



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 178183 - 2720471 - v1.0

11/01/2022

Synthèse des travaux existants sur les transferts de polluants et les pratiques de jardinage en milieu urbain



PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Sites et Territoires

Rédaction : GUERIN Sabine

Vérification : VELLY NATHALIE; RAMEL MARTINE

Approbation : Document approuvé le 11/01/2022 par DUPLANTIER STEPHANE

Table des matières

1	Contexte	6
2	Objectifs	7
3	Voies de transfert de polluants environnementaux vers les végétaux	9
3.1	Transfert sol-plante ou transfert racinaire	12
3.2	Transfert atmosphère-plante ou transfert foliaire	13
3.3	Transferts liés aux pratiques des jardinier.ère.s (amendement et arrosage).....	13
4	Synthèse de travaux sur les transferts de polluants vers les végétaux potagers dans le contexte des jardins urbains	14
4.1	JAFARR (2012)	14
4.2	REPJAR (2012-2015).....	15
4.3	POTEX (2012-2015).....	16
4.4	JASSUR (2013-2016).....	17
4.5	COMETE (2016-2020).....	19
4.6	Etude de zone de la vallée de Seine (2010 – 2019)	19
4.7	PhytExPPO (2015-2017)	19
4.8	TROPHé (2014-2017)	20
4.9	Projets en cours.....	21
4.9.1	CARTHAGE (2018-2022)	21
4.9.2	POTAGERS (2019-2022)	21
4.10	Synthèse des résultats et recommandations en termes de mesures de gestion.....	22
4.11	Rapide tour d’horizon à l’international	27
5	Méthodologies mises en œuvre pour l’étude des transferts de polluants dans le cadre du jardinage urbain.....	28
5.1	Sélection des jardins	28
5.2	Enquête des usages	28
5.3	Evaluation de la qualité des milieux – Modalités d’investigations	29
5.3.1	Documents de référence	29
5.3.2	Stratégie d’échantillonnage	29
5.3.3	Prélèvement et analyses	30
	Sol.....	30
	Végétaux potagers	30
	Air (phase gazeuse et particulaire).....	31
6	Aménagements et mesures de gestion adaptées pour les jardins potagers et les vergers.....	33
7	Conclusions et perspectives.....	35
8	Abréviations	36
9	Références	37

Liste des illustrations

Figure 1 : Synthèse des voies de transferts entre l'environnement et les plantes potagères.....	11
Figure 2 : Définition des retombées atmosphériques selon le Guide « Surveillance dans l'air autour des installations classées » (Ineris, 2021)	13
Figure 3 : Interactions possibles de l'eau de pluie avec son environnement dans un jardin collectif (Charlotte et al., 2013 et Mucig/CETE de l'Est).....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des projets de recherche concernant le transfert de polluants entre les milieux environnementaux et les plantes potagères en milieu urbain.....	23
---	----

Résumé

Le troisième Plan régional Santé Environnement d'Ile-de-France a mis en évidence le besoin d'améliorer les connaissances, d'élaborer et de diffuser des préconisations sanitaires pour le jardinage en milieu urbain et péri-urbain. Il s'agit en particulier d'approfondir les connaissances concernant le transfert de polluants vers les plantes potagères et les sols en lien avec les retombées atmosphériques, l'arrosage et les pratiques de jardinage.

Dans ce contexte, l'Ineris a réalisé une synthèse et mené un retour d'expérience autour de différents projets, en particulier en Ile-de-France, pour faire un point sur l'état des connaissances produites sur la question des transferts de polluants vers le végétal à partir de l'environnement, sur les moyens de limiter les transferts et les expositions ainsi que sur les modalités d'études relatives au jardinage urbain.

Chacun des projets examinés a été mené selon un objectif spécifique permettant d'appréhender la qualité des milieux des jardins urbains. La revue de projets existants a montré que certains aspects semblent encore assez peu étudiés tels que la qualité des composts et des eaux d'irrigation ainsi que la contribution de l'air aux transferts de polluants vers les végétaux. Certains projets en cours tentent de répondre à certaines de ces questions, notamment le projet POTAGERS pour le compost et le projet CARTHAGE pour les transferts de polluants organiques de l'air vers les végétaux.

Sur la base de la revue des projets et du retour d'expérience de l'Ineris, des recommandations d'aménagement ou comportementales peuvent être préconisées afin de limiter l'exposition des populations. Ces recommandations concernent notamment : l'implantation des jardins à distance des axes routiers à fort trafic, l'installation de bacs hors sol, le recouvrement ou la limitation de la présence de sol nu, le mode de préparation des végétaux (lavage, épluchage...), le lavage des mains.

Néanmoins, une bonne connaissance des milieux et des habitudes des jardinier.ère.s est indispensable pour fournir des recommandations adéquates et préconiser les mesures de gestion les plus adaptées à chaque situation. Par ailleurs, la pérennité et la mémoire de ces recommandations sont essentielles afin de réduire efficacement les expositions des jardinier.ère.s.

Enfin, il ressort de ce projet le besoin de mieux prendre en compte les usages existants (alimentaires, récréatifs, espaces de biodiversité, etc.) et la qualité des milieux à l'interface avec le végétal pour améliorer la compréhension des transferts et des expositions et ainsi identifier la contribution spécifique de chaque source de contamination et voie d'exposition dans l'exposition globale.

Ce projet est mené en partenariat avec l'Inrae et le Cerema qui ont respectivement mené une étude des usages des jardinier.ère.s et élaboré un système d'information géographique de la qualité des sols en Ile-de-France.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Ineris, Synthèse des travaux existants sur les transferts de polluants et les pratiques de jardinage en milieu urbain , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 178183 - 2720471 - v1.0, 11/01/2022.

Mots-clés :

Jardins urbains, polluants, transferts, expositions, éléments traces métalliques, composés organiques

1 Contexte

L'action 2.1 du PRSE3 d'Ile-de-France vise à « élaborer et diffuser des préconisations sanitaires pour le jardinage en milieu urbain et péri-urbain » et sa sous-action 1 a pour finalité de mutualiser les travaux existants en vue d'approfondir les connaissances concernant les transferts de polluants vers les végétaux en lien avec les sols, les retombées atmosphériques, l'arrosage et les pratiques de jardinage et notamment le compostage dans le contexte francilien.

Pour répondre à cet objectif, le Cerema, l'Inrae et l'Ineris ont mené en partenariat un projet structuré autour de 3 étapes distinctes :

1. **faire un point sur l'état des connaissances produites sur la question des transferts de polluants vers le végétal à partir de l'environnement, sur les moyens de limiter les transferts et les expositions et sur les modalités d'études relatives au jardinage urbain, en s'appuyant sur un retour d'expérience acquis au travers de différents projets, en particulier en Ile-de-France.** Le présent rapport concerne ce premier point ;
2. élaborer un système d'information géographique sur la qualité des sols en Ile-de-France permettant d'associer les sources de pollutions potentielles pour identifier plus particulièrement les anomalies régionales et les zones de surexposition ainsi que les lacunes de connaissances en matière de polluants recherchés. Cette étape a pour objectifs d'aider à prioriser les enjeux en termes sanitaires à l'échelle régionale ;
3. déployer une étude de terrain sur des sites représentatifs des diverses situations de jardinage, spécifiques à la région Ile-de-France, en lien avec le retour d'expérience de l'étape 1 et ce dans la perspective d'établir des protocoles pour la mise en place ultérieure d'essais expérimentaux adaptés.

Les étapes 2 et 3 sont abordées respectivement dans les rapports du Cerema et de l'Inrae.

In fine, ce projet a pour finalité de sensibiliser la population francilienne à la qualité des sols et au transfert des polluants vers les végétaux et ainsi de prévenir les expositions et diminuer les impacts sanitaires liés notamment à leurs pratiques en termes de jardinage.

2 Objectifs

Le jardinage en zone urbaine et péri-urbaine a pris un essor important au cours des dix dernières années, en particulier en Ile-de-France. Cette région se situe dans le trio de tête des régions françaises accueillant le plus de jardins familiaux.

Cette activité est tributaire de la qualité des milieux sur lesquels elle se développe. En premier lieu, elle dépend de la qualité des sols qui peut être dégradée du fait de pollutions historiques issues d'activités industrielles. Les sols ont aussi pu faire l'objet de remaniements (apports de remblais) altérant leur qualité. Encore aujourd'hui, les sols peuvent être soumis à des retombées atmosphériques en lien notamment avec le transport, les activités industrielles et le chauffage. La qualité des eaux souterraines au droit des végétaux doit également être prise en compte. En effet, les racines de certains arbres fruitiers peuvent prélever de l'eau de la nappe. L'eau d'arrosage peut également être issue d'eaux superficielles ou bien d'eau de pluie, ce qui peut contribuer au transfert de polluants dans les parties comestibles (Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, 2017).

L'activité de jardinage est également tributaire des pratiques qui s'exercent sur les sols cultivés notamment en matière de compostage, d'arrosage et d'amendement (produits phytosanitaires, engrais, cendres, etc.) qui peuvent également avoir des impacts sur les sols et les végétaux qui y poussent.

D'une manière générale, une attention s'est développée autour de la question du transfert des polluants depuis les compartiments environnementaux (eau, sol, air) vers la chaîne alimentaire et des préoccupations sanitaires qui en résultent. Ce sont plus particulièrement les métaux et les hydrocarbures liés aux activités humaines (hors agriculture) qui sont ciblés au regard des enjeux sanitaires associés.

Différentes initiatives ont ainsi permis l'élaboration de guides et de documents de synthèse s'adressant notamment aux collectivités et aux jardinier.ère.s (sur la base du retour d'expérience de JASSUR¹, REPJAR², POTEX³ et COMETE⁴) pour les sensibiliser aux contaminations des sols urbains et périurbains et des productions végétales pouvant induire des risques sanitaires : Groupe de Travail « Risques liés aux jardins collectifs et privatifs urbains » (Besnard et al., 2017) et guide Présomption (Damas et al., 2018).

Dans ce contexte, et prenant acte de la forte demande des pouvoirs publics et des populations pour des jardins partagés en zone urbaine, il est apparu nécessaire dans le cadre du 3^{ème} Plan régional santé-environnement Ile-de-France d'améliorer la prise en compte des risques sanitaires liés à la pratique du jardinage sur des sols pollués en milieu urbain et péri-urbain en Ile-de-France au travers d'une action destinée à élaborer et diffuser des préconisations sanitaires dans le cadre de cette activité (action 2.1).

Ce rapport s'inscrit dans l'action 2.1 du PRSE3 d'Ile-de-France « Elaborer et diffuser des préconisations sanitaires pour le jardinage en milieu urbain et péri-urbain » dans le but de prendre en compte les aspects sanitaires associés au jardinage.

Il s'inscrit plus particulièrement dans la sous-action 1 de mutualisation des travaux existants en vue d'approfondir les connaissances concernant les transferts de polluants en lien avec les retombées atmosphériques, l'arrosage et les pratiques de jardinage et notamment le compostage.

Ce projet a bénéficié d'un financement de la DRIEAT Ile-de-France dans le cadre du PRSE3 d'Ile-de-France et d'un cofinancement du ministère en charge de l'Environnement dans le cadre des missions d'appui aux pouvoirs publics de l'Ineris.

Le présent rapport établit un état des connaissances produites sur la question des transferts de polluants vers le végétal à partir de l'environnement (air, eau, sol) dans le cadre du jardinage en milieu urbain et les moyens de les limiter et/ou de réduire l'exposition des usagers des jardins.

Ce rapport ne constitue pas un guide méthodologique ou d'aide à la décision. Il se distingue du rapport rédigé par l'ARS Ile-de-France (sous-action 3 de l'action 2.1) qui propose un cadrage et une démarche

¹ JASSUR : Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques

² REPJAR : Réduction de l'Exposition aux métaux des Populations en lien avec le JARDinage et la consommation de denrées autoproduites

³ POTEX : POTagers Expérimentaux

⁴ COMETE : contamination en métaux des terres des espaces verts parisiens

simplifiée d'évaluation de la compatibilité d'un site avec un projet de jardin collectif. Ce document de l'ARS constituera ainsi un outil d'aide à la décision pour les aménageurs des jardins collectifs lors de la phase de conception du projet, afin de guider les choix d'aménagement et de fournir des recommandations pour la mise en place de jardins potagers en contexte urbain et péri-urbain en Ile-de-France.

Le présent rapport est centré sur la question des transferts dans les végétaux, en vue d'une évaluation des expositions et risques sanitaires en jardinage urbain. Il ne développe pas les aspects associés à l'exposition par inhalation et par ingestion non intentionnelle de sol, qui constituent des modes d'exposition à considérer lors de l'évaluation des expositions en jardinage urbain.

Après un rappel des voies de transfert de substances chimiques entre la matrice végétale et les autres compartiments de l'environnement, le rapport présente successivement :

- Une synthèse de rapports et projets de recherche réalisés sur le sujet,
- Des méthodes d'évaluation de la qualité des milieux dans le cadre d'études sur les transferts de polluants vers les végétaux,
- Différents aménagements et mesures de gestion adaptés pour limiter les transferts et les expositions dans les potagers et les vergers,
- Avant de conclure sur les besoins de connaissance complémentaire qui en découlent identifiés pour la population francilienne.

