

Evaluation des risques pour la santé humaine

Jardin collectif « Le coin de terre de Bressoux »

Février 2018

Rapport final

Amandine Liénard et Gilles Colinet



Wallonie



Service public
de Wallonie



DGO 3



Résumé :

Dans le cadre du projet « Urban Soils », une évaluation des risques pour la santé humaine a été menée sur le jardin collectif le coin de terre de Bressoux. Ce jardin collectif avait été préalablement caractérisé (fertilité et contamination métallique) dans le cadre de la subvention « Urban Soils » au même titre que 39 autres jardins collectifs en Wallonie. La méthodologie suivie dans le cadre de l'étude de risques du jardin de Bressoux se base sur celle proposée par le Code Wallon de Bonnes Pratiques (SPW-DGO3) et plus spécifiquement le Guide de Référence pour l'Etude de Risques (GRER version 03) adapté à l'évaluation des risques pour la santé humaine. La méthodologie appliquée sur le site du jardin collectif de Bressoux se veut la plus proche de la réalité en prenant en compte les analyses disponibles de sols, de légumes et de fruits.

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'exposition via l'ingestion de sol et de poussières, l'ingestion de fruits et légumes, le contact cutané et l'inhalation de particules de sol (réenvol de poussières) sont considérés comme acceptables pour les cibles enfant, adulte jardinier et adulte visiteur pour les éléments suivants : cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), manganèse (Mn), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn). Par contre, les résultats indiquent un dépassement des seuils d'acceptabilité pour l'arsenic (As) et le plomb (Pb) pour les enfants et les adultes fréquentant le jardin et/ou consommant les légumes et fruits produits sur le jardin.

De plus, une comparaison des concentrations mesurées dans les légumes et fruits du jardin collectif aux normes de commercialisation reprises dans le Règlement (CE) n°1881/2006 indique que tous les légumes feuilles (bette, chou vert et salade), les légumes racines (betterave rouge, carotte, navet et panais), les légumes tubercules (pomme de terre), les aromates (basilic, menthe, persil), les haricots et les piments présentent systématiquement au minimum un dépassement de la norme en cadmium et/ou en plomb. Par ailleurs, les légumes fruits tels que les concombres, les cornichons, les courgettes, les poivrons et les tomates ainsi que les fruits (figues, mûres, prunes, raisins, reines-claude) ne dépassent en aucun cas les normes de commercialisation pour le cadmium et le plomb. Cependant, les concentrations médianes mesurées sur l'ensemble des productions du jardin sont systématiquement supérieures à celles mesurées dans le commerce par l'AFSCA.

Suite à cette étude, les recommandations préconisées à l'ensemble des usagers du jardin collectif de Bressoux afin de répondre au principe de précaution sont les suivantes :

1. Eviter de consommer les légumes et fruits produits sur le site du jardin de Bressoux à l'exception des tomates, courgettes et raisins, ce uniquement après un lavage minutieux et un épluchage pour les courgettes. Veiller à diversifier autant que possible la provenance des légumes et fruits consommés. Cette recommandation est d'application pour les enfants et les adultes.
2. Eviter d'emmener les enfants en bas âge (moins de 6 ans) sur le site. La voie principale d'exposition aux contaminants des enfants de moins de 6 ans est l'ingestion de sol et de poussières via un contact direct main-bouche.
3. Pour les adultes et les enfants, veiller à limiter l'ingestion de sol par contact direct main-bouche.

Abstract:

As part of the project "Urban soils", a risk evaluation of human health is realized on the collective garden the "Coin de terre" of Bressoux. This collective garden has previously been characterized (fertility and metal contamination) during the "Urban soils" subvention along with 39 other collective gardens in Wallonia. The methodology applied on the site of the collective garden of Bressoux follows the recommended methodology in Walloon region and is as close to reality as possible. To do so, the data used during the risk evaluation are contents measured on soils, vegetables and fruits sampled on the site.

This analysis shows that levels of exposure via soil and dust ingestion, ingestion of fruits and vegetables, dermal exposure, and inhalation of soil particles (dust movements) are considered acceptable for children, adult gardeners and adult visitors for the following elements: cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), molybdenum (Mo), nickel (Ni) and zinc (Zn). On the other hand, the results indicate that acceptability thresholds for arsenic (As) and lead (Pb) are exceeded for children and adults frequenting the garden and / or consuming vegetables and fruits produced on the garden.

On one hand, the comparison of the contents of cadmium and lead measured in vegetables and fruits of the collective garden with the marketing standards set out in European Regulation (EC) No 1881/2006 indicates that all leafy vegetables (chard, green cabbage, and lettuce), root vegetables (beetroot, carrot, turnip, and parsnip), tuber vegetables (potatoes), herbs (basil, mint, and parsley), beans, and peppers systematically exceed the standard in cadmium and / or lead. On the other hand, fruit vegetables such as cucumbers, gherkins, zucchini, peppers, and tomatoes as well as fruits (figs, blackberries, plums, grapes, and greengage) do not in any way exceed the marketing standards for cadmium and lead. However, the median concentrations measured on all the productions of the garden are systematically higher than those measured in Belgian food trades by the FASFC.

In conclusion, the recommendations advocated to all users of the collective garden of Bressoux in order to respect the precautionary principle are as follows:

1. Avoid eating the vegetables and fruits produced on the site of the Bressoux collective garden except for tomatoes, zucchini, and grapes, only after thorough washing and peeling for zucchini. Make sure to diversify as much as possible the origin of the vegetables and fruits consumed. This recommendation applies to children and adults.
2. Avoid taking small children (under 6 years old) to the site. The main route of exposure to contaminants of children under 6 is ingestion of soil and dust via direct hand-to-mouth contact.
3. For adults and children, be sure to limit soil ingestion by direct hand-to-mouth contact

Ce rapport doit être cité comme suit :

Liénard A. & Colinet G. (2018). Evaluation des risques pour la santé humaine - Jardin collectif « Le coin de terre de Bressoux ». Rapport d'activités final, février 2018. Subvention de recherches URBAN SOILS (SPW-DGO3 et Snowman), 38 p.

Table des matières

1. Contexte	5
2. Caractérisation du site et diagnostic environnemental	5
2.1. Stratégie d'échantillonnage	5
2.2. Caractérisation analytique (sols, légumes et fruits).....	6
3. Evaluation des risques	7
3.1. Étape 1 : Identification des dangers et réalisation du modèle conceptuel du site	7
3.1.1. Modèle conceptuel du site : sources, voies et cibles d'exposition	7
3.1.2. Liste des polluants retenus pour l'évaluation des risques.....	12
3.2. Étape 2 : Définition des relations dose-réponse.....	13
3.3. Étape 3 : Evaluation des expositions	14
3.3.1. Exposition par ingestion de sol et de poussières	15
3.3.2. Exposition par ingestion de légumes et fruits.....	15
3.3.3. Exposition par contact cutané de sol.....	16
3.3.4. Exposition par inhalation de particules de sol par réenvol de poussières.....	17
3.4. Étape 4 - Caractérisation des risques	18
3.5. Présentation et interprétations des résultats de l'étude de risques.....	18
3.5.1. Substances à effet à seuil – cibles enfants et adultes.....	18
3.5.2. Substances à effet sans seuil – cibles enfants grandissant.....	19
4. Comparaison des concentrations mesurées dans les légumes et les fruits aux normes européennes et référentiels nationaux	20
5. Conclusions.....	21
6. Perspectives.....	22
Remerciements	22
Bibliographie	23
Annexes.....	24
Annexe 1 – Présentation des limites de quantification pour les sols et les légumes.	24
Annexe 2 – Présentation des statistiques descriptives pour l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le zinc, le manganèse et le molybdène sur les 161 échantillons de sol de surface étudiés lors de l'étude détaillée des risques pour la santé humaine.24	
Annexe 3 – Présentation des statistiques descriptives pour l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le zinc, le manganèse et le molybdène sur les différentes familles de légumes et les fruits.	25
Annexe 4 – Récapitulatif des indices de risque pour la cible enfant et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.	28
Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité $IR > 1$	28
Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %.....	29
Annexe 5 – Récapitulatif des indices de risque pour la cible adulte jardinier et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.	31

Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité $IR > 1$	31
Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %.....	32
Annexe 6 – Récapitulatif des indices de risque pour la cible adulte visiteur et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.	34
Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité $IR > 1$	34
Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %.....	35
Annexe 7 – Récapitulatif des excès de risque individuel (dépassement du seuil d'acceptabilité pour $ERI > 1.10^{-5}$) pour la cible enfant grandissant jardinier et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.	37
Annexe 8 – Récapitulatif des excès de risque individuel (dépassement du seuil d'acceptabilité pour $ERI > 1.10^{-5}$) pour la cible enfant grandissant visiteur et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.	38

1. Contexte

La présente évaluation des risques est réalisée dans le cadre de la convention de recherches URBAN SOILS (SPW-DGO3-DPS-SNOWMAN). Les investigations ont été menées sur base des résultats d'analyse de sols et de légumes/fruits provenant exclusivement de parcelles du jardin collectif de Bressoux. Au total, une cinquantaine de jardiniers volontaires ont accepté de participer à l'étude menée par l'équipe de Gembloux Agro-Bio Tech en autorisant les prélèvements de sols, de légumes et/ou de fruits.

La méthodologie suivie dans le cadre de l'étude de risques du jardin de Bressoux se base sur celle proposée par le Code Wallon de Bonnes Pratiques (SPW-DGO3) et plus spécifiquement le Guide de Référence pour l'Etude de Risques (GRER version 03) adapté à l'évaluation des risques pour la santé humaine (Service Public de Wallonie, 2016a). Ce guide décrit les recommandations à suivre pour réaliser une évaluation des risques pour la santé humaine ; celle-ci ayant pour objectif d'estimer les risques d'effets indésirables que les polluants mesurés dans les milieux environnementaux peuvent produire sur la santé humaine.

La méthodologie appliquée sur le site du jardin collectif de Bressoux se veut la plus proche de la réalité en prenant en compte les analyses disponibles de sols, de légumes et de fruits.

