site, différentes stratégies peuvent être proposées en fonction des enjeux (contexte de l'étude et usage du site) et des informations disponibles au moment du diagnostic :

- Le degré de connaissance (historique et études antérieures) du site ;
- La superficie du site et des sources de pollution recherchées ;
- L'hétérogénéité de forme de la zone cible et hétérogénéité de la pollution ;
- Les contraintes d'accès du site ;
- ... ;

Certaines stratégies sont basées sur une approche statistique classique : échantillonnage aléatoire, échantillonnage aléatoire stratifié, échantillonnage systématique, échantillonnage systématique stratifié, etc.

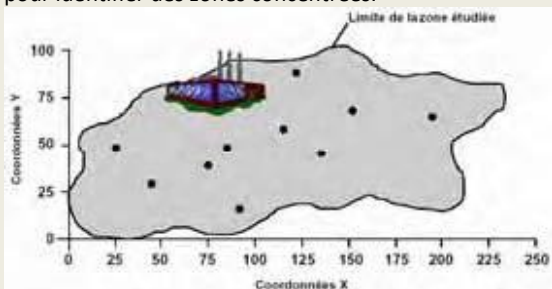
D'autres relèvent plutôt d'une approche préférentielle (hypothétique) faisant appel à une sélection subjective : échantillonnage a priori (ou de jugement) basé sur les résultats des études historiques du site et/ou des mesures antérieures, privilégiant les prises d'échantillon au sein des zones estimées potentiellement polluées.

Des stratégies sont également développées dans un but d'une recherche spécifique : recherche de zones de pollution concentrée, échantillonnage par profils ou transects censés recouper des « zones sensibles », dimensionnement d'une pollution reconnue par grille circulaire, linéaire, etc.

Les figures suivantes présentent des exemples de plans d'échantillonnage systématique ou aléatoire (cf. Figure 9) et de plans d'échantillonnage guidé (cf. Figure 10).

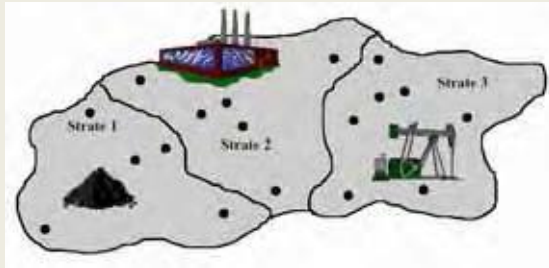
Échantillonnage aléatoire simple

Une telle approche est particulièrement appropriée pour effectuer des vérifications (prélèvements en nombre limité) ou dans tous les cas où les informations sur l'état du site, en termes de pollution, sont inexistantes ou insuffisantes pour une utilisation rationnelle (grand nombre de prélèvements). Cette approche n'est pas efficace pour identifier des zones concentrées.



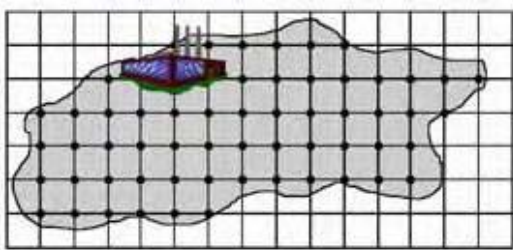
Échantillonnage aléatoire stratifié

Dérivée de la précédente, cette stratégie s'en distingue par un découpage des zones étudiées en secteurs (ou strates) plus homogènes, qui seront échantillonnés aléatoirement, indépendamment les uns des autres.



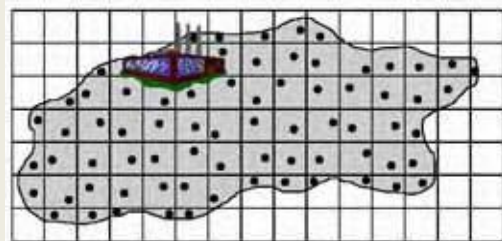
Échantillonnage systématique (grille régulière)

Parfaitement adapté à l'échantillonnage de sites de superficie élevée. Cette approche est souvent utilisée pour déterminer la distribution d'un polluant.



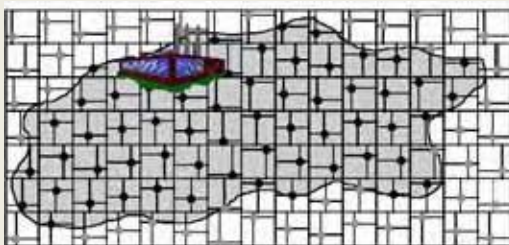
Échantillonnage systématique aléatoire

Cette approche est utile pour évaluer la concentration moyenne en polluant à l'intérieur de chaque maille et déterminer celles qui nécessitent un complément d'investigation.



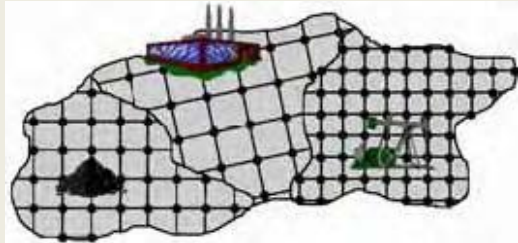
Échantillonnage systématique semi aléatoire

Dérivée de la précédente par un découpage ordonné à l'intérieur des mailles. Cette approche augmente les chances de localisation d'une zone de forme allongée ou d'une zone concentrée « longue et mince » (par exemple le long d'une ancienne canalisation).



Échantillonnage systématique stratifié en plan

Cette stratégie permet de densifier les points de prélèvement dans certaines zones susceptibles d'être plus particulièrement polluées.



Échantillonnage stratifié en couches Cette approche est adaptée à la recherche d'une source enfouie non préalablement localisée ou pour délimiter les volumes à excaver ou à traiter.

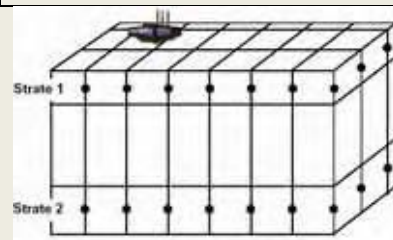


Figure 9 : Exemples de plans d'échantillonnage systématique ou aléatoire.

Un plan d'échantillonnage guidé consiste à intensifier les prélèvements aux endroits où l'on suspecte l'existence d'une pollution, et à vérifier l'absence de pollution dans les autres parties du site.

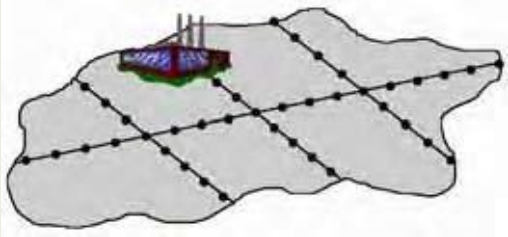
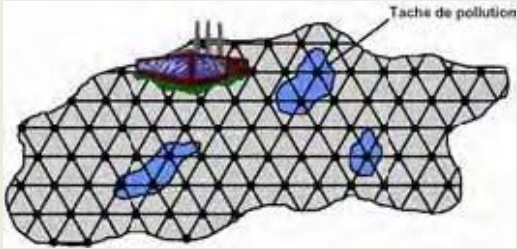
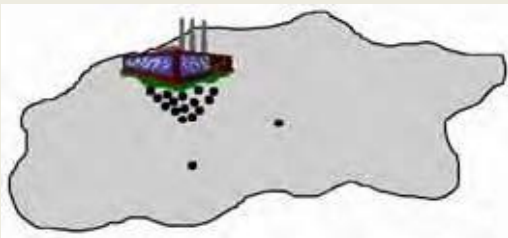

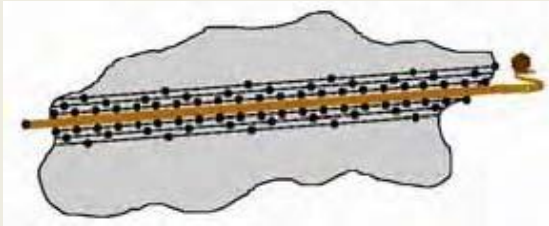
<p>Échantillonnage par profils</p> <p>Cette approche a pour avantage de limiter le nombre d'échantillons prélevés, et apparaît bien adaptée pour démontrer l'extension d'une pollution.</p> 	<p>Échantillonnage de recherche spécifique</p> <p>Ce type d'approche est utilisé pour identifier ou détecter une zone présentant des concentrations anormales. La maille est proportionnelle à la taille minimale des taches de pollution suspectées (nécessite d'avoir une idée sur la valeur de la surface des taches de pollution).</p> 
<p>Échantillonnage ciblé</p> <p>Cette démarche ne peut pas être utilisée à des fins statistiques. Elle est applicable pour déterminer les polluants présents dans une source déjà localisée.</p> 	<p>Utilisation de grilles</p> <p>Lorsque la source de pollution est ponctuelle et bien localisée, il peut être intéressant de prélever les échantillons à partir d'une grille circulaire. Cette approche est utile pour délimiter des zones de pollution localisée, telles que des réservoirs de stockage, mais aussi pour indiquer des influences autour d'une source d'émission provenant par exemple d'une installation industrielle.</p> 
<p>Utilisation de lignes</p> <p>Si la source de pollution n'est pas ponctuelle mais linéaire, l'échantillonnage peut avantageusement se faire à partir de prélèvements régulièrement répartis le long d'une ou plusieurs lignes parallèles.</p> 	

Figure 10 : Exemples de plans d'échantillonnage guidé.

En pratique, il est rare qu'un seul type de stratégie soit utilisé lors d'une investigation donnée. Dans la plupart des cas, on utilisera une combinaison de plusieurs stratégies (notamment les approches préférentielles et systématiques), afin d'intégrer les notions de budget disponible et d'objectifs à atteindre.

La géostatistique peut également être utilisée lors du diagnostic pour orienter la stratégie d'échantillonnage en produisant des cartes d'incertitudes (zones blanches ou lacunes de points nécessitant des investigations complémentaires). Elle permet une meilleure compréhension de la pollution et l'identification des sources ainsi que des voies de migration.

Le couplage de la géostatistique avec les mesures de terrain est notamment utilisé pour caractériser les pollutions ou estimer les volumes de terres polluées tout en quantifiant les incertitudes relatives à ces estimations, qu'elles soient locales (cartographie) ou globales (volumes, tonnages).

L'utilisation de méthode d'interprétation poussée (géostatistique, statistique) nécessite une exigence vis-à-vis du jeu de données : une quantité suffisante de données (généralement supérieure à 30 valeurs), un support d'échantillonnage régulier (prélèvement sur un même horizon), une répartition sur tout le site y compris sur des zones non potentiellement polluées, une représentativité adéquate d'échantillon (support d'échantillonnage ou intervalle de profondeur d'échantillonnage < 1 m). Dans ce cas, il est intéressant de se rapprocher au préalable d'un expert pour anticiper les besoins de la modélisation géostatistique et caler certains points d'investigation pour calibrer le variogramme.



Pour des approches spécifiques, des schémas d'échantillonnage sont présentés dans la norme ISO 18400-104 « Stratégie et évaluations statistiques » :

- En Annexe H : méthodes géostatistiques pour la conception de l'échantillonnage et l'évaluation de la qualité du sol.
- En Annexe I : stratégie d'échantillonnage pour l'appréciation des risques.

8.1.1.4 Densité de sondages à l'échelle du site

Une approche générique qui consisterait à proposer un nombre de points de sondage minimum par site réparti selon un maillage générique, apparaît antagoniste avec le principe de spécificité inhérent à la gestion des sols pollués. La fixation d'un maillage générique pour les prélèvements de sols pourrait conduire à une gestion technique problématique et disproportionnée sur le plan financier.

L'étude historique et documentaire montre ainsi toute son importance dans la définition d'un programme d'investigations ciblé, adapté au contexte du site et, plus particulièrement sur la caractérisation des zones à risques.

La méthodologie nationale de gestion des sites et sol pollués d'avril 2017 donne quelques repères sans que ceux-ci deviennent des références à imposer. Par exemple, pour corroborer les conclusions des études documentaires, différentes campagnes de diagnostic pourraient être nécessaires. Elles pourraient comporter en première approche un point de sondage pour 400 à 500 m² (maille de l'ordre de 20 m). Ensuite, pour caractériser les sources de pollution, les pollutions concentrées et leurs étendues, selon les sites et leurs spécificités, des maillages de 10 x 10 m, voire 5 x 5 m, peuvent être mis en œuvre. La campagne d'investigations sur les sols s'inscrit dans un processus itératif conduisant dans de nombreux cas à un ajustement du nombre de sondages sur la base des résultats acquis successivement.

Une densification des diagnostics pour localiser et caractériser des pollutions permet généralement de sécuriser le projet sur le plan technique mais surtout financier.

Conformément à l'article L.411-1 du Code Minier : « Toute personne exécutant un sondage, un ouvrage souterrain, un travail de fouille, quel qu'en soit l'objet, dont la profondeur dépasse dix mètres au-dessous de la surface du sol, doit déposer une déclaration préalable à l'autorité administrative compétente ».

Cette déclaration doit être effectuée au plus tard 1 mois avant le début des travaux et permet d'obtenir le / les numéro(s) BSS attribués aux ouvrages réalisés. L'objectif de cette déclaration est d'alimenter la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) et consultable sur le site infoterre.fr.



Depuis le 1^{er} janvier 2021 (et pour 11 régions), cette déclaration peut s'effectuer à partir du portail de Déclaration Unifiée Pour Les Ouvrages Souterrains (DUPLOS) développé par le BRGM : <https://duplos.brgm.fr/#/>

Pour deux régions, le formulaire de déclaration est disponible via les liens suivants :

- <https://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/declaration-des-forages-code-minier-a24272.html> ;
- <https://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/declaration-de-sondage-ouvrage-souterrain-ou-a5359.html>

8.1.1.5 Profondeur d'investigations

Selon les contextes, la profondeur d'investigation des sols peut être limitée à la surface ou étendu en profondeur jusqu'au niveau présumé d'extension de la pollution.

Lorsque les sols constituent des sources de pollution, la profondeur d'investigations dépend des données disponibles sur l'historique du site et l'origine de la pollution (déversement, infiltration, cuve aérienne ou enterrée, ...), de la nature du sol, du comportement des polluants et de l'âge de la pollution, de l'existence d'une nappe et de sa profondeur et des constats organoleptiques. *Par exemple, dans le cas d'une caractérisation des sols autour d'une cuve enterrée de 5 m³ (posée à l'horizontale), une profondeur d'investigation d'au moins 3 mètres est nécessaire pour atteindre les sols présents au-delà de l'assise de la cuve.* Cette profondeur est à adapter selon la présence ou non d'un radier pouvant influencer sur la propagation de la pollution.

Lorsque les sols constituent des milieux d'exposition pour les usagers de la zone étudiée (scénarios d'inhalation de poussières et/ou d'ingestion de sol), la profondeur d'investigation concerne alors la partie superficielle du sol. Par exemple, pour caractériser un sol en tant que milieu d'exposition par ingestion de sol sur une aire de jeu, la tranche superficielle du sol (0-5 cm, voire 0-10 cm) est concernée. Un échantillonnage plus profond pourrait conduire à diluer les concentrations présentes en surface par mélange avec des concentrations plus faibles contenues dans le sol en sub-surface.

Pour les sols de surface servant de support de culture (exemple des jardins potagers) et donc de voie de transfert des polluants vers les végétaux autoproduits, la profondeur d'investigation correspond à la limite estimée pour l'horizon cultivé (cf. Tableau 5).

Dans le cadre d'un projet d'aménagement incluant des arbres fruitiers, la profondeur des racines induit de réaliser une investigation à plus grande profondeur sur la totalité du profil vertical pour anticiper l'exploration future des horizons par le système racinaire. La stratégie d'échantillonnage sera à adapter selon la source de pollution et la profondeur des racines. Le Tableau 5 propose des profondeurs d'investigations pertinentes selon l'usage de la zone investiguée et les voies d'exposition associées. Ces profondeurs sont néanmoins laissées à l'appréciation de l'opérateur en charge des investigations selon le contexte et les données disponibles sur la zone d'étude.

Voies d'exposition	Usage de la zone	Profondeur d'investigations pertinentes
Inhalation de poussières (1) (2)	Aires de jeu, jardin, zone d'activités	De l'ordre de l'échelle centimétrique (3)
Ingestion de sol (2)	Aires de jeu, jardin Parc et aire de loisirs	Profondeur généralement limitée à 0-5 cm / 0-10 cm (4)
	Activités de jardinage	Profondeur limitée à l'horizon labouré : 0-30 cm
Consommation de plantes potagères	Zones cultivées Jardins potagers	Profondeur limitée à l'horizon cultivé : 0-30 cm / 30-60 cm (5)
Consommation de fruits issus de l'arboriculture	Zones cultivées	Selon l'espèce et l'âge des arbres fruitiers, la profondeur des racines peut dans certains cas dépasser 5 mètres
Consommation de viande ou de lait de bétail	Zones agricoles, Prairies, ...	Profondeur généralement limitée à 0-10 cm, voire 10-30 cm dans certains cas

- (1) Concerne les poussières de sol potentiellement mobilisables sous l'effet du vent.
- (2) Voie d'exposition retenue en présence de sol nu, sans couvert végétal.
- (3) Si deux voies d'exposition sont concernées (inhalation de poussières et ingestion de sol), un seul échantillon peut être réalisé, par exemple sur une profondeur comprise entre 0 et 5 cm.
- (4) Selon la configuration de l'aire de jeux, les observations sur site et la nature du sol (sol meuble, ...), une profondeur plus importante peut être considérée en justifiant la raison.
- (5) Selon le type de végétaux cultivés, une profondeur plus importante (comprise entre 60 et 100 cm) peut être considérée, en justifiant la raison (se référer au guide R.E.F.U.G.E.²⁴ pour connaître la profondeur moyenne des racines de certains légumes et arbustes)

Tableau 5 : Préconisations pour la profondeur d'investigations des sols selon l'usage de la zone.

Dans d'autres contextes, la profondeur d'investigation peut être également déterminée en fonction du projet d'aménagement pour déterminer les cubatures de sol à traiter / gérer et caractériser les sols restant en place après aménagement. *Par exemple, dans le cas où un niveau de parking enterré est prévu au droit d'un futur bâtiment, la profondeur d'investigation devra atteindre a minima 3 mètres de profondeur.*

8.1.1.6 Profondeur des échantillons prélevés

La profondeur à laquelle les échantillons sont prélevés dépend des objectifs visés pour évaluer la qualité du sol.

Il existe donc de nombreuses variantes pour échantillonner un sol le long d'un sondage. Verticalement, le nombre et la profondeur des échantillons sera différent selon qu'il s'agit de caractériser une source, un milieu de transfert ou un milieu d'exposition, d'estimer un volume de sol à traiter/gérer, ...).

Comme indiqué dans la norme 18400-104 (Annexe B, clause B.1.3) : « Bien que l'échantillonnage soit parfois effectué à des intervalles de profondeur réguliers (par exemple, tous les 0,5 m ou tous les 1,0 m), il est également courant d'échantillonner des horizons « présentant un intérêt » même si leur épaisseur est seulement de l'ordre de 100 mm. **Ainsi, les décisions relatives aux profondeurs d'échantillonnage s'appuient en grande partie sur le jugement.** »

²⁴ Guide R.E.F.U.G.E. version 1 - novembre 2019 - Caractérisation de la contamination des sols urbains destinés à la culture maraîchère et évaluation des risques sanitaires - Cas de la région Île-de-France

Dans la pratique, les profondeurs d'échantillonnage suivantes sont couramment retenues :

- échantillonnage unitaire par horizon pédologique ou par couche de lithologie similaire ;
- échantillonnage selon les indices de pollution (échantillon dans la partie visiblement polluée, mais également au-dessus et en-dessous) ;
- échantillonnage selon les informations fournies par des outils de mesures sur site (sondages MIP, réponses PID, ...) ;
- échantillonnage systématique (par mètre linéaire) ou par faciès pour un traitement statistique.

Lorsqu'on échantillonne les sols selon la lithologie, il convient de privilégier les contrastes de perméabilité du sol qui auraient pu accumuler les polluants. Chaque horizon est en principe échantillonné séparément et en faisant attention de ne pas les mélanger.

L'hétérogénéité du sol et de la distribution des polluants peuvent conduire à réaliser plusieurs prélèvements au sein d'un même horizon, en complément des mesures sur site et des observations de terrain.

D'un point de vue statistique, le nombre d'échantillons dépend de la variabilité attendue sur le profil de sol (hétérogénéité de la distribution du polluant) et de la précision attendue sur le résultat (par exemple, intervalle de confiance souhaité sur la moyenne).

Dans tous les cas, l'échantillonnage doit s'accompagner d'une description précise des horizons de sol rencontrés en les mentionnant dans le rapport.

8.1.1.7 Type d'échantillon prélevé

Selon les recommandations de la norme 18400-102 (clause 5.3 et tableau 1) et -104, le type d'échantillon prélevé doit pouvoir répondre à l'objectif de l'étude et à la nature des polluants. Il peut s'agir d'échantillon remanié ou non remanié, ponctuel ou composite.



Ces différents types d'échantillons sont définis dans la norme EN ISO 11074 - Qualité du sol – Vocabulaire.

Les échantillons non remaniés sont des échantillons intacts, qui, autrement dit, conservent la structure du sol. Ils sont recommandés pour la recherche de composés volatils. Pour cela, des techniques de forage appropriées (i.e. carottier sous gaine, voire, dans certains contextes spécifiques, carottier à gouges ou carottier battu) sont mises en œuvre.

Les échantillons de sols dits « remaniés » sont obtenus avec des techniques destructives (i.e. tarière mécanique) et ne conviennent pas pour la détermination des composés organiques volatils.

- Ces techniques de forage sont présentées plus en détail au § 8.1.2.1.

Les échantillons dits « ponctuels » sont prélevés en un seul endroit. Ils permettent de connaître la variabilité spatiale de la pollution sur une zone précise ou en fonction de la profondeur.

Les échantillons composites sont, par opposition aux échantillons ponctuels, constitués de plusieurs prises de sol homogénéisées. Ce type d'échantillons est conseillé lorsque l'objectif est de représenter la composition moyenne d'une zone supposée homogène. Il est réalisé, après homogénéisation et enlèvement

des éléments grossiers et des végétaux, à partir d'au moins 5 prises unitaires. L'échantillonnage moyen composite est généralement effectué sur une surface réduite pour avoir une estimation moyenne de l'exposition.

Points d'attention concernant l'échantillon composite :

- les prélèvements élémentaires constituant l'échantillon composite doivent pouvoir être correctement mélangés (il ne doit pas y avoir de différence majeure de texture sur la zone échantillonnée). L'homogénéisation des échantillons est particulièrement difficile en présence de sol humides et argileux ;
- le mélange des échantillons peut conduire à une dilution et une non détection des faibles concentrations ; dans le cas d'un échantillon composite vertical, pour réaliser un composite vertical, la hauteur d'échantillonnage ne doit pas dépasser 50 cm ;
- cette méthode d'échantillonnage **ne doit pas être utilisée pour rechercher des composés organiques volatils (risque de pertes de composés par volatilisation)** ou dans le cas de sols contenant du NAPL potentiellement mobile du fait du remaniement des échantillons.

8.1.1.8 Volume de sol à prélever

Préalablement à la campagne d'échantillonnage, l'opérateur en charge des prélèvements se met en relation avec le laboratoire d'analyse afin de connaître la quantité de sol à prélever pour pouvoir réaliser les analyses souhaitées.

Conformément à ce qui est dit dans la norme 18400-104 (voir clause 6.6 et Annexe F de la norme), plusieurs facteurs déterminent le volume de sol associé aux échantillons transmis au laboratoire :

- la portée des analyses devant être réalisées (volume de l'échantillon de sol imposé par le laboratoire ou la méthode d'analyses utilisée) ;
- la nécessité de disposer d'échantillons suffisamment représentatifs (c'est-à-dire avec un niveau acceptable de l'incertitude associée à l'échantillonnage), au regard du contexte et des contraintes de terrain.

Selon le programme analytique et le type d'analyse (par ex : lixiviation), le volume de sol imposé par le laboratoire peut nécessiter la constitution d'un échantillon dans plusieurs contenants et une adaptation des moyens techniques à mettre en œuvre (technique d'investigation spécifique, plus gros diamètre de forage, augmentation du nombre de sondages, ...)

Pour collecter un échantillon représentatif (hors composés volatils), il faut bien avoir conscience que le volume de sol à prélever augmente avec la granulométrie du sol. Dans certains cas, par exemple pour l'analyse de fractions grossières (de granulométrie > 20 mm), le volume de sol à prélever peut être conséquent (jusqu'à 20 kg de sol).

D'une manière générale, le volume de l'échantillon de sol imposé par la méthode d'échantillonnage peut représenter une limite sur la représentativité attendue de l'échantillon.

Néanmoins, bien qu'il soit important que l'échantillon prélevé dans le sol soit suffisamment représentatif, il est également important que la fraction de l'échantillon analysée soit celle qui présente un réel intérêt par rapport à l'objectif de l'investigation.

8.1.2 Techniques d'échantillonnage des sols

L'échantillonnage des sols s'effectue généralement en deux étapes :

- l'accès à l'horizon à échantillonner à l'aide d'une technique de forage ;
- le prélèvement de sol avec une méthode d'échantillonnage appropriée selon le type de composés organiques recherchés.

Note : Dans certains contextes, les sols peuvent être prélevés directement dans le terrain à l'aide d'un dispositif d'échantillonnage (type cylindre d'échantillonnage de grand volume) sans avoir forcément recours à une technique de forage.

Lors de la phase d'échantillonnage, tous les échantillons de sols sont susceptibles de se modifier par suite de réactions physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu entre l'instant du prélèvement et le début de l'analyse. La stratégie d'échantillonnage des sols consiste à considérer l'importance de ces modifications et à définir les protocoles de prélèvement, et les conditions de stockage et de transport, permettant de préserver au maximum les échantillons de sol jusqu'à leur prise en charge par le laboratoire.

Il est rappelé que le choix des moyens d'investigations mis en œuvre reposent sur le jugement et l'expertise des équipes impliquées.

8.1.2.1 Choix de la technique de forage ou d'excavation

Globalement, dans l'absolu, on distingue 3 grandes familles de techniques d'investigation : les outils manuels (pelle, tarière, ...), les techniques de foration (tarière mécanique, carottage, ...) et les procédés d'excavation par machines (pelle mécanique pour réaliser les fosses et les tranchées).

Pour chacune de ces familles, un grand nombre de techniques est adapté à l'échantillonnage des sols à des fins de diagnostic de pollution. Ces techniques ont toutes leurs spécificités et sont souvent complémentaires entre elles, certaines étant particulièrement intéressantes de par leurs propriétés de foration (grandes profondeurs, sols compactés, rapidité d'exécution, bonne visibilité des horizons traversés, ...), d'autres, de par leur qualité d'échantillonnage (échantillons intacts, représentativité, précision de la profondeur d'échantillonnage, etc.).

Le choix de la technique de forage va dépendre des objectifs de l'étude, des profondeurs à atteindre pour prélever les échantillons, de la taille et du type d'échantillons requis, des caractéristiques du sol (nature, porosité, perméabilité, ...), des polluants à rechercher (volatilité, capacité d'adsorption, ...) et des contraintes du site (accessibilité, dénivelé, activité, bâtiment, revêtement, réseaux enterrés, etc.).



Différentes techniques de forage sont présentées dans la norme ISO 18400-102 à la clause 5.2 et dans les tableaux 2 et 3.

D'une manière générale, la technique retenue doit permettre d'assurer l'intégrité physique de l'échantillon au moment du prélèvement et minimiser toute sorte d'altération de l'échantillon, que ce soit par dégradation (volatilisation, oxydation, dilution, ...) ou contamination (mélange de faciès, imprégnation, ...).

Les techniques par carottage (i.e. carottier sous gaine ou à gouges) sont non destructives et non rotatives, ce qui permet de préserver au maximum la structure du sol, d'avoir une coupe lithologique relativement précise et de déterminer la variabilité des polluants sur l'horizon de sol échantillonné (profil vertical de concentration).

Le carottier sous gaine a également l'avantage de limiter les pertes de composés par volatilisation (carotte de sol sous gaine non exposée à l'air), c'est pourquoi cette technique est particulièrement recommandée pour la recherche de composés volatils dans les sols.



Dans le cadre d'une recherche de COV dans les sols, les normes actuellement en vigueur ne recommandent pas l'utilisation des techniques destructives (i.e. tarière mécanique) du fait d'un remaniement des sols et d'une exposition à l'air qui peuvent conduire à une perte importante de composés volatils.

Lorsque ces techniques destructives sont nécessairement mises en œuvre, du fait notamment des contextes de terrain (sol induré, présence de matériaux grossiers), une justification de ce choix et une évaluation des incertitudes associées (impact potentiel sur la fiabilité des résultats) doivent être notifiées dans le rapport décrivant les opérations d'échantillonnage.

Ces techniques de forage sont illustrées sur les photographies de la Figure 11.

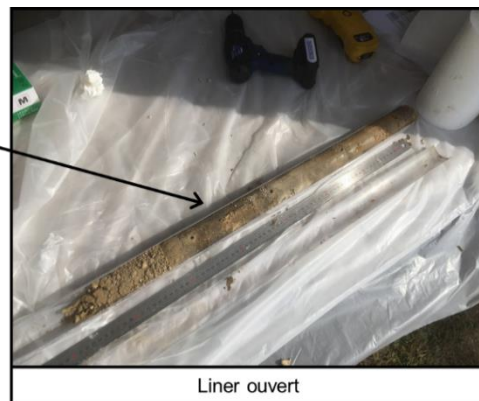


Figure 11 : Exemples de techniques de forage couramment utilisées en France.

À noter que le carottier Sonique peut être utilisé comme solution alternative ou complémentaire à d'autres techniques dans des contextes géologiques difficiles et non anthropisés. Les types de sols pour lesquels cette technique montre ses limites sont les argiles et les marnes (qui absorbent les vibrations) et également les couches de sol très indurées.

Cette technique non destructive engendre une faible déstructuration des terrains sur les sols présents uniquement en partie annulaire de la carotte car les vibrations ne se propagent pas à l'intérieur de l'échantillon (contrairement à une carotte obtenue par battage). Elle permet de collecter un échantillon intact et de déterminer un profil vertical de concentrations sur l'horizon de sol investigué.

Le principal inconvénient de cette technique résulte d'un échauffement important des sols si le réglage de la fréquence de vibration n'est pas adapté au type de sol (avec un risque de perte par volatilisation lorsqu'on recherche des composés volatils). Par retour d'expérience, il semblerait que la température puisse atteindre environ 200 °C au bord du carottier en rotation.



Dans le cadre d'une recherche de COV dans les sols, le carottier sonique peut être utilisé si cela est justifié (cela doit être enregistré et notifié dans le rapport) et en prenant certaines précautions.



Figure 12 : Exemple de sondage réalisé au carottier Sonique (à gauche) - Ensachage de la carotte (à droite et en bas).



Pour plus de détail, le **guide BRGM sur l'échantillonnage des sols** [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022] présente les avantages et inconvénients de ces techniques de forage (voir chapitre 7.2.3) :

Document disponible sur le site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/echantillonnage-sols-recherche-composes-organiques-volatils-semi-volatils>

Lors d'une campagne d'investigation sur les sols, la réalisation de fosses ou de tranchées avec une pelle mécanique est également possible (cf. Illustrations sur la Figure 13). Elle permet d'avoir une meilleure observation des terrains en place (lithologie, déchets, hétérogénéités) et convient très bien pour les composés organiques peu ou pas volatils et les composés inorganiques. Par contre, elle n'est pas adaptée pour la recherche de composés volatils (exposition des sols à l'air avec un risque de modification des polluants et une perte de composés par volatilisation).



Figure 13 : Exemples de tranchées réalisées à la pelle mécanique.

8.1.2.2 Choix de la méthode d'échantillonnage

Note : on entend par méthode d'échantillonnage l'association d'un outil de prélèvement, d'un protocole d'échantillonnage et d'un mode de conditionnement.

Lors de campagnes d'investigation des sols en contexte sites et sols pollués, différentes méthodes d'échantillonnage peuvent être utilisées selon les objectifs des investigations, les caractéristiques des sols, la nature des composés ciblés et les éventuelles contraintes organisationnelles sur le terrain.

Le décideur et le chef de projet en charge des investigations sont responsables du choix de la méthode d'échantillonnage afin de fournir des échantillons de sol représentatifs et de réduire les incertitudes pour l'interprétation ultérieure.

Les méthodes normalisées de référence pour l'échantillonnage des sols sont listées dans l'avis ministériel [NOR : TREP2027860V / JORF n° 0315 / Texte n° 134] paru le 22 février 2022 [portant sur les méthodes normalisées de référence pour les mesures dans l'air, l'eau et les sols dans les installations classées pour la protection de l'environnement].

Cet avis, révisé annuellement, liste trois normes de référence pour l'échantillonnage des sols :

Méthodes d'échantillonnage	Normes de référence
Choix et application des techniques d'échantillonnage	NF ISO 18400-102
Conditionnement, transport, stockage et conservation des échantillons	NF ISO 18400-105
Prétraitement physique sur le terrain	NF ISO 18400-201

Il précise que : « Pour la recherche des composés volatils, les normes NF ISO 18400-102 et 105 donnent des lignes directrices sur l'échantillonnage des sols pour limiter les pertes de composés. Elles recommandent notamment de préserver la structure du sol (échantillon non remanié), d'éviter l'exposition à l'air et de stabiliser les COV (par exemple en conservant l'échantillon de sol dans le méthanol). Ces deux normes renvoient également à norme ISO 22155 qui recommande l'échantillonnage par la méthode de flacons pré remplis de méthanol ou par la méthode du tube de carottage afin d'éviter les pertes par volatilisation. »

À la date de publication de ce guide, la norme ISO 18400-301, centrée spécifiquement sur l'échantillonnage des composés volatils dans les sols, est en cours d'élaboration, ce qui devrait donner lieu, dès sa sortie, à une révision de la norme ISO 22155.



À sa sortie, la future norme ISO 18400-301 fournira des recommandations spécifiques relatives au prélèvement d'échantillons de sol pour l'analyse des composés organiques volatils (COV) et aux mesures semi-quantitatives des COV qui ne sont pas explicitement couverts dans la série de normes existantes ISO 18400.

Il est rappelé que selon la norme « ISO 11074 2015/Amd.1:2020 - Qualité du sol - Vocabulaire » [voir clause 6.1.25], un composé organique volatil ou COV est un composé organique qui est volatil dans des conditions environnementales/atmosphériques normales, bien qu'il puisse être présent dans le sol en phase solide, liquide et dissoute ainsi qu'en phase gazeuse (il s'agit par exemple des hydrocarbures aromatiques monocycliques et autres hydrocarbures halogénés à bas point d'ébullition, utilisés comme solvants ou carburants, ainsi que certains produits de dégradation).

a) Prélèvement de sol pour la recherche de composés volatils

Les méthodes d'échantillonnage décrites ci-après sont adaptées à la recherche de composés volatils. Elles consistent à prélever un volume de sol connu sur l'outil de forage (carotte, gouge, sonic, ...) et à conditionner l'échantillon de sol dans :

- un flacon pré-rempli de méthanol ;
- un échantillonneur hermétique à usage unique ;
- un petit cylindre d'échantillonnage en inox réutilisable ;
- un grand cylindre d'échantillonnage en inox réutilisable.

À noter que l'échantillonnage des sols avec un flacon pré-rempli de méthanol ou un grand cylindre d'échantillonnage est cité dans l'avis ministériel du 22 février 2022 pour la recherche de composés volatils.

À noter également que seul le flacon pré-rempli de méthanol est proposé par les laboratoires français. Les cylindres « réutilisables » en inox et les échantillonneurs « à usage unique » peuvent être achetés auprès de différents fournisseurs, mais les laboratoires français ne proposent actuellement pas de service de nettoyage et de transport pour ces dispositifs d'échantillonnage.

Ces méthodes permettent de préserver la structure du sol (échantillon non remanié), de limiter la présence d'air au contact avec le sol et de stabiliser les COV (par exemple en conservant l'échantillon de sol dans le méthanol). Leur performance a été également évaluée dans des essais d'inter-comparaison français (cf. REX au § 8.1.7).

Excepté le grand cylindre, les autres méthodes d'échantillonnage dites « faible volume » (5-25 g de sol prélevés) permettent uniquement la recherche de composés volatils et doivent être doublés par le prélèvement d'un flacon supplémentaire pour déterminer le taux de matière sèche ou rechercher d'autres composés organiques (hors COV).



L'échantillonnage dans un flacon en verre sans moyen de préservation sur le terrain (flacon brut en verre) n'est pas recommandé pour rechercher des COV dans les sols. En effet, cette méthode peut conduire à une sous-estimation récurrente des résultats (i.e. teneur en COV dans les sols). Ce phénomène est plus ou moins important selon la nature des sols, les composés présents comme les COHV, etc. Cependant, dans certains cas particuliers (en raison des spécificités du type de sol, de la conception des investigations pour répondre aux objectifs de l'étude, ...), le flacon brut en verre peut être utilisé, à condition que cela soit justifié.

Les méthodes spécialement conçues pour la recherche de composés volatils dans les sols sont décrites ci-après de manière synthétique, sur la base des éléments du guide BRGM de 2022 sur l'échantillonnage des sols (cf. § 8.1.8).

L'échantillonnage des sols avec un flacon pré-rempli de méthanol (appelé aussi « kit méthanol ») est illustré sur la *Figure 14*. Cette méthode d'échantillonnage implique la conservation de l'échantillon de sol dans le méthanol aussitôt qu'il est prélevé sur le terrain. L'échantillon de sol est généralement prélevé avec une seringue coupée pré-calibrée ou un emporte-pièce de volume connu (applicable généralement dans des sols cohésifs de type sable fin, limon, argile). Cette méthode permet la réalisation d'un échantillon de sol non remanié (lorsque le prélèvement est effectué en une seule prise) mais très ponctuel (à un seul endroit, une seule profondeur) et d'un volume limité (capacité des seringues : 10-16 mL maximum, soit 16 à 20 g de sol).

L'immersion du sol dans le méthanol sur le terrain permet de stabiliser l'échantillon de sol et de ralentir l'activité biologique tout au long de la chaîne allant du prélèvement jusqu'à l'analyse en laboratoire. Un autre intérêt de cette méthode est l'absence de manipulation supplémentaire des sols lors de la préparation au laboratoire.

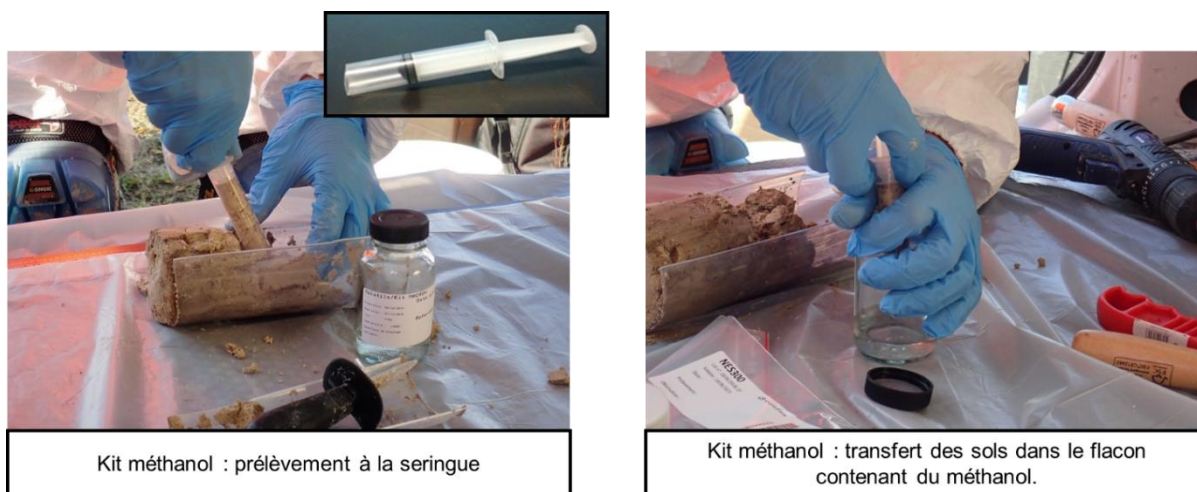


Figure 14 : Prélèvement de sol avec le kit méthanol : seringue coupée (à gauche) et flacon pré-rempli de méthanol (à droite).

Note : Certains laboratoires ajoutent un traceur (ayant les mêmes propriétés que les composés recherchés) dans les flacons de méthanol envoyés sur le terrain. Le but de ce traceur est de mettre en évidence, pour chaque échantillon, un éventuel problème de qualité survenu pendant la chaîne de manipulation terrain/laboratoire et le transport (éventuels biais liés à des « erreurs » de manipulation ou à des effets non maîtrisés, durée de stockage trop longue).

Les autres méthodes d'échantillonnage des sols, adaptées à la recherche de COV sont issues de pratiques étrangères (États-Unis et Pays-Bas notamment). Il s'agit des cylindres d'échantillonnage en inox et des échantillonneurs de sol hermétiques à usage unique (cf. illustrations sur la *Figure 15*).

Ces méthodes d'échantillonnage permettent de collecter des échantillons de sol avec un minimum de manipulation, et sans l'emploi de méthanol ou autre agent de préservation sur le terrain. Elles consistent à prélever les sols directement dans le terrain ou sur la carotte de sol, avec un échantillonneur bouché hermétiquement aux extrémités et envoyée au laboratoire.

L'étanchéité de ces échantillonneurs permettent de limiter les pertes de composés volatils. Cependant, en raison du potentiel microbien de dégradation, les échantillons doivent être expédiés rapidement vers le laboratoire.

Ces dispositifs permettent le prélèvement d'un échantillon de sol (5 à 25 g), non remanié et très ponctuel. Comme pour la seringue du kit méthanol, ils présentent des limites dans certains types de sols : sols riches en matériaux grossiers (cailloux, pierres, déchets de construction, etc.) ou dans les sols indurés (grès, granite, etc.).

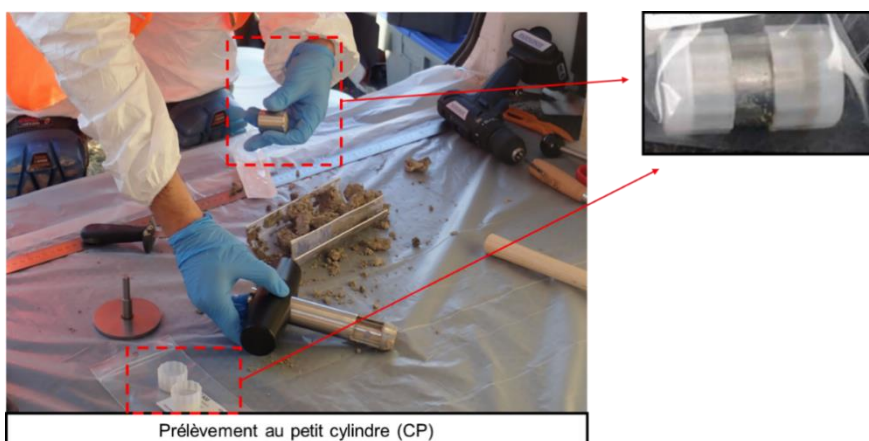


Figure 15 : Prélèvement de sol avec un cylindre d'échantillonnage en inox (photo du haut) et un échantillonneur à usage unique (photo du bas).

Dans une autre version, il existe aussi le cylindre d'échantillonnage en inox grand volume (226 mL), illustré sur la *Figure 16*), développé aux Pays-Bas (Method NEN 5743) pour la recherche des composés volatils.

Ce dispositif permet la collecte d'échantillons de sol en surface, en fond de forage ou dans une tranchée. Le cylindre peut être utilisé si besoin avec un équipement de forage manuel ou motorisé. Il est enfoncé dans le sol sur une profondeur comprise entre 5 et 10 cm (correspondant à la longueur du tube) et rempli *in situ*. Il est ensuite bouché hermétiquement aux deux extrémités et transmis directement au laboratoire.

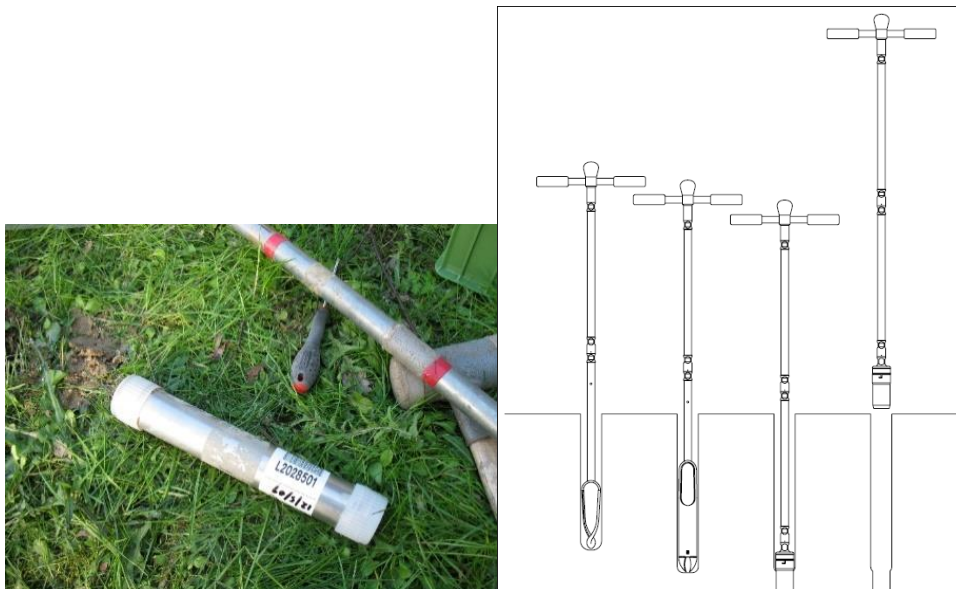


Figure 16 : Cylindre d'échantillonnage en inox « grand volume ».

Cette méthode permet de prélever des échantillons non remaniés et de limiter l'exposition à l'air. Par contre, il n'est pas possible de visualiser la zone échantillonnée lors du remplissage du cylindre *in situ* ce qui limite la prise d'informations sur la typologie du sol, les indices de pollution et ne permet pas de procéder à des mesures PID. Ce dispositif est mis en œuvre préférentiellement dans les sols cohésifs (argile, limon, sable fin).

b) Prélèvement de sol pour la recherche de composés organiques (hors COV) et inorganiques

Dans la pratique, il existe deux méthodes qui permettent le prélèvement d'un grand volume de sol et la recherche d'une large gamme de composés organiques et inorganiques :

- un flacon en verre brut ;
- un grand cylindre d'échantillonnage en inox réutilisable (décrit au point a) de ce chapitre).

En France, le **flacon en verre brut** (cf. illustration sur la Figure 17) reste la méthode d'échantillonnage la plus couramment utilisée lors des campagnes d'investigations sur les sols. En routine, le flacon présente moins de contraintes (facilité d'utilisation, adapté à différentes typologies de sols) et ne génère pas de surcoût lors de la commande d'analyses.

Cette méthode ne permet pas formellement de réaliser un échantillon de sol non remanié (déstructuration plus ou moins importante du sol lors de la manipulation et du remplissage du flacon). Par contre, elle permet de prélever un plus grand volume de sol avec différentes granulométries représentatives des sols en place si elles présentent un intérêt pour l'étude.

L'échantillon étant généralement homogénéisé dans la phase de prétraitement au laboratoire, la concentration résultante est représentative de l'ensemble du volume de l'échantillon reçu

Cette méthode convient bien pour la recherche de composés organiques peu ou pas volatils (types hydrocarbures, HAP, PCB, etc.) et des composés inorganiques (métaux, ...).



Flacon en verre (sans agent de conservation)

Figure 17 : Prélèvement de sol en flacon brut.



Pour plus de détail, le guide BRGM sur l'échantillonnage des sols [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022] présente les avantages et inconvénients de ces méthodes d'échantillonnage et leur applicabilité selon le type de polluant, la nature des sols (voir chapitre 7.3.3).

8.1.2.3 Précautions concernant les protocoles de prélèvement

Les composés organiques (notamment les volatils) nécessitent la mise en œuvre de protocoles rigoureux et adaptés lors des étapes d'échantillonnage pour préserver l'échantillon, limiter la perte de composés par volatilisation ou biodégradation, et donc d'assurer une meilleure représentativité des résultats.

Note : L'échantillonnage avec l'utilisation de méthanol sur le terrain nécessite une certaine pratique et une bonne expérience de l'opérateur, qui doit respecter les consignes de sécurité et suivre un protocole rigoureux pour éviter les éclaboussures lors du remplissage du flacon et les pertes de méthanol (qui peuvent avoir des conséquences sur la qualité du résultat).



Pour plus de détail, le guide BRGM sur l'échantillonnage des sols [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022] propose des protocoles pour la mise en œuvre des méthodes d'échantillonnage adaptées pour la recherche de composés organiques volatils et semi-volatils (voir 7.3.4 et Annexe 2).

À noter également qu'un tutoriel a été élaboré dans le cadre du GT échantillonnage pour décrire et illustrer les bonnes pratiques d'échantillonnage. Il présente trois méthodes d'échantillonnage des sols (cylindre d'échantillonnage en inox, kit méthanol et flacon brut) pour la recherche de composés organiques (notamment les volatils), et les principales causes de perte de ces composés.

⇒ Ce tutoriel est diffusé dans la rubrique consacrée au sites et sols pollués du site internet ssp-InfoTerre du BRGM : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/film/animation-prelevements-sols-composes-organiques>

8.1.2.4 Précautions concernant les outils de prélèvement

La collecte des échantillons de sols doit être réalisée uniquement avec des outils de composition chimique inerte (par ex : truelle en acier inoxydable pour la recherche de composés organiques).

- Pour plus de détail, des recommandations concernant les outils de prélèvement sont données dans la norme ISO 18400-102.

Les outils de forage (tarière, gouge) et de prélèvement (truelle, couteau, porte cylindre) sont nettoyés avant le début du chantier et au cours des investigations (a minima entre deux sondages) pour éviter toute contamination croisée, en particulier lors de passage dans des zones fortement impactées ou si des traces sont recherchées

Dans certains cas, un agent tensio-actif de nettoyage et/ou de décontamination radioactive peut être utilisé. Ces produits sont efficaces pour nettoyer les outils mais rendent plus difficile le traitement des eaux de rinçage en fin de chantier.



Pour plus de détails, des recommandations générales sur les outils de prélèvement et le nettoyage sont données dans les normes suivantes :

- Norme ISO 18400-102 (voir clause 7.3) ;
- Norme NF X31-100 (voir clause 4.1).

En complément, le guide BRGM sur l'échantillonnage des sols [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022] apporte également des informations et recommandations sur le nettoyage des outils de prélèvement (voir chapitre 7.4).

8.1.3 Contrôle de la présence de COV lors de l'échantillonnage des sols

Les appareils de mesure des composés volatils dans les sols prélevés sur site peuvent être utilisés selon plusieurs objectifs :

- pour contrôler la présence ou l'absence de COV sur les sols échantillonnés ;
- pour protéger les travailleurs sur le terrain ;
- en cas de présence de COV, pour adapter la stratégie d'échantillonnage sur le site, en fonction des valeurs mesurées par l'appareil.

Les appareils ou outils de mesures sur site, dites de « screening », permettent de détecter de nombreuses familles de composés volatils et leur gamme de concentrations. Certains sont spécifiques à une famille de composés, d'autres détectent un ensemble de composés volatils, sans distinction. Ils peuvent ainsi être utilisés pour réduire le nombre d'échantillons de sol à analyser en laboratoire, orienter une campagne d'investigations et/ou donner une première idée de l'étendue d'une pollution. L'information fournie par ces outils est, de manière générale, semi-quantitative (pour plus de détail, se référer au chapitre 9.2 du présent guide).

Des informations complémentaires sur l'utilisation du PID, appareil couramment retenu lors de l'échantillonnage des sols, sont également disponibles chapitre 9.5 de ce guide.

Points d'attention :

Selon les objectifs recherchés, il est recommandé d'orienter le choix des prélèvements avec les observations de terrain et les mesures PID, de multiplier le prélèvement d'échantillons de sol et de demander des analyses en laboratoire sur des échantillons de sol présentant des réponses faibles, moyennes et fortes, lors des mesures sur le terrain.

- Pour plus de détail sur les protocoles de mesures au PID, se référer au chapitre 7.5.2 du guide BRGM sur l'échantillonnage des sols [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022].

8.1.4 Préparation physique des échantillons

La préparation physique à réaliser (sur le terrain ou au laboratoire) est fonction des paramètres à analyser et dépend de la norme NF EN 16179 pour les laboratoires. Elle concerne les sols prélevés pour la recherche de composés organiques (hors volatils) et inorganiques et peut être réalisée sur l'ensemble de l'échantillon reçu, ou sur un sous-échantillon. Lors de cette opération, les sols peuvent passer par des étapes de séchage, quartage, homogénéisation, broyage. Ainsi, les sous-échantillons préparés sont physiquement différents de l'échantillon initial (granulométrie, teneur en eau, ...).

Points d'attention :

Dans le cas de l'analyse des composés organiques volatils (COHV, BTEX, naphtalène, ...), l'échantillon n'est soumis à aucun prétraitement (quartage, tamisage, broyage), cela entraînerait une perte de ces composés. Pour ces composés, le laboratoire procède à une phase d'extraction méthanolique des COV et d'analyse à partir de la prise d'essai effectuée par le laboratoire sur l'ensemble de l'échantillon reçu.

Sur le terrain, **l'opérateur** qui réalise l'échantillonnage, sur la base de la stratégie définie au préalable avec le chef de projet, **est responsable de la représentativité de l'échantillon prélevé sur site**. C'est lui qui doit décider sur site d'écarter (ou non) les fractions grossières (blocs, galets, débris, etc.) si elles sont non représentatives de l'échantillon et sans objet pour l'étude, afin de limiter les choix ultérieurs à faire par le laboratoire. **L'opérateur doit noter sur sa fiche de prélèvement la proportion de matériaux qu'il a écarté sur le terrain** lors de l'échantillonnage (estimation visuelle sur les sols extraits par la technique de forage).

Lors de l'envoi des échantillons prélevés au laboratoire, il a la possibilité de demander une analyse sur la fraction fine (tamisage à 2 mm), sur l'ensemble de l'échantillon (ensemble des fractions granulométriques du sol prélevé) ou bien sur différentes fractions granulométriques du sol bien spécifiques. Ce choix doit être établi en cohérence avec le contexte d'étude. **Il doit explicitement préciser cette information au laboratoire lors de l'envoi des échantillons et le mentionner dans le livrable en justifiant son choix.**

Points d'attention :

Si le laboratoire n'a pas d'information sur la fraction de sol à analyser de la part du commanditaire, l'analyse se fait systématiquement sur la totalité de l'échantillon prélevé sur site. Le laboratoire peut aussi ainsi être amené à concasser l'échantillon de sol pour réduire la fraction granulométrique de l'ensemble de l'échantillon pour analyse.

Le Tableau 6 indique les fractions granulométriques de sol pertinentes pour l'analyse des composés organiques (hors volatils) selon les contextes étudiés en sites et sols pollués, avec une référence aux guides et norme en vigueur, lorsque ces documents existent.

Contexte SSP	Commentaires	Documents de référence
Calculs de risques sanitaires (Inhalation de poussières et ingestion de sol)	Dans le cas d'études sanitaires, seules les particules fines susceptibles d'être inhalées ou ingérées sont analysées. L'analyse de la fraction granulométrique du sol fine (< 2 mm) peut avoir un intérêt vis-à-vis de l'évaluation des risques sanitaires par inhalation de poussières et ingestion de sol (fraction fine principalement à l'origine de cette exposition).	-
Calculs de risques sanitaires (Bioaccessibilité)	Conformément à la norme citée, la fraction granulométrique de sol < 250 µm est retenue pour les tests de bioaccessibilité. Il s'agit de la fraction la plus à même d'être en contact avec les mains et d'être portée à la bouche.	Norme NF ISO 17924 de mars 2019 pour le test UBM
Élaboration des valeurs de fond pédogéochimiques	Dans ce contexte, l'important est de pouvoir faire une comparaison des résultats sur les mêmes fractions granulométriques (ELT et échantillon prélevé sur site). Par ex, l'analyse de la fraction < 2 mm permet d'être cohérent avec les pratiques retenues pour la constitution de valeurs de fond dans les bases de données existantes.	ADEME. 2018. Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Echelle d'un site. Groupe de travail sur les valeurs de fonds. 107 p
Calcul / Estimation d'un bilan masse	S'agissant de réaliser un calcul de cubature ou une évaluation du tonnage de sols pollués, toutes les fractions granulométriques sont à prendre en compte.	Projet CAFRAGES (Caractérisation et Analyse des FRActions Granulométriques en sites et sols pollués) (cf. § 8.1.7)
Caractérisation terres excavées (hors matériaux grossiers > 20 mm) (1)	L'objectif est d'apprécier la qualité globale des terres prélevées qui seront ensuite gérées. Dans le guide Valorisation TEX, la comparaison aux valeurs seuils est faite sur les teneurs mesurées en contenu total (analyse sur l'échantillon brut) . L'appréciation de la répartition des teneurs en fonction des classes granulométriques peut aussi permettre d'optimiser les modalités de gestion (réutilisation / traitement / élimination).	Rapport final BRGM/RP-69581-FR, 2020 §2.1.1 Modalités générales de prélèvement

(1) Pour la caractérisation des fractions grossières, se référer au Guide issu du projet VALTEX (annexe échantillonnage)
Tableau 6 : Fractions granulométriques de sol pertinentes en contextes sites et sols pollués (hors composés volatils)
(extrait du guide BRGM sur l'échantillonnage des sols, 2022).

Notes liées au Tableau 6 :

En contexte d'évacuation en installation de stockage de déchets, si les parties grossières sont broyées, cela peut favoriser ou biaiser les conditions d'acceptation. Le broyage va conduire à une homogénéisation et à une sur, ou sous-estimation, des concentrations selon le contexte.

Dans un contexte de valorisation des terres excavées, le broyage des parties grossières ne permettra pas d'anticiper un criblage pour optimiser la gestion des terres. Dans le cas où des indices de pollutions sont relevés au niveau de la fraction grossière, des étapes spécifiques de pré-traitement (lavage et/ou broyage des particules grossières) et d'analyse de cette fraction doivent être mises en œuvre au laboratoire

Points d'attention :

Les informations échangées entre le commanditaire et le laboratoire sont essentielles pour vérifier la représentativité de l'échantillon par rapport à la zone échantillonnée.

L'information concernant la fraction analysée (responsabilité du commanditaire) et la méthode de préparation de l'échantillon (responsabilité du laboratoire) doit figurer dans le bordereau d'analyses.

L'interprétation du résultat d'analyse ne se limite pas à l'exploitation de la concentration mesurée. Le résultat est à associer, a minima, aux observations de terrain, à la granulométrie du sol et à la proportion de matériaux écartés sur le terrain.

8.1.5 Conditionnement, stockage et transport

Une fois le prélèvement effectué, les échantillons de sol doivent être étiquetés correctement, avec un code lisible et dépourvu d'ambiguïté permettant de les identifier clairement (nom de l'échantillon, zone d'échantillonnage, nom du préleveur, date, profondeur de prélèvement, ...).

D'une manière générale, il est conseillé de se rapprocher du laboratoire pour définir les conditions et la durée maximale de stockage avant réception des échantillons au laboratoire.

Ces conditions sont notamment spécifiées dans l'ISO 18512 et dans l'ISO 18400-105.

Points d'attention :

Pour préserver au maximum l'intégrité des échantillons de sol destinés à l'analyse de composés organiques volatils et semi-volatils :

- les échantillons doivent être stockés à basse température afin d'abaisser la pression de vapeur et limiter les pertes de composés par volatilisation ;
- les échantillons doivent être envoyés le plus rapidement possible au laboratoire, en particulier si le maintien de la température dans la glacière ne peut être assuré.

8.1.6 Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic

À l'issue de la phase d'investigations sur les sols, toutes les opérations d'échantillonnage sont consignées dans un rapport d'investigations (cf. Norme NF X31 620-2, prestation A200, contenu des livrables).

Ce rapport intègre des fiches de sondage et de prélèvement de sol qui doivent décrire avec précision tous les horizons ou couches de sol rencontrés pendant l'opération d'échantillonnage, les profondeurs de prélèvement, les indices organoleptiques, les conditions météorologiques, les procédures de prélèvements, les résultats des mesures de terrain (détection de composés volatils, etc.), la proportion estimée d'éléments grossiers écartés, les éventuelles venues d'eau rencontrées à la foration, etc.

Les photos et les notes prises sur le terrain sont très importantes pour éviter la perte d'informations. Le profil lithologique des terrains rencontrés, noté sur les fiches de prélèvement, est un élément à corréliser avec les constats de terrain, car il peut permettre d'appréhender l'étendue possible des pollutions (présence de couches peu perméables pouvant limiter la migration des pollutions, identification de zones de remblais).

- *Les normes ISO 11074 et NF EN ISO 25177 fournissent également des informations sur la description du sol sur le terrain.*

Une justification du choix des techniques de forage et d'échantillonnage selon le contexte de l'étude (investigations exploratoires ou détaillées) est également présentée dans le rapport d'investigations.

8.1.7 Retours d'expérience

Au niveau français, deux études se sont plus spécifiquement concentrées à la **comparaison de protocoles de prélèvements et d'échantillonnage des sols pour l'analyse de composés organiques (notamment les volatils)**. Les résultats de ces études sont consignés dans les rapports suivants :

- Kaskassian S., Gleize T., Côme J.-M., 2015. Comparaison de protocoles de prélèvement des sols pour l'analyse des COV - Etude de comparaison de protocoles de prélèvement, d'échantillonnage et de préparation des échantillons pour l'analyse des COV dans les sols, recommandations pour une homogénéisation des (bonnes) pratiques, Résumé public, 31 p. ;
- Favéreaux, S., Belbeze, S., Balon, P. (2019) – Essai d'inter-comparaison des méthodes d'échantillonnage des sols en sites et sols pollués – Exploitation des résultats. Rapport final. BRGM/RP- 69237-FR, 127 p., 45 fig., 14 tabl., 6 ann., 0 CD.

Ces études se sont intéressées, dans différents contextes de sol, à déployer sur le terrain des techniques d'investigations distinctes (tarière pleine, carottier sous gaine, carottier à gouges) couplées à plusieurs méthodes d'échantillonnage (flacon brut, cylindres d'échantillonnage et flacon pré-rempli de méthanol).

Elles apportent des éléments de comparaison des méthodes d'échantillonnage dans le contexte spécifique à l'essai réalisé. Les résultats de ces essais d'inter-comparaison montrent des écarts de concentrations variables entre le méthanol et les deux autres méthodes testées (flacon brut et petit cylindre d'échantillonnage) selon les contextes de terrain (type de polluant, gamme de concentrations et nature des sols)

Les résultats de l'essai d'inter-comparaison, mené par BURGEAP en 2015, relèvent des écarts de concentrations modérés (facteur 1,7 à 2,6) entre le flacon et le kit méthanol dans le cas de matrice cohésive (limons en zone non saturée), et ce quelle que soit la gamme de concentration et le composé pour les prélèvements réalisés. Ces écarts peuvent être très significatifs (facteur 5,1 à 130) dans le cas de matrice non cohésive (sables présents en zone saturée).

Les résultats de l'essai d'inter-comparaison, mené en 2018 dans le cadre du GT « échantillonnage », ont montré des écarts de concentrations relativement faibles (facteur 1,2 à 1,6) entre le flacon et le kit méthanol, pour les prélèvements réalisés dans les limons sableux et les marnes en zone non saturée. Pour le petit cylindre, cette sous-estimation de concentrations est plus aléatoire (écarts variant d'un facteur 1,1 à 3,3). Les essais de cette étude n'ont pas concerné la zone saturée.

