

Pollution des sols à Reconvilier et Loveresse

Évaluation des risques liés à la consommation de légumes issus de potagers dont la terre présente des teneurs supérieures aux seuils d'investigation OSol.

Novembre 2021





Table des matières

1.	Introduction	4
2.	Méthode et moyens mis en œuvre.....	5
2.1.	Zone d'étude	5
2.2.	Choix des parcelles avec potager	6
2.3.	Étude des fruits et légumes	8
2.4.	Évaluation des risques.....	10
2.4.1.	Cuivre (Cu)	10
2.4.2.	Zinc (Zn)	11
2.4.3.	Cadmium (Cd)	12
3.	Résultats.....	13
3.1.	Interprétation des résultats	14
3.1.1.	Cuivre (Cu)	16
3.1.2.	Zinc (Zn)	17
3.1.3.	Cadmium (Cd)	18
4.	Conclusions et recommandations.....	19
5.	Références	20
6.	Annexes.....	21



Abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie - Agence de la transition écologique française
DFI	Département fédéral de l'intérieur
OCont	Ordonnance du DFI sur les teneurs maximales en contaminants
OED	Office des eaux et des déchets du canton de Berne
OPOVA	Ordonnance du DFI sur les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les produits d'origine végétale ou animale
OSol	Ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols
SCAHT	Centre suisse de toxicologie humaine appliquée
UMS SA	Usines Métallurgiques Suisses holding SA

1. Introduction

Une grande partie du territoire des communes de Reconvilier et de Loveresse présente des sols pollués par du cuivre, du zinc et en moindre quantité par du cadmium. Ces métaux proviennent de l'exploitation, dès les années 1850, de fonderies de l'entreprise Boillat SA puis de Swissmetal - Usines Métallurgiques Suisses holding SA (UMS SA); abrégé "anciennes usines Boillat" dans le document.

Les investigations effectuées en 2019 par le bureau CSD Ingénieurs SA à Delémont ont permis de déterminer l'ampleur exacte de la pollution. Des prélèvements et analyses de sols ont été réalisés à cet effet et ont permis d'évaluer le besoin d'assainissement ou d'investigation selon l'Ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). Plus précisément, les études menées en 2019 et en 2020 sur mandat de l'Office des eaux et des déchets du canton de Berne (OED) ont porté sur une surface d'environ 110 hectares regroupant 643 parcelles sur lesquelles 748 échantillons ont été prélevés. Le résultat de ce travail a permis d'aboutir au plan présenté en Figure 1.