3 Voies de transfert de polluants environnementaux vers les végétaux

Ce chapitre aborde les différents types de transferts de polluants entre l'environnement et les plantes.

Les substances chimiques pouvant affecter la qualité des milieux en lien avec les activités humaines actuelles ou passées (hors agriculture⁵) sont :

- des éléments traces métalliques ou métalloïdes (ETMM)⁶,
- des substances organiques (par exemple les HAP⁷, les PCB⁸, les BTEX⁹).

La forme et les caractéristiques physico-chimiques des polluants vont influencer sur leur comportement et leur devenir dans l'environnement.

Le terme facteur de bioconcentration (*bio-concentration factor* ou BCF) sera utilisé dans la suite de ce chapitre pour caractériser le potentiel de transfert d'une substance d'un compartiment A vers un compartiment B.

Pour les végétaux, par exemple, il exprime la capacité d'une substance à migrer d'un milieu de l'environnement (le plus souvent le sol) vers le végétal cultivé et le plus fréquemment vers l'organe consommé par l'Homme. Ce paramètre est fréquemment utilisé pour caractériser le transfert de substance entre le sol et les plantes mais il peut être calculé pour appréhender le transfert depuis d'autres milieux environnementaux. Ainsi, le BCF, paramètre adimensionnel, correspond au rapport entre la concentration dans le végétal dans la partie consommée dans le contexte de ce rapport et la concentration de la même substance dans le compartiment de l'environnement considéré.

Pour les végétaux, il s'agit le plus souvent d'un BCF global considérant d'une part la voie d'absorption et/ou d'adsorption racinaire et d'autre part, la voie d'absorption gazeuse et/ou d'adsorption foliaire à partir du sol. Dans certains cas, le BCF peut également inclure les polluants éventuels contenus dans l'eau d'arrosage et/ou dans les dépôts atmosphériques. En fonction des connaissances sur la qualité des milieux et des conditions de culture, le BCF peut ne concerner le transfert que d'un milieu vers les plantes (ex : BCF sol-plante, BCF air-plante).

Définitions¹⁰ :

Adsorption : l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur une surface solide depuis une phase gazeuse, liquide ou solide.

Absorption : l'absorption est un phénomène par lequel des molécules pénètrent dans une phase liquide ou solide.

Le guide « **Qualité et usages des sols urbains : Points de Vigilance** » du Groupe de travail « Risques liés aux jardins collectifs et privés urbains » donne de nombreux éléments sur les sources et le transfert des contaminants dans le cas particulier des jardins urbains et péri-urbains.

Il est à noter que deux bases de données ont été conçues par l'Ademe et l'Ineris en lien avec d'autres organismes pour regrouper des informations documentaires relatives à la contamination des plantes potagères (issues principalement de publications scientifiques) dans différents contextes de pollution :

- BAPPET : Base de données sur les teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères,
- BAPPOP : Base de données sur les teneurs en polluants organiques persistants.

⁵ Hors produits de traitement utilisés en agriculture

⁶ Les ETMM peuvent également être naturellement présents dans les sols (fond pédogéochimique)

⁷ Hydrocarbures aromatiques polycycliques

⁸ Polychlorobiphényles

⁹ Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes

¹⁰ Définitions traduites et adaptée du Cambridge Dictionary : <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/adsorption>.

En fonction des conditions de productions des végétaux potagers, les valeurs contenues dans ces bases peuvent éventuellement servir de comparaison pour des résultats de mesures acquis dans des jardins. Elles peuvent également permettre d'estimer les concentrations attendues en substances polluantes dans les plantes à partir de concentrations dans les milieux environnementaux.

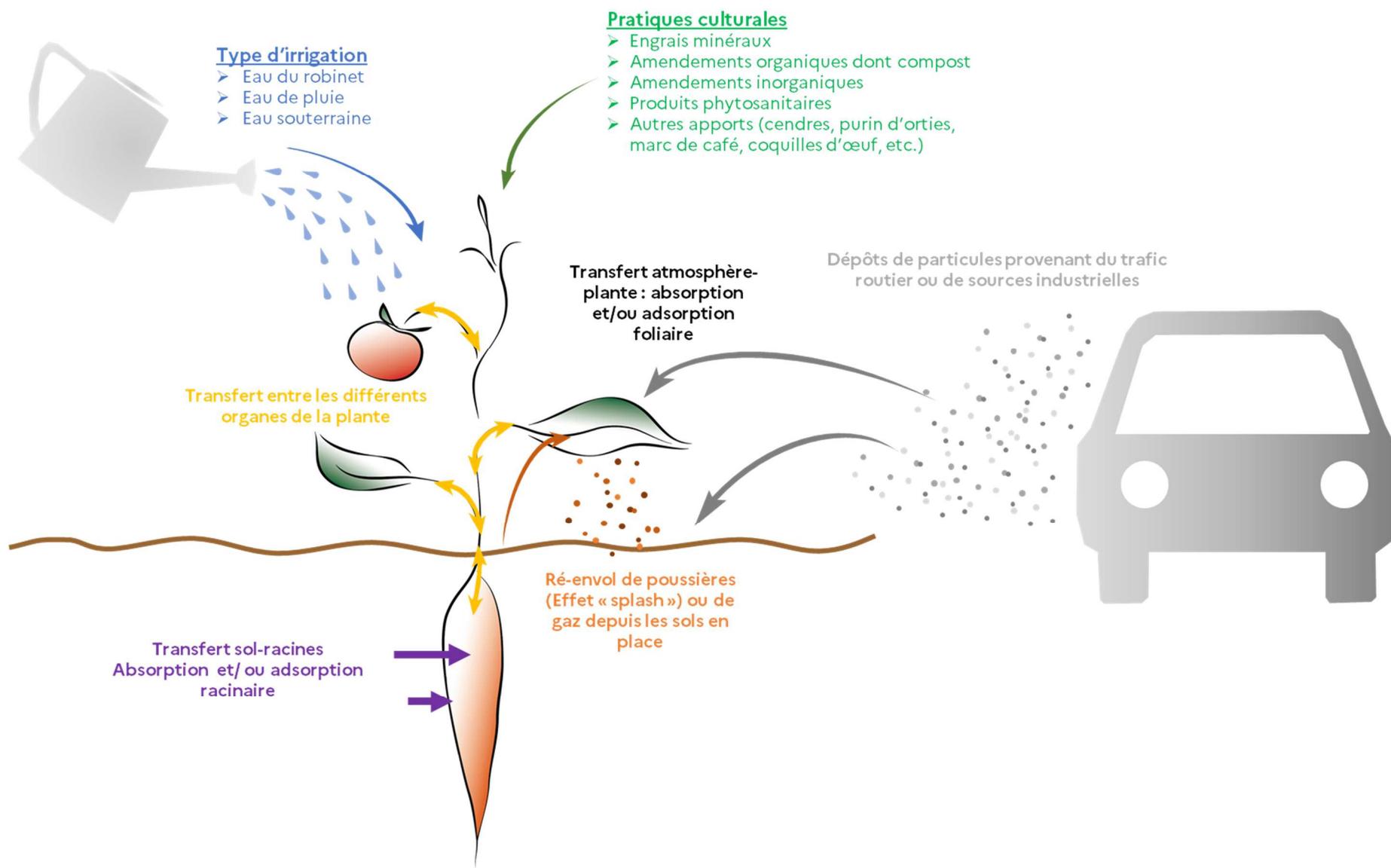


Figure 1 : Synthèse des voies de transferts entre l'environnement et les plantes potagères

3.1 Transfert sol-plante ou transfert racinaire

La voie de transfert du sol vers les plantes est la principale voie de transfert des ETM vers les plantes ; c'est aussi la voie la plus étudiée. Les plantes ont la capacité d'absorber des polluants présents dans la rhizosphère¹¹, de les accumuler dans les racines et de les transférer éventuellement vers leurs parties aériennes (tiges, feuilles, fruits) (Ademe et al., 2019).

Les transferts d'éléments entre le sol et les plantes dépendent de nombreux paramètres, notamment de :

- La phytodisponibilité d'une substance c'est-à-dire la quantité d'élément qui peut être transférée (« prélevée ») dans la plante durant son développement (Tremel-Schaub & Feix, 2005). Celle-ci est influencée par :
 - Les paramètres physico-chimiques du sol : pH, capacité d'échange cationique, teneurs en carbone organique, la nature du sol, réaction d'oxydo-réduction (Antoniadis et al., 2017) ;
 - La microflore présente dans la rhizosphère et les exsudats racinaires (Antoniadis et al., 2017),
 - La forme chimique de l'élément et de sa concentration (Antoniadis et al., 2017) ;
- La concentration des autres ETMM dans le sol (Kabata-Pendias, 2011) ;
- Les propriétés physico-chimiques des substances : logK_{ow}¹² pour les HAP (Jia et al., 2021) ;
- Les plantes étudiées : variabilité entre espèces végétales, variétés, stade de maturité, organe considéré ;
- Les conditions environnementales : climatiques (température, humidité) et culturales (fertilisation, amendement, irrigation) (Ademe et al., 2019).

Lors d'épisodes pluvieux, les particules de sol peuvent éclabousser les parties aériennes des végétaux contribuant au transfert de polluants entre le sol et les plantes. Ce phénomène est appelé effet « splash »¹³.

Le BCF traduisant les transferts entre le sol et les plantes est donné ci-dessous. Dans l'équation suivante, l'unité de la concentration dans le végétal et dans le sol doit être identique, exprimée en matière fraîche pour le premier et en matière sèche pour le second tandis que la teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage :

$$BCF = \frac{[\text{Concentration dans le végétal}] * 100}{\text{teneur en matière sèche du végétal} * [\text{Concentration dans le sol}]}$$

Un BCF égal à 0,01 correspond à une faible absorption, un BCF de 10 caractérise une plante accumulatrice et un BCF de plus de 1 000, une plante hyperaccumulatrice (Ademe et al., 2019).

Des coefficients de transfert du sol vers les plantes ont été proposés par l'Ineris pour certains ETMM (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, V) suite à une exploitation de la bibliographie pertinente (Ineris, 2017a). Des BCF sol-plante sont ainsi définis pour plusieurs catégories de végétaux potagers (légumes-feuilles, légumes-fruit et fruits, légumes-racine, tubercule). Ces valeurs sont mises à disposition pour faciliter l'utilisation du logiciel de modélisation et de simulation MODUL'ERS¹⁴ qui permet d'estimer les concentrations, les expositions et les risques sanitaires liés à un sol contaminé ou une installation classée pour l'environnement.

Concernant les polluants organiques, le projet TROPHé, réalisé par l'Ineris et co-financé par l'Ademe, a également proposé des BCF pour les PCB et dioxines-furanes pour la pomme de terre, la carotte, la courgette, le haricot vert et la laitue sur la base d'expérimentations réalisées en chambre de culture.

¹¹ Rhizosphère : volume de sol en interaction avec la racine (Tremel-Schaub & Feix, 2005)

¹² LogK_{ow} : coefficient de partage octanol/eau. Paramètre utilisé pour mesurer l'hydrophobicité d'une substance (source : www.ecetoc.org)

¹³ L'effet « splash » se produit lors d'épisodes pluvieux, les particules de sol peuvent éclabousser les parties aériennes des végétaux contribuant au transfert entre le sol et les plants. Cet effet contribue également aux transferts de substances entre le sol et les végétaux, notamment les parties aériennes (Ademe et al., 2019).

¹⁴ <https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/logiciel-modulers>

Par ailleurs, dans le projet SACARTOM, il a été montré que les HAP présentant 5 à 6 cycles sont adsorbés sur l'épiderme des racines et seuls les HAP légers sont absorbés par la plante et transférés vers les parties aériennes et notamment, les feuilles (Ademe et al., 2019).

3.2 Transfert atmosphère- plante ou transfert foliaire

La qualité de l'air en milieu urbain et péri-urbain n'est pas une problématique spécifique au cadre de l'usage d'une parcelle pour la culture de végétaux. Cependant, les sols des jardins urbains peuvent recevoir des retombées atmosphériques provenant de multiples sources en fonction des territoires, notamment lié au trafic routier, aux installations industrielles, aux feux de cheminées, aux zones de feux de déchets sauvages.

Les retombées atmosphériques peuvent être définies comme étant les concentrations des particules ou gaz en suspension dans l'air combinées aux dépôts secs ou humides des particules ou gaz.