➤ ***Pour plus de détails sur ces résultats, il convient de se référer aux rapports d'étude.***

D'autre part, l'analyse de variance réalisée à partir des résultats de l'étude BRGM de 2018 a mis en évidence un biais lié à l'échantillonnage des sols, au transport et à la préparation de l'échantillon au laboratoire compris entre 75 et 155 %, les incertitudes analytiques du laboratoire étant comprises entre 25 et 55 % selon les composés.

En complément de ces résultats, le guide sur l'échantillonnage des sols [Rapport BRGM/RP- 70901-FR, 2022] présente un état de l'art et plusieurs retours d'expérience sur l'échantillonnage des sols (résultats des enquêtes menées auprès des professionnels et laboratoires) et les étapes de préparation et d'analyse en laboratoire.

Ces retours d'expérience ont permis de faire différents constats :

- le flacon pré-rempli de méthanol fournit globalement les concentrations les plus élevées en COHV (PCE et TCE) dans les deux zones de l'essai. Il permet une caractérisation plus fine de la pollution en composés volatils nécessaire dans le cadre d'investigations approfondies. Il nécessite néanmoins une attention particulière sur le terrain et au laboratoire pour garantir la qualité du prélèvement et la fiabilité du résultat ;
- le petit cylindre présente des écarts de concentrations plus aléatoires, probablement en lien avec la nature des sols et la présence de matériaux grossiers dans les sols marneux du site. Cette méthode est pourtant conçue pour la recherche de composés volatils mais doit être utilisée dans des conditions optimales de terrain (sol cohésif sans présence d'éléments grossiers) pour remplir complètement le cylindre et collecter les sols en une seule prise ;
- le flacon en verre entraîne des pertes de composés volatils et une sous-estimation des concentrations mais les écarts de concentrations constatés dans le cadre de cet essai sont relativement faibles et constants avec flacon pré-rempli de méthanol. Pour limiter les pertes de composés par volatilisation, l'échantillonnage en flacon brut doit suivre un protocole strict sur le terrain.

D'autres éléments sont à considérer lors de la recherche de COV dans les sols :

- les conditions du sol ayant le plus fort potentiel d'intrusion de vapeur (sol granulaire sec, perméabilité élevée à l'air) sont également les plus difficiles pour mesurer les concentrations de COV avec précision. À l'inverse, les sols fins humides et homogènes (par exemple, l'argile) sont les types de sols pour lesquels les concentrations sont mesurées avec plus de précision, mais ils représentent généralement le plus faible potentiel d'intrusion de vapeur en raison de leur faible perméabilité à l'air ;
- il est également recommandé d'accorder une attention particulière aux variations probables des concentrations en COV à petite échelle, selon l'âge de la pollution, les pollutions récentes étant plus présentes dans la macroporosité des lithologies les plus perméables et les pollutions anciennes dans la microporosité des couches les moins perméables.

Les investigations sur les sols doivent également tenir compte de la granulométrie des particules de sol sur lesquelles portent l'échantillonnage et l'analyse des sols. S'il est reconnu classiquement que la pollution est concentrée dans les fractions fines (inférieures à 2 mm), cette pratique n'est pas toujours adaptée et peut avoir de fortes répercussions lors de la réalisation d'un bilan massique en interpolant les concentrations mesurées sur la fraction fine à la totalité de la masse d'un échantillon et donc à l'ensemble d'une cubature d'une zone polluée.

Le projet de R&D CAFRAGE²⁵ s'est intéressé à la caractérisation des éléments grossiers (>2 mm) des sols de sites pollués. Le résultat d'analyse est fréquemment affecté à la totalité du matériau, sans tenir compte ni de la proportion qu'elle représente dans le matériau, ni des spécificités comportementales de cette fraction par rapport à un polluant donné. Ce projet a permis d'apporter des éléments de comparaison sur les concentrations en polluant dans les différentes fractions, selon les composés recherchés. Ainsi, la prise en compte des fractions grossières dans les analyses peut conduire à une majoration ou une minoration des résultats. Les résultats du projet démontrent le postulat selon lequel la fraction fine piège l'essentiel de la pollution des sols doit être nuancé.

Le projet CAFRAGE a permis d'élaborer un protocole opérationnel, de le confronter à la réalité du terrain et de l'analyse au laboratoire.

²⁵ Projet CAFRAGES (Caractérisation et Analyse des FRActions Granulométriques en sites et sols pollués), initié en juin 2017 et financé par l'ADEME

- Le protocole CAFRAGE est en accès libre via la vidéo (<https://www.anteagroup.fr/actualites/videos/tutoriel-projet-cafrages-pour-les-composes-non-volatils>) et le guide méthodologique (<https://librairie.ademe.fr/>).

Un dernier point important concerne les résultats d'analyse fournis par le laboratoire :

- l'incertitude déterminée par le laboratoire se limite au protocole analytique appliqué sur l'échantillon. Elle prend en compte la phase d'extraction ou de minéralisation et l'analyse. Pour les sols, elle est, en général, déterminée sur l'échantillon déjà préparé, c'est-à-dire séché et broyé ;
- l'incertitude liée à la préparation physique des sols (sous-échantillonnage, quartage, séchage, broyage, homogénéisation...) n'est donc pas prise en compte dans l'incertitude du laboratoire communiquée au client.

8.1.8 Documents de référence pour le milieu sol

Les normes en vigueur :

- NF X31-620, Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Partie 1 : Exigences générales. Annexe C (normative) - Normes analytiques de référence et performances minimales exigées pour la gestion des sites et sols pollués - C.1 Normes analytiques relatives au milieu sol ;
- NF X31-620, Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : Exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle. Prestation A200 - Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols ;
- Série de normes ISO 18400 - Qualité du sol – Échantillonnage :
 - Partie 100 : Généralités,
 - Partie 101 : Cadre pour la préparation et l'application d'un plan d'échantillonnage,
 - Partie 102 : Choix et application des techniques d'échantillonnage,
 - Partie 103 : Sécurité,
 - Partie 104 : Stratégies et évaluations statistiques,
 - Partie 105 : Emballage, transport, stockage et conservation des échantillons,
 - Partie 106 : Contrôle de la qualité et assurance de la qualité,
 - Partie 107 : Enregistrement et notification,
 - Partie 201 : Prétraitement physique sur le terrain,
 - Partie 202 : Investigations préliminaires,
 - Partie 203 : Investigation des sites potentiellement pollués ;
- NF ISO 18512 - Qualité du sol - Lignes directrices relatives au stockage des échantillons de sol à long et à court termes ;
- AFNOR, NF EN 16179 - Boues, bio-déchets traités et sols - Lignes directrices pour le prétraitement des échantillons ;

- Norme ISO 22155 : « Qualité du sol – Dosage des hydrocarbures aromatiques et halogénés volatils et de certains éthers par chromatographie en phase gazeuse - Méthode par espace de tête statique » ;
- Norme ISO 15175 - Caractérisation des sols pollués en relation avec la protection des eaux souterraines ;
- Norme ISO 25177 : Qualité du sol - Description du sol sur le terrain ;
- Norme ISO 11074 : Qualité du sol – Vocabulaire.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Côme, J.-M., Kaskassian, S., Ropars, M., Razakarisoa, O., Quintard, M., Schäfer, G., Haeseler, F. (2007). Organo-chlorés aliphatiques. Caractérisation d'une zone source dans les aquifères. **Programme R&D MACAOH** (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés).
- Favéreaux S. et Balon P. (2022) – **Guide technique sur l'échantillonnage des sols** pour la recherche de composés organiques volatils et semi-volatils. **Rapport BRGM/RP- 70901-FR**, 99 p., 22 fig., 6 tabl., 6 ann. Favéreaux.
- **Projet de R&D CAFRAGE** : Yves GUELORGET, Marie LEMOINE, Stéphane BELBEZE, Frédéric JEAMPIERRE, Audrey Goutagnieux, Hélène ROUSSEL, 2022 - CAFRAGES – Caractérisation et analyse des fractions granulométriques supérieures en sites et sols pollués.

8.2 Les investigations sur les eaux souterraines

Les investigations sur les eaux souterraines sont réalisées conformément à la série de normes NF X31-620 (Prestation A210 « prélèvements, mesures, observations et/ou analyse sur les eaux souterraines »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.2.8.

8.2.1 Stratégie d'investigations

8.2.1.1 Généralités

La définition de la stratégie d'investigations sur les eaux souterraines est basée sur le schéma conceptuel, construit à partir (entre autres) des informations issues de l'étude historique (activités passées, accidents/incidents, polluants en jeu, propriétés physico-chimiques de ces polluants, etc.) et sur l'étude de vulnérabilité (contexte géologique et hydrogéologique, nappes en présence, profondeur, caractéristiques de(s) aquifère(s), relations nappe/rivière, etc.). La collecte de ces informations dans le cadre ou en amont d'un diagnostic des eaux souterraines est indispensable pour pouvoir :

- définir quel(s) est(sont) les aquifère(s) concerné(s) et quelles sont leurs caractéristiques (porosité, perméabilité, homogénéité, géométrie (mur, toit, puissance), etc.) ;
- caractériser la dynamique de la (ou des) nappe(s) concernée(s) (sens d'écoulement présumé(s) (unique, variable ou dôme piézométrique), fluctuations du niveau piézométrique, gradient(s) hydraulique, vitesse(s) d'écoulement des eaux souterraines, etc.) ;
- appréhender le comportement des polluants dans le sol (en zone non saturée et en zone saturée) et la nappe (en zone saturée) ;
- identifier d'éventuels points d'accès à la (aux) nappe(s) déjà existants ;
- identifier les enjeux de la problématique posée.

La compréhension du système hydrogéologique aux échelles régionale et locale sont indispensables pour définir la bonne stratégie d'investigations. Cette stratégie doit permettre d'affiner les connaissances locales de l'hydrogéologie pour appréhender les hétérogénéités du milieu souterrain.

La mise en place d'un réseau piézométrique et de protocoles d'échantillonnage pertinents sont nécessaires pour acquérir des données représentatives de la qualité des eaux souterraines. La question d'utiliser les ouvrages déjà existants (s'ils sont pertinents) ou la nécessité d'implanter de nouveaux ouvrages sera d'ailleurs posée. Pour cela, la vérification de l'état des ouvrages préexistants (inspection vidéo, essais de pompages, audit, ...) pourra être nécessaire. Cette vérification pourra permettre d'accueillir des informations sur le degré de colmatage des ouvrages ou sur leur équipement si leur coupe technique n'est pas disponible.

8.2.1.2 Réseau piézométrique

En fonction de l'objectif du diagnostic, l'implantation du réseau piézométrique pourra varier. Par exemple, si une zone source de pollution est identifiée ou une installation est à surveiller, l'un des ouvrages du réseau sera à implanter en aval immédiat. Dans le cas d'une surveillance d'un panache de pollution, le réseau de piézomètres sera implanté dans le panache, avec une localisation (X, Y) et une profondeur qui sera calculée en tenant compte de la distance à la source, du contexte hydrogéologique (dispersion) et des caractéristiques de migration des polluants. Par ailleurs, comme dans toute étude menée dans le cadre de la gestion d'un site pollué (ou potentiellement pollué), la démarche est itérative et évolutive. Ainsi, il pourra être nécessaire, au

fur et à mesure de l'avancée de l'étude, ou si une pollution se propage, d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement hydrogéologique en complétant (en plusieurs phases) le réseau. Par ailleurs, le nombre d'ouvrages sera d'autant plus important que la complexité du contexte est importante.

Le nombre et les caractéristiques des ouvrages (cf. norme NF X31-614 et § 8.2.2) sont à adapter en : localisation, profondeur, nappe ciblée (ou portion de nappe ciblée), équipement (position de la crépine, diamètre et nature des tubages), etc. Ils sont définis, au regard du contexte naturel et du comportement des polluants.

Dans tous les cas, un réseau de piézomètres doit comprendre au moins un ouvrage en amont hydraulique de la zone d'étude (témoin ou ouvrage de référence). Cet ouvrage vise à préciser la qualité des eaux souterraines en amont du site et à apprécier les éventuelles variations au droit du site tout en tenant compte des valeurs de référence existantes. Les ouvrages piézométriques sont nivelés (Z) systématiquement. En cas de modification de la tête, un nivellement devra être refait afin de disposer de données d'altitude fiables.

Quel que soit le contexte, le réseau piézométrique mis en place donne deux types d'informations (cf. § 8.2.8 : Guide MTECT, décembre 2022) :

- des informations sur la direction et le sens d'écoulement de la nappe (via la mesure des niveaux d'eau souterraine), ainsi que sur la vitesse (sous réserve de connaître les paramètres de conductivité hydraulique et de porosité efficace) ;
- des informations sur la qualité du milieu (via la détermination de concentrations suite à l'échantillonnage).



Les investigations sur les eaux souterraines peuvent être effectuées dans des milieux de type socle. Les propriétés hydrogéologiques de ces aquifères fissurés sont intimement liées au degré d'altération de la roche mère et sont donc de fait des aquifères qui peuvent être hétérogènes à petite échelle.

Le « Guide technique pour la surveillance des eaux souterraines en milieu de socle en contexte sites et sols pollués » (RP-70250-FR) vise à améliorer les pratiques de surveillance dans de tels contextes (Figure 18) :

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/surveillance-eso-milieu-socle-contexte-ssp>

Ce type de milieu comme les aquifères karstiques, peut induire localement des écoulements rapides, comme présenté dans le guide BRGM « Surveillance des eaux souterraines au droit des installations classées en milieu karstique, application de l'art. 65 du décret du 2 février 1998. Rapport BRGM RP-54596-FR », décembre 2005 » :

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54596-FR.pdf>

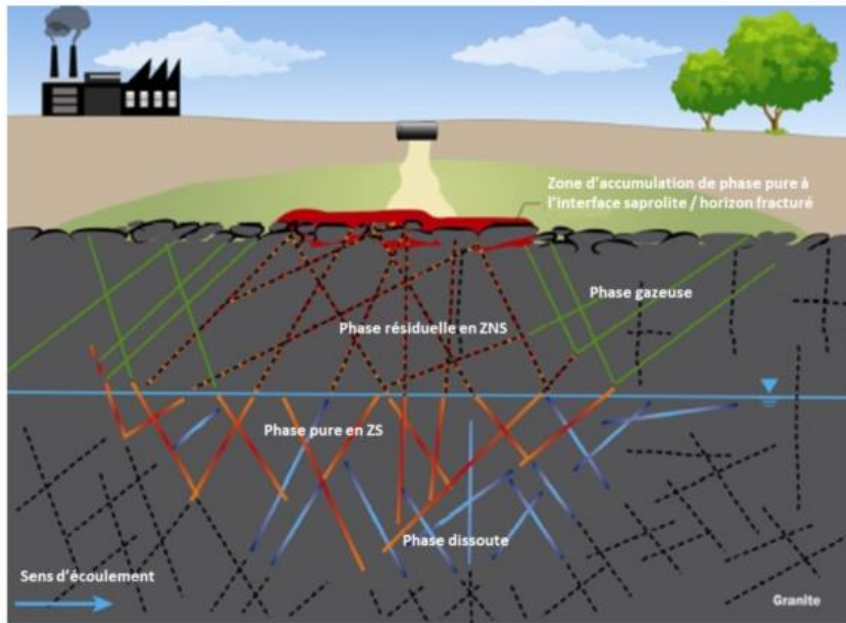


Figure 18 : Schéma conceptuel de propagation d'une phase LNAPL en milieu granitique dans l'horizon fracturé (traduit de Claire, 2014).

8.2.1.3 Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage est à adapter selon la spécificité de chaque site étudié (principe du « cas par cas »). Elle s'attache à déterminer :

- la fréquence de prélèvement (*a minima*, 2 campagnes d'échantillonnage par an sont à réaliser, 1 en période de hautes eaux et 1 en période de basses eaux) ;
- le protocole et le matériel d'échantillonnage, adaptés au réseau piézométrique mis en place et aux substances à rechercher ;
- les paramètres physico-chimiques à suivre ;
- les essais *in situ* pouvant être utiles à la compréhension du système hydrogéologique ;
- les substances à rechercher et analyser, ainsi que les protocoles associés.

Un échantillonnage d'eaux souterraines sur un site (potentiellement) pollué est réalisé conformément aux prescriptions de la norme NF X31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe dans le cadre des sites pollués ou potentiellement pollués - Prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance pour la détermination de la qualité des eaux souterraines ».

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des eaux souterraines et pour la mesure des paramètres physico-chimiques doit être, en amont de l'intervention sur site, vérifié, étalonné et décontaminé.

Avant d'intervenir sur site, il faut avoir prévu, à moins de disposer de matériels dédiés pour chaque ouvrage, l'ordre d'échantillonnage des différents forages. Il s'agira de toujours prélever de l'ouvrage le moins pollué vers le plus pollué. Dans le cas de la mise en place d'un réseau ou en cas de qualité de l'eau non connue d'ouvrages existants, les prélèvements doivent s'effectuer de l'amont vers l'aval.

Il est important, pour un même réseau piézométrique, de suivre les mêmes paramètres (avec les mêmes protocoles), à des profondeurs de nappe identiques (systématiquement face à une zone crépinée).

Par ailleurs, entre deux campagnes d'échantillonnage, la stratégie appliquée reste identique (protocole, matériel, zone crépinée échantillonnée, etc.).

Il est important, dans le cadre d'une surveillance de la qualité des eaux d'une nappe, de garder le même protocole de prélèvement (si celui-ci est pertinent) pour chaque campagne d'échantillonnage, afin de pouvoir comparer les résultats entre eux.

Idéalement, hors contexte IEM, un échantillonnage ne devrait être réalisé que dans des ouvrages dont l'équipement est connu et conforme aux préconisations de la norme X31-614.

Il est recommandé, en parallèle des campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines, de collecter des données nécessaires à une meilleure compréhension du système hydrogéologique (données sur la recharge de nappe (pluviométrie efficace), données sur le cycle de recharge /décharge de la nappe par la réalisation de chroniques de niveau, etc.).

L'échantillonnage (et donc la purge) dans un ouvrage présentant une phase pure est déconseillé sauf pour la recherche de composés autre que ceux présents dans la phase pure et doit être justifié (Cf. norme NF X31-615).



Zoom sur la surveillance de la qualité des eaux dans le cadre d'un SUIVI (prestation de la norme NF X31-620-2) :

Concernant la surveillance de la qualité des eaux souterraines, effectuée dans un cadre réglementaire (suivi d'une ICPE) ou d'un site pollué, le **guide « Surveillance de la qualité des eaux souterraines »** dans sa version en vigueur, rappelle les bonnes pratiques en terme de réalisation d'une surveillance (implantation des points d'accès à la nappe, fréquence, substances et paramètres à suivre, etc.) et donne des préconisations sur la rédaction des rapports de surveillance et des bilans quadriennaux :

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/guides-surveillance-eso>

Par ailleurs, un guide complémentaire portant sur l'« **Évolution et arrêt de la surveillance des eaux souterraines**. MTE. Novembre 2020 » a été élaboré pour accompagner les demandes de modifications d'une surveillance :

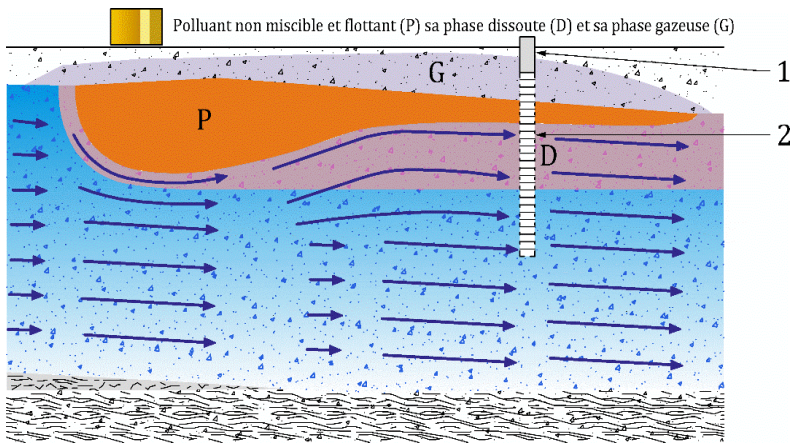
<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/actualite/annonce-du-ministere-charge-de-lenvironnement/evolution-arret-de-surveillance-des-eaux>

8.2.2 Réalisation des ouvrages

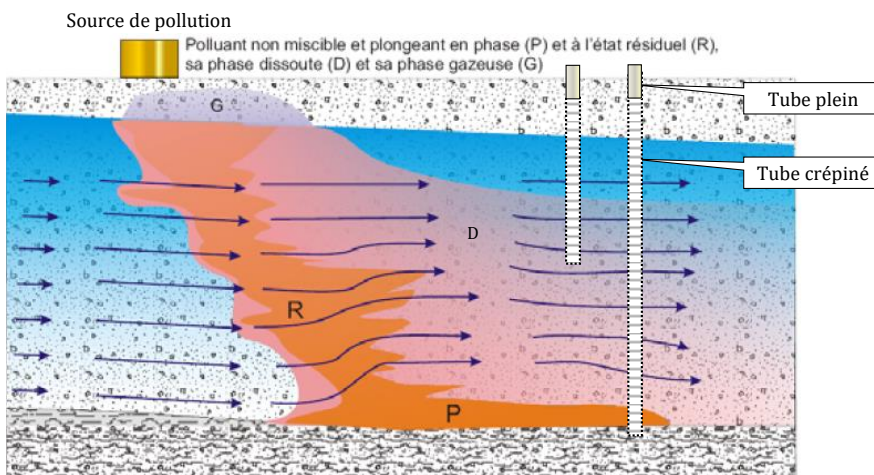
La mise en place d'ouvrages au droit d'un site potentiellement pollué se fera selon les prescriptions de la norme NF X31-614 « Qualité du sol - Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions - Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué », ainsi que selon le Guide MTECT de décembre 2022, relatif à la « Surveillance de la qualité des eaux souterraines ».

La mise en place d'ouvrages sur site doit être précédée de la mise en œuvre de démarches par le prestataire : habilitations, autorisations préalables, DT/DICT, documents en termes de prévention et de sécurité, etc.

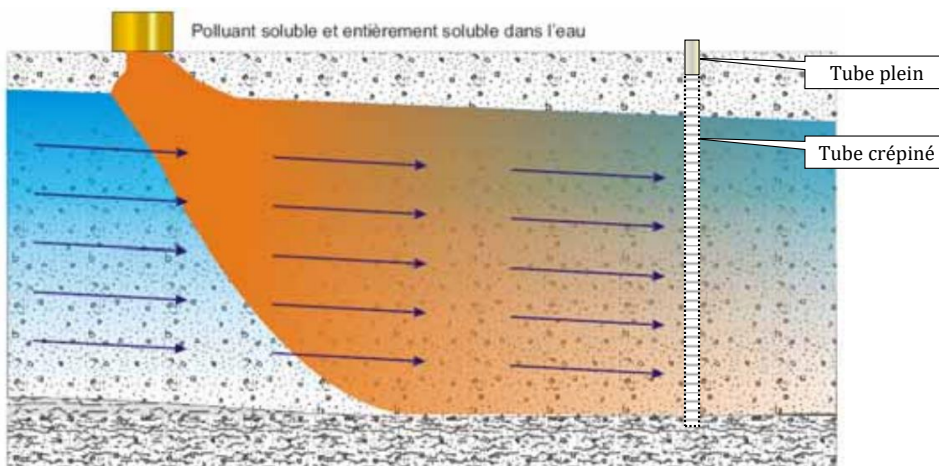
La connaissance des polluants en présence et de leur comportement dans le milieu est un élément essentiel pour définir les caractéristiques du réseau (par ex : potentielle présence d'une phase libre organique flottante (LNAPL) ou plongeante (DNAPL)). La Figure 19 illustre des exemples d'adaptation de la profondeur des ouvrages et la position des crépines en fonction des familles de polluants.



LNAPL : polluant limité à la partie superficielle de la nappe
(G : phase gazeuse, D : phase dissoute, P : phase pure
Tube plein, 2 tube crépiné)



DNAPL : cas où le polluant a atteint le substratum



Polluant soluble : potentiellement sur toute l'épaisseur de l'aquifère

Figure 19 : Exemples d'adaptation de la profondeur des ouvrages et de la position de la crépine en fonction du polluant (source BRGM).

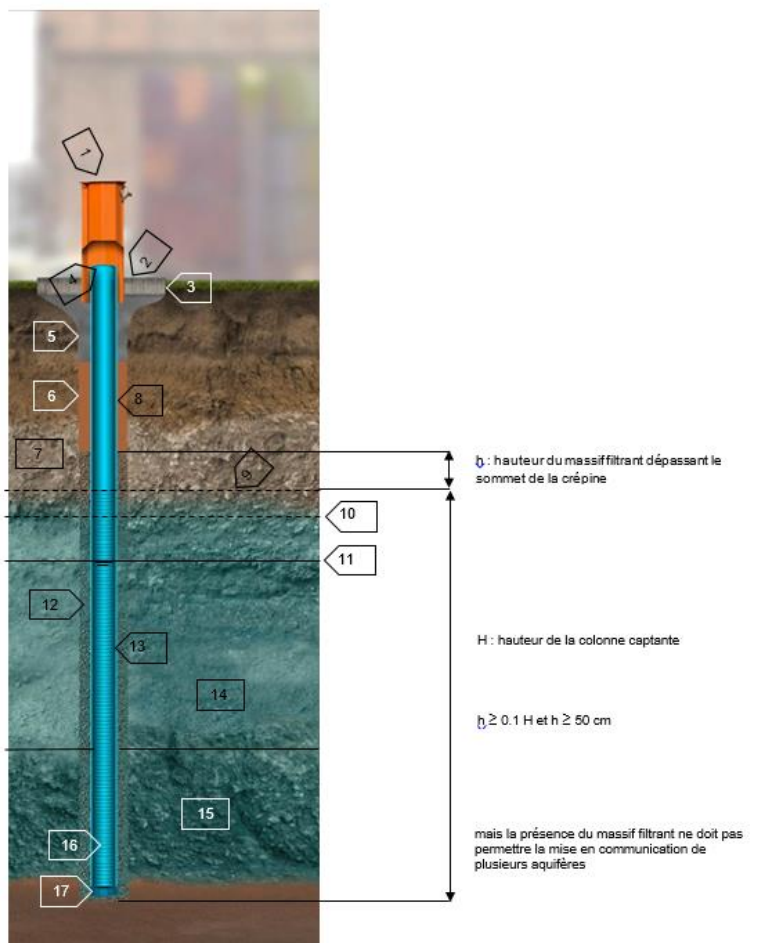
Les préconisations spécifiées dans la norme NFX31-614 sont à respecter et notamment :

- les choix du diamètre de foration et du tubage ;
- la prévention des pollutions en lien avec l'atelier de foration ;
- la prévention des pollutions par mise en communication de nappes ;
- la nature des matériaux à utiliser : tubage, crépines, cimentation, etc. ;

- le développement des ouvrages après équipement ;
- la protection des ouvrages : ras-du-sol ou capot hors-sol.

Une coupe schématique d'un ouvrage est proposée en Figure 20.

La mise en place de piézomètres doit faire l'objet d'un compte-rendu détaillé des travaux, qui précisera entre autres les éléments de localisation des forages (plans, coordonnées géographiques), les caractéristiques de la technique de foration, les lithologies rencontrées, les coupes de forage, les équipements des piézomètres (composition et épaisseur de massif filtrant, zone cimentée et/ou isolée, types de tubages pleins et crépinés (matériau, diamètre...), côtes des crépines, ...), les durées et modes de développement des ouvrages, etc. Le détail est précisé dans la norme NF X31-614.



Légende

- | | | | |
|---|----------------------------|----|--|
| 1 | Plaque de protection | 10 | Niveau des plus hautes eaux de la nappe |
| 2 | Dalle de propreté bombée | 11 | Niveau piézométrique |
| 3 | Massif béton | 12 | Massif filtrant |
| 4 | Bouchon vissé | 13 | Tube crépiné |
| 5 | Cimentation | 14 | Zone saturée |
| 6 | Bouchon d'argile gonflante | 15 | Substratum peu perméable ou plancher de l'aquifère |
| 7 | Zone non saturée | 16 | Piège à sédiments |
| 8 | Tube plein | 17 | Bouchon de fond |
| 9 | Frange capillaire | | |

Figure 20 : Coupe schématique d'un forage équipé (adaptée du Guide MTECT sur la surveillance des eaux souterraines, décembre 2022).

En cas d'hétérogénéité verticale suspectée de la pollution dans une même nappe (cf. stratification du panache de pollution), il peut être envisagé de mettre en place un ouvrage avec une alternance de crépines courtes et de tubes pleins répartis sur toute l'épaisseur de l'aquifère, ou des ouvrages avec des crépines positionnées à différentes profondeurs. Pour cela, les zones les plus perméables devront être identifiées au préalable, sur la base d'une connaissance fine de la géologie locale ou à partir des données issues de campagnes de diagraphies ou de mesures au micro-moulinet (NF X 31-614) sur un ouvrage avec une crépine unique.

Un forage unique comprenant plusieurs tubes peut être réalisé (Figure 21). Il permet de réaliser des échantillonnages multi-niveaux qui peuvent s'avérer pertinents pour aider à appréhender l'extension verticale et l'hétérogénéité de la pollution (stratification du panache de pollution). Un dispositif en « flûte de Pan » (plusieurs ouvrages rapprochés et crépinés à différentes profondeurs) peut également être envisagé.

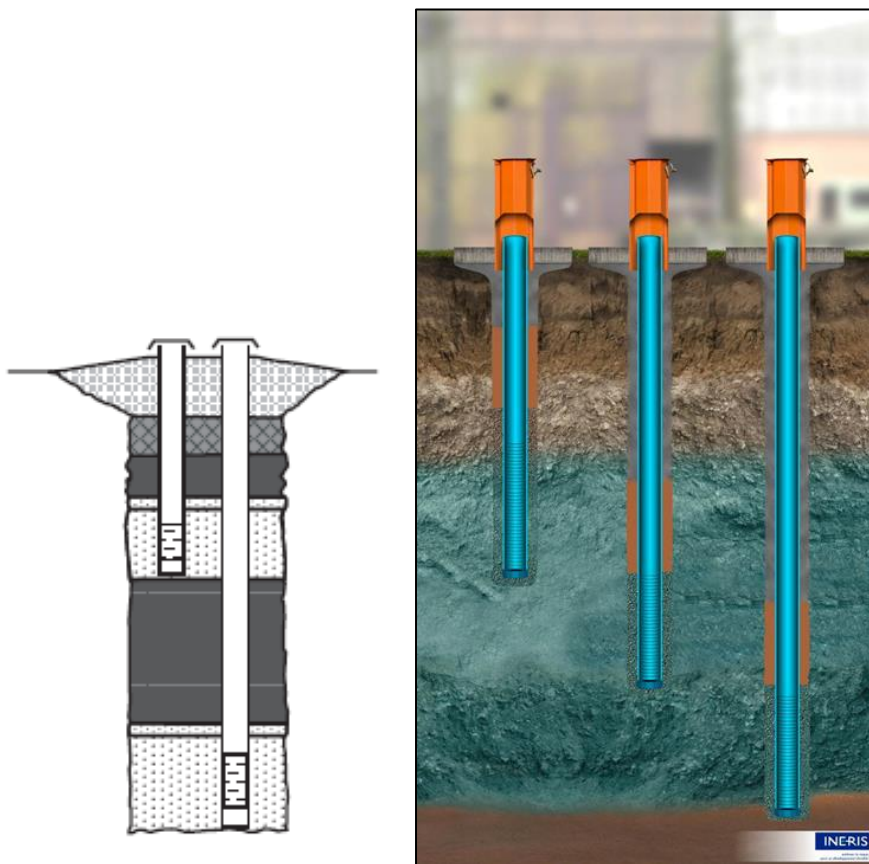


Figure 21 : À gauche : exemple d'un forage équipé de deux tubes (source *Guidance on Monitoring of Landfill Leachate, Groundwater and Surface Water, 1_533191* - UK Environment Agency). À droite : exemple de forages en flûte de Pan – légende voir Figure 20 (source : *Guide MTECT, décembre 2022*).



Les **bonnes pratiques en termes de mise en place de piézomètres** sont précisées dans une vidéo réalisée par l'INERIS :

<https://www.ineris.fr/fr/piezometre-bonnes-pratiques-mettre-oeuvre-domaine-icpe-sites-pollues-0>

Chaque ouvrage est géoréférencé (X, Y selon le référentiel Lambert 93) afin de pouvoir le retrouver facilement d'une campagne à l'autre et d'assurer la pérennité de l'ouvrage. L'altitude (Z) est également relevée, en m NGF en France métropolitaine (d'autres référentiels peuvent exister dans les îles notamment, et un référentiel local peut être défini en cas de territoire très isolé), afin d'obtenir le niveau piézométrique de la nappe. Le nivellement est réalisé par un géomètre professionnel (géomètre expert, technicien géomètre, etc.), ou à défaut par le prestataire SSP, si cette compétence existe en interne (sous réserve d'une précision suffisante pour réaliser une piézométrie fiable). Cette étape permet de réaliser une carte piézométrique pour chaque campagne de relevés, de déterminer le sens d'écoulement de la nappe et d'identifier l'amont et l'aval hydraulique d'un site.

La mise en place de piézomètres est soumise :

- **à déclaration au titre de l'article L.214-1 du Code de l'Environnement.** L'ordonnance n°2017-80 du 26 janvier 2017 modifiant l'article L.214-1 du code de l'environnement soumet depuis le 1^{er} mars 2017 tous les ouvrages aux dispositions des articles L.214-2 à L.214-6. Ces ouvrages sont désormais tous, sans condition de profondeur, soumis à la rubrique 1.1.1.0 IOTA et doivent être déclarés auprès de la police de l'eau ;

Nature des travaux projetés	N ° Rubrique	Régime
Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau.	1.1.1.0.	Déclaration

- **au titre de l'article L.411-1 du Code Minier**, pour les sondages de plus de 10 m de profondeur quelle que soit leur destination mais à l'exception des forages destinés à la géothermie de minime importance. En application de l'article L411-2 du code minier, la déclaration au titre de l'article L.214-1 du Code de l'Environnement vaut déclaration au titre du Code Minier.

Les ouvrages relevant de la rubrique 1.1.1.0 sont soumis à l'AM du 11/09/2003. Conformément à l'article 15 de cet arrêté, il est possible de déroger à certaines de ces prescriptions en en faisant la demande lors de la déclaration.

8.2.3 Matériels d'échantillonnage

Différents matériels sont possibles pour réaliser un échantillonnage (NF X 31-615). Ils sont choisis en fonction des objectifs de l'échantillonnage, de la profondeur sélectionnée pour l'échantillonnage et du diamètre des ouvrages et des conditions de milieu. Il peut s'agir :

- de pompes ;
- de préleveurs jetables ;
- de préleveurs à profondeur ciblée, manuels ou automatiques ;
- d'échantillonneurs passifs.

Leur mise en place est développée dans les chapitres 0 et 8.2.6.

Différents types de matériel sont décrits dans le rapport INERIS du projet BIODÉPOL (« Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau », INERIS-DRC-15-140314-11768A, 25/11/2016) : pompes immergées, pompe de surface, échantillonneurs passifs, etc.

Dans certaines conditions de milieu extrême, une attention doit être portée à la nature des matériels utilisés (ex. choix de matériel inox pour des zones en traitement entraînant de fortes températures).

8.2.4 Mesures dans l'ouvrage

Des mesures sont à réaliser avant, pendant et après l'échantillonnage.

Préalablement à l'échantillonnage, des mesures dans l'ouvrage sont réalisées et portent :

- sur la mesure de composés volatils à l'ouverture de l'ouvrage en tête de celui-ci, à l'aide d'un analyseur de gaz (CH₄, O₂, CO₂, H₂S, CO, etc.) et d'un PID. En cas de réponse positive des appareils, une protection adaptée de l'opérateur aux polluants en présence pourra alors s'avérer nécessaire ;
- sur l'observation présence/absence de flottants ou de plongeants à l'aide d'une sonde à interface, et la mesure de l'épaisseur d'une éventuelle phase « flottante » ou « plongeante ». En contexte de diagnostic d'un site, l'utilisation d'une sonde à interface est obligatoire dès lors qu'une pollution organique est suspectée ;

En cas de présence de phase « flottante » ou « plongeante », il est vivement recommandé de ne pas prélever d'eau à des fins d'analyse en laboratoire pour l'estimation de la concentration en polluants présents dans les phases organiques pures en présence.

- Sur la mesure du niveau piézométrique et du fond de l'ouvrage par rapport au repère ;

À noter que si le fond de l'ouvrage est moins profond que celui attendu, cela signifie qu'il y a potentiellement eu un dépôt de particules fines au fond de l'ouvrage. Cela peut être un indice de détérioration de l'ouvrage (de la crépine) ou d'inadaptation de celle-ci et du massif filtrant à la granulométrie de l'encaissant. Dans ce cas, il faudra identifier la cause et envisager de développer à nouveau l'ouvrage ou de le remplacer.

D'autres mesures peuvent être réalisées avant l'échantillonnage dans l'objectif de mieux connaître l'aquifère et l'ouvrage étudié, il s'agit de :

- la réalisation d'un profil (diagraphie) de certains des paramètres physico-chimiques (pH, potentiel d'oxydo-réduction, conductivité, O₂ dissous, température).

La réalisation de diagraphies à l'aide d'une sonde multi-paramètres (cf. Figure 22) pour certains des paramètres physico-chimiques (notamment conductivité ou oxygène dissous) peut permettre de mettre en évidence une hétérogénéité de la colonne d'eau ;



Figure 22 : Exemple de sonde permettant de réaliser des diagraphies des eaux souterraines (Aquatroll 600) (source INERIS).

- la réalisation de mesures au micro-moulinet (Figure 23) :

Ces mesures sont intéressantes pour avoir des informations sur l'identification des zones productives au sein de l'ouvrage, notamment en milieu fissuré ou pour caractériser un panache de pollution. Il existe différents types de micro-moulinet avec des sensibilités différentes (cf. § 8.2.7 - Caractérisation haute résolution des sites).



Figure 23 : Micromoulinet (source BRGM).

Ces mesures complémentaires, si elles sont effectuées avec du matériel propre n'engendrent aucun risque de contamination croisée de l'eau de la nappe. Des blancs de matériel peuvent être réalisés pour s'en assurer.

Tout au long de la phase d'échantillonnage, des mesures dans l'ouvrage sont également à réaliser : pendant la purge et au moment de l'échantillonnage. Elles comprennent :

- des mesures des paramètres physico-chimiques ;
- des mesures du rabattement ;
- des observations organoleptiques.

Pendant la purge, les paramètres physico-chimiques et des observations telles que couleur, odeur et présence de particules sont relevés et renseignés dans la fiche de prélèvement. Pour la présence de particules, au-delà d'une observation qualitative, il existe des sondes de turbidité pour donner une mesure plus objective que la simple observation.

En fin d'échantillonnage, ces mêmes paramètres physico-chimiques et observations organoleptiques sont à relever. L'opérateur mesure également en fin d'échantillonnage le rabattement de la nappe.

En complément, un profil (diagraphie) de certains des paramètres physico-chimiques (pH, potentiel d'oxydo-réduction, conductivité, O₂ dissous, température) peut être réalisé en complément de celui réalisé avant l'échantillonnage. Cela permet de vérifier l'impact de l'opération d'échantillonnage sur l'hétérogénéité de la colonne d'eau et d'identifier éventuellement les zones renouvelées lors de l'échantillonnage.

Focus sur la mesure des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques peut se faire par l'utilisation de sondes indépendantes (cf. Figure 24) ou par l'intermédiaire de sondes multi-paramètres. Elles doivent faire l'objet d'un entretien rigoureux et d'un étalonnage avant chaque utilisation. Il est recommandé au prestataire de mettre en place des modes opératoires pour la mesure de chacun de ces paramètres.

Les paramètres physico-chimiques, au même titre que les concentrations en polluants, doivent être interprétés, en prenant en considération :

- leurs valeurs hors zone d'influence (cf. l'amont hydraulique), chaque nappe présente un équilibre physico-chimique différent ;
- la cohérence des résultats (la teneur en oxygène dissous maximum dans une eau naturelle est de 12,7 mg/L par exemple) ;
- mais aussi les mesures des campagnes précédentes.

Ils peuvent aider à l'interprétation de la présence et de l'évolution d'un panache de pollution, car la dégradation de polluants et/ou leur réactivité avec l'encaissant sont liées à l'état d'oxydo-réduction du milieu.

Une attention accrue doit être portée :

- à la calibration du matériel et à son état (certaines sondes ont une durée de vie assez courte) ;
- au report des résultats (conductivité exprimée à 25 °C ; potentiel d'oxydo-réduction exprimé par rapport à l'électrode à hydrogène) ;
- à la mesure (notamment pour l'oxygène dissous et le potentiel d'oxydo-réduction, très sensibles aux conditions de mesures).



Figure 24 : Mesures des paramètres physico-chimiques d'une eau souterraine (source BRGM).

En fin d'échantillonnage, ces mêmes paramètres physico-chimiques et observations organoleptiques sont à relever. L'opérateur mesure également en fin d'échantillonnage le rabattement de la nappe.

8.2.5 Protocoles d'échantillonnage en cas d'utilisation d'une pompe

Le protocole de prélèvement doit suivre la chronologie suivante :

- mesures préalables dans l'ouvrage ;
- purge de l'ouvrage (le cas échéant) selon la procédure retenue (purge statique ou dynamique) ;
- mise en place du matériel d'échantillonnage (pompe ou autre) à la profondeur souhaitée ;
- préparation de l'échantillon et conditionnement ;
- opérations post-échantillonnage.

Ces différentes étapes sont décrites dans les chapitres 8.2.4, 0.1. à 0.5.

8.2.5.1 Purge de l'ouvrage (le cas échéant)

La purge d'un ouvrage a pour objectif d'enlever un certain volume d'eau qui a séjourné dans le forage, afin que les échantillons prélevés soient représentatifs de la qualité de l'eau au sein de l'encastrement (NF X31-615).

Dans certaines conditions, la purge peut ne pas être réalisée ; le choix sera argumenté par l'opérateur : ouvrages peu productifs, ouvrages très productifs, utilisation d'échantillonneurs passifs. Ces conditions sont précisées dans la norme NF X31-615.

Dans le cas d'une réalisation de la purge de l'ouvrage (cas général d'un prélèvement par pompe), celle-ci est réalisée jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques. La norme NF X31-615 précise dans quelle mesure les critères de stabilité pour les paramètres physico-chimiques sont généralement considérés :

- 0.2-0.3 U pour le pH ;
- 5% si inférieur à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- 2% au-delà pour la conductivité ;
- 0.5 mg/L d'oxygène dissous ;
- 20-30 mV pour le potentiel d'oxydo-réduction (Eh).

Dans le cas où aucune stabilisation n'est obtenue, l'arrêt de la purge est conditionné après avoir purgé 3 à 5 fois le volume d'eau contenu dans le forage.

Le niveau piézométrique est alors relevé régulièrement et reporté sur la fiche de prélèvement. Le débit de purge est régulièrement contrôlé.

Deux modes de purge peuvent être utilisés : la purge statique et la purge dynamique. Dans le cas de la purge statique, la pompe est placée en début d'opération, à une profondeur fixe. Celle dynamique consiste à « balayer » toute la hauteur du forage avec la pompe, afin de solliciter successivement toutes les venues d'eau sur toute la hauteur du forage (NF X 31-615).

Si une purge est réalisée, la purge statique est à privilégier en cas d'utilisation d'un préleveur à profondeur ciblée pour l'échantillonnage.

La purge statique est la seule applicable dans le cas de l'utilisation d'obturateurs hydrauliques.

Les paramètres physico-chimiques à mesurer de manière systématique durant la purge sont : la température de l'eau, le pH, la conductivité à 25 °C, le potentiel d'oxydoréduction normalisé par rapport à l'électrode à hydrogène, l'oxygène dissous et éventuellement la turbidité. Le relevé de ces paramètres est réalisé :

- à partir du début de la purge, toutes les 2-3 minutes jusque la fin de la purge ;
- puis au début et à la fin de l'échantillonnage.

8.2.5.2 Mise en place du matériel d'échantillonnage

Différents matériels d'échantillonnage pouvant être choisis sont présentés ci-après :

- **pompes :**

Les pompes immergées sont les matériels de purge et d'échantillonnage les plus fréquemment utilisés. Si une purge est réalisée, la pompe et le flexible de prélèvement peuvent être identiques pour la purge et la phase d'échantillonnage. Mais le débit pour l'échantillonnage des eaux pourra être diminué (pour limiter la volatilisation de composés volatils et/ou faciliter le remplissage des flacons). Des pompes avec variateur de débit sont à privilégier car elles permettent de s'adapter à la productivité de l'ouvrage et de limiter le rabattement voire un dénoyage.

Dans tous les cas, l'échantillonnage des eaux sera réalisé à la même profondeur que celle de la purge statique, afin de garantir la représentativité des échantillons.

Plusieurs exemples de pompes sont présentés en Figure 25.

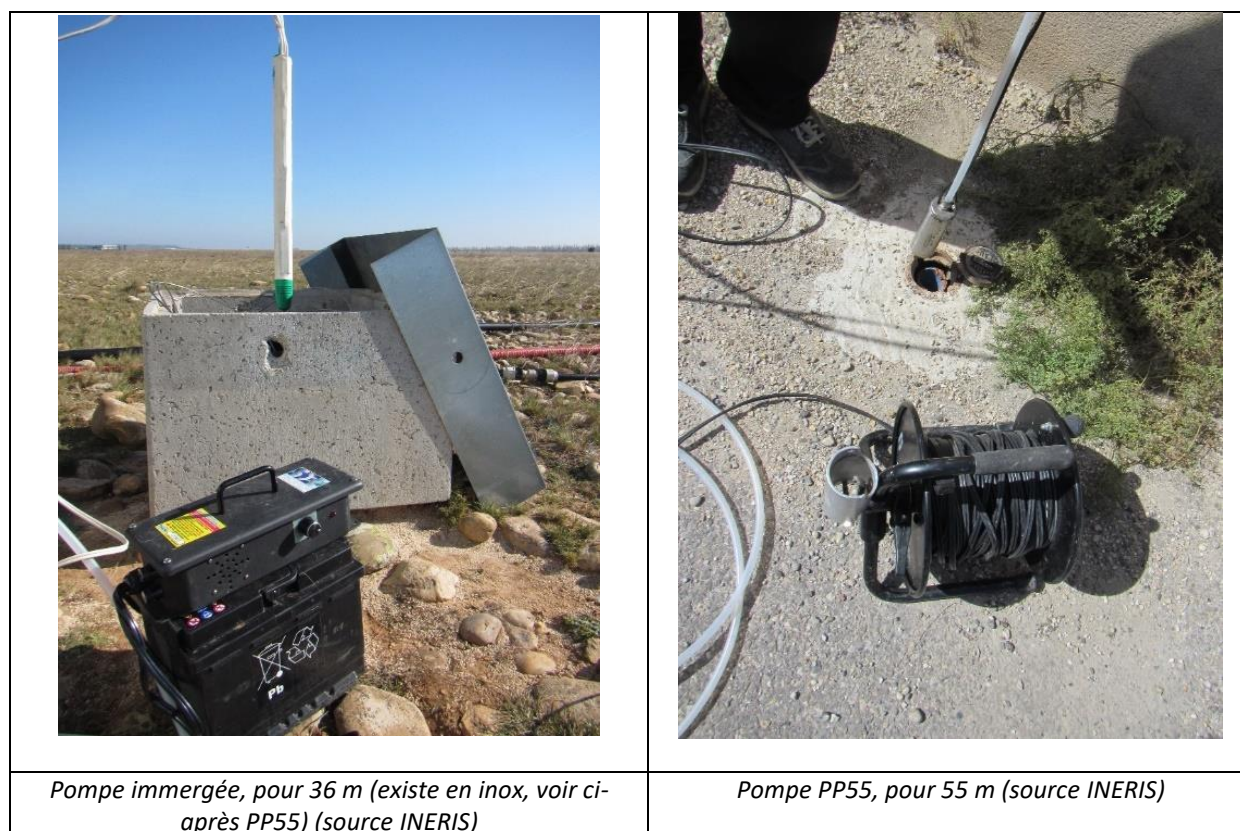




Figure 25 : Exemples de différents types de pompes.

Les pompes peuvent être complétées par la mise en place de packers (ou obturateurs), afin d'obturer le piézomètre et d'isoler la zone ciblée (Figure 26). Ils permettent également de s'affranchir des flux verticaux qui peuvent exister au sein même du tubage. Attention, des obturateurs ne sont pas disponibles pour toutes les tailles d'ouvrage.

Trois pompes en fonctionnement en simultanée pourront donner le même résultat. Seule la pompe centrale assure l'échantillonnage de l'eau. Les deux autres pompes permettent d'isoler la zone ciblée.

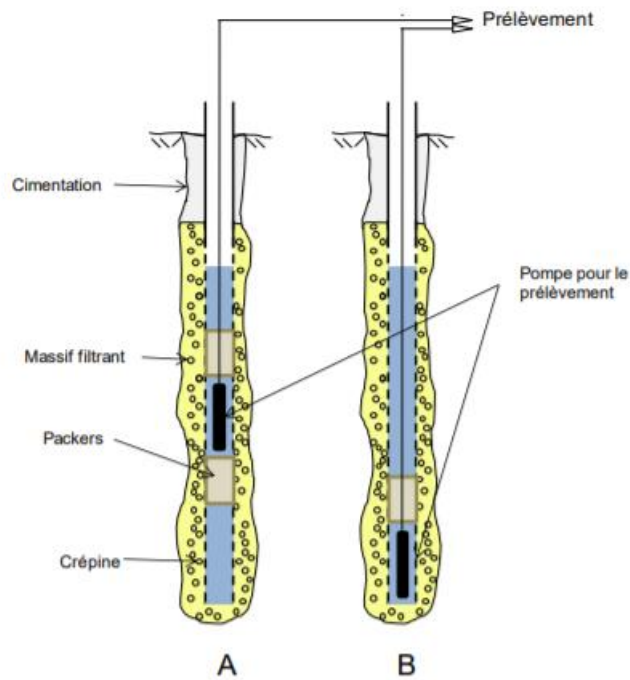


Figure 26 : Différentes configurations pour l'utilisation des packers : A –prélèvement à différents niveaux de la nappe, B –prélèvement en fond d'ouvrage (source Projet BIODéPOL, INERIS).

Si une purge est réalisée, la purge statique est à privilégier en cas d'utilisation d'un préleveur à profondeur ciblée, et la seule applicable dans le cas de l'utilisation de packers hydrauliques ;

- **préleveurs jetables :**

La norme NF X31-615 précise les limites d'utilisation des préleveurs jetables (Figure 27). Ce type de préleveur à usage unique ne doit en aucun cas être utilisé pour un prélèvement au-delà de 1.5 m de profondeur sous le niveau statique, notamment parce que le renouvellement de l'eau dans le préleveur lors de la descente n'est pas reproductible et n'est pas complet. Par ailleurs, la profondeur de prélèvement doit être identique à la profondeur de purge. L'usage d'un préleveur à usage unique est donc généralement à exclure en cas de purge en profondeur (> à 3 m de colonne d'eau). Son utilisation n'est réservée que dans des cas très spécifiques (prélèvement de flottant, prélèvement du premier mètre d'eau...);

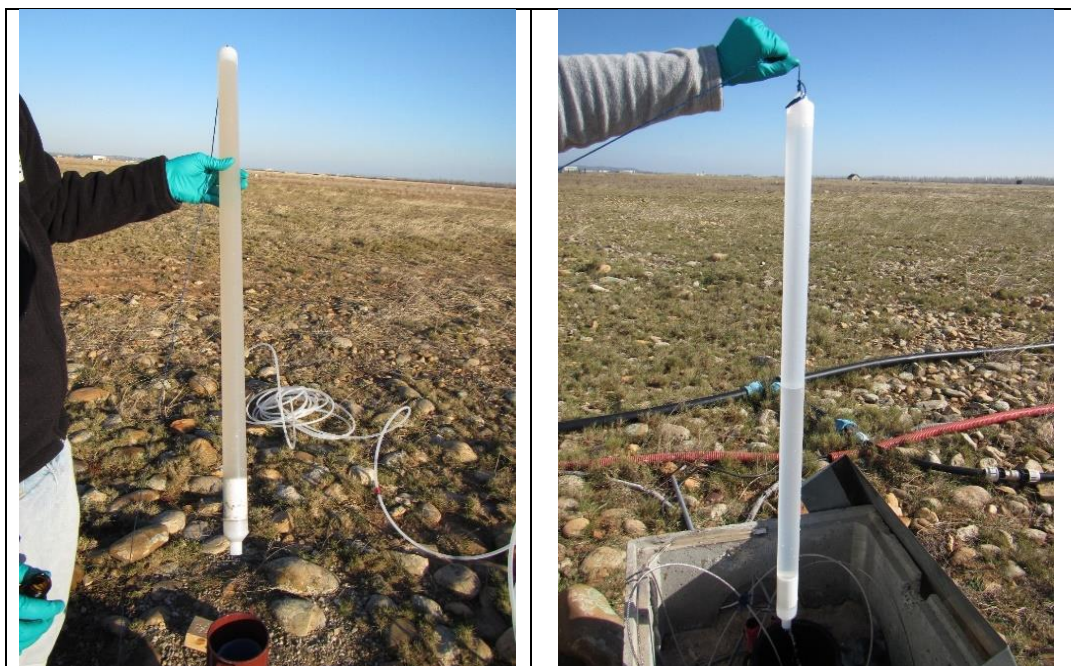


Figure 27 : Illustration de bailers (source INERIS).

- **préleveurs à profondeur ciblée manuels ou automatiques :**

Selon les contextes et les objectifs de l'étude, il peut s'avérer nécessaire d'échantillonner une portion précise de l'aquifère et donc d'isoler une partie de la colonne d'eau. Des échantillonneurs avec fermeture commandée ou des préleveurs sous pression pourront alors être utilisés. Une purge dynamique, visant à connaître l'hétérogénéité verticale de la colonne d'eau dans l'ouvrage est au préalable recommandée afin de renouveler 1 à 2 fois le volume du piézomètre.

8.2.5.3 Préparation de l'échantillon : cas de la filtration

De manière générale, conformément aux préconisations de la norme ISO 5667-3 et des conclusions d'un GT Laboratoires mis en place par le MTE en cas de recherche de métaux et métalloïdes dissous, la filtration est réalisée sur site (Figure 28). Une filtration au laboratoire peut être envisagée exceptionnellement, sur justification (cas par exemple de la nécessité d'une centrifugation).

Si des composés organiques sont recherchés, aucune filtration n'est réalisée, conformément aux préconisations de la norme ISO 5667-3 et des conclusions du GT Laboratoires. L'analyse au laboratoire pour les organiques est réalisée sur la fraction brute.



Les **bonnes pratiques en termes de filtration sur site** sont présentées dans une vidéo proposée sur le site du laboratoire AQUAREF :

<https://www.aquaref.fr/pratiques-filtration-site-echantillons-analyse-elements-traces-metalliques-video>.



Figure 28 : Exemple de filtration à l'aide d'une seringue et d'un filtre (source BRGM).

Selon les objectifs de l'étude, les pratiques peuvent être adaptées, via la réalisation d'un double échantillonnage (échantillon brut et échantillon filtré). Cette pratique permet d'approfondir la connaissance sur l'exposition (en cas de consommation directe de l'eau) ou sur la contribution de la phase particulaire dans les phénomènes de transport et de transfert.

Le double échantillonnage est recommandé lorsqu'il s'agit d'intervenir dans le cadre d'une IEM, par exemple sur un puits de particulier, ou en contexte minier.

L'ensemble des informations en lien avec l'échantillonnage des eaux souterraines est à consigner dans la fiche de prélèvement. Toute modification en termes de protocoles de prélèvement, matériel utilisé ou prestataire doit être consignée dans le rapport d'investigations et/ou dans la fiche de prélèvement. Un modèle est proposé dans la norme NF X31-615.

8.2.5.4 Opérations post-échantillonnage

Les opérations post-échantillonnage portent sur la visualisation de la remontée du niveau d'eau, le nettoyage des outils, de la pompe, le remplissage de la fiche de prélèvement et des bordereaux pour le laboratoire.

Plusieurs protocoles de nettoyage peuvent être proposés en fonction des polluants rencontrés dans la nappe.

En cas de matériel souillé par des substances inorganiques, la norme NF X31-615 recommande de nettoyer le matériel à l'aide de solutions légèrement acides, puis avec de l'eau du robinet ou de l'eau déminéralisée. Si le matériel est contaminé par des substances organiques, la norme NF X31-615 recommande de le nettoyer à l'aide de solvant doux (ex éthanol à 10 %), puis avec de l'eau du robinet ou de l'eau déminéralisée.

Des détergents peuvent être éventuellement utilisés mais leur compatibilité doit au préalable être vérifiée avec des analyses, et le rinçage doit être complet.

Le nettoyage du matériel doit être réalisé systématiquement entre chaque utilisation dans des ouvrages différents, pour éviter toute contamination croisée d'un échantillon par les éventuels polluants d'un forage précédemment étudié ou échantillonné :

- entre deux campagnes d'échantillonnage sur des sites différents ;
- entre chaque utilisation dans des ouvrages dont les concentrations ne sont pas connues.

Il est nécessaire de changer tout préleveur à usage unique après chaque prélèvement (bailer, etc.).

Le lavage et le rinçage des tuyaux se font entre chaque ouvrage. Ils se feront par circulation d'un volume égal ou supérieur à trois fois le volume interne des outils à nettoyer.

Il est par ailleurs, recommandé de changer de tuyaux entre chaque ouvrage dès lors qu'aucune information n'est disponible quant à la pollution (première campagne). Si les concentrations dans la nappe sont connues, et en respectant un échantillonnage des eaux de l'ouvrage le moins pollué vers plus pollué, le changement du tuyau sera évalué par le prestataire dans le cadre de la définition du plan d'échantillonnage. L'achat de flexible doit donc être anticipé. Dans le cadre d'une surveillance sur du long terme, il peut être envisagé d'utiliser et de garder spécifiquement du matériel (pompe et tuyau) pour chaque ouvrage (à stocker chez l'exploitant du site).

Tous les outils descendus dans le forage et tout matériel de mesures physico-chimiques doivent être nettoyés entre chaque mesure ou prélèvement, afin d'éviter toute contamination croisée. Par ailleurs, le préleveur fera attention à ne pas mettre en contact le matériel d'échantillonnage ou le flaconnage en contact avec le sol pollué (mise en place d'un support, bâche, etc.).

Si les niveaux de concentrations sur le site sont connus, le respect d'un ordre de prélèvement des ouvrages du moins pollué au plus pollué peut permettre de s'affranchir du nettoyage entre chaque ouvrage.

La réalisation de blancs de matériel permet d'assurer la traçabilité des opérations de nettoyage.

Le prestataire établira un accord avec le maître d'ouvrage pour justifier et fixer les modalités de gestion des eaux (de purge, de la phase d'échantillonnage, de lavage, du rinçage du matériel...) pour chaque campagne / pour chaque ouvrage. Ces modalités, conformes à la réglementation et aux règles de l'art, pourront être définies sur la base d'informations disponibles (issues de campagnes précédentes...) ou sur la base de données à acquérir. Si la qualité des eaux et/ou l'efficacité d'un traitement sur site (ex. filtration sur charbon actif ou autre Figure 29) ne sont pas connues, les eaux pourront être stockées en attendant les résultats d'analyse pour définir au mieux leur élimination.

Selon ces résultats, les contextes et possibilités techniques liés au site, ces modalités de gestion des eaux (soit des eaux brutes, soit des eaux traitées sur site) pourront être : rejet au réseau d'assainissement (eaux usées ou eaux pluviales avec une convention d'autorisation de rejet établie entre le maître d'ouvrage, l'exploitant du réseau et le prestataire), rejet dans une station de traitement présente sur site (si habilitée à traiter les polluants présents en nappe), rejet dans le milieu naturel (avec une autorisation au titre de la loi sur l'eau). Dans d'autres cas, en l'absence de convention spécifique et de point de rejet, ces eaux peuvent être éliminées en centres agréés.



Figure 29 : Traitement des eaux sur site par filtre à sable puis filtre à charbon (source BRGM).

8.2.5.5 Conditionnement et stockage

Les échantillons d'eaux souterraines sont susceptibles de subir des transformations entre l'échantillonnage et l'analyse, des transformations physiques, physico-chimiques ou biologiques, de façon plus ou moins rapide ou importante. Un protocole strict de conditionnement et de stockage doit donc être appliqué afin de limiter ces transformations.

En plus des recommandations générales en chapitre 1, d'autres recommandations spécifiques à ce milieu sont présentées ici. L'opérateur se rapproche du laboratoire afin de s'entendre sur la préparation des échantillons (ajout d'additif, rinçage, étiquetage, etc.), sur le flaconnage et les volumes d'eau à prélever, en fonction de l'objectif de l'étude et de son contexte.

Le flaconnage et les volumes d'eau à prélever dépendent des analyses à réaliser et du laboratoire. Plusieurs types de flaconnage existent : flacons en verre, en plastique (polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polyéthylène téréphtalate (PET), etc.), en verre borosilicaté, etc. Le choix du type de flaconnage à utiliser est fonction des directives du laboratoire. Il sera ainsi adapté au type d'analyses à effectuer. Les autres exigences du laboratoire, telles que l'ajout d'additif, le rinçage, l'étiquetage, le volume nécessaire, etc. devront également être respectés par le préleveur. Le respect de l'ensemble de ces consignes et l'utilisation d'un flaconnage adapté conditionne la qualité et la représentativité des échantillons.

Le flacon est rempli avec précaution en évitant le barbotage et est entièrement rempli (absence de bulles d'air) afin d'éviter les interactions possibles avec l'air, sauf spécifications contraires (ISO 5667-3, 2018) ou si l'échantillon doit être congelé.

Dès la collecte, les échantillons prélevés sont conservés à l'abri de la lumière, dans une glacière réfrigérée et adaptée pour éviter les chocs (Figure 30).



Figure 30 : Flacons et glacière de transport (source BRGM).

Pour le transport, les flacons doivent être transportés dans une enceinte ayant la capacité de maintenir une température ambiante de transport de 5 ± 3 °C (ISO 5667-3, 2018). En cas de congélation de l'échantillon, un contrôle détaillé des modalités de congélation et décongélation est nécessaire.

Un envoi rapide des échantillons au laboratoire d'analyse (en évitant le vendredi si aucune réception ne se fait au laboratoire le samedi) est recommandé. Si l'analyse n'est pas réalisée immédiatement après la réception de l'échantillon, le laboratoire d'analyses devra conserver les échantillons à une température de 3 ± 2 °C, ou à une température inférieure à -18 °C pour les échantillons congelés (ISO 5667-3, 2018). Un stabilisant peut également être ajouté à l'échantillon.

Concernant le stockage des échantillons, la norme ISO 5667-3 présente les durées maximales pour chaque substance à rechercher, c'est-à-dire entre le moment de l'échantillonnage et le début de l'analyse en laboratoire. Selon les paramètres à rechercher, ces durées varient de 1 jour à 6 mois (pour des flacons stabilisés) pour les inorganiques, et de 1 à 21 jours pour les organiques.

Un bordereau de suivi des échantillons d'eau au laboratoire est proposé en annexe de la norme NF X31-615.

