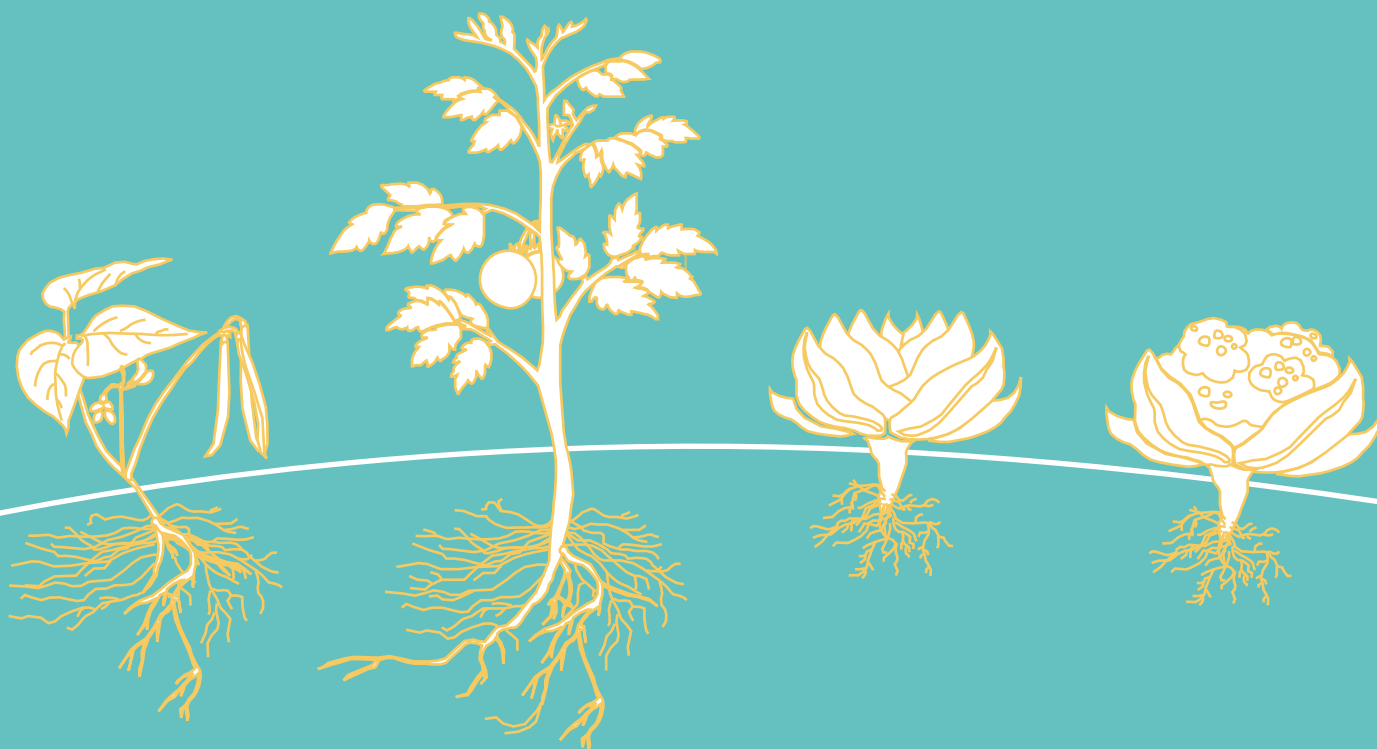




GUIDE R.E.F.U.G.E.

**Caractérisation de la contamination des sols
urbains destinés à la culture maraîchère et
évaluation des risques sanitaires**

Cas de la région Île-de-France



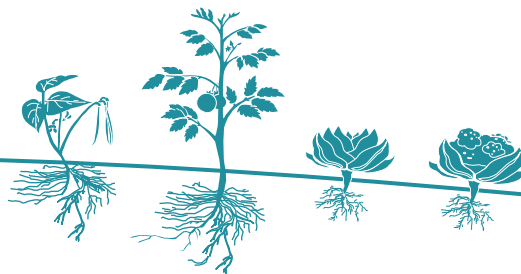
Guide R.E.F.U.G.E. version 1 - novembre 2019

Le guide REFUGE a pour ambition de proposer un premier langage commun de démarche de caractérisation des sols dans un certain contexte bien défini d'agriculture urbaine en Ile-de-France, mais ne prétend pas être une démarche universelle valable dans tous les contextes et toutes les situations. Il ne se veut pas non plus exhaustif, des points restant à l'interprétation et au choix de chaque acteur averti.

Les préconisations contenues dans le présent guide n'ont pas de valeur contractuelle. Il s'agit d'un simple outil d'aide à la décision dont les recommandations sont indicatives et non officielles. Les informations présentées ne dispensent pas du respect des normes en vigueur concernant l'utilisation des sols pollués, ni des obligations de conseil et de diligence dont sont tenues les parties prenantes en fonction des caractéristiques du projet.

Ce guide a vocation à évoluer conjointement au développement de l'agriculture urbaine, il est donc important de vérifier que la lecture concerne la dernière version du guide en date.

REMERCIEMENTS



Rédaction :

Anne BARBILLON, Coordinatrice du programme REFUGE, UMR SADAPT, département SIAFEE/Exp/AU AgroParisTech/INRA

Supervision :

Christine AUBRY, Ingénieur de recherche Hors Classe INRA/AgroParisTech, responsable de l'équipe de recherches Agricultures Urbaines, UMR SADAPT, département SIAFEE, co-responsable du programme REFUGE

Nastaran MANOUCHEHRI, Ingénieur de recherche AgroParisTech, UMR GENIAL, département SPAB, co-responsable du programme REFUGE

Merci aux membres du comité de pilotage REFUGE pour leur participation, relecture et/ou leur approbation :

Philippe BRANCHU, Chargé de programme transversal Eau-Sol, CEREMA

Camille DUMAT, Professeur, UMR ECOLAB ENSAT, CERTOP, enseignante à l'université de Toulouse

Mélanie COLLE, Chargée de mission Exp/AU/AgroParisTech

Séverine COHUET, Sites et Sols Pollués, Direction Régionale Ile-de-France, ADEME

Yoann DURRIEU, Chargé de mission Exp/AU/AgroParisTech

Giulia GIACCHE, Coordinatrice Bureau de recherche Exp/AU/AgroParisTech

Claire GREUILLET, Pôle Villes et territoires durables, Ingénieur Sites et Sols Pollués et friches urbaines, ADEME Ile-de-France

Benoît GRIMONPREZ, Professeur expert en droit rural, Université de Poitiers

Franck MAROT, Ingénieur Sites et Sols Pollués, ADEME

Florian MEYER, Chargé de mission Exp/AU/REFUGE/AgroParisTech

Karen PERRONNET, Ingénieur Etudes et Recherche, INERIS

Antoine PIERART, Ingénieur Agronomie-Environnement, Service Forêts, Alimentation, Bio-économie, Direction Productions et Energies Durables, ADEME

Sandrine SAILLARD, Ingénieur d'Etudes Sanitaires – Environnement Extérieur, Département Santé Environnement, Direction de la Santé Publique, ARS IDF

Flore TAURINES, Service Santé Environnement, ARS, Délégation départementale de Seine-Saint-Denis

Merci pour l'appui des autres membres du comité de pilotage et/ou experts ayant participé au projet :

Magali BARDOU, Chargée de mission AGENDA 21, Délégation Générale à l'Ecologie Urbaine de Plaine Commune

Marie-Noëlle BELLON-FONTAINE, Enseignant Chercheur, directrice de l'UFR QSMAP, département SPAB, AgroParisTech

Stéphane BESANCON, Technicien, Département SPAB, AgroParisTech

Karine BOQUET, Inspecteur de la santé publique vétérinaire, AgroParisTech

Philippe CAMBIER, Directeur de recherches, UMR ECOSYS, département SIAFEE, INRA/AgroParisTech

Marie CARDOSO, Service Santé Environnement, ARS IDF, Délégation départementale de Seine-Saint-Denis

Anne-Cécile DANIEL, Coordinatrice du programme REFUGE 2016-2017, actuellement Coordinatrice nationale de l'AFAUP, Association Française d'Agriculture Urbaine Professionnelle

Luc EVELEIGH, Enseignant Chercheur, UMR GENIAL, département SPAB, AgroParisTech

Isabelle FEIX, Experte nationale « Sol », ADEME/DPED

Robert GARNIER, Médecin toxicologue, Centre antipoison et de toxicovigilance de Paris

Morgan GUILBAUD, Ingénieur de recherche, UFR QSMAP, département SPAB, AgroParisTech

Claire-Sophie HAUDIN, Maître de conférences, UFR Biophysicochimie des Sols et des Eaux, AgroParisTech

Stéphanie KHAYAT, Ingénieur ADEME, Management des collectivités et adaptation au changement climatique, ADEME

Théo MANESSE, Chargé de mission – Agriculture et Territoire, Région Ile-de-France

Françoise MAXIME, Chargée de partenariat et innovation, Agriculture et alimentation en ville, INRA

Lola NARDELLI, Chargée de mission - Agriculture et Territoire, Région Ile-de-France

François NOLD, Chef du Pôle Sol de la Division des Expertises Sol-Végétal, Ville de Paris

Laurence ROSAZ, Responsable du Service Urbanisme de la ville de Rungis.

Gwenaëlle ROSSIGNOL, Service Santé Environnement, ARS IDF, Délégation départementale de Seine-Saint-Denis

Jonathan SAULNIER, Adjoint du chef de service régional économie agricole, DRIA AF

Christophe SCHWARTZ, Professeur en pédologie urbaine, directeur du Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120 Université de Lorraine/INRA

Gaël THEVENOT, Inspectrice de santé publique vétérinaire, Unité Exécutive Alimentation Santé Environnement, Département SESG/AgroParisTech

Merci pour la mise en forme graphique du Guide R.E.F.U.G.E. :

Julie MASSON, Rosko'Com, Freelance à Roscoff – Finistère

Citation de ce rapport : AgroParisTech, INRA, 2019.

Caractérisation de la contamination des sols urbains destinés à la culture maraîchère et évaluation des risques sanitaires. 59 pages.

Ce guide a été élaboré grâce au soutien financier du programme REFUGE de :



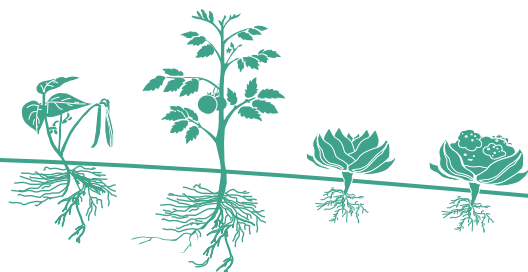
¹ REFUGE : Risques en Fermes Urbaines – Gestion et Evaluation, programme de recherche mené par AgroParisTech/INRA à l'initiative de ce guide.

TABLE DES MATIÈRES



Sigles et abréviations.....	3
Glossaire de la terminologie employée dans ce guide.....	4
Introduction.....	6
Cadre du guide.....	7
Étape 1 : Étude historique des usages et de l'environnement du site.....	8
1.1. Étude historique et documentaire.....	9
1.2. Étude de vulnérabilité des milieux.....	9
1.3. Visite de site et entretiens avec des acteurs ciblés.....	10
1.4. Restitution de l'étape 1 : Cartographie du terrain et élaboration du schéma conceptuel.....	11
1.4.1. Cartographie du terrain et des différentes zones à considérer.....	11
1.4.2. Élaboration du schéma conceptuel.....	12
Étape 2 : Investigations des sols et analyses.....	19
2.1. Nombre et répartition spatiale des sondages et types d'échantillons par zone.....	20
2.1.1. Nombre des sondages.....	20
2.1.2. Répartition spatiale des sondages.....	20
2.1.3. Type d'échantillons.....	21
2.2. Profondeur des échantillons.....	21
2.2.1. Zones sans suspicion de pollution ou avec suspicion homogène en surface.....	24
2.2.2. Zones avec suspicion de pollution de remblais.....	24
2.2.3. Zones avec suspicion de pollution localisée.....	24
2.2.4. Zones d'incertitude.....	24
2.3. Liste des éléments à analyser.....	26
2.3.1. Analyses chimiques.....	26
2.3.2. Analyses agronomiques.....	26
2.4. Prétraitement, conditionnement et transport des échantillons vers le laboratoire d'analyses.....	27
Étape 3 : Interprétation des résultats d'analyses.....	30
3.1. Pour les 9 Éléments Traces Métalliques (ETM).....	31
3.1.1. Valeurs de fonds.....	31
3.1.2. Cas particulier du plomb.....	31
3.1.3. Proposition de VASAU pour l'agriculture urbaine en Ile-de-France et interprétations.....	32
3.2. Pour les 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les Hydrocarbures Totaux fraction C10-C40 (HCT).....	33
3.2.1. Valeurs de fonds.....	33
3.2.2. Proposition de VASAU pour l'agriculture urbaine en Ile-de-France et interprétations.....	33
3.3. Pour les autres polluants recherchés (ETM ou organiques) dans les sols.....	34
Étape 4 : Évaluation des risques sanitaires et préconisations.....	37
4.1. Principes de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS).....	38
4.2. L'actualisation du schéma conceptuel.....	42
4.3. Concentrations en polluants dans les différents compartiments environnementaux (sol, air, légumes).....	43
4.3.1. Concentrations retenues dans les sols.....	43
4.3.2. Concentrations retenues dans les légumes.....	43
4.4. La caractérisation des scénarios d'usage et de leurs paramètres d'expositions associés.....	44
4.4.1. Durée d'exposition théorique (T) et période sur laquelle est moyennée l'exposition (Tm) ; paramètres fixés	45
4.4.2. Poids corporel (P).....	45
4.4.3. Nombre de jours d'exposition théorique annuel (Ef).....	45
4.4.4. Quantité journalière de sol ingérée (Qs).....	46
4.4.5. Quantité journalière de légumes ingérée (Qleg).....	46
4.4.6. Pourcentage de légumes provenant du site dans la quantité journalière ingérée (Aleg).....	47
4.5. Discussion des incertitudes.....	48
4.6. Introduction aux mesures de gestion.....	49
4.6.1. Signaler le cas de pollution.....	49
4.6.2. Les catégories de mesures de gestion.....	49
4.6.3. Mesures de conservation de la mémoire et de suivi de gestion.....	50
Conclusion.....	53
Schéma bilan.....	54
Références.....	55
Annexe.....	57

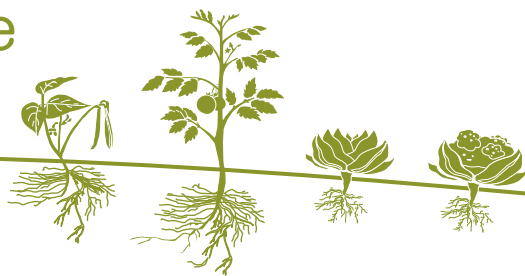
SIGLES ET ABRÉVIATIONS



- ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- AFSSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
- AIRPARIF** : Association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France
- ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- ARIA** : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
- ARS** : Agence Régionale de la Santé
- AU** : Agricultures Urbaines
- BAPPET** : Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères
- BAPPOP** : Base de données sur la contamination des Plantes Potagères par les molécules Organiques Polluantes
- BASIAS** : Base nationale des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
- BASOL** : Base de données sur les sites et SOLs pollués ou potentiellement pollués
- BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- CIRE** : Cellule d'Intervention en Région
- DJE** : Dose Journalière d'Exposition
- DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- EFSA** : European Food Safety Authority
- EQRS** : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
- ERI** : Excès de Risque Individuel
- ETM** : Eléments Traces Métalliques
- HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- HCSP** : Haut Conseil de Santé Publique
- HCT** : Hydrocarbures Totaux
- ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
- IEM** : Interprétation de l'Etat des Milieux
- IGN** : Institut national de l'information géographique et forestière français
- INERIS** : Institut national de l'environnement industriel et des risques
- InVS** : Institut de Veille Sanitaire
- MTES** : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
- PCB** : Polychlorobiphényles
- PO** : Polluant Organique
- SIS** : Secteurs d'Information sur les Sols
- US EPA** : United States Environmental Protection Agency
- QD** : Quotient de Danger
- VAS** : Valeurs d'Analyse de la Situation
- VASAU** : Valeurs d'analyse de la Situation d'Agriculture Urbaine
- VR** : Valeur de Référence
- VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

GLOSSAIRE

de la terminologie employée dans ce guide



Bioaccessibilité d'un polluant : Dans le cas de la voie d'exposition directe de l'homme par ingestion, la bioaccessibilité est la fraction du polluant extraite de la matrice (sol, poussières, nourriture etc.) par les fluides digestifs du corps humain dans le tractus gastro-intestinal.

Biodisponibilité d'un polluant : Dans le cas de la voie d'exposition directe de l'homme par ingestion, la biodisponibilité est la fraction du polluant présent dans une matrice qui atteint la circulation sanguine (circulation systémique).

Contamination : Présence de polluants potentiellement dangereux dans un sol, à des concentrations dépassant celles habituellement rencontrées dans des sols non impactés par les activités humaines (à ne pas confondre avec pollution).

Danger : Propriété intrinsèque d'un polluant pouvant entraîner un effet néfaste sur la santé (à ne pas confondre avec risque).

Dose Journalière d'Exposition (DJE) : Pour un polluant donné et une voie d'exposition donnée, dose journalière d'exposition audit polluant.

Échantillon de sol : Dans ce guide, désigne un prélèvement de terre à un endroit donné, prenant en compte une profondeur d'horizon donnée (à ne pas confondre avec sondage).

Échantillon composite : Echantillon constitué de plusieurs échantillons unitaires. Représentatif de la composition moyenne du sol d'une zone à une profondeur donnée.

Échantillon unitaire : Echantillon prélevé en un seul point, à une profondeur donnée. Il permet soit de caractériser une contamination en un point spécifique, soit de faire partie ensuite d'un échantillon composite.

Éléments Traces Métalliques (ETM) : Métaux ou métalloïdes naturellement présents dans les sols à l'état de trace pouvant être soit des oligo-éléments (comme le cuivre et le zinc), indispensables aux êtres vivants, soit des contaminants stricts (comme le plomb et le cadmium). Tous peuvent avoir un effet néfaste sur la santé, certains à partir d'une certaine dose, d'autres dès leur apparition dans l'organisme.

Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) : Démarche d'évaluation quantitative des risques pour la santé humaine liés à la présence de polluants dans différentes matrices environnementales (sol, air, eau, végétaux).

Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) : Démarche proposée par la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués pour vérifier que l'état actuel du site d'étude est compatible avec son usage constaté, en s'intéressant particulièrement aux risques sanitaires pour la santé humaine.

Horizon de sol : Couche de sol aux caractéristiques homogènes sur une épaisseur donnée.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) : Composés constitués d'hydrocarbures polycycliques et générés par la combustion de matières fossiles. Ils sont peu mobiles dans les sols.

Hydrocarbures Totaux (HCT) : Composés contenant seulement du carbone et de l'hydrogène, provenant généralement de carburants pétroliers. Leur mobilité et volatilité dans les sols dépendent de leur masse moléculaire (plus ils sont lourds, c'est-à-dire plus la chaîne carbonée est longue, moins ils sont mobiles et volatils). On parle souvent de HT C10-C40, ces derniers représentant le nombre de carbones constituant le composé.

Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) : « Toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains » (définition du ministère en charge de l'environnement).

Plan de Gestion : « le plan de gestion vise à étudier différents scénarios de gestion d'une pollution (action sur une source, action sur une voie de transfert, action sur des expositions). Il s'agit alors (1) de maîtriser les impacts de pollutions s'il n'est pas possible de supprimer les pollutions elles-mêmes, (2) de déterminer les mesures de gestion à réaliser en prenant en compte le bilan « coûts-avantages », (3) d'engager les travaux de réhabilitation nécessaires, (4) de réaliser une analyse des risques résiduels (ARR) lorsque des voies de transfert subsistent et ceci, pour savoir si les risques sont acceptables, sur le plan sanitaire, et en fonction des usages constatés ou futurs » [1].

PolyChloroBiphényles (PCB) : Composés organiques chlorés peu volatils retrouvés dans les isolants électriques, transformateurs et condensateurs. Ils sont aujourd'hui interdits à l'utilisation en France mais il n'est pas rare d'en rencontrer encore sur des friches industrielles notamment.

Pollution : Présence de polluants dans un sol, à des concentrations telles qu'il existe un risque pour la santé de l'homme et/ou de l'environnement.

Qualité du sol : « Capacité d'un certain type de sol à fonctionner, dans les limites d'un écosystème naturel ou anthropisé, pour favoriser la productivité des plantes, maintenir ou augmenter la qualité de l'air ou de l'eau, et améliorer la santé et l'habitat de l'homme » [2]. On peut caractériser la qualité d'un sol à partir de données concernant sa fertilité (données agronomiques, pH, matière organique, capacité d'échanges cationiques...) et son niveau de contamination.

Remblai : Terre ou matière organo-minérale apportée sur un sol (d'origine exogène), pouvant provenir d'origines variées (ex : remblai provenant de terrassement de zones d'aménagement, de zones industrielles, remblai de résidus de dragage d'un cours d'eau...).

Risque sanitaire : Le risque est défini par le règlement CE n°178/2002 comme « une fonction de la probabilité et de la gravité d'un effet néfaste sur la santé, du fait de la présence d'un danger ».

Scénario d'usage : Dans ce guide, désigne la définition d'un profil type d'une personne (cible) pouvant être rencontrée dans le cadre du projet d'agriculture urbaine, en fonction de son âge (adulte ou enfant), son poids, sa fréquentation du site, sa consommation de légumes et ses pratiques, qui déterminent les paramètres d'exposition associés à chaque scénario (ex : scénario agriculteur urbain, scénario jardinier enfant).

Schéma conceptuel : Concept défini par la Méthodologie nationale de gestion des Sites et Sols Pollués [3], comme « un bilan factuel de l'état du milieu ou du site étudié. Cet état des lieux [...] constitue les fondations sur lesquelles toute démarche de gestion doit reposer. Il doit permettre de véritablement appréhender l'état des pollutions des milieux et les modes de contamination potentiels au regard des activités et des usages qui existent sur le site étudié et dans son environnement.

Le schéma conceptuel doit permettre de préciser les relations entre :

- les sources de pollution et les pollutions concentrées
- les différents milieux de transfert et leurs caractéristiques, ce qui détermine l'étendue des pollutions
- les enjeux à protéger : les populations, les ressources naturelles, la biodiversité, les ouvrages du génie civil».

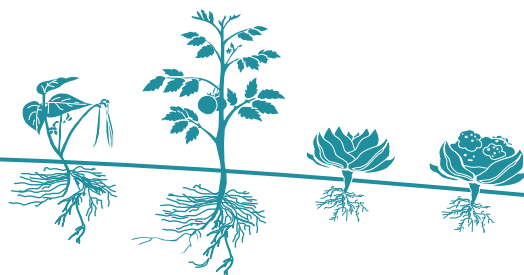
Site : Dans ce guide, désigne la délimitation du terrain d'étude global destiné à accueillir une activité d'agriculture urbaine (pouvant inclure des espaces bâtis, non-bâtis, des allées, des pelouses, des zones arborées...), au sein duquel on délimitera des zones.

Sondage : Dans ce guide, désigne un prélèvement de terre à un endroit donné (sans distinction des profondeurs d'horizons).

Valeur Toxicologique de Référence (VTR) : « Une valeur toxicologique de référence est un indice toxicologique qui permet, par comparaison avec l'exposition, de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine. Le mode d'élaboration des VTR dépend des données disponibles sur les mécanismes d'action toxicologique des substances et d'hypothèses communément admises : on distingue ainsi des « VTR sans seuil de dose » et des « VTR à seuil de dose » » (définition de l'ANSES).

Zone : Dans ce guide, désigne la délimitation d'une parcelle au sein du site où la qualité du sol est supposée homogène suite aux investigations de l'étape 1. Un site peut être divisé en plusieurs zones.

INTRODUCTION



Les projets d'Agricultures Urbaines² (AU), et plus précisément de cultures maraîchères en ville, se développent partout en France, et notamment en Ile-de-France, sous différentes formes et sur différents supports (en « pleine terre », dans des bacs de cultures, sur des toits...). De plus en plus d'acteurs de l'aménagement urbain (collectivités, bailleurs, aménageurs, propriétaires fonciers...) souhaitent développer des projets sur des sites disponibles, dans des milieux plus ou moins denses, dans les interstices de la ville. Ces derniers constituent souvent des espaces délaissés, des friches, qui pourraient être revalorisés et dynamisés par cette activité.