2. Caractérisation du site et diagnostic environnemental

2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le site du jardin collectif de Bressoux a été caractérisé via quatre campagnes d'échantillonnage réparties du 14 juillet 2017 au 8 septembre 2017. L'ASBL la Ligue du Coin de Terre de Bressoux a contacté un maximum de jardiniers, communément appelés « colons », afin d'identifier les volontaires prêts à accueillir l'équipe de prélèvement. Au final, 49 jardiniers volontaires ont pu être identifiés ce qui représente 59 parcelles échantillonnées (**Figure 1**).

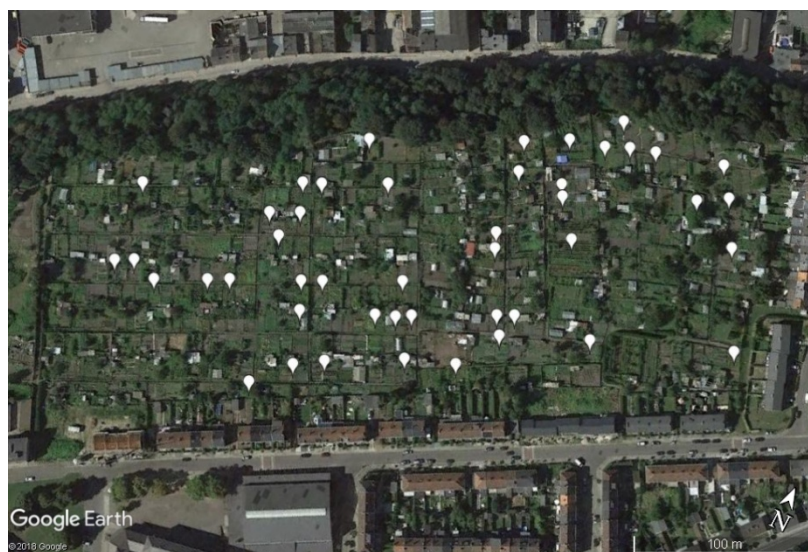


Figure 1. Vue aérienne du jardin collectif de Bressoux avec les 59 parcelles échantillonnées symbolisées par un point blanc

L'échantillonnage de sols a été effectué comme défini dans le Code Wallon d'Echantillonnage et d'Analyses (CWEA) pour l'échantillonnage des horizons cultivés ou humifères (P-11v1) (Service Public de Wallonie, 2014). Cet échantillonnage est réalisé en vue d'émettre un diagnostic environnemental de la parcelle. L'échantillon de sol est représentatif de la zone couverte par la plante potagère et correspond à un échantillon composite regroupant une dizaine de prélèvements élémentaires. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une sonde tubulaire manuelle de type « gouge » de faible diamètre et en acier inoxydable sur une profondeur de 20 cm. Chaque échantillon est identifié à l'aide du numéro de la parcelle et de la plante potagère correspondante (ex. 87-Haricots).

L'échantillonnage des légumes et des fruits a été réalisé comme défini dans le Guide d'Echantillonnage des Plantes Potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux (ADEME, 2014). Toute la diversité de la production potagère n'a pu être étudiée. Les prélèvements ont été opérés parmi les légumes et les fruits les plus représentés au sein des parcelles du jardin durant la période d'échantillonnage. Les prélèvements sont répartis au sein des sept catégories suivantes :

- légumes feuilles (salade, bette, chou vert)
- légumes fruits (tomate, courgette, cornichon, concombre, poivron, piment)
- légumes racines (carotte, betterave rouge, navet, panais)
- légumes tubercules (pomme de terre)
- légumes bulbes (oignon)
- fruits (raisins, figue, framboise, mûre, groseille, reine-claude, prune)
- fines herbes (persil, basilic, menthe)

2.2. Caractérisation analytique (sols, légumes et fruits)

Les analyses réalisées sur les échantillons de sols et de légumes/fruits sont reprises dans le **tableau 1**. Elles ont été confiées aux laboratoires de la Province de Liège qui sont agréés au sens du Décret sols. Les analyses du bilan de fertilité des sols ont été réalisées à la Station Provinciale d'Analyses Agricoles (SPAA). Le dosage des métaux du Décret sols (arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn)) ainsi que le manganèse (Mn) et le molybdène (Mo), tous deux sélectionnés suite aux conclusions de l'étude POLLUSOL 2 (SPAQuE, 2015), a été effectué dans les sols, les légumes et les fruits par le laboratoire provincial Ernest Malvoz.

Les analyses situées sous les limites de quantification¹ (< LQ) ont été remplacées par la valeur de la limite de quantification multipliée par un facteur de 0,7² afin que les paramètres statistiques puissent être calculés sur l'ensemble des données. Les paramètres statistiques calculés sont notamment les concentrations médianes (50^{ème} centiles – P50), 90^{ème} centiles (P90) et maximales en métaux/métalloïdes et substances nouvelles. Ces valeurs sont présentées à l'**Annexe 2** pour les sols et à l'**Annexe 3** pour les légumes et fruits étudiés.

¹ Les limites de quantification sont reprises dans l'**Annexe 1**.

² SPAQuE, 2015, voir page 26.

Tableau 1. Synthèse des analyses effectuées

Sol*	
Paramètres	Références
pH _{KCl}	Méthode dérivée de la norme ISO 10390, KCl 1N
Carbone organique total	Méthode Walkley-Black, dérivée de la norme ISO 14235
P, Ca, Mg, K disponibles	Méthode de Lakanen et Erviö (extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA à pH 4,65)
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn	Méthode dérivée de la norme ISO 12914
Taux d'argile	Estimation via la méthode par spectrométrie proche infrarouge
Azote total	Estimation via la méthode par spectrométrie proche infrarouge
Capacité d'échange cationique	Estimation via la méthode par spectrométrie proche infrarouge (estimation sur base du taux d'argile et du taux de carbone)
Légumes et fruits**	
Paramètres	Références
As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn	Méthode dérivée de la norme ISO 13805

* ISO 11464 : conditionnement des échantillons de sols

** ISO 13804 : conditionnement des échantillons de légumes et fruits

3. Evaluation des risques

L'évaluation détaillée des risques pour les personnes fréquentant le jardin et/ou consommant la production potagère a été réalisée pour le jardin collectif de Bressoux. Le risque est défini comme « la probabilité qu'un événement défavorable, un danger ou un dommage a de survenir ainsi que son impact potentiel ». Cette analyse suit la méthodologie définie dans le GRER (Service Public de Wallonie, 2016a) :

ETAPE 1 – Identification des dangers et réalisation du modèle conceptuel du site

ETAPE 2 – Définition des relations dose-réponse

ETAPE 3 – Evaluation de l'exposition

ETAPE 4 – Caractérisation des risques

3.1. Étape 1 : Identification des dangers et réalisation du modèle conceptuel du site

3.1.1. Modèle conceptuel du site : sources, voies et cibles d'exposition

Le modèle conceptuel de site présente de manière schématique les milieux investigués, les voies d'exposition et les cibles pertinentes (**Figure 2**).

Les sources d'exposition sélectionnées sont le sol et les productions potagères qui sont représentées par les concentrations en As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo Ni, Pb et Zn mesurées dans les sols, les légumes et les fruits prélevés sur le site.

Les voies d'exposition sélectionnées comme les voies de passage d'un polluant de la source (sol – légumes/fruits) vers la cible (adulte – enfant) sont au nombre de quatre (voir **Figure 2**) :

1. ingestion de légumes et fruits cultivés sur le site du jardin ;
2. ingestion de sol et de poussières via le contact main-bouche ;
3. contact cutané ou dermique via le contact sol-peau ;
4. inhalation de particules de sol par réenvol de poussières.

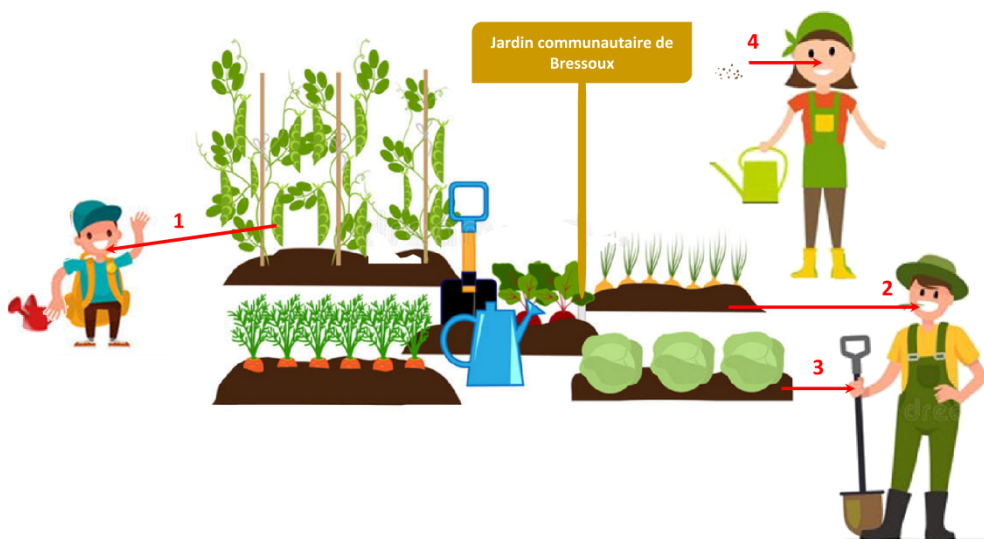


Figure 2. Modèle conceptuel du jardin communautaire de Bressoux

Les voies d'expositions suivantes non pas été prises en compte dans cette étude car considérées comme non pertinentes :

1. ingestion d'eau de boisson, contact cutané avec l'eau (douche et bain) ainsi que l'inhalation de vapeurs (douche) car il n'y a pas d'accès à l'eau courante sur le site ;
2. contact cutané avec des poussières intérieures et l'inhalation d'air intérieur car les activités d'hébergement ne sont pas autorisées sur le site ;
3. inhalation d'air extérieur car les polluants sélectionnés ne sont pas volatils à l'exception du mercure pour lequel la modélisation³ via le logiciel S-Risk a indiqué que le niveau d'exposition est acceptable⁴.