8.2.6 Protocoles d'échantillonnage en cas d'utilisation d'échantillonneurs passifs

8.2.6.1 Purge de l'ouvrage (le cas échéant)

Aucune purge de l'ouvrage n'est à réaliser au préalable de l'utilisation d'échantillonneurs passifs instantanés.

8.2.6.2 Mise en place du matériel d'échantillonnage

Les échantillonneurs passifs pour les eaux souterraines sont des dispositifs permettant l'échantillonnage d'eau souterraine à une profondeur ou intervalle donné, sans transport actif d'eau. Leur principe de fonctionnement dépend de différentes forces et paramètres tels que la température, la pression, le gradient de concentrations dans le milieu échantillonné et entre le milieu échantillonné et le milieu récepteur. L'INERIS a rédigé en 2014, pour le compte de l'ADEME, un guide de bonnes pratiques pour l'utilisation d'échantillonneurs passifs pour la mesure de la qualité des eaux souterraines, dans le contexte des sites et sols pollués (Michel J., Lemoine M., « Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites et sols pollués, ADEME, 2014). Il existe 3 catégories d'échantillonneurs passifs :

- les échantillonneurs passifs instantanés (Figure 31) : ils permettent un prélèvement ponctuel et instantané d'un échantillon d'eau ;
- les échantillonneurs passifs à l'équilibre (Figure 32) : ils permettent l'obtention de la concentration dans le milieu suite à la diffusion des polluants recherchés à travers une membrane et jusqu'à l'équilibre entre l'échantillonneur et le milieu. Ils sont donc représentatifs de la concentration dans le milieu au moment de leur retrait ;
- les échantillonneurs passifs intégratifs (Figure 33) : ils permettent la diffusion et la sorption des polluants d'intérêt qui s'accumulent sur ou dans l'échantillonneur passif jusqu'à son retrait. Ils donnent des résultats intégratifs, c'est-à-dire une valeur moyenne de la concentration durant la période d'exposition.

Remarque :

Pour les échantillonneurs passifs à l'équilibre, la durée d'exposition est indépendante des concentrations présentes dans le milieu. Elle dépend de l'échantillonneur et pour les plus courants, cette durée d'équilibre est donnée par le fabricant suite à des tests réalisés en labo (par exemple, pour les PDB, il est considéré entre 2 et 3 semaines d'exposition pour atteindre l'équilibre. Ils peuvent être laissés plus longtemps, tant qu'il n'y a pas de formation de biofilm qui pourrait gêner la diffusion des contaminants d'intérêt à travers la membrane).

Pour les échantillonneurs passifs intégratifs, la durée d'exposition dépend des concentrations du milieu pour pouvoir atteindre les limites de quantification (un ordre de grandeur des durées d'exposition est également donné par le fabricant pour la majorité d'entre eux).

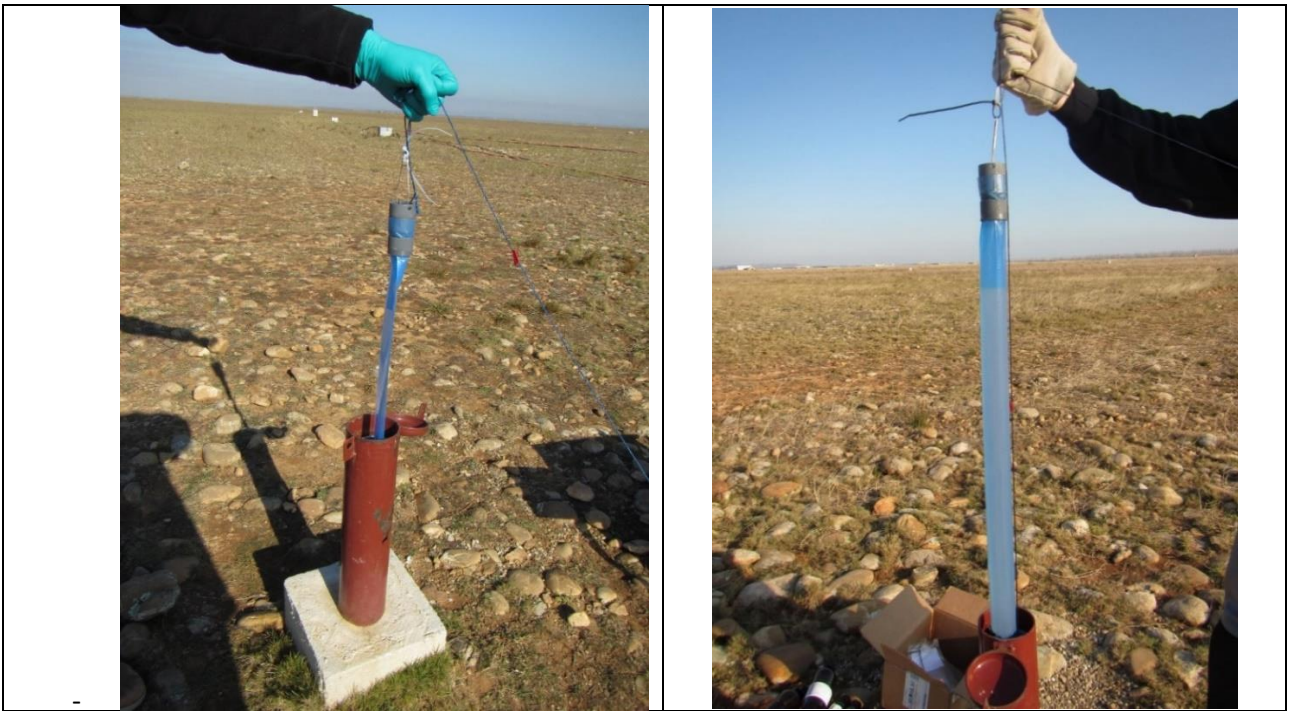


Figure 31 : Exemple d'échantillonneur passif instantané : Hydrasleeve™ type "SKINNY SuperSleeve 2", avant (à gauche) et après prélèvement (à droite) (source INERIS).

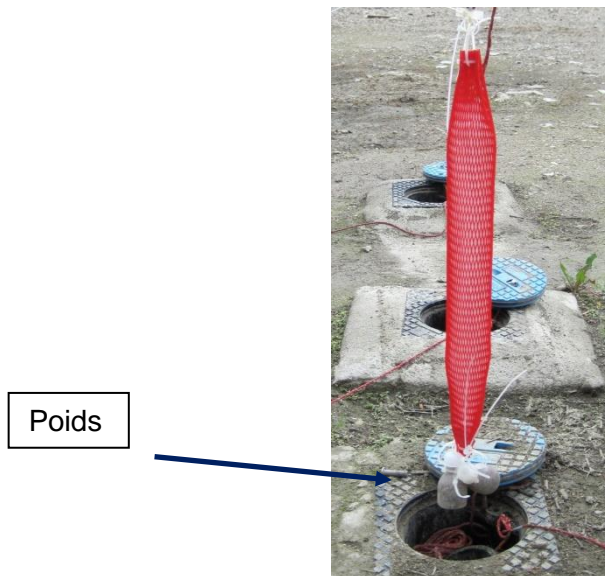


Figure 32 : Exemple d'échantillonneur passif à l'équilibre : PDB (polyethylene diffusion bag) (source INERIS).



Figure 33 : Exemple d'échantillonneurs passifs intégratifs : Dosimètre en céramique (à gauche) POCIS pour les polluants polaires (à droite) (source INERIS).

L'utilisation appropriée des échantillonneurs passifs se base sur les étapes suivantes :

- le choix de l'échantillonneur passif à utiliser en fonction de l'objectif de l'étude dans le temps et dans l'espace et des polluants à surveiller. Le besoin de concentrations moyennes au cours du temps ou d'une représentation ponctuelle des conditions régnant au moment de l'échantillonnage ainsi que le type de polluant conditionneront le choix de l'échantillonneur passif à mettre en œuvre ;
- l'installation des échantillonneurs passifs. Certaines informations comme la connaissance des caractéristiques techniques de l'ouvrage et l'hydrogéologie locale (en particulier les flux verticaux naturels dans des piézomètres à intervalle crépiné long) doivent être disponibles avant de déployer les échantillonneurs passifs. Le succès de l'installation sera conditionné par un temps d'exposition adapté à l'échantillonneur passif et par un nombre et une position d'échantillonneurs dans le piézomètre adapté ;
- l'interprétation des résultats. En général, il est conseillé de discuter les premiers résultats d'une campagne réalisée au moyen d'échantillonneurs passifs vis-à-vis de ceux obtenus avec la technique conventionnelle. Les différences éventuelles doivent alors être expliquées en considérant les principes de fonctionnement différents des deux méthodes ainsi que l'hydrogéologie locale.

L'utilisation d'obturateurs pour isoler une portion de l'ouvrage peut également être pertinente pour faire un échantillonnage avec un échantillonneur passif (pour éviter les mouvements d'eaux ascendants/descendants naturels dans l'ouvrage).

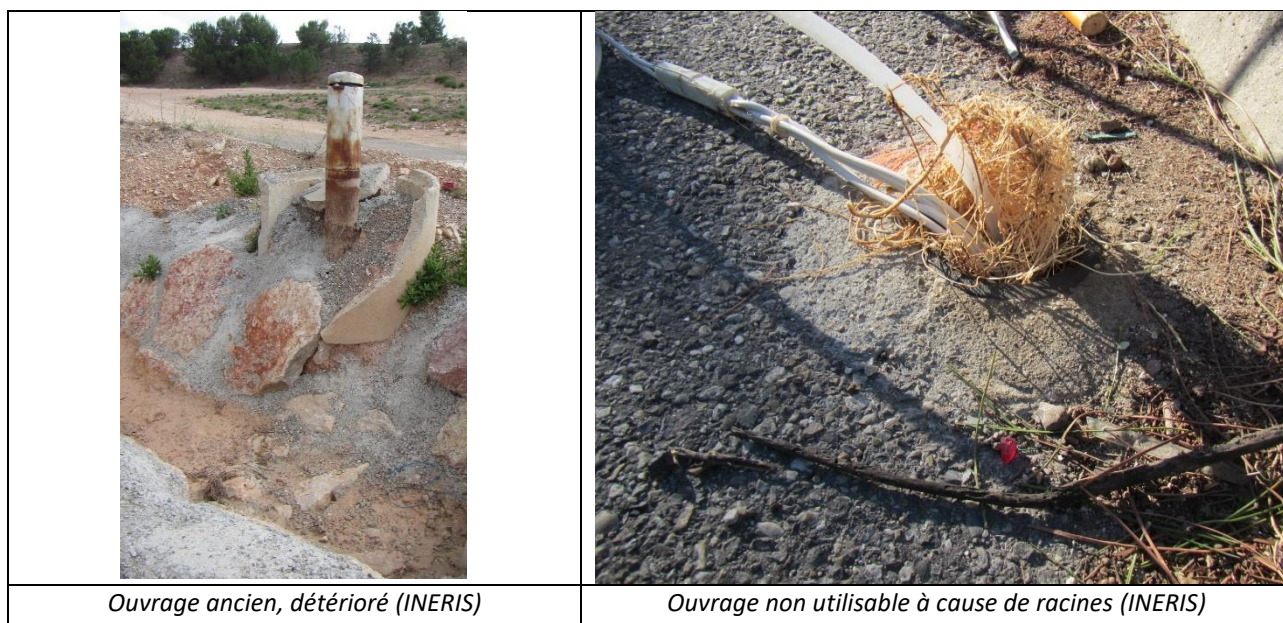
8.2.6.3 Conditionnement et stockage

Les modalités de conservation, transport et analyses des dispositifs passifs dépendent des échantillonneurs passifs. Les dosimètres en céramique doivent être conservés dans un environnement humide. Il est par ailleurs recommandé de manipuler les échantillonneurs passifs avec des gants.

8.2.7 Retours d'expérience

8.2.7.1 Retours d'expérience de terrain

Des exemples de cas concrets de difficultés retrouvées sur le terrain sont présentés ici (Figure 34) :





Passage caméra et bois remontés en surface (source ADEME)

Figure 34 : Difficultés possibles dans le cadre d'investigations des eaux souterraines.

Par ailleurs, dans certains contextes d'étude, l'opérateur peut être amené à échantillonner des eaux dans des puits de particuliers ou agricoles. Les puits étant généralement équipés d'un système de pompage, il peut être nécessaire de procéder à un double échantillonnage (un avec le matériel en place et un avec le matériel classiquement utilisé en SSP). Ce double échantillonnage a pour objectif d'identifier les modifications possibles qu'aurait la pompe en place sur la qualité des eaux. Il peut également être réalisé dans le cas où la position de la pompe en place ne répond pas à l'objectif de l'étude (ex : pompe en fond de puits alors qu'une pollution de la partie superficielle de la nappe est suspectée, en lien avec la présence de flottant observée en amont), sous réserve de la possibilité de réaliser cet échantillonnage en toute sécurité.

8.2.7.2 Projets

a) Comparaison des matériels d'échantillonnage et de protocoles

Le rapport « Contamination des eaux souterraines dans le contexte des ICPE et des sites pollués. Comparaison d'outils et protocoles d'échantillonnage », (INERIS-DRC-17-164249-11465A, 22/08/18) s'est attaché à comparer différents matériels d'échantillonnage et plusieurs protocoles de prélèvement sur 6 sites d'étude. L'influence de la purge, du débit de pompage ou encore de la préparation de l'échantillon a notamment été testée.

À l'issue de ce projet, l'INERIS a proposé de retenir une démarche proportionnée afin de juger de la pertinence de mener une purge spécifique à chaque site, plutôt que de considérer une purge par défaut. Si nécessaire, cette démarche s'appuiera sur une comparaison des résultats obtenus selon différents protocoles (avec ou sans purge), sur au minima trois piézomètres et pour une durée de deux cycles hydrologiques, et pourra être menée dans le cadre de la définition d'une surveillance voire dans la perspective d'un bilan de la surveillance.



Le rapport « Vergnes J.-P., Boisson A., Guérin V., Arnaud L. (2018) – Réflexion sur le protocole de purge des forages d'eau : de l'expérimentation à la modélisation. **Rapport final. BRGM/RP-66698-FR** », a étudié à l'aide d'expérimentations de terrain et de modélisations numériques, différentes méthodes de purge en forage. Il a également évalué les résultats obtenus et la représentativité de l'eau prélevée à l'issue de chaque opération de purge. <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/reflexion-protocole-purge-forages-eau-experimentation-modelisation>.

Ces tests montrent des différences en termes de résultats selon les méthodes utilisées. Le rapport propose ainsi des préconisations pour une adaptation du protocole de purge et d'échantillonnage, par rapport aux objectifs visés.

b) Caractérisation haute résolution des sites

Des fiches techniques (en cours d'évolution) ont été rédigées pour décrire différents outils innovants pour la caractérisation haute résolution des sites pollués (INERIS, Innovasol, PoCible, Ginger BURGEAP, BRGM, ADEME), et notamment :

- pour la caractérisation multiniveau des concentrations (Figure 35) ;
- pour des mesures de flux hydrique multiniveaux ;
- pour des mesures de flux massique multiniveaux.



Ces fiches techniques sont disponibles sur le site : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/tests-outils-innovants-caracterisation-HR-sites-pollues>. Une vidéo a également été réalisée et est disponible sur : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/film-tests-outils-innovants-caracterisation-HR-sites-pollues>.

c) Mise en place de sondes automatiques

Le suivi du niveau piézométrique est généralement réalisé ponctuellement, en lien avec la fréquence des campagnes. Or, la mise en place de sondes automatiques, complétée par un bilan intégrant des données météorologiques, permet d'acquérir une chronique, particulièrement intéressante pour la connaissance du milieu, et *in fine* pour interpréter les résultats (définir un niveau maximum, observer la relation avec un cours d'eau, identifier les périodes de « hautes et basses eaux », observer les variations inter et intra annuelles). Une chronique journalière est généralement suffisante, mais en cas de sites en contexte côtier sous influence de la marée ou de site avec des pompages intermittents, une fréquence plus importante peut être nécessaire.



Figure 35 : Préleveur multi-niveaux à bas débit (source BRGM).

8.2.8 Documentation de référence pour le milieu eaux souterraines

Les normes et textes en vigueur :

- NF X31-614, « Qualité du sol - Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions - Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué » ;
- NF X31-615, « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe dans le cadre des sites pollués ou potentiellement pollués - Prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance pour la détermination de la qualité des eaux souterraines » ;
- NF X31-620-2, « Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle ». Prestation A210 ;
- Norme EN ISO 19458, « Qualité de l'eau - Échantillonnage pour analyse microbiologique » ;
- NF EN ISO 5667-3, « Qualité de l'eau – échantillonnage – partie 3 : conservation et manipulation des échantillons d'eau ».

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Guide pratique OFEFP, Suisse, 2003, échantillonnage des eaux souterraines ;
- Rapport BRGM RP-54596-FR, décembre 2005. Surveillance des eaux souterraines au droit des installations classées en milieu karstique, application de l'art. 65 du décret du 2 février 1998 ;
- Rapport Aquaref, LNE, BRGM, décembre 2008. Incertitude sur l'échantillonnage et le prélèvement d'eaux : synthèse bibliographique ;
- Projet PassCityChlor, INERIS-ADEME, 2014. Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués – Guide de bonnes pratiques ;
- OFEV, 2015. Surveillance des sites pollués ;
- Rapport Ineris, mai 2016 : Réalisation de piézomètres dans le domaine des ICPE et/ou des sites pollués : état des lieux et recommandations. Vidéo INERIS, février 2018 : Piézomètre : les bonnes pratiques à mettre en œuvre dans le domaine des ICPE, sites pollués ;
- AQUAREF, Edition 2017 - Opérations d'échantillonnage d'eau souterraine dans le cadre des programmes de surveillance DCE - Recommandations techniques ;
- Guide MTES, janvier 2018. Prestation échantillonnage et analyse physico-chimique ;
- Rapport Ineris, août 2018 & vidéos associées, sept. 2020. Contamination des eaux souterraines dans le contexte des ICPE et des sites pollués - Comparaison d'outils et de protocoles d'échantillonnage ;
- Rapport final. BRGM/RP-66698-FR, 2018. Réflexion sur le protocole de purge des forages d'eau : de l'expérimentation à la modélisation ;
- Guide MTE, novembre 2020. Evolution et arrêt de la surveillance des eaux souterraines ;
- Rapport INERIS, juin 2020. Prélèvements d'eau souterraine à différents niveaux - Recensement des méthodes et matériels disponibles ;

- Ineris-ADEME, 2020. Projet PASSIFLUX : Les échantillonneurs passifs de flux pour la mesure de la qualité des eaux souterraines ;
- Guide BRGM, 2021. Guide technique pour la surveillance des eaux souterraines en milieu de socle. BRGM/RP-70250-FR.
- Guide MTECT, décembre 2022. Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués.

8.3 Les investigations sur les eaux superficielles

Les investigations sur les eaux superficielles sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 (Prestation A220 « prélèvements, mesures, observations et/ou analyse sur les eaux superficielles et/ou sédiment »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.3.9.

8.3.1 Stratégie d'investigations

L'échantillonnage des eaux superficielles peut concerner aussi bien :

- des cours d'eau naturels (en écoulement continu) avec des volumes et des débits très variables ;
- des réseaux artificiels, type canaux ou fossés ;
- des plans d'eau : étangs, lacs d'origine naturelle ou artificielle, avec des superficies et des géométries variables.

Il peut être réalisé dans le cadre de la gestion d'un site pollué, considérant que ce milieu peut constituer :

- une exposition par voie orale : ingestion non intentionnelle d'eau lors de la baignade, captage utilisé pour l'AEP (Alimentation en Eau Potable), abreuvement, arrosage, etc. ;
- une voie de transfert de pollution vers d'autres milieux tels que le biote (poissons, coquillages, macrophytes, etc.) : transfert de polluants issus du ruissellement ou des relations possibles avec les eaux souterraines ;
- le biotope de zones naturelles d'intérêt écologique à préserver.

Il peut s'agir de réaliser des mesures afin d'évaluer la qualité chimique de l'eau mais aussi sa qualité biologique. Pour cela, l'échantillonnage d'eaux superficielles sera accompagné d'échantillonnage d'autres matrices (cf. § 8.3.7).

8.3.1.1 Phase de préparation de la campagne

La définition de la stratégie d'échantillonnage est précédée d'une phase de préparation de la campagne. Elle se basera, comme le recommande la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, sur une étude documentaire (historique et de vulnérabilité) et une visite de site comportant éventuellement quelques mesures préliminaires. Il conviendra d'adapter la nature et la quantité d'informations recherchées au cas étudié, conformément au principe de spécificité s'appliquant au domaine des sites et sols pollués. Cette étape s'attachera notamment à vérifier la faisabilité, technique et pratique, de la campagne (vérification des coordonnées géographiques, reconnaissance via des photographies aériennes, des photographies de campagnes antérieures, etc.).

Selon la configuration du cours d'eau et de son environnement, la stratégie d'échantillonnage ne sera pas identique (nombre de points, position, saison, etc.). Plusieurs éléments sont à prendre en considération :

- éléments relatifs à la source de pollution ou des événements anthropiques : position et nature (rejets, ruissellements d'eau de pluie sur des sols pollués, incidents/accidents conduisant à un rejet direct dans le cours d'eau ou plan d'eau, etc.), typologie et propriétés des polluants, etc. ;
- éléments relatifs aux enjeux à protéger : zone de baignade, pisciculture, abreuvement, captage AEP, etc. ;

- éléments relatifs au contexte hydrologique, et notamment les caractéristiques :
 - morphologiques : largeur, profondeur, pente, nature du lit, présence d'affluents ou de confluents, influence des marées pour certaines eaux superficielles (eaux de transition et côtières),
 - physiques : débit(s), courants selon un transect (profil de répartition des vitesses), turbulences (qui jouent sur le mélange des affluents ou effluents, l'oxygénation, la sédimentation, l'érosion des solides, etc.),
 - environnementales : végétation, faune, installations anthropiques, rejets présents, usages, etc.

Il est important de noter que, si la colonne d'eau et des sédiments sont prélevés au même endroit, l'eau sera toujours échantillonnée en premier.

L'ensemble des informations à collecter (données hydrologiques, morphologiques, etc.) sont détaillées dans le guide dédié à l'échantillonnage des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués (cf. § 8.3.9 : Guide BRGM, INERIS, 2023).

- **Guide BRGM, INERIS, 2023:** [Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués | SSP-InfoTerre \(brgm.fr\)](#).

Point d'attention :

À noter qu'un cours d'eau est un environnement changeant du fait des conditions météorologiques, du trafic fluvial, des accès (berges boisées, etc.) et de possibles modifications des ouvrages de régulation (vannes, barrages ...). Il conviendra de se renseigner en amont auprès des autorités compétentes (gestionnaires des voies d'eau, propriétaire d'un plan d'eau, fédérations de pêche, services de canaux, etc.) si l'accès à la zone de prélèvement est réglementé, s'il nécessite une demande d'autorisation, ou bien s'il existe des modes d'alerte (crue, vannage, etc.).

8.3.1.2 Localisation des points d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage à retenir sont :

- de manière systématique et *a minima* :
 - un point en amont du site et des éventuelles sources de pollution liées au site (hors zone d'influence). Si plusieurs affluents ou bras de rivière sont présents, chacun d'eux fera l'objet d'un échantillonnage,
 - un point au droit du site et à proximité d'éventuelles sources de pollution (cf. rejets, drainage des eaux de ruissellement, etc.), là où les variations de la qualité des eaux sont les plus probables,
 - un point en aval immédiat du site pour identifier l'impact global du site ;
- selon les cas :
 - des points en aval lointain du site et des éventuelles sources de pollution, afin d'étudier l'évolution de la qualité des eaux (en contexte minier, l'impact peut être décelé sur de longues distances),
 - des points en aval du site et au droit d'usage(s) existant(s) ou potentiel(s) (zones de baignade, de pêche, d'activité piscicole, etc.).

La localisation de l'échantillon est à adapter en fonction du point d'arrivée supposé ou avéré de la pollution (rejet, ruissellement d'eaux de surface, migration via les eaux souterraines), en lien avec la voie de transfert identifiée.

Les modifications de l'environnement d'une station de prélèvement entre deux campagnes (construction d'un pont, travaux sur les berges, végétation très importante, embarcation présente sur le site au moment du prélèvement, etc.) peuvent amener le préleveur à adapter l'emplacement du prélèvement. Les variations d'origine naturelles (saisonniers) ou anthropiques du régime hydraulique et du niveau d'eau dans les eaux superficielles et souterraines peuvent contraindre à modifier l'emplacement de l'échantillonnage (ex. : position de la rive différente en été et en hiver).

Des mesures *in situ* (pH, température, conductivité ou oxygène dissous voire turbidité) peuvent aider à localiser les eaux à échantillonner.

Par ailleurs, les observations des usages du cours d'eau faites au moment du prélèvement doivent être consignées : existence d'élevages à proximité du cours d'eau, présence de dépôts pouvant provoquer des pollutions par leur ruissellement, présence de travaux sur le cours d'eau en amont, rejets intermittents dans la journée, fonctionnement d'aménagements hydrauliques ou hydro-électriques variables, etc.

L'implantation des stations de prélèvement doit être justifiée dans le rapport de diagnostic et dans les rapports de surveillance où toute modification du lieu du prélèvement doit clairement être identifiée (coordonnées GPS) pour assurer la reproductibilité des mesures dans le temps du suivi.

Point d'attention :

Le préleveur programme sa campagne d'échantillonnage des eaux superficielles pour aller du point le moins pollué au plus pollué. À défaut de connaissance du niveau préalable de pollution, le préleveur commencera par l'amont hydraulique puis réalisera des échantillonnages de l'aval lointain vers la source potentielle de pollution.

8.3.1.3 Profondeur d'échantillonnage

Pour la surveillance de la qualité des eaux superficielles, le prélèvement est réalisé (FDT90-523-1) :

- à une profondeur d'au moins 30 cm sous la surface (pour éviter l'oxygénation et effets de surface) ou à au moins 50 cm au-dessus du fond (pour éviter les matières en suspension), sinon à mi-profondeur, entre le fond et la surface, en cas de faible profondeur ;
- en cas de cours d'eau, face au courant, sans remobilisation des particules de sédiment et en évitant de prendre la pellicule de surface.

D'autres types d'échantillonnages plus spécifiques peuvent être appliqués sur les eaux superficielles :

- échantillons prélevés en série : utilisés pour la reconstitution de profils verticaux et/ou horizontaux ;
- échantillons à profondeur définie dans le cadre de recherches spécifiques.

Si l'objectif de la campagne d'échantillonnage est de caractériser la phase pure d'une pollution organique, les pratiques seront adaptées en fonction du (des) polluant(s) suspectés, (...).

Si l'objectif est de caractériser la qualité de l'eau au point d'usage, la profondeur d'échantillonnage sera celle de l'usage constatée.

8.3.1.4 Fréquence et période de prélèvement

Dans le cas d'un suivi de la qualité des eaux, il est d'usage de réaliser 2 campagnes de prélèvements (en période de basses eaux et hautes eaux), les situations hydrologiques extrêmes devant si possible être évitées (étiage (présence d'eau sans continuité hydraulique), crue).

Pour autant, la fréquence de prélèvements des eaux superficielles et le choix de la saison à laquelle le prélèvement est effectué sont à adapter en fonction du contexte et des objectifs de l'étude. Ils pourront notamment être définis en fonction :

- des variations de débits, selon les périodes de l'année (ex : caractérisation d'un impact d'un rejet en période d'étiage, réalisation d'étude géochimique pour la caractérisation des relations nappe/rivière en période de moyennes eaux, etc.) ;
- des relations nappe-rivière (dans ce cas, des campagnes de prélèvements, synchrones avec les eaux souterraines, sont pertinentes) ;
- des usages différents selon les périodes de l'année (ex : arrosage des cultures, abreuvement) et selon la sensibilité des usages (baignade, pisciculture) ;
- de la typologie des eaux (cours d'eau, plan d'eau, etc.) et de leurs caractéristiques (régime hydraulique, morphologie, etc.) ;
- etc.

Quelle que soit la stratégie adoptée, un suivi des paramètres physico-chimiques sur le terrain (conductivité, pH, oxygène dissous, etc.) et thermique des eaux est pertinent (compréhension des apports/mélanges d'eau, relation nappe-rivière, etc.).

Point d'attention :

Les contextes de prélèvements des eaux superficielles sont très variés. La complexité des systèmes hydrologiques de certaines régions françaises est un élément à prendre en compte lors de la définition de la stratégie d'échantillonnage (épisodes cévenoles, présence de glace, etc.), afin d'obtenir des échantillons représentatifs du milieu.

8.3.1.5 Mesures de sécurité

Il est indispensable que la réalisation de prélèvements des eaux superficielles se fassent dans des conditions de sécurité adéquates. Le préleveur évite les prélèvements dans des zones dangereuses (berges/fonds instables, lits irréguliers, ponts étroits et très fréquentés, prélèvement direct dans le cours d'eau si les niveaux/débits sont importants etc.).

Par ailleurs, il communique le planning de sa journée (stations de prélèvements visitées et ordre) à son équipe de projet. Idéalement, AQUAREF (Lepot & Marescaux, Edition 2017) (Lepot & Marescaux, (Edition 2017)) recommande que l'équipe chargée du prélèvement soit *a minima* composée de 2 personnes.

Une intervention dans un cours d'eau ou plan d'eau présente des risques. Un plan de prévention sera donc à réaliser en prenant en considération les spécificités du site sur lequel l'équipe de préleveurs intervient. Il contiendra notamment une analyse de risques en lien avec les risques identifiés (noyade, chute, collision, etc). Le(s) préleveur(s) sont munis des équipements de protection, adaptés à la situation et aux polluants suspectés ou présents.

Dans le cadre de prélèvement depuis une embarcation par exemple, l'embarcation devra être en parfait état et posséder tout le matériel réglementaire et nécessaire (les rames par exemple sont une sécurité en cas de panne de moteur) et éviter de porter des bottes et cuissardes qui constituent un handicap pour flotter. Une personne sera postée sur la berge pour prévenir les secours en cas de retournement de l'embarcation.

8.3.2 Méthodes d'échantillonnage

Le guide spécifique à l'échantillonnage des eaux superficielles et sédiments dans le domaine des sites et sols pollués détaille les modalités de réalisation des prélèvements pour chaque typologie de prélèvement (cf. § 8.3.9 : Guide BRGM, INERIS, 2023).

8.3.2.1 Emplacement de l'opérateur

Pour échantillonner les eaux superficielles, on peut procéder :

- directement dans le cours d'eau : en faisant attention à la remobilisation des matières en suspension ;
- depuis un pont : assez loin des obstacles (piles du pont), du côté du pont situé en aval par rapport au sens du courant ;
- depuis une embarcation, en dehors de la zone d'influence de l'embarcation (pas près du moteur et mettre celui-ci en aval par rapport à la zone prélevée) ;
- depuis la berge : en évitant la remobilisation des matières en suspension ;
- depuis un ponton.

Sauf dans les cas où l'on cherche à qualifier des relations nappe-rivière, il est recommandé de se positionner assez loin des bords (au minimum à 2 m des rives) ainsi que des obstacles naturels ou artificiels et en faisant attention de ne pas prélever dans les zones mortes.

8.3.2.2 Types d'échantillonnage

Le suivi de la qualité des eaux superficielles passe généralement par la réalisation d'échantillons ponctuels. Selon le contexte et les contraintes de terrain, deux types de prélèvements peuvent être réalisés : **un échantillonnage direct ou un échantillonnage indirect.**

Un **échantillonnage direct** sera réalisé directement dans la masse d'eau, à l'aide du flaconnage destiné à l'analyse (Figure 36). L'opérateur privilégiera ce type de prélèvement qui sera réalisé dans le chenal d'écoulement principal du cours d'eau, à pied ou à l'aide d'une canne d'échantillonnage accueillant le flaconnage destiné à l'analyse (qui peut être également réalisé à bord d'une embarcation). Le préleveur, une fois équipé, pénètre à pied dans le cours d'eau par l'aval et réalise le prélèvement en amont de son positionnement, afin de ne pas échantillonner un volume d'eau perturbé par ses mouvements.



Figure 36 : Illustration d'échantillonnages directs (© BRGM).

En cas d'impossibilité d'échantillonnage direct, le préleveur pourra procéder à un **échantillonnage indirect** (Figure 37). L'échantillonnage indirect nécessite l'utilisation d'un contenant intermédiaire pour le remplissage des flacons destinés à l'analyse (bécher, seau par exemple).



Figure 37 : Illustrations d'échantillonnages indirects (canne d'échantillonnage avec un bécher à gauche, seau à droite) (© BRGM).

Recommandations :

Autant que possible, la méthode d'échantillonnage utilisée est identique d'une campagne à l'autre. En cas de modification de la méthode d'échantillonnage, notamment à cause des contraintes de terrain, cette modification est à consigner sur la fiche de prélèvement.

Par ailleurs, l'échantillonnage d'une rivière et de ses affluents est réalisé lors d'une même campagne. De plus, si une relation entre les eaux superficielles et les eaux souterraines a été identifiée, un échantillonnage des deux milieux est préconisé.

Cet échantillonnage est généralement réalisé de manière synchrone. Attention cela peut être difficile à mettre en œuvre en cas d'influence de la marée par exemple.

8.3.2.3 Échantillonnage ponctuel et composite

Dans un contexte de sites pollués, l'échantillon ponctuel (représentatif de la qualité de l'eau à l'instant et à l'endroit du prélèvement) sera privilégié. La réalisation d'échantillon composite doit notamment être banni dès lors que des substances volatiles sont analysées. Pour conserver une bonne représentativité de l'échantillonnage dans certains contextes qui seront à justifier (par ex, pour des grands cours d'eau pour lesquels la qualité de l'eau n'est pas homogène sur l'ensemble du profil transversal, avec la présence de veines de débits ou d'aspects différents), plusieurs échantillons ponctuels seront prélevés.

La réalisation d'échantillons composites (hors analyse de composés volatils) peut être utile dans certains contextes (caractérisation d'une grande zone de baignade, zone de pisciculture, etc.). À noter que ce type d'échantillonnage résultant de l'addition de plusieurs prélèvements ponctuels mélangés, permet d'avoir une représentation moyenne de la qualité de l'eau de la zone échantillonnée. Néanmoins, la réalisation de tels échantillons peut présenter des risques en termes de représentativité des échantillons prélevés (phase d'homogénéisation, conservation d'échantillons pris à différents pas de temps, volume choisi pour chaque veine prélevée, etc.). La phase d'homogénéisation, indispensable pour la représentativité de l'échantillon composite final est décrite dans la norme FD T90-523-1.

8.3.3 Outils d'échantillonnage

Deux types d'échantillonnage peuvent être utilisés : des outils manuels ou des préleveurs automatiques. La description de ces méthodes et les recommandations en termes d'utilisation sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

8.3.3.1 Outils manuels

Plusieurs outils manuels peuvent être utilisés :

- le flaconnage adapté au programme analytique et au laboratoire destinataire (sans stabilisant) ;
- un flacon placé en bout d'une canne d'échantillonnage (flacon qui peut être le flacon spécifique de laboratoire ou le flacon intermédiaire puis transvasement dans le flacon spécifique) ;
- un préleveur (dédié ou commandé sous pression, préleveur à messenger) (Figure 38) ;
- une pompe (immergée ou péristaltique), avec une batterie et les tuyaux de pompage (Figure 38) ;
- un seau. Quelques préconisations d'utilisation du seau sont précisées dans la norme FD T90-523-1.



Préleveur commandé sous pression (©SOLINST)

Pompe utilisée d'un pont (© BRGM)

Figure 38 : Exemples d'outils manuels d'échantillonnage.

Le matériel d'échantillonnage (hors matériel à usage unique) doit être changé ou nettoyé, avant chaque campagne, et entre chaque point de prélèvement, afin d'éviter toute contamination croisée. Cela concerne aussi bien le tubage, l'outil de transvasement et l'outil d'échantillonnage.

8.3.3.2 Préleveurs automatiques

Un préleveur automatique (pompe) permet de constituer un échantillon représentatif de la masse d'eau sur une période de temps donnée (quelques heures, sur une journée, sur une semaine) (cf. Figure 39).



Figure 39 : Préleveur d'échantillons automatique & portable - SIGMA AS950 isotherme (©SIGMA).

Le Tableau 7 propose les plages d'applicabilité des différents matériels d'échantillonnage pour l'échantillonnage direct et indirect. Selon les typologies du point d'échantillonnage, les notations peuvent varier (cas d'un pont avec hauteur importante par rapport au niveau d'eau par exemple). Des conditions particulières peuvent permettre de déroger au tableau, et ainsi d'utiliser des matériels d'échantillonnage sous réserve de justification.

Méthode/Point d'échantillonnage	Directement dans le cours d'eau	Depuis un pont	A partir d'une embarcation	Depuis la berge	Depuis un ponton
Échantillonnage direct					
Flacon d'analyse	+	na	+	np	np
Perche avec flacon d'analyse	o	o	o	+	+
Échantillonneur passif	+	na	na	-	+
Échantillonnage indirect					
Pompe	np	+	+	-	+
Perche avec béccher	o	o	-	o	o
Préleveur d'eau à profondeur déterminée	o	o	+	-	+
Seau	-	o	-	-	o
Préleveur automatique	na	o	na	o	+
Drone préleveur	+	na	na	na	na

Tableau 7 : Matériel pouvant être mis en œuvre lors d'un échantillonnage ponctuel d'eau superficielle + très adapté, o adapté, - à éviter sauf contexte spécifique, na : non adapté ; np : non pertinent (extrait de l'Annexe 3 du Guide BRGM, INERIS, 2023).

8.3.3.3 Échantillonnage passif (EP)

Une surveillance des concentrations sur une période prolongée peut également être réalisée à l'aide d'échantillonneurs passifs. Ce type d'échantillonnage est encadré par la norme ISO 5667-23. Le dispositif implique la mise en place d'un outil (sur plusieurs jours à plusieurs semaines), qui utilise le gradient de diffusion pour collecter les polluants présents dans l'eau.

Deux types d'échantillonneurs passifs sont désormais disponibles : certains fonctionnent uniquement à l'équilibre, d'autres fonctionnent d'abord en mode intégratif (on parle alors d'échantillonneurs intégratifs passifs ou EIP) puis à l'équilibre. Un EIP permet généralement de donner une mesure de concentration moyenne, pondérée dans le temps, de la fraction dissoute du polluant, auquel l'échantillonneur passif a été exposé (si l'on considère que le transfert de masse de polluant varie de façon linéaire avec la concentration dans l'eau).

L'échantillonnage passif peut servir à étudier un vaste panel de substances (composés inorganiques, composés organiques, etc.). Il peut être appliqué à la détection de sources de pollution, dans des modes aussi bien qualitatifs que semi-quantitatifs.

Le guide spécifique à l'échantillonnage des eaux superficielles dans le domaine des sites et sols pollués, présente les différents dispositifs existants (cf. Guide BRGM, INERIS, 2023).

8.3.3.4 Recommandations

Que ce soient pour les méthodes manuelles ou automatiques, le matériel est à nettoyer afin d'éviter les contaminations croisées, mais également pour éviter de transférer des espèces invasives d'une station de prélèvement à une autre. Ainsi, il est recommandé de rincer trois fois au minimum le matériel avec l'eau de la station de prélèvement, avant d'effectuer le prélèvement lui-même pour éviter la contamination croisée. Il est à préciser que le niveau d'exigence en matière de nettoyage est à considérer et à adapter en fonction des paramètres chimiques recherchés.

Dans tous les cas, les eaux de rinçage doivent être rejetées en aval de la zone d'échantillonnage (sauf en cas de présence de phases pures) et ne doivent pas perturber la mesure. Selon le lieu d'échantillonnage (ex : depuis un pont) et pour les eaux stagnantes, il est conseillé de stocker temporairement les eaux collectées, le temps de réaliser toutes les étapes d'échantillonnage avant rejet.

Le guide spécifique à l'échantillonnage des eaux superficielles dans le domaine des sites et sols pollués présente les recommandations de nettoyage des différents matériels ainsi que les modalités de gestion des eaux de rinçage (cf. Guide BRGM, INERIS, 2023).

8.3.4 Filtration, conditionnement, stockage et assurance qualité

8.3.4.1 Pourquoi et à quel moment filtrer ?

La réalisation de la filtration d'un échantillon aboutit à des résultats des polluants recherchés sur la partie dissoute uniquement. L'analyse sur une eau brute donnera une quantification d'un polluant contenue sur la matière en suspension et la partie dissoute dans l'eau.

Les filtres à utiliser ont des tailles de pores allant de 0,4 à 0,45 μm (ISO 5667-3, 2018). En cas de filtration sur le terrain (Figure 40), le préleveur doit effectuer, en parallèle des autres prélèvements, un blanc de filtration (eau ultrapure fournie par le laboratoire en amont de la campagne ou eau embouteillée). Celui-ci permet un contrôle qualité sur les opérations de filtration et acidification (vérification de l'absence de contamination des échantillons). Le type de blanc utilisé est à adapter en fonction de l'objectif visé et aux substances étudiées (FDT90-524, 2015).

Les méthodes de filtration sont détaillées sur le site du laboratoire AQUAREF :

- <https://www.aquaref.fr/pratiques-filtration-site-echantillons-analyse-elements-traces-metalliques-video>



Figure 40 : Illustration de la filtration d'une eau superficielle à l'aide d'une seringue (© BRGM).

Pour le MTE (MTES, janvier 2018), seule la filtration sur site est recommandée pour les plans d'eau, contrairement aux cours d'eau, pour lesquels la filtration sur site ou au laboratoire est acceptée²⁶.

Néanmoins, la filtration sur site est fortement recommandée pour les cours d'eau également, notamment dès lors que des conditions physico-chimiques particulières sont rencontrées (ex : potentiel d'oxydo-réduction négatif). L'objectif est de disposer de données représentatives, l'évolution de l'échantillon est en effet possible durant le transport au laboratoire.

²⁶ Le détail pour les différentes substances est précisé dans l'arrêté du 7 août 2015, établissant le programme de surveillance de l'état des eaux (masses d'eau de surface et souterraine) (Arrêté 7 août 2015, 2015)

En fonction du contexte de l'étude et de l'objectif, il convient de préciser que :

- lorsque l'objectif est de connaître la qualité de l'eau pour un usage immédiat (prélèvement d'eau par un particulier, arrosage, piscine, zone de baignade, etc.) ou pour le rejet au milieu naturel (flux, bilan de masse) pour estimer la charge polluante => **échantillon non filtré nécessaire** ;
- Dans ce cas, il est recommandé que l'opérateur réalise deux échantillonnages : un échantillon ne sera pas filtré en accord avec l'usage (ingestion ou arrosage), et un autre échantillon sera filtré sur site ;
- lorsque l'objectif est de comparer aux valeurs de gestion réglementaires (ex : captage d'alimentation en eau potable) ou de caractériser la fraction dissoute => **échantillon filtré nécessaire**.

Dans tous les cas, le protocole appliqué sera homogène pour l'ensemble des points de prélèvements de la campagne et d'une campagne à l'autre en cas de suivi.

Pour aller plus loin dans la compréhension du transfert de polluants dans les eaux superficielles (sous forme particulaire) ou des phénomènes d'adsorption, il peut être intéressant de réaliser des analyses sur la fraction brute, quelle que soit la nature du polluant.

8.3.4.2 Réactif de stabilisation

En fonction des polluants à rechercher, des stabilisants adaptés sont présents dans les flacons fournis par les laboratoires. Il peut s'agir :

- d'un acide (pH<2) notamment en cas de recherches de métaux et métalloïdes, nitrates, phosphore total, ammonium, COT, etc.) ;
- d'une base (pH >11), en cas de recherche de cyanures, sulfures, etc.

Point d'attention :

Dans des contextes particuliers (cas d'eaux très basiques ou très acides), il est recommandé de demander au laboratoire d'analyses d'avoir les réactifs de stabilisation à part, afin d'en ajouter la bonne quantité.

Certains flacons étant fournis à l'opérateur avec le stabilisant, l'opérateur doit savoir en amont s'il doit effectuer en amont une filtration, avant introduction de l'eau dans le flacon (analyse sur eau brute ou sur eau filtrée).

Les flacons contenant du stabilisant ne feront pas l'objet d'un rinçage préalable avant échantillonnage.

Le préleveur doit être muni de lunettes de protection adaptées pour la phase de filtration et de remplissage des flacons.

Lors de la phase de remplissage du flacon, il est important de ne pas faire déborder le flacon, afin de ne pas diluer le stabilisant et de garder le bon volume de stabilisant nécessaire à l'obtention du pH visé. Il est à noter que l'étape de filtration, pour les éléments recherchés sur la phase dissoute (notamment les métaux et métalloïdes), sera réalisée en amont de la phase d'acidification (en cas d'ajout manuel par le préleveur).

8.3.4.3 Conditionnement et stockage

Les échantillons d'eaux superficielles sont susceptibles de subir, entre l'échantillonnage et l'analyse, des transformations physiques, physico-chimiques ou biologiques, de façon plus ou moins rapide ou importante. Un protocole strict de conditionnement et de stockage doit donc être appliqué afin de limiter ces transformations.

Le flaconnage et les volumes d'eau à prélever dépendent des analyses à réaliser et du laboratoire. Plusieurs types de flaconnage existent : flacons en verre, en plastique (polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polyéthylène téréphtalate (PET), etc.), en verre borosilicaté, etc. Le choix du type de flaconnage à utiliser est fonction des directives du laboratoire. Il sera ainsi adapté au type d'analyses à effectuer. Les autres exigences du laboratoire, telles que l'ajout d'un stabilisant, le rinçage, l'étiquetage, etc. devront également être respectées par le préleveur. Le respect de l'ensemble de ces consignes et l'utilisation d'un flaconnage adapté conditionne la qualité et la représentativité des échantillons.

Le flacon doit être entièrement rempli (absence de bulles d'air) afin d'éviter les interactions possibles avec la phase gazeuse (oxydation, absorption du gaz carbonique, etc.), sauf spécifications contraires (ISO 5667-3, 2018) ou si l'échantillon doit être congelé.

Dès la collecte, les échantillons prélevés doivent être conservés dans une glacière réfrigérée. La norme ISO 5667-3 présente les durées maximales de stockage par le laboratoire, pour chaque substance à rechercher, c'est-à-dire entre le moment de l'échantillonnage et le début de l'analyse en laboratoire. Selon les paramètres à rechercher, ces durées varient de 1 jour à 6 mois (pour les flacons stabilisés) pour les inorganiques, et de 1 à 21 jours pour les organiques. Les flacons doivent être transportés dans une enceinte ayant la capacité de maintenir une température de transport de 5 ± 3 °C (FDT90-523-1). (ISO 5667-3, 2018). Dans tous les cas, le présent guide recommande l'envoi rapide des échantillons au laboratoire d'analyse (en évitant le vendredi si aucune réception ne se fait au laboratoire le samedi). Si l'analyse n'est pas réalisée immédiatement après la réception de l'échantillon, le laboratoire d'analyses devra conserver les échantillons à une température de 3 ± 2 °C, ou à une température inférieure à -18°C pour les échantillons congelés (ISO 5667-3, 2018).

8.3.4.4 Assurance et contrôle qualité

Afin d'avoir un échantillon représentatif du milieu dans lequel celui-ci a été prélevé, un ensemble de mesures doit être mis en place tout au long de la phase d'échantillonnage, allant de la préparation du matériel, jusqu'à l'analyse par le laboratoire. L'opérateur doit donc porter attention :

- à l'absence de contamination croisée/pertes de polluants de tout matériel pouvant entrer en contact avec l'échantillon ;
- aux instruments de mesure qui devront être vérifiés, étalonnés, calibrés en amont et après l'échantillonnage ;
- à faire les mesures physico-chimiques dans un flacon en dehors des flacons prévus pour l'analyse ;
- à la traçabilité des échantillons (flaconnage, étiquetage, conditionnement, etc.).

Le guide MTES, janvier 2018, précise les matériaux constitutifs des systèmes d'échantillonnage pouvant être utilisés pour chaque typologie de polluants.

Par ailleurs, le préleveur doit prévoir du matériel supplémentaire sur le terrain (flacons, sondes de rechange, etc.) afin de pallier à tout imprévu éventuel sur le terrain (dysfonctionnement ou casse de matériel).

Des précisions en lien avec le système qualité (traçabilité des changements apportés, traçabilité du matériel) sont apportées dans le guide spécifique (Guide BRGM, INERIS, 2023).

Pour rappel, l'échantillonnage des eaux superficielles peut faire l'objet de nombreuses sources d'erreurs, pouvant intervenir à différentes étapes de l'échantillonnage (Figure 41) (NF EN ISO 5667-14) (FDT90-523-1).

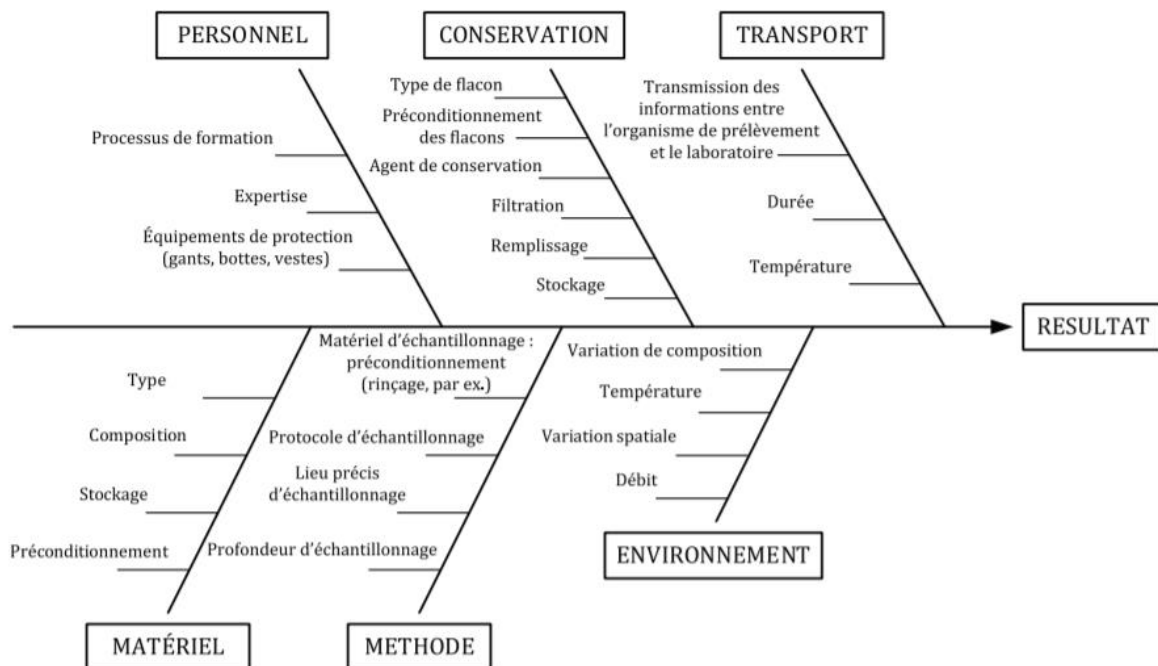


Figure 41 : Sources d'erreur d'échantillonnage (NF EN ISO 5667-14).

8.3.5 Mesures et observations *in situ*

Certaines données doivent être mesurées sur le terrain car celles-ci varient très rapidement dans les échantillons prélevés. Ainsi, les échantillonnages d'eaux superficielles sont accompagnés de mesures *in situ* au sein de la masse d'eau étudiée (FDT90-523-1), qui sont réalisées de manière concomitante à l'échantillonnage. L'eau utilisée pour la mesure des paramètres physico-chimiques ne doit pas être utilisée pour la confection d'échantillon destiné au laboratoire d'analyse (FDT90-523-1).

Les principaux paramètres *in situ* à mesurer sont :

- la température de l'air et de l'eau (en °C) ;
- le pH ;
- le potentiel d'oxydo-réduction (en mV rapporté à l'électrode à hydrogène) ;
- la conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$ rapportée à 25 °C) ;
- l'oxygène dissous (en mg/L et en taux de saturation en oxygène (%)) ;
- la turbidité (NFU).

Les appareils de mesure devront au préalable être calibrés et étalonnés par le préleveur.

La norme FDT 90-523-1 précise la méthodologie à adopter pour la mesure du pH en cas d'eau instable. Son annexe C détaille les précautions à prendre lors des mesures des paramètres physico-chimiques, et les gammes de valeurs pouvant être rencontrées.

Il est à noter que la mesure du potentiel redox n'est actuellement pas un paramètre à mesurer obligatoirement sur site dans le cadre de la DCE (MTES, janvier 2018). Pour autant, selon les contextes, il peut représenter un paramètre important à mesurer (informations sur la mobilité des métaux et métalloïdes, localiser une source de pollution organique ou mettre en évidence des mélanges d'eau).

D'autres informations sont également à collecter, de manière synchrone à l'échantillonnage :

- le relevé du niveau limnimétrique (en m NGF) pour établir la relation entre la nappe et les eaux de surface (drainage/alimentation).

Le niveau d'eau est relevé soit à l'aide d'une échelle limnimétrique si elle est présente à proximité de la station de mesure, soit à partir d'un point fixe préalablement référencé pour une mesure du niveau :

- la profondeur du cours d'eau ou du plan d'eau (en m, idéalement en NGF),
- les observations organoleptiques : l'aspect, la couleur, l'odeur.

En complément, les mesures suivantes peuvent être réalisées :

- le relevé du niveau piézométrique de la nappe en connexion hydraulique (en m NGF) dans le forage le plus proche,
- les mesures de débit sur le cours d'eau (et autres affluents éventuels),
- la transparence au disque de Secchi pour les plans d'eau (Lepot & Marescaux, Edition 2017).

Les modalités de collecte de ces données sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

L'ensemble de ces informations est inscrit dans le rapport (et notamment dans la fiche de prélèvement).

Si la station de prélèvement visée se situe dans une zone de mélange (présence d'affluents ou de rejets), la compréhension du système est nécessaire avant de réaliser le prélèvement. Ainsi, les propriétés physico-chimiques, telles que les mesures de conductivité peuvent être utilisées afin de comprendre le processus de mélange des eaux. Les techniques de traçage peuvent également être utiles (NF EN ISO 5667-6). La réalisation d'une stratigraphie des paramètres physico-chimiques du cours d'eau ou du plan d'eau, à la fois sur un(des) transect(s) mais aussi en profondeur peut apporter des éléments de fonctionnement de leur dynamique.

Si le cours d'eau investigué (voire le plan d'eau) est sous influence des marées, les relations entre la rivière (ou le plan d'eau) et la nappe, les conditions physico-chimiques et le sens d'écoulement peuvent être influencés par les marées. Dans ce contexte, la conductivité peut s'avérer être un paramètre pertinent à mesurer (cf. § 8.3.9 : Guide BRGM, INERIS, 2023).

Pour certaines études approfondies, les mesures physico-chimiques des eaux peuvent permettre de mieux comprendre les échanges nappe/rivière, en se fondant sur les différences de signature physique et/ou chimique de chacune des eaux. La géochimie de l'eau et la chimie isotopique peuvent s'avérer être des outils intéressants pour discriminer les eaux d'origine superficielle, souterraine ou interstitielle, à condition que des prélèvements et analyses soient réalisés dans ces trois compartiments et que la chimie des eaux soit différente (AFB/Armines, Avril 2017). Ainsi, des mesures et analyses sur les paramètres physico-chimiques classiques (pH, température, conductivité électrique à 25 °C, etc.), sur les concentrations en ions majeurs (calcium, magnésium, etc.) ou traceurs artificiels (fluorescéine, éosine) peuvent être réalisées.

8.3.6 Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic

Conformément à la prestation A220, définie dans la norme NFX31-620-2, plusieurs documents doivent être présents dans le rapport de diagnostic des eaux superficielles et notamment la fiche de prélèvement, spécifique à chaque échantillon.

La fiche de prélèvement indiquera *a minima* : la date et l'heure de l'échantillonnage, l'identité de l'opérateur, l'identification du lieu d'échantillonnage, le type d'échantillonnage et le matériel utilisé, les mesures physico-chimiques ou encore le relevé des observations de terrain. Un modèle de fiche de prélèvement est proposé dans le document (cf. § 8.3.9 : Guide BRGM, INERIS, 2023).

Par ailleurs, pour les eaux superficielles, les informations relatives à la station sont également importantes à consigner. Une fiche terrain en lien avec la caractérisation du site d'échantillonnage est donc également à remplir (situation hydrologique apparente, irisations de l'eau, présence de feuilles, de mousses, etc.).

8.3.7 Prélèvements associés aux eaux superficielles

Plusieurs matrices, considérées comme matériaux « intégrateurs » de la qualité des eaux superficielles, peuvent être échantillonnées en parallèle des eaux superficielles :

- les sédiments déposés dans le fond (les investigations de cette matrice sont décrites en section 8.4) ;
- les matières en suspension (particules solides) ;
- la faune et la flore qui permettent une évaluation de l'état écologique global du milieu, via les populations et communautés (bioindicateurs).

Les outils biologiques permettent aussi d'évaluer l'impact des polluants chimiques (bioessais en écotoxicologie).

8.3.7.1 Les matières en suspension

Le prélèvement des matières en suspension présentes dans l'eau est encadré par la norme ISO 5667-17, « Water quality – sampling – Guidance on sampling of bulk suspended solids », 2008 (non traduite en français). L'échantillonnage d'une telle matrice peut être intéressant car certains composés peuvent avoir une forte affinité pour les particules (cas des composés organiques hydrophobes notamment).

Le prélèvement de matières en suspension peut être réalisé selon plusieurs objectifs d'étude : suivi de la qualité des eaux, contrôle de la qualité des effluents ou encore dans le cadre d'une étude et du suivi d'une pollution (matières en suspension potentiellement associées à des polluants). La stratégie pour cette matrice doit être réfléchi en amont (site d'échantillonnage, fréquence, temps d'échantillonnage, etc.). Elle sera adaptée en fonction de l'objectif de l'étude mais aussi des caractéristiques du site d'échantillonnage (compréhensions des flux et de la dynamique du cours d'eau, connaissance de la composition du rejet, etc.) et de la source de la pollution (ISO 5667-17, 2008).

Lardy-Fontan *et al.* (2016) précisent les différentes approches qui peuvent être utilisées et comparent les différentes techniques d'échantillonnage des particules en suspension dans un cours d'eau.

Les particules en suspension peuvent être collectées :

- à partir d'échantillons d'eau obtenus :
 - par des échantillonnages ponctuels de la colonne d'eau,
 - par l'utilisation d'échantillonneurs automatiques ;
- à l'aide de pièges à particules.

Le piège à particules, ses avantages et inconvénients d'utilisation en contexte SSP sont présentés dans l'Annexe 4 du Guide BRGM, INERIS, 2023.

Les particules sont ensuite séparées par :

- centrifugation (méthode de référence à privilégier) ;
- filtration manuelle ;
- filtration tangentielle.

Le prélèvement de matières en suspension est souvent réalisé à proximité de piliers de pont ou de stations de jaugeage, qui sont facilement identifiables (d'une campagne sur l'autre notamment) et permettent de faire des mesures malgré un haut niveau d'eau.

La distribution des matières en suspension et les concentrations chimiques associées peuvent fortement varier dans le temps et dans l'espace, au droit d'une même section échantillonnée à cause d'évènements en amont (rejets anthropiques, distribution hétérogène des matières en suspension sur une section verticale).

8.3.7.2 Les outils biologiques : présentation des bioindicateurs

Dans le cadre d'une étude portant sur l'eau superficielle et/ou les sédiments, outre l'échantillonnage des milieux et la recherche de concentrations, il existe des outils complémentaires apportant des éléments quant à la qualité de ces milieux. En effet, les effets biologiques sont une source d'informations et, contrairement à l'approche analytique conventionnelle qui cible des substances individuelles, les outils biologiques intègrent l'ensemble des substances actives présentes au sein d'un échantillon tout en informant sur la toxicité potentielle.

Ce chapitre présente quelques bioindicateurs pouvant être utilisés en contexte de sites et sols pollués. Les informations et documents concernant les normes en vigueur, l'identification et les protocoles de prélèvements sont mis à disposition sur <https://hydrobio-dce.inrae.fr/>. D'autres outils biologiques sont présentés dans le guide spécifique sur la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués (cf. § 8.3.9 : Guide BRGM, INERIS, 2023).

Les Diatomées (Phytobentos) :

Les diatomées, algues unicellulaires, colonisent les milieux aquatiques même les plus hostiles et les plus pollués (DIREN, 1997). L'échantillonnage des diatomées benthiques est encadré par la norme NF EN 13946, « *Qualité de l'eau – Guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières et de plans d'eau, version en vigueur* ». La norme NF EN 14407, « *Qualité de l'eau – Guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières et de lacs, version en vigueur* » se focalise sur la stratégie analytique et présente les critères taxinomiques pour l'analyse des données. Le prélèvement des diatomées est réalisé par des bureaux d'études spécialisés.

Les diatomées sont utilisées comme indicateur pour évaluer l'état écologique et la qualité de l'eau. Les échantillons de diatomées fixées sur leurs supports sont, après prélèvement dans le milieu naturel, purifiés à l'aide d'agents d'oxydation puissants, en vue de leur identification et leur dénombrement. Au même titre que les autres matrices, une description fine du site de prélèvement est nécessaire. Pour les diatomées, les supports naturels (tels que les cailloux et les blocs) sont à privilégier au profit des surfaces artificielles (quais, piliers de pont).

Les Bryophytes (mousses et hépatiques) :

Les bryophytes (appartenant à l'ensemble des végétaux macrophytes) sont représentées par les hépatiques et les mousses. Ces espèces peuvent faciliter la surveillance de l'état écologique et sont des indicateurs de la qualité écologique des eaux. Elles ont la propriété d'intégrer et de concentrer dans leurs tissus les micropolluants qui sont de ce fait plus facilement détectables que dans l'eau (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Novembre 2006). Il est possible de réaliser les analyses sur des mousses autochtones ou sur des mousses ayant été apportées sur le site dans le cadre de l'étude.

Le prélèvement d'une seule et même espèce est à privilégier sur la station de prélèvement, chaque année, à la même époque. Les espèces de mousses à collecter dans le cadre des études (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Novembre 2006), sont, par ordre de préférence :

- *Fontinalis antipyretica* et *Rhynchostegium riparoides* ;
- *Cinclidotus riparius* (ou *nigricans*) et *Cinclidotis danubicus*.

Des associations d'espèces sont aussi possibles si l'utilisation d'une seule espèce est impossible. Des fiches d'identification ainsi que des photographies de ces espèces sont présentées dans le guide de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Novembre 2006).

La norme NF EN 15708 – « Qualité de l'eau – Guide pour l'étude, l'échantillonnage et l'analyse en laboratoire du phytobenthos dans les cours d'eau peu profonds » encadre le prélèvement des algues phototrophes et des cyanobactéries oxygéniques qui vivent sur des supports. Pour les rivières, les principaux phototrophes sont les algues benthiques et les bryophytes.

Selon le type de supports sur lesquels les bryophytes sont implantées, différentes techniques de prélèvement peuvent être utilisées : brosse, couteau en acier inoxydable, râteau muni d'un filet ou binette sur un long manche, etc. Les mousses collectées sont ensuite conditionnées puis transportées vers un laboratoire d'analyse. Ce type de matrice est aussi bien utilisé pour des analyses en polluants inorganiques qu'organiques.

Il est à noter qu'une norme spécifique aux prélèvements des macrophytes aquatiques existe, en particulier la norme EN 14184, « Qualité de l'eau - Guide pour l'étude des macrophytes aquatiques dans les cours d'eau », version en vigueur.