Pourtant, les projets font face à un problème d'ampleur conséquente en ville : la présence de polluants chimiques dans différents milieux, comme l'air, mais également les sols (ex : éléments traces métalliques, hydrocarbures, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Ces derniers proviennent généralement de l'activité humaine, actuelle et passée, localisée sur le site considéré ou dans ses alentours (circulation automobile, activité industrielle ou de service, chauffage des habitations, utilisation de remblais...) [4]. Ces polluants peuvent parfois se retrouver dans des teneurs anormalement élevées, on parle alors de contamination des sols. Dans certains cas, la contamination peut poser des problèmes pour la santé humaine et/ou pour l'environnement. On parle alors de pollution.

C'est pourquoi se pose la question de la contamination des sols en amont de l'installation d'un projet d'AU. Quels sont les polluants retrouvés dans les sols et en quelle quantité ? Quels sont les risques pour la santé humaine ? Est-il possible d'installer un projet de cultures maraîchères sur un terrain considéré, et si oui sous quelles conditions ?

L'enjeu abordé dans ce guide est celui des risques pour la santé humaine liés à la potentielle exposition aux sols (ingestion non intentionnelle, inhalation, contact cutané) et liés à l'ingestion des végétaux potentiellement cultivés sur ces derniers.

Cet ouvrage s'adresse donc aux collectivités et aménageurs urbains souhaitant installer un projet de maraîchage urbain *a priori* en « pleine terre » et a pour objectif de :

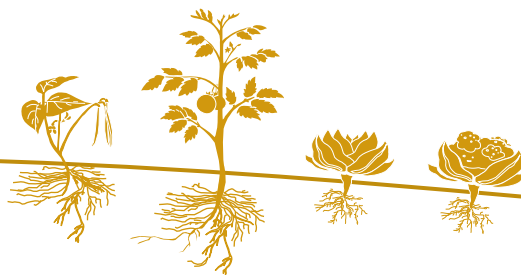
- Donner des clés pour mieux comprendre et concevoir la démarche à adopter pour caractériser la contamination des sols et pour évaluer les risques associés aux usages prévus.
- Présenter et justifier les degrés d'expertise sollicités à chaque étape et selon les cas, présenter les opérateurs existants pour accompagner et mener à bien la démarche.
- Introduire la notion de mesures de gestion permettant dans certains cas de rendre compatible le projet de maraîchage urbain avec les problématiques de contamination des sols ou bien le changement d'usage nécessaire du site.

On s'inspire ici de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués [3][5], visant en premier lieu la gestion des situations liées à des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Pourtant, hors du contexte ICPE et pour celui des AU, la réglementation est encore peu armée.

Ce guide s'inspire également du Guide « Présomption de pollution d'un sol » [1] qui présente les clés de compréhension et d'action face au soupçon de pollution d'un sol, dans le contexte d'aménagements d'espaces verts extérieurs, sans pour autant se focaliser sur l'activité d'agriculture urbaine.

Ce guide est structuré en quatre parties ou quatre étapes à suivre de manière chronologique, bien que chacune puisse être itérative : la première étape est celle de l'étude historique des usages et de l'environnement du site d'étude. L'étape 2 traite des investigations et analyses de sol. En troisième partie, il s'agit de proposer une démarche d'interprétation des résultats d'analyses, propre au contexte de l'agriculture urbaine. Enfin, l'étape 4 présente la démarche d'évaluation des risques sanitaires, à appliquer lorsque cela est nécessaire.

² « Une production située dans (intra-urbaine) ou à la frange (péri-urbaine) d'une ville, cité ou métropole qui produit, élève, transforme et distribue une diversité de produits alimentaires ou non, (ré)utilisant largement les ressources humaines et matérielles, produits et services trouvés dans et autour de la zone urbaine et fournissant des ressources humaines et matérielles, produits et services majoritairement à cette zone urbaine » (Mougeot, Luc J.A., 2000).



Le présent guide a été conçu pour **répondre aux sollicitations croissantes** de la part des collectivités et aménageurs de la ville souhaitant installer des projets de cultures maraîchères sur leurs sites disponibles, et se posant la question de la contamination des sols, ensuite mis à disposition d'usagers.

Ce guide a été construit **grâce aux retours d'expériences d'Exp'AU**, bureau d'Expertise en Agricultures Urbaines d'AgroParisTech et représente un des livrables du **programme de recherche participative REFUGE³** : Risques en Fermes Urbaines – Gestion et Evaluation, d'où le rappel dans le titre-même du présent document.

Certains éléments structurants de la démarche (cf. étape 3, proposition de valeurs d'analyse de la situation spécifiques à l'AU) sont spécifiques au contexte environnemental de **l'Île-de-France**. C'est pourquoi, l'outil est construit à l'échelle du territoire francilien. Des adaptations aux autres régions de France peuvent être cependant réalisées à condition de bien suivre et d'appliquer les recommandations nationales faites à ce sujet.

L'enjeu est de proposer un outil de compréhension et d'action aux collectivités et aménageurs urbains, permettant de caractériser la contamination des sols d'un site, **en amont d'un projet maraîcher**, et d'évaluer les risques sanitaires projetés, liés à la contamination des sols, lorsque cette dernière est avérée. Pour autant, ce guide peut donner des éléments méthodologiques facilitant la caractérisation des sols de sites d'AU déjà installés.

On traitera des sites urbains présentant des **sols « en pleine terre »** (hors surfaces enrobées ou toitures avec substrat de cultures apporté) situés en plein air (hors bâtiments) qui, de par leur simple localisation urbaine et la proximité d'activités actuelles ou passées, sont susceptibles d'être contaminés.

On ne considèrera pas **les sites relevant de la réglementation sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement** (ICPE, à savoir toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques, notamment pour la sécurité et la santé des riverains). Pour ces derniers, il s'agira de s'appuyer directement sur la réglementation ICPE et sur le guide dédié de gestion des sites et sols pollués, élaboré par le ministère en charge de l'environnement [5].

La démarche proposée (et notamment les préconisations de l'étape 2) **est inadaptée à la présence de polluants volatils** (ou polluants particuliers de type radioactivité ou amiante). En effet, ces derniers demandent une attention particulière et un protocole spécifique, notamment lors de la phase d'échantillonnage. Lorsque la présence de ces derniers est soupçonnée, il s'agira une nouvelle fois de s'appuyer directement sur les outils proposés dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués.

Les types d'agricultures urbaines pris en considération sont les cultures maraîchères au sens large (légumes fruits, légumes racines, légumes feuilles, aromates, petits fruits, fruits...), on ne traitera donc **pas des risques sanitaires liés à l'installation d'élevages en milieu urbain**, dont les produits animaux sont parfois destinés à être consommés. Cette dernière, en forte croissance actuellement, nécessite une considération toute aussi importante, et fait l'objet de réflexions et de recherches hors du cadre de la présente restitution.

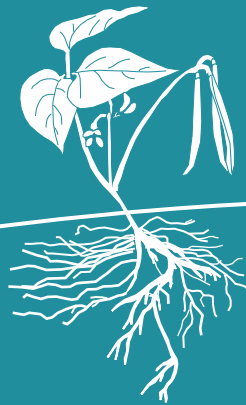
On traitera des risques sanitaires liés à l'exposition des personnes aux polluants via l'ingestion de sol et de légumes destinés à être cultivés. Les milieux **air** et **eau**, également sources potentielles de pollution sur un terrain, directes (par ingestion, inhalation) ou indirectes (via la consommation de légumes contaminés), sont abordés en étape 1 (cf. étape 1 figure 4), mais ne sont pas détaillés ensuite car ne faisant pas l'objet de ce guide, qui traite de la problématique des sols contaminés en agriculture urbaine. Pour autant, il s'agit de les considérer au même titre que les sols ainsi que de maîtriser les risques associés lorsque des suspicions sont révélées.

Ce guide introduit la diversité de cas de figures que l'on peut rencontrer lorsque l'on souhaite installer un projet. En effet, en fonction des sites et de leur contexte, des degrés variables de pollutions diverses peuvent être soupçonnés et/ou détectés. De plus, les différentes étapes de la démarche sollicitent des connaissances, spécifiques à chacune. C'est pourquoi cette démarche demande une **expertise variable, bien que généralement élevée, selon les situations rencontrées ainsi que selon l'étape concernée**. Dans certains cas et pour certaines étapes, le commanditaire pourra appliquer la démarche en autonomie, à condition d'être préalablement formé. Sinon, et pour les étapes demandant une expertise ciblée, le recours à un prestataire spécialisé sera préconisé.

³ <http://www.programme-repere.fr/repere2015/projets-ami/refuge/>

Étape 1

Étude historique des usages et de l'environnement du site



La première étape de la démarche, avant d'analyser la qualité des sols proprement dite, est l'étude de l'historique du site et de ses caractéristiques environnementales, afin d'identifier les potentielles pollutions ayant pu impacter les sols et leur provenance, ainsi que de déceler d'autres problématiques environnementales à considérer (découverte de risques de pollution de la nappe phréatique par exemple).

Cette étape passe par une étude historique et documentaire, une étude de vulnérabilité des milieux, une à plusieurs visites de site et des entretiens d'acteurs ciblés, le tout aboutissant à l'établissement de la cartographie des différentes zones du site ainsi que du schéma conceptuel préliminaire.



1.1 Étude historique et documentaire

L'objectif de l'étude historique et documentaire est de retracer l'histoire de l'usage du site et de ses alentours, en remontant le plus loin possible dans le passé. Cela permet de recenser et de localiser les usages et les activités pouvant (ou ayant pu) contaminer le sol du terrain. En effet, certaines pollutions persistent dans le temps et sont mémorisées par les sols.

Pour mener à bien cette étude, il s'agit principalement de rechercher l'information dans des archives et des bases de données spécialisées.

Différentes sources d'information sont mobilisables et mises à disposition (liste non exhaustive) :

- Des **bases de données recensant des activités ou accidents ayant pu contaminer les sols** à l'échelle nationale telles que BASIAS (Base nationale des Anciens Sites Industriels et Activités de Service - inventaire historique des sites industriels et activités de services), BASOL (BAse de données sur les sites et SOLs pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif), ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents - répertoriant les incidents ou accidents qui ont, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement), les SIS (Secteurs d'Informations sur les Sols - recensant les terrains où la pollution avérée du sol justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'étude de sol et sa prise en compte dans les projets d'aménagement) et la base de données des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement).
- Des **données photographiques aériennes ou cartographiques** (ex: site «Remonter le temps» de l'Institut national de l'information géographique et forestière français (IGN), sites de recensement des parcelles cadastrales) permettant d'observer visuellement l'évolution des usages du site à travers le temps. Notons que les plans cadastraux peuvent apporter notamment des informations très utiles en termes de changement d'usage dans le temps, en fonction de la succession des propriétaires par exemple.
- Des **documents d'archives régionales ou locales** (DREAL – Direction Régionale de

l'Environnement, de l'Aménagement et du logement, chambres de commerce, bureau de l'environnement de la préfecture, archives départementales ou municipales, documents d'urbanisme, documents propres au site, service des hypothèques...).

- Des documents ou témoignages oraux recueillis grâce aux usagers ou autres acteurs en relation avec le site (à confronter avec des données documentaires pour vérifier l'exactitude des informations).

La phase documentaire, complétée par la collecte d'informations lors de la visite et des entretiens, permet de cibler les familles de composés polluants d'intérêt, en lien avec les activités recensées, qu'il s'agira de rechercher lors de la phase d'analyse des sols (étape 2). Elle permet également d'établir un premier zonage en fonction de la répartition des activités sur le site.

1.2. Étude de vulnérabilité des milieux

L'objectif de cette étape est d'étudier la nature des formations géologiques rencontrées dans les sols, leur stratification en profondeur, et leurs compositions. En effet, certaines peuvent être par exemple naturellement riches en Éléments Traces Métalliques (ETM) (anomalies naturelles).

L'objectif est également de caractériser les différents milieux naturels pouvant impacter ou apporter de l'information sur la qualité des sols (connaître par exemple l'orientation des vents peut informer de l'orientation des dépôts potentiels de polluants depuis une source donnée – autoroute, usine...).

Cette étape peut en outre permettre de faire émerger un doute sur la pollution d'une autre matrice environnementale (eau superficielle ou souterraine, air, gaz du sol, végétation existante) et les risques de migration d'éventuelles pollutions vers l'homme, mais également vers l'environnement.

Pour mener à bien cette étape, il s'agit de caractériser le contexte géologique, hydrogéologique, hydrologique, climatique, topographique et d'évaluer la présence de potentiels risques naturels ou de zones protégées.



Différentes sources d'informations sont mobilisables (liste non-exhaustive) :

- **Infoterre**, portail d'accès aux données du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), pour avoir accès aux **cartes géologiques**, banque du sous-sol, et autres données thématiques.
- Site de **Météo-France**, **PREVAIR** (plateforme nationale de prévision de la qualité de l'air), Windfinder, données issues des **stations météorologiques** les plus proches (ex. en Ile-de-France : données issues des stations **AIRPARIF**, association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France) pour obtenir des **données météorologiques** concernant le site (certains services étant payants).
- **Géoportail**, portail national de la connaissance du territoire mis en œuvre par l'IGN, pour avoir des informations sur **la topographie**, **le contexte géologique** et sur les espaces protégés.
- **Géorisques**, portail pour mieux connaître les **risques naturels et technologiques majeurs, dont les SIS**, du territoire et plus particulièrement ceux pouvant impacter le site d'étude.
- Cartographies des périmètres de protection des **zones de captage de production d'eau potable** (Agence Régionale de la Santé - ARS).

1.3. Visite de site et entretiens avec des acteurs ciblés

L'objectif de la visite de **site** est de collecter un maximum d'informations empiriques sur le terrain et son environnement, telles que :

- La description de **l'usage actuel** du site (en activité ou non, quel(s) usage(s), à quel endroit)
- La description de **l'occupation du sol**, en distinguant différents secteurs au sein du site (bâti, non-bâti, sol nu, surfaces imperméabilisées, enherbées, arborées, planes, vallonnées...)
- La description de **l'état de la surface du sol pour chaque secteur non-imperméabilisé** (description des espèces végétales, de sources d'irrigation, caractéristiques agronomiques de

surface du sol – couleur, texture, pierrosité etc., repérage de secteurs représentant des indices de contamination ou de **remblais**, présence d'ouvrages souterrains ou de surface comme des cuves, des puits, des tuyaux d'évacuation, de zones d'entreposage de déchets, présence d'indices organoleptiques de pollution⁴)

- La description de **l'environnement proche** du site et de ses activités (potentiellement polluantes).

Cette visite permet de distinguer dans certains cas différentes **zones** au sein d'un même site, chacune associée à une situation différente qui peut orienter le programme d'échantillonnage des sols.

Des observations empiriques du sol peuvent par exemple permettre de distinguer deux zones où la végétation pousse différemment. Elles méritent donc d'être considérées distinctement lors de la campagne d'échantillonnage, afin d'approfondir leurs spécificités.

Pour s'assurer de la pertinence des observations et pour compléter les informations recueillies, un ou **plusieurs entretiens** sur site avec les propriétaires, les responsables des locaux, les travailleurs ou encore les personnes vivant aux alentours peuvent fournir des informations précieuses et complémentaires sur l'usage actuel mais aussi passé du site et de son sol (à confronter avec des données documentaires pour vérifier l'exactitude des informations - cf.1.1).

Enfin, la visite de site est aussi utile pour compléter de manière itérative la recherche documentaire historique et environnementale (ex : suite à la découverte lors de la visite d'un tas de déchets, poser la question de leur origine, proviennent-ils d'une activité de service artisanale passée, si oui laquelle ?), ou encore pour vérifier voire compléter certaines informations documentaires par des observations de terrain (ex : un document historique témoigne du dépôt de terres de remblais sur une zone, est-il observable et bien délimité sur le terrain ?).

REMARQUE

Si des suspicions fortes de pollution sont révélées en amont de la première visite de site, notamment lors de l'étude documentaire, il s'agira de prendre les précautions de sécurité adéquates avant de se déplacer voire de manipuler le sol sur le terrain.

⁴ En cas d'odeur, la consigne est la prudence, et de s'écartier de la zone ou de s'équiper d'un masque à cartouche (vapeurs).



1.4. Restitution de l'étape 1 : Cartographie du terrain et élaboration du schéma conceptuel

1.4.1. Cartographie du terrain et des différentes zones à considérer

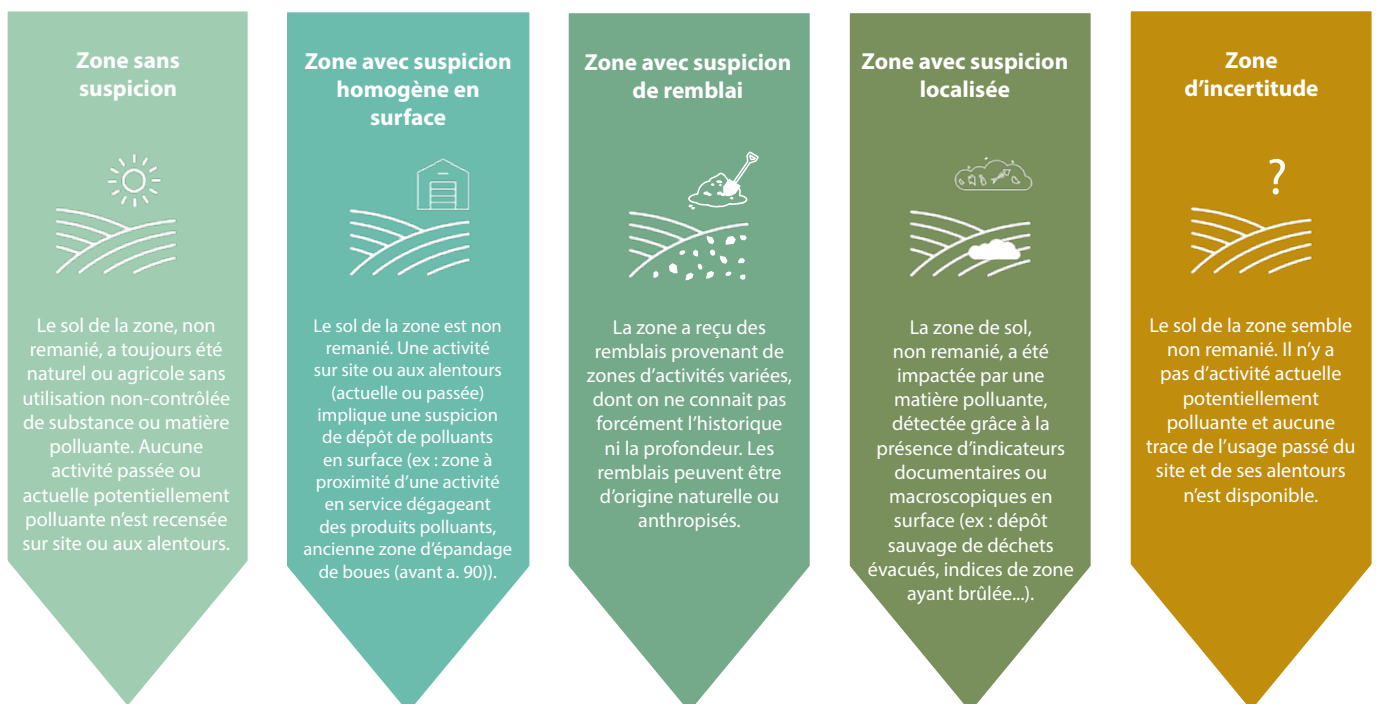
Toutes les informations collectées lors de l'étape 1 permettent d'établir une cartographie documentée du terrain, en distinguant si besoin différentes zones.

Rappel de critères permettant de distinguer deux zones :

- Type de végétation en présence.
- Nature du sol en surface (couleur, composition, épaisseur...).
- Historique d'usage du sol (usage agricole, artisanal, résidentiel, friche...).
- Type de pollution soupçonné.

Par retour d'expérience, sont présentées en figure 1 cinq types de zones fréquemment rencontrés en contexte urbain (hors ICPE) et se distinguant de par les suspicions de pollution qui leur sont associées.

Figure 1 : Exemples de zones potentiellement rencontrées sur un site destiné à de l'agriculture urbaine



Un sol est considéré comme **non remanié** lorsqu'il est issu d'une formation naturelle et que ses horizons pédologiques n'ont pas été modifiés.

Un sol est considéré comme constitué de **remblais** lorsqu'il est composé d'un volume de matériaux, d'origine anthropique ou non, mis en place par apport ou dépôt. Les remblais peuvent être d'**origine naturelle**, c'est-à-dire des « matériaux d'origine pédologique ou géologique déplacés et utilisés dans le but de combler ou de rehausser une zone (ex : sables de Loire sur l'île de Nantes). Ils ne contiennent pas de débris anthropiques » [6].



Les remblais peuvent également être **anthropisés**, contenant « des matériaux allochtones issus des activités humaines (boues de dragage, scories, débris de construction, charbon, verre, mâchefer, etc.) ou qui résultent d'activités historiques : chantiers de construction, aménagements, guerres, mines, fonderies, décharges, etc... Il faut noter que les remblais anthropiques, parfois situés en profondeur, peuvent présenter des concentrations plus importantes que les matériaux de surface (Pereira et al., 2013) » [6].

Sur le terrain, on peut rencontrer des sites avec une zone unique, ou plusieurs zones adjacentes, et parfois même une juxtaposition de zones (ex : une zone de remblai avec également suspicion de dépôt en surface venant d'une route adjacente) ou encore des cas particuliers.

Points de vigilance à ce stade de la démarche :

- Si une **source de pollution**, ou une concentration de pollution non maîtrisée (susceptible de se répandre) est détectée sur le site (ex : cuve de fioul enterrée, tache d'huile à forte odeur et concentrée sur une zone, tas d'ordures) il s'agira alors de la traiter de manière spécifique (hors cadre de ce guide, voir la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués).
- De même, si une **suspicion de présence de pollutions volatiles** est mise en évidence lors de l'étape 1, la démarche proposée dans ce guide n'est pas adaptée, notamment en ce qui concerne la stratégie d'échantillonnage développée en étape 2 (voir la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués).

1.4.2. Élaboration du schéma conceptuel

À la fin de l'étape 1, il convient d'établir un premier schéma conceptuel de l'état actuel du site (cf. figure 2), constituant un bilan de l'état des milieux, en vue d'appréhender les relations entre les sources de pollution, les voies de transfert et les enjeux à protéger. Ce dernier est une base pour établir la stratégie d'échantillonnage en étape 2.

Le schéma conceptuel précise les éléments suivants (cf. figure 2) :

- **Les sources de pollution** (dans notre contexte : situées hors du site d'étude, dans ses alentours, lorsqu'elles existent encore).
- **Les milieux d'exposition ou de transfert** (sol, eau, air, plante).
- **Les voies de transfert entre milieux** (des retombées atmosphériques sur le sol, de l'eau de la nappe vers les légumes etc.).
- **Les voies d'exposition** (ingestion de sol ou de légumes, inhalation d'air, de gaz du sol, ou de poussières, contact cutané).
- **Les enjeux à protéger** (adultes et/ou enfants).

La figure 2 présente un exemple de schéma conceptuel associé à l'état dit « actuel » d'un site composé de deux zones. A ce stade, les zones 1 et 2 affichent un même usage d'espace de promenade, on se positionne bien en amont d'un projet d'agriculture urbaine.

Les sources de pollution se situent à proximité du site (route, activité artisanale) ou bien ne sont plus présentes au temps T mais ont impacté directement le site dans le passé (ancienne zone de dépôts de déchets, remblais diffus).

Les milieux d'exposition et/ou de transfert sont : le sol de remblai, l'eau de la nappe et l'air.

Les voies de transfert entre milieux sont de l'air vers le sol, de l'eau vers le sol et du sol vers l'eau.

Les voies d'exposition pour les usagers à ce stade (également appelés enjeux à protéger – adultes et/ou enfants) sont : l'ingestion non intentionnelle de sol et l'ingestion d'eau.

La figure 3 présente cette fois le schéma conceptuel associé au même site mais avec sur la zone 1 un usage projeté d'agriculture urbaine. La zone 2 pour sa part ne change pas d'usage.