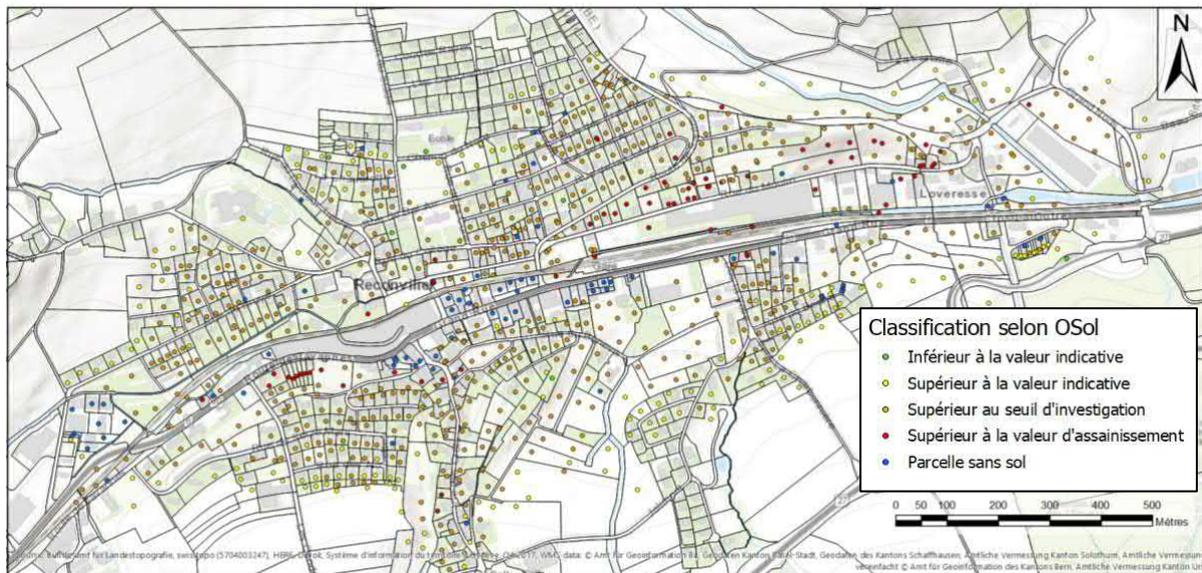


Figure 1 Plan de classification des échantillons selon l'OSol obtenu par le bureau CSD Ingénieurs en 2019.

Parmi les 643 parcelles analysées et exposées à la pollution des "anciennes usines Boillat", 512 présentent un dépassement des seuils d'investigation de l'annexe 1 de l'OSol pour le zinc et/ou le cuivre et parfois le cadmium (représentées par les points orange sur la Figure 1). Selon l'OSol, lors du dépassement des seuils d'investigation, des mesures doivent être prises seulement en présence d'un jardin potager sur la parcelle et si un risque lié à la consommation de fruits et légumes existe. Les émanations des cheminées des "anciennes usines Boillat", à l'origine de la pollution des sols, ne présentent plus de risque pour l'environnement et la santé depuis plusieurs années grâce à la mise en place de filtres. La problématique du dépôt des particules de ces fumées sur les végétaux a été éliminée et seule l'accumulation de métaux dans les végétaux par un transfert du sol vers la plante peut présenter un risque à leur consommation.

Sur le territoire de Reconvilier et Loveresse, 162 parcelles ont actuellement un jardin potager où des analyses ont révélé des dépassements des seuils d'investigation. Elles doivent donc faire l'objet d'une évaluation de la mise en danger liée à la consommation des fruits et légumes qui y poussent.

Dans ce but, une dizaine de propriétaires ont accepté de mettre à disposition leur jardin potager pour y réaliser une campagne de plantation, récolte et analyse des fruits et légumes. Le présent rapport expose la méthodologie utilisée, et présente les parcelles sélectionnées et le choix des fruits et légumes analysés. Il détaille et commente les résultats obtenus et finalement donne les conclusions quant aux risques liés à la consommation.