Les invertébrés benthiques :

L'étude des invertébrés benthiques peut être réalisée dans le cadre de l'évaluation d'un état écologique mais également pour une surveillance de la qualité des cours d'eau et notamment dans le cadre du suivi d'une pollution (évaluation des facteurs de stress aigus et chroniques). Le prélèvement d'invertébrés benthiques est encadré par les normes NF T90-333, « Qualité de l'eau, Prélèvements des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes » et NF EN ISO 10870, « Qualité de l'eau, Lignes directrices pour la sélection des méthodes et des dispositifs d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques dans les eaux douces ». Cette dernière norme présente les différentes stratégies d'échantillonnage (actif ou passif), méthodes et matériels d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques (Havenau, Surber, drague, bennes, échantillonneur à air comprimé, carottier, etc.) qui peuvent être utilisés en fonction des objectifs de l'étude et de la typologie du cours d'eau étudié (Figure 42).

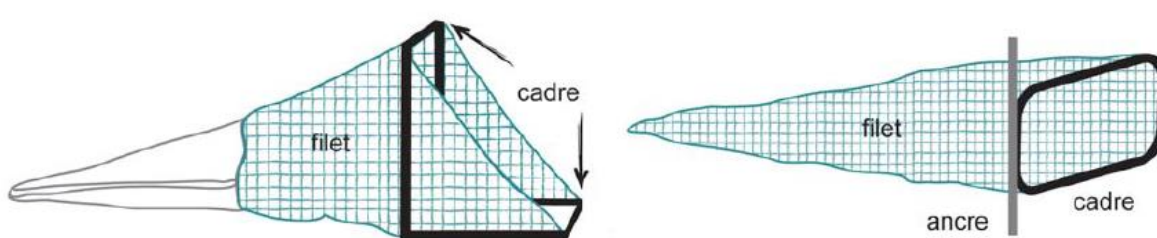


Figure 42 : Échantillonneur Surber (à gauche) et drague (à droite) (source (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011).

8.3.8 Retours d'expérience

Bryophytes aquatiques : site avec une pollution en arsenic dans un cours d'eau.

Dans le cadre d'un projet piloté par l'ADEME, une étude de la pollution en arsenic d'un cours d'eau par d'anciennes mines d'or a été menée. Des prélèvements de bryophytes ont été réalisés en amont et en aval du site minier, afin d'évaluer son impact sur la flore aquatique du cours d'eau (Figure 43)

Des prélèvements et analyses d'eau superficielles ont été réalisés dans les eaux de la Tardes.

Des prélèvements et analyses de bryophytes ont également été réalisés dans le cadre du diagnostic environnemental sur les mines du Chatelet et de leurs impacts (Figure 43). Dans ce cadre, sept stations ont été sélectionnées dans la Tardes. La campagne de prélèvement des bryophytes a eu lieu en automne et uniquement sur des feuilles jeunes.



Figure 43 : Échantillons de bryophytes collectés sur la Tardes (source Ademe).

La réalisation de prélèvements sur des matrices associées aux eaux superficielles permet d'approfondir la connaissance du système aquatique et de l'impact du site minier sur son environnement. Les prélèvements de bryophytes et la détermination de l'IBGN ont notamment pu discriminer les sources de pollution interférentes (eaux usées du village notamment), qui auraient pu ne pas être identifiées avec l'unique utilisation de prélèvements d'eaux superficielles. Les bryophytes ainsi que la détermination de l'IBGN ont un intérêt du fait de leur potentiel intégrateur des pollutions.

8.3.9 Documentation technique de référence pour le milieu eaux superficielles

Les normes et textes en vigueur :

- FD T90-523-1 - Qualité de l'eau - Guide d'échantillonnage pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement - Partie 1 : Échantillonnage d'eau en rivières et canaux ;
- FD T90-524 - Contrôle qualité - Contrôle qualité pour l'échantillonnage et la conservation des eaux ;
- NF EN ISO 5667-3 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 3 : lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau ;
- NF ISO 5667-4 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 4 : lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux des lacs naturels et des lacs artificiels ;
- NF EN ISO 5667-6 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 6 : lignes directrices pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau ;
- NF EN ISO 5667-14 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 14 : lignes directrices sur l'assurance qualité et le contrôle qualité pour l'échantillonnage et la manutention des eaux environnementales ;
- ISO 5667-17 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 6 : lignes directrices pour l'échantillonnage des matières solides en suspension ;
- ISO 5667-23 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 23 : lignes directrices pour l'échantillonnage passif dans les eaux

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Guide technique. 2006, 130 p. Agence de l'eau Loire Bretagne. Le prélèvement d'échantillons en rivière. Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques ;
- Rapport AQUAREF 2016, 35p (2016). Les pièges à particules: principes, Etat de l'art et perspectives pour la surveillance des milieux aquatiques - focus sur les cours d'eaux ;
- AQUAREF - Opérations d'échantillonnage d'eau en plan d'eau dans le cadre des programmes de surveillance DCE - Recommande techniques – Edition 2017 ;
- Coquery, Grouhel, & Marescaux. (2017). AQUAREF – Recommandations techniques – conditionnement et transport des échantillons biote (poisson) en milieu continental (cours d'eau-plan d'eau) dans le cadre de la surveillance chimique des programmes DCE;
- Guide MTES, janvier 2018. Guide pour la demande de prestation d'échantillonnage et d'analyse physicochimique dans le cadre de la surveillance DCE - Cours d'eau, plans d'eau et eaux souterraines ;
- IFREMER – Guide pratique de prélèvement d'échantillons dans les matrices marine ;
- Guide BRGM, INERIS, 2023. Bâlon P., Guérin V., Quiot F. (2022) – Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués. Rapport final. BRGM/RP-71784-FR, Ineris-207010-2737920-RAP-Echantillonnage-Eaux-Sédiments, 148 p., 45 fig., 13 tabl., 5 ann.

8.4 Les investigations sur les sédiments

Les investigations sur les sédiments sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 (Prestation A220 « prélèvements, mesures, observations et/ou analyse sur les eaux superficielles et/ou sédiment »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au 8.4.9.

8.4.1 Stratégie d'investigations

8.4.1.1 Généralités

L'échantillonnage des sédiments réalisé dans le domaine des sites et sols pollués peut concerner aussi bien :

- des cours d'eau naturels (en écoulement continu) avec des masses d'eau et des débits très variables ;
- des réseaux artificiels, type canaux, pour lesquels les phénomènes de sédimentation peuvent être importants ;
- des plans d'eau : étangs, lacs d'origine naturelle ou artificielle, avec des superficies et des géométries variables, lagunes.

Les contextes dans lesquels des échantillonnages de sédiments sont à considérer sont multiples, en lien avec les sources et les enjeux identifiés et illustrés via le schéma conceptuel inhérent à toute étude portant sur un site pollué.

Les sédiments constitués par la sédimentation de particules présentes dans la colonne d'eau constituent un milieu qui peut intégrer et accumuler les polluants, et peuvent ainsi restituer des événements passés. Les sédiments ont tendance à s'accumuler dans des zones de vitesse plus faibles (zones concaves, zones avec de la végétation) ou en période d'étiage. La difficulté est aussi de définir la localisation des sédiments pouvant être impactés, la distance de sédimentation dépendant de la taille des particules érodées et de la dynamique du cours d'eau. Par ailleurs, les dépôts sédimentaires sont rarement homogènes, du fait de leur genèse. Il est ainsi recommandé de multiplier les échantillons.

De la même manière que pour les eaux superficielles, une phase de préparation de la campagne est à réaliser (Cf. §. 8.3.1). La configuration du cours d'eau et de son environnement est à étudier pour la définition de la stratégie d'échantillonnage des sédiments. Autant que possible, l'échantillonnage des sédiments d'une rivière et de ses affluents est réalisé au cours d'une même campagne (Lepot & Marescaux, Edition 2017) et sera coordonné avec celle pour les eaux superficielles.

La localisation, la profondeur et la fréquence d'échantillonnage sont établies en fonction du contexte et des objectifs de l'étude. Par ailleurs, les données historiques et les emplacements des zones de dépôt de sédiments doivent être pris en compte. Le Guide BRGM, INERIS, 2023 (cf. § 8.4.9 « Documentation ») précise les éléments à considérer dans le cadre de la définition d'une stratégie d'échantillonnage.

- **Guide BRGM, INERIS, 2023:** [Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués | SSP-InfoTerre \(brgm.fr\)](#).

8.4.1.2 Stratégie d'échantillonnage

En fonction des objectifs et pour un même site, une ou plusieurs stratégies d'échantillonnage peuvent être utilisées pour définir le plan d'échantillonnage des sédiments :

- une stratégie d'échantillonnage ciblée : elle peut être la plus appropriée si l'objectif est d'évaluer l'étendue de la pollution des sédiments provenant d'une source potentielle connue ;
- une stratégie d'échantillonnage systématique : elle peut être la plus appropriée si l'objectif du programme est d'identifier la pollution des sédiments sur une base quantitative spatiale et/ou temporelle (estimation spatiale du volume de sédiments pollués si un dragage est envisagé par exemple) ;
- une stratégie d'échantillonnage aléatoire : elle peut être retenue lorsque la pollution des sédiments est suspectée, mais que peu d'informations sont disponibles sur l'emplacement précis des sources potentielles de polluants.

Par ailleurs, il est nécessaire de définir le besoin de caractériser les sédiments de surface et/ou les sédiments en profondeur (détermination de la profondeur à considérer, notamment pour la recherche d'une pollution historique), en fonction des objectifs de l'étude (caractérisation d'un risque pour la faune, caractérisation de sédiments en vue d'un dragage, historique d'une pollution, etc.). Le Guide BRGM, INERIS, 2023 (cf. 8.4.9) précise ces éléments. Il est à noter que dans un contexte de dragage des sédiments, le guide du CEREMA « Échantillonnage des sédiments marins et fluviaux, 2018 » présente les différentes stratégies à adopter.

En cas d'identification d'un impact, il est recommandé de réaliser un point en amont, un au droit du site, un en aval immédiat et si besoins un ou plusieurs points en aval lointain.

Certaines zones de prélèvement, comme des zones de vitesse plus faibles (zones concaves, zones avec de la végétation) pourront être ciblées.

Dans certains contextes, comme par exemple les cours d'eau torrentiels, il est difficile de trouver des zones avec des sédiments (forte remobilisation en cas de fortes pluies par exemple). Ainsi, pour bien identifier la localisation des points d'échantillonnage de sédiments, les données historiques et les emplacements des zones d'accumulation de sédiments doivent être pris en compte.

Dans le cadre d'une caractérisation des sédiments, une seule campagne est envisageable :

- pour les cours d'eau à régime pluvial, les périodes d'étiage sont des périodes plus propices à l'échantillonnage de sédiments (faible débit, faible profondeur d'eau) (Schiavone S. et Coquery M., 2011). Aucun échantillon ne sera effectué en cas de rivière en forte crue et si le cours d'eau sort de son lit ;
- pour les cours d'eau à régime nival, l'échantillonnage annuel est réalisé à la fin de l'hiver (Schiavone S. et Coquery M., 2011) (Lepot & Marescaux, Edition 2017)a ;
- en plan d'eau, la période choisie est moins sensible. Néanmoins, en cas de fréquentation du plan d'eau pour des activités touristiques (baignade, navigation, pêche, etc.), les périodes les plus calmes sont privilégiées.

Pour autant, le préleveur pourra évaluer la pertinence de ces recommandations génériques, selon les objectifs de son étude.

Quelle que soit la stratégie adoptée, un suivi des paramètres physico-chimiques et des observations de terrain sont à réaliser lors de l'échantillonnage. Ces mesures, reprises dans le chapitre 8.3.5 du présent guide, sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023. L'ensemble des informations à collecter (données hydrologiques, morphologiques, etc.) y est également détaillé.

8.4.1.3 Mesures de sécurité

Il est indispensable que la réalisation de prélèvements des sédiments se fassent dans des conditions de sécurité adéquates. Le préleveur évite les prélèvements dans des zones dangereuses (berges/fonds instables, lits irréguliers, ponts étroits et très fréquentés, prélèvement direct dans le cours d'eau si le niveau/débit sont importants etc.). Par ailleurs, il communique le planning de sa journée (stations de prélèvements visitées et ordre) à son équipe de projet. Idéalement, AQUAREF (Lepot & Marescaux, Edition 2017)^a (Lepot & Marescaux, (Edition 2017))^b recommande que l'équipe chargée du prélèvement soit *a minima* composée de 2 personnes.

Une intervention dans un cours d'eau ou plan d'eau présente des risques. Un plan de prévention sera donc à réaliser en prenant en considération les spécificités du site sur lesquels l'équipe de préleveurs intervient. Il contiendra notamment une analyse de risques en lien avec les risques identifiés (noyade, chute, collision, etc.). Le(s) préleveur(s) sont munis des équipements de protection, adaptés à la situation et aux polluants suspectés ou présents.

8.4.2 Méthodes d'échantillonnage

8.4.2.1 Emplacement de l'opérateur

Pour échantillonner les sédiments, on peut procéder :

- directement dans le cours d'eau : il faut entrer dans l'eau en aval du point souhaité puis remonter le courant ;
- depuis une embarcation : il faut s'assurer de la stabilité de l'embarcation par rapport aux manipulations envisagées ;
- depuis un pont ou un ponton : l'échantillonnage est à réaliser en aval du pont et en s'assurant de disposer d'outil permettant d'atteindre le fond du cours d'eau ;
- depuis la berge : possible uniquement pour les berges aménagées avec des palplanches.

8.4.2.2 Types d'échantillon

On distingue deux types d'échantillonnage :

- l'échantillonnage de sédiments de surface, à l'aide de bennes ou écopés à sédiment ;
- l'échantillonnage de sédiments en profondeur, à l'aide de carottiers.

Les outils d'échantillonnage sont décrits en chapitre 8.4.3.

8.4.2.3 Échantillonnage ponctuel ou composite

La réalisation d'un échantillon ponctuel ou composite sera définie en fonction des contextes et des objectifs de l'étude, ainsi que des composés recherchés.

La réalisation d'un échantillon ponctuel sera privilégiée dès lors qu'une caractérisation fine sera nécessaire (par exemple, caractérisation de sédiments au point de rejet d'une canalisation). Dans ces situations, il est également possible de réaliser un échantillon composite regroupant plusieurs échantillonnages rapprochés pour intégrer la forte hétérogénéité des sédiments.

Un échantillon composite est réalisé dans les cas où la définition d'une qualité moyenne du milieu est recherchée. Cela pourra notamment être mis en œuvre dans le cas d'une caractérisation au droit d'un point d'exposition (zone de pisciculture par exemple), ou pour caractériser un amont hydraulique ou un aval lointain si le transport particulaire est jugé homogène. Pour cela, il est recommandé de le constituer à partir d'au minimum trois échantillons unitaires dont la répartition sera la suivante (Coquery, Lionard, & Yari, 2017) :

- pour les cours d'eau un sur chaque rive (droite et gauche) et un au centre du chenal ;
- pour les plans d'eau : 3 points à 1 ou 2 m d'écart.

L'analyse des sédiments étant réalisée sur la fraction inférieure à 2 mm, on cherche donc à collecter des sédiments fins lors des échantillonnages. Les sédiments collectés sont homogénéisés en faisant attention à mélanger des sédiments de même nature et de même profondeur.

Les préconisations en termes de sous-échantillonnage, de composite et d'homogénéisation sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

8.4.3 Outils d'échantillonnage

Les outils pouvant être utilisés pour l'échantillonnage des sédiments dépendent de la profondeur d'échantillonnage souhaitée (Figure 45). Il peut s'agir :

- d'une drague manuelle pour des échantillonnage de surface (0-5 cm) ;
- d'une benne pour des échantillonnage de sub-surface (0-30 cm) ;
- d'un carottier manuel ou mécanique pour des échantillonnage en profondeur ;

Les matériels sont également à adapter au type de polluants recherchés (Figure 44) :

- dans le cas où des composés organiques sont analysés, le verre ou l'inox sont privilégiés ;
- pour l'analyse des métaux, le polyéthylène ou le polypropylène sont privilégiés.

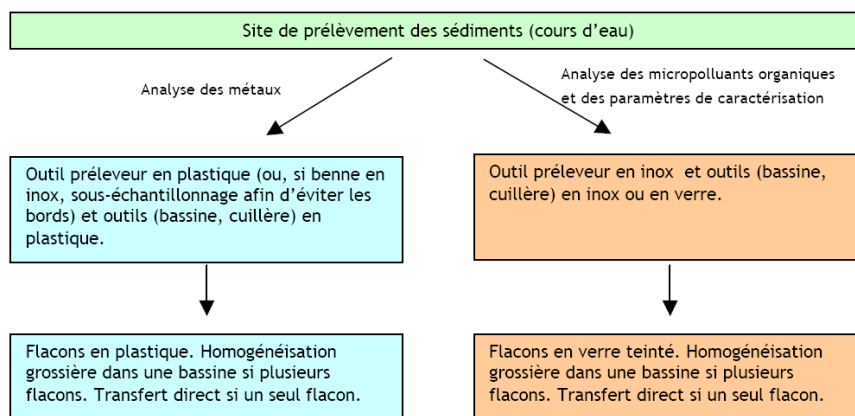


Figure 44 : Protocole d'échantillonnage pour les composés inorganiques et organiques dans les sédiments adapté (Schiaivone et Coquery, 2011).

Les différents outils d'échantillonnage, avec leurs différentes caractéristiques (conseils d'utilisation, volumes, avantages, inconvénients, etc.) sont présentés dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.



Figure 45 : Exemples d'outils d'échantillonnage de sédiments.

8.4.4 Mesures et observations in situ

Les mesures et les observations à réaliser *in situ* lors d'un échantillonnage de sédiments sont celles décrites dans le chapitre 8.3.5, relatif aux eaux superficielles.

Les conditions physico-chimiques du sédiment sont à mesurer : le potentiel d'oxydo-réduction (norme ISO 11271) et le pH (norme ISO 10390) doivent être mesurés par électrochimie en plantant les électrodes directement dans les solides afin d'éviter des modifications éventuelles pendant la manipulation des échantillons (oxydation au contact de l'air). Cette mesure doit donc être effectuée sur site pour les échantillons remaniés (cas de bennes) et peut être effectuée au laboratoire rapidement après échantillonnage pour les carottes. Si les espèces recherchées sont très sensibles au potentiel redox, une mesure en boîte à gant (enceinte d'isolation) en atmosphère contrôlée est préférable.

La mesure de ces paramètres, est essentielle pour comprendre la géochimie des sédiments. Outre les mesures physico-chimiques, il est également important de relever certaines informations lors des investigations : observations de terrain, perturbations, signes d'une pollution, etc.

Il est à noter que l'opérateur doit toujours garder un œil critique sur la nature des matériaux qu'il prélève et ainsi veiller à ce qu'il soit bien dans une zone de sédimentation.

8.4.5 Recommandations

8.4.5.1 Nettoyage

L'ensemble du matériel intermédiaire utilisé pour les opérations de préparation de l'échantillon doit être préalablement nettoyé. Des gants en nitrile doivent être portés à chaque opération de manipulation de l'échantillon. D'autres recommandations spécifiques au contexte des sites et sols pollués sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

8.4.5.2 Assurance et contrôle qualité

Afin d'avoir un échantillon représentatif du milieu dans lequel celui-ci a été prélevé, un ensemble de mesures doit être mis en place tout au long de la phase d'échantillonnage, allant de la préparation du matériel, jusqu'à l'analyse par le laboratoire. Le préleveur doit donc porter attention à la qualité et à la propreté du matériel et du flaconnage utilisé dans le cadre de l'échantillonnage des sédiments, afin notamment d'éviter toute contamination croisée. Il doit proscrire l'utilisation de matériaux pouvant relarguer des métaux ou des composés organiques (raccordements en laiton, PVC, etc.). Si l'affranchissement de ce type de matériel n'est pas possible, l'absence de relargage sera à prouver par le préleveur en réalisant un blanc du matériel d'échantillonnage (Guide MTES, janvier 2018).

Le Guide MTES, janvier 2018 précise les matériaux des systèmes d'échantillonnage pouvant être utilisés pour chaque typologie de polluants. Le schéma de suivi de l'échantillonnage des sédiments en fonction des analyses en laboratoire est présenté en Figure 44. Par ailleurs, l'Ifremer propose un schéma de répartition du sédiment échantillonné pour chaque typologie d'analyses (IFREMER, 2007) (Figure 46).

Carotte vue du dessus

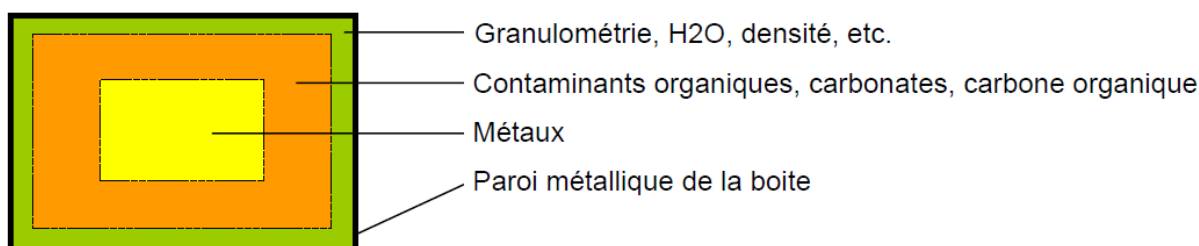


Figure 46 : Vue d'une carotte de sédiment du dessus : répartition spatiale du sédiment en fonction des analyses à réaliser (IFREMER, 2007).

La traçabilité des échantillons doit être assurée à chaque étape entre l'échantillonnage et l'arrivée au laboratoire d'analyse. S'il s'avère impossible d'échantillonner lors de la campagne initialement prévue (présence de bateaux, travaux, crue, etc.), le prestataire envisage un report de la campagne à une période plus adéquate à l'échantillonnage. La date et l'heure du passage du préleveur seront notées ainsi que les raisons de l'absence de prélèvement dans la fiche terrain et dans le rapport. Si le point d'échantillonnage doit être exceptionnellement déplacé par rapport aux campagnes précédentes (présence de perturbations en amont, absence de sédiment, etc.), les nouvelles coordonnées géographiques seront relevées et notées sur la fiche de prélèvement, ainsi que le nouvel environnement du point d'échantillonnage (schéma des lieux, méthode d'échantillonnage éventuellement différente, végétation, etc.).

Des précisions en lien avec le système qualité (traçabilité des changements apportés, traçabilité du matériel) sont précisées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

8.4.6 Conditionnement, stockage et transport

Il convient de minimiser toute perturbation des échantillons, afin de préserver au mieux l'intégrité des sédiments (NF EN ISO 5667-15). Le conditionnement des échantillons est réalisé loin de toute source de contamination croisée. Si l'échantillon a lieu en plan d'eau, le moteur de l'embarcation doit être arrêté et la zone de travail protégée (Guide MTES, janvier 2018). Les flacons de prélèvement sont remplis à ras bord (en favorisant la matière solide à l'eau), pour éviter l'oxydation des sédiments.

Les flacons acheminés vers le laboratoire d'analyse sont conditionnés, à l'obscurité, dans des glacières propres, réfrigérées et adaptées pour éviter toute casse de flacon. L'atmosphère de la glacière doit être maintenue à une température de 5 ± 3 °C (NF EN ISO 5667-15), avant introduction des échantillons, et pendant toute la durée du transport. Les étapes de préparation des échantillons seront réalisées au plus tard, le lendemain de la phase d'échantillonnage. Ainsi, les échantillons doivent être parvenus au laboratoire dans un délai de 24 h après échantillonnage sur site (Guide MTES, janvier 2018). Les exigences que doit respecter le laboratoire en termes de traçabilité, exigences analytiques, etc. sont précisées dans le Guide MTES, janvier 2018).

8.4.7 Documents et informations à fournir dans un rapport de diagnostic

Conformément à la prestation A220, définie dans la norme NFX31-620-2, plusieurs documents doivent être présents dans le rapport de diagnostic et notamment la fiche de prélèvement, spécifique à chaque échantillon.

La fiche de prélèvement indiquera *a minima* : la date et l'heure de l'échantillonnage, l'identité du préleveur, l'identification du lieu d'échantillonnage, le type d'échantillonnage et le matériel utilisé, les mesures physico-chimiques ou encore le relevé des observations de terrain. Un modèle de fiche de prélèvement est proposé dans le Guide BRGM, INERIS, 2023.

Par ailleurs, comme pour les eaux superficielles, une fiche en lien avec la caractérisation du site d'échantillonnage est donc également à remplir, avec deux volets : une fiche pour la description du site d'échantillonnage et une fiche de prélèvement.

8.4.8 Retours d'expérience

8.4.8.1 Analyse granulométrique en laboratoire

En parallèle des analyses chimiques, une caractérisation granulométrique des échantillons de sédiments est à réaliser en parallèle des analyses chimiques. Elle est effectuée sur du sédiment humide, tamisé à < 2 mm, de préférence par granulométrie laser (norme 13320) (Guide MTES, janvier 2018). Six classes granulométriques entre < 20 μm et ≥ 200 μm sont ainsi obtenues. Ces données de granulométrie, réalisées sur des campagnes successives, sont essentielles pour comparer les résultats d'analyses chimiques du fait de l'affinité des polluants avec les fractions fines généralement. Il peut être utile d'approfondir la caractérisation en procédant à des analyses granulo-chimiques pour déterminer la distribution des polluants par fraction granulométrique. Une séparation physique des fractions par tamisage est dans ce cas nécessaire.

8.4.8.2 Échantillonnage dans le cadre d'une étude de l'impact d'une friche industrielle

Sur une friche industrielle implantée en milieu rural présentant une forte pollution des sols par des PCB, les eaux de ruissellement du site sont rejetées dans le réseau hydraulique local (fossé). Lorsque le site était en activité, les eaux de process rejoignaient également ce réseau en aval de la station de traitement interne. Pour dimensionner les actions nécessaires à la mise en sécurité de ce site en lien avec l'impact potentiel de ces rejets depuis la cessation d'activité, les eaux, les particules en suspension et les sédiments de ce réseau ont été caractérisés.

Les prélèvements ont été effectués sur les 4 kilomètres séparant le site de l'étang situé à l'aval et utilisé pour la pêche. 8 points de prélèvements ont été présélectionnés sur ce tronçon en tenant compte d'une part d'un espacement régulier tout au long du cheminement et d'autre part de points singuliers tels que des zones de sédimentation préférentielle ou l'existence d'autres contributions potentielles (autres émissaires). Les prélèvements de sédiments ont été réalisés à l'aide d'un carottier manuel à sédiment de type « BEEKER », sur 2 épaisseurs 0-5 cm et 5-20 cm. Ils ont permis d'identifier des contributions récentes ou plus anciennes se traduisant par une diminution des concentrations en surface que l'on peut expliquer par l'évolution des impacts du site dans le temps.

Toutefois, cette diminution ne se traduit pas par un gradient décroissant et régulier tout au long du tronçon étudié entre le site et l'étang. En effet, sur le linéaire, le fossé traversant de nombreuses parcelles agricoles (champs de grandes cultures et prairies), des opérations de curage ont pu avoir lieu sans qu'il ne soit facile/possible de le vérifier auprès des exploitants. Il est donc important de connaître la nature des matériaux constituant le fond du fossé et correspondant au terrain naturel local pour mieux les distinguer des matériaux sédimentés et parfaire l'interprétation des résultats.

Si cet exercice reste compliqué, il est essentiel à la compréhension de la dynamique de sédimentation et de transfert de polluant. C'est aussi pour cette raison que, même pour des matériaux plutôt homogènes comme les sédiments, il est préférable de réaliser des échantillons moyens à partir de 3 à 6 échantillons unitaires prélevés sur 1 à 2 m² à différents endroits du lit du fossé, afin d'améliorer la représentativité des échantillons.

En outre, pour des composés hydrophobes et peu solubles comme les PCB, le rôle des matières en suspension doit être étudié. Ainsi, pour caractériser un éventuel flux de polluants encore actifs, des mesures de débit ont été réalisées, associées au piégeage et à l'analyse des matières en suspension (porteur des PCB). Pour cela un dispositif expérimental « sur mesure » a été développé et déployé en différents points du fossé sur son linéaire. Ce volet de l'étude a permis de confirmer que le site, pourtant à l'arrêt et sans rejet canalisé, était encore « émetteur/source » d'une pollution vers l'aval à partir des eaux de ruissellement entraînant, via les matières en suspension, les polluants vers le réseau hydraulique. Ce résultat, combiné à une persistance significative des PCB dans les sédiments de surface au plus près du site, a permis de justifier la nécessité d'engager des actions de remédiation au droit du site pour maîtriser cette source (traitement des spots et confinement de surface) combinées à une action de curage des fossés en aval immédiat. À noter enfin que le contrôle de la qualité des poissons de l'étang a permis de vérifier leur qualité sanitaire et de maintenir l'autorisation de pêche.

8.4.9 Documentation technique de référence pour le milieu sédiments

Les normes et textes en vigueur :

- NF X31-620-2, « Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Partie 2 : exigences dans le domaine des prestations d'études, d'assistance et de contrôle ». Prestation A220 ;
- NF EN ISO 5667-15 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 15 : lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments ;
- ISO 5667-12 - Qualité de l'eau. Échantillonnage. Partie 12 : Recommandations concernant l'échantillonnage des sédiments dans les rivières, les lacs et les estuaires.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Schiavone S., Coquery M. (2011), Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. CEMAGREF, 24 p. ;
- Yari, Dabrin, & Coquery. (2018). Recommandations pour l'estimation des tendances temporelles et des distributions spatiales des concentrations de contaminants dans les sédiments. AQUAREF ;
- Guide ministériel « Guide pour la demande de prestation d'échantillonnage et d'analyse physico-chimique dans le cadre de la surveillance DCE - Cours d'eau, plans d'eau et eaux souterraines », janvier 2018 ;
- CEREMA – Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux, 2018 ;
- Coquery, M., Lionard, E., & Yari, A. (2017). Recommandations techniques. Opérations d'échantillonnage de sédiments en milieu continental (cours d'eau et plan d'eau) dans le cadre des programmes de surveillance DCE. AQUAREF ;
- GEODE. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien. 2016 ;
- Guide BRGM, INERIS, 2023. Bâlon P., Guérin V., Quiot F. (2022) – Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués. Rapport final. BRGM/RP-71784-FR, Ineris-207010-2737920-RAP-Echantillonnage-Eaux-Sédiments, 148 p., 45 fig., 13 tabl., 5 ann.

8.5 Les investigations sur les gaz du sol, l'air ambiant extérieur et l'air intérieur

Les investigations sur les gaz du sol, l'air ambiant extérieur et l'air intérieur sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 :

- Prestation A230 « Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol » ;
- Prestation A240 « Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques ».

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.5.6.

8.5.1 Stratégie d'échantillonnage

L'ensemble des documents disponibles au § 8.5.6 sur les milieux gaz du sol et air apporte des informations essentielles sur la stratégie d'échantillonnage, qu'il s'agisse, par exemple, de la limite de quantification minimale à atteindre (devant être inférieure à la valeur de comparaison retenue) ou de la méthode d'échantillonnage (prélèvement actif ou passif, certains textes réglementaires imposent un type de prélèvement).

8.5.1.1 Généralités

L'air intérieur (milieu confiné) constitue généralement un milieu d'exposition pour des usagers (exposition par inhalation de polluants sous forme vapeur) dont l'origine vient du transfert *via* les vides sanitaires ou les sous-sols et/ou de l'air ambiant extérieur. La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués recommande de privilégier la mesure directe pour la caractérisation des milieux d'exposition.

Néanmoins, des investigations limitées aux seuls contrôles de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments sur un site (potentiellement) pollué ne sont pas suffisantes. La mise en perspective des résultats obtenus, sur l'air ambiant intérieur (potentiellement en lien avec des activités présentes dans le bâtiment et non pas nécessairement avec une pollution sous ce dernier), sur les échantillons témoins (prélèvements d'air intérieur et extérieur), sur les blancs et sur les gaz du sol, permet de rechercher la (ou les) origine(s) des polluants mis en évidence dans l'air ambiant intérieur, et ainsi orienter les modalités de gestion lorsqu'elles sont nécessaires.

Le milieu « gaz du sol » est intégrateur, en ce sens qu'il accumule des polluants volatils pouvant être présents dans le milieu sol et/ou dans les eaux souterraines. Ces pollutions remontant naturellement vers la surface du sol par des phénomènes de diffusion et de convection, leur mise en évidence en surface est possible. Il est donc envisageable de (i) vérifier la présence sous un bâtiment de composés volatils identifiés dans l'air intérieur mais également de (ii) délimiter plus ou moins précisément des zones polluées par des composés volatils et situées plus en profondeur, à l'aide de méthodes d'échantillonnage décrites au § 8.5.4. Enfin, avant la réalisation d'analyses d'air intérieur, l'étude du milieu gaz du sol peut également permettre d'estimer, si des analyses d'air intérieur semblent nécessaires ou non dans un bâtiment situé au droit d'une zone (potentiellement) polluée par des composés volatils.

Des éléments relatifs au comportement de ces pollutions volatiles (et donc l'interprétation qui sera faite des résultats obtenus) sont précisés dans le Guide BRGM, INERIS, 2016 (cf. référence au § 8.5.6).

- **Guide BRGM, INERIS, 2016** : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-pratique-caracterisation-gaz-du-sol-et-air-interieur>.

L'interprétation des résultats obtenus pour la matrice gaz du sol peut donc parfois être délicate. Ainsi, au regard des variations spatiale et temporelle associées à la caractérisation des gaz de sols, la réalisation d'au moins 2 campagnes de prélèvements est recommandée.

Enfin, il est crucial de connaître le contexte géologique local lors de la préparation et l'interprétation d'une campagne de mesure des gaz du sol. À titre d'exemple, une lentille d'argile peut modifier la circulation ascendante des vapeurs. Dans ce cas, il serait erroné de conclure qu'il n'y a pas de panache dans les eaux souterraines sur la seule absence de composés volatils dans les gaz du sol prélevés au-dessus de la lentille d'argile.

8.5.1.2 Contextes nécessitant une caractérisation des gaz du sol et de l'air ambiant

Qu'il s'agisse d'une intervention dans un contexte de Plan de Gestion ou d'Interprétation de l'État des Milieux, différents contextes peuvent nécessiter une caractérisation des gaz du sol et/ou de l'air ambiant :

- caractérisation d'une source sol :

Les sources sol de Composés Organiques Volatils (COV) (et tout particulièrement lorsqu'ils sont Halogénés (COHV)) sont souvent relativement ponctuelles, ce qui rend leurs localisations délicates. Sans ignorer les considérations relatives à l'inadéquation de certaines techniques d'investigations avec la recherche de ces pollutions volatiles, le retour d'expérience montre qu'il n'est pas rare de trouver des concentrations négligeables dans des échantillons de sol, alors que des analyses de gaz du sol mettent en évidence un halo gazeux, avec lequel des sources sol sont en équilibre. **Les investigations des gaz du sol permettent ainsi d'adopter une approche cartographique, permettant de rechercher et localiser indirectement des sources sol ;**

- caractérisation d'un panache dans la nappe phréatique :

En présence d'un panache dissous de polluants volatils dans les eaux souterraines (et *a fortiori* en présence de polluants volatils flottants²⁷ en phase pure), la volatilisation de ces composés crée un panache gazeux en Zone Non Saturée (ZNS) qui peut être identifié par des investigations de gaz du sol à l'aplomb de la nappe. Ces investigations, généralement plus rapides et moins onéreuses que la réalisation de piézomètres classiques, permettent d'avoir des premières informations de la position, de la forme et de la dimension du panache dissous. Le positionnement et le nombre d'ouvrages à réaliser par la suite (piézomètres par exemple) pour mesurer le degré de pollution de la nappe seront donc optimisés ;

- caractérisation des gaz du sol au droit d'un bâtiment, couplée le cas échéant à des analyses d'air ambiant intérieur :

Lorsque les vapeurs traversant la ZNS atteignent la surface, elles se diffusent dans l'air extérieur ou s'accumulent sous des surfaces imperméabilisées et contribuent, au droit des bâtiments, à la dégradation de la qualité de l'air intérieur, en l'absence de mesures spécifiques (cf. guide BRGM relatif aux mesures constructives (<http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-relatif-aux-mesures-constructives>) et Projet ADEME, novembre 2017. BATICOV (<https://www.ademe.fr/baticov-mesures-constructives-vis-a-vis-pollutions-volatiles-sol-programmation-a-l-exploitation-batiments-apr-gesipol-2014>).

La réalisation de prélèvements de gaz du sol permet :

- de vérifier la présence ou non de polluants volatils au droit de la zone d'étude,

²⁷ En ce qui concerne les phases pures de polluants « coulants » en nappe (DNAPL – Dense Non Aqueous Phase Liquids), celles-ci vont s'accumuler à la surface de zones peu/pas perméables (généralement le substratum de l'aquifère). Par conséquent, un halo gazeux en ZNS pourra être engendré par le panache dissous de DNAPL (et non directement par la phase pure, comme dans le cas de phases pures flottantes). Ainsi, les concentrations en DNAPL mesurées dans les gaz du sol, en lien avec ce panache dissous, seront donc moins élevées que dans le cas des phases pures flottantes de LNAPL.

- d'en déduire si des prélèvements d'air intérieur et/ou extérieur semblent pertinents²⁸ et,
- le cas échéant, d'aider à l'interprétation des résultats obtenus, notamment dans l'air intérieur.

En effet, dans ce dernier cas, la présence de sources anthropiques dans le bâtiment (par exemple : un stockage de produits chimiques volatils, des activités domestiques, etc.) ou à l'extérieur de celui-ci (par exemple : la circulation automobile) peut avoir une influence sur la qualité de l'air intérieur ;

▪ évaluation de la compatibilité sanitaire dans le cadre d'un projet de construction de bâtiment :

Sur la base des résultats obtenus dans les gaz du sol et à l'aide d'hypothèses adaptées au contexte étudié, il est possible de modéliser les concentrations attendues dans le milieu d'exposition (air intérieur) et d'en déduire si la qualité de l'air intérieur modélisée est compatible avec les futurs usages. Il est rappelé ici qu'une modélisation n'est qu'un outil reposant sur l'utilisation d'hypothèses, dont l'adéquation avec la réalité peut s'avérer insuffisante (en raison par exemple, soit d'un mauvais diagnostic initial, soit d'une évolution des conditions²⁹ au cours du temps, soit du choix de valeurs de paramètres de modélisation par défaut). Ainsi, une modélisation ne remplacera pas des analyses réalisées *in fine* dans le milieu d'exposition (air ambiant). La réalisation de mesures d'air ambiant après construction du bâtiment est ainsi recommandée avant sa mise en service, notamment dans les projets à forts enjeux sanitaires (accueil de populations sensibles par exemple). Les mesures ainsi réalisées concerneraient les polluants en lien avec la pollution du site ;

▪ étude de faisabilité et suivi des concentrations dans les gaz du sol dans le cadre de travaux de dépollution :

Dans le cadre d'une dépollution d'une zone polluée par des composés volatils, la réalisation d'investigations de gaz du sol va permettre d'apprécier le potentiel gazeux de la ZNS et de dimensionner l'opération en conséquence, notamment : volume de la zone à dépolluer, nombre et taille des ouvrages, techniques de traitement retenues, concentrations et masses de polluants à traiter, durée approximative de traitement, coûts économiques associés, ...

Dans le cadre du suivi et de l'arrêt du traitement, l'étude des gaz du sol sera primordiale : il convient donc de fixer, au démarrage, les modalités de suivi des gaz du sol (substances et périodicité des mesures...);

▪ délimitation d'une zone source par « triangulation » :

Dans certains cas, comme des sites très étendus présentant potentiellement une multitude de zones sources non/mal localisées, la réalisation de tests d'extraction forcée de gaz du sol dans des piézaires répartis sur site, couplés à des mesures en temps réel dans un laboratoire mobile, permet d'estimer la localisation des zones sources. En effet, compte tenu de la connaissance de la porosité du sol, des débits d'air pompés et du temps avant lequel des polluants sont détectés par le laboratoire mobile, il est possible d'en déduire la distance séparant l'ouvrage d'une zone source. Cette méthode, onéreuse et nécessitant un certain niveau de technicité, ne sera néanmoins pas envisageable ou adaptée sur tous les sites.

8.5.1.3 Éléments à prendre en compte

Le contexte dans lequel l'intervention se déroule (cf. § 8.5.1.2) influence directement la stratégie d'investigations. Ainsi, la vérification de l'existence et de l'évolution dans le temps d'un dégazage au droit d'un bâtiment ne nécessitera pas le même nombre ni le même type d'ouvrage que la mise en évidence et la

²⁸ En fonction des résultats obtenus et de la configuration du cas étudié, la concentration dans l'air intérieur peut être estimée par l'utilisation de facteurs de dilution ou de modèles de transfert. Rappelons néanmoins que la méthodologie nationale SSP recommande de privilégier la mesure directe pour caractériser les milieux d'exposition.

²⁹ Qu'il s'agisse de conditions météorologiques, hydrauliques voire d'évolutions significatives du projet sans vérification de leur incidence sur la compatibilité sanitaire (exemple : suppression d'un vide sanitaire, modification de débits de ventilations, ...)

délimitation d'un panache engendré par une pollution existante depuis plusieurs années au droit d'une zone perméable. Les conditions d'accès et d'intervention sur site conditionnent également fortement les investigations susceptibles d'être réalisées.

L'environnement local de la zone d'intervention ou la présence de sources anthropiques dans le bâtiment peuvent avoir une influence significative sur les résultats obtenus (particulièrement sur l'air intérieur). Par exemple, la présence d'une voie de circulation automobile ou d'une zone industrielle importantes à proximité du bâtiment étudié influencera non seulement la qualité de l'air ambiant mais potentiellement la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. L'air à l'intérieur du bâtiment ne peut, en effet, généralement pas être moins contaminé qu'à l'extérieur. De la même manière, des activités présentes à l'intérieur d'un bâtiment, qu'il s'agisse de stockages de substances volatiles ou de la présence de certains revêtements, matériaux ou d'autres travaux et activités domestiques, sont susceptibles de relarguer des composés volatils. En l'absence de prélèvements de gaz du sol, la présence de composés volatils dans l'air intérieur ne sera donc pas nécessairement liée (en tout ou partie) à une pollution présente dans le sous-sol de la zone d'étude.

Ainsi, lors de prélèvements d'air intérieur dans un bâtiment en lien avec une pollution d'un site, il est crucial de réaliser une étude préalable approfondie du bâtiment visant à :

- identifier les sources de pollution anthropiques (stockage de produits chimiques, travaux récents, activités domestiques, tabagisme, vêtements revenant d'un pressing à sec, ...). Pour aider à réaliser cette enquête, un questionnaire est disponible en Annexe 4 du Guide BRGM, INERIS, 2016 ;
- identifier les chemins préférentiels d'intrusion de vapeurs dans le bâtiment (canalisations traversant la dalle de fondation, fissures, retraits de dalle périphérique, sols à nu, ...) et de circulation entre les différents niveaux (escaliers, ascenseur, passages de réseaux non/mal étanchéifiés, fissures, ventilation mal dimensionnée, tirage thermique...). Cf. Figure 47 ;

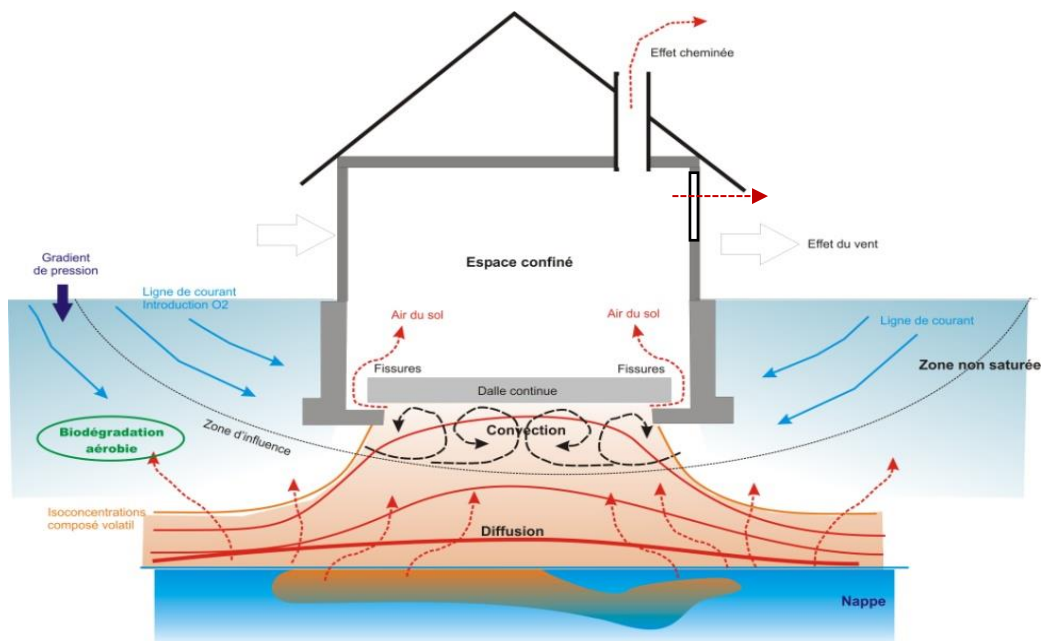


Figure 47 : Influence de facteurs liés à la construction sur l'intrusion de vapeurs dans un bâtiment (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).

- réaliser des prélèvements des gaz du sol en même temps³⁰ que les prélèvements d'air intérieur, afin de pouvoir interpréter les seconds à la lumière des premiers et de ne pas être tributaire de pollutions anthropiques sans lien avec la qualité des gaz du sol ;
- tenir compte des contributions éventuelles de sources anthropiques en les évaluant à la lumière de prélèvements témoins réalisés en intérieur (témoin intérieur généralement réalisé dans la pièce située le plus haut dans le bâtiment³¹ et possédant les mêmes caractéristiques que la pièce mesurée) et en extérieur. Ces prélèvements témoins sont réalisés selon les mêmes modalités que les autres prélèvements et de manière synchrone.

Lorsque des mesures constructives actives (Dépressurisation Sous Dalle, Ventilation Mécanique Contrôlée, ...) sont mises en œuvre dans un bâtiment, leur arrêt définitif nécessite d'avoir une bonne connaissance de la situation environnementale. Cela passe, *a minima*, par la réalisation de prélèvements de gaz du sol sous ce bâtiment (après l'arrêt temporaire de ces mesures constructives) démontrant l'absence de polluants volatils sous le bâtiment. Cette information est à mettre en relation avec d'autres résultats à obtenir en parallèle, comme la qualité de la nappe souterraine au droit de la zone où les gaz du sol ont été prélevés, lorsque la contamination de cette nappe est à l'origine du panache gazeux.

8.5.1.4 Implantation des prélèvements

La localisation des points de prélèvement tient compte à la fois :

- des objectifs et du contexte de l'étude :

En cas de réalisation de prélèvements des gaz de sols, leur emplacement doit tenir compte des résultats et conclusions des éventuelles études antérieures (pollution historique identifiée, sources délimitées dans les sols ou la nappe, etc.).

Pour les prélèvements d'air intérieur, les pièces généralement à privilégier sont : (i) celles où les personnes passent le plus de temps (par exemple : les chambres et le séjour dans un logement, les salles de classes et les dortoirs dans une école maternelle...), (ii) les locaux où l'intrusion de vapeur semble la plus probable, notamment compte tenu de la présence de chemins préférentiels (sol en terre battue, dalle en très mauvais état, présence d'un conduit reliant les niveaux inférieurs aux étages supérieurs...), (iii) les niveaux inférieurs devant logiquement présenter des concentrations significativement supérieures à celles des étages supérieurs dans le cas d'une intrusion de vapeurs en provenance de la sub-surface, (iv) les pièces au droit desquelles la présence d'une pollution volatile semble la plus probable, compte tenu des informations disponibles, qu'elles soient issues des études historique et documentaire, d'études environnementales antérieures ou d'indices organoleptiques (odeurs, valeurs PID) mis en évidence lors de la visite préalable ou lors des investigations.

- des contraintes de terrain : refus des occupants du bâtiment, accessibilité des locaux, présence de réseaux enterrés, présence de colle et revêtement contenant de l'amiante à ne pas détériorer, présence de planchers chauffants, présence de personnes susceptibles de déplacer ou endommager le matériel de prélèvement (par exemple, des enfants en bas âge, ...).

³⁰ Sans nécessairement être strictement concomitants, l'idée est de réaliser l'ensemble de ces prélèvements de la manière la plus rapprochée possible. Les prélèvements de gaz du sol nécessitant une purge préalable, l'attention du lecteur est attirée sur la nécessité de rejeter les gaz de cette purge à l'extérieur afin de réduire les expositions aux gaz (potentiellement) chargés, relargués dans l'air intérieur et de surestimer les concentrations présentes dans l'air intérieur. Si un rejet en dehors de la pièce n'est pas possible, le prélèvement de l'air intérieur s'effectue avant de percer la dalle.

³¹ Les concentrations se diluant naturellement au fur et à mesure que l'on monte dans les étages, un témoin intérieur situé au dernier étage devrait présenter des concentrations significativement moindres que celles mesurées dans le premier niveau situé au-dessus du sol. Dans le cas contraire, une réflexion plus poussée devra être réalisée pour comprendre l'origine de ce résultat *a priori* étonnant (présence de sources anthropiques dans les étages, par exemple, des stockages ou matériaux imprégnés tels que : revêtements, peinture, traitements, ...) ; un mauvais dimensionnement d'une ventilation couplé à un mauvais renouvellement de l'air peut aboutir à une homogénéisation des concentrations dans l'ensemble du bâtiment, ...)

Pour les prélèvements de gaz du sol, l'état des revêtements influencera la localisation et le type de prélèvement réalisé. Par exemple, on évitera de réaliser un prélèvement d'air sous dalle (cf. § 8.5.2) à proximité d'une zone favorisant l'infiltration d'air ambiant (fissures...).

Les prélèvements d'air intérieur sont classiquement réalisés :

- au centre de la pièce où les occupants passent le plus de temps (sauf argument particulier),
- à une distance d'au moins 1 m des parois de la pièce (mur/plafond) et en évitant les endroits surexposés (soleil, chauffage, ventilation,...),
- à hauteur des voies respiratoires, par exemple, de l'ordre de :
 - 1,5 m du sol pour un adulte debout,
 - 1,0 m du sol pour un adulte assis (cas des bureaux notamment),
 - 0,5 m du sol pour une position couchée (cas des chambres),
 - 0,2 m pour un enfant dans le cas d'une crèche ;
- en cas de pièces de volume important (gymnases, bureaux de type open-spaces...), le nombre de points de prélèvement par pièce, est à adapter en fonction du volume de la pièce, de ses caractéristiques et des enjeux.

8.5.1.5 Fréquence et période des prélèvements

La fréquence d'intervention dépend notamment, de l'objectif de l'étude, de sa sensibilité, du dépassement ou non de valeurs de gestion pouvant nécessiter des actions rapides, des contraintes d'accès. À titre d'illustration, dans le cas de la vérification de l'absence de risque sanitaire pour des occupants d'un bâtiment vis-à-vis d'une intrusion de vapeurs, la réalisation d'au moins 2 campagnes (à des périodes climatiques différentes – idéalement une en été et une en hiver) est généralement recommandée, afin de tenir compte de la forte influence des conditions météorologiques et des modalités de chauffage/aération des bâtiments sur les résultats obtenus. Néanmoins, dans le cas de concentrations mesurées dépassant des valeurs de gestion de la qualité d'air intérieur, ces recommandations ne doivent pas empêcher d'adapter la stratégie d'échantillonnage (nombre de campagnes, fréquence, ...). Enfin, les mesures doivent, dans la mesure du possible, être réalisées dans les conditions normales d'occupation des locaux (Guide « LCSQA - INERIS, 2012 »), comme cela est le cas dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air dans les établissements scolaires.

- **Guide « LCSQA - INERIS, 2012** disponible sur le site <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2012/ineris/guide-application-surveillance-formaldehyde-benzene-etablissements-enseignement->

8.5.1.6 Durée des prélèvements

La durée des prélèvements dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels :

- l'objectif de l'étude et notamment la limite de quantification³² à atteindre (si une comparaison à une valeur réglementaire de gestion ou à défaut une valeur toxicologique de référence est nécessaire) ;
- des limites de quantification brutes³³ atteignables par le laboratoire (qui vont conditionner les limites de quantification atteignables) ;

³² Ici, il s'agit de la concentration obtenue, rapport de la masse de polluant, piégée sur le support de prélèvement fournie par le laboratoire, par le volume d'air prélevé (donnée connue par le préleveur, produit du débit réel de prélèvement par le temps de prélèvement effectif).

³³ Ici, il s'agit de la masse minimale de polluant que le laboratoire peut quantifier sur un support et donc indiquer dans ses bordereaux d'analyses.

- du temps de présence envisageable sur site ;
- des concentrations présentes ou attendues³⁴ dans les gaz du sol (afin d'éviter toute saturation des supports de prélèvement). En cas de valeurs PID élevées dans les gaz du sol pendant la purge de l'ouvrage, la réalisation de deux prélèvements successifs (« court » et « long ») peut être envisagée afin de palier à tout risque de saturation des supports rendant complexe voire impossible l'interprétation des résultats obtenus ;
- des débits et des volumes de prélèvement maximaux recommandés pour chaque support.

D'éventuelles contraintes réglementaires associées à l'échantillonnage de certaines substances dans des ERP³⁵ et des logements peuvent également influencer le choix de la durée de prélèvement. Il convient notamment de garder à l'esprit que ces contraintes peuvent ne pas être suffisantes ou pas toujours adaptées pour répondre aux besoins de l'étude engagée. Citons par exemple, le cas de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air des écoles, ciblant une liste réduite de composés et imposant des durées et des modes de prélèvements passifs qui ne seraient pas pertinents dans le cadre d'un diagnostic de sites et sols pollués incluant ces composés dans une liste plus large de composés à rechercher au regard des résultats de l'étude historique et documentaire.

Ainsi, comme souvent en sites et sols pollués, il n'y a pas de solution prédéfinie à appliquer et à reproduire sans réflexion, de site en site.

8.5.2 Réalisation des ouvrages

En fonction des objectifs de l'étude (cf. § 8.5.1), des caractéristiques du site (accessibilité, intervention dans un bâtiment, présence d'une dalle béton, profondeur de la nappe sous-jacente...), de la durée et de la fréquence des interventions, ainsi que des moyens financiers disponibles, quatre types d'ouvrages principaux peuvent être envisagés :

- **des ouvrages permanents, également appelés « piézairs »** voire parfois « piézogaz » (Figure 48).
Ce type d'ouvrage est comparable aux piézomètres utilisés pour suivre la qualité des eaux souterraines. En revanche, sauf cas particuliers, ces ouvrages présentent les caractéristiques suivantes :
 - peu profonds : la partie crépinée est généralement comprise entre 1 et 2 m sous la surface du sol et sa longueur est classiquement comprise entre 0,5 et 1 m. Lorsque le haut de la partie crépinée est à moins d'un mètre de la surface du sol et en l'absence d'étanchéité de surface (dalle béton en bon état, par exemple), des précautions particulières doivent être prises afin d'éviter d'aspirer l'air ambiant. La partie basse de la crépine est, quant à elle, généralement située à au moins 1 m du Niveau de Plus Hautes Eaux, afin d'éviter de capter l'eau de la nappe. Les indices organoleptiques (couleur, odeur, résultats obtenus à l'aide de techniques de forage direct (DPT), comme le MIP (voir § 9.3)) mis en évidence pendant la foration peuvent également être utilisés pour confirmer la hauteur et la profondeur de la crépine de l'ouvrage,
 - tubes de faible diamètre : entre 1 et 2 pouces (25 à 50 mm), assemblés par filetage (sans colle),
 - foration généralement en diamètre 50 à 80 mm,
 - l'espace annulaire autour de la crépine est rempli de massif filtrant,

³⁴ Qu'il s'agisse d'un site sur lequel il y a déjà eu une intervention (dans ce cas, il n'est pas rare d'avoir au moins un ordre de grandeur des concentrations attendues) ou sur lequel des mesures préalables au prélèvement (par exemple avec un PID lors de la purge) vous permettront d'avoir une idée qualitative voire semi-quantitative des concentrations attendues.

³⁵ Établissements Recevant du Public

- l'étanchéité du reste de l'ouvrage est assurée à l'aide d'un mélange de coulis bentonite-ciment d'au moins 30 cm d'épaisseur, permettant de garantir l'étanchéité de l'ouvrage et l'absence de fissuration de bouchon d'étanchéité.

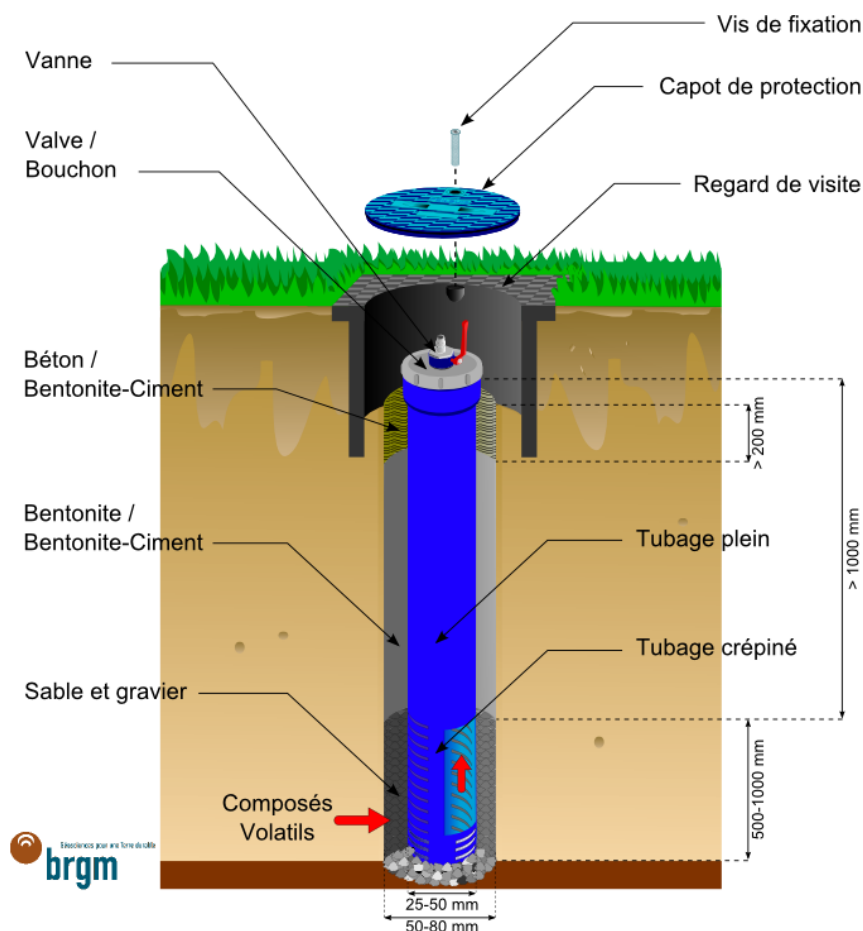


Figure 48 : Schéma de principe d'un piézair (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).

La profondeur des crépines est justifiée par les objectifs visés (évaluation des transferts, d'une source, d'un dégazage depuis une nappe...) et les caractéristiques de la ZNS (lithologie visée, profondeur de la nappe...). Aussi d'autres types d'ouvrages peuvent être envisagés : doublets ou triplets de piézairs, regroupés au sein d'un forage unique de gros diamètre ou répartis dans plusieurs forages individuels, crépines uniques ou multiples... Le lecteur est invité à se reporter au guide de caractérisation des gaz du sol (cf. Guide BRGM, INERIS, 2016) et aux projets de recherche (guide méthodologique Fluxobat (Traverse *et al.*, 2013), ...) disponible sur le site <https://www.fluxobat.fr/>.

Ces ouvrages permanents, réalisés à l'aide de foreuses la plupart du temps, sont généralement utilisés pour dimensionner et/ou caractériser la zone source et/ou un panache gazeux, et lorsque des interventions ultérieures sont envisagées.

Dans la mesure du possible, il est recommandé de forer à sec avec des carottiers. Le recours à une tarière mécanique peut entraîner, si des lithologies limoneuses ou argileuses sont rencontrées, un colmatage plus ou moins importants de la paroi extérieure du forage et donc une diminution de la perméabilité à l'air de l'ouvrage. Le graissage des outils de forage doit être évité au maximum afin d'éviter toute contamination de l'ouvrage. Enfin, entre deux ouvrages, les outils de forage doivent être nettoyés, *a minima* avec de l'eau claire : on évitera par exemple d'utiliser l'eau de la nappe, si elle est contaminée ou si sa qualité n'a pas été vérifiée ;

- **des ouvrages temporaires, parfois appelés « canne-gaz »**, dont la finalité (pouvoir prélever des gaz du sol) est proche de celle des piézairs.

Pour ces ouvrages, après fonçage du sol, un tube plein, crépiné à son extrémité sur quelques centimètres, peut être implanté. Son diamètre varie en fonction du tube utilisé et du diamètre de foration mais est généralement de l'ordre du centimètre à quelques centimètres. Des cannes-gaz métalliques creuses, pourvues de pointes perdues ou rétractables à leur extrémité et enfoncées dans le sol à l'aide d'un perforateur, peuvent également être utilisées.

Il n'y a aucun massif filtrant ni bouchon de bentonite, le diamètre de foration étant comparable au diamètre du tube. Dans ce cas, il est capital de prévoir une bonne étanchéité de surface à l'interface sol-tube métallique et le tube métallique-tuyau de prélèvement.

Enfin, elles peuvent se boucher facilement si les sols traversés sont trop argileux voire limoneux ;

▪ **des ouvrages temporaires visant à échantillonner les gaz du sol présents immédiatement sous une dalle, appelés aussi « sub-slab ».**

Lorsqu'une dalle existe (notamment dans un bâtiment, vide sanitaire ou pièce de plain-pied), l'échantillonnage des gaz présents sous celle-ci peut être réalisé après son perçage à l'aide d'une perceuse équipée d'un foret béton. L'étanchéité du dispositif est ensuite assurée par fonçage d'une sonde de prélèvement (par exemple, un tube inox crépiné, inséré dans un bouchon de laboratoire perforé, enfoncé en force dans le trou). L'étanchéité peut être renforcée à l'aide d'un petit cône en argile bentonitique.

Avant perçage de la dalle, il convient de vérifier l'absence de réseau sous ou dans la dalle ainsi que d'amiante, par exemple dans la colle utilisée pour fixer certains revêtements. En cas d'impossibilité, la réalisation d'un ouvrage (temporaire ou permanent) à proximité de la dalle est à envisager, sous réserve que les résultats obtenus soient pertinents au regard de l'objectif de l'étude (par exemple, distance entre l'ouvrage et la zone étudiée).

Après échantillonnage, le rebouchage du trou doit être particulièrement soigné afin de garantir toute fissuration ultérieure créant ainsi une voie d'intrusion préférentielle des vapeurs dans le bâtiment.

Dans chacun des types présentés précédemment (représentés sur la Figure 50), il est essentiel de garantir la bonne étanchéité de l'ouvrage et d'utiliser des matériaux inertes, aussi bien pour les tubes constituant les ouvrages (PEHD par exemple) que pour les capillaires de prélèvement (PTFE, par exemple), afin d'obtenir un résultat représentatif de la qualité des gaz du sol ;

▪ **des ouvrages temporaires tels que les chambres à flux** visant à évaluer les flux de transfert de composés volatils à l'interface sol/atmosphère ou dalle de béton/atmosphère :

La chambre à flux est placée en surface du sol ou de la dalle béton et étanchéifiée par un joint pour éviter la fuite des vapeurs et l'introduction d'atmosphère dans la chambre (Figure 49). Une circulation d'air peut parfois être réalisée permettant le cas échéant d'introduire de l'air propre ou de favoriser le mélange au sein de la chambre ou encore de reproduire l'effet du vent. Le flux est estimé à partir de la mesure ponctuelle ou en continu de la masse de polluant ou après une intégration sur la durée (accumulation sur un support adsorbant) (guide méthodologique Fluxobat (Traverse *et al.*, 2013). Cette méthode est généralement utilisée dans le cadre de screening, à l'aide d'un analyseur de terrain (PID par exemple).