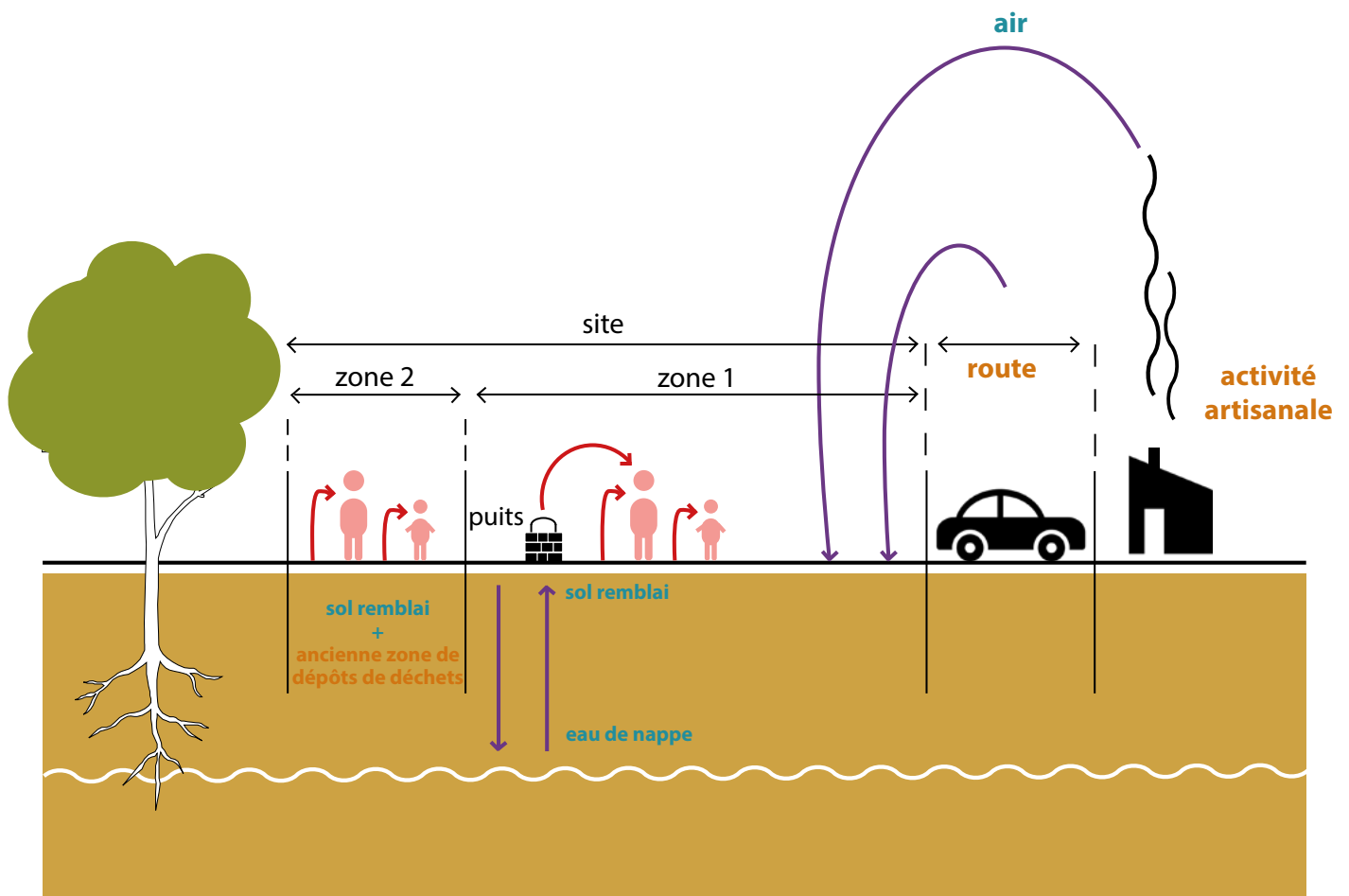
Les sources de pollution et milieux d'exposition et/ou de transfert restent inchangées.

Les voies de transfert entre milieux sont de l'air vers le sol, de l'air vers les légumes, de l'eau vers le sol, du sol vers l'eau, de l'eau vers les légumes et enfin du sol vers les légumes.

Les voies d'exposition pour les usagers considérées sont : l'ingestion non intentionnelle de sol et l'ingestion de légumes, en prenant l'hypothèse que l'eau du puits est destinée uniquement à l'irrigation des légumes et non pas à la consommation.



Figure 2 : Schéma conceptuel de l'état actuel d'un site (avant la projection d'un usage AU)



- source de pollution
- milieu d'exposition / de transfert
- voie de transfert entre milieux
- voie d'exposition
- enjeu à protéger

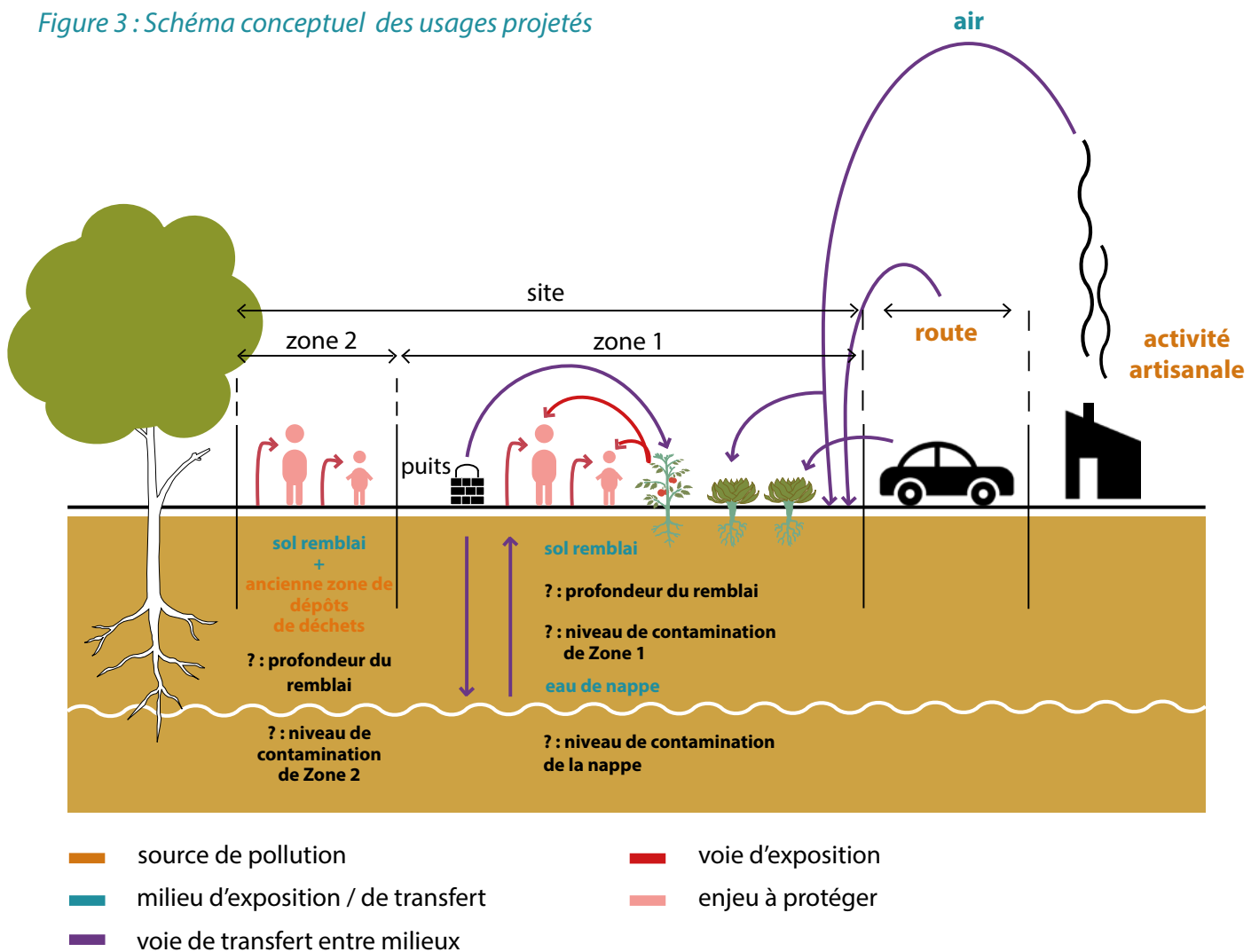
REMARQUES

Notons que la voie d'exposition des populations à l'air n'est pas considérée ici car n'étant pas spécifique à l'activité d'agriculture urbaine (l'air respiré étant le même que pour un autre type d'activité réalisée sur le site).

On peut y associer une ébauche du **schéma conceptuel des usages projetés** (cf. figure 3), qui lui, est spécifique à la démarche présentée dans ce guide et a vocation à se préciser au fur et à mesure de l'acquisition de connaissances suivant les étapes, d'où la présence de nombreux points d'interrogation en début de démarche.



Figure 3 : Schéma conceptuel des usages projetés



REMARQUE

Notons que la voie d'exposition des populations à l'eau n'est plus considérée. En effet, les risques liés à l'exposition à l'eau ne sont pas directement abordés dans ce guide, mais seront évoqués en fin d'étape 1.

Les polluants sont susceptibles de migrer et/ou de s'accumuler dans les différents milieux. Ces processus dépendent des propriétés des polluants et des caractéristiques des milieux. Ensuite, les populations considérées sont exposées à ces différents milieux.

Exposition au milieu sol

Les polluants peuvent s'accumuler dans le sol par dépôts atmosphériques (ex : dépôt de polluants depuis la route, depuis l'activité artisanale à proximité) et/ou par dépôt d'objets ou de substances en surface et/ou encore par apport de remblais. L'homme (adulte ou enfant) est exposé au sol et aux poussières de sol contaminées, et est susceptible d'en ingérer, le plus souvent de manière non-intentionnelle.

Dans ce guide, on ne considère pas les risques liés à la voie d'inhalation car les sites d'études ne présentent pas *a priori* de suspicions de polluants volatils (cf. cadre du guide). De plus, les risques liés à l'inhalation de poussière pour les polluants non-volatils sont négligeables par rapport à ceux d'ingestion. Enfin, la voie cutanée n'est pas prise en compte, conformément à l'état de l'art actuel français.



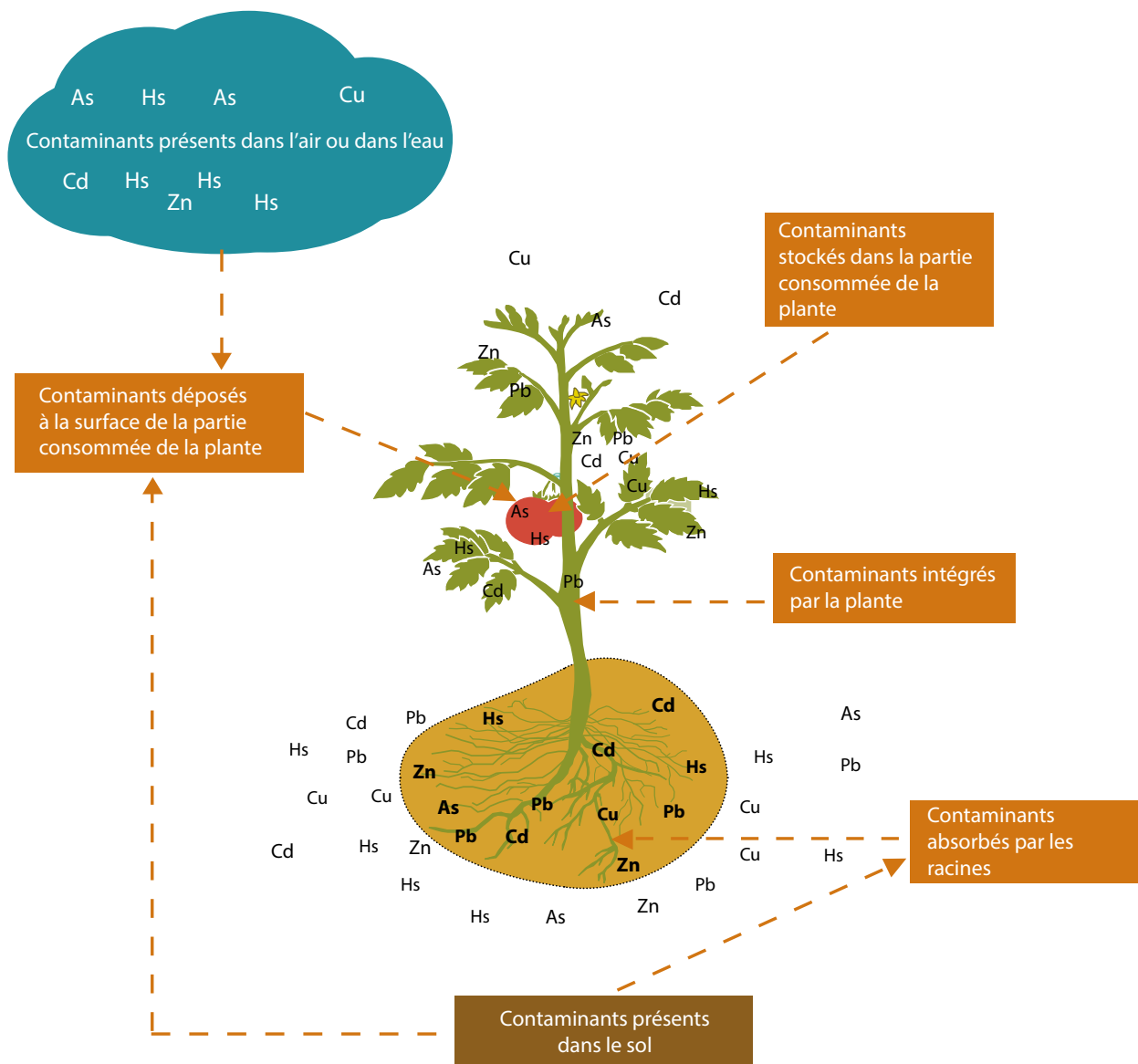
Exposition au milieu « légumes »

Lorsque l'on considère les usages projetés, les polluants peuvent également s'accumuler dans les plantes cultivées et ce via (cf. figure 4 – cas particulier des ETM) :

- le transfert du sol vers la plante via le **système racinaire**
- le **dépôt atmosphérique** ou le **ré-envol et dépôt de poussières**
- l'**absorption foliaire** des particules ayant pénétré les tissus de la plante ou de substances gazeuses.

Les polluants des légumes peuvent ensuite être ingérés par l'homme.

Figure 4 : Le transfert des contaminants vers la partie consommée de la plante - cas particulier des ETM



Cd = cadmium - Hg = mercure - Pb = plomb - Zn = zinc - Cu = cuivre - As = arsenic



Exposition au milieu eau

Lorsque l'intégralité de l'eau prévue pour l'usage d'agriculture urbaine provient du réseau d'eau potable, il n'y a pas de mesure particulière à mener, autres que celles réglementant l'usage de l'eau potable.

Par contre, dans certains cas, l'usage de l'eau de nappe (superficielle ou profonde) par forage ou puits ou bien de l'eau de récupération (d'eau de pluie par exemple) peut être envisagé.

Alors, il s'agira de contrôler au préalable sa qualité. La démarche à appliquer pour réaliser des analyses d'eau n'est pas abordée dans ce guide, focalisé sur la qualité des sols.

Pour autant, si l'eau est destinée à de la consommation humaine, il faudra qu'elle respecte la réglementation concernant l'eau potable.

Si l'eau est destinée à de l'irrigation, il faudra qu'elle respecte *a minima* les normes de qualité de l'eau d'irrigation.

Si des éléments provenant de l'étude historique et documentaire ainsi que de vulnérabilité des milieux révèlent des indices de pollutions particulières impactant la qualité de l'eau, il faudra ajouter ces polluants aux analyses de contrôle de la qualité.

À ce stade, il est possible d'argumenter la suspicion de pollution des sols mais il existe des cas où les informations collectées sont insuffisantes. Dans tous les cas, il est conseillé d'aller vers l'étape 2, étape de caractérisation des sols.

En effet, même pour les zones sans suspicion, le fait de se trouver dans un contexte urbain ainsi que l'enjeu de vouloir mettre en place un usage sensible tel que la culture de légumes suffit pour solliciter une attention particulière et des investigations en termes de contamination des sols.

REMARQUES

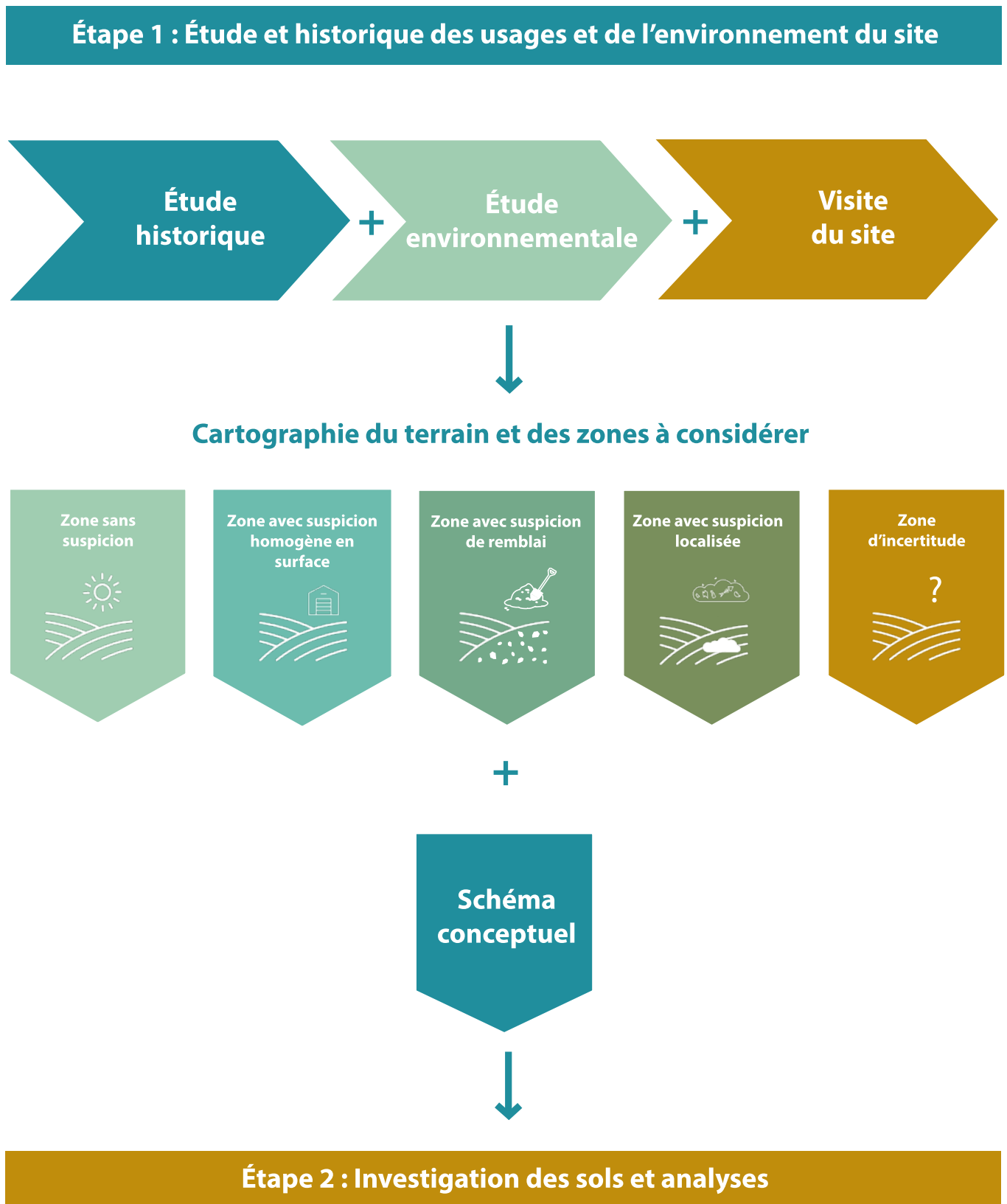
L'eau destinée à la consommation humaine est contrôlée dans le cadre du suivi sanitaire réalisé régulièrement par l'Agence Régionale de Santé (ARS).

Si de l'eau non potable est utilisée, notamment pour l'irrigation, alors il faudra s'assurer que le public n'ait pas accès à cette eau pour la consommation. Le caractère d'eau non potable doit alors être clairement signalé par des pictogrammes et plaques de signalisation explicites comportant la mention « eau non potable » (cf. arrêté du 12 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments).





Figure 5 : Récapitulatif de l'étape 1 : Etude historique et de l'environnement du site





RÉCAPITULATIF

Assistance et suivi de la démarche



Qui solliciter ?

L'étape 1 de la démarche peut être réalisée par un prestataire privé (bureaux d'études spécialisés – cf. [Annexe](#)) ou être prise en charge par certains commanditaires (collectivités, aménageurs...) expérimentés, à condition d'être formés.



Points de vigilance

Les recherches documentaires sont des données parfois difficilement accessibles ou incomplètes et le risque d'être non exhaustif est non négligeable. Pour autant, l'absence d'informations ne garantit pas l'absence de pollution (cf. zone d'incertitude).

Si le site a accueilli une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et/ou qu'une source de pollution est identifiée, il convient d'appliquer la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués et d'avertir les services de l'Etat.

Si l'on suspecte la présence de pollutions volatiles, l'étape suivante du guide n'est alors pas adaptée (se référer à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués).



Pour aller plus loin

- La [méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués](#) élaborée par le ministère en charge de l'environnement (avril 2017, en cours d'actualisation).
- Le guide « [Diagnostics du site](#) » détaillant notamment la démarche d'étude documentaire, élaborée par le ministère en charge de l'environnement (2007, en cours d'actualisation).
- Le guide « [Visite de site](#) » produit par le ministère en charge de l'environnement (2007, en cours d'actualisation).
- Le guide « [Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement](#) » élaborée par le ministère en charge de l'environnement (2007, en cours d'actualisation).
- [Base de données ActiviPoll](#), base de données mise à disposition par le BRGM corrélant activités industrielles et famille de composés associés.
- [La nomenclature des installations classées](#) – version octobre 2018.

Étape 2

Investigations des sols et analyses



La deuxième étape de la démarche est l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage et d'analyse des sols destinés à un usage d'agriculture urbaine afin de quantifier la présence ou l'absence de polluants.

La stratégie, dont les grandes lignes sont présentées ici, est à adapter au contexte spécifique de chaque site. Elle 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 projetés, soit le projet d'agriculture urbaine.

Ce guide propose des critères déterminant la stratégie d'échantillonnage des sols pour les cinq zones types définies en étape 1.

Cette étape se veut itérative. Dans certains cas, il sera nécessaire d'**approfondir les données** après une première campagne d'analyses sur une zone impactée par la pollution, ce qui pourra nécessiter de reprendre les données collectées en étape 1 et de **réitérer** les campagnes d'échantillonnage et/ou d'analyse.



La stratégie d'échantillonnage dépend du contexte de la zone étudiée, de sa configuration et de ses usages passés, actuels et projetés. C'est pourquoi, **chaque stratégie est unique et zone-spécifique**.

Elle se définit **en amont de la campagne de prélèvements**, en prenant en compte toutes les données collectées en étape 1 et en lien étroit avec le laboratoire qui réalisera ensuite les analyses chimiques, afin d'intégrer ses préconisations en termes de prélèvements (modalités de prélèvement et quantités nécessaires notamment, conditionnement et transport).

Il est également important de prendre en compte des préconisations concernant l'utilisation d'outils de prélèvements adéquats, composés de matériaux inertes et propres ainsi que de respecter les critères de conditionnement préconisés par le laboratoire d'analyses.

Les principaux critères déterminant la stratégie d'échantillonnage des sols sont les suivants :

- **La densité des sondages** (nombre et répartition spatiale)
- Le **type d'échantillons** (unitaire, composite)
- La/les **profondeur(s)** de prélèvements
- Les **substances** (polluants) à analyser par échantillon.