³ « Exposure concentration outdoor inhalation » est acceptable pour Hg en usage RES-Veg après modélisation via le logiciel S-Risk.

⁴ La notion de seuil d'acceptabilité est présentée au point 3.4 « Etape 4 – Caractérisation des risques ».

Les cibles retenues sont différents profils d'adultes et d'enfants du fait de comportements variés⁵ (**Figure 3**):

1. **adulte consommateur** : adulte qui consomme des légumes et fruits du jardin mais qui ne se rend jamais sur le site ;
2. **adulte visiteur** : adulte qui se rend sur le site mais ne travaille pas la terre et ne consomme pas de légumes et fruits du jardin ;
3. **adulte visiteur et consommateur** : adulte qui se rend sur le site et consomme des légumes et fruits du jardin mais ne travaille pas la terre ;
4. **adulte jardinier** : adulte qui travaille la terre du jardin mais ne consomme pas de légumes et fruits du jardin ;
5. **adulte jardinier et consommateur** : adulte qui travaille la terre et consomme des légumes et fruits produits dans le jardin ;
6. **enfant consommateur** : enfant qui consomme des légumes et fruits du jardin mais qui ne se rend jamais sur le site ;
7. **enfant jardinier** : enfant qui entre en contact avec la terre du jardin mais ne consomme pas de légumes et fruits du jardin ;
8. **enfant jardinier et consommateur** : enfant qui entre en contact avec la terre et consomme des légumes et fruits produits dans le jardin.



Figure 3. Présentation des 8 cibles d'exposition étudiées (5 adultes et 3 enfants)

⁵ Pour l'arsenic, une cible « enfant grandissant » également nommée « vie entière » est retenue car l'arsenic est une substance avec une VTR à effet sans seuil. Cette cible correspond à une personne fréquentant et/ou consommant la production maraîchère du site durant toute sa vie c'est-à-dire pendant les périodes enfant et adulte (jardinier ou visiteur).


Les voies d'exposition étudiées pour chaque cible sont reprises dans le **tableau 2** ainsi que la proportion relative de l'exposition illustrée par un symbole de taille variable.


Les paramètres d'exposition utilisés dans l'étude de risques sont repris dans le **tableau 3**. Ils proviennent des scénarii standard d'exposition présentés dans le GRER pour les cibles d'exposition suivantes :


- jardinier adulte et enfant : scénario « résidentiel avec jardin potager, RES-Veg »
- visiteur adulte : scénario « récréatif sport extérieur, REC-dayout ».

Tableau 2. Voies d'exposition étudiées pour chaque cible avec une représentation schématique des expositions relatives pour voie

Voies d'exposition		Cibles			
					
					
					
					
					
					
					
					
					

 : ingestion de sol et de poussières

 : contact cutané

 : ingestion de légumes et fruits


 : inhalation de poussières

Tableau 3. Détail des paramètres d'exposition utilisés dans l'étude de risque avec la cible jardinier basée sur le scénario RES-Veg et la cible visiteur basée sur le scénario REC-dayout.
En orange : les paramètres modifiés par rapport aux scénarios standards du GRER, voir page 10.

PARAMETRES D'EXPOSITION LIES AUX CIBLES							Unités
	Scenario RES-Veg		Scenario REC-dayout		Scenario BRESSOUX		
	Adulte jardinier	Enfant jardinier	Adulte visiteur	Enfant jardinier	Adulte jardinier	Enfant jardinier	
Paramètres non modifiables							
RBA _{sol}	1	1	1	1	1	1	-
PM _{sol,10}	5	5	5	5	5	5	µg/m ³
EF _{PM,10}	2	2	2	2	2	2	-
θ _w	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	m ³ /m ³
θ _a	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247	m ³ /m ³
DS	1,236	1,236	1,236	1,236	1,236	1,236	kg/m ³
Paramètres modifiables							
IR _{sol/dust_daily}	79,6	134	-	134	79,6	134	mg/j
IR _{sol/dust_hourly}	-	-	6,3	-	-	-	mg/h
F _{oral}	0,45	0,45	0,45	0,45	1	1	-
fp	0,39	0,39	0,39	0,39	0,6	0,6	-
Qvp	0,1292	0,0657	0,1292	0,0657	0,1292	0,0657	kg mf/j
fr	0,36	0,36	0,36	0,36	0,6	0,6	-
Qvr	0,0254	0,0132	0,0254	0,0132	0,0254	0,0132	kg mf/j
fs	0,36	0,36	0,36	0,36	0,6	0,6	-
Qvs	0,0303	0,0106	0,0303	0,0106	0,0303	0,0106	kg mf/j
ff	0,39	0,39	0,39	0,39	0,6	0,6	-
Qvf	0,0692	0,0120	0,0692	0,0120	0,0692	0,0120	kg mf/j
fo	0,52	0,52	0,52	0,52	0,6	0,6	-
Qvo	0,0127	0,0030	0,0127	0,0030	0,0127	0,0030	kg mf/j
fh	0,42	0,42	0,42	0,42	0,6	0,6	-
Qvh	0,0109	0,0047	0,0109	0,0047	0,0109	0,0047	kg mf/j
ff	-	-	-	-	0,6	0,6	-
Qvf	-	-	-	-	0,1039	0,1360	kg mf/j
AF _{soil_skin}	1,138	2000	1,415	2000	1,138	2000	mg/m ²
SA _{out}	0,5325	0,1838	0,6640	0,1838	0,5325	0,1838	m ²
EV _{out}	1	1	1	1	1	1	nombre/j
WF _{age,a}	1,0785	1,8400	1,0785	1,8400	1,0785	1,8400	-
WF _{fact,a}	1	1	3,4	1	3,6	2,7	-
t _{out}	1,4	1	3,8	1	3	3	h/j
EF	365	365	365	365	280	280	j
BW	65,7	15,5	65,7	15,5	65,7	15,5	kg
T	64	6	64	6	64	6	an
Tm	64	6	64	6	64	6	an
Tm	70	70	70	70	70	70	an

Par ailleurs, six paramètres ont été adaptés par rapport aux scénarii standards du GRER afin de s'adapter le plus possible au scénario type du jardin collectif de Bressoux :

1. La fraction de sol dans le sol et les poussières ingérées est considérée par défaut comme égale à 0,45. Cependant, l'évaluation se réalisant uniquement en extérieur, il a été considéré que la fraction de poussières ingérées (équivalente à 0,55) n'est composée que de sol. Ceci porte la fraction de sol (sol + poussières) ingérée à 1.
2. La fraction d'autoconsommation des légumes provenant du jardin calculée sur base du scénario standard RES-Veg est de 39% pour les pommes de terre et les légumes fruits, 36% pour les légumes racines et les légumes feuilles, 52% pour les oignons et 42% pour les haricots. Afin de se rapprocher de la réalité, la **fraction d'autoconsommation** a été augmentée à **60%** comme dans l'étude POLLUSOL 2 (SPAQuE, 2015).
3. La quantité de fruits consommée par jour et leur fraction d'autoconsommation : les fruits ne sont pas repris dans l'étude de l'exposition par ingestion de légumes proposée par le GRER. Compte tenu de la présence d'arbustes et arbres fruitiers en grand nombre sur le site, une catégorie « fruit » a été ajoutée avec une **autoconsommation de 60%** (identique aux légumes) et une **quantité consommée de 104 g/j matière fraîche (m.f.)** et **136 g/j m.f.**, respectivement pour les adultes et les enfants (De Ridder et al., 2016).
4. Le facteur de pondération de base du taux d'inhalation dépendant de l'activité : ce facteur est équivalent à 1 et 3,4 respectivement pour le scénario standard RES-Veg (adulte et enfant) et le scénario standard REC-dayout. Les facteurs utilisés dans l'analyse de risques valent **3,6 pour les adultes** et **2,7 pour les enfants**. Ces valeurs maximisent le risque et sont donc plus sécuritaires compte tenu que l'activité de jardinage peut demander un effort intense sur une courte période.
5. La moyenne annuelle de temps passé quotidiennement à l'extérieur pour l'exposition quotidienne pour les cibles « jardinier » adulte et enfant sont respectivement de 1,4 h/j et 1 h/j dans le scénario standard RES-Veg. Cette durée d'exposition est sous-évaluée par rapport au contexte du site. Afin de se rapprocher de la réalité, les moyennes annuelles ont été augmentées à **3 h/j** pour toutes les cibles comme appliqué dans le cadre de l'étude POLLUSOL 2 (SPAQuE, 2015).
6. Le nombre de jours par an : ce paramètre représente le nombre de jours de présence sur le site par année. Quelque soit le scénario standard, le GRER considère que les cibles sont exposées 365 jours par an. Le nombre de jours d'exposition a été revu à la baisse soit :
 - i. **280 jours** en RES-Veg calculé comme suit : présence de mars à octobre tous les jours et de novembre à février deux jours par semaine
 - ii. **150 jours** en REC-dayout calculé comme suit : présence journalière sur le site de mai à septembre compris.

3.1.2. Liste des polluants retenus pour l'évaluation des risques

Pour les métaux normés du Décret sols, la comparaison des concentrations médianes retrouvées dans les sols des jardins potagers aux valeurs seuil (VS) du Décret sols a permis d'identifier sept éléments (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb et Zn) pour lesquels des dépassements de valeurs seuil ont été identifiés. Ceux-ci sont systématiquement sélectionnés pour l'évaluation détaillée des risques. Le nickel ne présente aucun dépassement de valeur seuil et il peut être conclu selon le GRER que le risque est acceptable. Cependant, l'étude de risque pour Ni sera tout de même réalisée afin de confirmer cette information.

En plus, deux polluants non normés (PNN) dans le Décret sols ont été analysés, quantifiés et retenus pour l'analyse détaillée des risques : le manganèse et le molybdène.

3.2. Étape 2 : Définition des relations dose-réponse

La définition des relations dose-réponse fait appel aux propriétés toxicologiques des substances. L'étape 2 de l'évaluation détaillée des risques consiste à regrouper les données toxicologiques relatives aux substances analysées (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb et Zn) et à sélectionner les valeurs toxicologiques de référence (VTR) qui seront utilisées comme base de comparaison afin d'évaluer si l'exposition peut être considérée comme excessive ou non.