Trois méthodes de mesure sont principalement utilisées. Il s'agit de :

- méthode par accumulation de gaz sans recirculation : la mesure est réalisée par piquetage ponctuel au sein de la chambre à flux, à l'aide d'un analyseur de terrain,
- méthode par accumulation de gaz avec recirculation et suivi en continu de la concentration par un analyseur à lecture directe, au sein de la chambre à flux,
- méthode sans accumulation, avec recirculation et adsorption sur un support, transporté puis analysé en laboratoire.

Ces méthodes sont décrites dans le guide méthodologique Fluxobat (Traverse *et al.*, 2013) et le Guide BRGM, INERIS, 2016.



Figure 49 : Exemples de chambres à flux sur dalle béton ou sol nu (© Guide BRGM, INERIS, 2016).

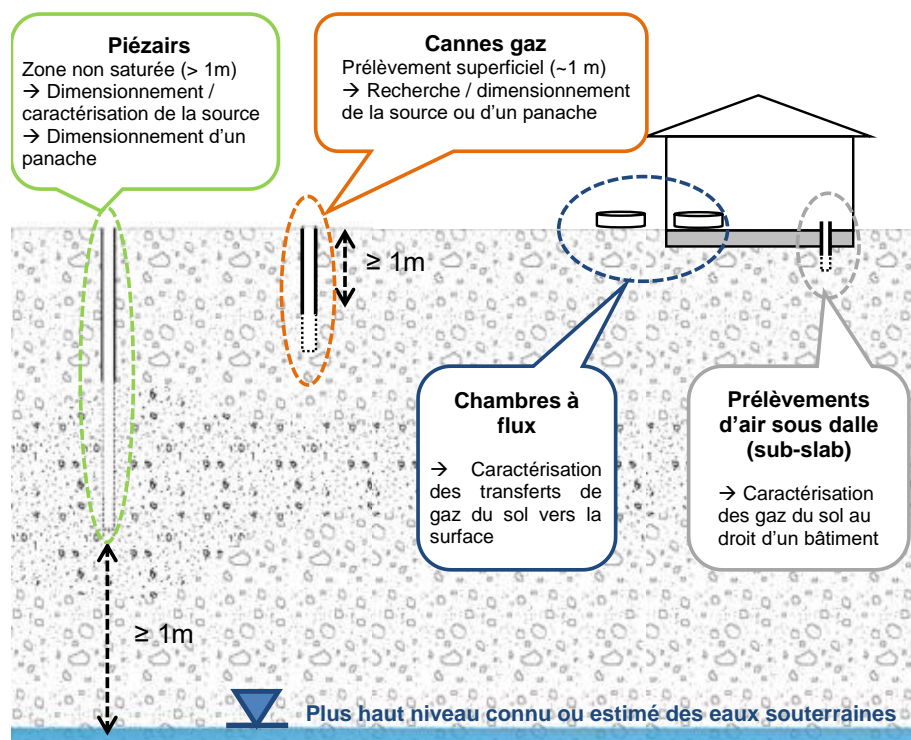


Figure 50 : Différents types d'ouvrages permettant les mesures de gaz du sol (Source : Guide BRGM, INERIS, 2016).

Le lecteur est invité à se reporter au guide de caractérisation des gaz du sol (Guide BRGM, INERIS, 2016) pour obtenir de plus amples informations sur ces différents types d'ouvrages. Son attention est attirée sur l'importance de bien connaître la lithologie présente au droit de la zone d'étude pour choisir le type d'ouvrage le plus adapté et interpréter correctement les résultats obtenus. Par exemple, les cannes-gaz métalliques enfoncées en force ne permettent pas de remonter des cuttings (et donc de vérifier la géologie effective).

8.5.3 Mesures préliminaires pour les gaz du sol

Par analogie avec ce qui est réalisé lors de l'échantillonnage des eaux souterraines, une purge de l'ouvrage est nécessaire³⁶ afin d'échantillonner des gaz du sol représentatifs de la réalité. Au cours de cette purge, il est recommandé de suivre différents paramètres :

- la concentration en composés volatils, à l'aide d'un PID, correctement calibré et dont la lampe d'ionisation³⁷ est adaptée aux composés recherchés. Cette mesure permettra d'avoir un indice global de la pollution en composés volatils dans les gaz du sol et d'en déduire s'il y a un risque de saturation des supports (et donc une minoration des concentrations réelles) et s'il est nécessaire d'adapter le protocole de prélèvement prévu (débit et/ou temps de prélèvement) pour réduire ce risque ;
- la concentration en O₂ et en CO₂ dans les gaz du sol. Ces mesures permettent de s'assurer de l'étanchéité d'un ouvrage. En effet, la concentration en O₂ doit diminuer au démarrage de la purge et la concentration en CO₂ peut augmenter. Si la concentration en O₂ reste aux alentours de 21 % et la concentration en CO₂ ≈ 400 ppm (c'est-à-dire : celle naturellement présente dans l'air ambiant), cela peut signifier que l'ouvrage n'est pas étanche ou que l'ouvrage est situé à proximité d'un chemin préférentiel par lequel l'air ambiant s'introduit ;
- la température et l'humidité relative de l'air pompé.

Par ailleurs, compte tenu de la forte influence des paramètres météorologiques sur le dégazage, la collecte ou la mesure des paramètres avant, pendant et après le prélèvement (*a minima* au démarrage de celui-ci) est nécessaire pour l'air ambiant : température, pression atmosphérique, humidité de l'air, vent, pluie, modalités de chauffage du bâtiment.

L'ensemble de ces informations doit être reporté sur des fiches de prélèvements à réaliser pour chaque prélèvement (cf. Annexe 5 du Guide BRGM, INERIS, 2016).

8.5.4 Méthodes d'échantillonnage

8.5.4.1 Matériel d'échantillonnage

En fonction des objectifs de l'étude et des contraintes d'accès, différents supports ou techniques de prélèvements peuvent être envisagés :

- les supports les plus classiquement utilisés pour cet échantillonnage sont ceux nécessitant un échantillonnage dit « actif », c'est-à-dire qu'un flux d'air transite, généralement sous l'effet d'une pompe, à travers le support. L'un des points les plus importants dans ce type de prélèvement est de connaître avec précision le volume d'air pompé (m³), obtenu par produit du temps de prélèvement (h) par le débit d'air ayant circulé (m³/h) dans chaque support utilisé. Certaines pompes fournissent le temps et le volume d'air pompé. Ces informations dépendent néanmoins de la bonne calibration de la pompe et des pertes de charges associées à la ligne de prélèvement. Par conséquent, quelles que soient les pompes³⁸ utilisées (Figure 53), des contrôles de débit sur site sont demandés.

³⁶ Dans le cas d'un prélèvement sur support passif, se déroulant sur plusieurs jours, cette purge reste utile, non pas pour échantillonner des gaz du sol représentatifs de la réalité (puisque tout va se stabiliser pendant la durée du prélèvement pouvant atteindre plusieurs jours), mais pour acquérir les paramètres évoqués dans les paragraphes qui suivent.

³⁷ La lampe d'ionisation fournie de manière standard (10,6 eV) ne permet en effet pas de détecter l'ensemble des composés existants. À titre d'exemple, 1,1,1-TCA (1,1,1-trichloroéthane) ou le 1,2-DCA (1,2-dichloroéthane) ne sont pas ionisés par une lampe 10,6 eV et ne seront donc pas détectés par un PID équipé par cette lampe. Le lecteur est invité à se reporter aux fascicules fournis par les fabricants de ce type d'appareil pour obtenir de plus amples détails à ce sujet.

³⁸ Ici, on parle de pompes prévues spécifiquement pour le prélèvement d'air (c'est-à-dire : respectant la norme NF EN ISO 13137). Ainsi, une pompe péristaltique ne peut notamment pas être utilisée pour prélever de l'air ou des gaz du sol (débit de prélèvement non homogène dans le temps).

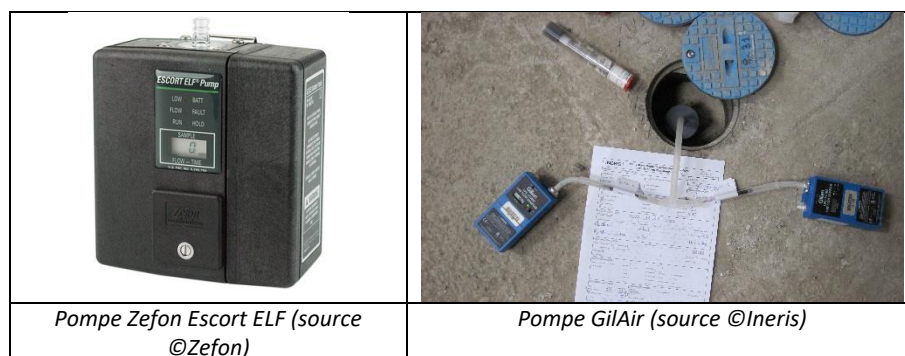


Figure 51 : Exemples de pompes de prélèvement d'air.

Pour chaque polluant, il existe un ou plusieurs supports envisageables, constitués d'un ou plusieurs adsorbants présentant des affinités suffisantes pour que les polluants recherchés y restent adsorbés. Il est en revanche crucial de ne pas utiliser n'importe quel support pour échantillonner un polluant. Les laboratoires d'analyses sont les plus à même de conseiller les supports adaptés (i) aux polluants recherchés, (ii) aux limites de quantification à atteindre (et à expliciter par le bureau d'études), et (iii) aux méthodes analytiques, que les laboratoires utiliseront pour désorber les polluants et les quantifier. Chaque type de support possède également des paramètres de prélèvement spécifiques (débit de prélèvement maximal et volume d'air pompé maximal, notamment), qu'il convient de respecter. Les fabricants des supports et les laboratoires d'analyse sont en mesure de les fournir sur simple demande. Des recommandations ont également été mentionnées dans le cadre d'un Groupe de Travail avec les Laboratoires et dans l'Annexe 9 du Guide BRGM, INERIS, 2016 (cf. § 8.5.6) ;

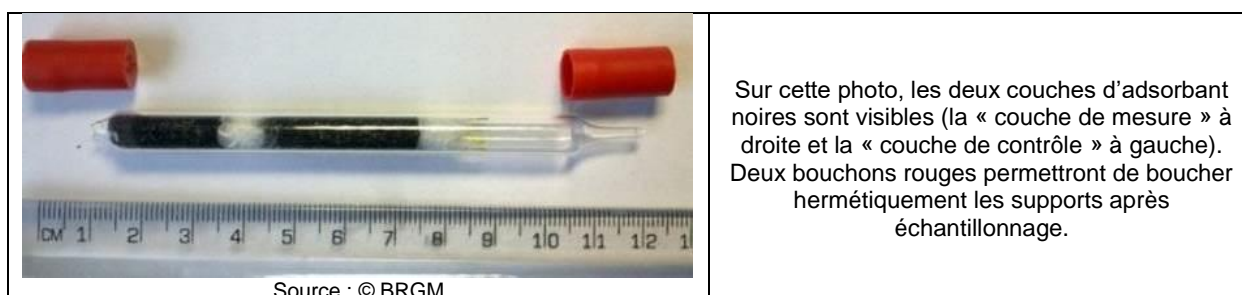


Figure 52 : Photographie d'un tube de charbon actif (source © BRGM).

- des prélèvements dits « passifs » peuvent également être réalisés. Aucun pompage n'est réalisé à travers ces supports : le piégeage des polluants se fait par diffusion et adsorption naturelles des polluants présents dans l'air, pendant une durée pouvant atteindre plusieurs jours. Si ce type de support est classiquement utilisé dans l'air intérieur, son utilisation dans la matrice « gaz de sol » relève plutôt de la R&D, à la date de publication du présent guide. Néanmoins, dans certaines études SSP, les résultats qualitatifs en masse obtenus pour les gaz du sol sont utilisés dans une approche de screening et de représentation cartographique d'une pollution. Le retour d'expérience tend à montrer que les zones de pollution délimitées par des résultats obtenus avec des prélèvements passifs comme actifs sont généralement cohérentes. Dans tous les cas (échantillonnage actif comme passif), il est capital de vérifier, auprès du laboratoire, les supports adaptés aux polluants recherchés.

À titre d'exemple, les échantillonnages passifs sont couramment réalisés pour les mesures de formaldéhyde, de benzène, de trichloroéthylène et de tétrachloroéthylène, dans le cadre de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisir ;





 <p>Source : © BRGM</p>	<p>Corps diffusif Radiello® à diffusion radiale (par la partie jaune du cylindre visible au premier plan, le corps diffusif poreux) Utilisé classiquement pour le prélèvement d'air intérieur.</p>
 <p>Source : © INERIS</p>	<p>Tube ATD (Radiello® 145 (conditionné par l'Ineris³⁹ dans un tube en acier inox sur la photographie), Chromosorb® 106/Sphero carb®, proposé par la société BEACON Environmental Service Inc.) à diffusion axiale, après retrait des écrous métalliques visibles. Utilisable en air intérieur/extérieur, comme pour les gaz du sol.</p>
 <p>Source : © INERIS</p>	<p>Supports SPG-0008® de la société Amplified Geochemical Imaging LLC (AGI)⁴⁰. La membrane blanche en PTFE hydrophobe est visible sur les deux photos. 4 cartouches d'adsorbant⁴¹ sont situées à l'intérieur de cette membrane dans toute la longueur du dispositif. Utilisable en air intérieur/extérieur, comme pour les gaz du sol.</p>
 <p>Source : INERIS</p>	<p>Support BeSure® Sampler, de la société BEACON Environmental Service Inc.⁴² Les deux supports adsorbants hydrophobes sont visibles à l'intérieur du flacon en verre. Le bouchon noir visible n'est pas hermétique et permet la diffusion des gaz à l'intérieur du flacon, qui est suspendu pendant la période d'échantillonnage. Utilisable en air intérieur/extérieur, comme pour les gaz du sol.</p>

Figure 53 : Différents types de supports pour l'échantillonnage passif.

- les dispositifs sous vide, également appelés des « canisters ». Il s'agit d'une bonbonne sous vide de volume variable, qui se remplit progressivement selon le réglage du débitmètre, pendant une durée variant en fonction de l'objectif de l'étude. Le débit de pompage est contrôlé par un débitmètre, calibré par le laboratoire avant envoi. L'un des avantages majeurs de ce type de supports de prélèvement est que l'ensemble des polluants présents dans l'air est transporté au laboratoire d'analyses dans leur matrice d'origine (l'air), sans piégeage sur un adsorbant avec les risques de pertes associées. Cela permet en outre d'analyser un plus grand panel de composés volatils. Après analyse, la bonbonne est nettoyée par le laboratoire avant d'être réutilisée ;


 <p>Source : BRGM</p>	<p>Le canister est constitué d'une sphère métallique (ici d'une contenance de 6L), surmontée par une vanne. Sur cette photo, sont également visibles au-dessus : un manomètre à aiguille, au-dessus duquel se trouve un débitmètre, le tout surmonté d'une canne de prélèvement.</p>
--	--

Figure 54 : Photographie d'un canister.

- les analyses réalisées directement sur site à l'aide de matériel portable ou de laboratoire mobile (généralement *via* des analyses de type GC-MS ou des mesures spécifiques à certains composés (mercure, ...)). Ce type de matériel est encore peu courant compte tenu de son coût et du niveau de technicité associé. Il permet néanmoins d'identifier et de quantifier sur site en continu et en temps réel les composés présents dans l'air analysé. Il pourrait être ainsi plus aisé de faire le lien entre des

³⁹ développement interne

⁴⁰ pour ce dispositif, des résultats en masse et en concentration fournis par le laboratoire du fabricant

⁴¹ adaptés en fonction de la nature des composés ciblés,

⁴² pour ce dispositif, uniquement des résultats en masse fournis par le laboratoire du fabricant

conditions de prélèvements ponctuelles et des fluctuations de concentrations mesurées. En effet, l'obtention de concentrations fournies par des laboratoires *a posteriori* (comme c'est le cas pour toutes les méthodes précédentes) peut rendre délicat la compréhension réelle des phénomènes à l'origine de la dégradation de la qualité des gaz de sol et de l'air ambiant prélevé ;

- pour certains composés, d'autres supports sont nécessaires (résine, barboteur, sac tedlar, ...).

Les résultats obtenus par ces différentes méthodes n'étant pas forcément comparables les uns aux autres, il est recommandé de ne pas changer de type de supports, ni de protocole d'échantillonnage au cours d'une même phase de projet (caractérisation de la source, surveillance, ...), sans avoir au moins réalisé des mesures synchrones avec les différents supports ou les différents protocoles, afin de pouvoir comparer les résultats.

Le Tableau 8 suivant présente les avantages et inconvénients pour trois types d'échantillonnage de gaz : actif, passif, dispositif sous vide. Pour les autres dispositifs, des précisions sont fournies dans le Guide BRGM, INERIS, 2016.

	Avantages	Inconvénients
Échantillonnage « actif »	<ul style="list-style-type: none"> - Supports très peu encombrants : logistique aisée - Coûts analytiques faibles pour les analyses standards et les supports traditionnels - Pour les tubes de charbon actif, supports à usage unique (pas de risque de contamination croisée, sauf en cas de problème sur la ligne de production) - Intervention unique sur site (bien que pouvant être longue) - Méthode de prélèvement très éprouvée 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du débit sur site - Pour les supports reconditionnés par le laboratoire (TENAX, CT300, ...), un nettoyage et contrôle par le laboratoire est nécessaire. - Sensibilité à l'humidité avec une influence potentielle sur les résultats - Compétition entre composés et avec l'humidité - Potentiellement besoin de plusieurs supports (sauf en cas de supports multicouches) (prélèvement en parallèle complexe à réaliser ou besoin d'une pompe par support) - Besoin d'au moins une pompe par point de prélèvement (léger bruit associé, gestion de la batterie...) - Sauf cas particuliers, impossibilité d'analyser <i>a posteriori</i> d'autres polluants que ceux envisagés sur les supports utilisés. - Le traitement de l'échantillon nécessite une phase d'extraction. - Risque de saturation en cas de fortes concentrations
Échantillonnage « passif »	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de pompe (pas de bruit ni de gestion d'énergie) - Encombrement très faible : logistique aisée - Mis à part les coûts analytiques associés, il est plus simple de multiplier les points de prélèvement passif - Absence de contrainte liée à l'humidité, pour certains supports (à valider au cas par cas avec le laboratoire) - Concentration mesurée lissée sur une période de temps de plusieurs jours : résultats moins influencés par des effets pépites lors du prélèvement. - Temps d'installation et de présence sur site beaucoup plus faible que pour de l'échantillonnage actif. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pour le support AGI et pour les gaz du sol, besoin de paramètres complémentaires (porosité du sol et la « teneur volumique en eau du sol ») pour convertir la masse mesurée en concentration. - Besoins de 2 interventions sur site (pose/dépose), chaque intervention étant beaucoup plus courte (hors temps de trajet) que pour des prélèvements actifs. - Encore peu répandu et REX relativement limité pour ce qui concerne les gaz de sol (c'est en revanche éprouvé pour l'air intérieur). - Le traitement de l'échantillon nécessite une phase d'extraction. - La concentration est moyennée sur une période de temps qui peut ne pas être représentative de l'exposition.
Échantillonnage par un dispositif sous vide (Canister)	<ul style="list-style-type: none"> - Autonome et silencieux - Supports peu fragiles et peu dangereux (par rapport à de petits tubes en verre en cas d'intervention dans des zones accueillant des enfants en bas âge) - Temps d'installation et de présence sur site beaucoup plus faible que pour de l'échantillonnage actif. - Grande flexibilité analytique (liste de composés pouvant être exhaustive et larges gammes de concentrations). - Absence de saturation en cas de fortes concentrations. - L'analyse se fait par injection directe et supprime une étape de manipulation complémentaire au regard des analyses issues d'échantillonnage actif ou passif comportant une phase d'extraction. 	<ul style="list-style-type: none"> - Encombrement important. - Nécessite un nettoyage rigoureux avant réutilisation. - Coûts analytiques et logistiques généralement plus élevés, bien que la démocratisation de ce type de prélèvement tende à les réduire. - Raccordement du débitmètre/détendeur et garantie de l'étanchéité du raccordement nécessitant une certaine technicité. - En cas d'air très humide (cas des gaz de sol), l'apparition de microgouttelettes pourraient influencer les résultats.

Tableau 8 : Avantages et inconvénients de trois types d'échantillonnage de gaz (actif, passif, dispositif sous vide).

8.5.4.2 Protocoles d'échantillonnage

En ce qui concerne les prélèvements « actifs », après la réalisation de la purge (uniquement dans le cas de prélèvement de gaz du sol), la ligne de prélèvement raccordant l'ouvrage au support de prélèvement et à la pompe est préparée. Pour ce faire, l'ensemble des flexibles utilisés doit être inerte et à usage unique. Le (ou les) numéro(s) de série de (des) support(s) (voire des lots) utilisé(s) est (sont) consigné(s) sur la fiche de prélèvement de chaque ouvrage.

Avant de débiter le prélèvement au débit théorique (toujours inférieur à 2 L/min et respectant les recommandations du fabricant) et pendant la durée prévue, le débit réel circulant à travers chaque support doit être mesuré sur site afin de tenir compte des pertes de charges associées à l'ensemble de la ligne de prélèvement (qu'il s'agisse de celle associée à la perméabilité du sol (pour les gaz du sol) et de celle associée au support lui-même). La mesure du débit réel sur le terrain intègre un réglage de la pompe sur le site grâce à un débitmètre (intégré ou positionné sur la ligne) avec l'ensemble de la ligne de prélèvement. La mesure du débit de la pompe en dehors de cette ligne de prélèvement (qu'il s'agisse du débit mesuré par le prestataire fournissant la pompe ou du débit mesuré par l'entreprise réalisant le prélèvement lors de la préparation de son chantier) n'est pas suffisant pour garantir la bonne maîtrise du débit. À la fin du prélèvement, ce débit sera de nouveau mesuré *a minima* et on s'assurera sur place que ce débit est compris dans l'intervalle de tolérance proposé dans le guide de caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur (10 % pour les gaz de sol et 5 % pour l'air ambiant). Si ce n'est pas le cas, le prélèvement ne peut être considéré comme représentatif et devra être renouvelé. Ces débits mesurés sont consignés sur la fiche de prélèvement. À la fin du prélèvement, le support est conditionné (cf. § 8.5.4.3).

La durée de pompage totale, voire le volume total pompé (si indiqué par la pompe) sont relevés sur la fiche de prélèvement.

Afin d'identifier toute saturation des supports qui aboutirait à une minoration des concentrations obtenues, les bonnes pratiques recommandent d'utiliser un support présentant 2 couches d'adsorbant en série, qui seront analysées. En fonction des quantités de polluants mesurées sur la deuxième couche (dite « couche de contrôle »), la représentativité de l'échantillon peut être remise en question. Lorsqu'un support ne présente pas 2 couches successives, il est recommandé de placer 2 supports en série sur la même ligne de prélèvement. Cela concerne par exemple les supports hopcalite pour la mesure du mercure. Ces deux tubes seront analysés pour vérifier la bonne représentativité du prélèvement. En revanche, la mise en série de deux supports différents, visant à rechercher des substances distinctes, est à proscrire. En effet, dans ce cas, aucune garantie ne peut être apportée sur le fait que les composés censés être adsorbés sur le deuxième support ne seraient pas adsorbés en toute ou partie sur le premier support, sur lequel seuls les composés censés y être recherchés, seront analysés. Par conséquent, sur le deuxième support, la concentration pourrait être largement minorée (voire nulle), en raison de l'adsorption de ces composés sur le premier support, sur lequel ces composés ne seront pas recherchés. Enfin, l'attention du lecteur est attirée sur l'hydrophilie plus ou moins importante de certains supports, ce qui est d'autant crucial que les gaz du sol sont un milieu présentant classiquement une forte humidité (> 90 %). Cette hydrophilie peut potentiellement engendrer l'adsorption de molécules d'eau sur le support en lieu et place de polluants qui ne seront pas quantifiés.

Afin d'assurer la représentativité des échantillons et identifier toute contamination croisée, des blancs de terrain sont recommandés, lors de la caractérisation de gaz du sol. Il s'agit de supports identiques à ceux utilisés pour l'échantillonnage des gaz du sol. Aucun pompage n'est réalisé sur ces supports mais ils sont ouverts à l'air libre dès que les supports de prélèvement sont également en contact avec l'air ambiant (lors de l'ouverture de ces supports ou de l'installation des débitmètres sur la ligne de prélèvement) puis refermés dès que les supports de prélèvement ne sont plus à l'air libre.

Les supports utilisés dans le cadre de prélèvements passifs, quant à eux, peuvent être installés (i) soit dans un trou réalisé dans une dalle, (ii) soit suspendus dans un piézair, dans le cas des prélèvements de gaz du sol⁴³, (iii) soit suspendus dans la pièce devant faire l'objet d'un prélèvement d'air intérieur (généralement au centre de celle-ci). Dans le cas de l'échantillonnage des gaz du sol, une étanchéité de surface doit être assurée, afin de ne pas diluer les concentrations en polluant avec l'air ambiant. Une fois la durée d'échantillonnage atteinte, les supports sont retirés avant d'être conditionnés (cf. § 8.5.4.3). La durée de prélèvement et le numéro de série du support sont consignés sur la fiche de prélèvement.

En ce qui concerne les « canisters », le débitmètre est fixé à l'aide d'écrous de serrage, d'un côté à la bonbonne (via le débitmètre) et de l'autre à un tuyau connecté à l'ouvrage de prélèvement (dans le cas de prélèvement de gaz du sol). L'étanchéité est assurée par des joints souples fournis par le laboratoire. À chaque instant, la dépression dans la bonbonne est visible à l'aide d'un manomètre fourni par le laboratoire et installé entre la bonbonne et le débitmètre. Une vanne permet d'ouvrir et de fermer la bonbonne. Outre la vérification de l'étanchéité de la ligne de prélèvement au niveau de son raccordement à l'ouvrage, l'étape cruciale et délicate avec ce type de prélèvement est de s'assurer de l'étanchéité parfaite au niveau des différents écrous de serrage. De plus, il convient de s'assurer avant le début du prélèvement que la dépression dans la bonbonne se situe dans l'intervalle indiqué par le laboratoire. Cela confirme donc l'absence de défaut d'étanchéité de la bonbonne pendant le transport aller. À la fin du prélèvement, le temps exact d'échantillonnage, la dépression dans la bonbonne et son numéro de série sont notés sur la fiche de prélèvement. La vanne est fermée à la fin du prélèvement avant renvoi au laboratoire. Pour ce type de prélèvement, aucun blanc de terrain n'est réalisé.

En ce qui concerne les analyses réalisées directement sur site à l'aide de matériel portatif ou de laboratoire mobile, outre les précautions liées au caractère inerte des flexibles utilisés, au fait qu'ils soient à usage unique et que l'ensemble de la ligne soit étanche, les modalités et précautions d'échantillonnage sont principalement liées au fonctionnement et au bon usage des appareils de mesure disponibles sur site (calibration, ...).

8.5.4.3 Conditionnement, blanc de transport et stockage

En ce qui concerne les prélèvements « actifs », une fois le temps de prélèvement atteint et après avoir vérifié le débit de prélèvement final, les supports sont rebouchés à leurs extrémités à l'aide de bouchons ou écrous fournis par le laboratoire et étiquetés avec un autocollant comportant au minimum : le nom de l'entreprise, le nom du projet et le nom du point de prélèvement. Il est recommandé de placer cette étiquette sur le bouchon et non sur le corps du support lui-même (risque de contamination croisée en lien avec la présence de colle et d'encre sur l'étiquette). Les supports peuvent ensuite être protégés de la lumière en les emballant, par exemple, dans du papier en aluminium. Dans ce cas, l'étiquette peut également être collée sur cet aluminium. Le ou les supports peuvent ensuite être regroupés par point de prélèvement dans des sachets hermétiques avant stockage dans des glacières. Avant renvoi par transporteur express au laboratoire (généralement sous 24h), les bonnes pratiques recommandent de préparer un blanc de transport⁴⁴ et de réfrigérer les glacières avec des pains de glace. Par conséquent, il doit être évité que les échantillons soient conservés à température ambiante dans les entrepôts des transporteurs pendant un week-end, ce qui aboutirait à une remontée de la température jusqu'à la température ambiante. Il est également recommandé de ne pas stocker, dans les mêmes glacières, des échantillons de gaz et d'air ambiant avec d'autres échantillons généralement plus pollués, comme des flacons de sol et/ou d'eau souterraine.

⁴³ Comme indiqué dans le § 8.5.1, ce type de prélèvement appliqué à la caractérisation des gaz du sol relève plutôt de la R&D, à la date de rédaction de ce document (2022).

⁴⁴ Il s'agit de prendre un exemplaire neuf de chaque type de support utilisé, de les ouvrir puis de les refermer sans réaliser le moindre pompage et enfin de les conditionner de la même façon que les autres supports dans la glacière. Ils permettront ainsi de garantir l'absence de contamination pendant le transport.

En ce qui concerne les prélèvements « passifs », la nécessité de les conditionner en atmosphère réfrigérée dépend du type de supports utilisés. Il est recommandé de vérifier auprès du laboratoire les modalités à respecter. Les bonnes pratiques recommandent de placer un blanc de transport conditionné de la même manière que les autres échantillons.

En ce qui concerne les « canisters », compte tenu des contraintes logistiques associées et des gammes d'utilisation envisageables, il n'est généralement pas possible de maintenir ces canisters dans une atmosphère réfrigérée. En revanche, on évitera de les laisser en plein soleil. Enfin, les bonnes pratiques recommandent de conserver un canister non utilisé pour l'utiliser en tant que blanc de transport.

8.5.5 Retours d'expérience

8.5.5.1 Écueils à éviter lors des échantillonnage multi-lignes

Dans le cas des échantillonnages sur support actif, compte-tenu de la nécessité de mesurer et maîtriser précisément les débits circulant par ligne de prélèvement, il est fortement recommandé de prévoir 1 pompe par support de prélèvement. Ainsi, les dispositifs et les montages présentant des lignes de prélèvement parallèles (c'est-à-dire : plusieurs supports prélevés de manière synchrone à l'aide d'une seule pompe) rendent complexe et chronophage le réglage des débits. En effet, chaque modification du débit circulant dans une ligne de prélèvement (à l'aide de vanne de régulation) va mécaniquement modifier le débit circulant dans les autres lignes de prélèvement qui devront donc être vérifiées à nouveau de manière itérative.

Si des montages en parallèle sont malgré tout réalisés, il est capital que des dispositifs de réglage de flux soient présents sur chaque ligne. En effet, en l'absence de ces dispositifs et en fonction de la perte de charge associée à chaque support, le débit réel circulant dans chaque voie ne sera pas précisément maîtrisé, l'air privilégiant la ligne présentant la perte de charge la plus faible.

Par ailleurs, pour des problématiques d'intrusions de vapeurs, il peut être parfois intéressant de mesurer des flux de polluants volatils et non pas uniquement une concentration présente sous une dalle. Pour cela, des chambres à flux peuvent être utilisées. Il s'agit généralement d'une cloche hermétiquement fixée au sol dans laquelle des analyses en temps réel (généralement, PID ou analyseur en ligne) sont réalisées. Compte tenu de la connaissance de la surface interceptée par la chambre, le flux peut être déduit. Cette méthode est actuellement relativement peu répandue et sinon pour du screening.

8.5.5.2 Gestion de l'humidité au niveau des gaz du sol

La présence importante d'humidité peut engendrer de la condensation sur les parois internes du flexible reliant le support au point de prélèvement ainsi que dans le support. L'influence de cette humidité sur les résultats obtenus est mal connue mais peut minorer les concentrations obtenues. Ce phénomène se produira principalement en hiver compte tenu de la forte différence de température entre les gaz du sol et l'air ambiant. Il peut être envisagé de réduire la longueur du tuyau ou de diminuer le temps de prélèvement pour réduire les risques de condensation. Dans ce dernier cas, on prendra garde à ce que la LQ obtenue reste compatible avec les objectifs de l'étude. Des filtres anti-humidité, placés en amont des supports, existent. Leur influence sur les résultats n'a été que peu étudiée.



Citons néanmoins l'existence de deux études (TEMPAIR (2016) et EFEMAIR (2018)), dont les résultats montrent des écarts faibles entre concentrations avec et sans filtres anti-humidité dans les conditions d'expérimentation avec des charbons actifs, respectivement pour le PCE/TCE (pour des volumes prélevés compris entre 3 et 20 L à des débits de 0,01 à 0,4 L/min et pour des gammes de concentrations comprises entre 5 et 250 mg/m³ et 0,2 à 1,3 mg/m³) et les hydrocarbures aliphatiques (C4-C12) (pour des volumes compris entre 5 et 15 L et pour des concentrations comprises entre 500 et 46 000 mg/m³).

- Etude EFEMAIR disponible sur <https://www.ginger-burgeap.com/wp-content/uploads/2018/10/EFEMAIR-Livable-Axe2-GdS-competition.pdf>

Si ces deux études citées ne montrent pas un intérêt significatif à utiliser des filtres anti-humidité lors du prélèvement de gaz de sol, la seconde a également permis de mettre en évidence que leur usage n'est pas recommandé pour les hydrocarbures pétroliers présentant de fortes teneurs en hydrocarbures légers (<C7) (compétition d'adsorption entre les molécules hydrocarbonées identifiées pour des masses importantes), conduisant à recommander de dimensionner les prélèvements de manière à ce que les masses de vapeurs d'eau et de polluants soient inférieures à la capacité totale d'adsorption des supports.

8.5.5.3 Quelques exemples illustrant l'importance d'un diagnostic le plus exhaustif possible

Comme pour les autres milieux, les mesures de qualité de l'air dans un contexte de sites et sols pollués impliquent *a minima* le recours à des mesures (idéalement simultanées) dans les gaz du sol, l'air ambiant (intérieur et extérieur) en incluant des témoins. Cela est indispensable pour permettre une bonne interprétation des résultats. De plus, compte tenu de l'influence importante d'une multitude de paramètres sur la qualité de l'air intérieur, une étude la plus exhaustive possible de l'environnement de la pièce échantillonnée doit être réalisée lors de son prélèvement, qu'il s'agisse par exemple, de son mode de chauffage, de sa ventilation, de son aération, de son usage/occupation, de la présence de stockages, d'activités ou de matériaux susceptibles de relarguer des composés volatils, ...

Par exemple, lorsque la problématique porte sur les BTEX, plusieurs facteurs d'influence sont bien connus :

On peut citer le tabagisme des occupants des logements, la présence d'un garage accessible depuis le logement, certains systèmes de chauffage, ou encore le stockage d'équipements et de produits chimiques.

Des exemples plus singuliers peuvent être cités comme le cas d'un établissement scolaire présentant dans l'air de ses locaux des concentrations significatives en lindane. Cet établissement est implanté à proximité d'un ancien site de traitement de charpente où ce composé a été utilisé. Néanmoins, les analyses de pesticides dans les eaux souterraines, les sols, les gaz sous dalle, l'air extérieur et intérieur du bâtiment, tant au rez-de-chaussée que dans les étages, ont permis de mettre en lumière une absence de contamination des matrices de transfert depuis l'ancien site industriel.

En revanche, une augmentation des concentrations en lindane a été mise en évidence à mesure que l'on montait dans les étages, jusqu'à atteindre leur maximum dans le grenier. Cela a été corroboré avec les éléments retrouvés par le gestionnaire de l'établissement stipulant un traitement de charpente 15 ans auparavant.

De manière analogue, il peut être fait mention du **cas d'une pollution des sols par des solvants chlorés qui a cheminé par les réseaux d'assainissement d'un quartier**. Les effets ont été mesurés jusqu'aux collecteurs d'évacuation des eaux usées des habitations riveraines. Dans ce dossier, le constat le plus surprenant fut la

mise en évidence d'une pollution en COHV sous les combles d'un des immeubles, alors qu'elle était inexistante dans les étages inférieurs. Après analyse de la situation, il a été identifié que les gaz ont transité par la colonne montante des eaux usées de la résidence. Cette colonne montante permet d'éviter que les mauvaises odeurs liées aux eaux usées ne remontent dans l'appartement du dernier étage. Les bonnes pratiques veulent que cette colonne débouche au-dessus de la toiture (et non dans les combles), ce qui n'était pas le cas dans cet immeuble.

Ces exemples illustrent l'importance de mener les diagnostics à travers une analyse globale pour comprendre le fonctionnement d'un système dans son ensemble et élaborer le schéma conceptuel et proposer des solutions adaptées. Dans le cas de ces deux dossiers, des contrôles de qualité de l'air dans les seules pièces fréquentées du rez-de-chaussée auraient pu conduire à des mauvaises hypothèses et donc à des moyens d'action inadaptés voire inexistantes. Les économies réalisées avec un diagnostic réduit peuvent facilement se traduire par des surcoûts importants, des pertes de temps et naturellement aussi de confiance des parties prenantes.

8.5.5.4 La particularité des ERP⁴⁵

En matière de qualité de l'air intérieur, les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et de loisirs font l'objet d'une surveillance périodique spécifique, dans le cadre du dispositif réglementaire 2018-2023. Les polluants réglementés sont : le benzène, le formaldéhyde et le dioxyde de carbone, en tant qu'indicateur de confinement (décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012), ainsi que le perchloroéthylène (PCE) dans les établissements situés à proximité immédiate d'une installation de nettoyage à sec utilisant ce composé chimique (décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015).



[Guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant les enfants \(Guide « MTEs et MSS⁴⁶, 2019 »\) :](#)

Document disponible sur <https://www.oqai.fr/fr/media/brochures-et-guides/qai-guide-pratique-2019>

Ce document rappelle les principes associés à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les crèches et les établissements scolaires. Ce dispositif repose d'une part sur l'évaluation obligatoire des moyens d'aération de l'établissement tous les 7 ans, et d'autre part, sur la mise en œuvre d'un programme d'actions de prévention de la qualité de l'air intérieur conformément au guide précité.

Ce guide destiné aux intervenants dans ces établissements vise à identifier rapidement les actions pouvant être mises en œuvre pour améliorer la qualité de l'air intérieur via des grilles d'auto-bilan des pratiques observées et d'identification préliminaire des sources potentielles présentes dans ou autour de l'établissement.

Au regard des objectifs associés au dispositif réglementaire de surveillance de la qualité de l'air intérieur des lieux accueillant des enfants et des adolescents, qui ciblent certaines sources potentielles susceptibles de dégrader la qualité de l'air intérieur, notamment liées au benzène, formaldéhyde et perchloroéthylène, la stratégie de mesures mise en place n'est pas spécifique aux pollutions issues des sols. Ainsi, elle doit dans ce cas être adaptée en particulier en termes de substances à rechercher ou complétée par la caractérisation des gaz du sol pour identifier des transferts potentiels en provenance du sous-sol et de discriminer le cas

⁴⁵ ERP : Établissement Recevant du Public

⁴⁶ Ministère des Solidarités et de la Santé

échéant, les sources intérieures et extérieures. Enfin, des évolutions de ce dispositif réglementaire pourraient être décidées dans le cadre du Plan national Santé-Environnement 4.

8.5.5.5 La particularité des logements et locaux ouverts au public en lien avec les recommandations du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP)

Depuis 2009, plusieurs polluants disposent de valeurs repères d'aide à la gestion proposées par le HCSP : formaldéhyde, tétrachloroéthylène, trichloroéthylène, naphtalène. Cela concerne les logements mais aussi les locaux ouverts au public. Ces valeurs sont destinées à protéger les occupants et les usagers. Représentatives d'une concentration moyenne d'exposition, les mesures sont généralement réalisées à l'aide de prélèvements passifs dont la durée d'exposition est de 7 jours (pratiques dans les études citées dans les avis du HCSP). Hormis le formaldéhyde, substance utilisée dans la fabrication de résines et dont la présence dans l'air intérieur est généralement liée aux matériaux d'aménagement intérieur, les autres polluants peuvent être liés à une source de pollution des sols associée aux activités industrielles actuelles ou passées.

Des spécificités sont à noter en termes de stratégie et de surveillance de la qualité de l'air :

- pour les mesures de PCE dans les logements, le HCSP recommande de vérifier la qualité de l'air dans tous les logements concernés et pas uniquement sur un échantillon représentatif. Cette surveillance s'inscrit dans des contextes d'activités de type « pressings » mais aussi lorsque la source sol contient ce polluant (voir la clause § 9.2 de l'avis du HCSP) ;
- une surveillance de la qualité de l'air dans les bâtiments neufs ou rénovés⁴⁷ recevant du public est recommandée pour le formaldéhyde, le naphtalène et le trichloroéthylène (voir la clause 8.5 ou 8.6 dans les avis du HCSP), dès lors qu'ils sont situés à proximité d'une source de pollution. Le HCSP préconise que ces mesures aient un caractère obligatoire pour les propriétaires de bâtiments accueillant du public ou pour les propriétaires bailleurs de logements, et que ces mesures soient recommandées pour les propriétaires occupants.

8.5.6 Documentation technique de référence pour le milieu gaz du sol et air ambiant intérieur et l'air extérieur

Les normes et textes en vigueur :

- Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public ;
- Décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public ;
- ISO 18400-204 : Qualité du sol — Échantillonnage — Partie 204: Lignes directrices pour l'échantillonnage des gaz de sol ;
- NF X43-022 : Echantillonnage - Préparation des échantillons avant analyses ;
- NF EN ISO 16000-32. Air intérieur - Investigation sur la présence de polluants dans les bâtiments ;
- NF ISO 16000-34 : Air intérieur - Stratégie pour la mesure des particules en suspension ;

⁴⁷ Opération de rénovation de grande ampleur

- NF EN ISO 13137. Air des lieux de travail - Pompes pour l'échantillonnage individuel des agents chimiques et biologiques - Exigences et méthodes d'essai.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Guide LCSQA - Ineris, 2012, Guide d'application pour la surveillance du formaldéhyde et du benzène dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs.
- Rapport BRGM, 2013. Analyse des gaz du sol, de l'air intérieur et extérieur en contexte sites et sols pollués. Synthèse des réunions du Groupe de Travail des Laboratoires, 2013.
- Guide BRGM, INERIS, 2016 : Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines (RP-65870-FR et INERIS-DRC-16-156183-01401A, 2016).
- Guide MTES et MSS, 2019 : Guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants et adolescents, élaboré avec l'appui de l'INERIS.

Les autres documents relatifs à des projets de recherche :

- Traverse S., Schäfer G., Chastanet J., Hulot C., Perronnet K., Collignan B., Cotel S., Marcoux M., Côme J.M., Correa J, Gay G, Quintard M, Pepin L., Projet FLUXOBAT, Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur. Guide méthodologique. Novembre 2013. 257 pp + annexes.
- Projet ADEME, novembre 2017. BATICOV - Mesures constructives vis-à-vis des pollutions volatiles du sol, de la programmation à l'exploitation des bâtiments - APR GESIPOL 2014.
- Traverse S., Dorffer L., Esrael D., Côme J.M. (2018). Projet EFEMAIR. Axe 2-Evaluation des concentrations en hydrocarbures aliphatiques dans les gaz du sol. Influence de l'humidité relative et compétition d'adsorption entre hydrocarbures. Collection expertise ADEME. Mai 2018. 35 pp.

8.6 Les investigations sur les poussières

Les investigations sur les poussières sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 (Prestation A240 « Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.6.5.

8.6.1 Généralités

8.6.1.1 Définitions

Les poussières constituent un mélange complexe de particules organiques ou minérales pouvant être d'origine naturelle ou anthropique.

Le terme « poussières » peut désigner des milieux différents :

- les poussières **sédimentées** dans les environnements intérieurs (« poussière de maison ») ou extérieurs ;
- les poussières en **suspension** dans l'air extérieur et intérieur ;
- les poussières **sédimentables** (ou dépôts atmosphériques) dans les environnements extérieurs.

La **poussière sédimentée** dans les environnements intérieurs est définie comme tout type de particules déposées sur les surfaces (sol, meubles, etc.) dans les environnements intérieurs, quelles qu'en soient l'origine (naturelle/synthétique, extérieure/intérieure) et la nature (inorganique/organique) (Anses, 2020).

La poussière sédimentée dans les environnements extérieurs est définie comme tout type de particules déposées sur des surfaces en extérieur présentant « une forte cohésion et liées par un liant (ex : terrasse, balcon, trottoir, voirie, bétons, goudrons, revêtements caoutchoutés...) constitués d'un matériau artificiel inerte et dur » (HCSP, 2021).

Par opposition aux poussières sédimentées, on distingue deux catégories de poussières atmosphériques, les **poussières sédimentables** et les **poussières en suspension**.

La première catégorie de poussières, du fait de leurs dimensions et densités, ne reste en suspension dans l'air qu'au voisinage des sources d'émission et retombe rapidement en périphérie sous forme de poussières sédimentables. La seconde catégorie de poussières, constituée de particules de plus petite taille, reste en suspension dans l'air en se déplaçant avec les masses d'air ou dans l'air intérieur des habitations. Afin de mieux les définir, au terme « particule » ou « particulate matter », est ajouté généralement sa granulométrie qui est déterminante pour les effets sur la santé⁴⁸. Le code de l'environnement (article R221-1) distingue :

- les particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique (ou diamètre aéraulique) est inférieur à 10 micromètres (PM10) ;
- les particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 micromètres (PM2,5).

⁴⁸ Les particules les plus grosses (taille supérieure à 10 µm) sont retenues par les voies aériennes supérieures, tandis que les particules de taille intermédiaire (de 2,5 à 10 µm) atteignent la trachée et les bronches. Seules les particules les plus fines (taille inférieure à 2,5 µm PM2,5) pénètrent les ramifications des voies respiratoires. Elles sont les plus néfastes car elles ont une forte probabilité de se déposer dans les alvéoles pulmonaires et d'y rester durablement (Source : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/les-particules-en-suspension-poussieres-r1142.html>).

Les poussières sédimentables quant à elles comprennent majoritairement des particules de plus grande taille. Le réenvol de poussières sédimentables est possible, sa fraction fine pouvant, si elle est remobilisée, redevenir des poussières en suspension.

8.6.1.2 Investigation des poussières en contexte Sites et Sols Pollués

Le schéma conceptuel ci-dessous permet de resituer l'investigation de chaque type de poussières dans son contexte.

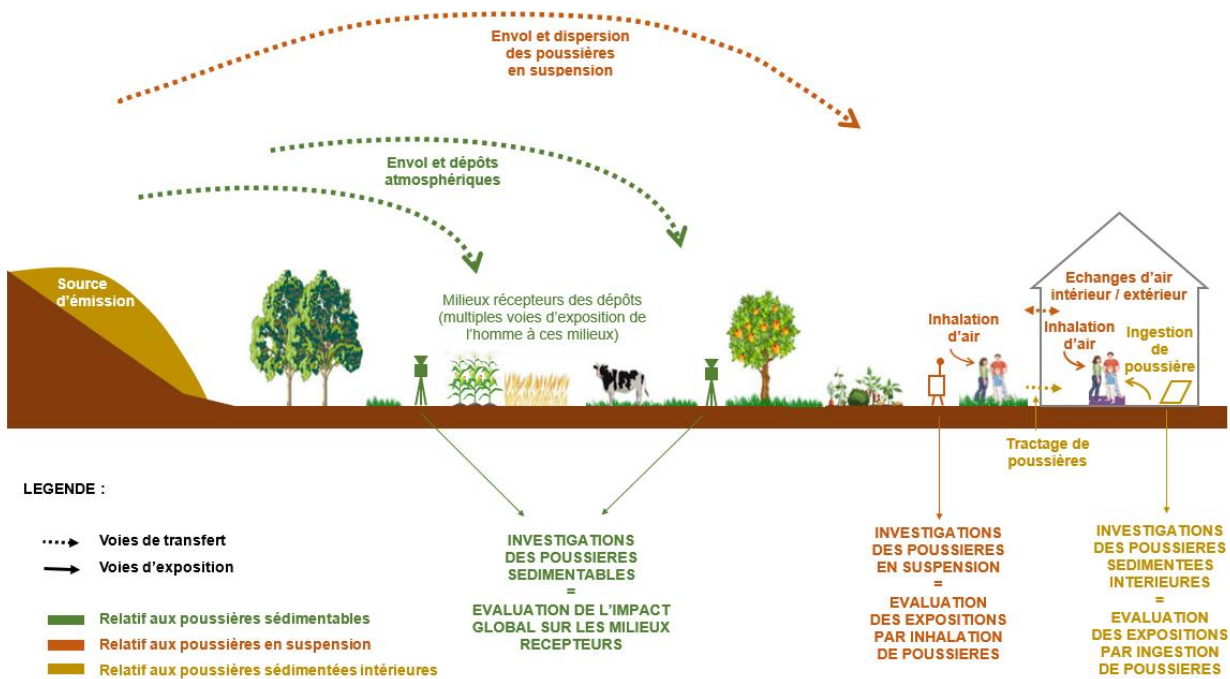


Figure 55 : Figure permettant de visualiser les contextes d'investigations de chaque type de poussières (source BRGM).

L'investigation des **poussières sédimentées intérieures ou extérieures** permet d'évaluer les **expositions par ingestion** (l'état des connaissances actuel ne permet pas d'évaluer les expositions par contact cutané). En ce qui concerne les poussières extérieures, il n'existe pas à l'heure actuelle de protocole d'échantillonnage et d'analyse des poussières sédimentées sur les sols durs en extérieur permettant une évaluation des expositions par ingestion⁴⁹. Le présent guide se focalise donc par la suite sur les poussières intérieures sédimentées. Dans le domaine des sites et sols pollués, l'investigation de ce milieu trouve son intérêt dans des contextes d'IEM.

On peut plus particulièrement recourir à la mesure des poussières sédimentées dans les situations caractérisées par l'existence de bâtiments régulièrement fréquentés par des enfants (i.e. logements, crèches, écoles, etc.), lorsque les sols superficiels jouxtant le bâtiment sont pollués par des composés non volatils ou des semi-volatils (SVOC) et que la voie de transfert par tractage de particules de sol superficiel (du fait des allées-venues régulières entre l'extérieur et l'intérieur) apparaît pertinente (i.e. : le bâtiment est de plain-pied). À titre d'exemple, ces conditions sont réunies sur d'anciens sites miniers lorsque des

⁴⁹ En l'état des connaissances, l'évaluation des expositions aux poussières sédimentées en extérieur nécessite des résultats exprimés en µg de polluant / kg de poussière. Or les techniques actuellement mises en œuvre pour échantillonner ce milieu (lingettes) fournissent des résultats en µg polluant / m² de surface. Des développements soit en termes métrologiques soit en termes de gestion des résultats sont donc nécessaires afin de permettre la prise en compte effective de ce milieu dans l'évaluation de l'exposition des populations.

À noter que l'Anses dans son avis relatif à « la contamination d'espaces publics extérieurs par le plomb » (2020) souligne la pertinence de considérer les poussières déposées sur les surfaces d'espaces publics extérieurs comme source d'exposition et propose des recommandations pour y parvenir.

habitations sont construites sur d'anciens résidus ou stériles minéralisés. Dans ce cas, l'investigation des poussières sédimentées intérieures permet d'affiner l'évaluation des risques sanitaires qui serait conduite sur la seule base des teneurs dans les sols. Elle permet également de renforcer les recommandations de ménage humide des habitations auprès des occupants, lesquelles restent peu crédibles en l'absence de mesure sur ce milieu. Autre situation typique pouvant justifier l'investigation des poussières intérieures sédimentées : le cas où un ancien bâtiment industriel dont les procédés généraient des poussières chargées en composés non ou semi-volatils a été reconverti en local habituellement fréquenté par les enfants, sans modification de sa structure ou sans précaution vis-à-vis des poussières historiques. Par ailleurs, l'investigation de ce milieu peut s'avérer justifiée dans des bâtiments habituellement fréquentés par les enfants situés à proximité de sources émissives de poussières contaminées par des composés non ou semi-volatils en cas de suspicion de transferts atmosphériques via les ouvertures (fenêtres, portes, voire ventilation) du bâtiment.

L'investigation des **poussières en suspension** dans l'air permet d'évaluer les expositions par inhalation.

Dans le domaine des SSP, l'investigation de ce milieu peut intervenir dans des contextes d'IEM pour évaluer les impacts sanitaires pour des populations riveraines d'émissions de poussières atmosphériques fines issues, par exemple, d'un dépôt de matériaux fins contaminés, d'un terril ou d'une verse de résidus miniers, de bâtiments ou structures industriels présentant des accumulations de poussières sédimentées fortement contaminées et exposées au vent.

Il peut également être envisagé d'investiguer ce milieu en phase travaux d'un chantier de dépollution émetteur de poussières (excavation de matériaux fins et pulvérulents par exemple), dans le but de contrôler ses émissions. L'objectif est alors de vérifier l'efficacité et le cas échéant d'ajuster les procédures de chantier (asservissement d'un système d'aspersion sur un suivi en continu des PM10 dans le cas de chantier ponctuel par exemple) en vue de limiter l'exposition des travailleurs voire des populations riveraines.

L'investigation des **poussières sédimentables** permet d'obtenir une mesure en amont de l'ensemble des matrices environnementales intégratrices sur lesquelles elles sont susceptibles de se déposer (sols de surface, végétaux, eaux de surface). Ces techniques ne permettent donc pas la détermination des concentrations accumulées dans ces matrices, mais elles peuvent expliquer des pollutions constatées (par exemple dans des légumes feuilles). Elles ne sont pas adaptées pour caractériser des milieux d'exposition et a fortiori évaluer des risques sanitaires dans le cadre de l'IEM. Les résultats s'expriment en flux de dépôts ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$).

En revanche, les techniques d'investigation des poussières sédimentables sont largement utilisées dans les SSP en surveillance d'une ou plusieurs sources potentielles d'émission de poussières (dépôts de matériaux fins pollués par exemple), à proximité immédiate de ces dernières. Elles peuvent ainsi par exemple aider à identifier une source d'émission de type terril et permettre de motiver une action d'aménagement (végétalisation, confinement...). Elles sont également utilisées en suivi de chantier de dépollution. Elles permettent d'apprécier un impact de manière globale par comparaison avec des zones témoins et données bibliographiques de fond, ainsi que par intercomparaison de résultats relatifs à des points de prélèvement différents sur une même période ou relatifs à des périodes différentes sur un même point.

À noter également que l'investigation des poussières sédimentées repose sur la réalisation de prélèvements à un instant donné, alors que l'investigation des poussières en suspension et des poussières sédimentables implique des prélèvements en continu sur une durée définie.

De manière générale, une attention particulière devra être portée sur la représentativité et la qualité des prélèvements des échantillons témoins.

8.6.2 Les investigations sur les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs

8.6.2.1 Stratégie d'investigation

L'investigation des poussières sédimentées intérieures a pour objectif principal d'évaluer l'exposition des populations et plus particulièrement des enfants fréquentant les locaux concernés. **Les prélèvements sont donc généralement réalisés dans les lieux les plus fréquentés par les enfants et précisément sur les surfaces qu'ils touchent ou mettent à la bouche.** En second lieu, elle peut permettre de tester/vérifier des hypothèses sur les sources contribuant à la contamination des poussières intérieures.

Les sols pollués ne sont toutefois pas les seuls contributeurs à la présence de contaminants dans les poussières sédimentées intérieures. L'évaluation de l'influence des sols pollués sur la qualité des poussières intérieures peut ainsi être rendue difficile du fait de contributions internes aux bâtiments venant interférer le diagnostic. Parmi ces facteurs de confusion, on peut notamment citer pour le plomb les peintures dans les bâtiments antérieurs à 1975 (et a fortiori avant 1949), pour les phtalates les revêtements en linoléum, etc. Le Tableau 9 liste ainsi les principales sources des substances fréquemment mesurées dans les poussières intérieures (Anses, 2020).

Familles de substances chimiques	Sources							
	Tapis, textiles et vêtements	Produits électroniques	Mobilier	Matériaux de construction et revêtement au sol	Produits d'entretien et de nettoyage	Produit d'entretien corporel et cosmétiques	Chauffage et cuisine	Extérieur
Retardateurs de flammes	X	X	X	X	X			
PFAS	X	X	X	X	X	X		
PCB	X	X		X				X
HAP				X			X	X
Pesticides	X							X
Muscs					X	X		
Parabènes					X	X		
Phtalates		X	X	X	X			
Métaux/métalloïdes				X			X	X

Tableau 9 : Principales sources des substances ou familles de substances chimiques retrouvées dans la poussière (Anses, 2020).

Ces interférences possibles dans le diagnostic de l'influence liée aux sols pollués sont à prendre en considération lors de l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage.

La recherche d'hypothèses sur l'origine des poussières contaminées peut conduire à échantillonner des lieux peu voire pas fréquentés par les enfants. Dans ce cadre, des lieux peu fréquentés mais accueillant des activités suspectées d'être à l'origine de la contamination des poussières (placards à chaussures, rebords de fenêtre, etc.) pourront faire l'objet de prélèvements. Des mesures par fluorescence X portable (pXRF ; cf. § 9.2) directement sur les murs pourront également apporter des éléments de compréhension globale de la situation (par exemple, murs constitués de stériles miniers, présence de peinture au plomb, etc.).

8.6.2.2 Techniques d'échantillonnage

S'agissant d'évaluer les expositions et les risques, il convient en premier lieu d'échantillonner les surfaces où la population est le plus en contact avec la poussière (par exemple : sol des lieux préférentiels de jeux des enfants). Dans la mesure du possible, **le prélèvement doit être réalisé dans des conditions représentatives de l'utilisation et de l'entretien habituels des lieux.**

Parmi les techniques d'échantillonnage les plus usuelles, on distingue deux familles : les techniques **par aspiration** et les techniques **par essuyage avec une lingette**. Le recours à chacune de ces deux méthodes peut être pertinent dans le contexte de la gestion des sites et sols pollués.

Dans tous les cas, le port de gants et sur-chaussures par les intervenants est préconisé afin d'éviter toute contamination croisée.

a. Technique par aspiration

En l'état des connaissances sur les modèles d'évaluation des expositions par ingestion de poussières, il est nécessaire d'acquérir des données de contamination exprimées en μg -polluant/g-poussières pour pouvoir les intégrer dans une évaluation des risques sanitaires (ERS). En effet, bien qu'elles ne soient pas spécifiques au contexte français, le recours aux valeurs existantes en termes de masse de poussières ingérée par jour constitue la meilleure manière d'évaluer les risques par ingestion de poussières. En conséquence, dans la mesure où la finalité de l'investigation de ce milieu est l'évaluation des expositions, les **méthodes par aspiration, permettant d'obtenir des résultats en $\mu\text{g}/\text{g}$ compatibles avec l'ERS, sont à privilégier.**

Une méthode américaine normalisée (ASTM 5438, 2017) existe pour l'aspirateur dédié HVS3 (High volume small surface sampler). Toutefois, cette technique est peu mise en œuvre en France. Lorsqu'il est nécessaire de réaliser un grand nombre de prélèvements dans des logements différents, l'**aspirateur domestique** (avec ou sans sac) apparaît une alternative raisonnable au système HVS3. Cette méthode, peu coûteuse et moins contraignante, permet d'échantillonner les poussières sur tout type de surface, les surfaces lisses (carrelage, linoléum) comme les moquettes ou tapis.

L'aspiration est réalisée en priorité au droit des zones les plus fréquentées (activité, temps de présence).

Le prélèvement est ensuite réalisé dans le bac ou le sac de l'aspirateur.

Lors d'une même campagne, une harmonisation des méthodes (surfaces échantillonnées, types d'aspirateurs, sacs, etc.) est à rechercher afin de permettre une intercomparaison des résultats. Selon l'objectif de l'étude, il conviendra d'employer un aspirateur par maison ou par pièce.

Cette méthode permet de détecter et quantifier les teneurs en $\mu\text{g}/\text{g}$ des composés inorganiques et organiques semi- ou non volatils dans les poussières sédimentées. Il est recommandé de mesurer la surface aspirée, afin de disposer en parallèle de résultats exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

Il convient cependant de vérifier que les composés recherchés ne sont ni adsorbés, ni relargués par l'aspirateur utilisé (ex : phtalates, retardateurs de flammes...). À noter que pour l'étude des composés organiques des têtes d'aspiration spéciales ont été développées afin de minimiser les contacts possibles entre les poussières et le corps (voire le tube) de l'aspirateur le plus souvent en plastique.

La principale limite à l'utilisation d'aspirateurs domestiques porte sur les filtres et leur capacité à retenir les particules les plus fines. L'importance des pertes des particules les plus fines est certainement variable en fonction des appareils et n'a pas été évaluée à ce jour.

En vue d'une évaluation des risques sanitaires, il est recommandé un tamisage au laboratoire à 250 μm des échantillons collectés (sans broyage préalable) préalablement à l'analyse, pour obtenir la fraction représentative de l'exposition par ingestion (dans l'attente de nouveaux éléments concernant la fraction granulométrique la plus pertinente pour l'évaluation de l'exposition) (Anses, 2020).

b. Technique par essuyage avec une lingette

Les méthodes par essuyage au moyen d'une lingette, fournissant des résultats exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^2$, ne permettent pas, en l'état des modèles d'évaluation des expositions actuellement disponibles, de réaliser une évaluation des risques sanitaires. Leur utilisation reste cependant pertinente dans le domaine des sites et sols pollués. En effet, dans des contextes d'IEM, sans aller jusqu'à l'ERS, elles peuvent permettre de statuer sur l'existence d'une éventuelle dégradation de la qualité des poussières intérieures en lien avec un site pollué, par la comparaison à des référentiels nationaux existants ou à venir, ainsi que par l'analyse des signatures chimiques et la comparaison des concentrations mesurées dans les poussières d'habitations situées de la zone d'étude avec celles représentatives de l'environnement local témoin. De plus, dans le cas du plomb, le HCSP a défini une valeur de référence exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2$ de plomb total (HCSP, 2014) permettant d'apporter une interprétation sanitaire aux résultats obtenus au moyen de prélèvements effectués au moyen de lingettes.

Il est préconisé la réalisation de prélèvements dans les pièces fréquentées par la population.

Il est recommandé d'effectuer le prélèvement des poussières sédimentées à l'aide d'une **lingette humide neuve** sur une **surface délimitée au moyen d'un gabarit**, positionné au droit de la zone la plus fréquentée par la (ou les) cible(s), ou à défaut au centre de la pièce (cf. Figure 56). Plusieurs techniques d'essuyage existent. Lors d'une même campagne, il est essentiel que tous les prélèvements soient effectués selon une méthode identique (même technique d'essuyage, gabarit de taille identique, même marque de lingettes).

Les recommandations faites dans le cadre du Guide INERIS, 2023, sur la stratégie de prélèvements et d'analyses à réaliser suite à un accident technologique – cas de l'incendie, dont l'objectif premier est d'obtenir la signature chimique de l'accident technologique, sont transposables au contexte SSP. Ce guide précise le protocole de prélèvement et les écueils à éviter. Ce guide est disponible sur le site : <https://www.ineris.fr/fr/guide-strategie-prelevements-analyses-realiser-suite-accident-technologique-cas-incendie>.