2.1. Nombre et répartition spatiale des sondages et types d'échantillons par zone

2.1.1. Nombre des sondages

Le choix du nombre de **sondages** à mener et **d'échantillons** doit être « raisonné » en fonction **du type de zone** (zone de remblai, zone sans suspicion particulière...), **de sa superficie**, du **niveau de connaissances** déjà acquises sur l'existence plus ou moins localisée de pollutions, et des **moyens financiers**.

2.1.2. Répartition spatiale des sondages

En l'absence d'informations environnementales et historiques suffisantes, un maillage et un échantillonnage systématique des sols peut être proposé sur la base d'un échantillon tous les 400 à 500 m² [7].

REMARQUES

Le bon déroulement des campagnes d'échantillonnage est associé à la mise en place en amont de mesures de sécurité des intervenants (la mise en œuvre d'équipements collectifs de protection et le port des équipements de protection individuelle sont nécessaires, et notamment de gants tout au long du processus ainsi que le maintien d'un environnement le plus propre et protégé possible).

Il s'agira également de vérifier l'absence de canalisations et de réseaux enterrés auprès du propriétaire de terrain avant de creuser sur la parcelle à investiguer. En effet, à proximité de canalisations et réseaux enterrés, il est obligatoire de réaliser une demande de travaux (DT) et une déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) en amont de l'intervention de terrain, notamment lorsque les prélèvements de sol dépassent 40 cm de profondeur.

Enfin, tout prélèvement sera accompagné d'une **fiche terrain** où seront notés : l'objectif de l'analyse, le nom du préleveur, la date, l'heure du prélèvement, les conditions climatiques, le nom du site, son adresse et la surface de la zone considérée. On y ajoutera des indications sur l'occupation actuelle du sol, le type de végétation rencontré, la densité, le type, la profondeur des échantillons et les substances à analyser, ainsi que leur localisation précise. Enfin, on indiquera le matériel utilisé et les horizons rencontrés, ainsi que tout autre élément permettant de garder en mémoire la démarche adoptée et de pouvoir la répliquer ultérieurement si cela est nécessaire. Il est préconisé d'ajouter des photos à cette fiche terrain, notamment de la zone de prélèvement et des profils de sol.



Lorsque l'on est assuré d'être en zone sans suspicion particulière, le maillage peut être moins resserré. Pour autant, si la parcelle en zone sans suspicion est plus grande que 1 000 m², il est préconisé de réaliser au minimum 3 échantillons.

Pour le cas particulier des zones avec suspicion localisée, il peut être nécessaire de suivre un maillage plus resserré, de 10 x 10 m voire de 5 x 5 m [7].

2.1.3. Type d'échantillons

Hors présence de polluants volatils, et lorsque l'objectif est de représenter la composition moyenne d'une zone supposée homogène, la réalisation d'échantillons composites est conseillée, constitués eux-mêmes d'un mélange homogène d'échantillons unitaires (idéalement 8 à 10 prélèvements unitaires répartis aléatoirement ou en ligne diagonale sur l'espace à considérer pour faire un composite).

Lorsque la suspicion de pollution est localisée, il peut s'avérer pertinent de faire analyser des échantillons unitaires ciblés.

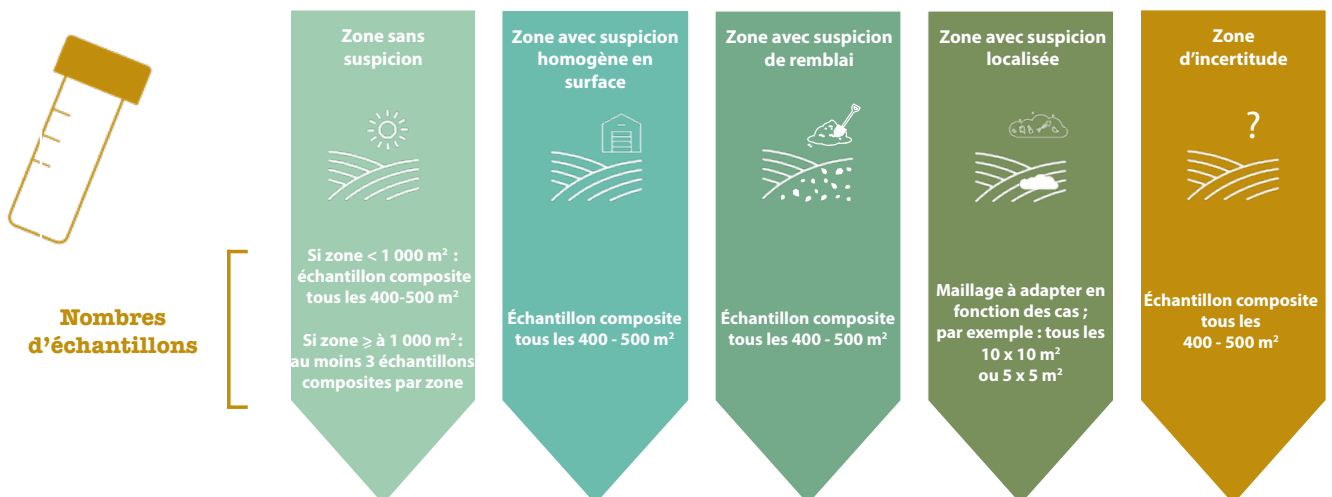
REMARQUES

Quel que soit le type et la taille de la zone, il est recommandé de réaliser au moins deux ou trois échantillons répartis dans l'espace, pour éviter de n'avoir qu'un résultat, qu'il ne serait pas possible d'interpréter par rapport à sa représentativité.

Si les résultats sont très variables, ou si des niveaux de contamination élevés ou inattendus sont détectés, il s'agira de refaire une campagne d'analyses avec un maillage plus resserré ou redéfini en fonction de la découverte de pollution, afin de mieux caractériser les hétérogénéités mises en évidence.

La géolocalisation des prélèvements et l'inscription précise de ces derniers sur une carte sont préconisées.

Tableau 1 : Nombre d'échantillons par type de zones



2.2. Profondeur des échantillons

Les prélèvements peuvent se faire à l'aide d'une tarière manuelle, lorsque la dureté du sol le permet. Des tarières mécaniques existent et peuvent permettre d'investiguer les sols plus en profondeur lorsque le sol est trop compact ou que la profondeur à explorer est supérieure à 60 cm. Il est également nécessaire d'utiliser un seau, un outil mélangeur et des gants. Pour éviter des contaminations étrangères aux échantillons, les outils et protections utilisées seront constitués de matériaux inertes et nettoyés minutieusement entre chaque prélèvement.



ÉTAPE 2 : Investigations des sols et analyses

Le choix de la profondeur des prélèvements de sol réalisés est un paramètre important à prendre en compte car la concentration en contaminants peut varier verticalement, en fonction des dépôts atmosphériques et des horizons de sol ou matériaux rencontrés.

Exemple 1 : Des retombées de plomb à partir d'une usine située à proximité du site peut provoquer une importante concentration de plomb dans les tous premiers centimètres qui ne se retrouvera pas forcément en profondeur (sauf si la terre est travaillée et retournée type labour).

Exemple 2 : A l'inverse, un apport de remblai pollué, recouvert ensuite de 50 cm de terre végétale non polluée, peut présenter une contamination faible dans les premiers 50 cm de sol mais une pollution importante plus en profondeur lorsque l'on atteint les remblais.

Exemple 3 : Une anomalie géochimique naturelle peut aussi être associée à des concentrations importantes de polluants en profondeur, voire en surface dans le cas d'un affleurement de la roche.

Exemple 4 : Des mouvements de polluants dans les sols peuvent aussi faire varier les concentrations rencontrées verticalement : un sol de texture grossière et acide favorisera les transferts verticaux d'ETM par rapport à un sol argilo-calcaire riche en matière organique.

Les profondeurs de sol considérées dans cette démarche sont :

- La profondeur de sol **en contact direct avec l'agriculteur urbain** (0-30 cm, correspondant au sol de surface en cas de sol cultivé [8]).
- La profondeur de sol **en contact avec les racines des plantes cultivées** (peut descendre à plus d'un mètre, notamment pour les arbres fruitiers – cf. tableau 2).

Tableau 2 : Profondeur moyenne des racines de certains légumes et arbustes (d'après [3])

Superficielles : jusqu'à 30 cm	Intermédiaires : entre 30 et 60 cm	Profondes : supérieures à 60 cm
Céleri, laitue, oignon, radis, ail, échalote Fraisiers	Brocoli, carotte, chou, chou-fleur, concombre, courgette, haricot mange-tout, melon brodé, poivron, tomate... Framboisiers	Asperge, citrouille, courge d'hiver, endive, maïs sucré, melon d'eau, panais...

Tableau 3 : Profondeur moyenne des racines des arbres fruitiers (d'après [3])

Jusqu'à 5 m de profondeur	De 5 à 10 m de profondeur	Au-delà de 10 m
Figuier, pêcher	Pommier, prunier, poirier	Vignes



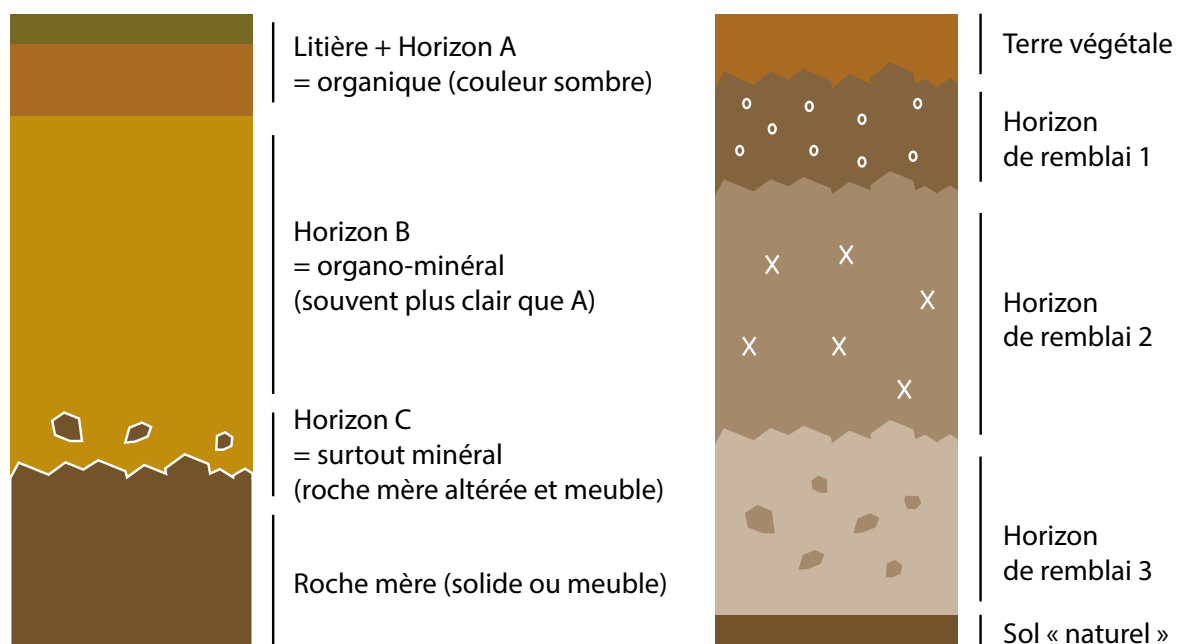
REMARQUES

Si l'on s'intéresse par ailleurs à l'usage récréatif (non agricole) d'espaces qui *a priori* ne sont pas destinés à être remaniés mais qui seront fréquentés notamment par des enfants, des prélèvements de proche surface sont à mener (0 à 3 ou 5 cm de profondeur) [7]. Cela peut être le cas dans des projets d'agriculture urbaine, sur les allées ou zones de pique-nique par exemple, accessibles aux enfants. En effet, ces espaces ne seront pas travaillés donc pas brassés, mais pourtant ils seront en contact direct avec les enfants.

Dans tous les cas de figures, lors de chaque prélèvement, il est préconisé d'observer et de décrire les différents horizons rencontrés en fonction des profondeurs investiguées, puis d'inscrire ces informations sur la fiche terrain (profondeur des différents horizons rencontrés, description des horizons : nature, granulométrie, matériaux constitutifs, couleur, odeur⁴, texture, humidité).

Le profil de sol permet d'observer les différents horizons en présence. Il permet également de confirmer, le cas échéant, que le sol semble « naturel », ou bien si certains horizons sont suspects de par leur couleur, odeur⁴, texture ou par la présence de matériaux de déchets et/ou d'éléments grossiers technogéniques. Dans ces derniers cas, on basculera en zone avec suspicion de pollution de remblais. Il pourra alors s'agir de redéfinir la stratégie d'échantillonnage en conséquence. C'est pourquoi on parle de démarche itérative (cf. introduction étape 2).

Figure 6 : Exemples de profils de sols considérés comme naturel (gauche) et de remblai (droite)



Remarque : En cas d'odeur⁴, la présence de polluants volatils est soupçonnée. Comme évoqué en étape 1, pour la zone considérée, on sort alors de la démarche du guide et il s'agit de se référer aux démarches professionnelles existantes (cf. méthodologie nationale des sites et sols pollués).

⁴ En cas d'odeur, la consigne est la prudence, et de s'écartier de la zone ou de s'équiper d'un masque à cartouche (vapeurs).



2.2.1. Zones sans suspicion de pollution ou avec suspicion homogène en surface

Lorsque le sol est considéré comme un sol « naturel » qui n'a pas été remblayé, les trois horizons considérés sont (cf. figure 6) :

- Horizon A : Litière et terre arable, organique, potentiellement polluée (0 - 30 cm)
- Horizon B1 : Surface de l'horizon B, organo-minéral, exploré par les racines et pouvant être impacté par un transfert des pollutions de surface (30 – 60 cm)
- Horizon B2 : Profondeur de l'horizon B (60 – 100 cm), préconisé lorsque l'on prévoit de planter des arbres fruitiers, dont les racines peuvent se développer en profondeur plus importante que les légumes (et même au-delà de 1 m).

L'horizon A est à échantillonner systématiquement. En cas de zone sans suspicion, quelques prélèvements en profondeur, au-delà de 30 cm, peuvent être réalisés pour vérifier que la contamination, si elle est détectée, est bien localisée strictement en surface.

En cas de zone avec suspicion homogène en surface, les prélèvements en profondeur doivent être plus réguliers, pour délimiter l'épaisseur de sol impactée.

2.2.2. Zones avec suspicion de pollution de remblais

Dans les cas de zones avec suspicion de pollution de remblais, les profils de sols rencontrés peuvent être d'aspects et d'épaisseurs variés (cf. figure 6). On peut rencontrer ou non une première couche de terre végétale, puis un ou plusieurs horizons de remblais différents, parfois sur des profondeurs plus importantes que 1 mètre.

- Si le premier horizon rencontré dans les sols est plus épais que 1 m (pas de première couche de terre végétale mais première couche de remblai homogène sur au moins 1 m de profondeur), échantillonner de 0 à 30 puis de 30 à 100 cm, afin de prendre en compte tout de même l'effet d'un potentiel dépôt de pollution atmosphérique en surface ou de mouvements verticaux de polluants au cours des années.
- Si le profil de sol présente plusieurs horizons entre 0 et 1 m, échantillonner une première profondeur systématique de 0 à 30 cm (profondeur de sol travaillée en AU), puis, à partir de 30 cm, échantillonner séparément chaque horizon jusqu'à 1 m.

- Si le premier horizon est inférieur à 30 cm, échantillonner séparément chaque horizon jusqu'à 1 m.

La possibilité de rencontrer des horizons contaminés en profondeur étant avérée, il est préconisé d'analyser chaque horizon systématiquement.

Des analyses de contrôle d'horizons plus en profondeur sont préconisées lorsque l'épaisseur de remblais dépasse les 1 m si des cultures d'arbres fruitiers sont envisagés et/ou si le risque de battement de nappe superficielle et de remontée de polluants par capillarité est envisagé.

2.2.3. Zones avec suspicion de pollution localisée

Avant tout, il s'agit de délimiter la zone de suspicion localisée autant que possible.

Si la suspicion est localisée strictement en surface, voir la démarche proposée pour les zones avec suspicion homogène en surface.

Exemples : Ancien déversement accidentel en surface de matières toxiques ou bien stockage de déchets. On s'attend alors à avoir un « hot spot » localisé en surface, avec gradient de concentration autour du dépôt.

Si l'on découvre un apport localisé de remblai, se référer à la démarche proposée pour les zones de remblai.

2.2.4. Zones d'incertitude

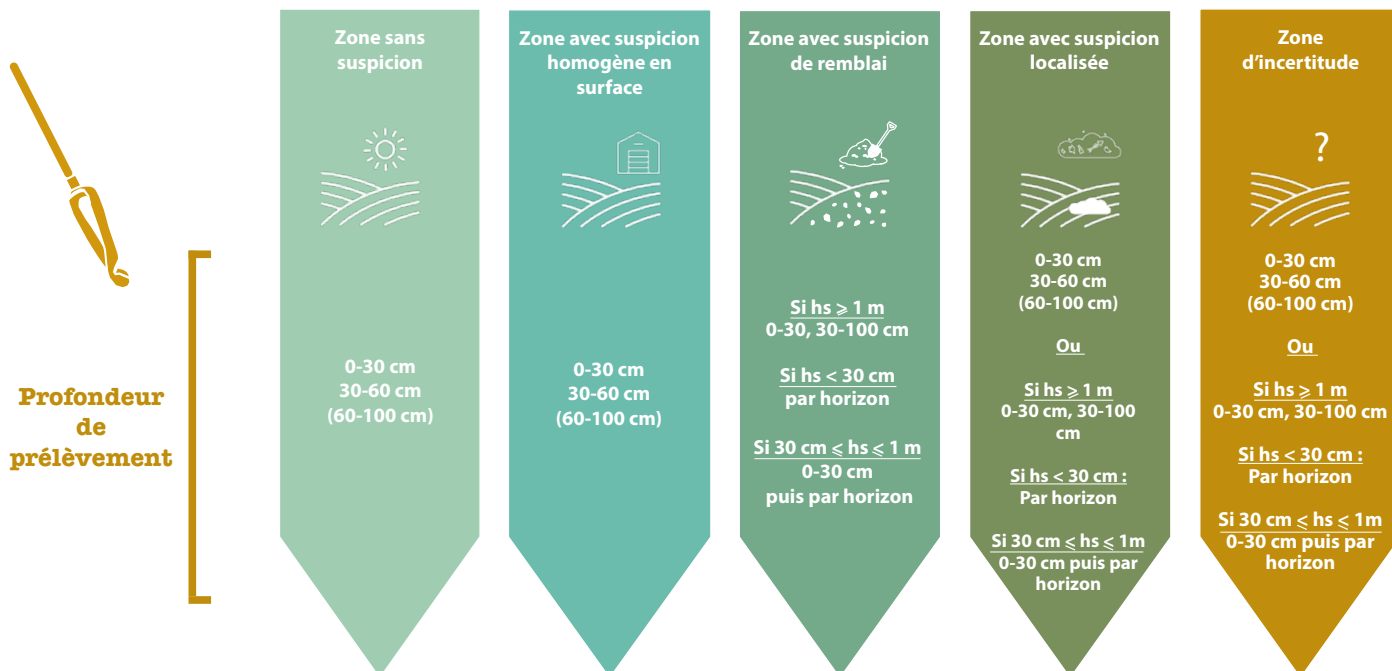
En cas de zone d'incertitude, c'est en réalisant le sondage que l'on découvre la composition verticale du sol et ses horizons. Alors, on peut observer si l'on est en sol de remblai, ou sol supposé naturel. On se référera donc en fonction des cas aux stratégies liées aux types de zones considérées.

REMARQUE

Lors des sondages, bien qu'on ait suspecté un sol de type naturel, parfois, l'on peut découvrir la présence de remblai, ou d'une suspicion localisée. Il s'agit alors de redéfinir la stratégie d'échantillonnage en redéfinissant les contours de la zone et le type de zone rencontré.



Tableau 4 : Profondeur de prélèvement par type de zones (hs : horizon de surface, soit le premier horizon rencontré)





2.3. Liste des éléments à analyser

2.3.1. Analyses chimiques

Du fait du contexte urbain ou péri-urbain, il est systématiquement conseillé d'analyser au minimum les indicateurs d'activité anthropique les plus courants :

- 9 ETM le chrome (Cr), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le sélénium (Se)
- 16 HAP (16 molécules)
- les Hydrocarbures Totaux (HCT) – fraction C10-C40

Une analyse de ces éléments coûte entre 90 et 150 € par échantillon de sol.

Cette liste doit être complétée au cas par cas par d'autres polluants suspectés suite aux résultats de l'étape 1 voire suite aux premières observations de terrain lors des prélèvements de sol.

Par exemple, les PCDD/F (Dioxines/furanes) sont des polluants retrouvés en milieu urbain, d'autres tels que les PCB ou encore des polluants spécifiques à une activité industrielle peuvent être recherchés en fonction des cas rencontrés.

Enfin, ce n'est pas parce qu'on est en contexte urbain que la présence des pesticides est systématiquement écartée. En effet, l'entretien des espaces verts en a par exemple utilisé pendant longtemps, bien que de plus en plus de villes passent aujourd'hui en « zéro phyto ».

Les analyses en dioxines furanes coûtent entre 300 et 400 € par échantillon de sol. Les analyses en pesticides coûtent 100 à 200 € par échantillon.

2.3.2. Analyses agronomiques

En plus des analyses des polluants chimiques, facteur limitant de la mise en cultures des sols, il est nécessaire d'inclure une dimension agronomique aux analyses de sol, l'objectif étant bien de cultiver ces sols en agriculture urbaine.

Les données à caractériser en priorité sont :

- La texture du sol (argileuse, sablonneuse, limoneuse) au travers de l'analyse de la granulométrie
- Le pH du sol à l'eau

- La teneur en matière organique du sol
- La Capacité d'Échange Cationique (CEC), qui indique la capacité du sol à fixer des éléments nutritifs ou des polluants.

La connaissance de la qualité agronomique des sols permet de savoir si les caractéristiques du sol sont favorables à la croissance des plantes (pH ni trop acide ni trop basique, bon équilibre des éléments minéraux...) ou s'il faudra prévoir des amendements (chaulage si acide par exemple, apports de matières organiques etc.).

Par ailleurs, les caractéristiques agronomiques peuvent avoir un impact sur la capacité de migration (mobilité) des polluants des sols vers les végétaux (ex : pH acide rendant certains polluants plus facilement assimilables par les plantes, ou au contraire, la matière organique retenant certains polluants du sol) ou vers le sous-sol et la nappe. En effet, plus que la concentration totale en polluants, ce sont la forme chimique et les caractéristiques physico-chimiques du sol qui influencent la disponibilité du polluant vis-à-vis des plantes et sa potentielle toxicité. Or, les caractéristiques du sol influencent directement cette disponibilité. D'où l'intérêt de mettre en regard ces résultats par rapport aux résultats des analyses des éléments polluants. C'est pourquoi, dans un second temps, il est possible voire nécessaire de réaliser des analyses de **biodisponibilité** et de **bioaccessibilité** des polluants (cf. étape 4).

REMARQUES

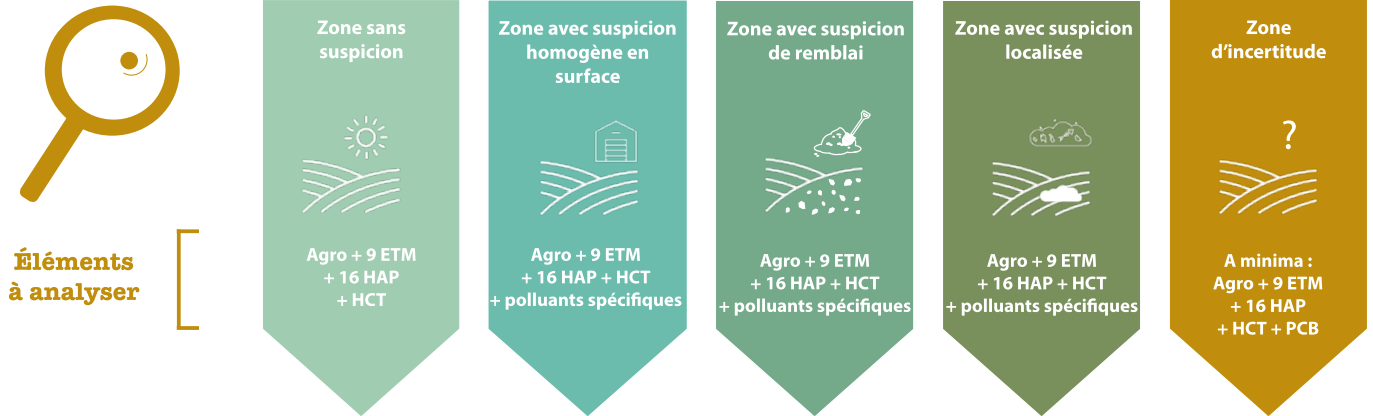
La forme chimique (spéciation) des métaux est également propre à l'origine de la pollution elle-même et cela peut très fortement influencer la mobilité et toxicité des polluants (ex. chrome VI ou chrome III).