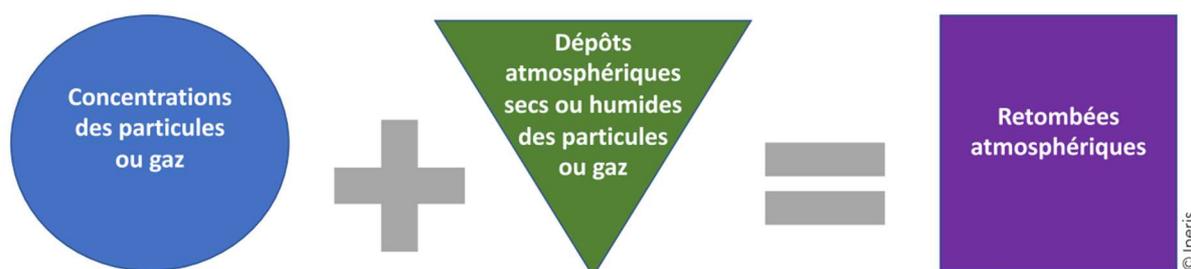


Figure 2 : Définition des retombées atmosphériques selon le Guide « Surveillance dans l'air autour des installations classées » (Ineris, 2021)

Dans l'ouvrage « Contamination des sols Transferts des sols vers les plantes », il est indiqué que les transferts par voie aérienne sont généralement faibles, sauf lorsque les retombées atmosphériques sont importantes : anciennes zones industrielles ou pour certains éléments comme le Pb. Les substances (ETMM, POP¹⁵, etc.) sous forme de poussières ou de gaz peuvent pénétrer dans la plante via les stomates des feuilles. Ces dépôts peuvent être secs ou humides (via l'eau de pluie ou l'eau d'irrigation) et traverser la cuticule des feuilles et des fruits. Les mécanismes de transfert depuis l'air vers la plante par voie foliaire ne sont pas très bien connus. Selon les polluants considérés, ils pourraient contribuer de manière non négligeable à la contamination des végétaux (Tremel-Schaub & Feix, 2005).

Le mode de contamination par voie foliaire comprenant les dépôts atmosphériques, le ré-envol de poussières et l'effet « splash » a été mis en évidence dans des potagers aux alentours de friches fortement empoussiérées du fait d'activités métallurgiques passées (Ademe et al., 2019).

3.3 Transferts liés aux pratiques des jardinier.ère.s (amendement et arrosage)

Les polluants contenus dans les amendements (organiques ou inorganiques), engrais, et produits phytosanitaires peuvent atteindre la plante via les deux types de transfert cités précédemment.

Dans le même temps, les polluants présents dans l'eau d'arrosage peuvent pénétrer dans le végétal soit directement via les feuilles soit indirectement via les racines (Bidar et al., 2020).

¹⁵ POP : Polluants Organiques Persistants dont certains sont règlementés par la convention de Stockholm <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>. Consulté le 20/08/2021.

4 Synthèse de travaux sur les transferts de polluants vers les végétaux potagers dans le contexte des jardins urbains

De nombreux travaux autour de la problématique des transferts de polluants vers les végétaux potagers en milieu urbain ont été réalisés ces dernières années afin d'aider les acteurs du jardinage urbain, notamment dans le cadre de projets de recherche mettant en œuvre des essais expérimentaux en région parisienne ou sur le reste du territoire ou bien dans le cadre de groupes de travail.

Le présent chapitre a pour objectif de passer en revue différents travaux identifiés par les partenaires de la sous-action 1 de l'action 2.1 du PRSE3 (sans recherche d'exhaustivité) et de synthétiser leurs conclusions sur le comportement des polluants. Il s'agit généralement de projets sur lesquels les partenaires sont intervenus. Ainsi, même si certains projets cités ci-dessous ne concernent pas spécifiquement l'Ile-de-France ou ont été menés dans des conditions très spécifiques, certains éléments mis en évidence semblent pertinents pour le retour d'expérience des travaux existants.

Un tableau récapitulatif en fin de chapitre présente les principales conclusions et recommandations issues de ces projets.

4.1 JAFARR (2012)

Le projet JAFARR (qualité des JArdins FAmiliaux proches des infrastructures de transport (Rail, Route) en Île-de-France) vise à évaluer l'impact des infrastructures de transport (rail et route) sur la qualité des sols des jardins familiaux en Ile-de-France (A Esvan et al., 2012; Audrey Esvan, 2012).

Cette étude avait pour objectifs :

- d'explorer si une relation déterministe existait entre la qualité des sols et la proximité des jardins/infrastructures,
- de déterminer les facteurs favorisant ou limitant la dispersion de la pollution,
- et de constituer une base de données sur la qualité des jardins familiaux via la matrice sol.

29 jardins ont ainsi été échantillonnés sur l'ensemble de la région Ile-de-France, à l'exception de Paris (75). Plusieurs ETMM¹⁶ (Pb, As, Zn et Cu), les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et les hydrocarbures totaux (C10-C40) ont ensuite été recherchés dans les sols.

Des analyses statistiques ont été réalisées pour étudier le lien entre les concentrations en Pb, Zn et Cu dans les sols et la distance des jardins par rapport à la voie et à l'intensité du trafic. Elles ont mis en évidence un gradient de concentration en plomb et zinc par rapport à la distance à la voie et notamment sur les 30 premiers mètres. Elles indiquent une diminution significative de la teneur en plomb et zinc en fonction de l'intensité du trafic, à l'exception de la classe de trafic B1 (de 15 000 à 35 000 véhicules/jour), pour laquelle les teneurs en plomb et zinc sont plus importantes que pour un trafic supérieur à 100 000 véhicules/jour. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que de nombreux jardins situés dans les classes de trafic A (de 100 000 à 150 000 véhicules/jour) et B (de 35 000 à 45 000 véhicules/jour) présentent des remblais ou des murs anti-bruit (5 jardins sur 8), à la différence de la plupart des jardins situés dans les classes de trafic B1 qui ne possèdent pas de protection et sont sous l'influence des vents dominants. L'étude n'a pas mise en évidence de lien entre la teneur en cuivre des sols et la classe de distance (Audrey Esvan, 2012).

L'étude n'a pas non plus mis en évidence de lien entre la distance à la route et la teneur en HAP et hydrocarbures C10-C40 sur la base des données récoltées dans le cadre du projet JAFARR. Cependant, d'autres données disponibles dans la littérature ont montré une diminution de la concentrations en HAP avec l'éloignement par rapport à la route (Branchu et al., 2013).

L'ouvrage « La nature au bord de la route et de la voie ferrée – 2/Des jardins collectifs pour une conception soutenable des infrastructures de transports terrestres » explore également les problématiques de cultures potagères avec des données pour des jardins d'Ile-de-France (Chelkoff & Paris, 2016).

¹⁶ ETMM : Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes

4.2 REPJAR (2012-2015)

Le projet REPJAR (Réduction de l'Exposition aux métaux des Populations en lien avec le JARdinage et la consommation de denrées autoproduites) a été mené par l'ISA Lille en partenariat avec l'Agence Régionale de Santé Nord-Pas-de-Calais et Santé Publique France entre 2012 et 2015.

Ce projet a pour finalité de réduire l'exposition aux métaux des populations en lien avec le jardinage et la consommation de denrées autoproduites dans les communes localisées à proximité de l'ancienne usine de Metaleurop (Pas-de-Calais). Ce projet concerne les communes suivantes : Courcelles-Lès-Lens, Evin-Malmaison, Noyelles-Godault, Auby, Dourges, Leforest et Ostricourt. Des recommandations spécifiques à la zone d'étude sont disponibles sur le site Internet du projet (<https://repjar-69.webself.net/accueil>). Les informations ci-dessous sont issues de la présentation disponible au lien suivant : <https://fliphtml5.com/ueie/lnaz/basic/>.

Les objectifs de REPJAR étaient de :

- contribuer aux réflexions sur l'imprégnation des populations en lien avec l'ingestion de légumes ;
- de proposer aux services en charge de la santé et aux jardinier.ère.s des recommandations pratiques de gestion des potagers : techniques culturales, espèces/variétés à éviter ou à privilégier ;
- mieux connaître les productions des potagers (légumes, fruits et aromates), les pratiques culturales et les habitudes alimentaires des populations ainsi que le degré de contamination en Pb et Cd des sols et des productions.

L'étude a concerné 144 jardins privés et 1 jardin familial représentatifs de la zone d'étude dont les concentrations en plomb et en cadmium dans les sols étaient respectivement supérieures ou égales à 200 mg/kg MS et à 4 mg/kg MS. Des enquêtes ainsi qu'un échantillonnage des sols ont permis de caractériser ces derniers (paramètres agronomiques et degrés de contamination). Un échantillonnage de la production potagère, des eaux d'irrigation et de composts a également été réalisé.

Un questionnaire a été soumis aux jardinier.ère.s pour :

- connaître le profil des jardinier.ère.s et les consommateurs des produits issus du potager (notamment données socio-économiques et part des productions autoproduites dans la consommation),
- caractériser le jardin dans son ensemble (ornement, potager, verger),
- connaître les espèces / variétés cultivées et la présence d'élevages familiaux, déterminer les pratiques culturales concernant l'amendement, le compost et l'irrigation.

Des analyses dans les sols, les végétaux, les composts et l'eau d'irrigation ont été effectuées. Une relation a pu être établie entre les concentrations dans le compost (50 échantillons) et celles dans les sols pour le cadmium et le plomb.

Concernant les végétaux potagers, 1 566 échantillons ont pu être récoltés et ont permis de classer les végétaux en fonction du pourcentage de non-conformité pour le cadmium et le plomb, au regard de la directive européenne du 25 juin 2015¹⁷. Les conclusions pour ces deux substances sont les suivantes :

- Des légumes non problématiques : concombre, cornichon, choux, courge/courgette, haricots verts et beurre, oseille,
- Des légumes accumulateurs de Cd et de Pb : oignon, poireau, betterave rouge, carotte, aubergine, chicorée, navet, épinard, ail, céleri (rave et branche),
- Des plantes aromatiques qui accumulent le Cd et le Pb : cerfeuil, thym, aneth, menthe, sauge et persil,
- Les fruits sont plus souvent conformes que les légumes.

Il est à noter que le règlement européen n°1881/2006 concernant les teneurs maximales, notamment en plomb et en cadmium, dans certaines denrées alimentaires a été mis à jour en 2021¹⁸.

¹⁷ RÈGLEMENT (UE) 2015/1005 DE LA COMMISSION du 25 juin 2015 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en plomb dans certaines denrées alimentaires.

¹⁸ RÈGLEMENT (UE) 2021/1317 DE LA COMMISSION du 9 août 2021 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en plomb dans certaines denrées alimentaires et RÈGLEMENT (UE)

Les auteurs concluent qu'il reste cependant difficile de prédire la conformité des productions au regard des seules concentrations en Cd et Pb dans le sol. Il ressort des analyses réalisées sur des fruits pelés et non pelés que le pelage permet de limiter l'exposition par ingestion de métaux, notamment au plomb et dans une moindre mesure au cadmium.

4.3 POTEX (2012-2015)

Le projet POTEX (POTagers Expérimentaux) a été initié par la Ville de Paris, avec pour partenaires l'Ineris, le Cerema et l'école nationale d'agronomie de Toulouse. L'ARS était également associée à ce projet.

Le projet POTEX avait pour objectif d'étudier la qualité des végétaux des jardins potagers parisiens en fonction de différents aménagements afin de vérifier leur efficacité à limiter le transfert de polluant en zones urbaines.¹⁹

Ainsi, quatre sites correspondant à plusieurs typologies et plusieurs sources de contamination potentielle ont été sélectionnés : au droit d'une ancienne usine à gaz, à proximité du boulevard périphérique, en toit-terrasse élevée et sur un site connu pour une pollution historique de ses sols ayant reçu des eaux usées. La qualité des sols, des végétaux, des eaux d'arrosage, de l'air ambiant et des retombées atmosphériques a été analysée (Badreddine et al., 2019).

Plusieurs composés organiques et inorganiques ont été recherchés :

- Eléments métalliques : plomb (Pb), cadmium (Cd), mercure (Hg), chrome (Cr), cuivre (Cu), zinc (Zn), molybdène (Mo), nickel (Ni), baryum (Ba), sélénium (Se), antimoine (Sb) et arsenic (As) ;
- Chlorures, fluorures, sulfates, nitrates, nitrites et phosphates ;
- Hydrocarbures totaux (hydrocarbures aliphatiques et aromatiques), 16 HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), 7 PCB (polychlorobiphényles) indicateurs, BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), COHV (composés organiques halogènes volatils), indice phénol et PCDD/F (polychlorodibenzo-dioxines/furanes).

Le projet POTEX a permis de tester quatre solutions d'aménagements visant à réduire les risques potentiels d'exposition associés aux différents contaminants susceptibles d'être observés en Ile-de-France (métaux et polluants organiques) :

- Culture sur terres en place ;
- Décapage et remplacement des sols de surface par 30 cm de terre végétale ;
- Excavation sur 45 cm et mise en place d'une couche drainante (15 cm) entre deux géotextiles sous-jacents à l'apport de terre végétale sur une épaisseur de 30 cm ;
- Culture en bac hors sol.

Il ressort des analyses les observations principales suivantes²⁰ :

- Le rôle de l'aménagement dans l'atténuation des transferts de polluants des sols vers les plantes est variable en fonction du niveau initial de contamination du site. Pour un des sites investigués, la présence de la terre végétale d'apport a permis de diminuer la contamination en plomb et en cadmium aussi bien dans les légumes feuilles que dans les légumes racines. Cette réduction est encore plus marquée dans le thym qui montrait la contamination la plus importante. En général, la couche drainante n'a pas joué de rôle particulier dans l'atténuation des transferts de contaminants (plomb et cadmium) des sols vers les plantes, excepté un rôle minime dans la réduction de la teneur en plomb dans le thym. Pour un autre site, moins impacté, l'apport de terre végétale avec et sans couche drainante n'a pas eu d'influence notable ;
- Concernant l'impact des dépôts atmosphériques, la contamination particulaire essentiellement en cuivre et zinc des salades s'est révélée plus prononcée sur le site localisé à proximité d'un axe routier ;

2021/1323 DE LA COMMISSION du 10 août 2021 modifiant le règlement (CE) no 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en cadmium dans certaines denrées alimentaires

¹⁹ Fiche de l'action consultable via le lien suivant : <https://www.villes-sante.com/actions-des-villes/urbanisme/paris-potex-potagers-experimentaux>. Consulté le 05/03/2021.