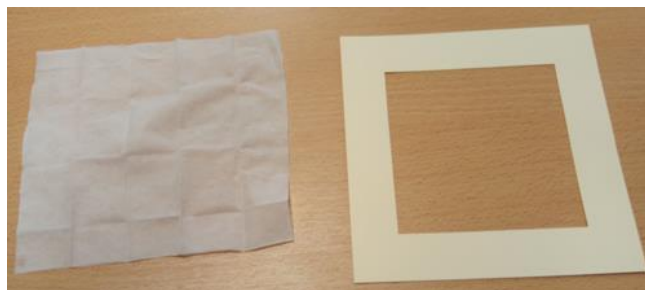


Figure 56 : Exemple de lingette et gabarit utilisés pour le prélèvement de poussières sédimentées intérieures.

Lors d'une campagne d'échantillonnage, pour chaque prélèvement, un nouveau gabarit et une nouvelle lingette sont utilisés.

Si dans une même pièce, des revêtements de natures différentes sont présents et que les contacts sont avérés avec chacun d'entre eux, il conviendra d'effectuer un prélèvement sur chaque type de revêtement **en privilégiant les lingettes pour les surfaces lisses et le recours à d'autres méthodes (type aspiration) sur les surfaces non lisses telles que tapis, moquette**. Préalablement à l'échantillonnage, il conviendra de s'assurer de l'absence d'élément grossier sur la surface à prélever.

À noter que, dans le cadre des enquêtes environnementales liées au saturnisme infantile, Santé Publique France recommande de prélever un minimum de 3 échantillons par logement, même si ce dernier est de petite taille et présente des sols de nature homogène (Guide Santé Publique France, 2020).

Au sein d'une habitation reconnue impactée, la réalisation de plusieurs prélèvements par lingettes en différents endroits judicieusement sélectionnés peut également permettre d'identifier l'origine d'une contamination et de définir des actions correctives adaptées.

Des blancs de terrain et de laboratoire (1 par lot) devront également être réalisés.

Le dispositif réglementaire de prévention et lutte contre le saturnisme infantile impose, si l'investigation des poussières sédimentées s'inscrit dans ce contexte, la réalisation de prélèvements conformes à la norme NF X 46-032 (2008). Des recommandations complémentaires d'échantillonnage figurent dans les rapports SPF (2020) et HCSP (2021). Cette méthode permet l'obtention de résultats exprimés en microgramme de plomb acido-soluble par m². Les valeurs de référence sur les poussières intérieures figurant dans l'avis du HCSP (2014) étant exprimées en microgramme de plomb total par m², un facteur correctif est à appliquer au résultat en vue de sa comparaison aux valeurs du HCSP (HCSP, 2021).

Il conviendra d'accompagner le prélèvement de poussières d'un **relevé d'informations sur l'environnement et les conditions de prélèvement**, qui sera utile pour l'interprétation des résultats ou pour l'évaluation des risques.

Parmi les éléments à renseigner sur la fiche de prélèvement figurent :

- la superficie de la (ou des) pièce(s) échantillonnée(s) ;
- la nature des surfaces dans la (ou les) pièces(s) : revêtement au sol et mural, présence et surface des tapis, type de mur (pierres apparentes / joints avec matériaux locaux potentiellement chargés en métaux) ;
- la position de la pièce (ou des pièces) échantillonnée(s) par rapport aux portes d'accès donnant sur l'extérieur ;
- le nombre de fenêtres et la fréquence d'aération ;
- la fréquence de nettoyage des sols, les produits ménagers utilisés et la date du dernier ménage ;
- l'usage de la (des) pièce(s) échantillonnée(s) ;
- le nombre de personnes fréquentant la (ou les) pièce(s) en moyenne, le taux de fréquentation (par jour, par an) ;
- le profil des usagers, position de déplacement des enfants ;
- la présence d'animaux de compagnie susceptibles de faire des allers/retours jardin/maison ;
- la superficie échantillonnée ;
- l'emplacement exact du prélèvement ;
- la description du sol au point de prélèvement (nature, rugosité) ;
- le cas échéant, la marque de la lingette utilisée.

8.6.2.3 Conditionnement et stockage

Les modalités de conservation et stockage des échantillons sont les suivantes :

- prélèvement par aspiration : poussières placées dans des flacons et stockées au réfrigérateur à réception au laboratoire (le tamisage à 250 µm étant effectué au laboratoire) ;
- prélèvement par essuyage : lingettes pliées, roulées et insérées dans des tubes ou flacons adaptés aux polluants recherchés, conservés au réfrigérateur.

8.6.3 Les investigations sur les poussières en suspension dans l'air extérieur

NB : En raison d'une pratique émergente avec peu de recul dans le contexte des sites et sols pollués, le prélèvement des poussières en suspension dans l'air intérieur des habitations ne fait pas l'objet de recommandations dans le présent guide. Des éléments sont toutefois précisés dans la section « Cas particulier » (§ 8.6.3.5).

8.6.3.1 Stratégie d'investigations

L'investigation des **poussières en suspension** a pour but **l'acquisition de données de concentration dans l'air extérieur** (concentrations en PM10⁵⁰ ou PM2,5⁵¹ dans l'air et concentrations en polluants dans les PM10 ou PM2,5 exprimées en µg/m³) afin d'évaluer l'impact sanitaire d'une source d'émission sur la qualité de l'air au voisinage.

Les résultats ont donc vocation à être comparés à des valeurs de gestion et/ou intégrés dans une évaluation des risques sanitaires incluant la voie d'exposition par inhalation de poussières. De plus, l'interprétation globale des résultats exprimés sous la forme de teneurs (µg-polluant / g-poussière) dans les poussières peut permettre de formuler des hypothèses sur l'origine des poussières et les actions qui seraient à mener pour limiter ces transferts.

À cet effet, des stations de mesures sont positionnées dans la zone d'influence présumée de la source d'émission et dans une zone témoin hors influence de celle-ci.

Concernant la **zone d'influence**, le principe est de positionner des stations sous le vent de la source d'émission étudiée. La direction de dispersion aura été identifiée à partir de l'étude de la rose des vents, de la rose des pluies et/ou de la rose des stabilités annuelles locales. Les stations sont positionnées au niveau des enjeux à protéger (habitations, écoles, etc.) sélectionnés en fonction de leur sensibilité (typologie de population, effectif exposé, temps passé) et de leur exposition attendue aux émissions de la source. Si les situations de vent faible (<1,5 m/s) sont majoritaires, les stations sont alors positionnées dans toutes les directions autour de la source où l'existence d'enjeux à protéger justifient l'installation d'une station. En fonction des objectifs de l'étude, une ou plusieurs stations pourront être positionnées au niveau des sources d'émission dans le but de caractériser les sources.

Les **stations témoins**, visant à caractériser l'état de l'**Environnement Local Témoin (ELT)**, sont placées en dehors de la zone d'influence présumée (en amont éolien ou à une plus grande distance de la source d'émission) et présentent des typologies analogues à celles de la zone d'influence (géologie, degré d'anthropisation).

L'acquisition de données météorologiques locales pendant la période de prélèvement permettra d'évaluer *a posteriori* les conditions de dispersion réelles pendant la campagne, ainsi que les hypothèses quant aux zones d'influence / zones témoin. Cette analyse conclura si les conditions météorologiques pendant la durée de la campagne étaient atypiques ou non et si elles permettent de garantir que les emplacements *a priori* dans la zone d'influence présumée étaient bien sous les vents par rapport à la source d'émission étudiée.

L'étude préalable des conditions météorologiques dans la zone permet également de déterminer des périodes de l'année où il est le plus pertinent de faire des mesures. Le cas échéant, il convient également de tenir compte du process industriel (période de fonctionnement, pic de production...).

Généralement, plusieurs campagnes sont nécessaires afin d'être représentatives d'une année et d'intégrer les différentes conditions météorologiques saisonnières. *À titre indicatif, la directive européenne 2008/50/CE du 21/05/2008 relative à l'air ambiant précise que pour les mesures indicatives visant à être représentatives*

⁵⁰ PM10 : particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres

⁵¹ PM2,5 : particules en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 micromètres

d'une année, la période de prise en compte doit être au minimum de 14 % de l'année soit 52 j (par exemple 4 fois 2 semaines ou 2 fois 4 semaines sur une année). Lorsque l'investigation des poussières en suspension est réalisée dans le cadre de la surveillance d'un chantier, la durée et fréquence des campagnes s'adaptera au calendrier du chantier.

Les substances à analyser sont les substances susceptibles d'être émises par la source étudiée. Parmi celles-ci, on retiendra les **traceurs de risques**, c'est-à-dire celles susceptibles de générer *a priori* des effets sanitaires chez les personnes qui y sont exposées par inhalation. Il s'agit donc de substances pour lesquelles des VTR sont disponibles pour la voie respiratoire. Le cas échéant, en fonction des données de caractérisation de la source initialement disponible, une priorisation de ces substances peut être réalisée en fonction de leur potentiel de risque. L'inclusion de **traceurs d'émission**, c'est-à-dire de substances spécifiques à la source étudiée mais dont l'enjeu sanitaire est faible, au programme analytique peut en outre permettre de mieux évaluer la contribution de la source d'émission étudiée. La connaissance et l'intégration de traceurs d'émission d'autres sources émettrices tierces susceptibles d'interférer dans les mesures peut permettre de mieux apprécier l'origine des concentrations mesurées dans l'air. On retiendra donc que la définition d'un panel d'analyses des poussières en suspension pertinent implique une bonne connaissance de la (des) source(s) d'émission du secteur étudié.

Il peut être utile dans certains cas de combiner les types de mesures en positionnant à la fois un réseau de préleveurs de poussières en suspension et un réseau de préleveurs de mesures de poussières sédimentables, associées à des relevés quotidiens des conditions météorologiques. L'étape documentaire de la préparation de l'intervention, commune aux deux types de prélèvements, est alors mutualisée (§ 8.6.3.2 et § 8.6.4.2).

8.6.3.2 Préparation de l'intervention

Afin d'établir une stratégie d'échantillonnage telle que décrite ci-dessus, une **étude préalable** est indispensable à toute campagne d'investigation des poussières en suspension dans l'air extérieur.

Elle inclut l'acquisition de données sur :

- la météorologie générale : analyse des conditions météorologiques d'après les stations météorologiques locales ou les plus proches (fréquence et vitesse des vents, pluviométrie, précipitations, températures, stabilités). L'étude du régime général des vents permet d'identifier les axes privilégiés de transport des poussières émises ;
- le relief local et son influence possible sur la dynamique des vents (vallées encaissées par exemple) ;
- les caractéristiques de la source émettrice étudiée ;
- l'identification des sources locales d'émission tierces : activités industrielles, sites pollués, infrastructures routières ;
- les données de qualité de l'air existantes dans le secteur, essentiellement produites par les AASQA⁵². À cet égard, il conviendra de rester vigilant sur la pertinence de la localisation des stations de mesures compte tenu des objectifs de l'étude ;
- l'identification des enjeux les plus proches : habitations, lieux d'accueil des populations sensibles, etc.

L'étude préalable permet également, en fonction des propriétés toxicologiques (VTR inhalation) et du bruit de fond local attendu pour ces substances, de définir les **limites de quantification** à atteindre en vue de la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires.

⁵² AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

L'ensemble de ces informations permet d'établir la **macro-implantation des stations** répondant à la stratégie ci-dessus (zone potentielle d'impact vs zones témoins), de définir les substances à analyser et un calendrier de campagnes adaptés aux conditions météorologiques et conditions connues d'émissions des sources.

Au stade de la macro-implantation, plusieurs lieux d'implantation des stations sont pré-identifiés. **Une phase de prospection de terrain** permettra de valider le choix de l'emplacement définitif de chacune des stations (micro-implantation). Les critères de micro-implantation sont en premier lieu des critères techniques visant à éviter de placer une station dans un endroit abrité, où l'aérodynamique serait localement modifiée. Ces critères sont nécessaires pour assurer la représentativité de la mesure, ils doivent s'appliquer à l'ensemble des points afin de permettre une comparaison non biaisée des résultats. Le guide de surveillance de la qualité de l'air autour d'ICPE (cf. Tableau 21 du Guide INERIS, 2021) précise en particulier :

- privilégier une hauteur d'échantillonnage comprise entre 1,5 et 3 m du sol ;
- éviter les lieux d'implantation présentant des ruptures de pentes ;
- éviter les lieux d'implantation à moins de 10 m de cours d'eau type fleuve ou rivière large ;
- se placer à plus de 20 m de la ligne d'égouttage des arbres ;
- se placer à distance de tout bâtiment (distance supérieure à 2 fois la différence entre la hauteur du bâtiment et la hauteur d'échantillonnage) ;
- respecter un dégagement sur 270° permettant une circulation d'air sans obstacle majeur (bâtiment) et incluant la direction du vent dominant pendant la campagne de mesure.

Le guide INERIS de décembre 2021 relatif à la surveillance dans l'air autour des installations classées - retombées des émissions atmosphériques, impacts des activités humaines sur les milieux est disponible sur le site : <https://www.ineris.fr/fr/surveillance-air-autour-installations-classees-retombees-emissions-atmospheriques-impacts-activites>.

À noter également que l'implantation d'une station dans une zone de sol nu⁵³ est à éviter afin de limiter la contribution des sols locaux aux poussières prélevées.

À ces critères de représentativité de la mesure s'ajouteront **des critères de micro-implantation d'ordre pratique** : possibilité d'accès à une alimentation électrique⁵⁴, sécurisation du matériel et protection contre les actes de malveillance, obtention des autorisations d'installation des appareils de prélèvement. À noter en particulier que l'utilisation de préleveurs séquentiels nécessite un apport en énergie sur toute la durée de la campagne qui va nécessiter en général de se brancher sur le réseau électrique.

8.6.3.3 Techniques d'échantillonnage

Le document complémentaire au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées » (Document INERIS, 2016) renseigne sur les méthodes de mesures de certaines substances dans les poussières atmosphériques, ainsi que sur les valeurs de gestion et niveaux mesurés dans l'air ambiant.

Le document INERIS de novembre 2016 complémentaire au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées est disponible sur le site : <https://www.ineris.fr/fr/surveillance-air-autour-installations-classees-retombees-emissions-atmospheriques-impacts-activites>.

⁵³ Sol nu = sol non revêtu et non végétalisé

⁵⁴ À noter que des systèmes alimentés par des panneaux solaires ou batterie existent

La méthode de référence pour le prélèvement des poussières en suspension est la norme NF EN 12341 « Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM10 ou PM2.5 de matière particulaire en suspension ».

Il s'agit d'une méthode de prélèvement actif : l'air ambiant est pompé à un débit contrôlé, filtré puis renvoyé à l'atmosphère. Le ou les filtres, préalablement pesés, retiennent les particules présentes dans l'air (PM10, PM2,5 voire PM1 selon la tête de prélèvement choisie). La pesée des filtres en laboratoire dans des conditions contrôlées, avant et après prélèvement, permet de déterminer, connaissant le débit d'aspiration d'air du préleveur, la concentration des particules en suspension dans l'air en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les filtres peuvent également faire l'objet d'analyses chimiques afin de déterminer les concentrations de polluants dans l'air associées à la fraction échantillonnée (PM10, PM2,5). Il existe deux normes de références, NF EN 14902 pour les métaux et NF EN 15549 pour les HAP.

Les appareils conformes à cette norme sont **des préleveurs automatiques dits séquentiels** (cf. Figure 57), équipés d'un passeur de filtres, appropriés à un fonctionnement autonome prolongé. Ils permettent le changement de filtres automatiques selon un pas de temps défini (15 filtres maximum). Ils sont usuellement utilisés à un débit de prélèvement de $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une tête de prélèvement PM10 et changement de filtre toutes les 24h. Toutefois, le débit et la durée d'exposition de chaque filtre est adaptable en fonction des contextes et besoin de l'étude. Dans certains cas, la collecte d'un gros volume d'air ou d'une masse de poussières plus importante peut être nécessaire pour obtenir des limites de quantification suffisamment basses (par exemple pour les HAP ou le chrome hexavalent) ou pour effectuer certaines caractérisations spécifiques (par exemple isotopiques). En particulier, compte tenu des limites de quantification actuelles des laboratoires pour certains composés, le LCSQA⁵⁵ recommande l'utilisation de préleveurs haut débit ($> 15 \text{ m}^3/\text{h}$) munis d'une tête PM10 équivalente à celles décrites dans la norme NF EN 12341.

Lors des phases d'études préalables, en prévision des calculs d'évaluation des risques, il est nécessaire de s'assurer que la durée et le débit de prélèvement envisagés permettront d'atteindre des limites de quantification satisfaisantes.

Le changement de filtres des préleveurs positionnés sur les différentes stations de mesures doit être simultané afin de permettre une bonne interprétation des résultats en relation avec les conditions météorologiques sur la durée d'exposition des filtres.

⁵⁵ LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Figure 57 : Exemples de préleveurs automatiques séquentiels (source : INERIS).

Bien que les appareils soient autonomes sur 15 j au maximum, il est recommandé des visites de contrôle régulières afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. De plus, une fiche d'observation laissée aux occupants/usagers des lieux permettra de renseigner au jour le jour les activités susceptibles d'émettre des poussières (activités de jardinage telle que la tonte de gazon, le travail de la terre de potager, barbecue, bricolage, etc.) et la présence de poussières constatées pendant la période de prélèvement. Ces informations seront par la suite utiles à l'interprétation des résultats.

La norme NF EN 12341(2014) prévoit la réalisation de blancs de terrain et blancs de laboratoire afin de s'assurer de l'absence de contamination externe des filtres.

Selon l'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, d'autres méthodes que celles mentionnées ci-dessus peuvent être utilisées :

- si l'équivalence vis-à-vis de ces méthodes de référence est prouvée ;
- dans le cas des particules, si on peut prouver qu'elles présentent une corrélation avec la méthode de référence. Dans ce cas, les résultats obtenus par la méthode sont corrigés pour produire des résultats équivalents à ceux qui auraient été obtenus en utilisant la méthode de référence.

En France, le constat de la conformité technique d'appareils de mesure de polluants de l'air ambiant réglementés s'appuie sur l'avis du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). Ce laboratoire a notamment établi une liste d'appareils de mesures permettant de répondre à la méthode de référence pour la mesure des PM10 et PM2,5, ainsi que pour le prélèvement des PM10 en vue d'analyses chimiques. La liste mise à jour est disponible sur le site internet du LCSQA (<https://www.lcsqa.org/fr>).

À noter que **des méthodes automatiques en continu** (reposant sur la technologie TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance) permettant la mesure des PM10 et PM2,5 peuvent être utilisées et sont équivalentes à la méthode de référence. Elles ne permettent cependant pas l'analyse chimique des poussières (les poussières ne sont pas échantillonnées), mais par rapport à un prélèvement intégratif sur une durée donnée, elles peuvent permettre de mieux comprendre les épisodes d'empoussièrement et leurs relations avec des événements émissifs ou des conditions météorologiques particulières. Elles peuvent

également être mises en place pour évaluer et adapter les mesures de prévention par exemple pendant des travaux générateurs des poussières.

Il existe par ailleurs des méthodes de mesures indicatives des particules dans l'air, basées généralement sur des technologies optiques. Ces méthodes ne sont pas équivalentes à la méthode de référence en raison des approximations sur les particules mesurées (taille, densité, morphologie...). Néanmoins, ces méthodes qualitatives permettent de hiérarchiser des emplacements les uns par rapport aux autres, ou bien de suivre des évolutions temporelles.

Les paramètres météorologiques contrôlant la dispersion des poussières atmosphériques autour d'une source sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de phénomènes atmosphériques à grande échelle et de phénomènes locaux (topographie, rugosité, etc.). C'est la raison pour laquelle **l'installation d'une station de mesure météorologique sur la zone d'étude est généralement nécessaire** afin d'enregistrer en continu avec une résolution au moins horaire pendant toute la durée de la campagne : la direction et la force du vent à 10 m au-dessus du sol, la température, la pression atmosphérique, l'humidité et la pluviométrie (cf. Figure 58). Ces données permettront d'évaluer les conditions de dispersion réelles pendant la campagne, de valider *a posteriori* les hypothèses (zone d'impact / zone témoin), de sélectionner les filtres à analyser (s'ils ne le sont pas tous), d'interpréter les résultats d'analyse des filtres.



Figure 58 : Photographie d'une station météorologique avec mât de 10 m (source : EVADIES/BRGM).

8.6.3.4 Conditionnement et stockage

Les filtres prélevés et les blancs de terrain doivent être protégés de toute contamination externe pendant le transport et le stockage dans des récipients fermés et isolés, par exemple dans le porte-filtre, dans des boîtes de Pétri en verre propres ou dans des récipients similaires. Il convient également d'appliquer des conditions de transport et de conservation permettant de réduire au maximum les pertes de matières volatiles et semi-volatiles et prévenant la condensation sur les filtres.

Le stockage des échantillons est réalisé au réfrigérateur voire au congélateur selon les substances recherchées. Les durées de conservation doivent être les plus courtes possible et être adaptées aux substances recherchées. La durée maximale de conservation des filtres dans le préleveur est de 1 mois, de même que dans la chambre de pesée en laboratoire.

8.6.3.5 Cas particulier : les poussières en suspension dans l'air intérieur

La caractérisation des poussières en suspension dans l'air intérieur peut s'avérer pertinente dans certains cas, par exemple, en cas de ré-envol de poussières à l'extérieur. En effet, il n'a pas été mis en évidence de corrélation claire entre les poussières en suspension en intérieur et en extérieur. D'où l'intérêt dans certains cas de réaliser des mesures directement dans l'air intérieur des bâtiments. La mise en œuvre de prélèvement en air intérieur conduit à considérer les points suivants :

- la nécessité d'identifier les périodes de l'année/saisons propices à la mise en suspension des poussières (période sèche) ;
- l'association du prélèvement en air intérieur au suivi et à la caractérisation d'autres milieux tels que l'air extérieur, les poussières sédimentées par exemple, mais aussi les teneurs dans les sols alentours. La concomitance de l'ensemble des prélèvements est à respecter autant que possible sur l'ensemble de la zone d'étude, associée à l'acquisition des données météorologiques ;
- la durée et le lieu du prélèvement est liée à l'exposition des usagers. La nuisance sonore liée au prélèvement actif conduit à positionner l'appareil dans les pièces de vie (salon). Les pièces à investiguer sont choisies en lien avec le temps de présence mais aussi les ouvertures telles que les portes et fenêtres ;
- la nécessité de disposer de plusieurs habitations témoins, si la source est clairement identifiée.

Ainsi, une campagne d'investigations d'ampleur menée sur une dizaine d'habitations en contexte minier (dépôts miniers affleurants et étendus), reposant sur la mise en œuvre de préleveur bas débit (0,18 m³/h), a permis de déterminer les concentrations en métaux dans les particules PM10, à l'issue d'une exposition de 7 jours (Figure 59). L'exposition et les risques sanitaires associés à l'inhalation des poussières évalués dans le cadre de l'étude IEM, a démontré pour ce dossier leur faible contribution aux risques par rapport aux autres voies d'exposition (ingestion non intentionnelle de poussières en intérieur, de sol à l'extérieur lors d'activité de loisirs ou de jardinage, consommation de végétaux...). La principale difficulté rencontrée a été d'interpréter les niveaux de métaux mesurés dans l'air intérieur des habitations par rapport aux autres prélèvements intérieurs (de type aspirateur et lingette), ou aux prélèvements extérieurs (retombées atmosphériques, air extérieur) soulignant le besoin de réaliser des prélèvements sur une même durée d'exposition autant que possible et de combiner les approches.



Figure 59 : Exemple de prélèvement de poussières en suspension dans l'air intérieur de logements (prélèvement en continu, à bas débit, durant une période de 7 jours consécutifs au niveau de la pièce de vie principale) (source : INERIS).

8.6.4 Les investigations sur les poussières sédimentables dans les environnements extérieurs

8.6.4.1 Stratégie d'investigations

L'investigation des **poussières sédimentables (i.e. retombées atmosphériques)** permet une mesure des « intrants atmosphériques » moyens sur une période donnée, généralement 1 mois, en amont de l'ensemble des matrices environnementales intégratrices sur lesquelles ils sont susceptibles de se déposer (sols de surface, végétaux, eaux de surface).

Ces méthodes ne sont pas adaptées à la détermination des concentrations accumulées dans ces matrices. Ce sont ces matrices qui constituent les milieux d'exposition de la population. L'investigation des poussières sédimentables ne permet donc pas d'obtenir une concentration au niveau du milieu d'exposition et ne peut donc pas donner lieu à une évaluation des risques dans le cadre d'une IEM.

Ces méthodes ne sont pas non plus adaptées au suivi des épisodes d'empoussièrement de courte durée (quelques heures à quelques jours).

Ces techniques sont utilisées en **surveillance d'une ou plusieurs sources potentielles d'émission de poussières**, à proximité immédiate de ces dernières. Elles peuvent ainsi par exemple aider à identifier une source d'émission de type terril et permettre de motiver une action d'aménagement (végétalisation, confinement...).

Le résultat de ces mesures est exprimé sous la forme de **flux de dépôt de poussières sédimentables** en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$. Il est obtenu en divisant la masse de poussières ou la masse de substance extraite du système de collecte par la surface d'échantillonnage du dispositif et le nombre de jours d'exposition. Il est également possible d'exprimer les résultats en teneur ou charge massique (masse de substance / masse de poussière) afin d'étudier les signatures chimiques des poussières collectées et de formuler des hypothèses sur l'origine des sources contributives.

S'agissant de surveiller des sources d'émission de poussières, les emplacements de mesures sont positionnés autour de la (ou des) source(s) étudiée(s) :

- selon le principe de transect suivant les directions de vent principales (pour une direction de vent donnée seront positionnées une station en amont éolien, une station en aval proche de la source et, si nécessaire, une station en aval plus éloignée) ;
- et en tenant compte des usages des milieux susceptibles d'exposer la population aux poussières sédimentables (bien que ne renseignant pas directement sur l'exposition) ainsi que des enjeux environnementaux éventuels.

La distance à la source d'émission étudiée sera dépendante de sa nature et, le cas échéant, de la hauteur du point d'émission. Dans la mesure du possible, les stations seront implantées à distance des sources d'émission tierces susceptibles de générer des interférences dans la mesure de l'influence de la source étudiée.

L'étude préalable des conditions météorologiques dans la zone permettra également de déterminer des périodes de l'année où il est le plus pertinent de faire des mesures. Plusieurs campagnes sont nécessaires afin d'être représentatif d'une année et d'intégrer les différentes conditions météorologiques saisonnières. Pour les retombées atmosphériques, il est généralement préconisé la réalisation de **2 campagnes, d'une durée de 1 mois chacune, réparties dans l'année**, afin d'en couvrir au minimum 14 %. La répartition de ces campagnes dans l'année est choisie en fonction de variations des conditions de dispersion observées sur la zone d'étude, qui peuvent influencer le niveau d'intensité des retombées. L'une des campagnes doit intégrer la période de plus forte intensité au point impacté retenu.

Un ou plusieurs **points de prélèvement témoins** permettront d'évaluer les retombées atmosphériques liées au bruit de fond local hors influence des sources émettrices étudiées, i.e. les retombées caractéristiques

de l'Environnement Local Témoin (ELT). Ces points seront positionnés en fonction de la connaissance de la rose des vents locale (en amont éolien ou à une plus grande distance de la source d'émission) et présenteront autant que possible des typologies analogues à celles dans la zone d'influence (géologie, degré d'anthropisation).

Les **polluants à analyser** sont les substances susceptibles d'être émises par la source étudiée. Il s'agira de traceurs de risques (substances susceptibles de générer un impact sanitaire et/ou environnemental sur les milieux récepteurs) et/ou de traceurs d'émission (autres substances susceptibles de permettre d'évaluer la contribution de la source d'émission étudiée émises). L'intégration au programme d'analyses de traceurs d'émission d'autres sources émettrices tierces susceptibles d'interférer dans les mesures peut permettre de mieux discriminer les contributions multiples aux concentrations mesurées dans l'air.

Les limites de quantification à atteindre seront fixées au regard des valeurs de bruit de fond local des substances concernées.

8.6.4.2 Préparation de l'intervention

Afin d'établir une stratégie d'échantillonnage telle que décrite ci-dessus, comme pour l'investigation des poussières en suspension, une **étude préalable** est indispensable à toute campagne d'investigation des poussières sédimentables. Son contenu est décrit au § 8.6.3.2. À ce contenu vient s'ajouter, dans le cadre spécifique de l'étude des retombées atmosphériques, l'acquisition de données complémentaires en termes d'enjeux sanitaires ou environnementaux, notamment l'identification des zones de cultures (potagères, maraîchères, grande culture, production pour l'alimentation animale) et d'élevage, ainsi que des zones environnementales à enjeu. En effet, à la différence des poussières en suspension, les enjeux de l'étude des retombées atmosphériques ne se limitent pas aux seuls risques sanitaires par inhalation.

L'ensemble des informations de l'étude préalable permet d'établir la **macro-implantation** des stations répondant à la stratégie ci-dessus (principe du transect selon les directions de vent principales et en tenant compte des enjeux), de définir les substances à analyser et un calendrier de campagne adapté aux conditions météorologiques et conditions connues d'émissions des sources.

À ce stade (macro-implantation), plusieurs lieux d'implantation des stations sont pré-identifiés. **Une phase de prospection de terrain** permettra de valider le choix de l'emplacement définitif de chacune (micro-implantation). Les critères de micro-implantation sont en premier lieu des critères techniques visant à éviter de placer une station dans un endroit abrité, où l'aérodynamique serait localement modifiée. Ces critères sont nécessaires pour assurer la représentativité de la mesure, ils doivent s'appliquer à l'ensemble des points afin de permettre une comparaison non biaisée des résultats. Les normes d'échantillonnage NF X 43-014 et NF EN 15841, ainsi que l'annexe III de la directive 2008/50/CE, mentionnent notamment les critères de micro-implantation suivants : la zone environnant le point de prélèvement ne doit pas comporter de sources de particules susceptibles d'être captées suite à un réenvol et pouvant interférer sur la mesure (sols nus, pollens...); le point de prélèvement ne doit pas être dans une zone de vents violents non représentative de la zone, ni dans une zone abritée, et bénéficier d'un dégagement suffisant, c'est-à-dire être éloigné de quelques mètres de tout obstacle (arbres, bâtiments, etc.) susceptible de perturber localement les écoulements d'air au niveau du dispositif et de respecter un angle de 30° maximum entre le bord du collecteur et l'obstacle environnant).

Il conviendra également d'éviter les activités non contrôlées émettrices de particules dans l'air (activités de jardinage, zone de brûlage...) à proximité des points de prélèvement.

A ces critères de représentativité de la mesure s'ajouteront **des critères de micro-implantation d'ordre pratique**, notamment liés à l'obtention des autorisations d'installation et à la sécurisation du matériel de prélèvement.

8.6.4.3 Techniques d'échantillonnage

a. Outils de prélèvement

Les collecteurs permettent de récupérer par gravité l'ensemble des dépôts atmosphériques secs et humides sur la période de mesure. La collecte étant « passive », le recours à ce type de dispositif n'implique aucune contrainte d'accès à l'électricité. Plusieurs types de collecteurs permettent l'échantillonnage des poussières sédimentables conformément à la norme NF X 43-014 (Figure 60).

Le dispositif est constitué :

- d'un trépied, assurant la stabilité du dispositif et permettant de positionner le haut de l'entonnoir à la hauteur voulue et d'assurer sa planéité ;
- d'un récipient cylindrique, dont la surface d'ouverture est orientée horizontalement vers le haut et dont le volume est adapté aux précipitations locales et à la durée d'exposition du dispositif. Le matériau constitutif du récipient collecteur doit être adapté en fonction des substances recherchées (verre, PEHD, etc.). Il est équipé d'un bouchon permettant une fermeture hermétique pendant le transport. Il est protégé de la lumière afin de limiter le développement des algues et l'action des rayons UV.

Le collecteur peut être équipé d'un entonnoir, de diamètre connu, dont la surface est lisse et inerte vis-à-vis des polluants recherchés. Il ne doit pas présenter de fêlure ou rayure. Il devra être protégé lors du transport sur site afin d'éviter les contaminations croisées.



Figure 60 : Exemples de collecteurs de dépôts atmosphériques totaux (source : photo en haut EVADIES/Brgm, photo en bas INERIS).

b. Méthodes d'échantillonnage

Préalablement à la campagne, le matériel est nettoyé selon des modalités adaptées (eau déminéralisée, acide nitrique, solvant organique...) aux substances recherchées.

Lors de l'installation du dispositif, la planéité du trépied doit être contrôlée au niveau à bulle. Le haut de l'entonnoir doit être positionné entre 1,5 et 2 m de haut au-dessus du sol. Il est possible d'ajouter un volume connu d'eau déminéralisée⁵⁶ au démarrage de la période d'exposition pour limiter les réenvols des aérosols qui sont recueillis avant les pluies.

Les dispositifs d'échantillonnage doivent être manipulés avec précaution pour éviter les contaminations (norme NF EN 15841).

La durée d'exposition des collecteurs doit être adaptée aux objectifs de l'étude. Conformément au guide de surveillance de la qualité de l'air autour d'ICPE (cf. Guide INERIS, 2021), la durée recommandée est d'environ un mois. Il convient d'être vigilant sur une durée courte qui conduira à augmenter les limites de quantification.

⁵⁶ Eau dont la conductivité ne dépasse pas 0,5 mS/m à 25 °C

La phase d'exposition démarre à partir du moment où tous les collecteurs sont installés et ouverts. Afin que les échantillons collectés sur un même réseau de stations soient synchrones, le démarrage de la collecte de l'ensemble des échantillons doit avoir lieu le même jour, de même que le retrait des récipients.

Après exposition, l'ensemble du contenu des jauges/collecteur-entonnoir est extrait en différé pour analyse en laboratoire. Il est important de ne pas se limiter à un dosage de concentration dans la phase liquide, mais de mettre en œuvre un protocole d'extraction qui permet de récolter l'ensemble des masses de substances, qui peuvent se trouver déposées sur les parois internes immergées ou non de la jauge/collecteur-entonnoir. Si le laboratoire ne prend pas en charge l'entonnoir, un rinçage de l'entonnoir par une quantité connue d'eau déminéralisée⁵⁷ est réalisé par l'opérateur à la fin du prélèvement au moyen d'une pissette afin de récupérer dans le collecteur les particules déposées à la surface de l'entonnoir.

La réalisation de blancs de terrain est à prévoir conformément aux d'échantillonnage NF X 43-014 et NF EN 15841.

La **fiche de prélèvement** doit renseigner les éléments suivants :

- la nature des matériaux des jauges ;
- les dates de début et de fin d'exposition ;
- les conditions météorologiques : neige, précipitations, gel ;
- la présence ou absence d'eau dans le récipient, volume, trop-plein ;
- la présence de dépôts parasites, développement d'algues ;
- les changements faits sur le remplacement des éléments (grille, entonnoir) dans le cadre d'une surveillance ;
- la réalisation ou non du rinçage de l'entonnoir sur le terrain ;
- un mauvais positionnement de l'entonnoir (penché) au moment du retrait ;
- le descriptif de l'environnement proche (route, obstacle).

Un prélèvement sera considéré non valide en cas de :

- débordement de la jauge ;
- jauge endommagée ou fissurée ;
- forte chute de neige obstruant l'ouverture du récipient durant l'exposition (sauf si chute de neige le dernier jour d'exposition) ;
- présence d'insectes/matières végétales ou fécales en grande quantité ;
- entonnoir penché modifiant la surface dédiée à la collecte des poussières.

L'installation d'une **station de mesure météorologique sur la zone d'étude** est préconisée en l'absence de données météorologiques représentatives de cette zone disponible par ailleurs (ex : station Météo France). Cette station permettra d'enregistrer en continu avec une résolution au moins horaire pendant toute la durée de la campagne : la direction et la force du vent à 10 m au-dessus du sol, la température, la pression

⁵⁷ Eau dont la conductivité ne dépasse pas 0,5 mS/m à 25 °C

atmosphérique, l'humidité et la pluviométrie. Ces données permettront d'évaluer les conditions de dispersion réelles pendant la campagne, de valider *a posteriori* les hypothèses (transects retenus, stations témoins) et d'interpréter les résultats de la campagne.

8.6.4.4 Conditionnement et stockage

Lors de la phase de transport, les récipients sont hermétiquement fermés, en position verticale et à l'abri de la lumière. Le transvasement dans un flaconnage de transport est à proscrire.

Il convient de stocker les récipients de préférence à l'abri de la lumière et en un lieu frais, et de réduire le plus possible la durée de stockage avant le traitement de l'échantillon.

La durée et les conditions de stockage sont à adapter au type d'analyses chimiques à effectuer.

8.6.5 Documentation de référence pour le milieu poussières

Les documents relatifs aux investigations sur les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs

Références générales :

- Anses (2020) Évaluation de l'exposition et valeurs de référence pour les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs, Rapport d'expertise collective, Auto-saisine « 2017-SA-0192 ».
- Guide INERIS, 2023. Institut national de l'environnement industriel et des risques, Guide sur la stratégie de prélèvements et d'analyses à réaliser suite à un accident technologique - cas de l'incendie, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203529 - v1.0, 10/01/2023 version 3.
- Méthodes par aspiration :
 - ASTM (2017) Standard Practice for Collection of Floor Dust for Chemical Analysis, D5438-17;
- Méthodes par essuyage :
 - NIOSH (1996) Lead in Surface Wipe Samples, Method 9100.
 - NIOSH (2003) Elements on wipes, Method 9102.
 - ASTM (2006) Standard Practice for Collection of Settled Dust Samples Using Dry Wipe Sampling Methods for Subsequent Determination of Beryllium and Compounds, D7296-06.
 - ASTM (2008) Standard Practice for Collection of Settled Dust Samples Using Wipe Sampling Methods for Subsequent Determination of Metals, D6966-08.

Références en lien avec le dispositif réglementaire français de lutte contre le saturnisme infantile :

- NF X 46-032 (2008) - Diagnostic plomb - Méthodologie de mesure du plomb dans les poussières au sol. AFNOR (indice de classement X46-032).
- Santé Publique France (2020) - Guide d'investigations environnementales des cas de saturnisme de l'enfant mineur.
- Haut Conseil de la Santé Publique (2021) - Plomb dans l'environnement extérieur : recommandations pour la maîtrise du risque.

Les documents relatifs aux investigations sur les poussières en suspension dans l'air extérieur

- Directive européenne 2008/50/CE du 21/05/2008 relative à l'air ambiant (modifiée par la directive 2015/1480 de la commission du 28/08/2015).
- NF EN 12341 Air ambiant – Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM10 ou PM2,5 de la matière particulaire en suspension.
- NF EN 14902 Qualité de l'air ambiant – Méthode normalisée de mesure du plomb, du cadmium, de l'arsenic et du nickel dans la fraction PM10 de matière particulaire en suspension.
- NF EN 15549 Qualité de l'air – Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration de benzo[a]pyrène dans l'air ambiant.
- Document INERIS, 2016. Document complémentaire au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées, rapport DRC - 16 - 158882 - 10272A.
- Guide INERIS, 2021. Guide Surveillance dans l'air autour des installations classées, retombées des émissions atmosphériques, deuxième édition, Ineris-201065-2172207-v1.0.

Les documents relatifs aux investigations sur les poussières sédimentables dans les environnements extérieurs

- Directive européenne 2008/50/CE du 21/05/2008 relative à l'air ambiant (modifiée par la directive 2015/1480 de la commission du 28/08/2015).
- NF EN 15841 Qualité de l'air ambiant – Méthode normalisée pour la détermination des dépôts d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb.
- NF X 43-014 Qualité de l'air — Air ambiant — Détermination des retombées atmosphériques totales — Échantillonnage — Préparation des échantillons avant analyses.
- Document INERIS, 2016. Document complémentaire au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées, rapport DRC - 16 - 158882 - 10272A.
- Guide INERIS, 2021. Guide Surveillance dans l'air autour des installations classées, retombées des émissions atmosphériques, deuxième édition, Ineris-201065-2172207-v1.0.

8.7 Les investigations sur les denrées alimentaires

8.7.1 Généralités

Les investigations sur les denrées alimentaires sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 (Prestation A250 « prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires y compris l'eau du robinet »).

Cette prestation concerne l'échantillonnage de végétaux, d'eau du robinet ou encore d'animaux terrestres et aquatiques. Ces matrices peuvent être échantillonnées en contexte SSP, notamment dans le cadre d'une IEM.

Contrairement aux matrices telles que l'eau, le sol et les gaz de sol qui disposent de normes pour le pré-traitement et l'analyse des échantillons, il n'existe pas pour les fruits et légumes de normes relatives à la préparation et aux analyses chimiques (excepté pour l'analyse des pesticides). Ainsi plusieurs normes développées pour les matrices solides comme les denrées alimentaires, le sol ou les boues ont été historiquement adaptées pour la matrice végétale par les laboratoires d'analyses. Dans le cadre de l'analyse de la matrice végétale en contexte SSP, le guide INERIS de mai 2022 (cf. § 8.7.2.8) recommande, pour chacune des familles chimiques, les réactifs, les techniques de digestion d'extraction, étapes de purification et méthodes analytiques à employer.

Rappelons que pour les métaux (plomb, cadmium, mercure, étain inorganique), les HAP, les dioxines/furanes et les PCB, les règlements européens (UE) 836/2011 et (UE) 644/2017 stipulent que, dans le cas où aucune méthode spécifique n'est prescrite au niveau européen pour la détermination des teneurs en contaminants dans les denrées alimentaires, les laboratoires sont libres d'appliquer la méthode d'analyse validée de leur choix, pour autant qu'elle remplisse les critères de performance spécifiques. Ces derniers n'ont pas été retenus. Il convient de se reporter aux recommandations du guide.

Il est à noter qu'il existe, pour les denrées alimentaires, de nombreux documents de référence rédigés par divers acteurs (Ministère de l'agriculture, Aquaref, ARS, ANSES, etc.) pour différentes problématiques. La liste de documents de référence peut ainsi être non exhaustive. Peuvent par exemple être cités (liste non exhaustive), à date de rédaction du présent document :

- ANSES, juin 2017. Rapport d'expertise collective - Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3).

Les stratégies d'investigations et les méthodes d'échantillonnage sont présentées dans les chapitres suivants, pour chaque matrice.

8.7.2 Produits végétaux

Ce paragraphe concerne les investigations menées sur les végétaux consommés par l'homme, mais également ceux consommés par les animaux d'élevage (pâturage).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.7.2.8.

Avant toute investigation sur les végétaux, le prestataire SSP vérifie, que son étude ne rentre pas dans le cadre du champ d'intervention de l'administration et notamment celui de la DGAL (Direction Générale de l'Alimentation) du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, de la Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations (DDCSPP) et de la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) (denrées commercialisables, valeurs réglementaires sur des productions céréalières, etc.).

Le prélèvement de végétaux réalisé dans le cadre d'une étude SSP concerne principalement les jardins d'auto-production individuels ou collectifs ou les zones de cultures, comme précisé dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Il peut également concerner la cueillette (baies sauvages, champignons...), lorsque l'exposition est significative ou lorsqu'il répond à une attente locale.

8.7.2.1 Contexte

En contexte de sites pollués, les végétaux peuvent être contaminés de différentes manières : via l'air, via l'eau d'arrosage et via les sols (Figure 61).

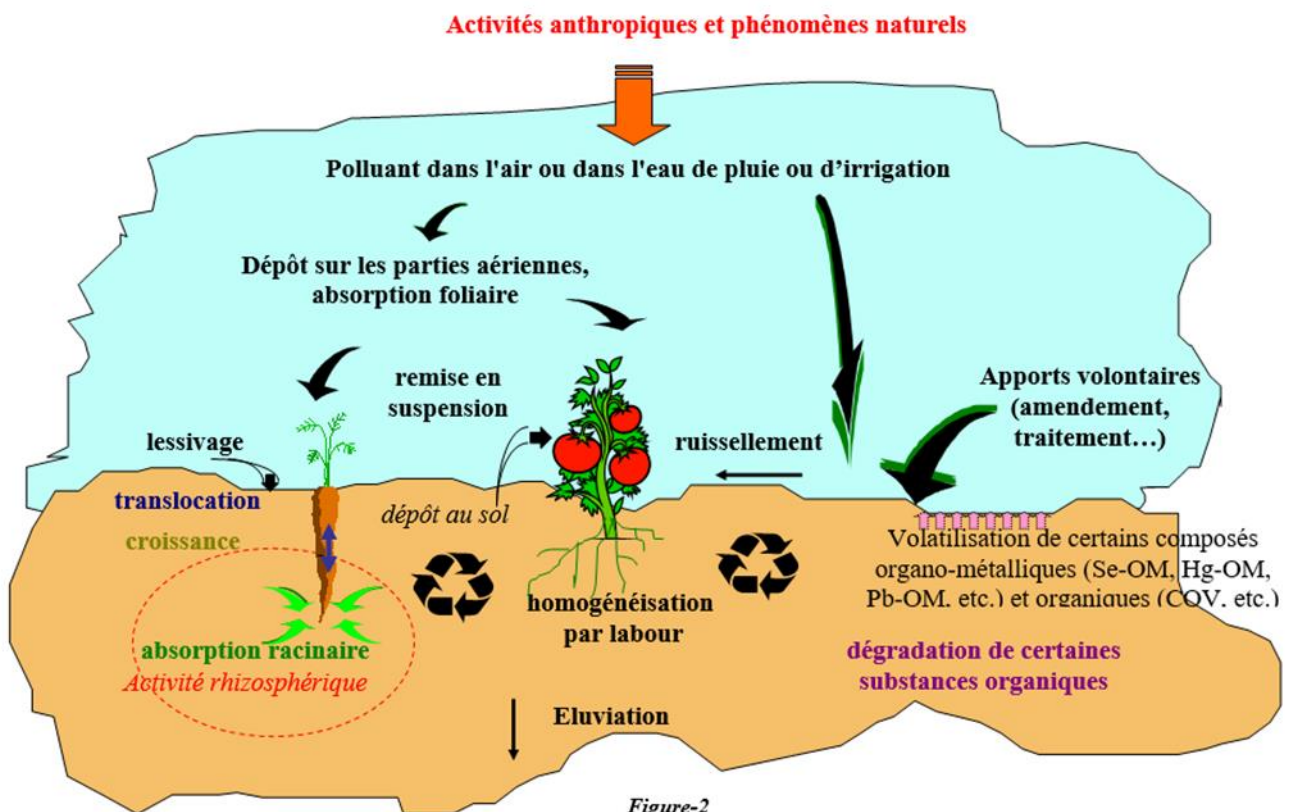


Schéma de principe du devenir des polluants dans les systèmes sol-air- plante et voies d'entrée dans les végétaux

Figure 61 : Schéma de principe du devenir des polluants dans les systèmes sol-air- plante et voies d'entrées dans les végétaux (« Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux », ADEME, INERIS, 2014).

En contexte de sites et sols pollués, le prestataire peut être amené à échantillonner des végétaux principalement dans le cadre d'une IEM, dans laquelle des usages des sols pour la culture de végétaux et/ou des eaux (eaux souterraines ou superficielles) pour l'arrosage de végétaux, sont constatés. Il peut s'agir d'évaluer les impacts d'une activité industrielle (actuelle ou passée) ou d'un ancien site minier, ou encore de répondre à un signal sanitaire.

Les végétaux sont ainsi amenés à être analysés en cas d'identification d'un impact sur les autres milieux de l'environnement (sol, air, eau) pouvant aboutir à un risque sanitaire :

- si les végétaux sont consommés par la population ;
- si les végétaux sont consommés par les animaux d'élevage (fourrage).

Le prélèvement et l'analyse des végétaux se fait donc majoritairement en complément d'investigations sur les autres milieux (sols, eaux d'irrigation (souterraines ou superficielles), air (poussières)), afin d'évaluer la pertinence des voies de transfert des polluants vers le végétal.

8.7.2.2 Stratégie d'investigations

Comme précisé dans le guide ADEME, INERIS, 2014, la stratégie doit être élaborée en fonction des objectifs visés. Elle doit être adaptée aux contraintes locales, en intégrant l'ensemble des éléments pouvant renseigner sur la contamination des plantes (éléments historiques collectés sur l'installation industrielle, caractéristiques des potagers, types de pollutions identifiées, types de sols et de végétaux cultivés, identification d'autres sources de pollutions, amendement, etc.).

- Le **guide ADEME de 2014 relatif à l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux** est disponible sur le site : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/echantillonnage-plantes-potageres>.

La mise en place d'une stratégie d'investigations repose notamment sur la délimitation d'un périmètre impacté (« périmètre d'impact »), par la pollution des sols ou par les émissions émises par des activités actuelles ou historiques. L'identification d'autres contributions pouvant interférer doit être menée (fond géochimique local, apports anthropiques, etc.) en parallèle, afin de pouvoir interpréter les résultats (cf. chapitre 11.2.5).

Le plan d'échantillonnage doit prévoir :

- des prélèvements dans les zones potentiellement impactées par des activités actuelles ou passées ;
- des prélèvements dans une (des) zone(s) témoin, en dehors du périmètre d'impact défini préalablement. Ceux-ci doivent être réalisés, si possible, dans un même horizon géologique que le périmètre d'impact, et avec des pratiques culturales similaires. De plus, les espèces collectées et analysées (1 à 2 espèces par type de légumes) doivent être identiques à celles collectées en périmètre impacté.

La sélection des espèces au sein des différents types de légumes (légume feuille, légume fruit, légume racine, tubercule et fruit) à échantillonner s'appuiera sur l'importance de la consommation des légumes autoproduits. L'opérateur s'attachera à échantillonner si possible le plus d'espèces appartenant à ces différents types de légumes. Pour identifier les espèces les plus pertinentes, le préleveur pourra se référer aux données statistiques renseignant les quantités consommées quotidiennement par l'homme de chacune des espèces légumières.

Les espèces végétales majoritairement auto-consommées en France (haricots verts, tomates, pommes de terre, salades, poireaux, carottes représentent 80 % de l'auto-consommation) sont à privilégier. Par ailleurs, des spécificités de culture locales (consommation d'orties, fanes de carottes ou de radis, etc.) peuvent exister et sont à prendre en considération lors de la mise en place de la stratégie d'investigations lorsqu'elles apparaissent significatives.

Des échanges avec le jardinier seront toutefois initiés afin de recouper les informations (espèces les plus présentes dans le potager/consommation importante). Ces échanges permettent notamment de cibler la meilleure période permettant d'avoir une abondance de végétaux et à maturité.

Dans le cas de cultures en contact potentiel avec le sol, il peut être réalisé des prélèvements sur les fruits et légumes proches du sol ou touchant le sol (par exemple, les fraises présentant une surface rugueuse pouvant retenir des particules de sols même après lavage).

Dans le cas d'une étude sanitaire, les éléments suivants sont également à renseigner :

- le ou les mode(s) de consommation des végétaux potagers ;
- le profil du ou des jardiniers (âge, fréquence de jardinage, etc.) ;

- le profil des personnes susceptibles de consommer les végétaux produits.

Des échanges avec le laboratoire d'analyse sont à engager dès le stade de l'élaboration de la stratégie d'investigations, concernant notamment les contenants adaptés, les consignes et les protocoles de préparation des échantillons et les analyses réalisées. Il est à noter que les protocoles de lavage et d'épluchage des végétaux arrivant au laboratoire sont standardisés, comme précisé dans le Guide Ineris-201081-2373869-V1, mai 2022. Un formulaire rempli par le préleveur et transmis au laboratoire pour les consignes de préparation est fourni en Annexe 1 du Guide, INERIS, 2022. Le laboratoire d'analyse devra répondre de la faisabilité de la demande (en cas de demandes spécifiques éventuellement) mais surtout sur ses pratiques (masse d'échantillon nécessaire, transmission des consignes de préparation des échantillons, méthodes analytiques, limites de quantification, etc.). L'obtention de ces informations conditionne notamment une bonne interprétation des résultats d'analyse.

- **Guide « INERIS, 2022 : Guide pratique pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués** disponible sur le site : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/preparation-analyse-vegetaux-consommes-contexte-ssp>.

Il est recommandé d'éviter de regrouper différentes espèces y compris pour un même type de légume (même lorsque les quantités d'espèces sont insuffisantes), par exemple regroupant de blette, de salade et d'épinard pour le type légume-feuille, ou bien regroupement de navet, betterave et carotte pour le type légume-racine.

En effet, cette pratique ne permet pas une comparaison rigoureuse des résultats avec des valeurs réglementaires. Elle dégrade également la qualité de l'information au sein même d'un type de légumes et donc des recommandations de gestion qui peuvent être formulées à la fin de l'étude.

Il est important d'associer au prélèvement des végétaux ou de fourrage, la caractérisation de la qualité du sol sur lequel sont cultivés les végétaux (1 prélèvement dans l'horizon retourné, sur une profondeur comprise entre 0 et 30 cm), ainsi que la qualité de l'eau d'arrosage.

Comme préconisé dans le guide ADEME, INERIS, 2014, il est fortement recommandé, outre les teneurs en polluants recherchés dans les végétaux, la caractérisation :

- du pH du sol ;
- de la teneur en carbone organique du sol ;
- de la texture du sol.

8.7.2.3 Méthodes d'échantillonnage

En ce qui concerne la représentativité de l'échantillonnage, il est recommandé le prélèvement des cinq types de légumes et fruits (légume feuille, légume fruit, légume racine, tubercule et fruit) à chaque campagne, sachant que l'on considère qu'une espèce végétale est représentative de toutes les espèces d'une même famille.

Seules les parties comestibles (ou consommées par les usagers) sont sélectionnées pour analyse. Pour cela, un couteau en céramique est utilisé pour prélever les parties aériennes des légumes feuilles. Pour les légumes tubercules ou racines, une bêche ou une fourche bêche sont nécessaires. Les fruits et légumes-fruits sont prélevés à la main (avec des gants) ou à l'aide d'un sécateur. Idéalement, les végétaux aériens sont prélevés en premier, puis les végétaux souterrains et enfin les échantillons de sol.

Un nettoyage des outils entre chaque jardin est à réaliser.

Comme il est rappelé dans le guide ADEME, INERIS, 2014, la masse de végétaux prélevés doit être suffisante pour atteindre les limites de quantification basses. Le taux de matière sèche étant très faible et variable selon les végétaux, la quantité minimale recommandée de végétaux à prélever et à envoyer au laboratoire est de l'ordre de **500 g MF**. Par expérience, cette quantité peut être abaissée à 200 g MF en cas d'analyses de métaux uniquement (Guide INERIS, 2022).

Pour les fourrages, les quantités nécessaires sont de même ordre de grandeur et le conditionnement adapté sont à faire préciser par le laboratoire. Quelques quantités sont néanmoins proposées dans le Tableau 10.

Matrice	Nature, quantité et conditionnement
Fourrages en bottes	Une poignée dans une dizaine de bottes (500 g à 1k g)
Fourrages en ensilage	1 kg sur tout l'horizon du tas
Fourrages dans le champ	Volume égal pris dans une dizaine de points de la parcelle Particularité pour le maïs : en prenant la zone d'accrochage de la feuille sur le pied qui est le réceptacle de toutes les retombées atmosphériques

Tableau 10 : Exemples de quantités à envoyer au laboratoire d'analyses pour des fourrages.

Les recommandations techniques pour l'échantillonnage des végétaux sont décrites de manière précise dans le guide ADEME, INERIS, 2014.

Points d'attention :

Fourrage

En ce qui concerne le prélèvement de fourrage destiné aux animaux d'élevage, le mode opératoire est le suivant :

- investiguer toute la parcelle concernée sauf spécification,
- prélever les parties aériennes uniquement,
- rester représentatif de toutes les espèces végétales présentes susceptibles d'être broutées,
- assurer le prélèvement sans revenir sur ses pas (contamination par nos semelles).

Les herbes piétinées, en contact avec le sol, les parties racinaires ainsi que les herbes dans les zones identifiées comme étant « non broutées » ne doivent pas être prélevées.

Champignons

Le champignon prélevé pour analyses ne doit jamais être rincé sur le terrain. Il sera uniquement débarrassé des particules de terre.

8.7.2.4 Conditionnement, stockage et consignes de préparation

a. Conditionnement

Plusieurs contenants sont disponibles pour envoi au laboratoire d'analyses. Le Tableau 11 reprend les préconisations en termes de contenants, en fonction des analyses et des végétaux à analyser, du guide de bonnes pratiques de l'INERIS. Il est à noter que, quelle que soit l'analyse, il est indispensable de disposer d'un contenant qui ferme, afin d'éviter les contaminations croisées entre échantillons ou avec le colis lors de l'envoi. Pour les composés volatils, le contenant doit être étanche et opaque (cf. § 8.7.2.8 : guide « INERIS, 2022 »).

		Barquette en aluminium	Feuille d'aluminium	Bocal en verre	Flacon en plastique	Enveloppe en papier	Sachet plastique alimentaire
Analyses	organiques	✓	✓	✓			✓
	inorganiques			✓	✓	✓	✓
Fruits et légumes	• sans caractéristiques spécifiques citées ci-après	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	• encombrant (poireau entier, courge...)				✓	✓	
	• humides en surface ou juteux (tomate, salade...)	✓		✓	✓	X	✓
	• sensibles à l'écrasement (baies, figes...)		X	✓	✓	X	X

✓ : recommandé
 X : proscrit

Propriété des contenants	Calcination > 500 °C	Approvisionnement hors laboratoire	Absorption de l'humidité émise par les végétaux	Variabilité de la taille	Transparent	Usage unique	Encombrement spatial
Barquette en aluminium	•	•	○	•	• / ○	•	○
Feuille d'aluminium	•	•	○	•	○	•	○
Flacon en plastique	○	• / ○	○	• / ○	• / ○	•	•
Enveloppe en papier	○	•	•	•	○	•	○
Sachet plastique alimentaire	○	•	○	•	•	•	○
Bocal en verre	• / ○	•	○	• / ○	• / ○	•	•

Contenant possédant cette propriété: • Oui ○ Non

Tableau 11 : Liste des contenants et leurs propriétés pour le conditionnement de végétaux (source guide INERIS).

Les échantillons sont conditionnés de telle sorte qu'ils ne soient pas altérés (écrasement, flétrissement, fermentation). Dès la collecte, les échantillons prélevés sont conservés dans une glacière réfrigérée ou boîtes isothermes, afin de maintenir une température adéquate, si possible inférieure à 10°C (cf. guide INERIS, 2022). Ils sont envoyés au laboratoire d'analyse sous 24 à 48h après leur prélèvement (en évitant le vendredi si aucune réception ne se fait au laboratoire le samedi).

Pour un même site d'étude, avec plusieurs campagnes de prélèvements de végétaux réalisées, il est recommandé de faire appel au même laboratoire d'analyse pour l'ensemble des campagnes, afin d'éviter tout biais analytique (différence de préparation, limites de quantification, méthodes analytiques, incertitudes analytiques, etc.).

Les échantillons réceptionnés au laboratoire sont, autant que possible, préparés dans la journée selon les consignes transmises par le préleveur (cf. guide INERIS, 2022). S'il lui est impossible de préparer immédiatement les échantillons, le laboratoire peut procéder à une conservation par réfrigération à 5 °C ou

par congélation⁵⁸ à -18 °C. Le type de conservation retenu par le laboratoire, dépend notamment de la teneur en eau du végétal et des délais avant l'analyse. En cas d'analyse de composés volatils, il est recommandé au laboratoire de procéder à la congélation des échantillons en vue d'un broyage cryogénique ou équivalent.

Les laboratoires proposent également de conserver les échantillons stabilisés (séchés, lyophilisés ou congelés) selon une durée standard de quelques semaines (cela reste à confirmer avec le laboratoire).

b. Préparation des échantillons

En complément de la commande des analyses chimiques, le préleveur doit transmettre au laboratoire les consignes de préparation des végétaux (cf. formulaire inséré en annexe du guide INERIS, 2022). Il s'agit notamment du lavage, de l'épluchage, ou d'autre préparation telle que l'élimination des extrémités (pour les courgettes, les haricots, ...) et ceci, afin d'assurer une préparation identique et une répétabilité à l'échelle nationale.

Des protocoles standardisés pour le lavage et l'épluchage des fruits et légumes sont précisés dans le guide INERIS, 2022. Des dérogations sur ces préparations peuvent être apportées, uniquement sur demande explicite du préleveur. De même, aucune préparation de type lavage/épluchage ne sera réalisée par le laboratoire d'analyses en l'absence de consignes explicites transmises par le préleveur.

8.7.2.5 Documents et informations à fournir

Conformément à la prestation A250, définie dans la norme NFX31-620-2, plusieurs documents doivent être présents dans le rapport de diagnostic et notamment la fiche de prélèvement, spécifique à chaque échantillon.

Le guide ADEME-INERIS, 2014, relatif à l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux propose par ailleurs, des modèles de fiches :

- une fiche d'identification d'un potager dans laquelle sont précisées les pratiques culturales : apport de terres/matériaux exogènes (pour alléger la texture du sol...), amendements organiques/minéraux, origine de l'eau d'arrosage, traitements phytosanitaires (de synthèse ou naturel) ;
- et une fiche d'identification d'un prélèvement de végétaux dans un jardin potager avec le stade de maturité des végétaux, fruits/légumes en contact avec le sol lors de la collecte.

Le guide pratique INERIS, 2022 propose un modèle pour les consignes de préparation à compléter par le préleveur et envoyé au laboratoire au moment de la commande.

8.7.2.6 Retours d'expérience

Au cours du diagnostic, il est essentiel d'identifier les différentes contributions à l'origine de la pollution potentielle des végétaux (sol, air/dépôt atmosphérique et eau d'irrigation) afin de déterminer les niveaux de concentrations des polluants dans les végétaux mais aussi au droit des sources et d'appréhender les voies de transfert. Ainsi, l'investigation des végétaux s'accompagne systématiquement d'investigations sur le sol et/ou l'eau et/ou l'air (gaz/dépôt).

a. Végétaux potagers et historique des parcelles cultivées :

Sur une même propriété, il arrive parfois que 2 jardins potagers présentant un historique différent soient cultivés (ancienneté, pratique culturale). Dans cette situation, il est conseillé de considérer 2 zones

⁵⁸ La stabilisation par congélation est plus délicate car les textures des végétaux peuvent être fortement modifiées (forme liquide) sauf si les végétaux ont été lyophilisés en amont.

potagères, pour lesquelles des prélèvements de sol et de végétaux seront distincts. C'est aussi souvent le cas pour les baies, qui sont cultivées en dehors du carré potager.

b. Végétaux et évaluation quantitative des risques sanitaires :

- espèces sauvages :

Dans le contexte d'une IEM, il convient d'être prudent quant aux espèces végétales collectées et aux usages retenus. La cueillette d'espèces sauvages est un usage à considérer dès lors que l'usage est constaté et documenté ; la fréquence devient un paramètre d'entrée sensible pour évaluer l'exposition, qu'il est parfois difficile de renseigner. Collecter et déterminer les niveaux de concentration dans les espèces sauvages ne doivent pas occulter la caractérisation de la zone susceptible d'être fréquentée. L'évaluation des risques sanitaires liée à la cueillette peut s'avérer n'être qu'un objectif secondaire et non prioritaire, au vu des hypothèses à formuler quant aux quantités consommées sur l'année, par exemple ;

- végétaux potagers :

Dans le cadre d'une activité de jardinage, le préleveur s'assure de collecter les espèces végétales les plus consommées et pas uniquement celles qui contiendraient les concentrations les plus fortes (tel est le cas pour certaines herbes aromatiques par rapport aux métaux, par exemple). Il est rappelé aussi que le choix des espèces prélevées pèse sur les résultats et la gestion environnementale et sanitaire ultérieure puisqu'elles sont jugées comme représentatives des catégories retenues pour les calculs de risque sanitaire (légume-feuille ; légume-racine ; légume-fruit ; tubercules ; fruit). L'extrapolation d'une seule espèce cultivée selon une pratique culturale spécifique à l'ensemble d'une catégorie de légumes (i.e. carotte pour légumes-racines), pendant une année N, est à appréhender avec prudence et à mettre en perspective au regard de sa représentativité et de sa pérennité dans le temps. Elle doit être considérée dans les conclusions liées aux mesures de gestion.