La toxicité d'une substance est caractérisée via deux types d'effets distincts :

- Effet « à seuil » : l'effet survient au-delà d'une dose de substance administrée, pour une durée d'exposition déterminée à une substance isolée. Cette famille concerne principalement les effets liés aux substances non cancérogènes.
- Effet « sans seuil » : l'effet apparaît quelle que soit la dose de substance reçue. Cette famille concerne principalement les effets cancérogènes, mutagènes ou tératogènes.

La relation dose-réponse est spécifique au type de substance, ainsi qu'à la voie d'exposition concernée (orale, inhalatoire, cutanée). Les VTR par voie d'exposition utilisées pour l'évaluation des risques sont reprises dans le **tableau 4**. Les VTR utilisées pour As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, le mercure inorganique et le méthylmercure proviennent de l'annexe B2 du GRER-v3 (Service Public de Wallonie, 2016b). Les VTR du chrome et du mercure métallique sont reprises du rapport de synthèse de Pollusol 2 (SPAQuE, 2015). Pour Mn et Mo, les VTR utilisées proviennent de la base de données⁶ des polluants non normés (BD PNN-v2, septembre 2017).

Tableau 4. Liste des VTR utilisées pour l'évaluation des risques (source GRER v3)

VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE												
	VTR orale				VTR cutanée				VTR inhalation			
	Effets A SEUIL		Effets SANS SEUIL		Effets A SEUIL		Effets SANS SEUIL		Effets A SEUIL	Effets SANS SEUIL		
Métaux lourds et métalloïdes												
Arsenic	/	mg/kg.j	2,80E+00	(mg/kg.j) ⁻¹	/	mg/kg.j	2,80E+00	(mg/kg.j) ⁻¹	/	mg/m ³	1,50E+00	(mg/m ³) ⁻¹
Cadmium	8,00E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	4,00E-05	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	5,00E-06	mg/m ³	1,80E+00	(mg/m ³) ⁻¹
Chrome *	1,50E+00	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	/	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	6,00E-02	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Cuivre	1,40E-01	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,12E-01	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,00E-03	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Mercure inorganique	3,00E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,20E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,00E-03	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Mercure métallique **	/	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	/	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	3,00E-05	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Méthylmercure	1,00E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,00E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,50E-05	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Nickel	1,10E-02	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	5,50E-04	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,40E-05	mg/m ³	3,80E-01	(mg/m ³) ⁻¹
Plomb (Adulte)	6,30E-05	mg/kg.j	1,00E-08	(mg/kg.j) ⁻¹	9,45E-06	mg/kg.j	1,00E-08	(mg/kg.j) ⁻¹	5,00E-04	mg/m ³	1,20E-02	(mg/m ³) ⁻¹
Plomb (Enfant)	5,00E-05	mg/kg.j	1,00E-08	(mg/kg.j) ⁻¹	7,50E-06	mg/kg.j	1,00E-08	(mg/kg.j) ⁻¹	5,00E-04	mg/m ³	1,20E-02	(mg/m ³) ⁻¹
Zinc	3,00E-01	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	9,00E-02	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	2,00E-03	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Substances nouvelles ***												
Manganèse	6,00E-02	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	6,00E-02	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,50E-04	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹
Molybdène	5,00E-03	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	5,00E-03	mg/kg.j	/	(mg/kg.j) ⁻¹	1,20E-02	mg/m ³	/	(mg/m ³) ⁻¹

* : les VTR effets à seuil du chrome total correspondent aux VTR effets à seuil du chrome III, ces valeurs proviennent de SPAQuE (2015)

** : la VTR effets à seuil est reprise de SPAQuE (2015)

*** : les VTR effets à seuil proviennent de la base de données des polluants non normés (PNN-v2, septembre 2017)

(<https://dps.environnement.wallonie.be/home/liens--documents/le-coin-des-specialistes-experts-laboratoires/polluants-non-normes-pnn.html>)

⁶ BD PNN-v2 est disponible sur le site internet de la DPS (<https://dps.environnement.wallonie.be/home/liens--documents/le-coin-des-specialistes-experts-laboratoires/polluants-non-normes-pnn.html>)

3.3. Étape 3 : Evaluation des expositions

L'évaluation des expositions des adultes et enfants aux contaminants est effectuée en calculant les doses d'expositions externes via l'ingestion, le contact dermique et l'inhalation pour déduire l'exposition globale.

Les doses d'exposition externes sont calculées pour les quatre voies d'exposition identifiées via le modèle conceptuel du site (**Figure 2**). Ces calculs sont effectués pour un usage de fait (occupation effective des zones investiguées) en utilisant les concentrations mesurées dans le sol, les légumes et fruits prélevés dans le jardin collectif de Bressoux.

Les concentrations dans le sol interviennent dans le calcul des doses d'exposition : ingestion de sol et de poussières ($\text{mg}/\text{kg}_{\text{p.c.}} \cdot \text{j}$), contact dermique ($\text{mg}/\text{kg}_{\text{p.c.}} \cdot \text{j}$) et inhalation de particules de sol par réenvol de poussières (mg/m^3). Les concentrations dans les légumes et fruits permettent de calculer la dose d'exposition pour l'ingestion de légumes et fruits ($\text{mg}/\text{kg}_{\text{p.c.}} \cdot \text{j}$).

Durant cette étape, différentes doses d'exposition seront calculées suite à l'utilisation de paramètres spécifiques (**Tableau 3**) pour :

1. les cibles adultes et enfants car les paramètres poids corporel, habitudes alimentaires, comportements sur le jardin et temps d'exposition sont différents.
2. les cibles adultes jardiniers et adultes visiteurs car leurs comportements sur le jardin et leur temps d'exposition varient.
3. les expositions pour les effets à seuil et sans seuil qui sont pondérés par la durée d'exposition (T) de 6 ans pour les enfants et de 64 ans pour les adultes et la période de temps (T_m) sur laquelle la moyenne de l'exposition est effectuée. Ce paramètre période de temps (T_m) est équivalent à la durée d'exposition pour les effets non cancérogènes soit les effets « à seuil » ($T=T_m=6$ ans pour les enfants et $T=T_m=64$ ans pour les adultes). Par contre pour les effets cancérogènes génotoxiques, le paramètre T_m est assimilé à la période de temps « vie entière » soit 70 ans. Ce choix est justifié car même si la cible n'est plus en contact avec la source, les effets liés à ces substances persistent.

La dose totale d'exposition pour la voie orale représente la somme des doses de deux voies d'exposition que sont i) l'ingestion de sol et de poussières par contact main-bouche et ii) l'ingestion de légumes et fruits cultivés sur le jardin.

Une précision est apportée concernant le mercure. L'analyse du mercure total a été réalisée sur les sols, les légumes et les fruits. Les calculs des doses d'exposition pour chaque forme de mercure ont été menés sur l'hypothèse de spéciation utilisée dans le cadre de l'étude POLLUSOL 2, soit : 92% de mercure inorganique, 5% de méthylmercure et 3% de mercure métallique (SPAQuE, 2015).

3.3.1. Exposition par ingestion de sol et de poussières

La consommation moyenne annuelle de sol, $ED_{oral_soil}^{yearly}$, est calculée via l'équation suivante pour le scenario RES-Veg, choisi pour les cibles enfant et adulte jardinier :

$$ED_{oral_soil}^{yearly} = \left(\frac{IR_{soil/dust_daily} \times RBA_{soil} \times F_{oral} \times C \times CF}{BW} \right) \times \left(\frac{EF}{365} \right)$$

La consommation moyenne annuelle de sol, $ED_{oral_soil}^{yearly}$, est calculée via l'équation suivante pour le scenario REC-dayout, choisi pour la cible adulte visiteur :

$$ED_{oral_soil}^{yearly} = \left(\frac{IR_{soil_hourly} \times t_{out} \times RBA_{soil} \times C \times CF}{BW} \right) \times \left(\frac{EF}{365} \right)$$

Tableau 5. Présentation des paramètres utilisés pour le calcul de l'exposition par ingestion de sol et de poussières (Cornelis et al., 2017b).

Symbole	Paramètre	Unité	Valeurs
$ED_{oral_soil}^{yearly}$	Consommation moyenne annuelle de sol	mg/kg.j	-
$IR_{soil/dust_daily}$	Ingestion journalière de sol et de poussières	mg/j	Adulte jardinier : 79,6 Enfant jardinier : 134
IR_{soil_hourly}	Ingestion horaire de sol	mg/h	Adulte visiteur : 6,3
RBA_{soil}	Biodisponibilité relative des contaminants dans le sol	-	1
F_{oral}	Fraction de sol dans le sol et les poussières ingérées	-	1
t_{out}	Moyenne annuelle du temps passé quotidiennement à l'extérieur pour l'exposition	h/j	3
C	Concentration dans le sol	mg/kg	Résultats (P50, P90 et max) voir Annexe 1
CF	Facteur de conversion	-	10^{-6}
BW	Masse corporelle	kg	Adulte : 65,7 Enfant : 15,5
EF	Fréquence d'exposition	j/an	Adulte jardinier : 280 Adulte visiteur : 150 Enfant jardinier : 280

3.3.2. Exposition par ingestion de légumes et fruits

L'exposition par ingestion de légumes et de fruits produits sur le jardin collectif, $ED_{vegetables}^{yearly}$, est estimée sur base des analyses de légumes et fruits échantillonnés dans le jardin sans prendre en considération la consommation de légumes et fruits achetés dans le commerce, sur un marché ou produits sur d'autres jardins potagers.

$$ED_{vegetables}^{yearly} = \frac{\sum C_{veg_category} \times Q_{veg_category} \times f_{veg_category}^{garden}}{BW}$$

Les calculs de doses sont réalisés en prenant les poids de légumes et fruits consommés exprimés en matière fraîche (m.f.) (**Tableau 6**).

Tableau 6. Présentation des paramètres utilisés pour le calcul de l'exposition par ingestion de légumes et fruits (Cornelis et al., 2017b).