²⁰ Diaporama « Etude de la qualité des végétaux de potagers urbains en fonction des aménagements visant à réduire l'exposition des usagers aux polluants : projet POTEX » disponible via le lien suivant : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/jt15-du-19-novembre-2018>. Consulté le 05/03/2021.

- La préparation des végétaux peut avoir des effets sur leurs concentrations. Ainsi, le rôle du lavage dans la réduction de la contamination a été démontré au cours du projet POTEX. L'épluchage des végétaux joue également un rôle dans la réduction de la contamination des végétaux en supprimant le rhizoderme²¹, zone d'absorption et de diffusion des polluants.

Les différentes typologies d'aménagement étudiées sont à privilégier selon le degré de contamination des sols et selon leurs caractéristiques physico-chimiques. Ainsi :

- Les cultures sur terres en place sont à envisager dans les cas de sols peu ou pas pollués ;
- Le décapage et le remplacement des sols de surface par 30 cm de terre végétale sont à envisager lorsqu'une pollution superficielle ne permet plus de cultiver en pleine terre des plantes destinées à la consommation ;
- La culture en bac hors sol apparaît parfois plus pratique et raisonnable au regard des pollutions du sol, sous réserve de l'utilisation d'un support de culture de qualité contrôlée.

Ces observations ont conduit aux recommandations suivantes pour réduire l'exposition humaine aux polluants de l'environnement :

- placer tout nouveau jardin à distance des axes de circulation dense, en raison des retombées particulières et de leur influence sur la qualité des végétaux ;
- lavage et épluchage systématiques des végétaux potagers cultivés.

Le rapport « Usages dans les jardins partagés et hiérarchisation des risques sanitaires liés à l'activité de jardinage en milieu urbain » (Fernandez, 2014) issu du projet POTEX indique que les données de fréquentation et de consommation de certains légumes en vue de l'EQRS ont pu être recueillies. Des informations ont également été collectées sur la typologie des jardins partagés (cultures majoritaires, pratiques culturelles, usages des jardins, perceptions des légumes par les jardinier.ère.s) :

- les taux d'autoconsommation des légumes (salade, chou, blette, pomme de terre, carotte, tomate) des jardins partagés enquêtés sont de l'ordre de 5% ;
- la culture des fleurs a une place au moins équivalente en surface que celle des cultures de légumes ;
- la variété des légumes cultivés est semblable à ce qui est trouvé majoritairement dans les potagers classiques (salades et tomates), avec cependant une tendance notable pour les herbes aromatiques.

4.4 JASSUR (2013-2016)

Le projet JASSUR (Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques) a été coordonné par l'UL-INRA/Laboratoire Sols et Environnement et l'Université Aix Marseille/TELEMMe en partenariat avec des acteurs de la recherche et du monde associatif (LSE, TELEMMe, EcoLab/Certop, EcoSys,IRSTV, LER Isara, NORT, SAD-APT, Groupe Isa, Cerema, Pades, Plante&Cité).

L'objectif de ce projet était :

- d'identifier les modes d'action nécessaires au maintien voire à la restauration, au développement ou à l'évolution de jardins associatifs sur des territoires urbains ;
- et d'évaluer les services écosystémiques de régulation et de soutien, notamment en termes de biodiversité et de régulation hydrique²².

La zone d'étude a concerné plusieurs grandes agglomérations françaises aux conditions pédo-climatiques contrastées : Lille, Grand Lyon, Marseille, Grand Nancy, Nantes, Grand Toulouse et l'Île-de-France dont Paris.

JASSUR a étudié les pratiques, fonctions et risques environnementaux et sanitaires associés aux jardins collectifs urbains en expansion au sein de territoires confrontés aux défis de la durabilité avec pour problématique centrale les services assurés par les jardins associatifs urbains.

²¹ Rhizoderme : couche superficielle de la racine d'une plante

²² Détails et rapport final disponible via le lien suivant : https://www.plante-et-cite.fr/projet/fiche/48/jassur_jardins_associatifs_urbain . Consulté le 04/03/2021

Des investigations ont été menées sur le terrain alliant enquêtes, échantillonnage et caractérisations des systèmes sol-eau-plantes-atmosphère.

La démarche d'échantillonnage de terrain, a été suivie d'une caractérisation des sols, des plantes, de l'eau et de l'air. Des enquêtes ont été menées auprès des jardinier.ère.s quant à leurs représentations vis-à-vis des intérêts et dangers des jardins. Sur la base de ces éléments, une évaluation des risques liés à la présence de polluants dans les sols a été déroulée. L'étude a permis de mettre en œuvre également des essais de traitabilité par bio- et phytoremédiation au laboratoire et in situ.

Les principaux résultats du projet en termes de transferts de polluants et de risques sanitaires sont les suivants :

- A l'échelle nationale, la qualité des sols de jardins est très hétérogène : majoritairement fertiles, et supports de biodiversité, les sols présentent localement des niveaux de pollution élevés dus aux pratiques de jardinage et à l'environnement urbain ;
- Pour le jardinier, l'intérêt alimentaire et nutritionnel peut ponctuellement être remis en cause par l'existence de risques sanitaires. Le projet a essayé de montrer dans ces cas qu'une bioremédiation de la pollution métallique pouvait être envisagée. Les auteurs indiquent néanmoins qu'il est nécessaire d'organiser la filière jardin au niveau national et de l'encadrer par des dispositifs réglementaires (Schwartz & Consalès, 2016) ;
- De plus, ce projet a étudié l'influence de la pollution atmosphérique. Il a ainsi mis en évidence une contamination des sols et des végétaux à proximité immédiate de routes à trafic important notamment pour le zinc et le plomb dans les sols et pour le cadmium, plomb et cuivre dans les stations de biosurveillance (chou comme plante modèle). Les concentrations en HAP dans les végétaux des stations de biosurveillance sont plus fortes pour les sites de proximité du trafic.

Ce constat conduit à recommander d'éviter de placer des jardins à proximité de routes à fort trafic, lors d'aménagements de jardins urbains. Cette recommandation est fondée sur d'éventuels risques sanitaires liés à l'ingestion de particules de sols pollués par les retombées atmosphériques sur le long-terme et/ou de consommation de végétaux contaminés par les retombées atmosphériques lors de leur croissance et/ou à l'exposition aux polluants atmosphériques par les jardinier.ère.s.

Il ressort de ce projet des éléments spécifiques à l'Île-de-France. Ce projet a en effet donné lieu à des mesures de biodisponibilité²³ et de bioaccessibilité²⁴ orale des éléments métalliques dont les résultats sont très variables entre villes et au sein d'une même ville. Paris (tout comme Lille) se distingue par des fractions bioaccessibles en Cd par ingestion de sol pouvant être plus importantes que les autres villes étudiées.

A Paris, les distances d'impact²⁵ des routes très fréquentées, sont :

- vis-à-vis du sol : les 30 premiers mètres (Pb, Zn),
- et vis-à-vis de la surface des feuilles des légumes : jusqu'à une centaine de mètres (HAP, Zn, Cd, Sb).

La qualité de l'air est marquée par des concentrations relativement élevées en différents polluants (NOx, PM10) à proximité immédiate des routes, avec des concentrations en NO₂ pouvant dépasser certains seuils réglementaires pour la protection de la santé. Une forte diminution des concentrations est observée dans les 30 premiers mètres.

Les phénomènes de dispersion de la pollution atmosphérique vont également dépendre d'autres facteurs que la distance aux routes : relation topographique (en remblai, en déblai, à niveau), présence d'obstacles (arbre, bâtiment), facteurs climatiques (en particulier rose des vents, précipitations), facteur hauteur (un site disposé sur le toit d'un bâtiment élevé est moins soumis aux retombées directes) (Schwartz & Consalès, 2016).

Les auteurs soulignent néanmoins certaines limites de l'étude qui repose sur un nombre réduit de sites. La petite taille des échantillons ne permet pas de tirer des conclusions statistiquement valables.

²³ Biodisponibilité : fraction de polluants ayant passé les barrières biologiques (Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, 2017)

²⁴ Bioaccessibilité : fraction de polluants libérés dans les sucs gastro- intestinaux humains et donc disponible pour absorption (Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, 2017)

²⁵ distance maximale à la source pour laquelle l'impact est mis en évidence de manière significative

Le travail d'acquisition des données mené dans Jassur, bien que significatif, n'est pas jugé suffisant pour expliquer l'état biologique et physico-chimique des sols en raison d'un nombre de variables potentiellement explicatives très élevé.

4.5 COMETE (2016-2020)

L'étude COMETE a étudié la contamination en métaux des terres des espaces verts parisiens. Menée entre 2016 et 2020 par la Ville de Paris, cette étude a mis en évidence que les espaces verts aménagés avant les années 1950 ayant reçu des terres végétales provenant de terrains maraîchers parisiens ou de proche banlieue (petite couronne) présentaient des teneurs en ETMM plus élevées que ceux aménagés par la suite avec des terres agricoles contrôlées. Ce projet a permis de mieux caractériser la qualité des sols à Paris avec un total de 285 prélèvements composites analysés au laboratoire d'agronomie de la ville de Paris et de prioriser les travaux pour rendre compatible ces espaces verts avec les usages. Plusieurs paramètres ont été mesurés dans ces échantillons et notamment les concentrations en 9 ETMM : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb, sélénium et zinc (Charvet & Nold, 2020; Gitton et al., 2018).

4.6 Etude de zone de la vallée de Seine (2010 – 2019)

L'étude de zone de la vallée de Seine a été pilotée par le Secrétariat Permanent pour la Prévention des risques Industriels (SPI) Vallée de Seine avec l'appui de la DRIEAT Ile-de-France et d'un Comité Technique. Une étude de zone, telle que développée dans le guide méthodologique de l'Ineris²⁶, est une démarche d'évaluation des impacts des activités humaines sur l'état des milieux d'une part, et des impacts sanitaires inhérents pour les populations d'autre part. L'objectif d'une étude de zone est d'identifier et de hiérarchiser les actions sur un territoire donné afin de maîtriser les risques ou impacts (Ineris, 2011). L'ensemble des informations dédiées à l'étude de zone conduite pour la vallée de Seine sont disponibles sur une page web dédiée²⁷.

Après un état des lieux afin d'identifier les zones multi-exposées, des campagnes de mesure ont été menées sur plusieurs matrices d'intérêt : dont les végétaux. Une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM), démarche permettant d'évaluer la compatibilité entre l'état des milieux constatés et les usages observés, a été mise en œuvre. L'IEM réalisée à partir des données analysées dans l'environnement a permis de vérifier la compatibilité entre les compartiments environnementaux (sols, air, eaux et végétaux) et les usages, dont en particulier le jardinage pour la production alimentaire (SPI Vallée de Seine, 2019a). Des recommandations sur les bonnes pratiques à adopter dans le jardin ont été diffusées auprès de la population. Celles-ci rappellent notamment l'interdiction du brûlage de déchets verts qui dégrade la qualité de l'air ambiant, contribuant ainsi à réduire les émissions de polluants associées aux activités humaines et leurs impacts sur les milieux (SPI Vallée de Seine, 2019b).

4.7 PhytExPPO (2015-2017)

Le projet **PhytExPPO** « Phytodisponibilité des ETM pour les Plantes Potagères et ExtrapOlations dans la quantification de l'exposition des consommateurs » de l'Ademe a exploré les modes de gestion des sols de potagers contaminés en ETMM et notamment l'utilisation d'amendements minéraux ou organiques pour réduire la phytodisponibilité des polluants pour les végétaux potagers. Ce rapport présente tout d'abord une étude bibliographique sur le transfert des ETMM dans les légumes - avec la consultation de trois bases de données : jardins privés du site atelier Metaleurop, jardins privés situés dans les anciens bassins industriels wallons et les données de BAPPET²⁸ - et sur les moyens de réduction de ces transferts. Le second volet concerne les incertitudes liées à l'utilisation des valeurs mesurées sur un végétal pour l'ensemble de la famille végétale du bol alimentaire dans les calculs de risques.

Les conclusions de PhytExPPO concernant les transferts du sol vers les végétaux potagers montrent que :

²⁶ Guide pour la conduite d'une étude de zone, Ineris DRC-11-115717-01555B

<https://www.ineris.fr/fr/guide-conduite-etude-zone>

²⁷ Page web sur SPI Vallée de Seine concernant l'étude de zone : <https://www.spi-vds.org/fr/etude-de-zone-121.html>. Consultée le 28/10/2021.

²⁸ Base de données des teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères (BAPPET)

- Les sols potagers étudiés dans ce projet présentaient des concentrations en ETMM souvent supérieures aux sols agricoles ;
- Les concentrations en ETMM dans les organes consommés peuvent excéder de plus de 10 fois celles de légumes cultivés sur des sols peu ou non contaminés contre 5,3 pour les fruits ;
- La laitue est un des légumes qui absorbent le plus As, Cd, Cu, Zn et qui les accumulent dans ses feuilles en milieu impacté ;
- Parmi les légumes fruits, la tomate accumule plus les ETMM sur des sols impactés par rapport à des sols faiblement impactés.