Il convient aussi d'être attentif à certains végétaux cultivés dans le carré potager mais destinés à l'alimentation des animaux d'élevage, comme les raves pour les lapins.

Enfin, le taux d'auto-production, nécessaire pour l'évaluation des risques peut être appréhendé au travers des grandes superficies cultivées, de la rotation des cultures (optimisation des surfaces, succession rapide des cultures) et des pratiques généralisées de congélation/appertisation. En effet, le taux d'auto-production est le plus souvent, d'autant plus élevé que les surfaces sont grandes (cf. chapitre 2.1.1. du guide ADEME, INERIS, 2014).

c. Pâtures et variabilités saisonnières des concentrations dans la biomasse

Il convient de considérer d'éventuelles variabilités saisonnières quand les polluants d'intérêt sont aussi émis par d'autres sources telles que le chauffage au bois en hiver en milieu rural, c'est le cas des PCDD/F. Les teneurs en PCDD/F sont d'autant plus élevées en période hivernale que le chauffage au bois contribue à leur émission et que ces substances ne se « diluent » pas dans la biomasse végétale peu développée en hiver. → stratégie : intérêt de faire des prélèvements synchrones entre les zones impactées et les zones témoin, selon les saisons.

Les feux de forêts peuvent également être responsables d'émissions de polluants et participer aux variabilités saisonnières des concentrations en polluants dans la biomasse végétale.

8.7.2.7 Projets de recherche, ouvrages et bases de données

a. Bases de données

Deux bases de données ont été mises en place sur les teneurs en polluants dans les plantes potagères :

- BAPPET : Base de données sur la contamination des plantes potagères par en éléments traces métalliques (<http://ssp-infoterre.brgm.fr/bappet-teneurs-en-etm-des-plantes-potageres>);
- BAPPOP : Base de données sur la contamination des plantes potagères par les molécules organiques polluantes (<http://ssp-infoterre.brgm.fr/bappop-contamination-plantes-potageres-molecules-organiques>).

b. Ouvrages

L'ouvrage « Contamination des sols. Transferts des sols vers les plantes. Anne Tremel-Schaub et Isabelle Feix. EDP Sciences/Ademe.2005 » apporte des informations sur le transfert des sols vers les plantes des éléments trace, les modèles de transfert, les expositions pour l'homme et les végétaux et propose des teneurs naturelles dans les plantes cultivées et dans les aliments à base de végétaux.

Pour certains polluants et dans des contextes particuliers, comme la chlordécone et ses métabolites, des protocoles spécifiques ont été établis. On peut citer notamment le « Guide d'échantillonnage des végétaux dans le cadre de diagnostics sanitaires et environnementaux – Cas de la pollution par la Chlordécone - PRAM (Pôle de recherche Agro-environnemental de la Martinique) et CIRAD ».

Modèles de transfert Sol-Plante des polluants organiques, Tome 1 : Revue bibliographique. N° INERIS DRC-02-41200/DESP R21a, 2002.

Cette étude a pour objectif de décrire quelques modèles disponibles dans la littérature et de tester leur validité par la comparaison de leurs résultats avec des cultures de végétaux réalisées en conditions contrôlées. La première partie de l'étude est une recherche bibliographique afin de sélectionner 5 principaux modèles de transfert de substances organiques vers les plantes.

Modèles de transfert Sol-Plante des polluants organiques, Tome 2 : Intercomparaison de modèles physiologiques (PlantX, Cemos-Plant, Mackay_97) et empirique (relation de Briggs) à partir de données expérimentales. N° INERIS DRC-05-57281/DESP R01a, 07/10/2005.

Ce rapport vise à tester et à comparer trois modèles (Mackay_97, Cemos et Plant X), en se fondant sur les données expérimentales obtenues par le laboratoire Sols et Environnement (UMR ENSAIA-INRA) et l'IRH, pour certains végétaux couramment cultivés dans les jardins potagers ainsi que pour certaines substances organiques sélectionnées parmi les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les benzène, toluène, éthylbenzène, xylène (BTEX) et les composés organo(halogénés) volatils (CO(H)V).

c. Projets de recherche sur les transferts sol-plantes

Le Projet Sacartom (2000-2003) piloté par l'Ademe, avait pour objectifs :

- d'acquérir des données sur le transfert et la quantification de polluants organiques dans les plantes potagères ;
- de tester et comparer différents modèles prédictifs de transfert de polluants organiques des sols vers les plantes potagères au regard des données pré-citées ;
- et de faire des recommandations pour les diagnostics de sites pollués et les scénarii de reconversion de friches.

Quatre modèles de transfert sol-plantes de polluants organiques⁵⁹ ont été testés à partir de mesures expérimentales. Les polluants étudiés sont les HAP (naphtalène, anthracène, phénanthrène et benzo(a)pyrène), BTEX (benzène et toluène) et COHV (chloroforme et tétrachloroéthylène).

⁵⁹ Modèles physiologiques (PlantX, Cemos-Plant, Mackay-97) et empirique (relation de Briggs)

Ces travaux ont été valorisés en alimentant la base de données BAPPOP.

Le projet TROPHÉ (Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les Ecosystèmes) avait trois principaux objectifs (ADEME, INERIS, 2017) :

- améliorer les connaissances sur les transferts, la bio-accumulation et la biodisponibilité des PCB et PCDD/PCDF au sein de la chaîne alimentaire et des réseaux trophiques ;
- évaluer les expositions et les risques à l'aide d'outils de modélisation Modul'ERS dans le cadre des évaluations de risques et Terrasys dans le cadre des évaluations de risques pour les écosystèmes ;
- identifier les étapes et les outils communs entre ERS et éRé afin d'améliorer les analyses environnementales qui nécessitent aujourd'hui d'être développées et structurées.

Six livrables ont été rédigés dans le cadre de ce projet en 2017. Ils sont consultables sur le site :

<https://www.ineris.fr/fr/trophe-transferts-risques-organiques-persistants-homme-ecosystemes-livrables-ndeg1-2-synthese>

Le Projet CARTHAGE (Contribution de l'Air dans les Risques et Transferts associés aux HAP en Agricultures urbaines : Gestion et Evaluation Contribution de l'Air dans les Risques et Transferts associés) (résumé du projet : <https://www.primequal.fr/fr/VillesQA/carthage>).

L'objectif du projet CARTHAGE est de caractériser et de documenter les teneurs en HAP peu étudiées dans un contexte urbain en vue d'évaluer, notamment la contribution de la pollution atmosphérique à la contamination des végétaux en HAP, en distinguant les différents mécanismes de transferts tels que les transferts foliaire et racinaire.

Ce projet utilise différentes modalités d'expérimentations en conditions réelles sur des micro-fermes urbaines en Ile-de-France : culture en pleine terre, culture sous serre et culture avec paillage (*fin du projet prévue en 2023*).

8.7.2.8 Documents de référence sur les produits végétaux

Les normes en vigueur :

- NF EN 13804 (mai 2013) – Produits alimentaires – Détermination des éléments et de leurs espèces chimiques – considérations générales et exigences spécifiques.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Guide ADEME, seconde édition, 2014 : Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux. Guide relatif à l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage, mise en œuvre sur le terrain, interface avec le laboratoire, interprétation des résultats ;
- Guide Ineris-201081-2373869-V1, mai 2022. Guide pratique pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués. Guide destiné aux préleveurs et aux laboratoires d'analyses chimiques.

Guides pour la préparation des échantillons :

- Guide Technique d'Accréditation - LAB GTA 45 - Analyses d'éléments traces métalliques et minéraux et leurs espèces chimiques dans les denrées alimentaires destinées à l'homme ou aux animaux. Ce document concerne les éléments traces métalliques tels que l'arsenic, le plomb, le cadmium, le mercure...) et les végétaux tels que les fruits et légumes ;
- Guide Technique d'Accréditation - LAB GTA 26 - Analyses de résidus de pesticides et de contaminants organiques dans les denrées alimentaires destinées à l'homme ou aux animaux et les matrices

biologiques d'origine animale. Ce document concerne l'analyse des résidus de pesticides et de contaminants néoformés et/ou organiques tels que les dioxines/furanes, les PCB, les PBDE, les HAP et les phtalates. Il s'applique aux végétaux tels que les fruits et légumes.

8.7.3 Produits animaux

8.7.3.1 Contexte

Les prélèvements de produits animaux d'élevage ou sauvages peuvent être motivés, à partir du moment où ces animaux sont consommés par l'homme et que les sols, les eaux et/ou les sédiments sur/dans lesquels ils vivent ont été impactés par une pollution.

La documentation relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.7.3.7.

8.7.3.2 Stratégie d'investigations

Afin de veiller à ce que la prestation réponde aux attentes spécifiques qui sont posées en lien avec le site étudié, le bureau d'étude en environnement doit travailler en étroite concertation avec les services compétents de l'État en charge de la surveillance (DRAAF (Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt), DDPP (Direction Départementale de la protection des populations), etc.), les fédérations (chasse, pêche) ou par des bureaux d'étude spécialisés.

Le prélèvement des espèces animales peut être soumis à l'obtention d'autorisations préalables.

a. Faune aquatique

Lorsque la pollution d'un site est susceptible d'avoir impacté le milieu aquatique (rivière, étangs...) soit directement (déversement, rejet via les réseaux...), soit indirectement (via les eaux souterraines), il est usuel d'engager des investigations sur les eaux et les sédiments (cf. chapitres dédiés). Au-delà de ces deux milieux, la caractérisation de l'état de la faune piscicole mérite une attention toute particulière notamment lorsque :

- les polluants concernés sont persistants dans l'environnement notamment les sédiments ; c'est le cas des métaux et des POPs ;
- les polluants concernés s'accumulent dans la chaîne trophique, voire se biomagnifient (ex : PCB) ;
- les anomalies constatées sont étendues à l'échelle du plan / cours d'eau et impactent un territoire significatif de la faune piscicole (non localisé uniquement au droit d'un rejet) ; pour les PCB, les anomalies peuvent être appréciées par le biais de l'étude du CEMAGREF disponible sur le site <https://hal.inrae.fr/hal-02595819/document>.

En outre, la pratique de la pêche accentue l'intérêt de mener de telles investigations pour caractériser l'impact sur les poissons et disposer d'éléments permettant d'apprécier le maintien de cette pratique en toute sécurité pour les consommateurs ou au contraire de justifier de la suspendre. Dans certains cas, il peut s'agir de limiter voire interdire la consommation de poissons.

Du fait de ces critères de décision, les investigations sur la faune piscicole sont généralement engagées dans un second temps, en fonction des résultats d'analyse sur les matrices eau et sédiment.

La délimitation du périmètre d'étude (tronçon de rivière) repose sur les anomalies constatées dans les sédiments, le repérage d'autres sources de pollution et le choix d'une zone de pêche témoin. Ainsi, plusieurs zones de captures sont retenues. Elles sont suffisamment espacées (plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres) pour marquer des gradients de concentrations dans les sédiments et couvrir des zones d'habitat des poissons qui restent néanmoins toutes relatives compte tenu de leur déplacement. Chacune de ces zones

est décrite en détail (largeur, profondeur, surface de la zone de pêche, classe de vitesse du courant, végétation du fond, ...).

En outre, pour tous les cours d'eau, y compris ceux circulant sur le domaine privé, un arrêté préfectoral doit être obtenu auprès de la DDT(M) pour réaliser le prélèvement. Ce n'est pas le cas des plans d'eau privés dont l'autorisation relève du seul propriétaire.

La stratégie d'échantillonnage, le choix de la (ou des) méthode(s) de capture, la description des spécimens pêchés, la démarche de sélection des espèces et des individus, de conditionnement et d'expédition des poissons vers le laboratoire d'analyses sont autant d'étapes à mener de manière rigoureuse pour disposer de données de qualité. La connaissance des poissons va au-delà de la reconnaissance de l'espèce. Il s'agit d'être en mesure de leur donner un âge en fonction de leur taille mais aussi de connaître leur comportement (fouisseur, accumulateur, régime alimentaire et position dans la chaîne trophique) (Figure 62 et Figure 63).

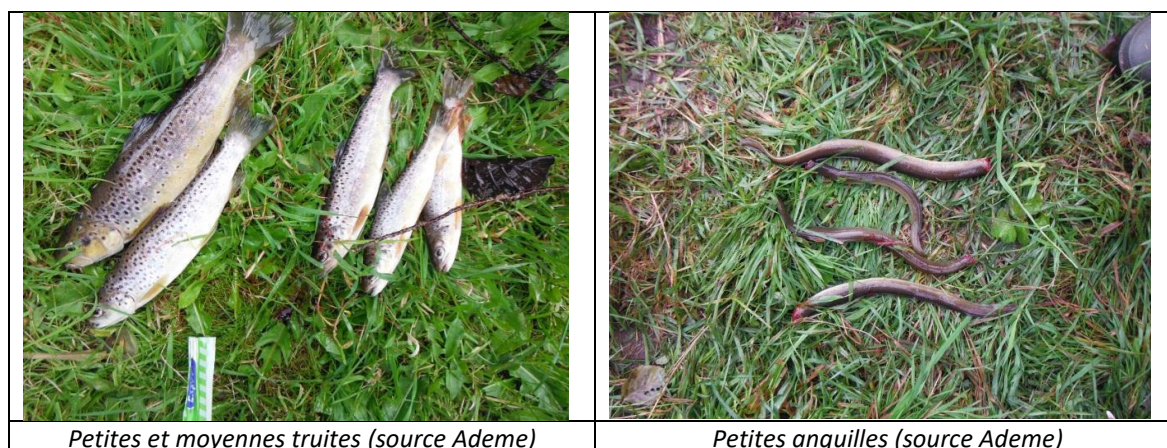


Figure 62 : Exemples d'espèces prélevées en rivière.

Pour veiller à la représentativité des prélèvements, il convient d'éviter les situations hydrologiques exceptionnelles (crue, rupture d'écoulement, assec, etc.). La durée de stabilisation des débits à prendre en compte est au minimum de 8 jours après le passage d'une crue et au minimum de 30 jours suite à une rupture d'écoulement ou un assec (ONEMA, 2012⁶⁰). Le recours à plusieurs campagnes par an n'est pas indispensable, mais elle peut aider à échantillonner plus facilement des juvéniles, voire un plus grand nombre d'espèces.

⁶⁰ https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/guide_de_peches_a_lelectricite.pdf



Figure 63 : Exemples d'échantillonnage de poissons en rivière.

L'interprétation des résultats est plus simple sur des territoires où l'habitat des espèces sélectionnés est bien délimité spatialement, comme les mares ou étangs.

b. Animaux d'élevage et sauvages

Les pratiques pour les animaux d'élevage et sauvages ne sont pas aussi détaillées dans la littérature que celles pour les animaux aquatiques. Le bureau d'étude en environnement s'appuiera sur les fédérations de chasse ou les services de l'État compétents.

Il est à noter que les animaux d'élevage peuvent être exposés aux polluants via l'alimentation (fourrage, grains) mais aussi via les sols ingérés lorsqu'ils pâturent⁶¹.

Pour les animaux sauvages, le territoire d'habitat/de chasse peut inclure entièrement ou non la zone potentiellement impactée. Aussi, il est important de se renseigner auprès des experts sur les habitudes de vie/déplacement/prédation (alimentation)/niveau de développement (âge) des animaux prélevés à l'état sauvage. D'où le recours aussi à des protocoles standardisés d'exposition de populations animales engagées pour évaluer une exposition potentielle (cf. gammarets au droit des cours d'eau).

c. Productions animales

Le lait et les œufs peuvent être prélevés dans le cadre de plan de surveillance en contexte SSP. Dans ce cadre, le bureau d'étude s'assure de la représentativité du prélèvement par rapport à l'objectif visé. Ainsi, il est important de définir au préalable, quel est le but de ces prélèvements et de ces analyses pour définir le lieu, les modalités de prélèvement, (prélèvement de lait dans tank à lait ou au pis de la vache par exemple), la période de prélèvement (ne pas oublier la cinétique de contamination et métabolisation), les seuils d'analyse et recueillir les informations contextuelles nécessaires à l'interprétation (âge de l'animal, animal en production ou pas, alimentation, ...).

⁶¹ M-L Lastel, dans son rapport de thèse (« Chlordécone et filières animales antillaises - De la distribution tissulaire aux stratégies de décontamination chez les ruminants », 2015), précise des quantités de sols ingérées par jour, pour animaux d'élevage : les vaches, entre 0.83 et 1.3 kg/jour, les poules pondeuses 0.3 kg/jour.

Le bureau d'étude s'assure également de garder le même protocole de prélèvement et le même laboratoire d'analyse pendant toute la durée de surveillance.

Pour le lait, le pic de contamination est généralement visible au bout de 15 jours, si une contamination du cheptel s'est produite, du moins pour les substances organiques persistances comme les PCB, PCDD/F.

Il est à noter que, pour ces études, il reste difficile pour les cheptels, de croiser une éventuelle contamination dans les produits consommés (lait, viande, œuf) avec les lieux de vie/pâtures parcourues. Cela nécessite notamment de mener une enquête sur les conditions d'élevage et un diagnostic exhaustif sur tous les intrants alimentaires commerciaux et sur pied, sur l'abreuvement, etc.

8.7.3.3 Méthodes d'échantillonnage et de préparation

Les méthodes d'échantillonnage à appliquer sont à adapter en fonction de la matrice choisie (gibier, poisson, œufs, lait, etc.). Ce type de prélèvement est généralement assuré par les services vétérinaires sous la supervision des services compétents de l'État en charge de la surveillance, par les fédérations (chasse, pêche) ou par des bureaux d'étude spécialisés. Le recours à ces structures spécialisées pour la conduite de ces investigations est indispensable. Ses agents disposent du matériel, de l'expertise et maîtrisent les protocoles normalisés existants. Ils maîtrisent en outre les aspects liés à la sécurité (noyade, électrocution...). Le bureau d'étude en environnement doit accompagner leur travail.

Pour le biote, des recommandations sur la préparation figurent dans le rapport (Coquery, Grouhel, & Marescaux, 2017). La norme NF EN 13804 propose des modes opératoires pour la préparation de certains produits alimentaires comme le lait, le fromage, les œufs, la viande, le poisson ou encore les crustacés et mollusques.

8.7.3.4 Conditionnement et stockage

En ce qui concerne les animaux aquatiques comme les poissons et les gammarès, le guide (Coquery, Grouhel, & Marescaux, 2017) précise les recommandations en termes de conditionnement des poissons sur site après la pêche, leur conservation et le transport des différents lots de poissons (exemple en Figure 64).



Figure 64 : Echantillons de poissons conditionnés pour expédition au laboratoire (source Ademe).

Pour les productions animales, les quantités nécessaires et le conditionnement adapté sont à faire préciser par le laboratoire. Quelques quantités sont néanmoins proposées dans le Tableau 12.

Pour les œufs et le lait, un transport sous 24h est à privilégier, sous ambiance réfrigérée. La température ambiante hivernale est également acceptée. Ces matrices peuvent être congelées avant envoi. Cela permet de les envoyer en transporteur classique dès lors que c'est du 24h (les échantillons se décongèlent au cours du transport).

Matrice	Nature, quantité et conditionnement
Œufs	1 douzaine si possible, dans un pot en PET ou en verre (possibilité de congeler avant transport si besoin)
Lait	Lait du tank avec au moins 2 traites, dans un pot en PET ou en verre – il peut être congelé avant envoi
Animaux	A l'abattoir : graisse périnéale (bovins-porcins-ovins) Animaux vivants : graisse péricaudale notamment pour bovins Volaille : muscles

Tableau 12 : Exemples de quantités à envoyer au laboratoire d'analyses pour des productions animales.

Les délais analytiques pour les matrices animales ou fourrages sont de même ordre de grandeur que pour les autres matrices (sol, végétaux, etc.).

8.7.3.5 Documents et informations à fournir

Conformément à la prestation A250, définie dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620, plusieurs documents doivent être présents dans le rapport de diagnostic et notamment la fiche de prélèvement, spécifique à chaque échantillon.

La fiche de prélèvement indiquera *a minima* : la date et l'heure de l'échantillonnage, l'identité du préleveur, l'identification du lieu d'échantillonnage, la nature de l'échantillon (espèce, nombre d'individu, taille, etc.) et le matériel utilisé, les mesures physico-chimiques ou encore le relevé des observations de terrain.

Pour le biote, (Coquery, Grouhel, & Marescaux, 2017) propose un modèle de fiche terrain échantillonnage biote dans un cours d'eau.

En cas de prélèvements d'œufs (recherche de dioxines notamment), le bureau d'étude précise sur la fiche de prélèvement de la matrice animale, le mode d'alimentation (aliments solides, eau d'abreuvement) et d'élevage (plein-air/parcours) des poules, l'âge des poules - vieilles ou jeunes poules (cycle de développement/reproduction).

8.7.3.6 Retours d'expérience

→ Impact d'une pollution par les PCB sur une ferme piscicole

En parallèle d'un constat de vandalisme d'un transformateur contenant des PCB, un élevage piscicole établi dans des bassins fermés situés à plusieurs kilomètres du lieu du vandalisme a été victime d'une très forte mortalité. La conduite d'investigations a permis de montrer que le transformateur se trouvait au droit d'un karst connecté avec le réseau hydrographique alimentant en contrebas les bassins piscicoles et une rivière. Les huiles chargées aux PCB ont donc suivi gravitairement le karst, aidées en partie par la circulation d'eau, et ont atteint les sources alimentant les bassins situés en contrebas. D'autres sources situées à proximité de la rivière et parfois même directement dans le cours de celle-ci, ont entraîné sa contamination, sans qu'une surmortalité de poisson n'ait été constatée.

Des prélèvements d'eau, de sédiment et de poissons sur différentes zones de la rivière ont permis de constater un impact sur les sédiments et les poissons mais aussi de cerner l'étendue de la contamination afin de définir une zone d'interdiction de pêche. Une surveillance a été mise en place en collaboration avec la fédération de pêche pour ajuster le périmètre d'interdiction autant que de besoin. Du fait de la taille de la rivière et de la dispersion de la pollution, avec le temps et en particulier la disparition des poissons qui ont connu l'évènement (arrivée des PCB), il est possible d'espérer une réduction, voire une levée de cette interdiction à terme. Au niveau des bassins, des travaux de curage ont été réalisés, mais l'exploitation n'a pas pu reprendre car l'arrivée ponctuelle et sporadique de PCB dans ces espaces fermés n'a pas pu être

totalemé écartée. La présence de pollution résiduelle et inaccessible au sein du réseau karstique reste possible avec un risque de remobilisation à l'occasion d'épisode de forte recharge du réseau.

8.7.3.7 Documents de référence sur les produits animaux

Poissons/animaux aquatiques

Les normes et textes en vigueur en vigueur :

- Norme NF EN 14011 – Qualité de l'eau – Échantillonnage des poissons à l'électricité ;
- Norme NF EN 14962 – Qualité de l'eau – Guide sur le domaine d'application et la sélection des méthodes d'échantillonnage de poissons ;
- Norme NF EN 14757 : Qualité de l'eau – Échantillonnage des poissons à l'aide de filets maillants ;
- Norme XP T90-383. Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau ;
- RÈGLEMENT (UE) n° 644/2017 de la Commission du 5 avril 2017 portant fixation des méthodes de prélèvement et d'analyse d'échantillons à utiliser pour le contrôle des teneurs en dioxines, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine de certaines denrées alimentaires et abrogeant le règlement (UE) n° 589/2014.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Guide « Évaluations des Risques pour les Ecosystèmes (ERE) - Impact local des activités industrielles sur les milieux naturels et la biodiversité » (OFB-INERIS, 2021) ;
- Coquery, Grouhel, & Marescaux. (2017). AQUAREF – Recommandations techniques – conditionnement et transport des échantillons biote (poisson) en milieu continental (cours d'eau-plan d'eau) dans le cadre de la surveillance chimique des programmes DCE.
- Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité – ONEMA – nov. 2012, 31p.
- Contamination des poissons d'eau douce par les PCB et d'autres contaminants persistants dans le bassin Rhône-Méditerranée - Détermination de facteurs d'accumulation sédiments-poissons et d'une valeur seuil dans le sédiment au-delà de laquelle les poissons risquent de dépasser le seuil réglementaire de consommation – CEMAGREF – sept. 2011, 85p.

8.7.4 Eau du robinet

8.7.4.1 Contexte

Il est pertinent d'analyser l'eau du robinet dès lors qu'une pollution de celle-ci est supposée. Dans le domaine des sites et sols pollués, cela est le cas lorsque les réseaux de distribution sont enterrés dans des zones présentant ou susceptibles de présenter une pollution des sols (polluant pouvant être sous forme aqueuse, en phase libre ou gazeuse). Certains composés peuvent ainsi diffuser par perméation à l'intérieur des tuyaux de distribution (cas des tuyaux en PE (polyéthylène notamment) et se retrouver dans l'eau de boisson.

Les conduites, concernées par le phénomène de perméation et les plus communément utilisées pour le transport de l'eau du robinet sont en PVC (Polyvinyl chloride), en PE (Polyéthylène) ou en PB (Polybutylène). Le coefficient de perméation des conduites en métal est nul. Toutefois, cela peut aussi se faire au niveau des

connections (joints) ou des fuites du réseau et ne pas être spécifique à une nature de tuyau ou de polluant dans ce cas.

Ce sont essentiellement les composés organiques, tels que les aromatiques alkylés et hydrocarbures chlorés (lipophiles, non polaires et volatils) qui présentent des propriétés permettant la perméation. On peut citer notamment :

- le tétrachlorure de carbone, le trichloroéthylène, le tétrachloroéthylène, le chlorobenzène, le benzène, le toluène et les o,m,p-xylènes ;
- dichlorométhane, 1,2-dichloréthane, 1,1,1-trichloréthane, 1,2-dichloropropane, chlorure de vinyle, bromure de méthyle, éthylbenzène, et di- et tri-chlorobenzènes ;
- dans une moindre mesure, des alcanes légers (cyclohexane), le naphthalène, certains aldéhydes comme le benzaldéhyde.

La perméation est faible pour les composés polaires, tels que les cétones et les phénols.

La perméation doit être considérée comme un phénomène bien réel qui peut altérer grandement la qualité de l'eau potable au niveau du réseau de distribution.

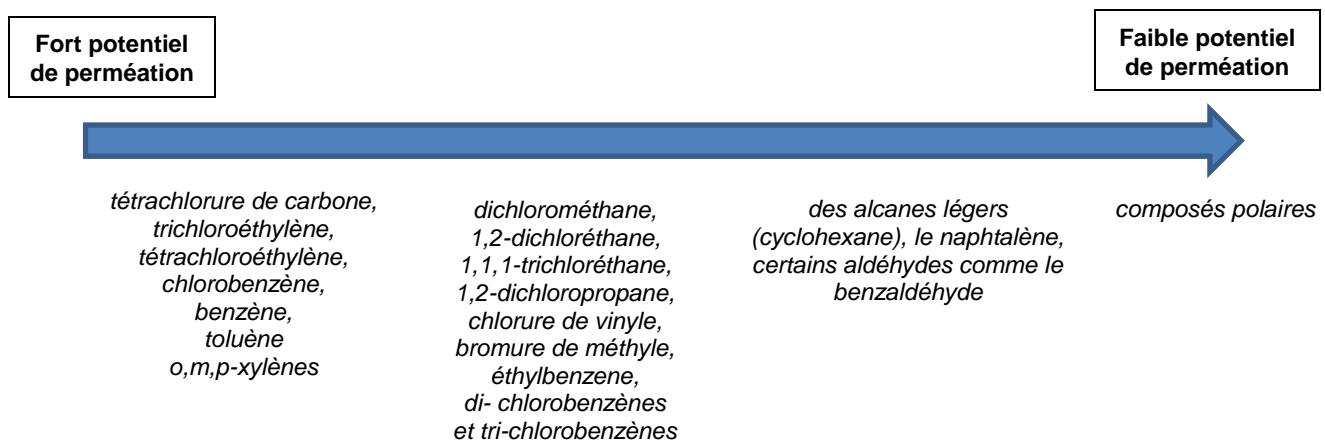


Figure 65 : Potentiel de perméation de composés organiques.

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.7.4.7.

8.7.4.2 Stratégie d'investigations

Il est important de sélectionner les robinets en fonction de la configuration du réseau depuis le compteur. Le recours à un ou des témoins à l'échelle du quartier (selon l'étude historique) peut aider à identifier une problématique plus large que le site étudié.

8.7.4.3 Méthodes d'échantillonnage

Pour l'eau du robinet, le protocole de prélèvement (FD T 90-520) peut être variable selon les substances recherchées et la finalité de l'étude engagée. Il est décrit dans les documents de référence précités :

- pour l'analyse des substances organiques ou bactériologiques et des métaux (excepté Cu, Ni et Pb), il convient de procéder à une purge au robinet (ouvrir à grand débit quelques secondes pour rincer la tuyauterie, puis à débit moyen 30 secondes avant d'échantillonner en flacon).

Le protocole décrit également d'autres recommandations relatives par exemple aux choix des robinets, au retrait des aérateurs, à la mesure de paramètres physico-chimiques ou encore au mode opératoire pour procéder à la désinfection à la flamme le cas échéant. Cette dernière est un préalable pour les analyses bactériologiques ;

- pour l'analyse des composés Cu, Ni et Pb, du fait de la possible contribution de la conduite, du robinet, voire du système d'alimentation, des consignes spécifiques vont dépendre de la finalité de l'étude et de l'usage du robinet :
 - si l'enjeu de l'étude est sanitaire (l'eau à la sortie de ce robinet est-elle potable ?), alors aucune purge au robinet n'est pratiquée. Il est à noter que pour ces 3 métaux, sur des robinets raccordés au réseau d'adduction collectif, on est souvent assez loin de la problématique SSP, car contrairement aux composés organiques, les phénomènes de perméation ne concernent pas ces éléments,
 - si l'enjeu de l'étude est environnemental (le robinet est alimenté par la pompe d'un puits ou d'un forage de particulier et sert à des usages annexes (arrosage, lavage non sensible...), alors il est préférable de prélever de l'eau représentative du puits telle qu'elle est prélevée en cours d'usage plutôt que stagnante à l'intérieur des tuyaux au moment de l'ouverture du robinet ; dans ce cas, une purge est préférable,
 - si l'étude combine les deux enjeux (sanitaire et environnemental) du fait des usages et du contexte, les deux types de protocoles peuvent être mis en œuvre en parallèle pour apporter des réponses sur 1) la qualité de l'eau du puits en lien avec la pollution du site étudié, 2) la contribution du système d'alimentation, 3) l'exposition réelle des usagers.
- ⇒ Pour ces 3 métaux, un échange en amont avec la DREAL/DEAL/DRIEAT et l'ARS est fortement recommandé pour s'accorder sur le protocole et les objectifs et ainsi éviter la nécessité alors d'y retourner.

Les mesures physico-chimiques (pH, oxygène dissous (%), évaluation organoleptique qualitative, température, conductivité et potentiel redox) sont à réaliser lors de l'échantillonnage.

8.7.4.4 Conditionnement et stockage

Les préconisations en lien avec le conditionnement et le stockage de l'eau du robinet sont identiques à celles pour les échantillons d'eaux souterraines (cf. § 8.2.5.5) ou d'eaux superficielles (cf. 8.3.4), à savoir :

- l'opérateur se rapproche du laboratoire afin de se coordonner sur la préparation des échantillons (ajout d'un stabilisant, rinçage, étiquetage, etc.), sur le flaconnage et les volumes d'eau à prélever (dépendant des analyses), en fonction de l'objectif de l'étude et de son contexte ;
- le flacon est rempli avec précaution, en évitant les contacts avec le robinet (analyse des métaux), les éclaboussures et le dégazage de composés dissous (analyse des volatils) ; il est entièrement rempli (absence de bulles d'air) afin d'éviter les interactions possibles avec l'air, sauf spécifications contraires (ISO 5667-3, 2018).

Par ailleurs, les échantillons sont placés dès leur conditionnement et pendant toute la durée de l'acheminement jusqu'au laboratoire d'analyse, à l'obscurité, dans une enceinte isotherme, propre et refroidie (glacière).

Il est à noter que, contrairement à un réfrigérateur, la glacière ne permet pas de refroidir un échantillon, mais uniquement de le conserver à la température à laquelle il a été introduit dans celle-ci, c'est-à-dire généralement entre 12 et 20 °C en sortie de robinet. Il convient donc d'être particulièrement vigilant sur les délais d'acheminement et les moyens de maintenir des températures basses dans l'enceinte car les analyses

ne sont pas conformes aux normes si la température de l'enceinte à l'arrivée au laboratoire dépasse 7 ou 8 °C (la norme précise $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$).

Pour garantir le respect de cette exigence, selon les conditions climatiques, cela pourra nécessiter des adaptations : utilisation d'un réfrigérateur, temps de transport le plus court possible ou encore refroidissement des échantillons à une température comprise entre 2 et 8 °C avant leur introduction dans la glacière (via une glacière réfrigérante branchée sur l'allume-cigare ou via un stockage dans un réfrigérateur avant envoi – durée maximale 24 h).

Pour éviter les risques de casse, des systèmes de calage des flacons (fournis par le laboratoire) doivent être utilisés. Enfin, il est déconseillé de congeler les échantillons, sauf demande spécifique du laboratoire. En effet, au cours de la décongélation, les échantillons gelés précipitent souvent, les bactéries prolifèrent et peuvent être à l'origine de résultats erronés, en particulier pour les pesticides et les composés polychlorobiphényles (PCB).

Les préconisations de la norme ISO 5667-3 relative à la conservation et la manipulation des échantillons d'eau peuvent être appliquées à l'eau du robinet. La norme présente les durées maximales de stockage par le laboratoire, pour chaque substance à rechercher, c'est-à-dire entre le moment de l'échantillonnage et le début de l'analyse en laboratoire. Selon les paramètres à rechercher, ces durées varient de 1 jour à 6 mois (pour les flacons stabilisés) pour les inorganiques, et de 1 à 21 jours pour les organiques.

8.7.4.5 Documents et informations à fournir

Conformément à la prestation A250, définie dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620, plusieurs documents doivent être présents dans le rapport de diagnostic et notamment la fiche de prélèvement, spécifique à chaque échantillon. Un modèle de fiche d'eau du robinet est proposé dans le fasciculaire documentaire (FD T 90-520).

8.7.4.6 Retours d'expérience

Les cas de contamination par des BTEX ou des solvants chlorés sont les plus fréquents, avec des dépassements des valeurs réglementaires qui peuvent dans les cas les plus marqués atteindre plus d'un ordre de grandeur. Ces cas ont été rencontrés sur des sites dont les canalisations traversaient des zones de sols pollués. Généralement il s'agissait de pollutions qui étaient postérieures à la pose de la canalisation, mais l'inverse a également été rencontrée. Cette problématique doit donc être traitée avec vigilance dans les plans de gestion (matériaux encaissant sains et conduite étanche), y compris au regard des pollutions résiduelles. Les installateurs doivent également d'être sensibilisés à cette problématique notamment en cas de constat d'indice de pollutions ou d'odeurs.

Les documents collectés auprès des exploitants de réseaux, dans le cadre des DICT, peuvent permettre d'accéder à la nature des canalisations.

8.7.4.7 Documents de référence sur l'eau du robinet

Les normes et textes en vigueur :

- FD T 90-520 – Qualité de l'eau – Guide technique de prélèvement pour le suivi sanitaire des eaux en application du Code de Santé publique.

Les guides et travaux des groupes de travail :

- Contrôle sanitaire des eaux - Guide de prélèvements – charte de qualité ; Qui, comment, quand et avec quels outils doit-on procéder à un prélèvement ? ARS Rhône-Alpes (octobre 2006).

8.8 Les investigations sur les terres excavées ou à excaver

Ces investigations sont réalisées conformément à la partie 2 de la série de normes NF X31-620 (Prestation A260 « prélèvements, mesures, observations et/ou analyse sur les terres excavées ou à excaver »).

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 8.8.7.

8.8.1 Généralités

Les chantiers de réhabilitation de sites, pollués ou non, se traduisent fréquemment par l'excavation d'une quantité importante de terres liée aux terrassements nécessaires au projet d'aménagement. Ne pouvant pas toujours être réemployée sur site, une partie importante de ces terres peut être évacuée hors site et prend alors le statut de déchet. Ces évacuations sont synonymes de volumes conséquents de matériaux à gérer et de coûts importants liés au transport et aux modes de gestion. Les caractéristiques des terres influent sur les voies de gestion possibles (type de valorisation ou de stockage) et sur le coût associé aux différentes filières envisagées. L'ensemble des coûts pouvant influencer de manière significative sur l'équilibre économique du projet, il est nécessaire d'intégrer cette problématique le plus en amont possible.

8.8.2 Objectifs et principes des investigations sur les terres excavées ou à excaver

Dès lors qu'une excavation de terres est envisagée, il y a lieu de les caractériser. Cette caractérisation doit porter sur l'ensemble de la zone à excaver et doit être complémentaire à la caractérisation des sources de pollution. Elle doit permettre le cas échéant de :

- compléter et préciser les résultats des caractérisations antérieures ;
- définir ou affiner les volumes de terres à gérer ou pouvant rester sur place ;
- définir un plan de terrassement ;
- choisir les modes de gestion de ces terres : réemploi sur site, valorisation hors site, ou évacuation en centres de traitement, de tri, de transit ou de stockage.

Le type de caractérisation à mettre en œuvre dépend des modes de gestion envisagés.

8.8.2.1 Réemploi sur site

Lorsqu'il est envisagé un réemploi sur site des terres excavées, c'est la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués qui s'applique via la réalisation d'un plan de gestion (avec une analyse des risques résiduels permettant de valider la démarche d'un point de vue sanitaire).

À noter que cette démarche ne s'applique pas aux terres excavées non issues de sites et sols potentiellement pollués.

8.8.2.2 Valorisation hors site

Lorsqu'une valorisation des terres hors site est envisagée, il est important de s'assurer qu'elle soit réalisée dans des conditions garantissant la protection de la santé humaine et de l'environnement sur le site receveur. Les différents guides spécifiques aux terres excavées proposent une méthode de caractérisation et de valorisation, déclinée selon l'origine des terres et leur usage futur et permettant de vérifier les trois conditions suivantes :

- selon les usages envisagés, maintien de la qualité des sols du site receveur basé sur le respect des critères issus du fond pédogéochimique ou la préservation de la qualité des sols du site receveur basée sur des facteurs multiplicatifs par rapport à ce fond pédogéochimique. Une doctrine précisant les critères à respecter selon les usages est actuellement en cours de rédaction par le Ministère en charge de l'environnement ;
- préservation de la ressource en eau et des écosystèmes. Les terres valorisées ne doivent pas impacter la ressource en eau. L'outil HYDROTEX <http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-utilisation-hydrotex> permet d'évaluer si la valorisation des terres affecte la qualité de la ressource en eau dès lors que les valeurs de l'annexe II de l'arrêté ISDI sont dépassées (ou en l'absence de valeurs pour certaines substances évaluées) ;
- compatibilité sanitaire de la qualité des terres excavées rapportées avec l'usage envisagé. Pour certaines substances, des valeurs seuils élaborées sur la base de calculs de risques sanitaires garantissent l'absence de risque sanitaire pour certains usages. En l'absence de valeurs seuils ou en cas de dépassement, des approches d'EQRS spécifiques doivent être menées.

À noter que les terres faisant l'objet d'une valorisation « hors site » doivent remplir une fonction utile et la valorisation ne doit pas être considérée comme une substitution au stockage.

Les guides associés à la valorisation des terres hors site sont cités au § 8.8.7.

8.8.2.3 Passage par une plateforme de tri, transit, regroupement ou de traitement (ICPE)

Lorsqu'il est prévu un passage des terres par une plateforme de tri, transit, regroupement ou vers un centre de traitement (biocentre, désorption thermique...), une caractérisation préalable est nécessaire pour vérifier leur acceptabilité au sein de la plateforme ou au centre de traitement. Les modalités d'acceptation sur ces sites dépendent de l'arrêté préfectoral d'exploitation et un certificat d'acceptation préalable doit être produit sur la base d'une caractérisation des terres.

8.8.2.4 Mise en installation de stockage de déchets

Enfin, lorsque les terres sont destinées à être mises en installation de stockage de déchets, il est nécessaire de caractériser les terres pour vérifier leur acceptabilité au regard des critères réglementaires relatifs aux différents types d'installations de stockage de déchets. Un certificat d'acceptation préalable doit être établi par cette installation sur la base d'une caractérisation préalable des terres susceptibles d'être accueillies.

8.8.3 Stratégie d'échantillonnage

Quel que soit le mode de gestion envisagé, il est nécessaire de mettre en place une stratégie d'échantillonnage adaptée. La stratégie d'échantillonnage permet d'élaborer un programme d'investigations qui définit la zone d'étude, le plan et le type d'échantillonnage. Cette stratégie d'échantillonnage doit garantir la représentativité des échantillons par rapport aux terres à excaver. Elle est spécifique à chaque site, à son contexte et doit notamment prendre en compte les exigences de sécurité à mettre en œuvre lors de la phase de terrain. Pour une caractérisation des sols en place ou des terres excavées avant leur valorisation hors site, le guide de caractérisation des terres excavées [cf. § 8.8.7] propose une stratégie d'échantillonnage adaptée.

8.8.3.1 Plan d'échantillonnage

Trois types d'échantillonnage peuvent être menés : un échantillonnage *in situ* avant l'excavation, un échantillonnage des lots de terres déjà excavées et entreposées en andain sur le site d'excavation ou bien une combinaison des deux modes de caractérisation (Figure 66).

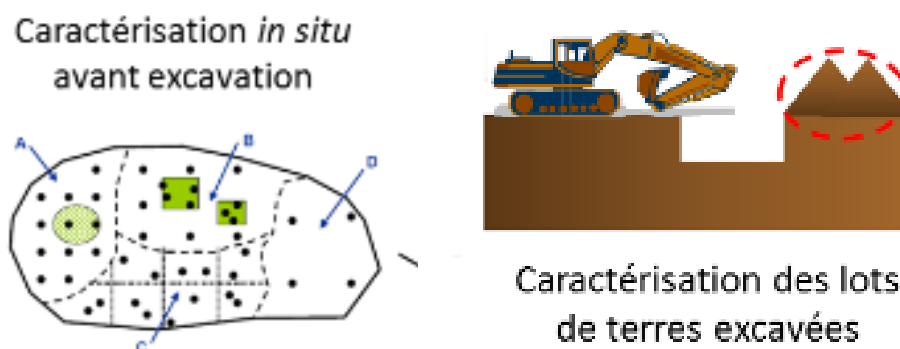


Figure 66 : Représentation schématique des types d'échantillonnage de terres à excaver (*in situ*) ou des lots de terres excavées (en andains sur site) (source : BRGM).

Le guide de caractérisation propose une stratégie adaptée à chaque situation. Lorsque l'historique est suffisant et permet d'assurer l'homogénéité des lots de terres, le nombre d'échantillons à prélever est déterminé en fonction du volume de ces lots de terres. Ce volume est estimé par :

- le calcul du volume de terres excavées à partir du volume de terres en place *in situ*, et en appliquant un taux de foisonnement (généralement entre 1,2 à 1,4) ;
- le suivi du nombre de benues de terres évacuées et en assurant la traçabilité depuis le point d'excavation jusqu'à la position dans le stock ;
- le calcul du volume de terres excavées à partir de la géométrie du lot de terres à caractériser.

Lorsque l'historique est insuffisant, le nombre de prélèvements est défini de manière plus sécuritaire.

- **Échantillonnage in situ sur le site producteur**

Pour échantillonner les sols en place et les terres à excaver au droit des sites producteurs, le guide de caractérisation propose d'utiliser des grilles d'échantillonnage à mailles carrées dont les caractéristiques sont adaptées en fonction du degré de connaissance du site, de la présence de remblais, de la localisation des zones de « qualité » homogène et du plan de terrassement associé au projet d'aménagement. Les sondages sont réalisés au centre de chaque maille et atteignent *a minima* la profondeur d'excavation requise soit par le plan de gestion soit par le projet d'aménagement. Il est recommandé de prélever un échantillon unitaire par horizon pédologique ou par couche de lithologie similaire dans un même sondage. Dans tous les cas, un échantillon ne représentera jamais plus de 3 m d'épaisseur de terrain en place.

- **Échantillonnage des lots de terres excavées et stockées sur site**

La caractérisation des lots de terres intervient après l'excavation des terres et leur regroupement en lots. Les lots peuvent être des stocks de terres homogènes constitués à partir des résultats de la caractérisation analytique réalisée avant excavation et/ou des résultats de la caractérisation rapide réalisée pendant l'excavation ou bien des stocks de géométrie bien définie (ex. andains en Figure 67) afin de faciliter l'échantillonnage ultérieur et les calculs de cubatures.



Figure 67 : Entreposage des terres sur site en tas (source : BRGM).

Dans certaines configurations, les terrassements peuvent débuter sans qu'une caractérisation complète des terres n'ait été réalisée mais avec seulement une caractérisation « à grandes mailles ». Il peut alors être utile de réaliser des analyses rapides sur le terrain, à l'aide de techniques de screening, afin d'orienter au mieux les lots de terres pendant le terrassement.

Point d'attention :

Le guide de caractérisation des terres excavées (dans le cadre de leur valorisation) propose un tableau comparatif permettant de sélectionner la technique de screening à utiliser en fonction des paramètres recherchés. Les analyses rapides par screening n'ont cependant pas vocation à remplacer la caractérisation analytique réalisée en laboratoire sur des échantillons prélevés sur site qui sont considérés comme représentatifs. Dans tous les cas, un échantillonnage et une caractérisation des terres avant excavation (in situ) ou après excavation (sur les lots de terres) sont indispensables.

8.8.3.2 Types de prélèvement

Les types de prélèvements à réaliser dans le cadre de la caractérisation des terres excavées concernent à la fois des échantillons composites et unitaires. Les prélèvements composites réunissent des prélèvements effectués de manière uniforme sur le lot et sont utilisés pour mesurer toutes les substances identifiées hormis les composés volatils. Les échantillons unitaires sont prélevés au moyen d'un sondage réalisé dans le lot et sont spécifiquement utilisés pour l'analyse des composés volatils.

Lors de chaque prélèvement, **la fraction grossière, supérieure à 20 mm, est écartée** car les substances recherchées sont en général très peu associées à cette fraction. Cependant, dans le cas où des indices de pollutions sont relevés au niveau de la fraction grossière, des étapes spécifiques de pré-traitement (lavage et/ou broyage des particules grossières) et d'analyse de cette fraction doivent être mises en œuvre au laboratoire.

8.8.3 Stratégie d'analyse

Les analyses chimiques à réaliser sur les échantillons dépendent du mode de gestion envisagé, des critères d'acceptation et de l'historique du site. De manière générale, les analyses réalisées portent sur le contenu total (brut) et sur les lixiviats (éluat).

Dans le cas d'un réemploi sur site, la stratégie d'analyse se base sur la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.

Dans le cadre d'une valorisation hors site des terres en projets d'aménagement ou en technique routière, la liste des analyses est détaillée dans le guide de valorisation respectif. Des paramètres spécifiques peuvent également être mesurés sur les terres excavées pour alimenter l'outil HYDROTEX et l'outil de calcul de risques sanitaires.

Dans le cadre d'un stockage des terres en installation de stockage de déchets les critères réglementaires d'acceptation sont définis dans les arrêtés suivants :

- Arrêté du 12 décembre 2014 pour les installations de stockage de déchets inertes ;
- Arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux ;
- Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux.

Ces arrêtés fournissent des critères généraux et indicatifs qui sont complétés par un arrêté préfectoral propre à chaque installation. Des paramètres spécifiques peuvent être demandés et les résultats d'analyses seront à fournir lors de la demande d'acceptation préalable.

8.8.4 Préparation, conditionnement, conservation et transport

Préalablement à la campagne d'échantillonnage, l'opérateur doit se mettre en relation avec le laboratoire d'analyse pour s'assurer que les conteneurs et les conditions de conservation prévus sont appropriés aux méthodes d'analyses envisagées et aux performances attendues.

La quantité d'échantillons à envoyer pour analyse au laboratoire dépend :

- de la nature du matériau et des polluants attendus ;
- de la nature et du nombre d'analyses et d'essais à réaliser ;
- de la nécessité ou non de réaliser des duplicats ou triplicats à réserver, en prenant en considération le temps de conservation des échantillons, notamment en cas de présence de composés volatils.

Une attention particulière doit être apportée pour la conservation et le transport des échantillons afin de garantir l'absence de modifications physiques, chimiques ou biologiques dans l'échantillon entre le prélèvement et les essais (cf. 8.1.5).

8.8.5 Traçabilité des mouvements de terres

De manière générale, lorsque les terres sortent du site, elles doivent être gérées de manière identique à l'ensemble des déchets liés aux investigations (voir détails dans le chapitre 5.2). La traçabilité des mouvements de terres sorties du site ou stockées sur site est obligatoire réglementairement. Tout producteur de terres doit tenir un registre des flux de déchets sortants. La traçabilité des mouvements de terres peut être assurée par des outils privés ou par l'application publique TERRASS disponible sur internet (<https://tex-infoterre.brgm.fr/fr/terrass/lapplication-terrass>).

Cette application permet en outre de mettre en relation les producteurs et les receveurs de terres pour développer les démarches de valorisation.

Le décret n° 2021-321 du 25 mars 2021 relatif à la traçabilité des déchets, des terres excavées et des sédiments prévoit que les gestionnaires de déchets dangereux doivent transmettre le contenu de leur(s) registre(s) chronologique(s) au registre national des déchets. L'application RNDTS (Registre National des Déchets, Terres excavées et Sédiments) est disponible au lien suivant : <https://rndts-diffusion.developpement-durable.gouv.fr/fr/lapplication-rndts>.

L'enregistrement doit être réalisé au plus tard le dernier jour du mois suivant l'expédition, la réception ou le traitement du déchet.

8.8.6 Retours d'expérience

De même que pour l'ensemble des investigations, il est nécessaire de mener, au préalable des sondages et travaux d'excavation, une vérification de leur innocuité au regard des ouvrages et réseaux enterrés.

Au-delà de la caractérisation chimique à réaliser pour vérifier l'innocuité environnementale et sanitaire de la valorisation, une caractérisation spécifique peut être nécessaire selon l'usage envisagé. Il peut s'agir d'une caractérisation géotechnique, agronomique ou de biodiversité. Ces aspects doivent être pris en compte conformément aux règles de l'art et aux normes applicables.

Lors de la démarche de valorisation hors site, il peut être nécessaire de caractériser le site qui reçoit les terres excavées, voire le fond pédo-géochimique correspondant (environnement local témoin) notamment lorsque la levée de doute réalisée sur ce site a conclu sur la présence éventuelle d'une pollution. Cela concerne le troisième niveau de la démarche de valorisation. Dans les deux premiers niveaux, des valeurs nationales ou régionales libératoires permettent de s'affranchir de cette caractérisation. La caractérisation du site receveur ou du fond pédo-géochimique local est donc à inclure dans la stratégie globale d'investigations. Le guide de caractérisation des terres excavées et le guide pour la détermination des valeurs de fonds dans les sols à l'échelle d'un site proposent des stratégies d'échantillonnage adaptées.

Les coûts associés à l'évacuation des terres excavées sont très dépendants des caractéristiques des terres et des volumes estimés. L'étape de caractérisation doit donc être suffisamment précise et approfondie pour limiter les incertitudes sur les résultats. À titre d'exemple, un déclassement des terres d'une installation de stockage de déchets non inertes à une installation de stockage de déchets inertes peut diminuer les coûts d'un facteur 7.

8.8.7 Documentation technique de référence pour les terres excavées

Les normes et textes en vigueur :

- Série de normes NF ISO 18400 « Qualité du sol – Échantillonnage » ;
- Norme ISO 15176 « Qualité du sol – caractérisation de la terre excavée et d'autres matériaux du sol destinés à la réutilisation. » ;
- Norme NF EN 12457-2 « Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité) » (2002).

Les guides et travaux des groupes de travail :

Le site internet <https://tex-infoterre.brgm.fr/fr> donne un éclairage sur la réglementation sur les terres excavées et donne accès aux différents guides et outils existants :

Documents liés à la stratégie d'investigation des terres excavées :

- Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, cf. § 3.5 ;
- Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur valorisation hors site dans des projets d'aménagement et en technique routière pour infrastructure linéaire de transport. Cas des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués. BRGM/RP-69581-FR. Avril 2020.

Documents liés à la démarche de valorisation des terres excavées :

- Guide de valorisation hors site des terres issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement (MTES, 2020) ;
- Guide d'utilisation de l'outil HYDROTEX – Valorisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement, version n°3. Rapport final. BRGM/RP-60227-FR.

9 Techniques d'investigations et de mesures de terrain

Ce chapitre est consacré aux techniques d'investigations et de mesures de terrain en précisant leur intérêt, leurs avantages et leurs limites. Il apporte des éléments clés pour les mettre en œuvre et donne des points d'attention suite aux retours d'expérience.

La documentation technique relative à ce type d'investigations est présentée au § 9.6.

9.1 Intérêt des investigations et des mesures de terrain

Les investigations « classiques » présentées dans les chapitres précédents peuvent être optimisées par la mise en œuvre de techniques d'investigations et de mesures de terrain spécifiques à certains milieux.

Ce type d'investigations peut permettre :

- d'identifier de nombreuses familles de composés et d'éléments ;
- d'estimer leur gamme de concentrations/teneurs ;
- d'indiquer l'étendue de la pollution ;
- d'identifier des voies de transferts éventuelles (LUMEX, IR et PID) ;
- de localiser des sources (XRF, REMSCAN, MIP) ;
- de mesurer des directions et vitesses d'écoulement des eaux souterraines ;
- d'obtenir des résultats sur les paramètres non conservatifs (pH, redox, oxygène dissous, température) qui ne sont pas représentatifs s'ils sont mesurés en laboratoire ;
- d'acquérir des données secondaires corrélées aux concentrations/teneurs pour améliorer les modélisations.

Ces premières informations peuvent ainsi permettre de préparer une campagne de mesures et/ou de prélèvements plus ciblés. Dans la majorité des cas, l'information fournie par ces appareils est de nature qualitative voire semi-quantitative. Dans certains contextes géologiques, l'information peut s'avérer être quantitative (XRF portable avec préparation des échantillons).

Ces appareils présentent l'intérêt de fournir des mesures rapides permettant d'orienter la stratégie de l'échantillonnage et le programme analytique (ne pas passer à côté de certains composés, mais aussi offrir la possibilité d'alerter le laboratoire sur les concentrations attendues). Par contre, ils doivent être utilisés selon un protocole précis et par des opérateurs formés.

Ces outils (dits « de criblage » ou encore « de screening ») trouvent ainsi toute leur pertinence dans le cadre de diagnostics sur des sites de grandes surfaces, ou lorsque les études historiques ne permettent pas d'optimiser le nombre et la localisation d'investigations plus poussées au droit des secteurs problématiques.

Selon les techniques, une calibration ou une corrélation entre les résultats sur le terrain et les résultats d'analyses normalisées en laboratoire sur les mêmes échantillons (5 à 10 %, en prenant soin de couvrir une large gamme de concentrations) peut être nécessaire pour déduire des « équivalents-laboratoires » à partir des mesures de terrain. Cette étape de validation préliminaire des appareils de mesures concernera aussi bien les zones polluées identifiées que les zones où l'appareil de mesures ne détecte rien (contrôle de faux négatif).

Ces appareils et outils de mesures de terrain peuvent également permettre de suivre des travaux de réhabilitation. Pour certains d'entre eux (comme le PID classiquement utilisé en SSP), ils permettent des mesures semi-quantitatives fréquentes et rapides. Néanmoins, leurs résultats ne remplacent pas des analyses réalisées en laboratoire selon des méthodes normalisées pour statuer sur l'atteinte effective des objectifs de réhabilitation et donc l'arrêt des travaux ou sur la caractérisation officielle des terres pour déterminer leur filière d'évacuation.

Enfin, elles peuvent également avoir un intérêt pour tenir compte la sécurité des opérateurs sur le terrain en détectant par exemple des polluants en quantité anormale dans l'air ambiant du site.

9.2 Recensement des appareils de mesures

Les appareils de mesures de terrain les plus couramment utilisés sont présentés dans le tableau suivant pour milieux les sols, eaux, air et gaz du sol.

Note : Les milieux indiqués dans les dernières colonnes de ce tableau correspondent à ceux sur lesquels porte la mesure (qui peut être différent du milieu étudié dans le cadre du diagnostic).

- Par ex. le PID est utilisé pour détecter les COV présents dans les gaz du sol pour les mesurer lors de l'échantillonnage des sols.

Dans la colonne nommée « opérationnel », la mention (X) indique que la méthode est peu répandue.

Tableau 13 : Liste des principales méthodes utilisées pour les mesures de terrain (sol, eau, gaz).

Appareillage	Type d'application	Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opérationnel	R&D
Fluorescence X (XRF)	Mesure d'environ 25 métaux et métalloïdes (liste fonction du modèle, des évolutions techniques et de la calibration) dans les matrices : sol, sédiment, déchet, alliage, minéral (une calibration par matrice est nécessaire)	<ul style="list-style-type: none"> - Facile d'utilisation et léger (1,3 à 1,5 kg suivant les modèles) - Temps de réponse court (< 2 min., dépend du nombre et du type d'éléments analysés) - Pas ou peu de préparation de l'échantillon ☺ - Détection du mg/kg au % - Limites de quantification variables mais pouvant descendre à 5 mg/kg selon les modèles, la calibration, les éléments - Méthode semi-quantitative à quantitative - Couplage possible avec la géostatistique pour traitement en temps réel. 					
		<ul style="list-style-type: none"> ⊖ - Ces appareils étant équipés de tubes à rayons X (rayonnement ionisant), il est nécessaire de faire une déclaration auprès de l'Agence de la Sécurité Nucléaire (ASN) lors de l'acquisition du matériel. - Tout organisme s'équipant de ce type d'appareil doit avoir dans son personnel, une Personne Compétente en Radioprotection (PCR) ou soustraiter les contrôles à un organisme compétent - Coût relativement élevé (30 – 35 k€) ⊖ - Risques d'interférences avec la matrice (et d'autres métaux et métalloïdes) ainsi qu'avec l'humidité du sol (d'où le choix d'une calibration adaptée au type de sol et à son humidité). - La détection de certains éléments comme le Cd, le Cu ou le Hg est possible mais la limite de quantification est assez élevée pour ces éléments (de l'ordre de 20 mg/kg sur des échantillons avec une préparation minimale) et nécessite une mesure poussée, en termes de préparation et temps de mesure. 			X	X	
Détecteur à photo-ionisation (PID)	Mesure semi-quantitative de la concentration totale en COVs, dans les gaz (et dans les vapeurs émises par un sol pollué), pour un grand nombre de composés organiques et de quelques composés inorganiques	<ul style="list-style-type: none"> ☺ - Résultats immédiats (de l'ordre de quelques secondes à quelques dizaines de secondes) - Facile d'utilisation - Coût d'achat désormais relativement modéré - Non destruction de l'air analysé. Un PID pourrait donc être couplé avec une GC pour identifier les composés, bien que ce soit très rarement réalisé. - Détection au ppm voire au ppb pour certains modèles - Calibration rapide préalable 	X			X	

Tableau 13 : Liste des principales méthodes utilisées pour les mesures de terrain (sol, eau, gaz).

Appareillage	Type d'application	Avantages et inconvénients		Air	Eau	Sol	Opérationnel	R&D
		⊕	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de spécificité par composé (fournit une concentration pour l'ensemble des composés détectables par la lampe installée). - Interférences liées à l'humidité (sur ou sous-estimation des concentrations en fonction des modèles) et à la poussière (filtre recommandé) - Ne détecte pas certains composés parfois rencontrés : le méthane, l'éthane, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le dioxygène, ... - Existence de plusieurs types de lampes qui conditionnent les molécules réellement détectées par le PID 					
Détecteur multi- gaz / Explosimètre appareils de mesure d'ambiance pour la protection des travailleurs ou de mesure (avec une canne d'aspiration)	Détection de la concentration en O ₂ , CO ₂ , LIE (CH ₄), CO (voire d'autres composés en fonction des capteurs installés : H ₂ S, HCN, ...).	⊕	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats instantanés (de l'ordre de quelques secondes à quelques dizaines de secondes). - Coût d'achat relativement modéré. - Facilité d'utilisation. - Détection au ppm, à +/- 0,1 ppm ou en % selon les capteurs - Sélectivité des composés détectés (sauf LIE). - Méthode semi-quantitative à quantitative (selon les composés). 	X			X	
		⊖	<ul style="list-style-type: none"> - Liste de composés détectés limitée. - En cas de détecteur de type catalytique, l'absence d'oxygène ou la présence importante de composés organochlorés, organosoufrés, mercaptans,... peut fausser la mesure. 					
Détecteur à ionisation de flamme (FID)	Mesure semi-quantitative de la concentration totale en COVs dans les gaz (et dans les vapeurs émises par un sol pollué)	⊕	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats immédiats (de l'ordre de quelques secondes à quelques dizaines de secondes), bien que semi-quantitatifs. - Possibilités d'utilisation de la chromatographie en phase gazeuse (GC) pour identifier des composés spécifiques. 					
		⊖	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite une certaine technicité de la part de l'utilisateur, notamment pour l'étape d'extraction des polluants par des solvants avant passage en phase gaz. - Nombreuses sources d'interférences (fluctuation de température, état du filtre en entrée de FID, propreté de la chambre de combustion et du corps de pompe, ...). 	X			(X)	

Tableau 13 : Liste des principales méthodes utilisées pour les mesures de terrain (sol, eau, gaz).

Appareillage	Type d'application	Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opérationnel	R&D
		<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir sur site une source de H₂ pour alimenter l'appareil, à défaut de pouvoir générer le dihydrogène dans l'appareil (R&D en cours, avec des premiers résultats encourageants datant de 2016⁶²). - Coût d'achat plus important que le PID. - Disponibilité restreinte (peu de modèles et de marques). 					
Kits d'analyse colorimétriques (tubes ou plaquettes)	Détection ou mesure semi-quantitative (selon les kits) d'éléments spécifiques, de composés chimiques ou familles de composés dans les sols, les eaux ou l'air	<ul style="list-style-type: none"> ☺ - Résultats rapides (de l'ordre de quelques secondes à quelques dizaines de secondes) - Faciles d'utilisation - Adaptabilité possible au besoin de l'utilisateur 	X	X	X	(X)	
		<ul style="list-style-type: none"> ☹ - Nombre limité de types de kits disponibles - Méthodes semi-quantitatives - Interférences en fonction des composés présents - Interprétation colorimétrique de la réponse parfois délicate (cas des tubes colorimétriques) - Une ou plusieurs étapes de préparation et d'extraction dans un solvant liquide avant la mesure sont nécessaires pour certains kits applicables aux sols, allongeant ainsi la mise à œuvre jusqu'à environ 20 minutes par échantillon. 					