L'interprétation des analyses agronomiques n'est pas présentée dans ce guide, mais pourra intervenir lors de la phase ultérieure de prise de mesures de gestion (ex : si un site permet la culture de légumes à condition que le pH et le taux de matière organique soient élevés).

Une analyse agronomique coûte environ 100 € par échantillon.



Tableau 5 : Éléments à analyser par type de zones



2.4. Prétraitement, conditionnement et transport des échantillons vers le laboratoire d'analyses

Il est fortement conseillé de travailler avec un laboratoire d'analyses accrédité, de préférence COFRAC (Comité français d'accréditation), voire agréé (par les ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture).

Ces derniers fournissent souvent des indications concernant la quantité de terre à prélever, comment la conditionner, les modalités de préparation avant analyse, le flaconnage adapté, les conditions de stockage et de transport appropriées (lieu, durée...), le délai de remise des résultats etc.

C'est pourquoi il est nécessaire de se rapprocher du prestataire analytique au moment de la mise au point du plan d'échantillonnage.

Le prétraitement des échantillons avant conditionnement doit être identique pour tous. Il s'agit de retirer les matériaux grossiers (cailloux), les corps étrangers (morceaux de verre, de plastique...), la végétation (herbe, racines). Ensuite, il s'agit de peser les matériaux écartés ou de noter leur pourcentage volumique.

Lorsqu'il est nécessaire d'envoyer une quantité moins élevée que prélevée au laboratoire d'analyses, il peut être nécessaire d'effectuer un quartage, soit une opération de réduction de l'échantillon, de manière rigoureuse pour garder la représentativité de l'échantillon. Il s'agit alors de se placer dans une zone présentant une surface plane et dure à l'abri du vent et de la pluie, et de placer les échantillons sur un revêtement de protection propre pour éviter toute contamination et la perte de matériaux. Ces modalités seront ajoutées à la fiche terrain complétée.

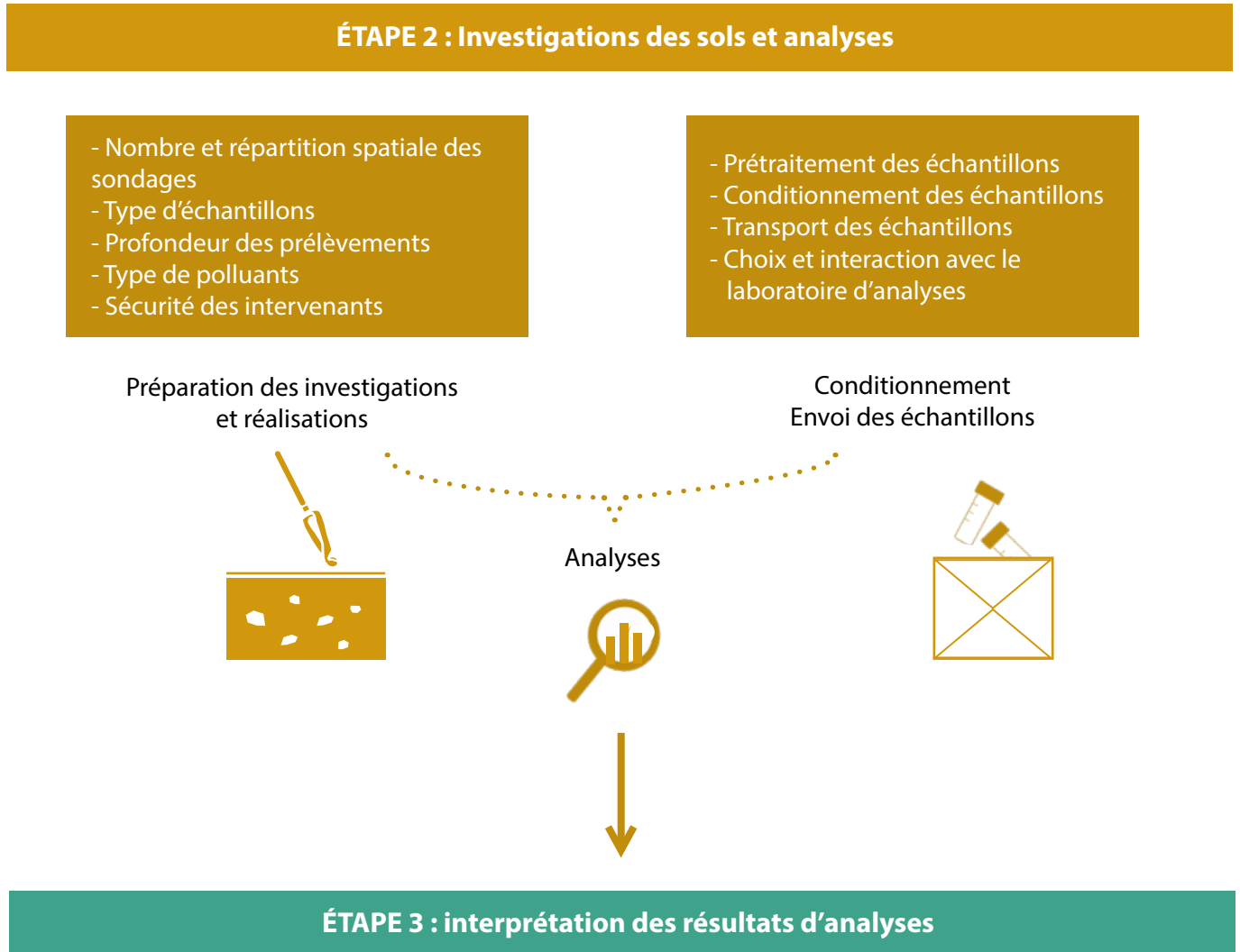
Les **modalités de conditionnement** et de transport (contenants, maintien des échantillons au froid, temps de transport, type de transporteur...) doivent être réfléchies et discutées avec le laboratoire d'analyses également. En fonction des cas, les conteneurs peuvent être des sacs plastiques, ou des bocaux en verre ou encore des flacons en matériaux spécifiques. Ces modalités seront également ajoutées à la fiche terrain complétée.

Les échantillons conditionnés doivent être étiquetés, avec *a minima* l'inscription du numéro de référence de l'échantillon (qui sera également indiquée sur la fiche terrain correspondante) et la date de prélèvement.

Une fois les **échantillons envoyés** au laboratoire d'analyse, demander ce que représente en pourcentage de masse la quantité de sol supérieure à 2 mm qui n'est pas analysée.



Figure 7 : Récapitulatif de l'étape 2 - Investigation des sols et analyses





RÉCAPITULATIF

Assistance et suivi de la démarche



Qui solliciter ?

En fonction des cas, l'étape 2 de la démarche peut être réalisée intégralement par un prestataire (bureaux d'études spécialisés – cf. [Annexe](#)) ou partiellement, par un laboratoire d'analyses de sol qui réalise uniquement les analyses, la définition de la stratégie d'échantillonnages ainsi que les investigations restant à la charge du commanditaire, ou encore intégralement par le commanditaire (ex : la ville de Paris disposant de son propre laboratoire agronomique d'analyses des sols). Dans ces deux derniers cas, la démarche est réalisable qu'à condition que le commanditaire soit formé au préalable à la démarche et sache distinguer les cas où il peut prendre en charge cette dernière, de ceux où il est nécessaire de sous-traiter à un prestataire qualifié voire certifié.



Points de vigilance

La démarche d'échantillonnage des sols peut nécessiter plusieurs campagnes de terrain, pour identifier, confirmer et délimiter une pollution (étendue, profondeur) ou bien pour prospecter d'autres milieux que le sol (eau, végétaux...). Ces éléments sont à prendre en compte en termes de temporalité (le projet pouvant être décalé dans le temps de 6 mois voire 1 an dans certains cas) et de budget (coûts supplémentaires liés à des analyses non anticipées).

La définition de la stratégie et du plan d'échantillonnage nécessitent une démarche rigoureuse et argumentée pour chaque étape du processus (localisation et nombre des prélèvements, constitution des échantillons, profondeurs analysées, mise en contenants et transport...). L'hétérogénéité du sol et les erreurs d'échantillonnage peuvent impliquer de passer à côté d'une pollution et d'engager la responsabilité du maître d'œuvre.

Les investigations et observations de terrain peuvent amener à préciser ou redéfinir les contours d'une zone, suite à la découverte d'une hétérogénéité au sein d'une même zone par exemple. On est ainsi dans une démarche itérative.



Pour aller plus loin

- Le guide « [Diagnostics du site](#) » et en particulier la partie « 3. Les investigations de terrain », produit par le ministère en charge de l'environnement (2007, en cours d'actualisation).
- Le guide « [From the Ground Up. Guide for soil testing in urban gardens](#) » de la ville de Toronto pour sa partie stratégie d'échantillonnage (2013).
- Les normes NF ISO 18400 100 à 107, 201 à 204 « Qualité du sol – Echantillonnage » (ancienne ISO 10381).

Étape 3

Interprétation des résultats d'analyses



À partir de la date de réception des échantillons au laboratoire, l'envoi des résultats peut prendre deux semaines voire un mois. Une fois les résultats reçus, il s'agit à ce stade de poursuivre la démarche en s'inspirant des principes d'une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) telle que conduite dans le contexte des Sites et Sols Pollués, basée sur une approche substance par substance et milieu par milieu. Le principe est de comparer les résultats d'analyses à des valeurs de référence, lorsqu'elles existent.

L'originalité de ce guide est de proposer, pour 9 Éléments Traces Métalliques (9 ETM), 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAP) et les Hydrocarbures Totaux fractions C10-C40 (HTC), des Valeurs d'Analyse de la Situation d'Agriculture Urbaine (VASAU), spécifiques à la région Ile-de-France. La comparaison des concentrations en polluants aux VASAU permet de définir de premiers intervalles d'interprétation, propres à ces polluants et spécifiques à l'agriculture urbaine.

Ces valeurs constituent ainsi un outil permettant d'appréhender rapidement une situation, et se rapprochent donc des Valeurs d'Analyse de la Situation (VAS) proposées dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Pour autant, elles s'en distinguent puisqu'elles sont utilisables uniquement en Agriculture Urbaine (AU), d'où la proposition d'un sigle propre à ce contexte : VASAU.



En première approche, il s'agirait donc ici de comparer les concentrations de polluants rencontrées dans les sols à des valeurs de références, telles que définies dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués [3]. Or il n'existe pas de valeurs uniques pour les sols à l'échelle nationale, la gestion des sols étant liée à leur usage (récréatif, résidentiel, tertiaire, industriel...).

Pour autant, ce guide propose, pour certains polluants (9 ETM, 16 HAP et HCT), des Valeurs d'Analyse de la Situation propres à l'Agriculture Urbaine en Île-de-France (VASAU).

De plus, deux niveaux de VASAU (VASAU 1 et 2) sont proposés pour les 9 ETM.

Les VASAU 1 proposés dans ce guide se réfèrent à des **valeurs de fonds**, spécifiques à chaque polluant, provenant de travaux scientifiques existants.

Le cas particulier des VASAU 2 proposées pour les 9 ETM est présenté en 3.1.3.

3.1. Pour les 9 Éléments Traces Métalliques (ETM)

3.1.1. Valeurs de fond

Les ETM sont des éléments naturellement rencontrés dans les sols, à l'état de trace.

Des valeurs de fonds existent à l'échelle nationale et régionale.

- **Au niveau national**, on peut citer les bases de données telles qu'ASPITET, INDIQUASOL, BDETM, RMQS.
- **Au niveau régional**, on peut citer le cas particulier de l'Île-de-France, où la CIRE Île-de-France a publié des valeurs indicatives servant de seuils au-delà desquels les valeurs sont définies comme des anomalies pour 8 ETM (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se et Zn), correspondant au 95^e percentile des valeurs moyennes rencontrées dans des sols agricoles [9].

Par définition, ces niveaux ne constituent pas des valeurs seuils sanitaires, mais plutôt des teneurs au-delà desquelles le sol peut être considéré comme « contaminé ». Les valeurs indicatives de l'Île-de-France constituent les VASAU 1 pour les 8 ETM ciblés (hors arsenic) et permettent d'identifier un sol « contaminé » pour le cas de l'Île-de-France.

Pour l'arsenic, les VASAU retenues proviennent de l'étude COMETE, menée par la ville de Paris.

REMARQUE

Le fond géochimique est défini par l'ADEME comme « une gamme de teneurs d'une substance dans un matériau parental ».

On distingue le **fond pédo-géochimique naturel** du **fond pédo-géochimique anthropisé**. Le premier « n'a pas subi d'influence humaine [...] ». Du fait des activités humaines, on considère que le fond pédo-géochimique naturel n'est plus mesurable en surface pour un grand nombre de substances/éléments ». Le second est « issu d'un apport diffus dû aux activités humaines, présentes et passées ». « Le terme **valeurs de fonds** regroupe les fonds pédo-géochimiques naturels et anthropiques ainsi que les fonds géochimiques » [6].

3.1.2. Cas particulier du plomb

Dans le cadre du dispositif de lutte contre le saturnisme infantile et de réduction des expositions au plomb, le ministère en charge de la santé [10] précise la mise en œuvre des préconisations du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) [11] et notamment :

- Si la concentration des sols des espaces collectifs fréquentés habituellement par des populations sensibles (enfants de moins de 7 ans et femmes enceintes ou envisageant une grossesse) dépasse **100 mg/kg** de plomb en moyenne, il convient de déclencher une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (**EQRS**) pour cette population. Cette évaluation des risques devra être suivie d'une analyse technico-économique pour déterminer les mesures de gestion spécifiques au site.
- Si la concentration des sols dépasse les **300 mg/kg**, il convient de conduire une analyse de l'usage des sols afin d'évaluer la pertinence d'un **dépistage du saturnisme** chez les enfants de moins de 7 ans et les femmes enceintes ou envisageant une grossesse (dosage de la plombémie), en plus de la mise en place de mesures de gestion.

Sachant que la pratique de l'agriculture urbaine implique un usage particulièrement sensible des espaces verts (contact avec le sol important, culture et consommation de légumes), ces valeurs sont prises en compte.



3.1.3. Proposition de VASAU pour l'agriculture urbaine en Île-de-France et interprétations

Tableau 6 : Proposition de VASAU pour l'agriculture urbaine en Île-de-France

Polluants	VASAU 1 (mg/kg)	VASAU 2 (mg/kg)
Pb	53,7 ^a	100 ^c
Cd	0,51 ^a	1,0 ^d
Hg	0,32 ^a	0,64 ^d
Cu	28,0 ^a	84,0 ^d
Zn	88,0 ^a	264,0 ^d
As	12,0 ^b	20 ^b
Ni	31,2 ^a	62,4 ^d
Se	0,31 ^a	0,62 ^d
Cr	65,2 ^a	130,4 ^d

a : Valeurs CIRE IDF

b : Valeurs Étude COMETE Ville de Paris

c : Valeurs HCSP

d : Valeurs définies dans le cadre du comité de pilotage du programme REFUGE

- VASAU 1 : Valeur indicative sous laquelle le sol peut être considéré comme « non-contaminé » au polluant considéré, car ayant une concentration comparable aux valeurs retrouvées dans les sols agricoles d'Île-de-France
- VASAU 2 : La définition des VASAU 2 pour les 9 ETM concernés a été réalisée en concertation avec les membres experts du comité de pilotage du programme de recherche-action REFUGE sur la base du retour d'expérience francilien et de l'état actuel des connaissances scientifiques vis-à-vis des risques sanitaires associés à ces niveaux de concentrations dans les sols pour un usage d'agriculture urbaine.

La décision de doubler ou tripler les VASAU 1 spécifiques à l'Île-de-France pour constituer les VASAU 2 a été prise suite à la concertation d'un regroupement d'experts, en prenant en compte le retour d'expérience francilien et en l'état actuel des connaissances scientifiques vis-à-vis des risques sanitaires associés aux concentrations retrouvées dans les sols cultivés. Les VASAU 1 sont à adapter localement en fonction des bases de données régionales. A ce jour, il est proposé de conserver les

VASAU 2 ici présentées pour toutes les études, quelle que soit la région concernée.

Interprétation des résultats d'analyses :

1/ Lorsque les concentrations mesurées sont inférieures aux VASAU 1 pour tous les éléments analysés (ainsi que pour tous les autres polluants cf. 3.2. et 3.3.), le sol est considéré comme « non-contaminé ».

→ Le sol de la zone est en principe cultivable sans mesure de gestion des risques particulière.

2/ Lorsqu'au moins un des résultats (pour un ETM donné) est supérieur ou égal à sa VASAU 1 mais qu'aucun n'est supérieur ou égal à sa VASAU 2 (et que tous les autres polluants ont des concentrations inférieures à leur VASAU 1), le sol est dit « contaminé » mais considéré apte à être cultivé, à condition de réaliser des analyses de contrôle dans les légumes.

→ Le sol « dégradé » est en principe cultivable à condition de rappeler les bonnes pratiques d'hygiène de base et de réaliser des analyses de contrôle des légumes, et ce pendant plusieurs années. Ces derniers devront alors respecter les valeurs réglementaires⁵ fixées pour les denrées alimentaires destinées à la commercialisation sur le marché européen. Pour les polluants non réglementés, il conviendra de se rapporter aux valeurs EAT (Etude de l'Alimentation Totale) de l'ANSES pour comparer les résultats aux teneurs moyennes dans les denrées alimentaires préparées. En cas de dépassement des valeurs de référence pour les légumes, il s'agira *a posteriori* de réaliser une EQRS (cf. étape 4).

3/ Lorsqu'au moins un des résultats de concentration dépasse sa VASAU 2, pour statuer de la possibilité ou non d'utiliser le sol en pleine terre pour de la culture maraîchère, il est nécessaire de déclencher une évaluation quantitative des risques sanitaires, en retenant pour les calculs toutes les concentrations de polluants (métalliques comme organiques) dépassant leur VASAU 1 dans les sols, ainsi que les concentrations mesurées ou bien estimées dans les légumes (cf. étape 4).

→ Étape 4.

⁵ Des valeurs réglementaires dans les légumes existent pour le plomb et le cadmium (Règlement (CE) n°1881/2006 et actualisations)



4/ Lorsque le plomb dépasse 300 mg/kg dans les sols, on peut d'office considérer que le sol est non-cultivable en pleine terre en raison des risques sanitaires associés. En effet, l'usage espace vert, *a priori* moins sensible, est déjà contesté (cf. 3.1.2). Il s'agira alors de mettre en place des mesures de gestion, sans même attendre l'évaluation des risques. —> Mesures de gestion (cf. étape 4).

3.2. Pour les 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les Hydrocarbures Totaux fraction C10-C40 (HCT)

3.2.1. Valeurs de fonds

Contrairement aux ETM, les polluants organiques ne sont pas censés être détectés dans les sols «naturels» non impactés par des événements polluants. Pourtant, il existe des valeurs de fonds, dues à l'activité humaine ayant impacté depuis plusieurs siècles les sols.

Les VASAU 1 proposées pour les 16 HAP dans ce guide proviennent des données RMQS⁶ (Réseau de Mesure de la Qualité des Sols) associées à l'Île-de-France, correspondant pour chaque polluant au 90^e percentile des données acquises sur des sols naturels cultivés ou non. Ces niveaux de concentrations sont protecteurs pour la santé des usagers en agriculture urbaine.

Le RMQS est un outil de surveillance de la qualité des sols de différents milieux à long terme.

De même que pour les 16 HAP, bien que les HCT soient d'origine purement anthropique, il existe des valeurs de fond pédo-géochimique urbain dont les données sont extraites de la base BDSoIU et données à titre indicatif pour les zones urbaines de la France entière. La valeur vibrissée a été retenue en tant que VASAU 1. Le choix de cette VASAU 1 pour les HCT a été réalisé

en concertation avec les membres experts du comité de pilotage du programme de recherche-action REFUGE sur la base de l'état actuel des connaissances scientifiques vis-à-vis des risques sanitaires associés à ces niveaux de concentrations dans les sols pour un usage d'agriculture urbaine.

3.2.2. Proposition de VASAU pour l'agriculture urbaine en Île-de-France et interprétations

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (extrait de RMQS-IDF⁶)

16 HAP	VASAU 1 (mg/kg)
Naphtalène	0,020
Acenaphthylène	0,015
Acenaphène	0,005
Fluorène	0,005
Phénanthrène	0,098
Anthracène	0,015
Fluoranthène	0,166
Pyrène	0,126
Benzo(a)anthracène	0,083
Chrysène	0,090
Benzo(b)fluoranthène	0,103
Benzo(k)fluoranthène	0,053
Benzo(a)pyrène	0,094
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	0,061
Dibenzo(a,h)anthracène	0,028
Benzo(g,h,i)perylène	0,091
Somme 16 HAP	1,053

Hydrocarbures Totaux (extrait de BDSoIU)

HCT C10-C40	VASAU 1 (mg/kg)
HCT C10-C40	69,5

VASAU 1 : Valeur indicative sous laquelle le sol peut être considéré comme « non contaminé » au polluant considéré en contexte urbain et d'agriculture urbaine.

⁶ Source : Saby, Nicolas; Bertouy, Benoit; Boulonne, Line; Toutain, Benoît; Caria, Giovanni; Jolivet, Claudy, 2020, «Summary statistics of Permanent Organic Pollutants concentration in French topsoils» <https://doi.org/10.15454/LQVMNN>



REMARQUE

Le réseau RMQS ne dispose pas de données de surveillance pour les HCT. Les données de BDSolU⁷ (base de données récemment disponibles à l'échelle nationale) ont ainsi été retenues pour cette famille chimique en première approche par le regroupement d'experts.

Interprétation des résultats d'analyses :

Actuellement, une seule VASAU (VASAU 1) est proposée pour les 16 HAP et les HCT, du fait du recul scientifique moindre concernant les impacts sanitaires des HAP et HCT mesurés dans les sols et de leur transfert vers les légumes et l'homme. Ceci pourrait évoluer dans les prochaines années, avec l'apparition d'une VASAU 2 pour ces molécules.

1/ Lorsque les concentrations mesurées sont inférieures aux VASAU 1 pour tous les éléments analysés (ainsi que pour tous les autres polluants cf. 3.1. et 3.3.), le sol est considéré « non contaminé ».

→ Le sol de la zone est en principe cultivable sans mesure de gestion des risques particulière.

2/ Lorsqu'au moins un des résultats de concentration dépasse sa VASAU 1, pour statuer sur la possibilité ou non d'utiliser le sol en pleine terre pour de la culture maraîchère, il est nécessaire de déclencher une évaluation quantitative des risques sanitaires, en retenant pour les calculs toutes les concentrations de polluants (métalliques comme organiques) dépassant leur VASAU 1 dans les sols, ainsi que les concentrations mesurées ou bien estimées dans les légumes (cf. étape 4).

→ Étape 4.

REMARQUE

Lorsque les HCT C10-C40 dépassent la VASAU 1, l'évaluation des risques sanitaires associés aux composés de cette famille chimique nécessite de quantifier les groupements aromatiques et aliphatiques en fonction du nombre de carbone (C10-C12, C12-C16...), par une analyse chimique complémentaire.

3.3. Pour les autres polluants recherchés (ETM ou organiques) dans les sols

Pour les autres polluants recherchés, lorsqu'ils sont quantifiés, il s'agit de les comparer aux valeurs de références, lorsqu'elles existent, telles que les référentiels locaux (RMQS régionaux) ou nationaux (RMQS national, étude ASPITET), définis dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués [3]. Quand elles existent et sont adaptées à l'usage d'agriculture urbaine, on les utilisera comme VASAU 1.