La recherche bibliographique réalisée dans le cadre de PhytExPPO concernant les amendements a permis de souligner les éléments suivants :

- Les amendements les plus étudiés sont les produits phosphatés, les carbonates et les composts ;
- Malgré des résultats montrant une réduction de la phytodisponibilité des ETMM après l'application d'amendement, des contaminations dans les légumes subsistent. Les effets varient d'une substance à l'autre, d'une espèce voire d'un organe à l'autre. Des recherches supplémentaires semblent nécessaires.

4.8 TROPHé (2014-2017)

Le projet TROPHé (Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les Ecosystèmes) n'a pas été mené sur des jardins urbains. Il est néanmoins abordé dans le présent rapport en raison de sa contribution à la production de connaissances sur les transferts de polluants vers le végétal dans une perspective d'évaluation de risques associés à l'exposition par ingestion. Ce projet a été mené par l'Ineris et co-financé par l'Ademe et dans le cadre de l'appel à projet GESIPOL entre 2014 et 2017. L'objectif de ce projet était d'améliorer les connaissances sur les transferts de Polluants organiques Persistants (PCB et dioxines/furanes (PCDD/F)) depuis les sols vers les végétaux consommés par l'Homme et les risques associés pour l'Homme et les écosystèmes. Les terres utilisées pour le projet sont issues d'un site industriel ayant fait l'objet d'un incendie.

Ce projet a permis entre autres :

- d'améliorer la prise en compte de ces mécanismes dans les évaluations des risques sanitaires (ERS) et de risques pour les écosystèmes (éRé) pour la gestion des sites et sols pollués ;
- d'apprécier la sensibilité des principaux paramètres (type et structure des molécules, concentration dans le sol, type d'organisme végétal ou animal, type d'espèce végétale etc.) qui peuvent influencer ce transfert dans les outils de modélisation du risque.²⁹

A l'issue des expérimentations en chambre de culture sur des terres impactées et de l'évaluation des risques liés à l'ingestion de sols et de végétaux, plusieurs observations ont été formulées :

- Les facteurs de bioconcentration (BCF) sont globalement plus élevés pour les PCB que pour les PCDD/F à la fois pour les végétaux et les invertébrés ;
- L'exposition au PCB contenus dans les végétaux diffère selon les classes d'âge considérées dans les calculs de risque ;
- L'ingestion de PCB et PCDD/F via les sols et les végétaux cultivés sur des sols contaminés constitue une voie prépondérante pour l'exposition des populations, notamment des enfants.

Ce projet a notamment permis d'augmenter les données disponibles pour établir des coefficients de transfert entre le sol et les plantes pour les polluants organiques persistants (Ineris, 2017b).

L'étude de sensibilité menée sur les différents paramètres d'entrée de l'évaluation des risques sanitaires a conduit à des recommandations. Celles-ci concernent notamment :

- la prise en compte des congénères PCB-ndl, PCB-dl et PCDD/F de manière distincte dans les matrices environnementales investiguées ; l'exposition est très dépendante des congénères présents de par la variabilité de leur transfert dans les végétaux ;

²⁹ Résumé et livrables disponibles via le lien suivant : <https://www.ademe.fr/trophe-transferts-risques-organiques-persistants-lhomme-ecosystemes>. Consulté le 04/03/2021.

- l'analyse de POP sur la fraction des sols la plus fine, celle adhérente aux mains (0-250 µm) en complément de la fraction globale généralement envoyée au laboratoire d'analyse, pour une prise en compte adaptée de l'exposition par ingestion ;
- la prise en compte de valeurs adaptées au contexte et aux objectifs de l'étude (valeur moyenne à l'échelle d'un site ou valeur ponctuelle) ;
- la sélection, dans la mesure du possible, d'un laboratoire d'analyse présentant des seuils de quantifications bas pour réduire la potentielle surestimation des expositions et des risques associés ;
- dans un contexte de multipollution, la prise en compte d'un bol alimentaire varié, représentatif de celui de la population générale, composé de toutes les catégories de végétaux, en raison des transferts variables selon les POP considérés.

4.9 Projets en cours

Ce paragraphe mentionne quelques projets en cours dont les résultats pourront alimenter la connaissance des transferts de polluants dans les végétaux.

4.9.1 CARTHAGE (2018-2022)

Bien que mis en œuvre dans un contexte d'agriculture urbaine, le projet CARTHAGE est abordé dans ce rapport en raison de sa contribution à la thématique des transferts de polluants depuis l'environnement vers les végétaux potagers.

Le projet CARTHAGE (Contribution de l'Air dans les Risques et Transferts associés aux HAP en Agricultures urbaines : Gestion et Evaluation) est piloté par l'Ineris en partenariat avec AgroParistech, dans le cadre de l'appel à projet PRIMEQUAL co-financé par l'Ademe.

Sur la base de mesures en HAP contenus dans l'air, les sols et les végétaux de trois micro-fermes urbaines franciliennes, le projet CARTHAGE a pour objectifs d'évaluer :

- la contribution de la pollution atmosphérique à la contamination des végétaux en HAP, en distinguant les différents mécanismes de transferts tels que les transferts foliaire et racinaire ;
- l'exposition et les risques sanitaires liés aux HAP pour les travailleurs et usagers des micro-fermes urbaines ainsi que pour les consommateurs des végétaux cultivés.

Selon les résultats acquis au cours du projet et selon les futures conclusions, il pourrait ainsi être proposé, des mesures de gestion adéquates afin de prévenir ou de réduire l'exposition et les risques associés à la présence des HAP en milieu urbain.

4.9.2 POTAGERS (2019-2022)

Le projet POTAGERS (POTagers urbains et Amendements : Gestion et challenges EnviRonnementaux et Sanitaires) coordonné par l'YNCREA ISA Hauts-de-France et impliquant l'Ineris, l'Université de Lille, Inrae, le CNRS et le groupe Agiopale pour une durée de 3 ans concerne des jardins urbains des agglomérations de Nantes et Lille. Ce projet est co-financé par l'Ademe dans le cadre de l'APR Graine.

Ce projet a pour objectifs :

- de mesurer les teneurs en contaminants métalliques dans une sélection de composts autoproduits dans des potagers situés dans différents contextes urbains ;
- d'étudier leur intérêt, en comparaison de composts élaborés au sein de plateformes de compostage mais également d'amendements minéraux, pour gérer des sols de potagers urbains présentant des contaminations géogènes et/ou anthropiques modérées. ;
- d'évaluer le potentiel de différents amendements pour réduire de façon durable la phytodisponibilité³⁰ des polluants métalliques ;
- et d'évaluer l'exposition des jardiniers et de leur famille via l'ingestion de particules de terre et de légumes autoproduits et les risques associés.

³⁰ Fraction mobilisable et transférable vers les racines des plantes (Ademe et al., 2019)

Le projet prévoit :

- d'analyser les pratiques des jardinier.ère.s, leurs connaissances de l'historique de leur parcelle, leurs savoirs en termes de compostage, les effets des modes de gestion étudiés sur la fonctionnalité des sols et d'une façon plus globale, sur les services écosystémiques rendus par ceux-ci,
- de tirer les enseignements des enquêtes réalisées pour envisager une meilleure gestion de l'environnement en vue de protéger la santé des jardiniers.

Les effets de différents amendements sur le sol sont étudiés dans le cadre d'expérimentations en serre puis in situ, dans des contextes environnementaux urbains contrastés.

4.10 Synthèse des résultats et recommandations en termes de mesures de gestion

Ainsi, de nombreux projets de recherche ont vu le jour ces dernières années autour de la question du jardinage, ce qui a donné lieu à la mise en œuvre d'essais expérimentaux in situ, avec des objectifs variés :

- vérifier l'efficacité d'aménagements mis en œuvre dans les jardins partagés pour limiter le transfert de polluants (POTEX) ;
- caractériser les concentrations dans les sols et/ou les végétaux (REPJAR, COMETE) ;
- évaluer le potentiel d'exposition des populations et les risques sanitaires associés aux polluants contenus dans les sols et les végétaux (Etude de zone Vallée de Seine, POTEX, TROPHÉ, CARTHAGE) ;
- améliorer les connaissances sur les jardins urbains, d'un point de vue sociologique et environnemental (JASSUR, COMETE, POTAGERS) ;
- évaluer l'impact d'amendements sur la limitation du transfert de polluants du sol vers les plantes (PhytExPPO, POTAGERS) ;
- estimer l'impact des infrastructures et notamment des routes (JAFARR, JASSUR, ITTECOP).

L'ensemble des projets précités, les substances et milieux investigués ainsi que les conclusions et recommandations de ces travaux sont compilés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des projets de recherche concernant le transfert de polluants entre les milieux environnementaux et les plantes potagères en milieu urbain

Nom du projet	Polluants étudiés	Milieu(x) échantillonné(s)	Transfert(s) étudié(s)	Conclusions	Recommandations
JAFARR (2012) JAr dins FA miliaux proches des infrastructures de transport (Rail, Route) en Île de France	ETMM HAP HCT	Sol	Atmosphère ³¹ → Sol	Gradient de concentration en plomb et zinc par rapport à la distance à la voie et notamment sur les 30 premiers mètres.	Installer les jardins urbains à plus de 30 m d'axe routier
REPJAR (2012-2015) Réduction de l'Exposition aux métaux des Populations en lien avec le JARdinage et la consommation de denrées autoproduites	ETMM (et notamment Pb et Cd)	Sol Végétaux	Sol → Végétaux	Les auteurs concluent qu'il reste difficile de prédire la conformité des productions végétales vis-à-vis des valeurs repères existantes au regard des seules concentrations en Cd et Pb dans le sol.	<p>Limitier la disponibilité des métaux dans les sols par des entretiens calciques réguliers</p> <p>Eviter d'utiliser l'auto-compost sur le potager, privilégier son utilisation sur les plantes florales et pelouses</p> <p>Bien choisir les productions à cultiver</p> <p>Sont recommandées les productions qui accumulent peu les métaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les fruits • les légumes tels que le concombre, le cornichon, la courgette, les choux, l'oseille et les haricots gousses. <p>Sont à éviter les productions qui accumulent les métaux : oignon, poireau, betterave rouge, chicorée, persil, menthe, carotte, aneth, sauge, aubergine, navet, céleris (branche et rave), cerfeuil, épinard, thym</p> <p>Cultiver les aromates en bac dans au moins 30 cm de terre saine</p> <p>Laver minutieusement avant et après le pelage des légumes, laver et peler les fruits</p> <p>Diversifier les sources d'approvisionnement des fruits et légumes</p>

³¹ Malgré l'absence de mesure dans l'air. La distance par rapport aux routes est un proxy de l'influence de la route sur la qualité de l'air.

Nom du projet	Polluants étudiés	Milieu(x) échantillonné(s)	Transfert(s) étudié(s)	Conclusions	Recommandations
POTEX (2012-2015) POTagers Expérimentaux	ETMM HCT HAP PCB COHV BTEX	Sol Végétaux Air	Sol-Végétaux- Atmosphère	<p>Le rôle de l'aménagement dans l'atténuation des transferts de polluants des sols vers les plantes est variable en fonction du niveau initial de contamination du site mais a permis de réduire les transferts pour un des sites étudiés.</p> <p>Concernant l'impact des dépôts atmosphériques, la contamination particulière essentiellement en cuivre et zinc des salades s'est révélée plus prononcée sur le site situé à proximité d'un axe routier.</p>	<p>En raison des retombées particulières et de leur influence sur la qualité des végétaux, tout nouveau jardin associatif devra être placé, à distance des axes de circulation dense.</p> <p>Le décapage et le remplacement des sols de surface par 30 cm de terre végétale sont à envisager lorsqu'une pollution superficielle ne permet plus de cultiver en pleine terre des plantes consommées.</p> <p>La culture en bac hors sol apparaît parfois plus pratique et raisonnable au regard des pollutions du sol, sous réserve de l'utilisation d'un support de culture de qualité contrôlée.</p> <p>Concernant la préparation des végétaux, le lavage et l'épluchage systématiques permettent de réduire la contamination des végétaux.</p>
JASSUR (2013-2016) Jardins Associatifs Urbains et villes durables : pratiques, fonctions et risques	ETMM HAP	Sol Végétaux Eau Air	/	<p>Multiples en fonction des axes de recherche considérés</p>	
COMETE (2016-2020) C ontamination en M étaux des Terres des E spaces verts p ariens	ETMM HAP BTEX HCT	Sol	Sol	<p>La plupart des espaces verts parisiens aménagés antérieurement aux années 1950 ont reçu des terres végétales provenant de terrains maraîchers parisiens ou de proche banlieue (petite couronne) plus contaminées que les terres agricoles d'Ile-de-France pour les substances étudiées.</p>	
Etude de zone de la vallée de Seine (2010- 2019)	ETMM	Sol Végétaux Air Eaux souterraines Eau de surface	/	<p>Les milieux air, eaux de surface, eaux souterraines et végétaux/denrées alimentaires sont compatibles avec les usages qui en sont faits. Le milieu Sol est compatible avec les usages pour l'ensemble des traceurs de risque retenus pour ce milieu, excepté pour le Pb notamment pour les enfants. L'IEM a également montré que les concentrations en Pb mesurées dans les végétaux et fruits étaient inférieures aux valeurs réglementaires dans les denrées alimentaires.</p>	<p>Les recommandations concernant le milieu Sol propose une information sur l'impact des importants axes routiers afin de le considérer dans les plans d'aménagement urbain (éviter les jardins familiaux à proximité des grands axes routiers et des voies ferrées par ex.)</p> <p>Maintenir un programme de surveillance des concentrations en plomb dans les sols.</p> <p>Rappeler l'interdiction du brûlage de déchets verts</p>