Symbole	Paramètre	Unité	Valeurs
$ED_{vegetables}^{yearly}$	Apport moyen annuel par la consommation de légumes cultivés localement	mg/kg.j	-
$C_{veg_category}$	Concentration dans une catégorie donnée	mg/kg M.F.	Résultats (P50, P90 et max) voir Annexe 2
$Q_{veg_category}$	Quantité consommée d'une catégorie donnée	kg M.F./j	Voir tableau 3 (paramètres d'exposition liés aux cibles)
$f_{veg_category}^{garden}$	Fraction d'autoconsommation	-	0,6
BW	Masse corporelle	kg	Adulte : 65,7 Enfant : 15,5

3.3.3. Exposition par contact cutané de sol

L'exposition par contact cutané également appelé absorption dermique, $AD_{dermal_soil}^{yearly}$, est calculée en tant que quantité de sol par zone cutanée et par événement. Le nombre d'événements par jour, EV_{out} , est difficile à estimer et est fixé à une valeur de 1 pour la voie en extérieur (contact cutané avec du sol) (**Tableau 7**).

$$AD_{dermal_soil}^{yearly} = \frac{C \times AF_{soil_skin} \times CF \times ABS_{dermal} \times SA_{out} \times EV_{out}}{BW} \times \left(\frac{EF}{365} \right)$$

Tableau 7. Présentation des paramètres utilisés pour le calcul de l'exposition par absorption dermique (Cornelis et al., 2017b).

Symbole	Paramètre	Unité	Valeurs
$AD_{dermal_soil}^{yearly}$	Absorption moyenne annuelle par contact cutané avec le sol	mg/kg.j	-
C	Concentration dans le sol	mg/kg	Résultats (P50, P90 et max) voir Annexe 1
AF_{soil_skin}	Quantité de sol sur la peau (extérieur)	mg/m ²	Adulte jardinier : 1138 Adulte visiteur : 1415 Enfant jardinier : 2000
CF	Facteur de conversion	-	10 ⁻⁶
ABS_{dermal}	Facteur d'absorption cutanée pour le sol et la poussière	-	Variable selon l'élément. Les informations retenues proviennent du document S-Risk : <i>Substance Data sheet heavy metals part 1: metals and arsenic</i> réalisé par Cornelis et al. (2017a).
SA_{out}	Surface de peau couverte par du sol lors d'activités extérieures	m ²	Adulte jardinier : 0,5325 Adulte visiteur : 0,6640 Enfant jardinier : 0,1838
EV_{out}	Nombre d'évènements « sol »	évènement/j	1
BW	Masse corporelle	kg	Adulte : 65,7 Enfant : 15,5
EF	Fréquence d'exposition	j/an	Adulte jardinier : 280 Adulte visiteur : 150 Enfant jardinier : 280

3.3.4. Exposition par inhalation de particules de sol par réenvol de poussières

L'exposition par inhalation de particules de sol, $C_{inhalation_out}^{yearly}$, comprend dans ce cas-ci uniquement l'inhalation de poussières de sol extérieur.

$$C_{inhalation_out}^{yearly} = \frac{\left(PM_{10}^{soil} \times EF_{PM10} \times \left(C_s + \left(\frac{C_s}{K_d} \times 1000 \right) \times \left(\frac{\theta_w}{\rho_s} \right) \right) \times CF_{PM10} \right) \times WF_{age} \times WF_{act} \times t_{out}}{24} \times \left(\frac{EF}{365} \right)$$

$$C_s = \left(\frac{C \times \rho_s}{(\theta_w + \theta_a \times H'/K_d) \times 1000 + \rho_s} \right)$$

Tableau 8. Présentation des paramètres utilisés pour le calcul de l'exposition par inhalation de particules de sol par réenvol de poussières (Cornelis et al., 2017b).

Symbole	Paramètre	Unité	Valeurs
$C_{inhalation_out}^{yearly}$	Moyenne annuelle d'inhalation pondérée de la concentration d'air dans l'environnement extérieur	mg/m ³	-
PM_{10}^{soil}	Concentration en PM10 résultant du sol	µg/m ³	5
EF_{PM10}	Facteur d'enrichissement des PM10 par le sol	-	2
C_s	Concentration du en phase solide	mg/kg.j	Voir équation
K_d	Coefficient de distribution sol-eau	l/kg	Variable selon l'élément. Les informations retenues proviennent du document S-Risk : <i>Substance Data sheet heavy metals part 1: metals and arsenic</i> réalisé par Cornelis et al. (2017a).
θ_w	Teneur volumique en eau du sol	m ³ /m ³	0,287
θ_a	Teneur volumique en air du sol	m ³ /m ³	0,247
ρ_s	Densité apparente sèche	kg/m ³	1236
CF_{PM10}	Facteur de conversion	kg/µg	10 ⁻⁹
WF_{age}	Facteur de pondération de base du taux d'inhalation dépendant de l'âge	-	Adulte : 1,078 Enfant : 1,840
WF_{act}	Facteur de pondération de base du taux d'inhalation dépendant de l'activité	-	Adulte : 3,6 Enfant : 2,7
t_{out}	Moyenne annuelle du temps passé quotidiennement à l'extérieur pour l'exposition	h/j	3
C	Concentration dans le sol	mg/kg	Résultats (P50, P90 et max)
H'	Constante de Henry ou coefficient de distribution air-eau à température du sol	-	Variable selon l'élément. Les informations retenues proviennent du document S-Risk : <i>Substance Data sheet heavy metals part 1: metals and arsenic</i> réalisé par Cornelis et al. (2017a).
EF	Fréquence d'exposition	j/an	Adulte jardinier : 280 Adulte visiteur : 150 Enfant jardinier : 280

3.4. Étape 4 - Caractérisation des risques

Cette étape consiste à caractériser les risques substance par substance sur base des doses d'exposition calculées par voie d'exposition à l'étape 3 et des valeurs toxicologiques de référence sélectionnées lors de l'étape 2.

Pour les **substances à effets à seuil**, les indices de risque (IR) sont calculés, distinctement pour l'adulte et pour l'enfant, en divisant la dose d'exposition par la valeur toxicologique de référence (VTR, **Tableau 4**) pour la voie d'exposition sélectionnée. Le seuil d'acceptabilité est dépassé lorsque le résultat « dose/VTR » est supérieur à 1. Dans ce cas, l'exposition à la substance par la voie d'exposition sélectionnée est considérée comme excessive.

Pour les **substances à effets sans seuil**, il est supposé qu'à toute dose non nulle d'une substance toxique telle que l'arsenic correspond une probabilité non nulle de développer un effet. Cette probabilité équivaut à l'excès de risque individuel (ERI) et est calculée, distinctement pour l'adulte, pour l'enfant et pour « la vie entière », en multipliant la dose d'exposition par la valeur toxicologique de référence (VTR, **Tableau 4**) pour la voie d'exposition sélectionnée. L'ERI correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à la dose d'exposition calculée dans cette étude. Si l'ERI dépasse la valeur de 10^{-5} cela signifie qu'il y a un excès de risque de cancer pour 100 000 personnes exposées (Service Public de Wallonie, 2016a).

3.5. Présentation et interprétations des résultats de l'étude de risques

Les doses d'exposition ont été calculées en considérant comme cible l'enfant et l'adulte pour les substances à effet à seuil (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb et Zn) et l'enfant grandissant pour les substances à effet sans seuil (As). Les résultats sont compilés dans l'**Annexe 4** pour la cible enfant (jardinier et consommateur), dans l'**Annexe 5** pour la cible adulte jardinier (et consommateur), dans l'**Annexe 6** pour la cible adulte visiteur (et consommateur), dans l'**Annexe 7** pour la cible enfant grandissant jardinier et dans l'**Annexe 8** pour la cible enfant grandissant visiteur.

Les autres cibles d'exposition (adulte consommateur, adulte visiteur, adulte jardinier, enfant consommateur et enfant jardinier, **Figure 3**) présentées sur base du modèle conceptuel de site ne sont pas détaillées. Cependant, chacune de ces cinq cibles peut être isolée en reprenant les résultats de l'étude de risque pour les voies d'exposition qui leur sont spécifiques et qui sont reprises dans le **Tableau 2**.

3.5.1. Substances à effet à seuil – cibles enfants et adultes

Premièrement, il ressort de cette analyse que les niveaux d'exposition via l'ingestion de sol et de poussières, l'ingestion de fruits et légumes, le contact cutané et l'inhalation de particules de sol (réenvol de poussières) sont considérés comme acceptables pour les cibles enfant, adulte jardinier et adulte visiteur pour les éléments suivants : cadmium, chrome, cuivre, mercure, manganèse, molybdène, nickel et zinc. La voie principale d'exposition à ces métaux est l'ingestion de légumes et de fruits à l'exception du mercure sous forme métallique pour lequel la voie d'exposition principale est l'inhalation de poussières ($IR = 1,91 \cdot 10^{-5}$).

Deuxièmement, pour les cibles enfants, les niveaux d'exposition via l'ingestion de sol et de poussières ainsi que l'ingestion de légumes et de fruits dépassent le seuil d'acceptabilité pour le plomb avec des

indices de risque supérieur à 1 (**Annexe 4**). L'ingestion de sol et de poussières représente la voie d'exposition principale au plomb pour la cible enfant (supérieure à 50%).

Troisièmement, l'estimation de la dose d'exposition au plomb via l'ingestion de légumes et de fruits par les adultes jardiniers et visiteurs conduits à un dépassement du seuil d'acceptabilité. Par ailleurs, les niveaux d'exposition au plomb estimés via l'ingestion de sol et de poussières ne sont acceptables pour les adultes que pour la cible visiteur et les valeurs médianes sol reprises à l'**Annexe 2**. Le niveau d'exposition au plomb pour les adultes jardinier (P50, P90 et max) et les adultes visiteurs (P90 et max) sont donc considérés comme excessifs pour la voie d'exposition ingestion de sol et de poussières. La voie d'exposition principale pour toutes les cibles adultes est l'ingestion de légumes et de fruits produits sur le site à l'exception de l'adulte jardinier (P50) pour lequel c'est l'ingestion de sol et de poussières qui est majoritaire.