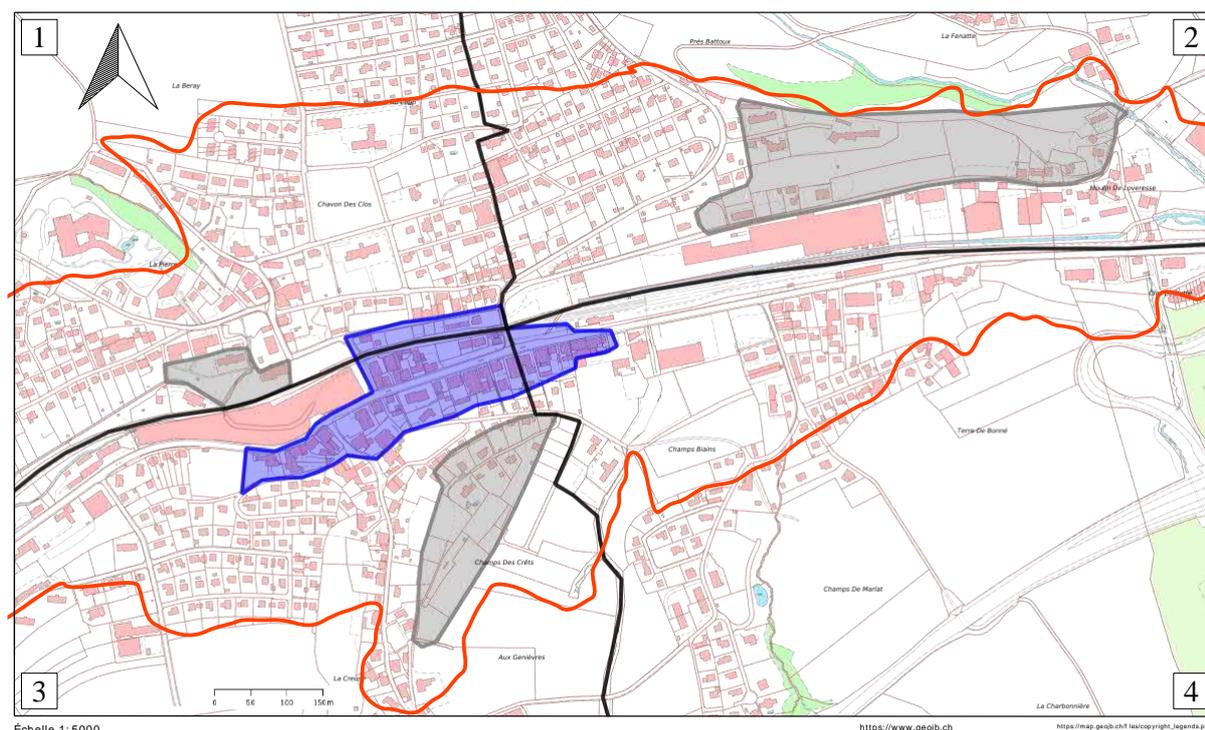
2. Méthode et moyens mis en œuvre

Afin d'apprécier les risques liés à la consommation de fruits et légumes produits sur les parcelles qui ont des jardins potagers, la démarche d'évaluation développée par l'OED consiste à :

- Évaluer l'hétérogénéité du territoire d'étude,
- Sélectionner des parcelles avec potagers qui en sont représentatives,
- Y réaliser des plantations et les récolter,
- Analyser les teneurs en polluants des fruits et légumes des potagers,
- Comparer ces teneurs à des valeurs limites tenant compte de la toxicologie.

2.1. Zone d'étude

Les 512 parcelles sur lesquelles des concentrations en cuivre, en zinc et/ou en cadmium supérieures aux seuils d'investigation OSol ont été mesurées sont globalement réparties sur la partie centrale des communes de Reconvilier et Loveresse (Figure 1, points orange). Ces parcelles sont circonscrites par le périmètre orange représenté de manière simplifiée sur la Figure 2, qui délimite une zone d'étude de près de 2km². Dans ce périmètre, les études de la géologie et la pédologie du territoire montrent que le sous-sol est molassique dans sa grande majorité, et que le sol est homogène avec très peu de pierres.



- ◆ Sols contenant une couche de remblais et des déchets minéraux
- Sols avec une forte proportion de graviers dès 20cm de profondeur
- ▭ Sous-zone de la ville
- Périmètre approximatif des sols supérieurs au seuil d'investigation

Figure 2 Carte approximative des zones de différents types de sols réalisée à titre indicatif sur la base de l'échantillonnage mené dans le terrain. Les zones grises présentent de fortes proportions de graviers dès 20cm de profondeur. La zone bleue centrale contient des sols reposant sur une couche de remblais et de nombreux déchets minéraux. Le reste du territoire présente un sous-sol molassique et homogène avec peu de pierres. (<https://map.geojb.ch/api/shorten/9319cd9572>).



De cette manière, 11 parcelles sur lesquelles se trouve un jardin potager ont été retenues pour l'étude. Leur localisation est visible sur la Figure 3. Chaque sous-zone 1 à 4 présente deux jardins potagers. Un troisième site d'analyse vient compléter la sous-zone 2 particulièrement grande. Finalement, les zones bleues et grises ont toutes deux un jardin potager dans leur périmètre.