Lorsqu'elles sont absentes, on considèrera que le fait même de quantifier le polluant dans les sols implique le déclenchement d'une évaluation des risques. La VASAU 1 est alors la limite de quantification (cf. «Analyse des sols dans le domaine des sites et sols pollués - Synthèse des réunions du Groupe de Travail sur les Laboratoires», BRGM 2015).

Lorsqu'au moins un des résultats de concentration dépasse sa VASAU 1, il est nécessaire de déclencher une évaluation quantitative des risques sanitaires, en retenant pour les calculs toutes les concentrations de polluants (métalliques comme organiques) dépassant leur VASAU 1 dans les sols, ainsi que les concentrations mesurées ou bien estimées dans les légumes (cf. étape 4).

⁷ La base de données BDSolU contient des analyses chimiques de sols prélevés en milieu urbain à l'échelle nationale en vue de les bancariser et de permettre leur consultation.



Que faire lorsque le projet est situé hors d'Île-de-France ?

Les VASAU 1 proposées dans ce guide pour les ETM et les HAP sont spécifiques au contexte de l'Île-de-France.

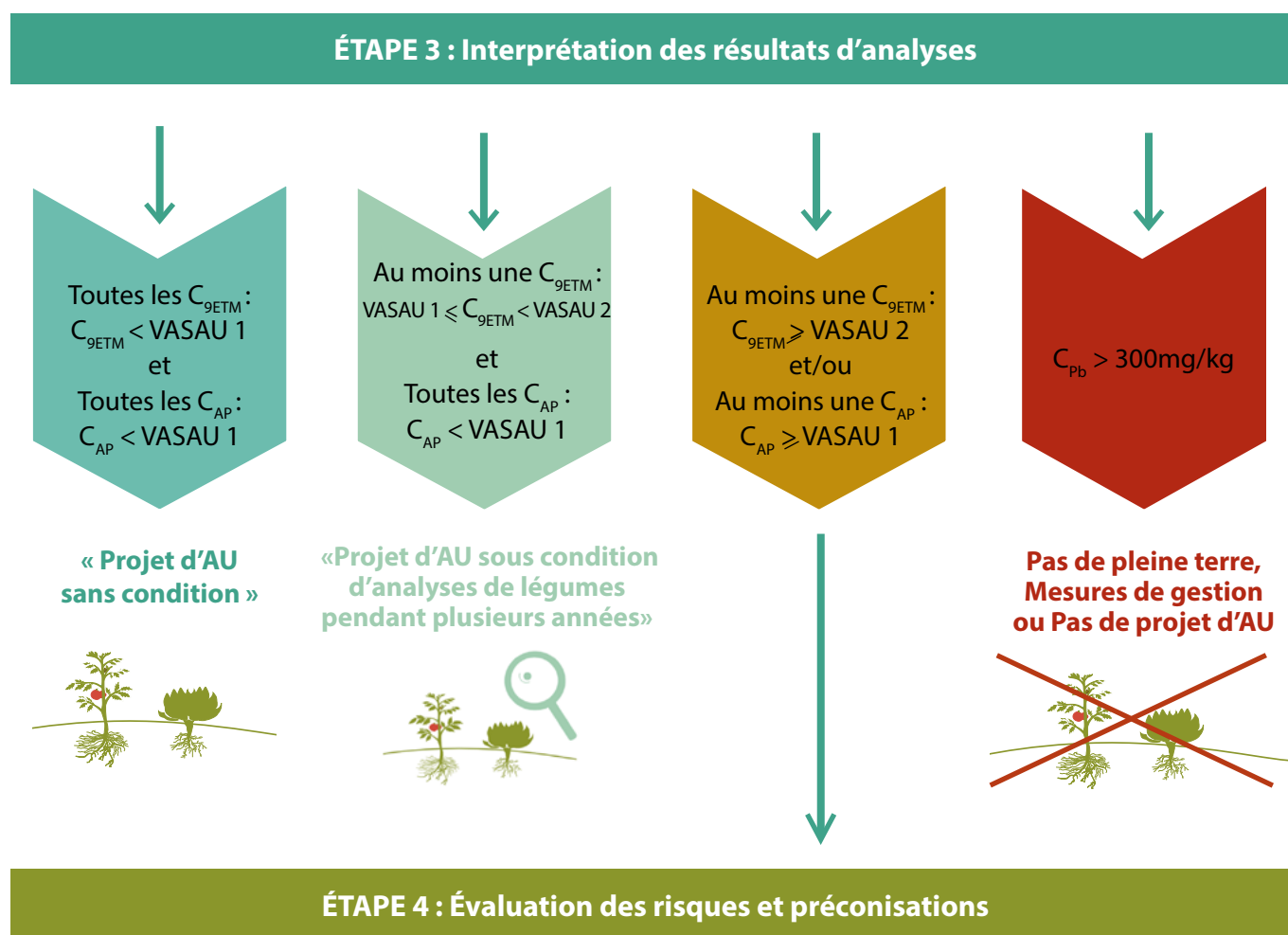
Lorsque le projet est situé hors d'Île-de-France, pour les ETM, il est préconisé d'utiliser comme VASAU 1 les valeurs issues de référentiels locaux disponibles (RMQS,...), ou à défaut, de l'étude ASPITET de l'INRA (cf. méthodologie nationale des sites et sols pollués). Etant issues d'un consensus scientifique, les VASAU 2 proposées dans ce guide restent valides pour un contexte hors Île-de-France.

Concernant les HAP, pour les projets hors Île-de-France, il est préconisé de comparer les résultats aux référentiels locaux disponibles.

Concernant les HCT, la VASAU 1 n'est pas spécifique à l'Île-de-France et peut donc être utilisée à l'échelle nationale.

Concernant le reste des polluants recherchés, les préconisations sont les mêmes qu'en 3.3.

Figure 8 : Récapitulatif de l'étape 3 : Interprétation des résultats d'analyses



C_{9ETM} : concentration en un des 9 ETM présentés en 3.1.3. dans le sol

C_{AP} : concentration en un Autre Polluant (AP), métallique ou organique, HAP, HCT ou autres, dans le sol

C_{Pb} : concentration en Plomb (Pb) dans le sol



RÉCAPITULATIF

Assistance et suivi de la démarche



Qui solliciter ?

L'étape 3 d'interprétation des résultats peut être réalisée par un prestataire privé (bureaux d'études spécialisés – cf. [Annexe](#)) ou être prise en charge par certains commanditaires expérimentés à condition d'être formés.



Points de vigilance

Si les résultats montrent des dépassements de VASAU 2 pour les 9 ETM ou de VASAU 1 pour les autres polluants, il s'agit alors de s'entourer d'un expert en la matière (ex : bureau d'études spécialisé en SSP) pour poursuivre la démarche.

En effet, celui-ci saura orienter vers une démarche d'EQRS (étape 4) ou dans certains cas directement vers un plan de gestion.



Pour aller plus loin

- La partie « [Démarche d'Interprétation de l'État des Milieux](#) » de la « [Méthodologie nationale des Sites et Sols pollués](#) » produite par le ministère en charge de l'environnement (2017).
- Le site internet du [GIS Sol](#) (Groupement d'intérêt scientifique Sol) ayant pour objectif de constituer et de gérer le système d'information sur les sols de France.
- Les guides pour la détermination des valeurs de fonds dans les sols (échelle d'un territoire et d'un site), ADEME (2018) [6].

Étape 4

Évaluation des risques sanitaires et préconisations



À cette étape, l'enjeu est d'étudier dans quelle mesure la contamination compromet ou non l'usage des sols envisagé en agriculture urbaine.

Il s'agit de réaliser une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), telle que définie dans la démarche IEM (cf. étape 3), permettant de quantifier les risques sanitaires associés aux usages constatés. L'originalité de la démarche est de vouloir appliquer ces principes à des usages projetés d'AU.

À partir des informations recensées dans le schéma conceptuel actualisé, des calculs de risques sont réalisés **pour chaque voie d'exposition et chaque scénario d'exposition considérés**, permettant de valider l'acceptabilité sanitaire du projet ou bien d'en révéler l'incompatibilité avec la contamination actuelle du sol. Dans ce dernier cas, des mesures de gestion devront être envisagées, voire l'abandon du projet.



4.1. Principes de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

L'EQRS, définie en 1983 aux Etats-Unis par le Conseil national de la recherche (NRC), est une démarche utilisée en France en gestion des sites et sols pollués depuis la fin des années 1990. La démarche nationale dédiée a été mise à jour en 2017 [3], afin d'évaluer les risques pour la santé humaine liés à la présence de polluants dans différentes matrices environnementales (sol, air, végétaux et eau).

Les grilles de l'IEM permettent de calculer des risques en se basant sur les différentes voies d'exposition, les scénarios d'exposition identifiés dans le schéma conceptuel, les concentrations retrouvées dans les sols et dans les légumes et la toxicité des substances considérées.

Considérant les voies d'exposition à prendre en compte dans notre cas d'étude, il est établi qu'en contexte d'agriculture urbaine, et en l'absence de suspicions de pollution volatile, la voie d'ingestion (de sols et de légumes) prédomine par rapport à la voie d'inhalation. C'est pourquoi, dans la suite de l'étape 4, nous présenterons uniquement cette voie et ses équations associées.

Pour chaque polluant et pour chaque scénario, les grilles permettent de calculer des Doses Journalières d'Exposition (DJE) pour l'ingestion de sol (1) et l'ingestion de légumes (2).

$$(1) \quad DJE_{sol} = \frac{Cs \times 10^{-6} \times Q_s \times T \times Ef_{sol}}{Tm \times P \times 365}$$

Avec :

DJE_{sol} : la dose journalière d'exposition théorique au sol (mg/kg/j)

Cs : la concentration de la substance testée dans le sol (mg/kg)

Qs : la quantité journalière de sol ingérée (mg/j)

T : la durée d'exposition théorique (année)

Ef_{sol} : le nombre de jours d'exposition au sol théorique annuel (jour)

P : le poids corporel de la cible représentée par le scénario considéré (kg)

Tm : la période sur laquelle est moyennée l'exposition (année) (pour une substance à seuil d'effet Tm = T ; pour une substance sans seuil d'effet, Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans)

10⁻⁶ : facteur de conversion en raison de termes exprimés en mg ou en kg.

$$(2) \quad DJE_{veg} = \frac{[\sum i (Cf_i \times Qf_i \times Af_i) + \sum j (Cr_j \times Qr_j \times Ar_j) + \sum k (Cfr_k \times Qfr_k \times Afr_k) + \sum l (Cpt_l \times Qpt_l \times Apt_l)] \times T \times Ef_{veg} \times 10^{-6}}{Tm \times P \times 365}$$

Avec :

DJE_{veg} : la dose journalière d'exposition théorique à la consommation de légumes (mg/kg/j)

T : la durée d'exposition théorique (année)

Ef_{veg} : le nombre de jours d'exposition théorique annuel à la consommation de légumes (jour)

Tm : la période sur laquelle est moyennée l'exposition (année) (pour une substance à seuil d'effet Tm = T ; pour une substance sans seuil d'effet, Tm est assimilée à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans)

P : le poids corporel de la cible représentée par le scénario considéré (kg)

Cf_i : la concentration de la substance dans le légume de type feuille (salade, choux, ...) (µg/kg poids frais)

Qf_i : la quantité journalière de légume de type feuille ingérée (g/j)

Af_i : % de légumes consommés provenant de la zone, pour le légume de type feuille

Cr_j : la concentration de la substance dans le légume de type racine (carotte, radis...) hors pomme de terre (µg/kg poids frais)

Suite



- Q_{r,j}** : la quantité journalière de légume de type racine ingérée (g/j)
A_{r,j} : % de légumes consommés provenant de la zone, pour le légume de type racine
C_{fr,k} : la concentration de la substance dans le légume de type fruit (tomate, courgette, ...) (µg/kg poids frais)
Q_{fr,k} : la quantité journalière de légume de type fruit ingérée (g/j)
A_{fr,k} : % de légumes consommés provenant de la zone, pour le légume de type fruit
C_{pt,k} : la concentration de la substance dans la pomme de terre (µg/kg poids frais)
Q_{pt,k} : la quantité journalière de pomme de terre ingérée (g/j)
A_{pt,k} : % de légumes consommés provenant de la zone, pour la pomme de terre
10⁻⁶ : facteur de conversion en raison de termes exprimés en mg ou en kg ou en µg.

REMARQUE

Lorsque des fruitiers sont considérés, il est préconisé d'ajouter dans la formule le facteur correspondant aux concentrations, quantités et % associés aux fruits consommés.

Chaque DJE est ensuite comparée à la Valeur Toxicologique de Référence du polluant (VTR – toxicité des substances pour l'homme), ce qui permet de calculer un risque sanitaire.

Les VTR sont choisies conformément aux instructions de la note du 31 octobre 2014 des ministères en charge de la santé et de l'environnement [12].

Le portail des Substances Chimiques de l'INERIS rassemble et met à disposition les VTR, ainsi que les fiches toxicologiques et environnementales de nombreuses substances chimiques.

Ce risque sanitaire est alors caractérisé par le calcul :

- D'un quotient de danger (QD) pour les substances à seuil d'effet (3)
- D'un excès de risque individuel théorique (ERI) pour les substances sans seuil d'effet (4).

$$(3) \quad \text{QD} = \frac{\text{DJE}}{\text{VTR}}$$

$$(4) \quad \text{ERI} = \text{DJE} \times \text{VTR}$$

Il est à noter que certaines substances ont à la fois des effets à seuil et des effets sans seuil, il faut alors calculer les deux et se référer au résultat le plus contraignant.

Dans un premier temps, et pour une voie d'exposition donnée, les risques sanitaires sont calculés substance par substance et milieu par milieu.

Pour le domaine de l'AU et dans ce guide, on propose de suivre l'interprétation des données EQRS proposées par les experts du domaine des sites et sols pollués dans la partie IEM de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (cf. [3]).

Des intervalles de gestion existent alors pour interpréter les résultats.

Les intervalles de gestion permettent de réaliser une première interprétation d'évaluation des risques en distinguant les cas où l'état des milieux est compatible avec les usages de ceux où il faut directement passer à des mesures de gestion et de ceux enfin où, face à l'incertitude, il s'agit d'être plus précis, en réalisant une EQRS complète. Le tableau extrait de la méthodologie nationale est présenté ici (cf. tableau 7) mais doit être adapté au cas particulier de l'agriculture urbaine.



Tableau 7 : Intervalles de gestion des risques dans le cadre de l'IEM (extrait de [3])

Intervalle de gestion des risques		L'interprétation des résultats	Les actions à engager
Substances			
à effet DE seuil	à effet SANS seuil		
$QD \leq 0,2$	$ERI \leq 10^{-6}$	L'état des milieux est compatible avec les usages constatés	<p>Le processus se poursuit selon les dispositions du paragraphe 2.5.1 (cf [3])</p> <ul style="list-style-type: none"> - S'assurer que les pollutions sont maîtrisées, dans le cas contraire, élaborer et mettre en oeuvre un plan de gestion. - La mise en place d'une surveillance peut être nécessaire pour vérifier la pérennité de la situation. - Afin d'assurer la pérennité de la compatibilité entre les usages et l'état des milieux, il peut être nécessaire de mettre en place des servitudes ou des restrictions d'usages.
$0,2 < QD < 5$	$10^{-6} < ERI < 10^{-4}$	Intervalle nécessitant une réflexion plus approfondie avant de s'engager dans un plan de gestion	<p>Le processus se poursuit selon les dispositions du paragraphe 2.5.2 (cf [3])</p> <p>Selon le cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires avec additivité (avec seuils classiques de 1 et 10^{-5}) ; - mise en oeuvre de mesures simples de gestion ; - identification et mise en oeuvre des premières mesures de maîtrise des risques : mesures sanitaires ou mesures environnementales ; - mise en oeuvre de restrictions d'usage ; <p>Pour gérer les pollutions et maîtriser leurs impacts, un plan de gestion est à élaborer et à mettre en oeuvre.</p>
$QD \geq 5$	$ERI \geq 10^{-4}$	L'état des milieux n'est pas compatible avec les usages	<p>Selon le cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisation d'une évaluation quantitative des risques sanitaires avec additivité (avec seuils classiques de 1 et 10^{-5}) ; - mise en oeuvre de mesures simples de gestion ; - identification et mise en oeuvre des premières mesures de maîtrise des risques : mesures sanitaires ou mesures environnementales ; - mise en oeuvre de restrictions d'usage ; <p>Pour gérer les pollutions et maîtriser leurs impacts, un plan de gestion est à élaborer et à mettre en oeuvre.</p>



L'état des milieux est considéré comme compatible avec les usages, non-compatible avec les usages ou bien l'intervalle nécessite une réflexion plus approfondie.

En cas de **compatibilité des usages** ($QD \leq 0,2$ et $ERI \leq 10^{-6}$), le risque est considéré comme acceptable. La démarche d'évaluation des risques s'arrête là. Une conservation de la mémoire et surveillance est à prévoir au cas par cas.

En cas d'**incompatibilité des usages** ($QD \geq 5$ et/ou $ERI \geq 10^{-4}$), le risque est considéré comme inacceptable, il s'agit de mettre en place un plan de gestion, tel que défini dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués [3].

En cas d'**incertitude**, intervalle nécessitant une réflexion plus approfondie, il s'agit de réaliser une EQRS complète, c'est-à-dire en pratiquant l'additivité des substances et des voies d'exposition, selon les recommandations des instances sanitaires émises au niveau national.

Pour que le risque soit considéré comme acceptable, la somme des Quotients de Dangers doit être inférieure à 1 (pour les effets à seuil) et la somme des Excès de Risques Individuels théoriques doit être inférieure à 10^{-5} (pour les effets sans seuil).

Afin de mener à bien la démarche de l'EQRS, il est nécessaire de se baser sur le schéma conceptuel actualisé (cf. 4.2.), d'argumenter le choix des concentrations retenues en polluants dans les différents compartiments environnementaux (cf. 4.3.), et le choix des paramètres d'exposition associés aux scénarios d'expositions retenus (cf. 4.4.).

Les évaluations des risques sanitaires peuvent être menées avec l'outil de modélisation et de simulation MODUL'ERS, développé par l'INERIS, et destiné à estimer les concentrations, les expositions et les risques sanitaires liés à un sol contaminé.

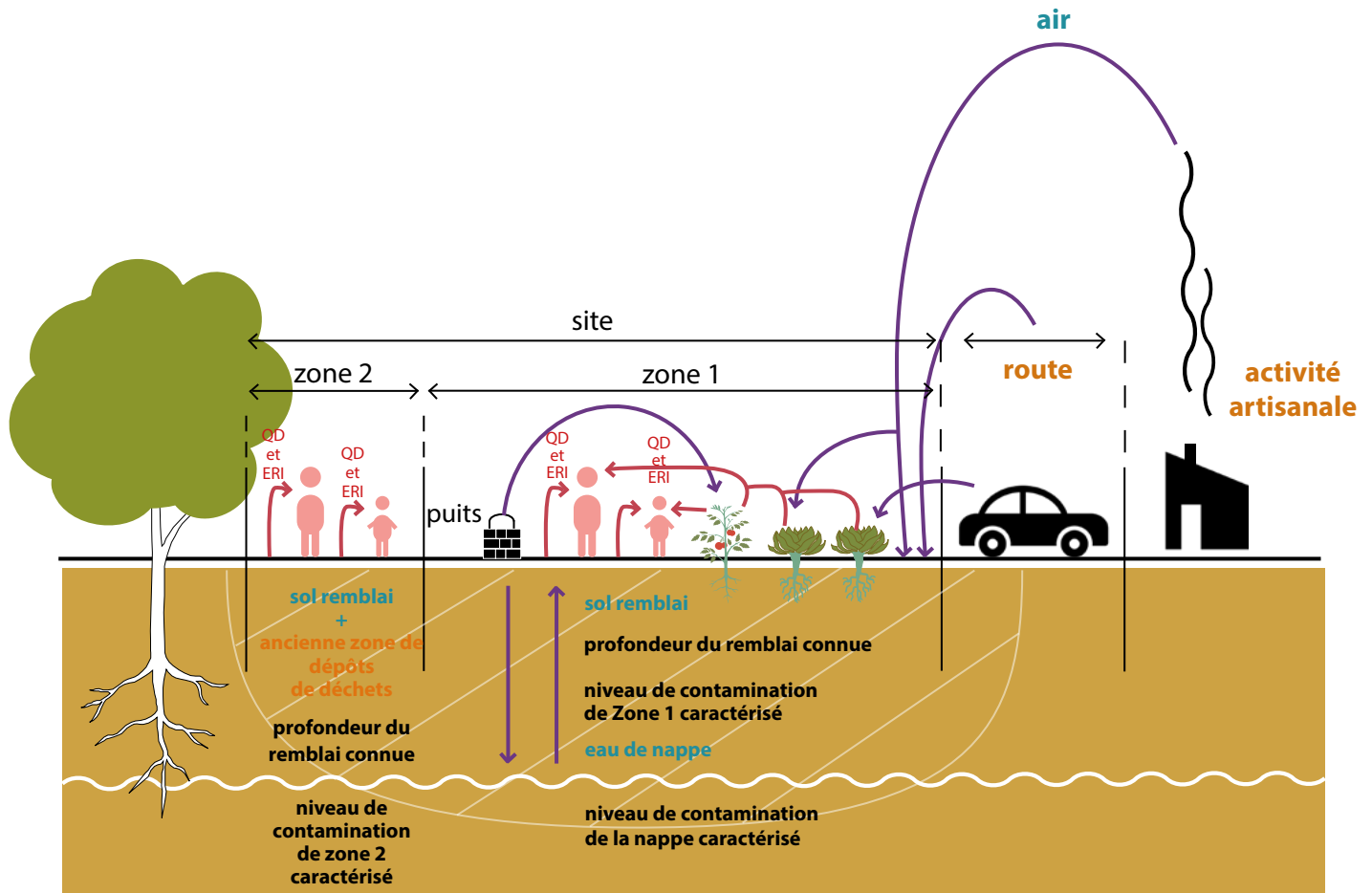




4.2. L'actualisation du schéma conceptuel

Pour effectuer les calculs de risques, les voies d'exposition, les concentrations retenues en polluants et les scénarios d'exposition doivent être définis et inscrits dans le schéma conceptuel actualisé (d'après les figures 2 et 3) en prenant en compte les résultats de l'étape 2 et 3 (cf. figure 9).

Figure 9 : Schéma conceptuel des usages projetés actualisé



- source de pollution
- milieu d'exposition / de transfert
- voie de transfert entre milieux
- voie d'exposition
- enjeu à protéger
- QD et ERI : niveaux de risques

Sur ce schéma actualisé, on peut voir que les pollutions du sol ont été caractérisées, dans l'espace et quantitativement.

L'enjeu est alors de quantifier le risque lié à la présence des polluants, dans le sol comme dans les légumes via le calcul des QD et ERI pour chaque scénario.

Remarque : Dans certains cas, des usages en milieu fermé (sous serre-tunnel par exemple) sont envisagés. Une attention particulière au risque lié à l'ingestion forte de poussières sera alors à apporter. Dans le cas (hors cadre de ce guide) où les polluants volatils devraient être considérés, alors il s'agirait d'être très vigilant dans la démarche à adopter lorsque des usages sont assimilés à un milieu fermé (ex : serre). Il s'agirait alors de considérer dans les évaluations des risques l'exposition des usagers pour la voie d'inhalation comme si on était dans un contexte en intérieur clos.



4.3. Concentrations en polluants dans les différents milieux d'expositions (sol, légumes)

4.3.1. Concentrations retenues dans les sols

Les concentrations en polluants dans les sols ont été mesurées en étape 2.

REMARQUE

Dans les calculs, il est le plus souvent considéré que la concentration totale du polluant retrouvé dans le sol est susceptible de produire un effet toxique sur l'organisme humain. Pourtant, seule une fraction du polluant atteindra *in fine* le sang.

La mesure de la bioaccessibilité orale (fraction du polluant extraite par les fluides digestifs) permet d'approcher la mesure de la biodisponibilité orale (fraction du polluant ingéré qui est absorbé et atteint la circulation systémique), afin d'affiner les calculs de risques [13][14].

Il existe ainsi des tests de bioaccessibilité orale validés pour l'arsenic, le plomb et le cadmium (cf. BARGE - the Bioaccessibility Research Group of Europe) et en cours de développement pour les HAP (Forhest).