3.5.2. Substances à effet sans seuil – cibles enfants grandissant

La seule substance à effet sans seuil étudiée est l'arsenic. Le niveau d'exposition à l'arsenic est considéré comme acceptable uniquement pour la voie d'exposition inhalation de particules de sol (**Annexes 7 et 8**). Les voies d'exposition ingestion de sol et de poussières, ingestion de légumes et de fruits ainsi que le contact cutané présentent des niveaux non acceptables d'exposition (excès de risque individuel $> 1.10^{-5}$) pour les cibles enfant grandissant jardinier et enfant grandissant visiteur. Pour toutes les cibles enfants grandissant, la voie d'exposition principale à l'arsenic est l'ingestion de légumes et de fruits provenant du site.

4. Comparaison des concentrations mesurées dans les légumes et les fruits aux normes européennes et référentiels nationaux

Une première comparaison des concentrations mesurées dans les légumes et fruits du jardin collectif aux normes de commercialisation reprises dans le Règlement (CE) n°1881/2006 (Union européenne, 2006) a été effectuée (**Tableau 9**). Il en ressort que tous les légumes feuilles (bette, choux vert et salade), les légumes racines (betterave rouge, carotte, navet et panais), les légumes tubercules (pomme de terre), les aromates (basilic, menthe, persil), les haricots et les piments présentent systématiquement au minimum un dépassement de la norme en cadmium et/ou en plomb. Par ailleurs, les légumes fruits tels que les concombres, les cornichons, les courgettes, les poivrons et les tomates ainsi que les fruits (figues, mûres, prunes, raisins, reines-claude) ne dépassent en aucun cas les normes de commercialisation pour le cadmium et le plomb. Cependant, les petites baies autres que les mûres c'est-à-dire les framboises et groseilles dépassent la norme pour le plomb. Il est toutefois important de préciser que seules certaines catégories présentent un nombre d'échantillons suffisant pour permettre une conclusion ferme. Ce sont les bettes, les carottes, les courgettes, les haricots, les pommes de terre, les raisins, les salades et les tomates dont le nombre de prélèvements est supérieur ou égal à 10.

Tableau 9. Présentation du nombre d'échantillons (total), du nombre de dépassement par rapport au Règlement (CE) n°1881/2006, des concentrations médianes calculées pour le jardin de Bressoux (n=168⁷) et des concentrations médianes obtenues sur les denrées du commerce pour le cadmium (AFSCA, 2009) et le plomb (AFSCA, 2011). (* : par légumes/fruits, ** : par famille de légumes/fruits, - : pas de valeur)

Légume Fruit Aromate	Total	Nombre de dépassement Règlement (CE)		Médiane du jardin de Bressoux		Médiane du commerce	
		Cd	Pb	Cd	Pb	Cd *	Pb **
Basilic	1	0	1	0,040	1,900	-	0,038
Betterave rouge	4	0	1	0,065	0,095	-	0,02
Bette	14	10	8	0,265	0,465	-	0,02
Carotte	15	1	13	0,050	0,150	0,021	0,02
Chou vert	1	0	1	0,070	0,790	0,005	0,02
Concombre	4	0	0	0,007	0,035	-	0,012
Cornichon	1	0	0	0,007	0,035	-	0,012
Courgette	21	0	0	0,007	0,035	0,005	0,012
Figue	2	0	0	0,007	0,035	-	0,011
Framboise	1	0	1	0,010	0,610	-	0,011
Groseille	1	0	1	0,007	0,250	0,005	0,011
Haricot	20	0	3	0,007	0,055	-	0,012
Menthe	3	0	3	0,020	1,200	-	0,038
Mûre	5	0	0	0,007	0,035	-	0,011
Navet	1	0	1	0,020	0,110	-	0,02
Oignon	5	0	1	0,020	0,035	0,005	0,02
Panais	1	0	1	0,060	0,250	-	0,02
Persil	3	0	2	0,110	0,470	0,024	0,038
Piment	2	0	1	0,030	0,073	-	0,012
Poivron	1	0	0	0,007	0,035	-	0,012
Pommes de terre	10	0	3	0,030	0,063	0,021	0,02
Prune	2	0	0	0,007	0,035	-	0,011
Raisin	16	0	0	0,007	0,035	0,005	0,011
Reine-claude	1	0	0	0,007	0,035	-	0,011
Salade	15	4	6	0,120	0,280	0,011	0,02
Tomate	18	0	0	0,010	0,035	0,005	0,012

⁷ Comparaison réalisée sur 168 échantillons au lieu de 169. L'échantillon non étudié est un prélèvement de feuilles de vigne qui n'est pas repris dans la norme ((CE) 1881/2006) ni dans les médianes commerce. Les concentrations en Cd et Pb mesurées dans cet échantillon sont respectivement de 0,007 et 0,16 mg/kg de m.f.

Une seconde comparaison a été menée sur base des concentrations médianes rencontrées dans les denrées commercialisées en grande surface en Belgique pour le cadmium (AFSCA, 2009) et le plomb (AFSCA, 2011). Dans l'ensemble, les concentrations médianes mesurées sur la production du jardin sont systématiquement supérieures à celles mesurées dans le commerce. Certaines denrées comme les aromates présentent d'ailleurs des concentrations en plomb 12, 31 et 50 fois supérieures à celles du commerce pour respectivement, le persil, la menthe et le basilic. D'autres produits comme les carottes, les salades et les bettes présentent des concentrations en plomb de l'ordre de 7, 10 et 23 fois supérieures à celles mesurées dans les produits du commerce.

5. Conclusions

Suite à l'évaluation des risques réalisée pour le site du jardin communautaire de Bressoux (Ligue du coin de terre), les résultats indiquent un dépassement des seuils d'acceptabilité pour l'arsenic (As) et le plomb (Pb) pour les enfants et les adultes fréquentant le jardin et/ou consommant les légumes et fruits produits sur le jardin.

Les recommandations préconisées afin de répondre au principe de précaution sont les suivantes :

4. Eviter de consommer les légumes et fruits produits sur le site du jardin de Bressoux à l'exception des tomates, courgettes et raisins, ce uniquement après un lavage minutieux et un épluchage pour les courgettes. Veiller à diversifier autant que possible la provenance des légumes et fruits consommés. Cette recommandation est d'application pour les enfants et les adultes.
5. Eviter d'emmener les enfants en bas âge (moins de 6 ans) sur le site. La voie principale d'exposition aux contaminants des enfants de moins de 6 ans est l'ingestion de sol et de poussières via un contact direct main-bouche.
6. Pour les adultes, veiller à limiter l'ingestion de sol par contact direct main-bouche. Pour ce faire, les recommandations suivantes sont d'application :
 - Se laver régulièrement les mains et le visage au retour du jardin et avant les repas,
 - Se couper les ongles courts et les nettoyer fréquemment,
 - Eviter d'emmener les animaux domestiques sur le site et brosser leur pelage à l'extérieur des habitations,
 - Utiliser des chaussures spécifiques pour le jardin,
 - Nettoyer régulièrement les abords de la maison et les sols à l'eau.

6. Perspectives

L'étude détaillée des risques présentée dans ce document correspond à la situation de fait du terrain c'est-à-dire qu'elle se veut la plus proche de la situation effective actuelle du jardin compte tenu des données en la possession des experts.

Toutefois, certaines données pourraient être affinées afin d'améliorer la compréhension du comportement des cibles étudiées sur le site du jardin. Ceci pourrait être réalisé en collectant des paramètres d'exposition plus réalistes, déterminés à l'échelle individuelle tels que l'autoconsommation (pourcentage de légumes et fruits autoconsommés), la surface de peau exposée ou le temps d'exposition (temps de présence sur le jardin au cours des saisons). Par ailleurs, une meilleure représentativité de la production végétale (diversité et qualité) permettrait peut-être de proposer davantage de légumes et/ou fruits à la consommation que les seuls courgettes, tomates et raisins conseillés actuellement. Finalement, une prise en compte de la biodisponibilité des métaux par l'organisme peaufinerait l'évaluation des risques notamment pour la voie d'exposition via l'ingestion de sol et poussières qui restent une des voies d'exposition majoritaire notamment chez les enfants.

Remerciements

Nous remercions vivement l'ensemble des jardiniers qui se sont portés volontaires pour mener à bien cette étude ainsi que le comité de la Ligue du Coin de Terre de Bressoux pour son accompagnement tout au long des campagnes de prélèvements. Nous tenons également à remercier le Service des études de risques de SPAQuE pour son appui scientifique et technique lors de la réalisation de l'étude de risque pour la santé humaine.

Bibliographie

- ADEME (2014). Guide d'Echantillonnage des Plantes Potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux (seconde édition). 67 pages p. Disponible sur: http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide_echantillonnage-plantes-potageres-avril-2014.pdf
- AFSCA (2009). Comité Scientifique de l'AFSCA. Avis 35-2009 - Concerne : Estimation de l'exposition alimentaire au cadmium par la population Belge (dossier Sci Com N°2009/13). Avis approuvé par le Comité scientifique le 13 novembre 2009. 29 p. Disponible sur:
- AFSCA, 2011. Comité Scientifique de l'AFSCA. Avis 07-2011 - Concerne : Réévaluation des risques liés à l'exposition de la population belge au plomb (dossier Sci Com N°2010/28 : auto-saisine). Avis approuvé par le Comité scientifique le 24 juin 2011., 61.
- Cornelis C., Bierkens J. & Standaert A. (2017a). S-Risk for the Walloon region - substance data sheets part 1: metals and arsenic. Adapted for the Walloon Region by S. Crévecoeur (ISSeP). 44 p. Disponible sur:
- Cornelis C., Standaert A. & Willems H., 2017b. S-Risk version for the Walloon region: Technical guidance document. Adapted for the Walloon Region by S. Crévecoeur (ISSeP), 166.
- De Ridder K. et al. (2016). Résumé des résultats. 2014-2015. Tafforeau J (éd.) Dans : Enquête de consommation alimentaire. WIV-ISP, Bruxelles. 211 pages p. Disponible sur:
- Service Public de Wallonie (2014). Compendium Wallon des Méthodes d'Échantillonnage et d'Analyse (CWEA). 704 p. Disponible sur:
- Service Public de Wallonie (2016a). Code Wallon des Bonnes Pratiques. Guide de référence pour l'Etude de Risques v03 - PARTIE B : la méthodologie d'évaluation des risques pour la santé humaine. 53 p. Disponible sur:
- Service Public de Wallonie (2016b). Code Wallon des Bonnes Pratiques. Guide de référence pour l'Etude de Risques v03 - Annexe B2 : Actualisation des valeurs toxicologiques de référence (VTR) à utiliser en Wallonie pour les polluants normés 21 p. Disponible sur:
- SPAQuE (2015). POLLUSOL 2 (2009-2015) - Rapport de synthèse. 56 p. Disponible sur:
- Union européenne, 2006. Règlement (CE), No 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *In*: Journal officiel de l'Union européenne, 364/5-364/24.