Toutes les parcelles se situent sur le territoire de la commune de Reconvilier à l'exception de la parcelle 10 qui se trouve sur celui de Loveresse.

Les concentrations en cuivre, en cadmium et en zinc mesurées dans les sols des parcelles sélectionnées sont présentées dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 Teneurs en cuivre, en cadmium et en zinc mesurées dans les sols des jardins potagers des parcelles sélectionnées (échantillons prélevés par CSD entre 2019 et 2021). Les teneurs supérieures aux seuils d'investigation sont représentées en gras. Les teneurs sont données en mg/kg de matière sèche

Parcelle	Teneurs des sols		
	Cuivre [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Zinc [mg/kg]
1	273	1.92	701
2	328	1.7	1024
3	227	1.4	608
4	127	1.53	536
5	168	1.1	467
6	314	1.41	1008
7	621	2.35	1275
8	251	1.2	735
9	518	1.49	1280
10	315	0.62	601
11	441	1.68	1018
Seuil d'investigation	150	2	300

2.3. Étude des fruits et légumes

Le but de cette étude est d'évaluer les risques liés à la consommation de végétaux issus de potagers. Pour ce faire, des plantons de 7 espèces de fruits et légumes différents ont été distribués aux propriétaires des 11 parcelles de l'étude et plantés dans la semaine du 17 au 21 mai 2021.

Le choix des espèces à planter et analyser s'est fait sur la base des conclusions du rapport d'expert réalisé en 2021 par le bureau MDGDR¹ pour l'OED, de façon à :

- Être représentatif des différentes parties des plantes qui peuvent être consommées; les transferts de polluants aux plantes varient selon l'organe considéré (tige, feuille, fruit, racine) et leur position par rapport au sol (dans le sol, en surface, en hauteur)²,
- Tenir compte de la capacité d'accumulation différente d'une espèce végétale à l'autre, en lien avec les trois métaux présents sur le site d'étude que sont le cadmium, le cuivre et le zinc (par exemple, capacité d'accumulation forte pour les tomates et les laitues, faible pour les pommes de terre)³,
- Prendre en considération les habitudes de plantation des propriétaires de potagers,
- Favoriser des variétés productives et adaptées au climat de Reconvilier et Loveresse.

Sur la base de ces critères, les 7 premières espèces présentées dans le Tableau 2 ont été sélectionnées. Sur deux des parcelles, des pommes et des groseilles poussent également. La capacité de ces espèces à l'accumulation est peu connue mais supposée comme étant très faible. Dans un but de confirmation de cette information, ces deux espèces supplémentaires ont été ajoutées pour analyse.

Tableau 2 Liste des espèces retenues et explication des critères appliqués pour leur sélection.

Espèce	Tendance à l'accumulation			Type de légume	Productif	Résistant	Typique
	Cuivre	Zinc	Cadmium				
Tomates	++	++	++	Légume fruit	-	-	-
Carottes	+	-	++	Légume racine	-	++	++
Pommes de terre	+	-	-	Légume tubercule	++	++	++
Oignons	n.d.	n.d.	n.d.	Légume bulbe	+	++	++
Laitues	+	++	+	Légume feuille	+	-	+
Fraises	n.d.	n.d.	n.d.	Fruits	-	-	+
Épinards	n.d.	n.d.	++	Légume feuille	-	-	-
Pommes	n.d.	n.d.	n.d.	Fruits	+	+	+
Groseilles	n.d.	n.d.	n.d.	Fruits	-	-	+

++ : très fort + : fort - : faible n.d. : non défini

¹ MDGDR, « Pollution des sols à Reconvilier et Loveresse - Stratégie d'échantillonnage des plantes potagères ».

² ADEME, « Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux »; Liénard et Colinet, « Teneurs limites en polluants dans le sol en vue d'une production végétale commercialisable »; Sauerbeck, « Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge ».