Nom du projet	Polluants étudiés	Milieu(x) échantillonné(s)	Transfert(s) étudié(s)	Conclusions	Recommandations
PhytExPPO (2015-2017) Phytodisponibilité des ETM pour les Plantes Potagères et Extrapolations dans la quantification de l'exposition des consommateurs	ETMM	Qualité des milieux issue de base de données existantes (sols, végétaux)	Sol→ Végétaux	<p>Les concentrations en ETMM dans les sols potagers étudiés étaient souvent supérieures à celles mesurées dans les sols agricoles ;</p> <p>Les concentrations en ETMM dans les organes consommés peuvent excéder de plus de 10 fois celles de légumes cultivés sur des sols peu ou non contaminés contre 5,3 pour les fruits ;</p> <p>La laitue est un des légumes qui absorbent le plus As, Cd, Cu, Zn et qui les accumulent dans ses feuilles en milieu impacté ;</p> <p>Parmi les légumes fruits, la tomate accumule plus les ETMM sur des sols impactés par rapport à des sols faiblement impactés.</p> <p>Les amendements les plus étudiés dans la littérature sont les produits phosphatés, les carbonates et les composts ;</p> <p>Malgré des résultats montrant une réduction de la phytodisponibilité des ETMM après l'application d'amendement, ces résultats sont fortement liés aux conditions expérimentales des études considérées : les effets varient d'une substance à l'autre, d'une espèce voire d'un organe à l'autre. Des recherches supplémentaires semblent nécessaires.</p>	<p>Les résultats montrent que la préconisation de tel ou tel amendement dans le but de réduire la phytodisponibilité des polluants métalliques pour les légumes est prématurée à ce stade d'avancement des recherches. De plus, du fait de la complexité des sols de potagers et de la diversité des pratiques culturales, les constats réalisés ne peuvent être en aucun cas généralisés à tous les contextes.</p>
TROPHÉ (2014-2017) Transferts et Risques des Organiques Persistants pour l'Homme et les Ecosystemes	PCB PCDD/F	Sol Végétaux Air	Sol→ Végétaux	<p>L'exposition au PCB contenus dans les végétaux diffère selon les classes d'âge ;</p> <p>L'ingestion de PCB et PCDD/F via les sols et les végétaux cultivés sur des sols contaminés constitue une voie prépondérante pour l'exposition des populations, notamment des enfants ;</p> <p>Les facteurs de bioconcentration (BCF) sont globalement plus élevés pour les PCB que pour les PCDD/F pour les végétaux.</p>	<p>Ce projet n'avait pas vocation à formuler des recommandations pour limiter les transferts de polluants vers le végétal.</p> <p>Cependant, l'étude de sensibilité menée sur les différents paramètres d'entrée de l'évaluation des risques sanitaires a conduit à des recommandations pour le déroulement d'évaluation des transferts de POP et des expositions par ingestion de sol et de végétaux et des risques associés. Celles-ci concernent notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> la prise en compte des congénères PCB-ndl, PCB-dl et PCDD/F de manière distincte dans les matrices environnementales investiguées ; l'exposition est très

Nom du projet	Polluants étudiés	Milieu(x) échantillonné(s)	Transfert(s) étudié(s)	Conclusions	Recommandations
					<p>dépendante des congénères présents de par la variabilité de leur transfert dans les végétaux ;</p> <ul style="list-style-type: none"> l'analyse de POP sur la fraction des sols la plus fine, celle adhérente aux mains (0-250 µm) en complément de la fraction globale généralement envoyée au laboratoire d'analyse, pour une prise en compte adaptée de l'exposition par ingestion ; la prise en compte de valeurs adaptées au contexte et aux objectifs de l'étude (valeur moyenne à l'échelle d'un site ou valeur ponctuelle) ; la sélection, dans la mesure du possible, d'un laboratoire d'analyse présentant des seuils de quantifications bas pour réduire la potentielle surestimation des expositions et des risques associés ; dans un contexte de multipollution, la prise en compte d'un bol alimentaire varié, représentatif de celui de la population générale, composé de toutes les catégories de végétaux, en raison des transferts variables selon les POP considérés.
CARTHAGE (2018-2022) Contribution de l'Air dans les Risques et Transferts associés aux HAP en Agricultures urbaines : Gestion et Evaluation	HAP	Sol Végétaux Air	Sol → végétaux Air → végétaux		Projet en cours
POTAGERS (2019-2022) POTagers urbains et Amendements : Gestion et challenges EnviRonnementaux et Sanitaires	ETMM	Sol Compost	Compost-sol		Projet en cours

Il ressort de cette synthèse que les études identifiées autour des transferts de polluants dans le contexte urbain ciblent différentes sources de contamination et voies de transferts susceptibles d'impacter la qualité des végétaux :

- la qualité de l'air ambiant influencée notamment par les émissions atmosphériques du trafic urbain et d'éventuelles sources industrielles ; la distance des jardins vis-à-vis des voies de circulation constituant un proxy de la qualité de l'air urbain pour les substances concernées ;
- la qualité des composts ;
- le brûlage de déchets dans les jardins ;
- la qualité des sols : il s'agit d'un milieu intégrateur de pollutions historiques (dépôts atmosphériques, rejets accidentels ou chroniques de polluants).

La qualité de l'air ambiant (poussières en suspension et dépôts atmosphériques) est généralement assez peu investiguée. La mise en œuvre de campagnes nécessitant une expertise spécifique afin de disposer de mesures représentatives peut constituer un frein à l'acquisition de données relatives à la qualité de l'air. L'influence de l'eau d'arrosage et de la qualité des composts reste encore assez peu étudiée à l'heure actuelle mais des projets récents tentent d'apporter des éléments sur ces questions. Le rapport de l'étape 3 de l'Inrae aborde la question spécifique des usages des jardiniers pour l'arrosage et le compostage. Une meilleure connaissance des autres compartiments (que le sol) à l'interface avec le végétal via leur caractérisation apportera des éléments pour l'estimation des contributions relatives des différents transferts à l'exposition et au risque global. Il sera alors pertinent de se réinterroger, le cas échéant, sur les leviers d'actions qui peuvent en découler.

D'une manière générale, les polluants le plus fréquemment recherchés au cours de ces projets sont les ETMM et dans une moindre mesure les hydrocarbures et polluants organiques.

Ces différents projets ont permis de formuler des recommandations pour limiter les transferts de certains polluants et ainsi réduire l'exposition humaine. Les principales recommandations concernent :

- la localisation des jardins,
- l'identification du potentiel d'accumulation de différentes catégories de végétaux,
- la préparation des végétaux avant consommation,
- l'aménagement permettant de limiter les transferts de polluants.

Plusieurs études cherchent à mettre en évidence des associations entre des facteurs environnementaux et la qualité des sols et des végétaux. Cependant, très souvent, le nombre limité de sites étudiés ne permet pas de tirer des conclusions statistiquement valables. Enfin, certaines études s'appuient sur les données recueillies (mesures dans les milieux et paramètres d'exposition issus d'enquêtes auprès des jardinier.ère.s et usagers des jardins) pour mettre en œuvre une évaluation des risques sanitaires. Ce point a également été étudié dans le retour d'expérience de l'Inrae.

Bien que non mis en œuvre sur un jardin potager, l'étude TROPHÉ a permis de formuler des recommandations pour le déroulement d'études d'évaluation des transferts de PCB et PCDD/F et d'expositions par ingestion de sol et de végétaux potagers et des risques associés.

4.11 Rapide tour d'horizon à l'international

La gestion de la pollution au droit de jardins potagers est une problématique commune à de nombreuses villes, également à l'étranger. La création d'outils destinés aux jardinier.ère.s afin de les guider dans la caractérisation de la qualité des milieux se développe.

Par exemple, l'outil SANISOL en Belgique est développé par l'UCLouvain afin de fournir des recommandations liées à l'utilisation des sols destinés à la culture de végétaux notamment par rapport à la présence d'ETMM.

Une étude australienne a permis de bancariser les données de 17 256 échantillons de sol provenant de jardins urbains et d'appréhender la qualité des sols par rapport aux polluants métalliques (Taylor et al., 2021).

La ville de Toronto a également rédigé un guide spécifique aux tests à réaliser sur les sols pour un usage de jardins urbains (Toronto Public Health, 2013).

5 Méthodologies mises en œuvre pour l'étude des transferts de polluants dans le cadre du jardinage urbain

5.1 Sélection des jardins

Des essais expérimentaux *in situ* sont le plus souvent mis en œuvre lors de l'étude du transfert de polluants dans le cadre de jardins urbains. La sélection des jardins doit permettre dans la mesure du possible de répondre aux objectifs fixés au démarrage de l'étude. Ainsi la sélection pourra être basée sur des caractéristiques particulières que l'on cherche à étudier (liste non exhaustive) :

- Typologie particulière de jardins (notamment familiaux, partagés, privés) ;
- Sous l'influence d'une source de pollution (émissions industrielles, chauffage au bois, trafic urbain, etc.) ;
- Contamination historique des sols du fait d'activités passées (industries, activités artisanales, maraîchage, épandage de boues, etc.).

On cherche donc à identifier et sélectionner des jardins représentatifs d'une zone d'étude ou présentant des caractéristiques contrastées pour vérifier si celles-ci peuvent avoir une influence sur la qualité des milieux et la contribution des différentes voies de transfert sur la qualité des végétaux.

Ces critères seront cependant à concilier avec les diverses ressources nécessaires durant l'expérimentation :

- Ressources humaines pour les semis et l'entretien des cultures, la cueillette des végétaux à maturité ;
- Point d'eau pour l'arrosage des plantes ;
- Electricité pour alimenter une station météorologique, etc.

Ces derniers éléments peuvent grandement contraindre le choix de sites pertinents pour la mise en œuvre d'essais et introduire des limites dans l'étude.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'analyses statistiques sur les résultats acquis au droit de jardins pour étudier l'influence de divers facteurs sur la qualité des sols et des végétaux peut rencontrer certaines limites. En effet, un nombre insuffisant de jardins au regard du grand nombre de variables explicatives des phénomènes de transfert en jeu peut conduire à ne pas pouvoir conclure.

Il pourra être intéressant pour connaître l'exposition des populations à l'échelle territoriale, et notamment la part de l'exposition liée à l'ingestion de végétaux, de s'appuyer sur une approche d'évaluation de l'exposition intégrée. Cette approche permet d'évaluer le cumul des expositions associées à différentes sources de contamination de l'environnement contenues dans les compartiments de l'environnement (sol, eau et air) en recourant à des données environnementales spatialisées (Ineris, 2012, 2014).

5.2 Enquête des usages

Dans la perspective de la mise en œuvre d'une évaluation des expositions et des risques sanitaires au droit de jardins urbains, les données à acquérir auprès des usagers des jardins pour définir le scénario d'exposition concerneront notamment :

- La typologie des personnes fréquentant ces jardins : jardinier.ère.s, particuliers, adultes, enfants ;
- Les usages pouvant conduire à une exposition à des polluants : pratiques de jardinage, cultures potagères, usages récréatifs, etc. ;
- La fréquentation de ces jardins exprimée en nombre de jours par an ;
- La quantité des différentes catégories de végétaux consommés issus du jardin, celle-ci pourra être éventuellement estimée sur la base de la taille de la parcelle cultivée.

Le croisement de ces données avec les concentrations mesurées dans les milieux permettra ainsi d'évaluer les expositions des populations fréquentant les jardins.

L'étape de l'enquête des usages est développée dans le rapport de l'Inrae.

5.3 Evaluation de la qualité des milieux – Modalités d’investigations

Les approches mises en œuvre lors d’études portant sur l’évaluation de la qualité des milieux de jardins potagers urbains ou péri-urbains en vue d’évaluer les transferts de polluants vers les végétaux consommés s’appuient en grande partie sur la méthodologie de gestion des sites et sols pollués. Il existe par ailleurs un retour d’expérience issu des différents projets autour du jardinage ayant conduit à la production de documents diffusant des recommandations pour la mise en œuvre d’études de la pollution des sols dans une perspective de maîtrise des risques.

Après une présentation de ces documents de référence, ce chapitre reprend de manière succincte les étapes liées à la caractérisation des milieux en s’attachant à souligner les aspects plus particulièrement pertinents à l’étude des jardins urbains et périurbains en Ile-de-France.

5.3.1 Documents de référence

La **méthodologie de gestion des Sites et sols pollués** (Ministère de l’Environnement de l’Energie et de la Mer, 2017) est le document de référence dans l’évaluation et la gestion des sites pollués. Ce document est destiné à l’étude des sites et sols potentiellement pollués mais la méthode élaborée est applicable également dans l’évaluation de la qualité des sols des jardins urbains et notamment en cas de suspicion d’une contamination des sols.