Appareillage	Type d'application	Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opér	R&D
Dosage immunologique	Détection (présence/absence) des HAP et PCB dans les sols et les eaux	<ul style="list-style-type: none"> ☺ - Coût modéré - Rapidité - Bonne sensibilité 		X	X	(X)	
		<ul style="list-style-type: none"> ☹ - Précision moyenne (généralement suffisante pour du tri de terre avant évacuation mais pas suffisante lors d'un diagnostic ou d'une réception de chantier). - Existence d'interférences - Sensibilité à la température - Méthode semi-quantitative 					

⁶² <https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4946767>

Appareillage	Type d'application		Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opér	R&D
			- Une ou plusieurs étapes de préparation et d'extraction dans un solvant liquide avant la mesure sont nécessaires pour certains kits applicables aux sols, allongeant ainsi la mise à œuvre jusqu'à environ 20 minutes par échantillon.					
GC-MS de terrain	Composés organiques (principalement volatils et semi-volatils, jusqu'au fluoranthène pour certains appareils) dans les sols, gaz sol et eaux	☺	- Large spectre de détection de composés (bibliothèque intégrée aux appareils, NIST) - Méthode quantitative et qualitative - Permet l'identification de composés non recherchés dans les packs analytiques en cas d'historique de site défaillant					
		☹	- Investissement particulièrement conséquent (100 - 150 k€) - Nombre d'échantillons par heure limité (5 à 6 échantillons maximum) - Demande de disposer de gaz vecteur (hélium) - Ajout de composés possible mais demande le recours à un technicien expérimenté et demande de disposer d'étalons - Calibration plus longue que pour les PID et FID et nécessite une technicité de l'opérateur plus importante. - Sensibilité du détecteur à l'humidité selon les modèles.	X	X	X	X ⁶³	
Analyseur portable spécifique (par exemple : pour le mercure)	Mesure quantitative de vapeurs de mercure dans l'air ambiant et les gaz, voire sur des liquides et des solides en fonction des options utilisées.	☺	- Méthode de mesure spécifique reposant sur la spectrométrie atomique. - Peu d'interférence - Résultats rapides (5-10 min) - Limite de détection très basse de qq ng/m ³ . - Large gamme de concentration (jusqu'à plusieurs milliers de ng/m ³).	X	(X)	(X)	(X)	
		☹	- Appareil très onéreux à l'achat - Nécessité d'un opérateur confirmé - Grande sensibilité de l'appareil pouvant aboutir à une augmentation durable de la limite de détection de l'appareil en cas de mesure de concentrations particulièrement élevées					
Analyseurs thermo-hygrométriques	Mesure de la température (°C) et de l'humidité relative (%) de l'air et des gaz du sol	☺	- Fournit des informations sur les propriétés de l'air - Coût réduit - Méthode quantitative	X			X	

⁶³ La technique en tant que telle n'est pas récente, en revanche sa miniaturisation pour la rendre portable est récente.

Appareillage	Type d'application		Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opér	R&D
Sondes autonomes à acquisition de données (pression barométrique)	Mesure du niveau d'une nappe	☺	<ul style="list-style-type: none"> - Grande autonomie (plusieurs mois à années d'autonomie, en fonction de la fréquence d'enregistrement) - Faible encombrement (pas d'appareil de mesure en surface) - Possibilité d'équiper des ouvrages de faible diamètre (1 pouce / 25mm) - Facilité d'utilisation (suspension de la sonde à l'aide d'un fil dans l'ouvrage) - Possibilité de mesurer la température et la conductivité selon les modèles. - 500 à 1 500 € selon les modèles - Particulièrement adapté en cas de variation de niveau importantes (pompage intermittent, marée, connexion nappe rivière (avec niveau géré par un barrage)) - Possibilité de collecter les données à distance selon les modèles. 		X		X	
		☹	<ul style="list-style-type: none"> - Les sondes sont sensibles à la réalisation de prélèvements d'eau dans l'ouvrage 					
Sondes multiparamètres	Mesures des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.	☺	<ul style="list-style-type: none"> - Selon les modèles, possibilité de mesurer l'ensemble des paramètres nécessaires à une bonne compréhension des mécanismes se déroulant dans les eaux souterraines, classiquement : pH, température, conductivité, potentiel RedOx, oxygène dissous, turbidité (en cours d'eau) - Selon les modèles, possibilités de réaliser des mesures in-situ (sans pompage, directement dans l'ouvrage), appelées « diagraphies » sur des profondeurs pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. L'intérêt de ces diagraphies est de présenter la répartition de ces paramètres en fonction de la profondeur et en l'absence de toute perturbation engendrée par une action humaine (pompage par exemple) - Permet des mesures en continu (mémoire interne et transmission des données) - Existence de capteurs pour des éléments (Chlorure notamment) 		X		X	
		☹	<ul style="list-style-type: none"> - Si mesure en continu, risque de dérive des capteurs avec étalonnage régulier à réaliser - Certains capteurs sélectifs ne peuvent être déployés que pour de faible hauteur de colonne d'eau. 					

Appareillage	Type d'application		Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opérationnel	R&D
Spectrométrie UV	Mesure de la concentration en HAP ⁶⁴ dans les sols	☺	- Temps de réponse de l'ordre de quelques minutes - Coût modéré (quelques milliers d'euros)					
		☹	- Gamme de concentration limitée, bien que souvent suffisante : jusqu'à plusieurs milliers de mg/kg. - Extraction des HAP sur site à l'aide de solvants - Interprétation des signaux mesurés nécessitant des compétences poussées.			X	(X)	
Spectrométrie IR	Mesure de la concentration en TPH ⁶⁵ (sol) et CO ₂ (air)	☺	- Temps de réponse de l'ordre de quelques minutes - Coût modéré (quelques milliers d'euros)					
		☹	- Ne fonctionne pas correctement avec des sols foncés et humides - Le signal sature souvent surtout pour des échantillons solides. - La technique pour les gaz en contexte SSP est en cours de validation. - Interprétation des signaux mesurés nécessitant des compétences poussées.	X		X	(X)	X CO ₂
Détermination de flux	Détermination des flux (horizontaux/verticaux) au sein d'un ouvrage piézométrique (micro-moulinet, thermique, DVT, iFLUX)	☺	- L'évaluation des flux verticaux et/ou horizontaux au sein d'un ouvrage piézométrique est parfois capitale (installation d'échantillonneurs passifs, calcul de flux massique, venues d'eaux, ...). - Les appareils thermiques permettent de mesurer des vitesses faibles.					
		☹	- La vitesse minimale mesurable à l'aide des micro-moulinets est parfois trop importante pour l'application recherchée. - iFlux (passif dans les ouvrages) nécessitent 2 passages sur site (pose/dépose) et une connaissance de l'ordre de grandeur des vitesses attendues est nécessaire pour déterminer le temps minimal et maximal d'exposition.		X		X	X DVT

⁶⁴ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

⁶⁵ TPH : Total Petroleum Hydrocarbons

Appareillage	Type d'application		Avantages et inconvénients	Air	Eau	Sol	Opérationnel	R&D
Sondes in-situ	Quantifications de certains composés ou familles de composés dans les eaux (nitrates, HAP, ammonium, chlorures)	☺	- Méthodes d'analyses reposant sur l'absorption dans l'UV-Visible ou la fluorescence UV (OIP, LIF, ...) - Généralement, utilisé qualitativement en alerte - Peut être utilisé pour délimiter des panaches de pollutions dont ces composés peuvent être des traceurs		X		X	
		☹	- Travail d'interprétation des résultats nécessaires - Nécessité de combiner les électrodes sélectives pour corriger les interférences possibles (potassium pour l'ammonium, chlorures pour les nitrates)					
Détecteurs à cellules électrochimiques et à capteurs semi-conducteurs	Détection de la concentration en composés donnée dans l'air (généralement ambiant)	☺	- Sélectivité de la mesure de la concentration (un à quelques composés par capteur) - Rapidité de la mesure (quasi-instantanée)					
		☹	- Nécessité d'avoir autant de capteurs que de (familles de) composés à rechercher - Nombre de cellules disponible relativement faible - Interférences parfois nombreuses selon les détecteurs ⁶⁶	X				X

⁶⁶ Les interférences sur les détecteurs à piles électrochimiques : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-323.pdf?v=2020-12-08>

9.3 Techniques par forage direct (DPT)

9.3.1 Principes

Les techniques d'investigation *in situ* par forage direct (DPT : « direct push technology ») reposent sur l'insertion, dans le sol par action mécanique (battage, vibration ou pression), de tiges creuses de petits diamètres.

Selon l'objectif de l'étude, ces tiges peuvent être équipées à leur extrémité :

- soit de sondes permettant des mesures ponctuelles ou en continu (mais pas d'échantillonnage). Ces mesures sont réalisées en lecture directe et à l'avancement. Du point de vue de la problématique SSP, l'intérêt de ces appareils est d'obtenir une mesure semi-quantitative de la répartition des polluants en fonction de la profondeur de forage (cf. *Tableau 14*). A titre d'exemple, le MIP est équipé de trois détecteurs différents (PID puis FID et XSD⁶⁷ en parallèle) permettant de détecter des polluants organiques de températures d'ébullition inférieures à environ 120 °C.

En complément de ces mesures analytiques (LIF, MIP ou XRF, détaillées dans le *Tableau 14*), des modules complémentaires installés sur la tige de foration, permettent d'acquérir des données améliorant la connaissance de la géologie et de l'hydrogéologie au droit du site d'étude. Les plus courants sont les sondes EC (conductivité électrique) et CPT⁶⁸ (géologie) ainsi que la HPT⁶⁹ (perméabilité hydraulique) ;

Technique	Principe	Polluants	Avantage/Inconvénient
LIF (« Laser Induced Fluorescence »)	Analyse de la fluorescence générée par les sols, à l'aide d'un laser	HCT, BTEX, HAP	
MIP (« Membrane Interface Probe »)	Chauffage conductif des sols (100-120°C) par une membrane, collecte des gaz issus de la volatilisation des polluants volatils présents au contact de la membrane, puis entraînement des gaz par un gaz inerte jusqu'au laboratoire mobile sur site pour analyse	Polluants organiques (BTEX, HCT léger (coupes pétrolières légères comme les essences et naphthas), COHV)	Par rapport au LIF : - mesure des vitesses d'avancement (information sur la compacité des sols), - mesure de la température <i>in situ</i> (permettant de diagnostiquer la présence d'eau notamment), - conductivité électrique des sols (% d'argile ou minéralisation anormale des sols). Ne donne qu'une information semi-quantitative indicative sur les teneurs. Des carottages avec échantillonnage des sols sondés sont nécessaires en parallèle au MIP. Faible sensibilité aux COHV (~100 mgCOHV/kg) et aux coupes pétrolières intermédiaires (gasoils etc.) et lourdes.
XRF (« X-Ray Fluorescence »)	Absorption sélective des rayonnements X selon les éléments exposés	Métaux, métalloïdes principalement	Cf. Tableau 13

Tableau 14 : Principales techniques d'investigations in situ par forage direct.

- soit d'outils d'échantillonnage (sol, eau souterraine ou gaz du sol). L'échantillonneur BAT peut par exemple être utilisé pour le prélèvement de l'eau souterraine ou des gaz du sol à une profondeur donnée (cf. travaux menés dans le projet Citychlor). Selon le diamètre des outils d'échantillonnage

⁶⁷ XSD : Halogen Specific Detector. Ce détecteur est spécifique des solvants chlorés. Le PID est plutôt utilisé pour les composés aromatiques (notamment les BTEX) bien qu'il détecte également les alcènes chlorés. Le FID est un détecteur général utile pour la détection des hydrocarbures et pour la confirmation des concentrations plus élevées de composés détectés par les autres détecteurs.

⁶⁸ Cone Penetration Test

⁶⁹ Hydraulic Profiling Tool

et la profondeur de forage, la mise en place d'ouvrages temporaires voire permanents pour le prélèvement des eaux souterraines (piézomètres) et des gaz du sol (piézairs) peut être étudiée.

9.3.2 Avantages

Les principaux avantages de ces techniques sont : diversité des paramètres recherchés, rapidité et flexibilité d'exécution (compter environ 75 m par jour pour des sondages CPT seuls, 40 à 60 m par jour pour des sondages MIP⁷⁰). Si une GC-MS est ajoutée en série sur le système pour identifier précisément les composés mis en évidence par les PID/FID/XSD, une moyenne de 20 échantillons passés sur GC-MS peut être envisagée), densité élevée de données produites, pas de déchet généré, matériel plus facile à nettoyer que les méthodes de forage classiques (diminution du risque de contaminations croisées).

Les mesures sont généralement à lecture directe offrant ainsi la possibilité, dans un temps court, d'adapter la stratégie et le programme de mesures et d'échantillonnage à l'avancement. Le MIP offre aussi la possibilité de mesurer *in situ* les épaisseurs réelles de flottant lorsque ce dernier est formé de coupes pétrolières légères. À noter que les capteurs LIF (Laser Induced Fluorescence) permettent également un screening en temps réel des caractéristiques physiques du sol et des caractéristiques chimiques des pollutions en hydrocarbures sur les sites pollués.

9.3.3 Limites

Ces techniques nécessitent une maîtrise complète des procédures d'étalonnage et de calibration pour la production et l'interprétation des données. Des investigations traditionnelles sont notamment nécessaires pour valider les résultats de mesure (notamment lorsqu'il s'agit d'utiliser le DPT pour déterminer la lithologie). Elles sont utilisables uniquement dans des formations meubles non consolidées. La présence de matériaux grossiers de type remblais et matériaux de déconstruction peut générer des refus et altérer le signal. Par ailleurs, selon le degré de pollution et la lithologie rencontrée, une partie de la pollution peut rester piégée devant la fenêtre d'analyse pendant la descente de la sonde et fausser les résultats (de manière analogue aux sondes à interface utilisées pour vérifier la présence de phases pures dans les piézomètres et qui peuvent conserver du flottant à la descente, entraînant une surestimation de l'épaisseur de flottant).

Les profondeurs moyennes sont comprises entre quelques mètres à 35 m environ, selon la géologie et les éventuels refus rencontrés lors de la foration. La profondeur atteinte dépend de la facilité avec laquelle la sonde peut pousser les sols sur les côtés et non pas de la granulométrie des milieux traversés. De plus, elle décroît avec l'augmentation du diamètre de la sonde et des tiges (généralement compris entre 38 et 100 mm). Des profondeurs de 50 m peuvent être atteintes dans des conditions favorables exceptionnelles, mais il convient de garder en mémoire que le risque d'endommager les sondes augmente avec la profondeur. Pour atteindre des profondeurs plus importantes, la réalisation d'avant-trou (par exemple à la tarière) peut être envisagée. Sauf à installer des équipements permanents (piézomètre/piézair) à l'issue d'investigations DPT, il n'est pas possible de reproduire des mesures au même endroit^[1].

Il est recommandé de ne pas réaliser de sondages de type DPT au travers d'horizons imperméables au sein d'aquifères profonds lorsque l'isolation hydraulique des différents horizons ne peut être garanti. Enfin, il est recommandé de combler les sondages DPT à l'aide d'un coulis bentonite-ciment, idéalement en l'injectant sous pression par la base lorsque cela est possible techniquement (diamètre du forage suffisant), à défaut, en versant ce coulis bentonite-ciment depuis la surface (si le forage ne s'est pas effondré et si le sondage n'excède pas généralement 5 m de profondeur). Dans tous les cas, le recours à des billes d'argile n'est pas recommandé.

⁷⁰ La vitesse d'exécution dépend de la profondeur de chaque sondage, de la lithologie traversée et de la distance entre chaque point.

^[1] Néanmoins, compte tenu de la faible surface investiguée autour de la sonde (cm à dm), en forant à proximité dans la même zone des résultats représentatifs comparables peuvent être obtenus.

9.4 Méthodes de caractérisation sur site par la géophysique

La géophysique comprend un ensemble de méthodes utilisées depuis plusieurs décennies dans les prospections pétrolières, minières, ... Évoluant au cours du temps, certaines de ces méthodes trouvent des applications dans le domaine des sites pollués.

Le propre de la géophysique est de mettre en évidence des anomalies de signal (électrique, magnétique, ...) mais aucune de ces techniques ne permet de donner la cause de l'origine des anomalies. La géophysique doit donc être complétée par des investigations (forages, excavations) qui identifieront la cause des anomalies.

Ces méthodes géophysiques permettent de localiser des objets enfouis dont la nature réelle sera vérifiée par des excavations (fûts, cuves, objets pyrotechniques, réseaux), de délimiter des pollutions (BTEX, HAP, organochlorés, phénols et métaux) et d'améliorer la connaissance du sous-sol (géologie et hydrogéologie locale) à partir des variations de propriétés physiques entre les couches géologiques, sous réserve d'avoir un contraste suffisant entre ces couches. Pour l'étude de la géologie, la géophysique sera complétée par des forages permettant la confirmation visuelle de l'interprétation des variations du signal ; de même, pour l'étude des panaches de pollution, des piézomètres permettront d'échantillonner et analyser les eaux souterraines pour confirmer l'interprétation basée sur la géophysique. Les investigations géophysiques sont non intrusives et leur rendement est optimal sur de grandes surfaces. Elles peuvent être utilisées lors du diagnostic mais également lors du suivi de dépollution où l'un des avantages est de pouvoir réaliser les mesures à distance.

Quelle que soit la technique retenue, engager une prospection géophysique passe par plusieurs étapes :

- Préparation de la mission en fonction du contexte et des objectifs ;
- Acquisition des données ;
- Traitement du signal ;
- Interprétation et vérification des anomalies.



Rapport ADEME - Apports et limitations des méthodes géophysiques dans le cadre de la démonstration de l'atténuation naturelle - Projet ATTENA – PHASE 2 - Juin 2013.

Rapport ADEME AGAP – Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués – Janvier 2017.

Site internet de l'AGAP Qualité : www.agapqualite.org

Des fiches spécifiques aux outils géophysiques élaborées dans le cadre du Projet de Fiches Techniques Innovantes (cf. § 10) sont accessibles sur le site internet :

- <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/resistivite-electrique>
- <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/polarisation-provoquee>
- <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/potentiel-spontane>

9.5 Retour d'expérience sur les appareils de mesures

9.5.1 Analyseur portable de fluorescence X

Sur le terrain, l'intérêt de l'analyseur portable de fluorescence X (XRF) est généralement de donner immédiatement une réponse et ainsi de pouvoir sélectionner les échantillons à prélever qui seront ultérieurement envoyés pour analyse dans un laboratoire. Elle multiplie également à moindre coût le nombre d'analyses sur site et permet un couplage en temps-réel avec des traitements statistiques et/ou géostatistiques en vue d'obtenir des cartes de répartition de la pollution.

Comme tout appareil de mesure, la représentativité des résultats obtenus dépend des modalités d'utilisation et de calibration de l'appareil ainsi que de la pertinence et de la représentativité des échantillons analysés. Les points suivants peuvent ainsi être mis en avant :

- les corrélations des résultats obtenus à l'aide de la XRF et par des laboratoires ne sont parfois pas satisfaisantes, même en prenant en compte les incertitudes inhérentes à chacune de ces 2 méthodes d'analyse. Cela est généralement rencontré dans deux cas : l'analyse faite sur le terrain n'est pas représentative de l'échantillon prélevé et/ou les échantillons analysés ne proviennent pas de matrices similaires (mélange de sol, déchets, gravats, ...). Il faut également que l'appareil soit correctement calibré avec des échantillons représentatifs du site (utilisation des CalFactors) et que l'humidité dans les sols soit prise en compte ;
- cette méthode permet de réaliser un grand nombre de mesures, ce qui permet d'utiliser des statistiques et la géostatistique pour détermination du fond pédogéochimique du site pour les métaux et métalloïdes, tout en générant une carte fiable des incertitudes ;
- à l'aide de la rose des vents au droit d'un site générant un panache de poussières métalliques, la XRF permet de faire une première délimitation des retombées avant de réaliser d'éventuelles investigations intrusives plus poussées et plus onéreuses.

Afin de vérifier la justesse des mesures, en lien avec ces conditions opératoires, il est nécessaire qu'un pourcentage d'échantillons analysés par XRF, soit analysé en parallèle, par des méthodes normalisées en laboratoire. Pour cela, 5 à 10 % des échantillons analysés par XRF sont également analysés au laboratoire, les teneurs mesurées de ces échantillons doivent couvrir la gamme analytique mesurée. Ces échantillons permettent de déterminer une corrélation entre les mesures réalisées sur site et les analyses en laboratoire sur le(s) élément(s) ciblé(s). Depuis 2013, la procédure d'analyse rapide d'une sélection d'éléments dans les sols et matériaux similaires par XRF a donné lieu à une norme ISO (NF ISO 13196).

9.5.2 Appareil de mesures PID

Il est rappelé que les PID les plus couramment utilisés en SSP ont une sensibilité de l'ordre du ppmV. Si ces appareils sont adaptés pour une surveillance de l'exposition du personnel sur un chantier ou pour identifier les échantillons d'air, de gaz du sol (voire de sol) les plus contaminés par des composés organiques volatils, il est important de conserver à l'esprit que cette sensibilité n'est pas forcément suffisante pour mettre en évidence une présence diffuse de composés volatils susceptibles de poser problème. À titre d'exemple, rappelons qu'un ppmV de benzène à 20 °C correspond à environ 3 200 µg/m³, alors que la valeur-guide pour le benzène dans l'air intérieur d'un bâtiment recevant du public est 2 µg/m³. Par conséquent, l'utilisation d'un PID avec une limite de sensibilité au ppm n'est clairement pas suffisante pour statuer sur l'absence de problématique pour ce composé dans l'air intérieur d'un ERP⁷¹. De même, la gamme de mesures avec un PID n'a pas une limite de détection suffisamment faible pour mettre en évidence des chemins préférentiels dans un bâtiment. Pour faire cela, il est recommandé d'utiliser des PID 1 000 fois plus précis (sensibilité de l'ordre du ppb).

⁷¹ ERP : Établissement Recevant du Public

Les PID étant particulièrement sensibles à l'humidité, il est rappelé les éléments suivants :

- un PID ppm aura tendance à dériver à la hausse en présence d'une quantité importante d'humidité dans l'air analysé ;
- un PID ppb aura tendance à dériver à la baisse (jusqu'à afficher une valeur nulle) avec l'augmentation de l'humidité dans l'air analysé ;
- l'utilisation de filtres anti-humidité en entrée de PID est fortement recommandée.

De plus, une attention particulière est à porter sur le choix de la lampe utilisée et sur sa durée de vie (de quelques semaines à quelques années selon les lampes). Plusieurs puissances de lampes sont disponibles (9.8, 10.6 et 11.7 eV). Différents gaz pourront être détectés en fonction de la puissance de la lampe et des potentiels d'ionisation des composés recherchés. La puissance de la lampe à ionisation utilisée doit donc être adaptée à la (aux) substance(s) recherchée(s).

La lampe standard fournie par les fabricants est généralement la lampe 10,6 eV, qui ne permet pas de détecter des molécules classiquement recherchées en SSP telles que : le tétrachlorométhane, le chloroéthane, le trichlorométhane (chloroforme), 1,2-dichloroéthane, éthane, formaldéhyde, méthane, méthanol, chlorométhane, dichlorométhane, 1,1,1- & 1,1,2-trichloroéthane, 1,1,2,2-tétrachloroéthane, Par conséquent, il est recommandé de se rapprocher du fabricant du PID, le seul à même de vous conseiller la lampe adaptée aux polluants rencontrés.

Enfin, le PID mesure un phénomène (dégazage de la matrice sol) qui dépend de la nature du sol, de sa perméabilité, de la fraction de carbone organique et des polluants présents. Selon les composés présents et la lithologie rencontrée, les mesures ne s'avèrent donc pas toujours comparables et cohérents avec les analyses de laboratoire.

9.6 Documentation de référence pour les techniques d'investigations et de mesures de terrain

Les guides et travaux des groupes de travail :

- INRS (2005) – Solvants organiques dans l'atmosphère des lieux de travail. Les détecteurs portables à lecture directe.
- Record (2006) – Évaluation des méthodes rapides d'analyse des composés organiques dans les terres polluées.
- ADEME (2008) – Reconnaissance assistée de sites pollués par l'utilisation conjointe de mesures rapides sur site et de traitements géostatistiques.
- INRS (2009) – Les détecteurs portables à photo-ionisation pour la sécurité et l'hygiène des lieux de travail. Aide-mémoire technique.
- INRS (2011) – Détecteurs portables de gaz et de vapeurs. Guide de bonnes pratiques pour le choix, l'utilisation et la vérification.
- INRS (2014) – Les explosimètres. Fiche pratique de sécurité.
- Gantois F., Guigues N., Lepot B., Gal F. Panorama de l'existant sur les capteurs et analyseurs en ligne pour la mesure des paramètres physico-chimiques dans l'eau - 2016 – Rapport Aquaref 2016, 85 pages.

10 Techniques d'investigations innovantes

Ce chapitre présente des techniques d'investigation innovantes et applicables pour caractériser certains milieux, en complément ou en substitution de techniques plus classiques présentées précédemment.

Le recours à de nouvelles techniques d'investigations peut faciliter certains diagnostics. Selon les sites et les techniques utilisées, les coûts et les surfaces investiguées peuvent être réduits, les stratégies d'échantillonnage peuvent être réorientées et les informations obtenues peuvent être plus complètes ou complémentaires aux simples analyses chimiques.

Un projet nommé « Fiches Techniques Innovantes » a été initié en 2019 par le BRGM pour le compte du Ministère en charge de l'environnement dans le but de faire connaître aux acteurs du domaine des sites pollués, des techniques innovantes et en développer l'usage. Ces techniques innovantes utilisables pour le diagnostic des sites et/ou le suivi de travaux de dépollution sont présentées sous forme de fiches qui apportent une aide dans le choix et la justification de l'utilisation des différentes techniques selon le contexte rencontré. Ces fiches constituent un point d'entrée en référencant pour chaque technique, les différents documents existants (fiches outils, guides détaillés, référentiels qualité, normes, projets phares) et proposent des informations techniques opérationnelles (méthodologie, matériel nécessaire, contexte d'utilisation, polluant ou composés mis en jeu, avantages/inconvénients, degré de maturité).

Dans le cadre de ce projet, la fiche étape « diagnostic », présente les différentes techniques innovantes utilisables dans le cadre d'un diagnostic. Dans ce document, les techniques innovantes sont listées en fonction des réponses qu'elles apportent (précision du contexte environnemental, caractérisation de la pollution et/ou impact de cette pollution sur les milieux).

Selon les besoins, certaines techniques innovantes sont applicables sur d'autres milieux que les sols, eaux ou gaz du sol présentés dans les fiches (par exemple l'échantillonnage et l'analyse des végétaux pour la bioaccessibilité orale).

Le Tableau 15 présente les techniques innovantes actuellement disponibles dans la fiche étape « diagnostic » sur le site internet :

- <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/etape-diagnostic>

Technique innovantes	Réponse aux problématiques			Milieu concerné			Investigations			
	Précision du contexte environnemental	Caractérisation de la pollution	Impact de cette pollution sur les milieux	Sol	Eau	Air	Ponctuelles	Surfaciques	Intrusives	Non intrusives
Géophysique	Décrire le sol (géologie et hydrogéologie locale)	Déterminer l'extension latérale et verticale des polluants, identifier des objets enfouis à l'origine de la source de pollution		x	x			x		x
Outils de biologie moléculaire	Connaitre les populations de microorganismes présentes (diversité et l'abondance)	Déterminer les processus de biodégradation de la pollution par des microorganismes	Informé sur l'état des milieux en connaissant les populations de microorganismes présentes	x	x	x	x		x	
Outils isotopiques		Mettre en évidence et estimer les phénomènes de dégradation des polluants, discriminer les différentes sources de pollution	Mettre en évidence l'impact de la pollution à travers le taux de biodégradation des polluants	x	x	x	x		x	
Spéciation		Connaitre l'état du polluant (structure chimique)	Estimer le potentiel de mobilité et d'interaction du polluant avec les organismes du milieu	x	x		x		x	
Bio-tests, bio-essais		Identifier sur une grande surface les zones d'étude pour le diagnostic	Quantifier les effets toxicologiques d'une pollution sur les organismes	x	x		x			x
Phytoscreening		Déterminer l'extension de la pollution		x	x		x			x
Mesures de terrain		Identifier sur une grande surface les zones d'étude pour le diagnostic, Déterminer l'extension latérale et verticale des polluants		x	x	x	x	x	x	x
Outils géostatistiques		Estimer le volume du milieu impacté, Connaitre l'incertitude sur la connaissance d'un paramètre physique		x	x		x		x	x
Dendrochimie		Informé sur l'historique de la pollution		x	x		x			x
Bio-indicateurs			Evaluer la biodisponibilité et l'accumulation des polluants dans les organismes vivants Evaluer les effets de la pollution sur un organisme vivant sur le site	x	x		x		x	
Bioaccessibilité orale			Quantifier la fraction de polluant réellement assimilée par l'organisme	x			x			x

Tableau 15 : Liste des techniques innovantes utilisables en diagnostic (selon Fiches Etape « Diagnostic » du site ssp-infoterre).

Les fiches techniques opérationnelles actuellement disponibles en ligne dans le cadre d'un diagnostic concernent les techniques de caractérisation suivantes :

- Dendrochimie ;
- Phytoscreening ;
- Résistivité électrique ;
- Polarisation provoquée ;
- Potentiel spontané ;

- Géostatistique ;
- PCR quantitative ;
- Séquençage ;
- CSIA (analyse isotopique sur les composés organiques) ;
- Biodisponibilité environnementale (Indices SET et ERITME, bio-indicateurs d'accumulation) ;
- Bioaccessibilité orale des éléments métalliques (Test UBM) ;
- Bioaccessibilité orale simplifiée (Test HCl) ;
- Couplage de mesures de terrain et de la géostatistique ;
- pXRF ;
- Isotopie du plomb ;
- Evaluation écotoxicologique de la qualité des sols

Le projet se poursuit et de nouvelles fiches s'ajouteront annuellement sur le site ssp-infoterre.

Retour d'expérience :

Les techniques présentées dans les fiches sont des techniques éprouvées dans la recherche et le développement. Certaines techniques sont matures dans leur domaine (géophysique, biologie moléculaire) mais commencent seulement à être appliquées en sites et sols pollués.

Pour certaines techniques, des normes et des référentiels existent, ce qui encourage leur développement. Par contre, du fait de leur caractère innovant, il existe à l'heure actuelle peu de retour d'expérience associé.

Concernant l'estimation de la bioaccessibilité, la norme ISO 17924⁷² (ou test UBM) est considérée comme la méthode de référence à suivre pour l'arsenic, le cadmium et le plomb. D'autres techniques plus simples et moins coûteuses, comme le test HCl basé sur des extractions séquentielles, sont développées et permettent de réaliser un screening des échantillons avant analyse selon la méthode normée. Par ailleurs, la Haute Autorité de Santé (HAS) recommande aux pouvoirs publics d'évaluer la bioaccessibilité de l'arsenic du sol (majorant par définition la biodisponibilité) pour décider de l'opportunité d'un dépistage biométriologique des surexpositions individuelles lorsque la concentration de l'arsenic inorganique dans le sol est supérieure à 25 mg/kg et que l'occupation du sol comprend des résidences avec jardin individuel et/ou des jardins collectifs et/ou des terrains d'activités sportives ou de loisirs. L'estimation de la bioaccessibilité n'est pas encore très utilisée pour les autres polluants inorganiques et les polluants organiques, car l'ajustement des doses d'exposition dans les calculs de risques n'a pas été validé.

Certaines techniques géophysiques sont utilisées dans le domaine des sites et sols pollués, notamment pour la recherche de sources, la délimitation de polluants organiques à grande échelle et pour le monitoring de l'efficacité des procédés de dépollution *in situ*. Grâce à leurs capacités intégratrices et non destructives, les méthodes géophysiques autorisent de relier les données de forage entre elles. Elles permettent de limiter et positionner au mieux les sondages de reconnaissance et de surveillance de ces pollutions. En outre les techniques géophysiques participent à décrire l'environnement géologique et hydrogéologique du site d'étude, ainsi que la présence d'infrastructures enterrées.

⁷² Qualité du sol - Évaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux du sol - Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'homme de métaux dans le sol

D'autres méthodes géophysiques appliquées aux sites et sols pollués en sont encore au stade de développement, en particulier sur l'étude de la variation des propriétés électromagnétiques par les polluants, la microflore et les produits de dégradation.

De manière générale, les techniques géophysiques sont peu applicables sur des zones urbanisées (réseaux enterrés, interférences électromagnétiques). Ces méthodes étant basées sur des contrastes de propriétés physiques, il est nécessaire que les concentrations en polluants ou de leurs produits de dégradation soient suffisantes pour créer un contraste mesurable. La principale difficulté lors de l'utilisation de ces techniques repose sur l'interprétation complexe qui ne peut être entreprise qu'avec le soutien d'un spécialiste SSP.

Ainsi, en contexte de sites et sols pollués, il est illusoire de vouloir établir une relation directe (et objective) entre une propriété géophysique et une concentration en polluant. Néanmoins, les méthodes géophysiques permettent de délimiter les zones impactées et non impactées par une pollution (source et panache). Elles servent à positionner au mieux les forages et en limiter le nombre. Elles contribuent à décrire l'environnement géologique et hydrogéologique. La recherche est tournée vers la surveillance de l'efficacité d'un traitement de dépollution, par les variations temporelles des propriétés géophysiques.

11 Environnement local témoin

11.1 Définition et objectifs

L'appréciation de la qualité d'un milieu au droit ou dans le proche environnement d'un site (potentiellement) pollué nécessite de disposer d'un état de référence de ce milieu dans son environnement plus global. La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués traduit cet état de référence sous la notion d'**Environnement Local Témoin (ELT)**.

Cet ELT est particulièrement recommandé pour des sites situés dans des environnements spécifiques (valeurs de fond pédogéochimiques élevées, environnement dégradé), de même que pour des substances pour lesquelles l'état des connaissances est parcellaire (peu de publications, absentes des bases de données...).

La caractérisation de l'ELT permet d'avoir une information qualitative de l'état des milieux non impactés par le site.

La définition suivante est issue du glossaire en ligne sur ssp-InfoTerre (<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/glossaire>) :

Environnement local témoin (ELT) : « Zone géographique jugée exempte de toute anomalie anthropique liée aux activités, passées ou présentes des sites des environs. L'ELT :

- est situé à proximité du site en cours d'étude ;
- présente une géologie et une pédologie similaires à celles du site étudié ;
- présente des usages identiques à ceux du site étudié ;
- n'a jamais accueilli l'une des activités recensées sur le site étudié.

Note 1 : un environnement local témoin peut servir pour apprécier par comparaison, la pollution éventuelle de l'ensemble des milieux, attribuable aux activités implantées, par le passé ou au moment de l'étude, sur le site étudié. À cette fin, les milieux retenus pour la caractérisation d'un environnement local témoin correspondent à ceux identifiés comme milieux d'exposition dans le schéma conceptuel qui définit les scénarii d'exposition pertinents au regard des enjeux (usages et population) et des substances émises. Ces milieux d'exposition peuvent être les sols, les eaux superficielles, les sédiments, les eaux souterraines, les végétaux et l'air.

La recherche de plusieurs environnements locaux témoins peut s'avérer nécessaire pour couvrir tous les milieux pertinents et/ou obtenir le nombre d'échantillons nécessaires. »

L'ELT est défini au moyen de prélèvements et analyses effectués sur ce milieu « témoin », et peut être étayé et consolidé par des valeurs de fond issues de la littérature et/ou de bases de données locales ou régionales, ou à défaut nationales.

Les prélèvements témoins doivent être réalisés, dans la mesure du possible, de manière synchrones avec ceux des zones impactées, notamment pour les eaux, les végétaux et l'air.

L'élaboration du schéma conceptuel spécifique au site, tenant compte des sources, des voies de transferts et des enjeux à protéger permet d'aider à la définition des points caractérisant « l'état non perturbé des milieux » hors de la zone d'emprise du site et correspondant *a priori* à un environnement local témoin de référence.

Une étude de terrain permettra de s'assurer que les usages, les voies d'exposition et les populations sont comparables entre le site étudié et les environnements locaux témoins (résidentiels, potagers, usages des eaux souterraines et superficielles...), de même que les aménagements extérieurs (proximité trafic routier, ...).



Guide « Caractérisation de l'état des milieux sols, eaux et végétaux dans l'environnement des installations industrielles - Utilisation de l'Environnement Local Témoin. : INERIS, 2017. INERIS-DRC-15-151883-01265B.

<https://ssp-infoterre.brqm.fr/fr/rapport/caracterisation-etat-des-milieux-sols-eaux-vegetaux>

11.2 Approche par milieu

11.2.1 Milieu sol

Pour le milieu « sol », l'environnement local témoin repose sur le fond pédogéochimique.

Les points de prélèvement des échantillons de sols présentant des concentrations significatives, jugées caractéristiques d'un ELT, doivent être répartis sur l'ensemble de la zone géographique considérée, prélevés, échantillonnés et analysés selon des modalités identiques. Le nombre d'échantillons peut être adapté à l'étude en cours. Idéalement, il doit être suffisant pour tenir compte des variabilités locales.

Pour la réalisation d'un ELT sur les sols, il convient de définir les zones présentant une lithologie similaire au site d'étude et un usage des sols équivalent ou moins impactant. On définira un usage moins impactant comme étant par exemple un usage forestier ou agricole dans le cadre d'une étude d'un site ayant un usage industriel. Cependant, dans le cas où la problématique étudiée serait liée à la présence de pesticides, il conviendra d'écarter les parcelles maraîchères par exemple.

L'étude historique de la zone est très importante car elle peut indiquer un changement d'usage de l'environnement local témoin. On peut citer par exemple un parc urbain actuel mais qui serait historiquement une ancienne usine de produits chimiques, fermée depuis plusieurs décennies. Cette zone serait à considérer comme une anomalie anthropique et non comme un ELT.

La définition d'un ELT sur les sols permet de s'informer sur des anomalies anthropiques ou des anomalies géochimiques naturelles connues. Une zone d'anomalie anthropique ne pourra pas être utilisée comme environnement local témoin et aucune valeur de fond ne sera calculée sur cette zone (par exemple, les accotements des routes ayant eu un trafic important lors de l'utilisation de l'essence au plomb, les chemins remblayés par des scories, une zone de brûlage de pneus ou les zones de jardins amendés par les cendres de poêles à charbon, etc.). À l'inverse, une anomalie géochimique naturelle peut être considérée comme une valeur de fond si elle présente une extension significative (plusieurs hectares) et souvent une concentration plus importante en profondeur qu'en surface. Dans ce cas, elle peut être utilisée comme environnement local témoin s'il est prouvé que le contexte du site d'étude et la formation géologique rencontrée sont identiques.

Dans ce contexte d'anomalie géochimique naturelle, les données issues des investigations doivent être mises en perspective avec les données issues des bases nationales et surtout locales (BDSolU, RMQS, GEOBAPA, zones d'anomalies décrites dans la base de données ASPITET, BDETM ou référentiels locaux ...) sous réserve de la pertinence des référentiels retenus.

La Base de Données des analyses de Sols Urbains BDSoLU a pour objectif d'améliorer la connaissance de la qualité géochimique des sols en milieu urbain à une échelle macro et des valeurs des fond pédogéochimiques dans les principales agglomérations. BDSoLU contient des analyses chimiques de sols prélevés notamment en milieu urbain et les protocoles de prélèvement associés.



Le site internet <http://www.bdsolu.fr/> présente le projet et permet la bancarisation en ligne des analyses de sols produites par les fournisseurs déclarés et la consultation des données mises à disposition du public.

Compte tenu d'une part, du nombre restreint de données disponibles dans les bases de données sur les valeurs de fonds et d'autre part de l'hétérogénéité des sols en milieux urbain et industriel, il sera souvent nécessaire de **consolider l'étude par une campagne d'échantillonnage des sols avec la réalisation d'échantillons témoins**. Cela peut permettre notamment, de détecter une anomalie géochimique, un remblai historiquement contaminé en profondeur, un sol de parc et jardin rapporté et non endogène, etc.

Pour les substances non recensées dans ces bases ou lorsqu'elles sont peu adaptées au site étudié, il convient de densifier les témoins extérieurs. Une attention particulière doit cependant être apportée dans la localisation et la profondeur de prélèvement des éventuels témoins : vérification de l'absence de passif historique susceptible d'être à l'origine d'anomalies et, à l'inverse, éviter de prélever toute zone remaniée avec apport de terre exogène (dont terre végétale superficielle rapportée), surtout récemment, au niveau d'espaces verts. Une connaissance pédologique des sols environnant le site sera utile afin de définir la nature des matériaux échantillonnés et ainsi qualifier à juste titre les sols en remblais ou matériaux naturels en place.

Pour constituer ces échantillons témoins, le nombre de données de terrain à acquérir (par horizon étudié) est à adapter selon la configuration du site pour obtenir une bonne représentation de la zone. Ce nombre doit être suffisant et adapté à chaque cas d'étude, afin d'établir un ELT représentatif, réaliste et exploitable tenant compte de la variabilité géologique et anthropique de la qualité des sols.

- *Pour plus de détails, se référer au § 4.2.3.1 « Nombre minimum d'échantillons » du guide ADEME à l'échelle d'un site : « le nombre de données terrain à acquérir (par horizon étudié) pour déterminer les valeurs de fonds autour d'un site est a minima de 3 mais un nombre de 8 à 10 est souhaitable. » Pour de grands sites, ce nombre peut être bien plus important encore.*



L'ADEME a publié deux documents en novembre 2018 sur la détermination des valeurs de fond dans les sols, l'un à l'échelle d'un site et l'autre à l'échelle d'un territoire. Dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués, la détermination de l'environnement local témoin peut s'appuyer sur le guide spécifique à l'échelle d'un site :

Guide pour la détermination des valeurs de fonds dans les sols - échelles d'un site :

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/determination-valeurs-de-fonds-sols-echelles-territoire-site>

Quelques points d'attention :

Lorsqu'on cherche à déterminer des valeurs de fond, il ne suffit pas d'avoir un nombre important de mesures. Il faut des données représentatives (de la pédologie et de la géologie sous-jacente, de l'occupation du sol actuelle et ancienne, de la profondeur), cohérentes avec l'objectif de l'étude, réparties dans l'espace, avec une densité de point suffisante, et une limite de quantification faible. Il convient également de s'éloigner suffisamment du site en cas de rejets atmosphériques historiques, de ré-envol de poussières, ou de ruissellement.

Les sols de type remblais ne pourront être considérés comme représentatifs des valeurs de fond que s'ils sont homogènes et présents sur de grandes surfaces incluant le site (>1 ha en milieu urbain) et contenant moins de 20 % de matériaux anthropiques (artefacts tels que briques, scories, béton, etc.).

Pour les sites qui ont été remblayés (par exemple, les plateformes industrielles), l'ELT n'est pas représentatif de la qualité des sols rencontrée au droit de ces sites et la consultation des bases de données existantes n'apporte pas d'informations pertinentes. Dans ce type de contexte, la définition des valeurs de fond peut être conduite à partir des données disponibles sur la qualité des sols au droit du site en retirant les valeurs représentatives d'une pollution concentrée. Cela revient à faire un ELT à l'échelle de la plateforme.

11.2.2 Milieu eau souterraine et eau superficielle

Pour le milieu eau (superficielle, souterraine), l'environnement local témoin (ELT) repose sur la notion de fond hydrogéochimique utilisée pour caractériser l'état de référence environnemental d'une eau non impactée par une installation ou une activité (clairement) identifiée localement et à rechercher dans la mesure du possible en amont du site étudié par rapport au sens d'écoulement.

Les campagnes de prélèvement permettant de déterminer l'ELT sont réalisées de manière synchrone et avec le même protocole que pour les points de prélèvements prélevés sur le site.

Ces investigations sont réalisées en amont hydraulique du site. Pour les eaux superficielles, elles visent une zone sans impact possible issu d'un rejet du site, de l'apport de sédiments ou d'un ruissellement de surface.

Pour consolider la qualité de cet ELT, la connaissance du contexte hydrogéologique et hydrologique pourra être complétée par les données locales disponibles dans les différentes bases de données existantes :

- *ADES*⁷³, *InfoTerre*⁷⁴, ... pour les eaux souterraines ;
- *NAIADES*⁷⁵, *EauFrance*, *Sandre*, *Agences de l'Eau*, etc. pour les eaux superficielles.

Pour les eaux superficielles, des sources d'informations sur la qualité des eaux sont également proposées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023. Bâlon P., Guérin V., Quiot F. (2022) – Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués.

11.2.3 Milieu sédiments

Il peut être nécessaire de disposer d'un ELT pour les sédiments afin de distinguer une contribution liée au site avec d'autres contributions extérieures (origines naturelles ou anthropiques). De la même manière que les eaux, des prélèvements seront réalisés en amont du site d'étude, de manière synchrone à ceux prélevés au droit du site. Selon le contexte, différents types de sédiments peuvent être visés par l'ELT

⁷³ Banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines : <https://ades.eaufrance.fr>

⁷⁴ Portail géomatique d'accès aux données géoscientifiques : <http://infoterre.brgm.fr>

⁷⁵ Données sur la qualité des eaux de surface : <http://www.naiades.eaufrance.fr/bienvenue-naiades>

(sédiments de surface récents ou sédiments plus anciens en profondeur) (cf. § 8.4.3 pour le choix d'un matériel d'échantillonnage adapté).

Ces prélèvements sont éventuellement complétés par des données de surveillance, telles que celles de l'Ifremer (Site Internet Envlit), des agences de l'eau ou de la VNF.

Quelques sources d'informations sur la qualité des sédiments sont également proposées dans le Guide BRGM, INERIS, 2023. Bâlon P., Guérin V., Quiot F. (2022) – Guide pratique pour la caractérisation des eaux superficielles et des sédiments dans le domaine des sites et sols pollués. Document disponible sur le site <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/guide/guide-pratique-caracterisation-eaux-superficielles-sediments-ssp>.

11.2.4 Milieu air intérieur

S'agissant de l'**air intérieur** en relation avec une pollution des sols ou des eaux souterraines, la réalisation simultanée de diagnostics dans l'air intérieur et sur **des témoins intérieurs et extérieurs** permet 1) de déterminer les principales contributions par des apports extérieurs (circulation routière, émission atmosphérique, ...) ou des sources tierces dans l'air intérieur (produits stockés ou utilisés, pratiques ou activités humaines, ...) et 2) de les distinguer de contributions provenant des sols ou des eaux souterraines qui seront mises en évidence par des prélèvements de gaz du sol / air sous dalle.

Ainsi, les mesures d'air extérieur et intérieur ne permettent pas de déterminer la proportion exacte de la contribution de l'air extérieur à la dégradation de l'air intérieur car elles sont extrêmement dépendantes de la configuration de l'habitat dans son environnement et par ailleurs fluctuantes. Les concentrations mesurées dans l'air extérieur sont donc indicatives par rapport à celles mesurées dans l'air intérieur.

De même, les mesures d'air sous dalle permettent de discriminer qualitativement ce qui provient du sous-sol de ce qui pourrait provenir de l'air intérieur (produits ou pratiques), voire de l'air extérieur.

Dans ce contexte, les prélèvements témoins sont réalisés selon les mêmes modalités que les autres prélèvements et de manière synchrone. Il convient notamment d'appliquer le même protocole pour les mesures d'air intérieur et d'air ambiant extérieur (avec éventuellement des durées de prélèvement différentes selon les concentrations attendues).

Quelques points d'attention :

En règle générale, les témoins « intérieurs » sont réalisés par défaut dans les étages supérieurs du bâtiment considérant que, si une source est suspectée dans le sous-sol, des facteurs de dilution entre les étages sont théoriquement attendus avec des concentrations plus faibles en hauteur. Idéalement il conviendrait de retenir une pièce possédant les mêmes caractéristiques que la pièce mesurée en RDC. Ainsi, à l'étage, les chambres qui sont les pièces les plus grandes, où le temps de présence est le plus élevé et qui présentent moins d'anomalies liées à leur usage (salle de bain et ses parfums) sont à privilégier.

Les caractéristiques du bâtiment sont connues pour influencer les résultats et sont à prendre en compte dans le cadre de l'étude et dans l'interprétation des résultats obtenus. C'est l'objet de l'enquête préalable qui doit être faite avant les prélèvements d'air intérieur. Si les témoins « intérieurs » réalisés dans les niveaux supérieurs tendent à montrer l'absence de la dilution « attendue » des concentrations, il peut être nécessaire de réaliser une étude plus fine de la situation pour comprendre l'origine de ce constat.

Pour sélectionner une pièce « témoin », il est recommandé de s'éloigner des gaines techniques, des cages d'escalier et des ascenseurs. L'utilisation d'appareil de mesures type PID (seuil de détection de l'ordre du ppm, voire du ppb) peut également être utile pour s'assurer de l'absence d'anomalie en composés volatils dans cette pièce.

En complément des mesures réalisées sur site, des informations sur la qualité de l'air à l'échelle nationale sont également disponibles à partir des campagnes de prélèvements menés par l'OQAI⁷⁶ pour juger de la pertinence de l'ELT ainsi déterminé (ou en l'absence de données exploitables sur des témoins « intérieurs »). Les résultats obtenus au droit du site ou d'une zone étudiée peuvent être comparés aux concentrations habituellement mesurées dans des locaux similaires : en l'état actuel des connaissances il s'agit du 90^{ème} percentile de la distribution des concentrations mesurées dans les logements français par l'OQAI entre 2003 et 2005 -OQAI, 2007. Cette campagne se base sur plus de 500 logements avec des informations sur les pratiques (garages, bricolage, tabagisme...) et fournit également des valeurs sur l'air ambiant extérieur.

Pour information :

- *Parution à venir des autres enquêtes nationales de l'OQAI : actualisation de la campagne logements, campagne sur les écoles et lieux d'accueil des enfants, campagne sur les bureaux, etc.*

Pour l'air ambiant extérieur, les mesures des AASQA⁷⁷ peuvent être utilisées en complément du ou des « témoins extérieurs » (ou en l'absence de résultats exploitables sur ces témoins extérieurs). Elles sont disponibles pour quelques polluants réglementés (4 ETM, benzène, Benzo(a)pyrène, PM10 et PM2,5) et permettent d'avoir des données moyennes d'exposition (séries temporelles longues). Cette démarche est cependant limitée par :

- une faible représentativité géographique, que certains scientifiques compensent avec des programmes d'extrapolation ;
- un positionnement souvent orienté : certaines stations sont placées loin de "toutes" sources pour caractériser un bruit de fond, tandis que d'autres stations sont placées à proximité de sources (souvent des axes routiers) pour jouer leur rôle d'alerte.

Dans certains contextes, on peut aussi être amené à rechercher un ELT sur les retombées atmosphériques. Dans ce cas, les stations témoins sont placées en dehors de la zone d'influence présumée (en amont éolien, en tenant compte de la variabilité de la rose des vents sur une année ou à une plus grande distance de la source d'émission) et présentent des typologies analogues à celles installées dans la zone d'influence (géologie, degré d'anthropisation, relief et barrière végétale).

En résumé :

- pour disposer de points de mesures de la qualité de l'air ambiant extérieur : 1/ mesures concomitantes locales en extérieur au plus près du bâtiment concerné, en complément 2/ valeurs OQAI (air extérieur), sinon 3/ valeurs AASQA (air extérieur) ;
- pour disposer de points de mesures de la qualité de l'air intérieur : 1/ mesures concomitantes en intérieur dans le bâtiment (en distinguant, air sous dalle, sous-sol, rez-de-chaussée et étage pour aider à discriminer une éventuelle source de pollution des sols), en complément 2/ valeurs OQAI (air intérieur).

11.2.5 Milieu denrées alimentaires

Pour les denrées alimentaires (végétaux potagers, fourrage, ...), l'environnement local témoin se base sur des échantillons témoins sur des zones dont l'étude historique a montré *a priori* l'absence d'influence du site.

Il convient de distinguer les typologies culturales (jardin potager, parcelle de grande culture, vergers, ...). Pour chacune d'elles, une zone témoin est *a minima* retenue pour prélever les sols de culture et les végétaux.

⁷⁶ OQAI : Observatoire de la qualité de l'air intérieur

⁷⁷ AASQA : Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

S'agissant des jardins, pour disposer de parcelles comparables, l'âge du jardin peut être un bon indicateur. En effet, pour les polluants tels que les métaux ou les HAP, l'ancienneté s'accompagne généralement d'une augmentation des concentrations du fait des pratiques de l'époque. Pour les parcelles agricoles, ce sont les types de production qui seront plutôt considérés (champs cultivés ou prairie, culture traditionnelle ou agriculture biologique...). Les échantillons témoins doivent être prélevés, si possible, dans un même horizon géologique que le périmètre d'impact, et avec des pratiques culturales similaires. Ces pratiques sont donc à renseigner dans la zone impactée et dans la zone témoin (amendements, pratique du compost, intrants en général, ...).

Sur les zones « témoins », les espèces collectées et analysées (1 à 2 espèces par type de légumes) doivent être identiques à celles collectées dans le périmètre impacté. Il convient de respecter *a minima* les mêmes catégories de légumes et mêmes espèces : légumes feuilles, légumes racines, tubercules, légumes fruits, fruits, et si possible les mêmes variétés.

Concernant le programme analytique, il peut être intéressant de mesurer le pH et le COT dans les sols de culture car ces paramètres influencent les transferts sol-plante.

Pour mettre en perspective les résultats de l'ELT, et juger de sa pertinence, les bases de données et synthèse suivantes peuvent être consultées dans :

- *Les études de l'Alimentation Totale (EAT) de l'ANSES permettent d'avoir des données disponibles sur la qualité des denrées alimentaires (produits mis sur le marché) ;*
- *Le rapport INERIS N°DRC-08-94882-15772A du 10/04/2009 fait un inventaire des données de bruit de fond dans l'air, les eaux de surface et l'alimentation humaine.*

Enfin, en l'absence de jardins témoins ou de données exploitables en dehors de la zone d'influence du site, des denrées alimentaires peuvent être achetées dans le commerce avec comme critère de choix « d'origine française » et analysées suivants les mêmes protocoles que les denrées alimentaires provenant du site. Néanmoins, en l'absence d'informations sur le mode de production et les conditions agronomiques de ces denrées achetées dans le commerce, les concentrations mesurées dans les denrées du commerce ne sont pas considérées comme des « témoins ». Les résultats pourront être utilisés pour « relativiser » les expositions et les risques liés à cette voie d'exposition (ingestion de denrées) par rapport à l'exposition globale de la population.

À noter que le Guide ADEME/INERIS de 2014 relatif à l'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux fournit des éléments sur l'élaboration de l'ELT (terme utilisé dans ce guide : « jardin témoin »).

12 Transport et stockage des échantillons

Ce chapitre présente des recommandations générales sur les conditions de transport et de stockage des échantillons. **Des informations spécifiques à chaque milieu sont présentées dans ce guide, au chapitre 8.**

Tous les échantillons (eaux, sols, air, denrées alimentaires, sédiments) sont susceptibles de se modifier par suite de réactions physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu entre l'instant du prélèvement et le début de l'analyse. La nature et l'intensité de ces réactions sont souvent telles que, si les précautions nécessaires ne sont pas prises pendant l'échantillonnage, le transport et le stockage, les concentrations déterminées seront différentes de ce qu'elles étaient au moment du prélèvement.

L'importance de ces modifications dépend :

- de la nature chimique et biologique de l'échantillon ;
- de sa température ;
- de son exposition à la lumière ;
- de la nature du récipient ;
- du temps qui sépare le prélèvement de l'analyse ;
- des conditions auxquelles l'échantillon est soumis, par exemple l'agitation au cours du transport.

Dans les normes actuellement en vigueur, des exigences concernant la durée et la température de stockage des échantillons sont spécifiques à chaque milieu (cf. § 8).

D'une manière générale, quelle que soit leur nature, les échantillons doivent être placés, dès leur conditionnement et pendant toute la durée de l'acheminement jusqu'au laboratoire d'analyse, à l'obscurité et au frais dans une enceinte isotherme.

Contrairement à un réfrigérateur, la glacière ne permet pas de refroidir un échantillon, mais uniquement de le conserver à la température à laquelle il a été introduit dans celle-ci.

Les échantillons doivent donc être refroidis avant leur introduction dans la glacière. La glacière doit quant à elle être réfrigérée préalablement à l'introduction des échantillons et doit être équipée du matériel nécessaire pour maintenir la température de l'enceinte frigorifique pendant toute la durée du transport.

Sur les chantiers, il n'est pas toujours possible d'avoir un congélateur à disposition et de l'électricité. D'autres solutions peuvent alors être envisagées :

- voiture équipée d'une unité de réfrigération ;
- glacière réfrigérante branchée sur l'allume-cigare ;
- passage régulier de navette sur site (possible dans les grandes métropoles) ;
- dépôt journalier dans les annexes des laboratoires situées à proximité du chantier.

Il est conseillé d'ajouter un maximum de pains de glace dans la glacière (selon la capacité du container).

Sauf demande spécifique du laboratoire, il est déconseillé au préleveur de congeler les échantillons avant envoi au laboratoire pour éviter la succession de phases de congélation/décongélation. En effet, au cours de la décongélation, les échantillons gelés précipitent souvent, les bactéries prolifèrent et peuvent être à l'origine de résultats erronés, en particulier pour les pesticides et les composés polychlorobiphényles (PCB).



Dans les pays chauds (DROM-COM), et pendant le transport des échantillons en avion, il est particulièrement difficile de maintenir une température suffisamment basse et de respecter les délais entre le prélèvement et l'analyse, et notamment les délais de réception préconisés dans les normes (24 à 48 h).

En termes de délais analytiques, les délais pratiqués par les laboratoires dépendent principalement des familles de polluants, et non des matrices analysées. Dans tous les cas, il est conseillé d'expédier les échantillons le plus rapidement possible et d'introduire dans la glacière les pains de glace congelés juste avant le transport.

L'expédition des échantillons est déconseillée la veille de week-end, sauf si le laboratoire peut les réceptionner et les conserver au froid. Le prestataire doit s'assurer des conditions de réception du laboratoire préalablement à son intervention.

À noter qu'à réception des échantillons, un contrôle de la température est systématiquement réalisé par le laboratoire. La mesure est réalisée manuellement, sans protocole précis. Selon les laboratoires, elle peut s'effectuer soit sur un échantillon de la glacière, soit dans l'enceinte de la glacière.

Dans des contextes sensibles, l'évolution de la température dans les glacières peut être également suivie avec un tracker depuis la phase de prélèvement jusqu'à réception par le laboratoire (par exemple : pile thermo-bouton avec enregistrement de la température en continu, placée dans une glacière à chaque envoi).

Le contrôle de la température et les délais entre échantillonnage et réception doivent apparaître clairement dans les bordereaux d'analyses, mais également dans le rapport d'étude. L'objectif étant d'alerter le lecteur sur d'éventuels dépassements de délais analytiques, ou une température élevée des échantillons pouvant avoir un impact sur les résultats (concentrations potentiellement sous-estimée).

13 Recommandations générales pour les livrables

Ce chapitre fait une synthèse des principaux éléments attendus dans un livrable à l'issue de la campagne d'investigations.

À l'issue de la campagne d'investigations, toutes les données de terrain et opérations d'échantillonnage sont consignées dans un rapport d'investigation (cf. Norme NF X31 620-2, contenu des livrables pour les prestations globales INFOS et DIAG et les prestations élémentaires spécifiques à chaque milieu). Des recommandations spécifiques figurent dans les chapitres dédiés à chaque milieu (cf. § 8).

Tout d'abord, il est important de rappeler que la personne en charge du prélèvement sur le terrain soit impliquée dans la rédaction du rapport d'investigations.

Ce rapport intègre notamment les fiches de visites / enquêtes, les fiches de sondage et de prélèvement, les profondeurs de prélèvement, les indices organoleptiques, les conditions météorologiques, les procédures de prélèvements, les résultats des mesures de terrain, etc.

- Des modèles de fiches de visite, de prélèvement et de rapport sont proposés dans certains guides (guide échantillonnage de sol, guides sur les eaux souterraines et les eaux superficielles).

Les photos et les notes prises sur le terrain sont primordiales pour éviter la perte d'informations. Le profil lithologique des terrains rencontrés, noté sur les fiches de prélèvement, est un élément à corréliser avec les constats de terrain, car il permet parfois d'approcher l'étendue possible des pollutions (présence de couches peu perméables pouvant limiter la migration des pollutions, identification de zones de remblais).

Notons également que l'absence de constat relatif à la présence de pollution sur le terrain (par le ressenti d'odeur ou la couleur du sol) n'implique pas forcément l'absence de pollution. Cette information doit être consignée dans le rapport d'étude et mise en perspective avec les autres informations.

Il est recommandé d'illustrer le livrable par des documents cartographiques, des graphiques afin d'en faciliter la compréhension. Les valeurs de référence utilisées seront présentées et justifiées.

Un examen rigoureux des résultats analytiques doit être réalisé et le laboratoire doit informer le client des artefacts analytiques. Tout doute sur les résultats d'analyses doit enclencher auprès des différents acteurs impliqués (prestataire et laboratoire) une démarche de contrôle qualité destinée à identifier et expliquer un éventuel artefact et, le cas échéant, à en tenir compte.

Il convient également d'être conscient des incertitudes liées aux différentes étapes du diagnostic (de la stratégie d'échantillonnage jusqu'à l'analyse en laboratoire) et les prendre en compte dans l'interprétation des résultats. Par ailleurs les recommandations associées au levé des incertitudes doivent être énoncées.

Au final, les résultats du diagnostic doivent permettre d'alimenter le schéma conceptuel de transfert et d'exposition suivant un triptyque source(s)/vecteur(s)/cible(s).

14 Définitions

Compte tenu du nombre de définitions spécifiques à chaque thématique et à chaque milieu, le lecteur est invité à se référer aux documents suivants :

- documents listés dans le présent guide à la fin de chaque chapitre sur les milieux (§ 8) ;
- glossaire en ligne : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/glossaire> ;
- Norme EN ISO 11074 - Qualité du sol – Vocabulaire : Soil quality -- Vocabulary -- Revision of ISO 11074 : 2015 and ISO 11074 : 2015/Amd 1: 2020.

15 Acronymes

Organismes cités :

ADEME : Agence de la Transition Ecologique

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ARS : Agence Régionale de Santé

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CEREMA : Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

COFRAC : Comité Français d'Accréditation

DDT(M) : Direction Départementale des Territoires (et de la Mer)

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DEAL : (DROM-COM) : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DRIEAT : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports

DD(CS)PP : Direction Départementale (de la Cohésion Sociale et) de la Protection de la Population

DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DROM-COM : Départements, Régions d'Outre-Mer – Collectivités d'Outre-Mer

HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des risques

MTECT : Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

OFB : Office Français de la Biodiversité

Termes techniques :

AEP : Alimentation en Eau Potable

AM : Arrêté Ministériel

AMO : Assistance à Maître d'Ouvrage

AP : Arrêté préfectoral

CSS : Commission de Suivi de Site

CLIC : Comité Local d'Information et de Concertation

CLIS : Commission Locale d'Information et de Suivi

ETM : Eléments Trace Métalliques

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

DCE : Directive Cadre Eau

DICT : Déclaration d'Intention de Commencement des travaux

DNAPL : Dense Non Aquous Phase Liquid

DT : Déclaration de Travaux

EPI : Equipement de Protection Individuel

ERP : Etablissement Recevant du Public

IBGN : Indice Biologique Global Normalisé

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEM : Interprétation de l'Etat des Milieux
IGN : Institut Géographique National
LQ : Limite de Quantification
MO : Maître d'Ouvrage
MOe : Maître d'œuvre
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PCB : Polychlorobiphényles
PCE : Tétrachloroéthylène
PCT : Plan de Conception des Travaux
PID : Détecteur à photoionisation (Photoionization Detector)
PCB : PolyChloroBiphényles
PCDD/F : PolyChloroDibenzo p-Dioxines/Furanes
PFAS : substances Per et PolyFluorés Alkylés
PFOA/PFOS : Acide PerFluoroOctanoïque / Sulfonate de PerFluoroOctane
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIGES : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines
SSP : Sites et Sols Pollués
TCE : Trichloroéthylène
VTR : Valeur Toxicologique de Référence
ZNS : Zone Non Saturée
ZS : Zone Saturée

Ministère de la Transition écologique
et de la Cohésion des territoires
92 055 La Défense cedex
Tel. 01 40 81 21 22



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

www.ecologie.gouv.fr