³ Sauerbeck, « Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge »; Versluijs et Otte, « Accumulatie van metalen in planten, een bijdrage aan de evaluatie van de interventiewaarden en locatiespecifieke risicobeoordeling van verontreinigde bodem ».



Les variétés de fruits et légumes ont été choisies en s'appuyant sur les conseils de l'entreprise de paysagistes Rollier Paysage SA (Boudevillier, Neuchâtel). Les variétés productives et résistantes aux conditions climatiques du Jura bernois ont été retenues. Il s'agit de laitues romaines de Morges, de tomates Matina, de fraisiers Wädenswil, de pommes de terre Agria. Les oignons, carottes et épinards sont des espèces adaptées au climat du Jura bernois quelle que soit leur variété.

Lors de la distribution des plantons, 3 plantons de tomates, des graines de carottes, 4 pommes de terre, 4 oignons, 3 laitues et 3 fraisiers, ont été remis à chacun des propriétaires des parcelles 2 à 11 étudiées. Le propriétaire de la parcelle 1 cultivait déjà des carottes, des oignons et des pommes de terre et à sa demande, seuls des plantons de tomates, de laitues et de fraises ont été cultivés sur sa parcelle. Des graines d'épinards ont été distribuées uniquement au propriétaire de la parcelle 7 dont le sol présentait des teneurs en cadmium supérieures aux seuils d'investigation. La répartition des espèces dans les différentes parcelles est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3 Répartition des espèces distribuées dans les différentes parcelles.

Parcelle	Tomates	Carottes	Patates	Oignons	Laitues	Fraises	Épinards	Groseilles	Pommes
1	Oui	X	X	X	Oui	Oui	X	X	X
2	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	Oui
3	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
4	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
5	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
6	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	Oui	X
7	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X
8	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
9	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
10	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X
11	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	X	X	X

Les laitues ont été récoltées le 05.07.21, après près d'un mois de culture (lorsque leur taille était suffisante). Elles ont été analysées pour leur teneur en cuivre, zinc et cadmium par le laboratoire Qualiservice Sàrl (Berne).

Les autres espèces de fruits et légumes ont nécessité plus de temps pour arriver à maturation. La même procédure leur a été appliquée et toutes ont été récoltées et envoyées au laboratoire le 18.08.21.

2.4. Évaluation des risques

Si les teneurs mesurées dans les fruits et légumes sont inférieures aux valeurs limites définies par les bases légales et/ou les études de risque, les dangers pour la santé liés à leur consommation sont faibles voir même inexistant.

Les denrées alimentaires ne doivent ni être mises sur le marché ni être consommées si elles contiennent un contaminant dont la concentration dépasse la valeur limite qui lui est associée.

Les bases légales ou les études utilisées dans le cadre de cette étude pour l'évaluation des risques sont détaillées dans les paragraphes qui suivent pour chaque métal.

2.4.1. Cuivre (Cu)

Les valeurs limites utilisées pour évaluer les risques liés à la consommation de légumes sont issues pour le cuivre de l'Ordonnance du DFI sur les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les produits d'origine végétale ou animale (OPOVA) du 16 décembre 2016 (État du 1^{er} août 2021).

Les valeurs varient en fonction des fruits et légumes, celles appliquées aux espèces d'intérêt sont présentées dans le Tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 Valeurs limites maximales en cuivre applicables aux résidus de pesticides sur les quantités de végétaux frais (mg/kg de masse totale) tirés de l'OPOVA.

Valeurs limites	Cu [mg/kg]
Tomates	15
Carottes	15
Pommes de terre	15
Oignons	5
Laitues	100
Fraises	15
Épinards	20
Pommes	15
Groseilles	15



2.4.2. Zinc (Zn)

Des valeurs limites de concentrations en zinc dans les fruits et légumes n'apparaissent dans aucune ordonnance fédérale. Après différents échanges avec les organes fédéraux responsables, il est apparu que très peu d'études et de données toxicologiques sur le zinc existent actuellement. Ce métal est un oligo-élément essentiel à l'être humain et les cas d'intoxication par la consommation de légumes n'ont jamais été reportés. Au contraire, les individus ont tendance à en manquer et à y remédier en prenant des compléments alimentaires.