Le **guide « Diagnostic des sites et sols pollués »** (MEDAD, 2007) du ministère en charge de l’environnement adossé à la méthodologie de gestion des Sites et sols pollués rappelle les études préalables aux investigations ainsi que la méthode d’élaboration d’un programme d’investigations. Ce document détaille en particulier les investigations dans les différents milieux de l’environnement (notamment dans le sol, les poussières, les végétaux, eau de surface, eau souterraine, etc.). Une version actualisée de ce guide est prévue en 2022.

D’autres documents apportent des conseils et méthodes pour caractériser la qualité des milieux des jardins urbains. Entre autres, le **rapport « Présomption de pollution d’un sol – Des clés pour comprendre et agir »** (Damas et al., 2018) propose une démarche dans le cas d’une suspicion de pollution des sols, ce qui permet de structurer son action dans le contexte d’aménagements extérieurs.

Le **guide « Qualité et usages des sols urbains : Points de Vigilance »** du Groupe de travail « Risques liés aux jardins collectifs et privatifs urbains » apporte des points d’attention spécifiques à la qualité des sols urbains et péri-urbains (Besnard et al., 2017). Ce document a pour objectif de sensibiliser les jardinier.ère.s, les gestionnaires et les collectivités sur la contamination potentielle des sols urbains et péri-urbains afin de mieux orienter les usages.

5.3.2 Stratégie d’échantillonnage

L’objectif de cette étape est détaillé dans la méthodologie de gestion des sites et sols pollués du ministère en charge de l’environnement (paragraphe 1.3.2 et 1.5.3). Les stratégies d’investigations en fonction des milieux suspectés comme impactés sont disponibles dans le document « Diagnostic du site », notamment au chapitre 3 « Les investigations de terrain ». La parution d’une version actualisée de ce guide est prévue pour 2022. D’une manière générale, les recommandations de ces documents peuvent être transposées au contexte de jardins urbains.

De plus, le guide d’échantillonnage des plantes potagères (Ademe & Ineris, 2014) apporte des recommandations pour l’échantillonnage de végétaux potagers. La méthodologie de gestion des sites et sols pollués, quant à elle, apporte une démarche pour interpréter les concentrations mesurées dans les milieux et les denrées alimentaires afin de mettre en place des mesures de gestion adaptées pour les jardins potagers et les arbres fruitiers. Enfin, un groupe de travail national sous l’égide du Ministère en charge de l’Environnement a été mis en place pour harmoniser les méthodes de préparation et d’analyses des végétaux échantillonnés dans le cadre d’évaluation des risques sanitaires (GT végétaux). Un rapport concernant les conclusions de ce groupe de travail est prévu en 2022.

L’étude historique et environnementale, également décrite dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, est un préalable indispensable à la caractérisation des milieux et à l’élaboration d’une stratégie d’échantillonnage pertinente. Elle doit notamment permettre de recenser les activités potentiellement polluantes passées ou présentes, d’appréhender les sources potentielles de pollution et les substances associées et le contexte environnemental du jardin et d’orienter la stratégie d’échantillonnage (emplacement des prélèvements et analyses à réaliser). Le rapport Inrae permet d’apporter des éléments de réflexion sur les études historiques (partie 3, « 2. La place de l’histoire dans

la gestion des sites et sols pollués »). La stratégie d'échantillonnage doit être adaptée aux spécificités de chaque site (objectifs de l'étude, polluants à rechercher au regard de l'historique, du contexte environnemental et des pratiques, voies de transfert et milieux d'exposition identifiés). L'échantillonnage doit également tenir compte des usages des jardiniers (éventuels amendements ou pratique agricole) pouvant avoir une influence sur la qualité des sols et des végétaux. Ainsi, les milieux à échantillonner seront ceux qui auront été identifiés comme pouvant mener à une exposition des populations fréquentant les jardins à des substances chimiques.

Pour connaître la contribution des différents milieux environnementaux à la qualité des plantes potagères, l'échantillonnage de l'ensemble des compartiments de l'environnement peut s'avérer nécessaire.

Le contrôle de la qualité des végétaux peut aussi faire partie d'un plan de surveillance à la suite de mise en place de mesures de gestion destinées à protéger les populations de niveaux de contaminations impropres à la consommation.

5.3.3 Prélèvement et analyses

Le type de prélèvement et le choix des analyses doivent être adaptés à chaque cas particulier en fonction entre autres de l'historique du site et des usages observés ou envisagés. Des éléments clés pour mettre en œuvre les différentes étapes d'investigations sur chaque milieu (notamment sols végétaux) et notamment le choix des techniques d'échantillonnage, la préparation physique, les conditions de stockage et le transport des échantillons vers le laboratoire sont disponibles dans le document « **Diagnostic du site** » (MEDAD, 2007).

Par ailleurs, certains éléments relatifs aux prélèvements de sols (paragraphe 3.2) sont fournis dans la **méthodologie de gestion des Sites et sols pollués**.

Des éléments concernant les prélèvements et le programme d'analyse ainsi que l'interprétation des résultats sont abordés dans le **guide « Qualité et usages des sols urbains : Points de Vigilance »** du Groupe de travail « Risques liés aux jardins collectifs et privatifs urbains ». Ce document renvoie vers de nombreux guides et références utiles dans le contexte d'études pour la caractérisation de jardins urbains.

Sol

Des éléments relatifs aux prélèvements de sols pour les jardins potagers et les arbres fruitiers sont fournis dans :

- la **méthodologie de gestion des Sites et sols pollués** (paragraphe 1.5.2.b et 3.4.6.b),
- le document « Diagnostic du site » (2007) (paragraphe 2.3.9.3). La parution d'une version actualisée du guide est prévue en 2022.
- le rapport « **Outils de mesure sur site : Quel besoin et quelles mesures pour quelle utilisation ?** » de l'Ademe (Laperche et al., 2014)

Les normes d'analyses adaptées à chaque polluant à rechercher dans les sols et les performances attendues sont récapitulées dans le document **Analyse des sols en contexte sites et sols pollués – Synthèse des réunions du Groupe de Travail Laboratoires** du BRGM (BRGM, 2015).

Végétaux potagers

La **méthodologie de gestion des Sites et sols pollués** du ministère en charge de l'environnement donne certains éléments relatifs aux prélèvements des denrées alimentaires (paragraphe 1.5.2.e.) ainsi que le document associé « Diagnostic du site » et notamment à l'Annexe E, partie F (MEDAD, 2007). La parution d'une version actualisée du guide est prévue en 2022.

Des modalités de prélèvements pour les végétaux sont fournies dans le **guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux** (Ademe & Ineris, 2014).

Des modalités de préparation et d'analyse de végétaux potagers seront bientôt disponibles dans un rapport du Groupe de Travail sur les végétaux potagers intitulé « **Guide pratique pour la préparation et l'analyse des végétaux consommés par l'Homme dans le contexte des sites et sols pollués** » prévu pour 2022. Ce document vise à harmoniser les pratiques en termes de préparation et de méthodes d'analyses des végétaux dans le cadre de diagnostics conduisant à échantillonner cette matrice en vue d'une évaluation des risques sanitaires.

Eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation utilisées dans les jardins peuvent provenir de plusieurs sources : le réseau d'eau potable, la récupération de l'eau de pluie, l'utilisation d'eau souterraine par le biais d'un puits, etc. La qualité de l'eau de pluie peut être influencée par de nombreux facteurs (dont la nature du contenant) comme le détaille Charlotte et al dans la Figure 3.

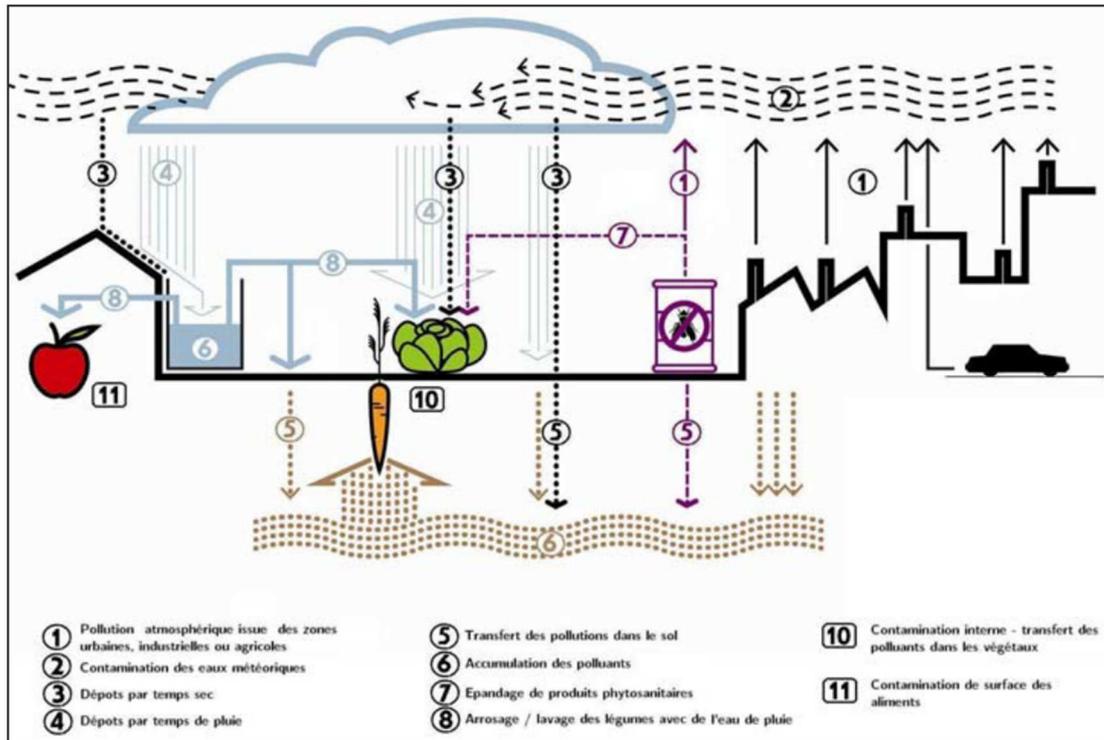


Figure 3 : Interactions possibles de l'eau de pluie avec son environnement dans un jardin collectif (Charlotte et al., 2013 et Mucig/CETE de l'Est)

L'échantillonnage de l'eau doit être adaptée à ses usages. Ainsi, le prélèvement de l'eau se fait au niveau de l'exutoire utilisé par les jardinier.ère.s. Pour la recherche de composés organiques, les échantillons d'eau ne doivent pas être filtrés. Lors de la recherche d'ETMM, une filtration peut être nécessaire en fonction des objectifs de l'étude et des usages. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'évaluer la qualité des eaux (superficielles ou souterraines), en comparaison à des Normes de Qualité Environnementales³² par exemple, les échantillons doivent être filtrés. En revanche, lorsque l'étude a pour objectif d'évaluer le risque sanitaire relatif à l'ingestion d'eau, par comparaison aux limites et références de qualité dans les eaux brutes ou destinées à la consommation humaine³³, les échantillons ne seront pas filtrés.

Air (phase gazeuse et particulaire)

L'échantillonnage et l'analyse de ce milieu lors d'expérimentations sur les végétaux sont relativement peu fréquents (Tremel-Schaub & Feix, 2005). Par ailleurs, il s'agit d'un milieu complexe en termes d'échantillonnage et d'interprétation. C'est un milieu pertinent à prélever dès lors qu'on cherche à étudier l'influence de la qualité de l'air sur les végétaux en présence de sources d'émissions atmosphériques. Les protocoles et méthodes de prélèvement doivent être adaptés à l'objectif de l'étude et aux substances étudiées.

³² Les Normes de Qualité Environnementale (NQE) sont définies dans le contexte réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau, ou DCE ([2000/60/EC](#))

³³ Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Des recommandations concernant notamment le choix des méthodes et des périodes de mesures et sur le contrôle qualité sont mises à disposition dans le guide « Surveillance dans l'air autour des installations classées- Retombées des émissions atmosphériques » (Ineris, 2021). Bien que déclinées dans le cadre de stratégies de surveillance autour d'installations classées, ces recommandations peuvent être appliquées également dans un objectif de caractérisation des retombées au niveau de potagers. Le document complémentaire à ce guide (Ineris, 2016) donne des éléments sur le choix de la méthode de prélèvement et d'analyse en fonction des substances étudiées. Ce document est actuellement en cours de mise à jour.

En milieu urbain, il est pertinent de se référer aux mesures en continu du réseau de surveillance de la qualité de l'air réglementaire suivi par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA³⁴) avant d'envisager une campagne de caractérisation de la qualité de l'air.

³⁴ <https://atmo-france.org/>

6 Aménagements et mesures de gestion adaptées pour les jardins potagers et les vergers

Des conseils quant à la pratique du jardinage en général, sont fournies dans les fiches 2 et 5 du Guide pour l'élaboration d'une liste de prévention individuelles et collectives visant à limiter l'exposition des populations riveraines des sites et sols pollués de l'HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique, 2020).