4.3.2. Concentrations retenues dans les légumes

4.3.2.1. Des légumes déjà cultivés sur la parcelle

Lorsque des légumes sont déjà cultivés sur le terrain, ces derniers peuvent être **échantillonnés et analysés** en suivant un protocole spécifique [15]. Cette démarche est alors à considérer comme une approche complémentaire à l'étape 3.

On compare ensuite les résultats avec les valeurs réglementaires existantes pour quelques polluants comme par exemple le plomb et le cadmium (règlement CE n°1881/2006 et actualisations).

REMARQUE

Il est alors important d'insister sur la nécessité de préparation des légumes au laboratoire et avant analyse. En effet, il s'agit de se référer aux bonnes pratiques de consommation et le plus souvent, de spécifier au laboratoire *a minima* le besoin de lavage des légumes voire l'épluchage de certains aliments consommés ainsi.

Si les concentrations dans les légumes dépassent ces valeurs seuils, leur mise sur le marché (à titre onéreux ou gratuit) est interdite. Leur culture sera alors d'emblée prohibée, sans devoir passer par une EQRS. Pour les polluants qui ne disposent pas de valeurs réglementaires en France, on peut comparer à titre indicatif les résultats aux valeurs françaises présentées dans les Etudes de l'Alimentation Totale (EAT) de l'ANSES (teneurs moyennes dans les denrées alimentaires préparées). Il faut ensuite procéder à l'EQRS en intégrant les résultats de concentrations des légumes associés au site d'étude.

4.3.2.2. Des modèles de transfert sol-plante ou des valeurs de bioconcentration

Il est pourtant rare que des légumes poussent déjà lors de la conception d'un projet d'AU.

Il existe donc des outils de **modélisation de transfert sol-plante** s'appuyant sur les concentrations mesurées dans les sols. Il existe également des **facteurs de bioconcentration (BCF)**, correspondant à la relation entre la teneur du polluant dans le sol et celle susceptible d'être présente dans les légumes (cf. les bases de données BAPPET - base de données sur les teneurs en ETM de plantes potagères et BAPPOP - base de données équivalente pour les polluants organiques, ainsi que les travaux menés par l'INERIS dans le cadre de MODUL'ERS, qui proposent des valeurs de BCF - retravaillées et compilées : « Paramètres de transfert des polychlorodibenzodioxines, polychlorodibenzofurannes et des polychlorobiphényles, utilisés pour l'évaluation de l'exposition », INERIS-DRC-16-159776-09593A « Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition : Application dans le logiciel MODUL'ERS », INERIS-DRC-17-163615-01452A).

Le transfert sol-plante dépend de nombreux facteurs et notamment, pour les ETM :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sols (pH, taux de matière organique, capacité d'échanges cationiques...) qui rendent les polluants plus ou moins mobiles et donc plus ou moins transférables



- Des caractéristiques propres à chaque polluant (ex : le plomb est connu pour être moins mobile que le cadmium, très mobile)
- Des types et variétés de légumes (ex : les légumes fruits sont connus pour être moins accumulateurs de polluants que les légumes feuilles ou racines).

Il est donc difficile de prendre en compte tous ces facteurs dans les modèles ou BCF. Cela implique des incertitudes et bien souvent, ces dernières peuvent surestimer ou sous-estimer le transfert des polluants du sol vers les légumes. La littérature scientifique ne propose aucun modèle universel pour prédire le transfert dans un tel système complexe.

4.3.2.3. Des parcelles expérimentales à mettre en place dans le cadre de la démarche d'évaluation des risques (étape 4)

Face aux incertitudes liées aux modèles et BCF, la meilleure façon d'apprécier les transferts sol-plante de polluants est encore de faire pousser des légumes dans le sol de chaque zone considérée et de prendre le temps d'analyser ces derniers.

Cela passe donc par une phase de culture expérimentale, à intercaler entre l'étape 3 et l'étape 4 de la démarche, et qui peut prendre 3 à 6 mois (le temps de cultiver les légumes puis de les analyser) en fonction de la saison de culture.

Les cultures peuvent se faire sur le site, ou bien encore être en pots contenant le sol du terrain, sous serre, pour contrôler plus facilement la croissance des plantes et accélérer le processus.

Lorsque les interprétations d'analyses de sol de l'étape 3 mènent au besoin d'appliquer l'étape 4 d'évaluation des risques, il est donc fortement conseillé de privilégier (lorsque cela est techniquement faisable) la mise en place des parcelles de cultures expérimentales, sur au moins une saison de cultures, afin de pouvoir échantillonner, analyser et disposer de concentrations en polluants mesurés dans les légumes types (feuille, racine, fruit et tubercule), plutôt que d'appliquer des modèles. Ceci implique de pouvoir disposer des quatre types de légumes en choisissant dans chacun l'espèce ou la variété qui semble la plus destinée à être produite par la suite sur le site (classiquement en Ile-de-France : laitues, carottes, tomates, pommes de terre).

REMARQUE

Il est ici également important de ré-insister sur la préparation des légumes au laboratoire et avant analyse (cf. remarque Etape 4 - 4.3.2.1).

Ces concentrations pourront être comparées dans un premier temps aux données réglementaires, aux valeurs de références EAT, ainsi qu'aux données BAPPET et BAPPOP. Ensuite, elles seront intégrées aux EQRS.

Cette approche permet de réduire les incertitudes associées aux modèles. Par contre, il existe une variabilité interannuelle forte des concentrations dans les végétaux, liée notamment aux conditions météorologiques, d'où la pertinence, le cas échéant, de suivre ensuite les cultures sur plusieurs années.

4.4. La caractérisation des scénarios d'usage et leurs paramètres d'exposition associés

En agriculture urbaine, différents scénarios d'usage peuvent se rencontrer. Ci-dessous, les cinq grands types d'usagers les plus souvent rencontrés :

- Les **agriculteurs urbains professionnels** (salariés ou chefs d'exploitation)
- Les **adultes jardiniers amateurs** (jardiniers ou bien bénévoles)
- Les **enfants jardiniers** (jardiniers accompagnant leurs parents, en visites ou lors d'ateliers pédagogiques)
- Les **adultes consommateurs/visiteurs** (adultes consommateurs réguliers des légumes et visiteurs ponctuels)
- Les **enfants consommateurs/visiteurs** (enfants consommateurs réguliers de légumes et visiteurs ponctuels)



Les scénarios ne sont pas forcément tous susceptibles d'être rencontrés, et d'autres, plus spécifiques, peuvent être ajoutés. D'où l'importance de réaliser la démarche au cas par cas, en fonction des spécificités du projet.

Ces différents scénarios sont associés à des paramètres d'exposition. Certains sont fixés au préalable :

- Durée d'exposition théorique (T)
- Période sur laquelle est moyennée l'exposition (Tm).

Et d'autres sont des paramètres sur lesquels l'évaluateur fait des choix, propose des hypothèses et développe un scénario plus ou moins réaliste et/ou conservatoire :

- Poids corporel (P)
- Nombre de jours d'exposition théorique annuel (Ef)
- Quantité journalière de sol ingérée non intentionnellement (Qs)
- Quantité journalière de légumes ingérée (Qleg).
- Pourcentage de légumes provenant du site dans la quantité journalière ingérée (Aleg).

Concernant ces derniers, dans les paragraphes suivants, des références bibliographiques sont citées (listes non-exhaustives) et des tableaux de valeurs sont proposés en exemple, que l'évaluateur pourra retenir ou non, dans l'évaluation des risques.

4.4.1. Durée d'exposition théorique (T) et période sur laquelle est moyennée l'exposition (Tm) ; paramètres fixés

La durée d'exposition théorique représente le nombre d'années pendant lesquelles l'utilisateur considéré dans le scénario donné est exposé, soit le nombre d'années passées sur le site. Face à l'incertitude de cette variable, dépendant des cas de figures susceptibles d'être rencontrés même au sein d'un même projet, la littérature propose communément T = 30 ans pour les scénarios adultes jardiniers et T = 6 ans pour les scénarios enfants [15] [16]. Pour les travailleurs, la durée légale est de 42 ans.

REMARQUE

En première approche, il est considéré conventionnellement que les scénarios enfants sont associés à un âge compris entre 0 et 6 ans compris (tranche d'âge où les effets des polluants sur la santé sont les plus sensibles et où l'exposition via le contact main/bouche est le plus prégnant). Des classes d'âge plus précises telles que 1-3 et 3-6 ans peuvent être aussi considérées dans l'évaluation des risques sanitaires.

Pour une substance à seuil d'effet, $T_m = T$. Pour une substance sans seuil d'effet, T_m est assimilé à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans.

4.4.2. Poids corporel (P)

Plusieurs études concernant la masse corporelle de la population française sont disponibles à ce jour. Les principales sont citées dans les travaux de l'INERIS, et notamment dans les rapports « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODULERS » et « Synthèse des travaux du Département Santé environnement de l'Institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition » [17] [18]. Des articles scientifiques sont cités, tels que « Description du poids corporel en fonction du sexe et de l'âge dans la population française », de Tanguy et al. [19].

Tableau 8 : Exemple de référence bibliographique pour le paramètre P (poids), pour les scénarios adulte et enfant

Paramètre	Valeur		Référence
P	Enfant (0 à 6 ans)	14,6 kg	[19]
	Adulte (+ de 18 ans)	69,5 kg	

4.4.3. Nombre de jours d'exposition théorique annuel (Ef)

Pour la voie d'ingestion de légumes, Ef représente le nombre de jours par an où des légumes sont consommés par l'utilisateur, soit 365 jours par an en considérant que la quantification de la consommation est lissée sur toute l'année et exprimée en g/j.

Pour la voie ingestion de sol, Ef représente le nombre de jours par an où l'utilisateur se rend sur le site. Ce dernier dépend des scénarios considérés et peut être très variable.

Il existe peu de références bibliographiques évoquant le nombre de jours passés en moyenne dans des espaces cultivés en ville aujourd'hui en France tels que les jardins familiaux [16] [20]. En voici certaines rassemblées dans le tableau 9.



Tableau 9 : Exemple de références bibliographiques pour le paramètre *Ef sol* (nombre de jours d'exposition au sol théorique annuel) pour différents scénarios

Paramètre	Scénario	Valeur	Référence
Ef sol	Agriculteur urbain chef d'exploitation vivant sur place (approche majorante – pas de référence bibliographique)	365 j/an	—
Ef sol	Agriculteur urbain salarié travaillant 5 j/semaine (code du travail, considérant les congés payés)	220 j/an	[21]
Ef sol	Adulte jardinier – Jardins familiaux	Scénario médian : 150 j/an Scénario majorant : 330 j/an	[16]
Ef sol	Enfant jardinier – Jardins familiaux	Scénario médian : 75 j/an Scénario majorant : 150 j/an*	[16]

* : présence entre mai et octobre, à raison des mercredis, week-ends et chaque jour des vacances scolaires de la période estivale

Dans certains cas, des agriculteurs urbains peuvent vivre sur place, avec des enfants. Dans d'autres cas, certains salariés agricoles travaillent et fréquentent les lieux 5 jours par semaine, et des enfants viennent ponctuellement lors de visites scolaires.

Ainsi, à concentrations égales de polluants dans les sols, les risques sanitaires augmentent avec la durée d'exposition.

Ces données, très site-spécifiques, et qui manquent de références, peuvent également être issues d'enquêtes sur site (en s'assurant de leur robustesse), permettant de se rapprocher au plus près de la réalité.

4.4.4. Quantité journalière de sol ingérée (Qs)

La quantité de sol ingérée telle que définie dans un scénario d'agriculture urbaine est l'estimation de la quantité de matrice « sol » ingérée de manière non-intentionnelle lors de l'activité de jardinage et/ou d'agriculture, par contact sol-main-bouche ou par ingestion d'envol de poussières.

Les valeurs bibliographiques existantes sont peu nombreuses, non-spécifiques à l'activité d'agriculture urbaine et très variables, allant de 20 mg/j à 480 mg/j [17].

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, dans sa version actualisée en 2017, préconise pour les adultes une quantité ingérée de 50 mg/j, à retenir en première approche en contexte de sites et sols pollués (sans définir de scénario particulier). Cette valeur doit pour autant être adaptée aux scénarios d'exposition pertinents. L'US-EPA, l'agence américaine de protection de l'environnement, recommande, pour des cultures potagères conduisant à du bêchage, de retenir une valeur de 200 mg/j à pondérer selon le nombre de jours d'activité [3].

Pour les enfants, les valeurs de 200 mg/j sont citées en valeur haute (pouvant être considérée pour un enfant jardinant) et 91 mg/j pour une fréquentation du site, en estimant que les enfants ne jardinent pas mais fréquentent les lieux[3].

Tableau 10 : Exemple de références bibliographiques pour le paramètre *Qs* (quantité journalière de sol ingérée) pour différents scénarios

Paramètre	Scénario	Valeur	Référence
Qs	Adulte jardinant impliquant du bêchage	200 mg/j	US EPA [3]
Qs	Adulte hors travail du sol	50 mg/j	US EPA [3]
Qs	Enfant jardinant	200 mg/j	US EPA [3]
Qs	Enfant hors jardinage	91 mg/j	INVS-INERIS [3]

4.4.5. Quantité journalière de légumes ingérée (Qleg)

Qleg représente la quantité de légumes ingérés par jour par l'individu considéré dans un scénario donné (légumes provenant du site ou non, sans distinction à ce stade).



En France, pour fixer ces valeurs, il est d'usage de se référer à des bases de données nationales et publiques résultant d'enquêtes telles que :

- le rapport de l'AFSSA sur l'exposition théorique des nourrissons et enfants en bas âge aux résidus de pesticides, apportés par les aliments courants et infantiles [22]
- le rapport de l'Enquête Individuelle et Nationale sur les Consommations Alimentaires (INCA 1) [23]
- la base de données CIBLEX [24]
- le rapport INCA 2 [25]
- les consommations alimentaires dans différents pays européens [26].

Le rapport « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS » de l'INERIS présente son avis sur ces données et donne des valeurs de référence par type de légumes [17].

Par ailleurs, d'autres études se réfèrent à des données plus anciennes, mais plus spécifiques à l'activité de jardinage urbain : l'étude de D. Dubeaux, « Les français ont la main verte », datant de 1994, correspond aux données de familles françaises avec potager, consommant sensiblement plus de fruits et de légumes que la moyenne française représentée dans les études nationales citées ci-dessus [27].

Dans les jardins collectifs, ce constat est en cours d'établissement en France (travaux de N. Darmon, 2017). Pour les autres formes d'agriculture urbaine, c'est encore loin d'être établi. On peut donc se baser sur une hypothèse de plus forte consommation que la moyenne française (bien établie aux US, Litt, 2008, Alaimo, 2011) et cela justifie donc de maximiser les consommations de légumes provenant du site.

La CIRE IDF s'inspire notamment de cette étude pour réaliser son rapport « Jardins Familiaux du Fort d'Aubervilliers : Avis de la CIRE Ile-de-France sur l'étude d'HPC Envirotec pour AFTRP » (2010) [16], un des rares rapports publics français détaillant l'application de l'EQRS à un site d'agriculture urbaine.

Tableau 11 : Exemple de référence bibliographique pour le paramètre Qleg (quantité journalière de légumes ingérée) pour les scénarios adultes et enfants

Qleg	Référence		
	Enfants	Adultes	
Légumes feuilles	37,5 g/j	84,7 g/j	[16]
Légumes fruits	110,9 g/j	140 g/j	[16]
Légumes racines	20,3 g/j	34,8 g/j	[16]
Pommes de terre	49,1 g/j	106,9 g/j	[16]

4.4.6. Pourcentage de légumes provenant du site dans la quantité journalière ingérée (Aleg)

Certaines études citées au paragraphe précédent présentent également des pourcentages de légumes « autoconsommés », en distinguant les scénarios correspondant à la population générale, des ménages possédant un jardin potager, et enfin de la population agricole.

On considère ici que les agriculteurs urbains peuvent être considérés comme une population agricole. Les jardiniers des jardins collectifs, comme des ménages possédant un jardin potager et enfin les consommateurs sont ramenés à la population agricole, en considérant qu'ils consomment sensiblement plus de légumes par rapport à la population générale.

Le rapport « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS » de l'INERIS présente par exemple des valeurs moyennes d'autoconsommation pour les scénarios de populations agricoles et de ménages possédant un jardin potager (cf. tableau 12).





Tableau 12 : Exemple de références bibliographiques pour le paramètre Aleg (pourcentage de légumes consommés provenant de la zone) pour différents scénarios

Scénario	Aleg (sans unité)					Référence
	Agriculteur urbain	Adulte consommateur	Enfant consommateur	Adulte jardinier	Enfant jardinier	
Légumes feuilles	0,65	0,65	0,65	0,5	0,5	[17]
Légumes fruits	0,65	0,65	0,65	0,55	0,55	[17]
Légumes racines	0,65	0,65	0,65	0,45	0,45	[17]
Pommes de terre	0,75	0,75	0,75	0,45	0,45	[17]

4.5. Discussion des incertitudes

Les incertitudes sont inhérentes à la démarche d'EQRS. Cette étape permet de discuter l'éventuelle sur- ou sous-estimation du risque du fait des hypothèses retenues. Elles peuvent être dues au fait de la variabilité liée à l'hétérogénéité naturelle des données, ou bien liée au manque de connaissance.

De plus, elles touchent aussi bien la phase d'investigation (plan d'échantillonnage) que l'évaluation de la toxicité des substances et la caractérisation des expositions.

L'objectif de cette étape est de démontrer que le risque est évalué de manière raisonnablement conservatoire.

Elle doit être prise en compte dans l'argumentation des conclusions de l'étude car elle permet de mettre en valeur les éléments d'incertitude interférant dans les résultats et donc accompagne la validation des conclusions. L'évaluation des incertitudes peut être de type qualitatif, semi-quantitatif ou quantitatif.

Liste de sources d'incertitudes rencontrées lors de l'utilisation d'une EQRS :

- Incertitudes relatives aux VTR : des facteurs d'incertitude protecteurs sont appliqués aux données toxicologiques disponibles pour couvrir toutes les populations, y compris les plus sensibles ; les VTR sont souvent actualisées. L'application de la présente méthodologie doit se faire de façon conforme aux évolutions de ces valeurs.
- Incertitudes liées à la stratégie et au plan d'échantillonnage : lieu et profondeur des prélèvements de sol, prélèvements de légumes (stade de maturité, variétés, représentativité), liées aux analyses chimiques en laboratoire.
- Incertitudes relatives à l'évaluation des concentrations mesurées dans les différents milieux d'exposition en lien avec le programme analytique retenu.
- Incertitudes relatives aux paramètres d'exposition : quantité de sol ou de légumes ingérée, pourcentage de légumes provenant du site, fréquentation, type de populations exposées...
- Incertitudes liées au manque de connaissance scientifique concernant le transfert des polluants (des sols vers les plantes, d'où la pertinence de mettre en place des essais pilotes, lorsque cela est possible).
- Incertitudes liées au fait que la bioaccessibilité n'est aujourd'hui que très peu prise en compte dans les EQRS. Pourtant, plusieurs études montrent que seule une fraction des polluants peut être absorbée par l'organisme [14]. Des mesures de bioaccessibilité, tant sur les sols que sur les végétaux, sont aujourd'hui pratiquées pour certaines substances, normalisées à l'ISO (Organisation internationale de normalisation). Il est donc possible d'approfondir l'étude menée si besoin.



4.6. Introduction aux mesures de gestion

En cas d'incompatibilité d'usage pour les enjeux sanitaires considérés, chaque situation demande une approche spécifique. Dans certains cas, des mesures simples peuvent être de nature à rétablir la compatibilité. Dans d'autres cas, il s'agira de passer par un plan de gestion, ou bien encore d'abandonner complètement le projet.

4.6.1. Signaler le cas de pollution

Lorsqu'une pollution a été identifiée, il s'agit avant tout d'informer les personnes directement concernées pour convenir des suites à donner : les usagers et la mairie. Si l'étude historique met en évidence une ancienne installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) pouvant être à l'origine de la pollution du site, le préfet devra être informé.

Dans certains cas où la pollution pourrait impacter les environs du terrain, non considérés dans l'étude, il s'agira d'informer également les propriétaires et usagers des parcelles voisines potentiellement impactées, ainsi qu'éventuellement le maire et le préfet.

L'Agence Régionale de Santé (ARS) est l'autorité compétente pour donner un avis sur les mesures de gestion sanitaires à mettre en œuvre pour protéger la population. Elle est généralement saisie par l'autorité administrative en charge du dossier (le maire ou le préfet).

4.6.2. Les catégories de mesures de gestion

On peut regrouper les mesures de gestion en trois catégories :

- Les **mesures de traitement de la pollution** (excavation, dépollution par voie chimique, thermique, physique ou biologique). Ces mesures demandent la mise en œuvre d'une ingénierie maîtrisée par les acteurs de la dépollution. Les coûts et la durée de traitement sont principalement fonction des substances polluantes, des niveaux de concentration, des volumes impactés et de la nature du sous-sol. Dans certains cas, la démarche peut être onéreuse et prendre du temps. Ces mesures sont adaptées pour traiter des sources de pollutions, avec de fortes concentrations.

Dans le cas des pollutions diffuses ou résiduelles, fréquemment rencontrées en agriculture urbaine, ces mesures de gestion sont peu adaptées.

- Les **mesures de suppression de la/les voies d'expositions** problématiques, sans traiter la pollution elle-même (ex : culture de végétaux non-alimentaires en pleine terre, utilisation de techniques de cultures hors-sol : hydroponie, container indoor, bacs de cultures contenant de la terre saine et/ou du substrat organique⁸, recouvrement des terres polluées par des terres d'apport contrôlé...).
- Les **mesures de réduction de l'exposition** Selon la nature et l'ampleur des risques, dans certains cas, il peut être possible, en étudiant finement les paramètres d'exposition jouant sur l'ampleur du risque, de les réduire en les rendant acceptables par la mise en place des mesures de gestion applicables à l'échelle de l'exploitation (ex : choix de cibler la culture sur certains types de légumes peu accumulateurs et analyses de contrôle, utilisation d'amendements du sol pour réduire la mobilité et la disponibilité des polluants, lavage avec soin des légumes, épluchage de ceux qui peuvent l'être, respect des mesures d'hygiène telles que se laver les mains et porter des gants de jardinage...).

Lorsque les mesures de gestion impliquent une **gestion du risque par les usagers** (ex : choix de cultures peu accumulatrices, précautions d'hygiène à appliquer...), il est difficile de s'assurer de leur bonne application et de leur respect dans le temps. Cela demande donc une vigilance accrue et des moyens particuliers.

Le suivi des mesures de réduction de l'exposition à l'échelle de l'agriculture urbaine professionnelle en pleine terre, impliquant une gestion du risque par les travailleurs (usagers), fait l'objet d'un projet d'outil de gestion des risques, le **Plan de Maîtrise Sanitaire propre à l'AU** développé par l'équipe de recherche REFUGE d'AgroParisTech.

Le PMS est un outil permettant aux porteurs de projet de répondre aux obligations du «Paquet Hygiène», entré en vigueur en 2006 dans l'Union Européenne. Il permet aux producteurs de s'assurer de la maîtrise des risques chimiques, mais aussi physiques et microbiologiques au sein de leur structure. Il leur permet d'assurer le suivi dans le temps des mesures de gestion et de contrôle préconisées, de s'assurer de leur efficacité et de leur pérennité (ex : analyses de végétaux, de sol), de structurer leur traçabilité et d'assurer une transparence en termes de communication auprès des différentes parties prenantes concernées (consommateurs, bénévoles, salariés, propriétaire de site).

⁸ A noter qu'il est important de connaître la qualité et la provenance de la terre saine. Des travaux de recherche étudient la fabrication de substrats de cultures uniquement à partir de déchets de la ville (ex : **projet T4P** d'AgroParisTech).



4.6.3. Mesures de conservation de la mémoire et de suivi de gestion

L'objectif est de s'assurer que la mémoire de la pollution est conservée et de vérifier le respect et l'efficacité des mesures de gestion dans le temps, et si besoin est, de réajuster ces dernières.