La dose quotidienne maximale de zinc est de 40 mg par jour pour un adulte et la dose quotidienne recommandée est de 8 mg pour les femmes et 11 mg pour les hommes.

La valeur limite de sécurité appliquée (tolerable upper intake level UL) fixée par la European food safety authority est quant à elle de 25 mg par jour, soit une valeur 5 fois plus élevée que celle appliquée au cuivre, qui est de 5 mg par jour. Les valeurs limites du cuivre pourraient donc être quintuplées et transposées au zinc, telles que présentées dans le Tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 Valeurs comparatives dérivées pour le zinc en quintuplant les valeurs limites maximales en cuivre applicables aux résidus de pesticides tirés de l'OPOVA. Les teneurs sont données en mg/kg de masse totale

Valeurs comparatives dérivées	Zn [mg/kg]
Tomates	75
Carottes	75
Pommes de terre	75
Oignons	25
Laitues	500
Fraises	75
Épinards	100
Pommes	75
Groseilles	75

Néanmoins, dans un but d'écartier tout risque pour la santé, une étude de risque a été réalisée par le centre suisse de toxicologie humaine appliquée (SCAHT). Elle a consisté à évaluer les risques sanitaires pour l'ingestion de chaque fruit et légume. En comparant la dose de zinc ingérée quotidiennement par la consommation de fruits et légumes à des valeurs de référence de santé, il est alors possible de calculer le quotient de risque (QR) tel que détaillé dans la formule suivante :

$QR = \text{Dose journalière de zinc ingérée estimée} / \text{Valeur de référence de santé}$

Si le QR est plus petit que 1, on ne s'attend pas à des effets néfastes sur la santé ; si le QR est égal ou plus grand que 1, des effets néfastes sur la santé sont possibles. Des scénarios d'utilisation moyenne et d'utilisation intensive ont été considérés et ont permis d'évaluer les dangers pour la santé humaine.⁴

⁴ Swiss Centre for Applied Human Toxicology (SCAHT), « Évaluation du risque sanitaire lié à la consommation de fruits et légumes contaminés par le zinc dans les jardins privés sur le site de Reconviiler (BE) ».



2.4.3. Cadmium (Cd)

Les valeurs limites du cadmium utilisées pour évaluer les risques liés à la consommation de légumes sont issues de l'Annexe 2 de l'Ordonnance du DFI sur les teneurs maximales en contaminants (OCont) du 16 décembre 2016 (État du 1^{er} juillet 2020). Elle fixe des valeurs en regroupant les fruits et légumes par type, comme présenté dans le Tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 Valeurs limites des concentrations en cadmium (Cd) applicable aux différents types de légumes. Les teneurs sont données en mg/kg de masse totale

Valeurs limites	Type de légume	Cd [mg/kg]
Tomates	Fruits et légumes-fruits	0.05
Fraises		
Pommes		
Groseilles		
Pommes de terre	Légumes à tiges, légumes-racines et légumes-tubercules	0.1
Oignons		
Carottes		
Laitues	Légumes-feuilles	0.2
Épinards		

3. Résultats

Les conditions météorologiques particulièrement rudes des mois de juin et juillet 2021 (dont les effets sont visibles sur la Figure 4) ont contribué à des récoltes difficiles. D'autres photos des fruits et légumes récoltés sont visibles en Annexe 2.



Carottes semées très serrées

Tomates attaquées par le mildiou

Laitue hachée par la grêle

Figure 4 Photos prises lors de la récolte dans les potagers illustrant les aléas survenus.