Les recommandations suivantes, non exhaustives, sont à adapter en fonction de l'état des milieux et du contexte propre à chaque site :

- Pour l'implantation des zones de culture : il est recommandé d'installer les jardins urbains à plus de 30 m d'un axe routier notamment à proximité des axes à fort trafic ;
- Pour la culture des végétaux, des mesures peuvent être mise en place en cas de dégradation constatée des milieux³⁵ :
 - Excavation de la terre végétale impactée sur une profondeur suffisante en la remplaçant par de la terre ayant bénéficié d'un contrôle qualité. Des mesures de fond de fouille permettront de s'assurer de la qualité des terres restant en place. Un système de séparation physique (type géotextile) entre l'encaissant et les matériaux d'apport, afin d'éviter que les sols ne se mélangent devra être mis en place ainsi qu'un système d'avertissement en fond de fouille avant remblaiement de façon à assurer une alerte visuelle rappelant la mémoire des aménagements. (Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, 2017). Une attention particulière est à apporter à la gestion et l'élimination des terres impactées en fonction des substances détectés et de leur concentration ;
 - Recouvrement de la terre végétale impactée et installation de bac hors sol avec les précautions détaillées ci-dessus. Les bacs hors sol doivent être construits avec des matériaux non traités et non peints et doublés d'un géo-textile.

La méthodologie de gestion des sites et sols pollués recommande de contrôler la qualité des fruits et légumes cultivés à l'issue des travaux conduits sur d'anciens sites pollués. Cette recommandation est pertinente en cas de suspicion de pollution sur un jardin existant.

- Pour la préparation des végétaux : procéder à un lavage et épluchage (si applicable) systématiques des végétaux avant leur consommation ;

D'une manière générale, des recommandations comportementales peuvent être préconisées pour réduire l'exposition aux polluants :

- Port de gants pour le jardinage, maintien des ongles courts, lavage des outils ;
- Lavage des mains avec de l'eau testée (éviter l'eau d'origine inconnue ou stocker dans les bidons) surtout avant de fumer ou de manger ;
- Surveiller les jeunes enfants afin de limiter le portage main-bouche, ne pas les laisser jouer dans la terre, veiller au bon lavage de leurs mains,
- Limiter l'apport de terre dans les logements en changeant de vêtements et en retirant les chaussures souillées de terre avant d'entrer chez vous.

Le rapport de l'Inrae en lien avec la présente étude présente un retour d'expérience de la prise en compte de recommandations par les jardinier.ère.s. Il en ressort la difficulté de garantir l'adhésion et la pérennité de ces mesures. Cette étude préconise de privilégier une gestion de l'environnement plutôt qu'une adaptation comportementale.

Des alternatives au jardin potager en pleine terre (jardins d'agrément) sont proposées dans le cadre du « guide d'aide à la décision à l'attention des aménageurs et des gestionnaires de jardins collectifs – aménager un jardin collectif en milieu urbain et péri-urbain en Ile-de-France » (ARS, 2021).

³⁵ pour les sols, le référentiel correspond aux gammes de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires de toutes granulométries (Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, 2017) et pour l'Ile de France, il s'agit des valeurs CIRE Ile-de-France

Si les sols constituent le substrat essentiel à la production de biomasse alimentaire dans les jardins, il ne faut pas oublier que l'entretien des sols contribue aussi de manière essentielle au maintien ou à la restauration de la biodiversité. Ce volet est encore actuellement traité de manière marginale lors de la gestion de sites pollués et le plus souvent pour évaluer l'efficacité de solutions de traitement des pollutions en place. On pourra ainsi citer l'utilisation d'indices biologiques permettant de compléter les analyses physico-chimiques pour démontrer des transferts actifs de polluants et des impacts sur ces milieux. Néanmoins, bien qu'il existe une volonté de croiser la démarche d'évaluation des risques pour les écosystèmes (Eré) avec la démarche d'évaluation des risques pour la santé humaine (rencontres nationales de la recherche 2019), des outils opérationnels restent à développer et les cas d'application restent rares (Ademe & Ineris, 2017).

7 Conclusions et perspectives

La qualité des sols et des végétaux produits dans les jardins urbains et péri-urbains est un sujet qui est exploré depuis de nombreuses années, en raison des niveaux de concentrations en certains polluants (HAP, ETMM, etc.) parfois bien supérieurs à ceux usuellement rencontrés sur les sols agricoles. En France, de multiples projets de recherche et travaux ont permis d'améliorer la compréhension des paramètres régissant les transferts de polluants de l'environnement vers les plantes potagères.

Chacun des projets examinés a été mené selon un objectif spécifique permettant d'appréhender la qualité des milieux des jardins urbains. La revue de projets existants a montré que certains aspects semblent encore assez peu étudiés tels que la qualité des composts et des eaux d'irrigation ainsi que la contribution de l'air aux transferts de polluants vers les végétaux. Certains projets en cours tentent de répondre à certaines de ces questions, notamment le projet POTAGERS pour le compost et le projet CARTHAGE pour les transferts de polluants organiques de l'air vers les végétaux.

Une meilleure connaissance des autres compartiments (que le sol) à l'interface avec le végétal via leur caractérisation apportera des éléments pour l'estimation des contributions relatives des différents transferts à l'exposition et au risque global. Il sera alors pertinent de se réinterroger, le cas échéant, sur les leviers d'actions qui peuvent en découler.

Sur la base de la revue des projets et du retour d'expérience de l'Ineris, des recommandations d'aménagement ou comportementales peuvent être préconisées afin de limiter l'exposition des populations. Ces recommandations concernent notamment : l'implantation des jardins à distance des axes routiers à fort trafic, l'installation de bacs hors sol, le recouvrement ou la limitation de la présence de sol nu, le mode de préparation des végétaux (lavage, épluchage...), le lavage des mains.

Néanmoins, une bonne connaissance des milieux et des habitudes des jardinier.ère.s est indispensable pour fournir des recommandations adéquates et préconiser les mesures de gestion les plus adaptées à chaque situation. La pérennité et la mémoire de ces recommandations sont essentielles afin de réduire efficacement les expositions des jardinier.ère.s.

Par ailleurs, une meilleure prise en compte des différents usages (alimentaires, récréatifs, espaces de biodiversité etc.) et de la qualité des milieux à l'interface avec le végétal est nécessaire pour améliorer la compréhension des transferts et des expositions et ainsi identifier la contribution spécifique de chaque source de contamination et voie d'exposition dans l'exposition globale.

8 Abréviations

BCF	<i>Bio-concentration Factor</i> ou Facteur de Bioconcentration
ETMM	Eléments Traces Métalliques et Métalloïdes
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
GT	Groupe de Travail
PRSE	Plan Régional Santé Environnement

9 Références

- Ademe, DOUAY, F., MAROT, F., & SCHWARTZ, C. (2019). *Jardins Potagers : retour sur 30 ans de recherche en connaissance , évaluation et gestion des impacts*. <https://www.ademe.fr/jardins-potagers>
- Ademe, & Ineris. (2014). *Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux*.
http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide_echantillonnage-plantes-potageres-avril-2014.pdf
- Ademe, & Ineris. (2017). *TROPHÉ : Analyse croisée des démarches ERS et éRé dans le cadre des Sites et Sols Pollués*.
- Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., Prasad, M. N. V., Wenzel, W. W., & Rinklebe, J. (2017). Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. *Earth-Science Reviews*, 171(June), 621-645. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.005>
- Badreddine, R., Dumat, C., Branchu, P., & Charvet, R. (2019). Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires pour les jardins urbains. *Techniques de l'ingénieur, GE1017 V1*, 16p.
- Besnard, C., Branchu, P., Douay, F., Lebeau, T., Lefebvre, G., Le Guern, C., Pelfrène, A., & Rémy, E. (2017). *Qualité et usages des sols urbains : Points de vigilance*.
- Bidar, G., Pelfrène, A., Schwartz, C., Waterlot, C., Sahmer, K., Marot, F., & Douay, F. (2020). Urban kitchen gardens: Effect of the soil contamination and parameters on the trace element accumulation in vegetables – A review. *Science of the Total Environment*, 738, 139569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139569>
- Branchu, P., Badin, A.-L., Bechet, B., Eisenlohr, L., Priol, T. Le, Marseille, F., & Trielli, E. (2013). Pollution d'origine routière et environnement de proximité. *Vertigo, Hors-série 15*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.12775>
- BRGM. (2015). *Analyse des sols dans le domaine des sites et sols pollués - Synthèse des réunions du Groupe de Travail sur les Laboratoires*.
- Charlotte, M., Nathalie, L. N., Certu, E., & Charial, A. (2013). *Utilisation de l'eau de pluie dans les jardins collectifs en France : enjeux, problématiques et premières analyses des pratiques*. August 2015, 1-10.
- Charvet, R., & Nold, F. (2020). Partie I - La contamination des sols : réalités et enjeux - Chapitre 2. Qualité des terres urbaines en Ile-de-France. In *Les sols urbains sont-ils cultivables?* (p. 24-40).
- Chelkoff, G., & Paris, M. (2016). La nature au bord de la route et de la voie ferrée / 2 Des jardins collectifs pour une conception soutenable des infrastructures de transports terrestres. In *Rapport de recherche 90, ENSAG, Cresson*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01295224>
- Damas, O., Branchu, P., Douay, F., Schwartz, C., Grand, C., & Marot, F. (2018). Présomption de pollution d'un sol des clés pour comprendre et agir. *Plante & Cité*, 36.
- Esvan, A, Borst, W., & Branchu, P. (2012). *Le projet JAFARR - Impact des infras de transport (rail et route) sur la qualité des sols de jardins familiaux*.
- Esvan, Audrey. (2012). *Impact des infrastructures de transport (rail et route) sur la qualité des sols des jardins familiaux en Ile de France HAL Id : dumas-00749434*.
- Fernandez, M. (2014). *Usages dans les jardins partagés et hiérarchisation des risques sanitaires liés à l'activité de jardinage en milieu urbain*.
- Gitton, C., Verger, Y., Brondeau, F., Charvet, R., Branchu, P., Douay, F., Lamy, I., Mouglin, C., Petit, C., Gitton, C., Verger, Y., Brondeau, F., Charvet, R., & Nold, F. (2018). L'économie circulaire : cercle vertueux ou cercle vicieux ? Le cas de l'utilisation de terres maraîchères pour aménager des espaces verts urbains. *Géocarrefour - Revue de géographie de Lyon, Association des amis de la revue de géographie de Lyon*, 92, 26p. 10.4000/geocarrefour.11950 . hal-01972726
- Haut Conseil de la Santé Publique. (2020). *Guide pour l'élaboration d'une liste de prévention individuelles et collectives visant à limiter l'exposition des populations riveraines des sites et sols*

pollués.

- Ineris. (2011). *Guide pour la conduite d'une étude de zone - Impact des activités humaines sur les milieux et la santé (DRC-11-115717-01555B)*.
- Ineris. (2012). *Inégalités environnementales – PLAINE Résultats pour l'Île de France*. <http://www.ineris.fr/centredoc/carte-iledefrance-1412325556.pdf>
- Ineris. (2014). *Atlas Régional d'Inégalités Environnementales : Présentation Générale*.
- Ineris. (2016). *Document complémentaire Au guide de surveillance dans l'air autour des installations classées -DRC-16-158882-10272A*.
- Ineris. (2017a). *Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition - Application dans le logiciel MODUL'ERS (Numéro DRC-17-163615-01452A)*.
- Ineris. (2017b). *Paramètres de transfert des PCDD, PCDF et PCB, utilisés pour l'évaluation de l'exposition - DRC-16-159776-09593A*.
- Ineris. (2021). *Surveillance dans l'air autour des installations classées - Retombées des émissions atmosphériques - Impact des activités humaine sur les milieux - Deuxième édition*.
- Jia, J., Bi, C., Jin, X., Zeng, Y., Deng, L., Wang, X., & Chen, Z. (2021). Uptake, translocation, and risk assessment of PAHs in contaminated soil-air-vegetable systems based on a field simulation experiment. *Environmental Pollution*, 271, 116361. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116361>
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants - Fourth Edition*.
- Laperche, V., Hube, D., Guérin, V., & Aubert, N. (2014). Outils de mesure sur site : quel besoin et quelles mesures pour quelle utilisation ? Rapport final. ADEME. In *Rapport final ADEME*. www.ademe.fr
- MEDAD. (2007). *Diagnostics du site*.
- Ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer. (2017). *Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués*.
- Schwartz, C., & Consalès, J. N. (2016). *Rapport final ANR - Jardins Associatifs Urbains et villes durables (JASSUR): pratiques, fonctions et risques*. <https://www.plante-et-cite.fr>
- SPI Vallée de Seine. (2019a). *Etude de zone en Vallée de Seine - Résultats et recommandations*.
- SPI Vallée de Seine. (2019b). *Flyer Les bonnes pratiques à l'encontre des idées reçues (p. 2 p.)*.
- Taylor, M. P., Isley, C. F., Fry, K. L., Liu, X., Gillings, M. M., Rouillon, M., Soltani, N. S., Gore, D. B., & Filippelli, G. M. (2021). A citizen science approach to identifying trace metal contamination risks in urban gardens. *Environment International*, 155, 106582. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106582>
- Toronto Public Health. (2013). *From the ground up. Guide for soil testing in urban gardens*. 28.
- Tremel-Schaub, A., & Feix, I. (2005). *Contamination des sols - Transferts des sols vers les plantes*.