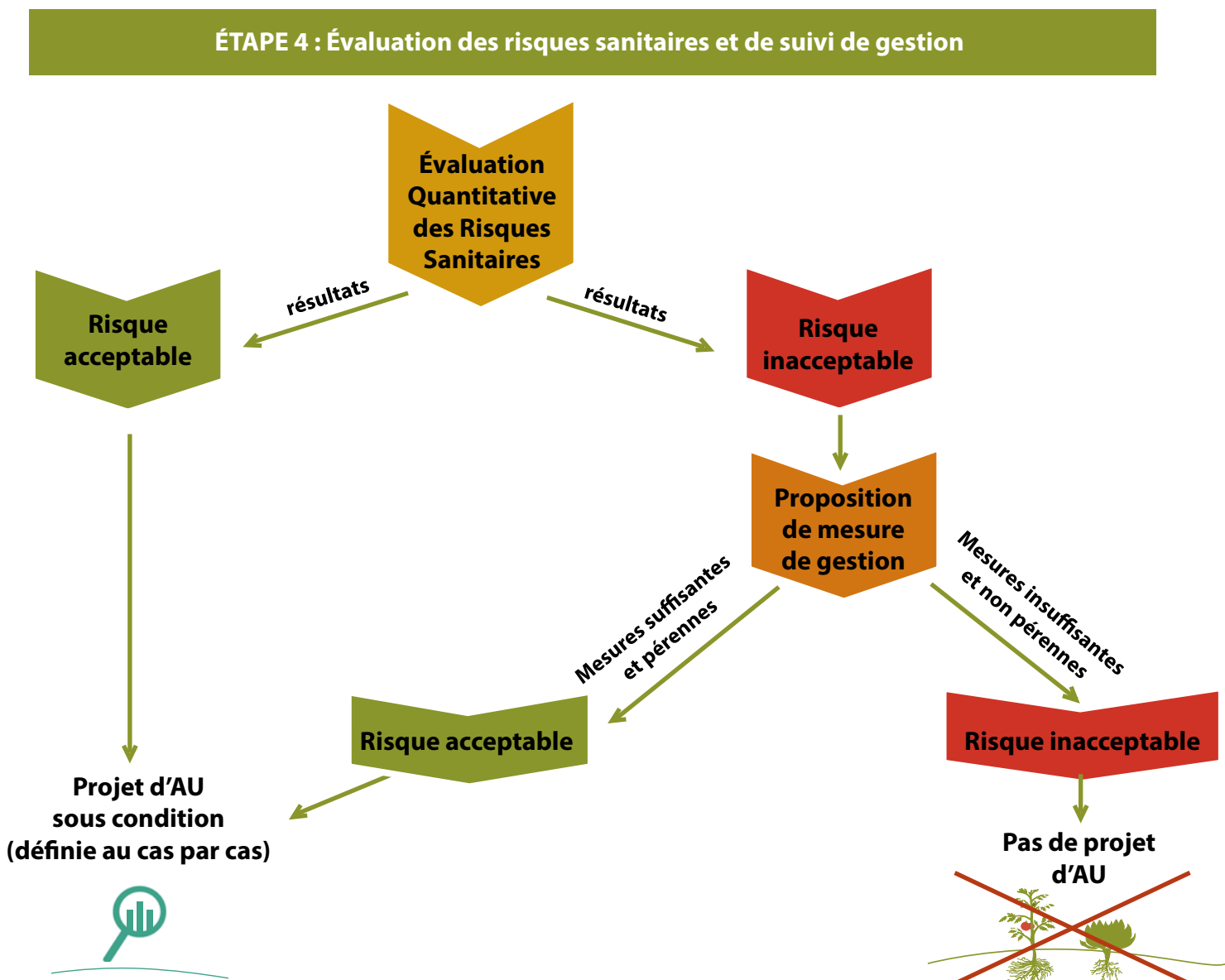
Cette démarche est indispensable et à ne pas négliger, car c'est la manière d'**assurer la sécurité du projet** face aux incertitudes de la démarche et aux limites de connaissances scientifiques.

Il s'agit de détailler, en plus des modalités de mise en place des mesures de gestion, celles de suivi de leur application et de leur efficacité dans le temps (suivi de leurs résultats ou des risques résiduels). Cela passe notamment par la mise en place d'actions de signalement, de surveillance et de contrôle à réaliser, et d'un échéancier.

En effet, il peut y avoir des mesures de contrôles immédiats ou s'étendant sur plusieurs années (ex : surveillance de la qualité des légumes cultivés).

Par ailleurs, il s'agit de suivre également la bonne **communication** au sujet des risques auprès des propriétaires et usagers, et de bien garder la **mémoire de la pollution** au cours du temps, en inscrivant son existence sur des documents d'archive, ou des outils territoriaux/nationaux de type bases de données/SIG internes, des documents d'urbanisme ou encore sur un dossier de servitude.

Figure 10 : Récapitulatif de l'étape 4





RÉCAPITULATIF

Assistance et suivi de la démarche



Qui solliciter ?

L'application de l'étape 4 sollicite une expertise pointue, celle de l'évaluation quantitative des risques sanitaires. Il est donc préconisé d'avoir systématiquement recours à un expert reconnu en la matière (ex : bureaux d'études spécialisés en SSP), tant l'interprétation des résultats est délicate et les conséquences d'une interprétation incomplète sont importantes.

L'étape 4 a pour objectif de donner les clés de lecture et de compréhension de l'EQRS au commanditaire, afin de l'éclairer sur les attendus du cahier des charges, qu'il puisse prendre part aux discussions avec les experts et qu'il dispose d'un regard critique et de contrôle, notamment lors de la discussion des incertitudes.



Points de vigilance

Il s'agit à cette étape de s'appliquer à réaliser les évaluations des risques au plus près de l'usage retenu. Cela demande d'être à jour sur l'évolution rapide des références bibliographiques alimentant les EQRS, et une précision dans l'argumentation des paramètres sélectionnés et de la discussion des incertitudes.

Il est important de s'assurer que les étapes 1, 2 et 3 aient été correctement menées avant de se lancer dans une EQRS. En effet, si le diagnostic au préalable est incomplet, les résultats de l'EQRS seront faussés et donc erronés.

Pour mener à bien la démarche, il s'agit de connaître la répartition des responsabilités vis-à-vis des pollutions identifiées, entre les différents acteurs impliqués [1].

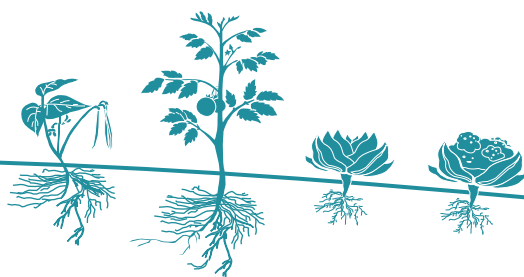
L'évaluation des risques étant réalisée selon des paramètres précis (fréquentation d'enfants, autoconsommation etc.), toute modification d'usage du site nécessite la réalisation d'une nouvelle EQRS.



Pour aller plus loin

- « Interprétation de l'Etat des Milieux » - Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (avril 2017 - en cours d'actualisation).
- « Analyse des Risques Résiduels - Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués » (avril 2017, en cours d'actualisation). L'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) (2007 – en cours d'actualisation).
- L'article « Health Risks Assessment in three urban farms of Paris Region for Different Scenarios of Urban Agricultural Users : Case of Soil Trace Metals Contamination », Barbillon et al. (2019).
- Le guide « Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués » pour l'introduction au plan de gestion (avril 2017, en cours d'actualisation).
- Les bases de données BAPPET et BAPPOP pour l'étude des transferts sol-plantes de polluants, ADEME (2014 et 2015).
- Le rapport « Phytodisponibilité des ETM pour les plantes potagères et extrapolation dans la quantification de l'exposition des consommateurs » concernant les apports de matières pour immobiliser les ETM dans les sols, ADEME (2017).
- Le guide « Pollution du sol des jardins collectifs, quelle responsabilité ? » Concernant les questionnements de responsabilité, POLLUSOL (2018).
- L'ouvrage « Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués, Etat de l'art et guide de mise en œuvre » Concernant les phytotechnologies, ADEME, INERIS (2012).
- Le « Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux » de l'ADEME et l'INERIS (seconde édition - 2014).
- La norme NF ISO 17924 « Qualité du sol – Evaluation de l'exposition humain 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 » (2018).
- Le rapport « Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 31 décembre 2017 », INERIS (2018).

CONCLUSION



La démarche présentée dans ce guide vise à accompagner les acteurs de l'aménagement de la ville dans l'installation d'agriculture urbaine en s'adaptant au mieux à la contamination des sols mis à disposition et en s'assurant que les risques sanitaires liés aux potentielles pollutions sont maîtrisés, aussi bien du fait du contact avec le sol qu'au travers de la consommation des légumes cultivés.

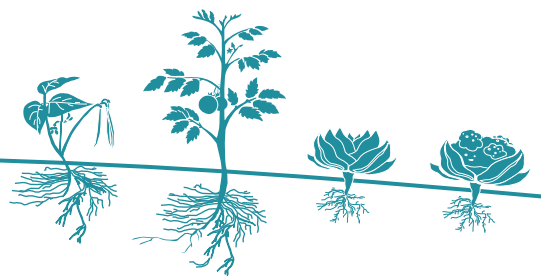
Ce guide vise à faciliter la compréhension et la mise en œuvre de la démarche, ainsi qu'à orienter vers les acteurs susceptibles d'accompagner voire de réaliser les différentes étapes. Il reprend les principes de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués développée par le ministère en charge de l'environnement, en commençant par une étude historique et environnementale du site (étape 1). Dans un second temps, il s'agit de proposer une stratégie d'échantillonnage (étape 2) et d'interprétation des analyses des sols (étape 3). Le cas échéant, le guide oriente vers la réalisation d'une évaluation des risques (étape 4), dont le déroulé demande une expertise sanitaire bien spécifique. A la fin de cette démarche, la mise en place de mesures de gestion et de communication permettant l'installation d'un projet d'agriculture pourra ou non être proposée, prenant en compte finement les contraintes spécifiques au site.

Face à une diversité de situations actuellement rencontrées et une grande variabilité des actions menées pour gérer les problématiques de contaminations des sols, ce guide a pour ambition de devenir un premier outil technique visant à harmoniser les démarches en agriculture urbaine.

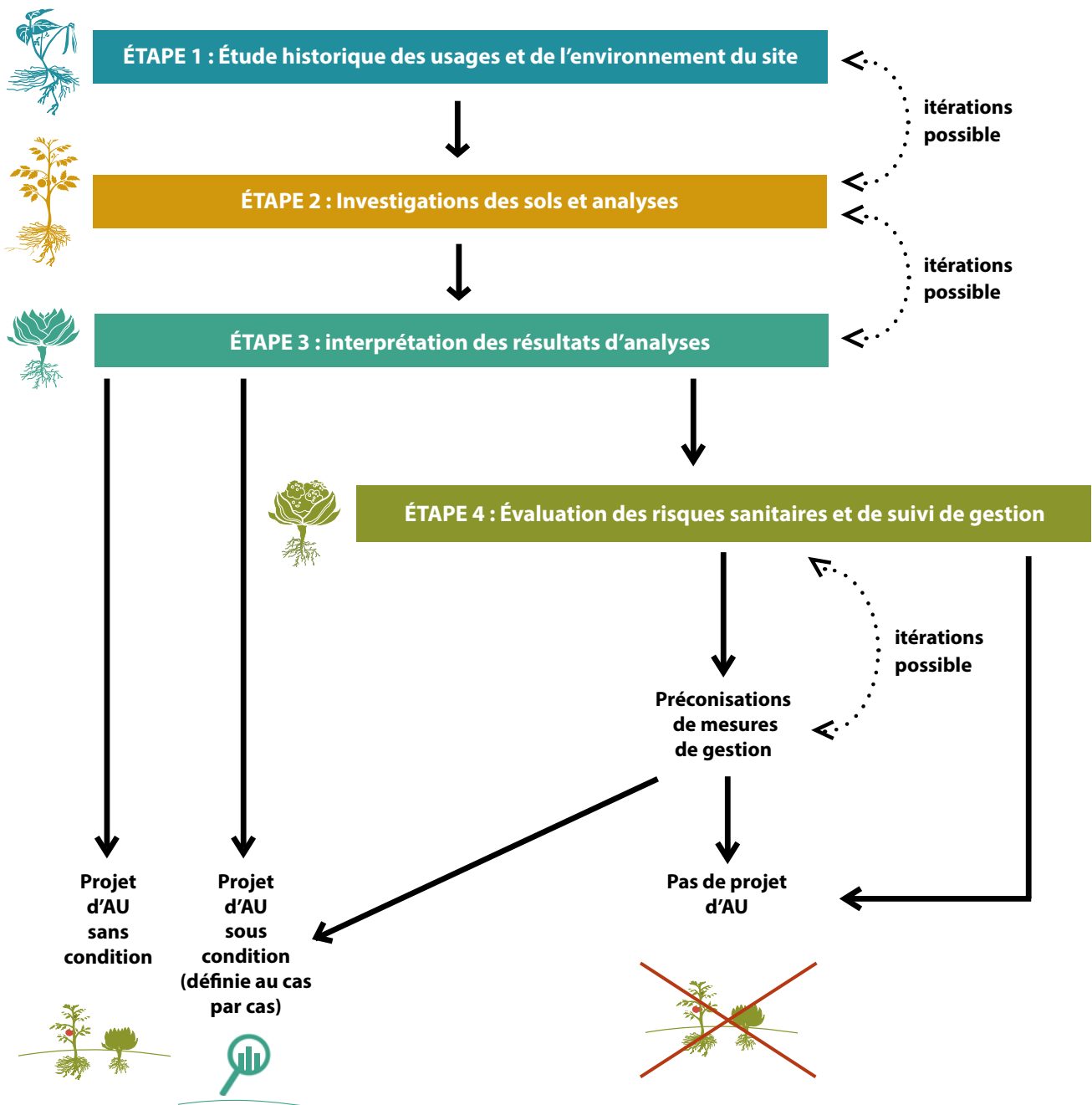
De plus, la science avançant rapidement, surtout sur un tel « front de recherche », les éléments présentés dans ce guide sont susceptibles d'évoluer rapidement. Il aura donc vocation à être actualisé et à se perfectionner d'années en années.

Pour ce faire, AgroParisTech va procéder à une phase de test pour étudier l'application du guide à différents projets d'agriculture urbaine à venir.

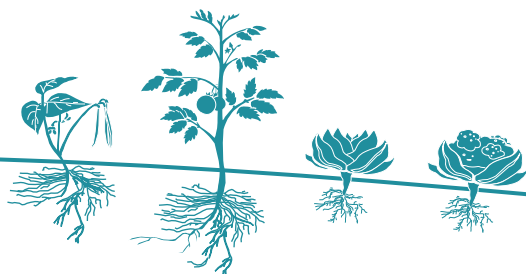
SCHÉMA BILAN



Terrain de pleine terre disponible en milieu urbain



RÉFÉRENCES



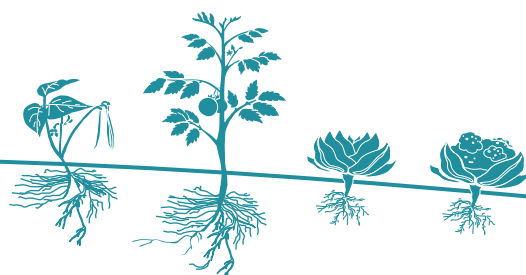
- [1] Damas O. et al. « Présomption de pollution d'un sol : des clés pour comprendre et agir ». Plante & Cité, 2018, 36 p.
- [2] Karlen D. L. et al. « Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation », Soil Sci. Soc. Am. J., 61, 1997, p. 4-10.
- [3] Ministère en charge de l'environnement « Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués », DGPR, 2017, 128 p.
- [4] Schwartz C. et al. « Jardins potagers : terres inconnues ? », EDP Sciences, 2013, 172 p.
- [5] Ministère en charge de l'environnement. Réglementation et méthodologie nationale des sites et sols pollués. <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites-et-sols-pollues>
- [6] ADEME « Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Echelle territoriale ». Groupe de travail sur les valeurs de fonds, 2018, 112p.
- [7] Besnard C. et al. « Qualité et usages des sols urbains : Point de vigilance », POLLUSOLS, 2018, 18 p.
- [8] INERIS « Caractérisation de l'état des milieux sols, eaux et végétaux dans l'environnement des installations industrielles : Utilisation de l'Environnement local témoin », 2017, 31 p.
- [9] Mathieu A. et al. « Proposition de référentiels régionaux en éléments traces métalliques dans les sols : leur utilisation dans les évaluations des risques sanitaires », Environnement, Risques et Santé – Vol. 7 n°2, 2008, p. 112-122.
- [10] Ministère en charge de la santé « Instruction N° DGS/EA1/EA2/EA3/EA4/2016/283 du 21 septembre 2016 relative au dispositif de lutte contre le saturnisme infantile et de réduction des expositions au plomb », DGS, 2016, 28 p.
- [11] Haut Conseil de la Santé Publique « Exposition au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion », Avis et Rapports, 2014, 101 p.
- [12] Direction générale de la prévention des risques, direction générale de la santé « Note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de gestion des sites et sols pollués », DGS, 2014, 8 p.
- [13] Denys S. et al. « Biodisponibilité et bioaccessibilité des métaux et métalloïdes des sols pollués pour la voie orale chez l'homme », Environnement, Risques et Santé – Vol. 8, n°5, Septembre-octobre 2009, p. 433 – 438.
- [14] Saba D. et al. « Bioaccessibility and radioisotopes of lead in soils around a fertilizer industry in Lebanon », Environmental Geochemistry and Health, 2019, 14p.
- [15] ADEME et INERIS « Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux », 2014, 67 p.
- [16] Cellule de l'InVs en Région (Cire) Île-de-France « Jardins Familiaux du Fort d'Aubervilliers : Avis de la Cire Île-de-France sur l'étude d'HPC Envirotec pour AFTRP », ARS, InVs, 2010, 78 p.

- [17] INERIS « Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS », 2015, 56 p.
- [18] InVS « Synthèse des travaux du Département santé environnement de l'Institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition – Mise à jour 2015 », 2015, 38 p.
- [19] Tanguy J. et al. « Description du poids corporel en fonction du sexe et de l'âge dans la population française », Environnement, Risques et Santé – Vol. 6 n°3, 2007, p. 179-187.
- [20] INERIS « Synthèse de l'Etude de la qualité des végétaux des jardins potagers parisiens en fonction des différents aménagements visant à réduire l'exposition des usagers aux polluants en zones urbaines – Projet de la Ville de Paris : POTagers Expérimentaux « POTEX » », 2015, 212 p.
- [21] INERIS « Exercice d'évaluation (2004) d'un site non impacté par une activité industrielle particulière. Conséquence en termes de fixation de critères générique de qualité des sols », 2006, 75 p.
- [22] AFSSA « Evaluation de l'exposition théorique des nourrissons et des enfants en bas âge aux résidus de pesticides apportés par les aliments courants et infantiles », 2002, 116 p.
- [23] AFSSA « Enquête INCA individuelle et nationale sur les consommations alimentaires », Ed. Tec & Doc Lavoisier, 2000, 158 p.
- [24] ADEME « CIBLEX : Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué », 2003, VO.
- [25] AFSSA « Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2) », 2009, 228 p.
- [26] EFSA « Guidance of EFSA, Use of the EFSA comprehensive european food consumption database in exposure assessment », EFSA Journal, 2011, 9(3):2097.
- [27] Mougeot LJA. « Agropolis, the Social, Political and Environmental Dimensions of Urban Agriculture », IDRC, CRDL, Earthscan, 2005, 286 p.

Les liens hypertextes cités dans ce guide ont été consultés en juillet 2019.

Annexe

Accompagnement par un bureau d'étude spécialisé



■ Choix du bureau d'étude

Le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) a mis en place une certification « Sites et Sols Pollués » et présente la liste des bureaux d'études certifiés sur son site internet.

■ Établissement du cahier des charges

Pour établir le cahier des charges et choisir un bureau d'études spécialisé, il est conseillé de se référer au guide du donneur d'ordre produit par le ministère en charge de l'environnement.

Les prestations sollicitées doivent suivre la norme NF X 31-620 – Prestations de services relatives aux sites et sols pollués et le référentiel de certification de service associé. Les codifications normées des étapes à solliciter sont les suivantes :

En fonction des cas, le bureau d'étude peut être sollicité pour l'intégralité ou à différentes étapes de la démarche.

► **Étape 1 : Étude historique des usages et de l'environnement du site**

- Offres de prestations élémentaires (norme NF X 31-620-2)
- Une visite de site (A100)
- Une étude historique, documentaire et mémorielle (A110)
- Une étude de vulnérabilité (A120).
- La réalisation de l'étape 1 forme une offre globale de prestation Levée de doute (LEVE).

► **Étape 2 : Investigation des sols et analyses**

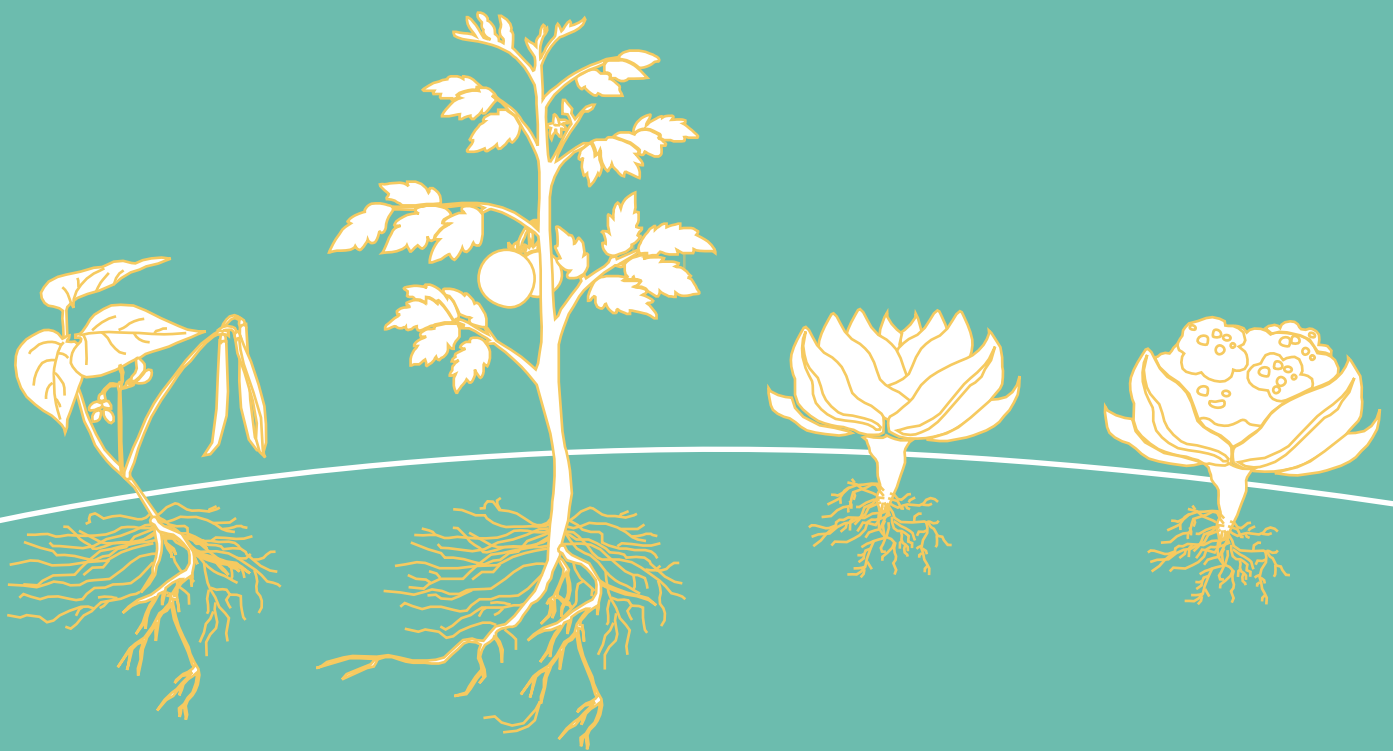
- Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols (A200).

► **Étape 3 : Interprétation des résultats d'analyses**

- Interprétation des résultats des investigations (A270).

► **Étape 4 : Évaluation des risques et préconisations**

- Analyse des enjeux sanitaires (A320).
- Il peut être nécessaire de solliciter en fin d'étape 4 un bureau d'étude pour mettre en place le plan de gestion (prestation globale - PG).



Auteur : Anne BARBILLON
Publication : novembre 2019