Annexes

Annexe 1 – Présentation des limites de quantification pour les sols et les légumes.

Paramètres	Sol mg/kg m.s.	Légume/fruit mg/kg m.f.
As	10	0,1
Cd	0,5	0,01
Cr	10	0,1
Cu	10	0,1
Hg	0,5	0,006
Mo	2,1	0,1
Mn	10	0,1
Ni	10	0,1
Pb	10	0,1
Zn	10	0,1

Annexe 2 – Présentation des statistiques descriptives pour l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le zinc, le manganèse et le molybdène sur les 161 échantillons de sol de surface étudiés lors de l'étude détaillée des risques pour la santé humaine.

mg/kg m.s.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	30,4	0,41	18,0	28,0	30,0	33,0	36,3	46,0
Cd	4,62	0,06	2,10	4,40	4,70	5,00	5,30	6,13
Cr	57,8	1,69	27,0	45,0	52,5	62,0	84,9	138,0
Cu	209	3,55	102	183	212	238	258	351
Hg	1,78	0,05	0,70	1,43	1,71	2,11	2,42	4,00
Ni	44,3	0,44	28,0	40,3	44,0	48,0	50,3	56,0
Pb	486	8,98	253	415	489	549	616	896
Zn	1381	19,90	738	1226	1398	1537	1642	1956
Mn	789	5,63	380	754	793	828	870	926
Mo	2,68	0,04	1,47	2,40	2,70	3,00	3,20	4,60

ESM: Ecart standard de la moyenne

n = 161 échantillons

Annexe 3 – Présentation des statistiques descriptives pour l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le zinc, le manganèse et le molybdène sur les différentes familles de légumes et les fruits.

Légumes feuilles
Salades, bettes et chou vert (n=30)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,062	0,007	0,035	0,035	0,043	0,083	0,136	0,160
Cd	0,229	0,032	0,040	0,100	0,175	0,285	0,561	0,720
Cr	0,122	0,018	0,035	0,060	0,090	0,150	0,321	0,430
Cu	1,532	0,171	0,470	0,688	1,400	2,175	2,790	3,900
Hg	0,005	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,007	0,009
Ni	0,190	0,014	0,080	0,128	0,170	0,263	0,327	0,360
Pb	0,566	0,097	0,070	0,185	0,350	0,825	1,270	2,100
Zn	40,56	6,09	5,20	13,00	29,50	57,00	103,70	125,00
Mn	8,03	1,16	2,40	4,27	5,95	8,93	16,70	32,00
Mo	0,184	0,029	0,035	0,080	0,135	0,253	0,448	0,730

Légumes fruits
Tomates, courgettes, cornichons, concombres, poivrons, piments (n=47)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cd	0,010	0,001	0,007	0,007	0,007	0,010	0,095	0,030
Cr	0,039	0,003	0,035	0,035	0,035	0,035	0,356	0,150
Cu	0,606	0,042	0,210	0,400	0,510	0,740	1,020	1,400
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,032	0,004
Ni	0,069	0,007	0,035	0,035	0,060	0,080	0,768	0,270
Pb	0,037	0,002	0,035	0,035	0,035	0,035	0,281	0,110
Zn	3,88	0,46	0,96	2,00	3,00	4,50	7,38	17,00
Mn	0,882	0,082	0,300	0,580	0,720	1,000	1,500	3,200
Mo	0,093	0,007	0,035	0,060	0,090	0,110	0,132	0,360

Légumes racines
Carottes, betteraves rouges, navets, panais (n=21)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cd	0,053	0,007	0,010	0,035	0,050	0,065	0,080	0,160
Cr	0,047	0,003	0,035	0,035	0,035	0,060	0,076	0,080
Cu	0,820	0,083	0,460	0,545	0,700	1,010	1,500	1,700
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Ni	0,126	0,018	0,050	0,090	0,110	0,140	0,160	0,460
Pb	0,156	0,018	0,035	0,105	0,150	0,210	0,298	0,340
Zn	10,13	1,72	4,10	5,00	6,90	13,00	21,20	36,00
Mn	1,641	0,134	0,970	1,100	1,400	2,200	2,680	2,800
Mo	0,049	0,006	0,035	0,035	0,035	0,060	0,092	0,140

Légumes tubercules
Pommes de terre (n=10)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cd	0,030	0,004	0,010	0,020	0,030	0,040	0,049	0,050
Cr	0,037	0,002	0,035	0,035	0,035	0,035	0,049	0,050
Cu	1,476	0,176	0,370	1,073	1,500	1,875	2,280	2,300
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Ni	0,060	0,010	0,035	0,035	0,043	0,093	0,109	0,110
Pb	0,071	0,013	0,035	0,035	0,063	0,113	0,138	0,140
Zn	3,58	0,36	1,10	3,08	3,55	4,55	5,09	5,10
Mn	1,032	0,051	0,830	0,890	1,000	1,200	1,290	1,300
Mo	0,142	0,015	0,035	0,123	0,160	0,170	0,197	0,200

Légumes bulbes
Oignons (n=5)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cd	0,020	0,004	0,010	0,010	0,020	0,030	0,030	0,030
Cr	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cu	0,548	0,042	0,440	0,470	0,540	0,630	0,690	0,690
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Ni	0,054	0,009	0,035	0,035	0,060	0,070	0,080	0,080
Pb	0,060	0,025	0,035	0,035	0,035	0,098	0,160	0,160
Zn	10,10	1,86	4,40	6,80	9,90	13,50	16,00	16,00
Mn	1,460	0,093	1,200	1,250	1,500	1,650	1,700	1,700
Mo	0,070	0,015	0,035	0,035	0,080	0,100	0,110	0,110

Fruits
Raisins, figues, framboises, mûres, groseilles, reines-claudes, prunes (n=28)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,036	0,001	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,070
Cd	0,007	0,0001	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,010
Cr	0,041	0,005	0,035	0,035	0,035	0,035	0,051	0,170
Cu	1,041	0,225	0,250	0,575	0,710	1,068	1,910	6,700
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Ni	0,081	0,011	0,035	0,035	0,055	0,108	0,182	0,240
Pb	0,064	0,022	0,035	0,035	0,035	0,035	0,079	0,610
Zn	1,761	0,199	0,600	0,867	1,500	2,350	3,460	4,300
Mn	1,682	0,177	0,360	0,880	1,450	2,425	3,220	3,400
Mo	0,098	0,016	0,035	0,035	0,070	0,130	0,220	0,360

Haricots (n=20)

mg/kg m.f.	Moyenne	ESM	Min	P25	Médiane (P50)	P75	P90	Max
As	0,035	0,000	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cd	0,007	0,000	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Cr	0,076	0,010	0,035	0,035	0,070	0,100	0,110	0,230
Cu	0,700	0,086	0,370	0,463	0,600	0,695	1,090	2,100
Hg	0,004	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Ni	0,271	0,024	0,060	0,200	0,260	0,328	0,428	0,510
Pb	0,073	0,011	0,035	0,035	0,055	0,100	0,159	0,180
Zn	5,03	0,53	3,00	3,65	4,30	5,25	8,91	13,00
Mn	2,30	0,17	1,10	1,90	2,05	2,65	3,83	4,10
Mo	0,543	0,076	0,050	0,323	0,450	0,660	1,081	1,500

Annexe 4 – Récapitulatif des indices de risque pour la **cible enfant** et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.

Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité IR > 1

Indices de risque
Effet à seuil - Cible enfant - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,04	0,27	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,01	0,06	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,03	0,13	0,10	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,01	0,02	0,01	0,00
Nickel	0,03	0,06	0,00	0,01
Plomb	64,88	11,91	0,00	0,00
Zinc	0,03	0,12	0,00	0,00
Manganèse	0,09	0,24	0,06	
Molybdène	0,00	0,20	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible enfant - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,04	0,60	0,00	0,01
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,01	0,13	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,05	0,17	0,13	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,01	0,03	0,01	0,00
Nickel	0,03	0,17	0,00	0,02
Plomb	81,81	32,38	0,00	0,01
Zinc	0,04	0,30	0,00	0,00
Manganèse	0,10	0,50	0,07	
Molybdène	0,00	0,43	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible enfant - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,05	0,72	0,00	0,01
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,02	0,32	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,08	0,13	0,22	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,01	0,02	0,01	0,00
Nickel	0,03	0,20	0,00	0,02
Plomb	119,00	94,18	0,00	0,01
Zinc	0,04	0,39	0,00	0,00
Manganèse	0,10	0,64	0,07	
Molybdène	0,01	0,65	0,00	

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible enfant - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	12,29	85,62	0,67	1,42
Chrome	48,85	51,15	0,00	0,00
Cuivre	14,33	84,23	0,00	1,44
Mercure inorganique	13,54	49,31	37,15	0,00
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	17,76	62,64	19,49	0,10
Nickel	26,16	59,08	0,00	14,76
Plomb	84,48	15,51	0,00	0,01
Zinc	19,96	77,86	0,00	2,17
Manganèse	22,57	61,95	15,48	0,00
Molybdène	1,76	98,24	0,00	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible enfant - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	6,85	91,98	0,38	0,79
Chrome	41,38	58,62	0,00	0,00
Cuivre	8,47	90,68	0,00	0,85
Mercure inorganique	13,67	48,83	37,50	0,00
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	17,98	62,19	19,73	0,10
Nickel	13,95	78,17	0,00	7,87
Plomb	71,64	28,36	0,00	0,01
Zinc	10,64	88,20	0,00	1,16
Manganèse	14,49	75,57	9,94	0,00
Molybdène	0,97	99,03	0,00	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible enfant - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	6,53	92,36	0,36	0,75
Chrome	40,32	59,68	0,00	0,00
Cuivre	4,93	94,58	0,00	0,50
Mercure inorganique	18,62	30,31	51,07	0,00
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	27,17	42,85	29,82	0,16
Nickel	13,58	78,76	0,00	7,66
Plomb	55,82	44,18	0,00	0,00
Zinc	9,85	89,08	0,00	1,07
Manganèse	12,66	78,66	8,68	0,00
Molybdène	0,94	99,06	0,00	0,00

Annexe 5 – Récapitulatif des indices de risque pour la **cible adulte jardinier** et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.

Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité IR > 1

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,01	0,14	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,02	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,00	0,05	0,04	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,00	0,01	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,02	0,00	0,01
Plomb	7,22	4,30	0,00	0,00
Zinc	0,00	0,06	0,00	0,00
Manganèse	0,01	0,09	0,02	
Molybdène	0,00	0,08	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,01	0,38	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,05	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,01	0,11	0,05	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,00	0,02	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,09	0,00	0,01
Plomb	9,10	13,82	0,00	0,00
Zinc	0,01	0,17	0,00	0,00
Manganèse	0,01	0,19	0,03	
Molybdène	0,00	0,16	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,01	0,41	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,08	0,00	0,00
Mercuré inorganique	0,01	0,05	0,09	0,00
Mercuré métallique				0,00
Méthylmercure	0,00	0,01	0,01	0,00
Nickel	0,00	0,07	0,00	0,01
Plomb	13,23	23,99	0,00	0,01
Zinc	0,01	0,22	0,00	0,00
Manganèse	0,01	0,28	0,03	
Molybdène	0,00	0,24	0,00	

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	3,72	93,31	0,57	2,40
Chrome	25,76	74,24	0,00	0,00
Cuivre	5,25	91,80	0,00	2,94
Mercuré inorganique	5,51	52,53	41,95	0,01
Mercuré métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	7,51	69,36	22,88	0,24
Nickel	9,85	59,14	0,00	31,01
Plomb	62,64	37,32	0,00	0,03
Zinc	6,21	90,02	0,00	3,77
Manganèse	9,82	71,48	18,70	0,00
Molybdène	0,60	98,26	1,14	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	1,58	97,16	0,24	1,02
Chrome	14,86	85,14	0,00	0,00
Cuivre	3,25	94,93	0,00	1,82
Mercure inorganique	4,19	63,89	31,91	0,01
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	5,31	78,35	16,17	0,17
Nickel	4,03	83,28	0,00	12,69
Plomb	39,68	60,30	0,00	0,02
Zinc	2,89	95,35	0,00	1,76
Manganèse	5,91	82,85	11,24	0,00
Molybdène	0,37	98,92	0,71	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte jardinier - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	1,68	96,97	0,26	1,08
Chrome	21,10	78,90	0,00	0,00
Cuivre	2,67	95,83	0,00	1,50
Mercure inorganique	7,67	33,98	58,35	0,01
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	11,95	51,29	36,38	0,39
Nickel	5,15	78,62	0,00	16,22
Plomb	35,54	64,44	0,00	0,02
Zinc	2,60	95,82	0,00	1,58
Manganèse	4,44	87,12	8,45	0,00
Molybdène	0,35	98,98	0,67	0,00

Annexe 6 – Récapitulatif des indices de risque pour la **cible adulte visiteur** et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.

Indices de risque – Dépassement du seuil d'acceptabilité IR > 1

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,00	0,14	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,02	0,00	0,00
Mercurure inorganique	0,00	0,05	0,03	0,00
Mercurure métallique				0,00
Méthylmercurure	0,00	0,01	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,02	0,00	0,01
Plomb	0,92	4,30	0,00	0,00
Zinc	0,00	0,06	0,00	0,00
Manganèse	0,00	0,09	0,02	
Molybdène	0,00	0,08	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,00	0,38	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,05	0,00	0,00
Mercurure inorganique	0,00	0,11	0,04	0,00
Mercurure métallique				0,00
Méthylmercurure	0,00	0,02	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,09	0,00	0,01
Plomb	1,16	13,82	0,00	0,00
Zinc	0,00	0,17	0,00	0,00
Manganèse	0,00	0,19	0,02	
Molybdène	0,00	0,16	0,00	

Indices de risque
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,00	0,41	0,00	0,00
Chrome	0,00	0,00	0,00	
Cuivre	0,00	0,08	0,00	0,00
Mercure inorganique	0,00	0,05	0,07	0,00
Mercure métallique				0,00
Méthylmercure	0,00	0,01	0,00	0,00
Nickel	0,00	0,07	0,00	0,01
Plomb	1,69	23,99	0,00	0,00
Zinc	0,00	0,22	0,00	0,00
Manganèse	0,00	0,28	0,02	
Molybdène	0,00	0,24	0,00	

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale en %

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,50	97,67	0,49	1,34
Chrome	4,24	95,76	0,00	0,00
Cuivre	0,71	97,61	0,00	1,68
Mercure inorganique	0,80	59,65	39,55	0,00
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	1,07	77,54	21,24	0,15
Nickel	1,63	76,80	0,00	21,57
Plomb	17,62	82,35	0,00	0,04
Zinc	0,85	96,97	0,00	2,18
Manganèse	1,42	80,99	17,59	0,00
Molybdène	0,08	98,97	0,95	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,21	99,03	0,20	0,56
Chrome	2,18	97,82	0,00	0,00
Cuivre	0,43	98,56	0,00	1,01
Mercure inorganique	0,59	70,26	29,15	0,00
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	0,73	84,66	14,51	0,10
Nickel	0,57	91,93	0,00	7,51
Plomb	7,74	92,24	0,00	0,02
Zinc	0,38	98,64	0,00	0,97
Manganèse	0,81	89,15	10,04	0,00
Molybdène	0,05	99,36	0,59	0,00

Contribution des différentes voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet à seuil - Cible adulte visiteur - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

	Ingestion de sol et de poussières	Ingestion de légumes et fruits	Contact cutané	Inhalation de particules de sol
Cadmium	0,22	98,97	0,22	0,59
Chrome	3,30	96,70	0,00	0,00
Cuivre	0,35	98,82	0,00	0,83
Mercure inorganique	1,17	40,73	58,09	0,01
Mercure métallique	0,00	0,00	0,00	100,00
Méthylmercure	1,83	61,62	36,30	0,25
Nickel	0,75	89,37	0,00	9,88
Plomb	6,57	93,41	0,00	0,01
Zinc	0,34	98,78	0,00	0,87
Manganèse	0,60	92,00	7,41	0,00
Molybdène	0,05	99,40	0,56	0,00

Annexe 7 – Récapitulatif des excès de risque individuel (dépassement du seuil d'acceptabilité pour $ERI > 1.10^{-5}$) pour la **cible enfant grandissant jardinier** et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant jardinier - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	4,78E-05	7,14E-05	1,19E-04	8,06E-05	3,18E-04	3,98E-04	3,93E-06	1,63E-05	2,02E-05	1,84E-08	1,53E-07	1,72E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	36,13	17,61	22,17	60,89	78,33	74,04	2,97	4,02	3,76	0,01	0,04	0,03

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant jardinier - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	5,79E-05	8,64E-05	1,44E-04	8,98E-05	3,84E-04	4,74E-04	4,76E-06	1,97E-05	2,45E-05	2,22E-08	1,85E-07	2,08E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	37,96	17,63	22,45	58,90	78,31	73,71	3,12	4,03	3,81	0,01	0,04	0,03

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant jardinier - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	7,33E-05	1,10E-04	1,83E-04	1,36E-04	4,86E-04	6,23E-04	6,03E-06	2,50E-05	3,10E-05	2,82E-08	2,35E-07	2,63E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	33,97	17,64	21,85	63,22	78,29	74,40	2,80	4,03	3,71	0,01	0,04	0,03

Annexe 8 – Récapitulatif des excès de risque individuel (dépassement du seuil d'acceptabilité pour $ERI > 1.10^{-5}$) pour la **cible enfant grandissant visiteur** et la contribution des voies d'exposition à l'exposition globale pour les valeurs médianes, P90 et maximales.

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant visiteur - P50 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	4,78E-05	9,12E-06	5,69E-05	8,06E-05	3,18E-04	3,98E-04	3,93E-06	1,35E-05	1,75E-05	1,84E-08	8,21E-08	1,00E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	36,13	2,68	12,04	60,89	93,32	84,24	2,97	3,98	3,70	0,01	0,02	0,02

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant visiteur - P90 des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	5,79E-05	1,10E-05	6,89E-05	8,98E-05	3,84E-04	4,74E-04	4,76E-06	1,64E-05	2,12E-05	2,22E-08	9,93E-08	1,22E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	37,96	2,68	12,21	58,90	93,31	84,01	3,12	3,98	3,75	0,01	0,02	0,02

Excès de risque individuel et contribution des voies d'exposition à l'exposition globale (%)
Effet sans seuil - Cible enfant grandissant visiteur - MAX des valeurs sols et légumes avec autoconsommation de 60%

Arsenic	Ingestion de sol et de poussières			Ingestion de légumes et fruits			Contact cutané			Inhalation de particules de sol		
	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière	Enfant	Adulte	Vie entière
Excès de risque individuel	7,33E-05	1,40E-05	8,73E-05	1,36E-04	4,86E-04	6,23E-04	6,03E-06	2,08E-05	2,68E-05	2,82E-08	1,26E-07	1,54E-07
Contribution des voies d'exposition (%)	33,97	2,68	11,85	63,22	93,31	84,49	2,80	3,99	3,64	0,01	0,02	0,02