Un minimum de 200g de fruit ou légume est nécessaire au laboratoire Qualiservice Sàrl pour obtenir des résultats fiables. Les récoltes ont été plus ou moins productives selon les espèces, et les poids nécessaires n'ont pas toujours été atteints si les espèces avaient été atteintes par le mildiou, la grêle, ou le froid. Le détail des aléas météorologiques se trouve en Annexe 2.

À l'issue des deux campagnes de récolte des 05.07.21 et 18.08.21, les espèces pour lesquelles des échantillons ont pu être prélevés et analysés sont résumées dans le Tableau 7 ci-dessous:

Tableau 7 Liste des parcelles avec les différentes espèces qui y ont été plantées et qui ont produit des quantités suffisantes pour être analysées. X : non planté / A : analysé / QI : quantité insuffisante.

Parcelle	Tomates	Carottes	Pommes de terre	Oignons	Laitues	Fraises	Épinards	Pommes	Groseilles
1	QI	X	X	X	Analysé	QI	X	X	X
2	Analysé	Analysé	Analysé	QI	Analysé	QI	X	Analysé	X
3	QI	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	QI	X	X	X
4	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	QI	X	X	X
5	QI	Analysé	Analysé	QI	Analysé	Analysé	X	X	X
6	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	QI	X	X	Analysé
7	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	Analysé	QI	QI	X	X
8	QI	QI	Analysé	Analysé	Analysé	QI	X	X	X
9	Analysé	Analysé	Analysé	QI	Analysé	QI	X	X	X
10	Analysé	QI	Analysé	QI	Analysé	QI	X	X	X
11	QI	QI	Analysé	QI	QI	QI	X	X	X
Total analysé	6	7	10	5	10	1	0	1	1

Sur les 41 échantillons récoltés, les teneurs en cuivre, en zinc et en cadmium ont été analysées et sont résumées dans le Tableau 8 ci-dessous. Il est à relever que les fruits et légumes ont été analysés sans être lavés.



Les teneurs maximales sont atteintes dans la laitue de la parcelle 10. Elles atteignent 33.00 mg/kg de cuivre, 72.00 mg/kg de zinc et 0.23 mg/kg de cadmium. Au contraire, les teneurs les plus faibles sont retrouvées dans les pommes de la parcelle 2. Elles sont inférieures aux limites de quantification du laboratoire pour le cuivre et le cadmium, et sont égales à 0.55 mg/kg pour le zinc.

Tableau 8 Résultats des teneurs en cuivre (Cu), en cadmium (Cd) et en zinc (Zn) mesurées dans les échantillons récoltés dans les potagers. Les résultats sont donnés en milligrammes de métal par kilogramme d'espèce fraîche récoltée.

Teneurs dans les fruits et légumes									
Espèce	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Parcelle	Espèce	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Parcelle
Laitues de Morges	2.30	7.80	0.03	1	Oignons	0.79	5.90	0.01	3
	1.80	11.00	0.02	2		1.40	3.80	<0.01	4
	1.10	3.60	0.01	3		2.30	13.00	0.03	6
	7.50	17.00	0.05	4		0.73	3.30	0.01	7
	1.50	14.00	0.03	5		0.58	6.30	0.01	8
	0.81	8.70	0.02	6	Pommes de terre	1.40	3.30	<0.01	2
	12.00	28.00	0.07	7		1.80	3.60	0.01	3
	12.00	42.00	0.08	8		2.00	3.30	<0.01	4
	4.00	21.00	0.09	9		1.30	3.10	<0.01	5
	33.00	72.00	0.23	10		2.20	6.40	0.03	6
Fraises	<0.50	5.30	<0.01	5		2.30	4.90	0.01	7
Groseilles	1.30	3.60	<0.01	6		3.20	9.50	0.03	8
Pommes	<0.50	0.55	<0.01	2		2.50	5.00	0.02	9
Carottes	1.80	17.00	0.02	2		3.70	7.50	0.02	10
	0.93	4.20	0.02	3		3.30	7.40	0.02	11
	2.50	5.60	0.02	4	Tomates	4.80	0.81	<0.01	4
	1.30	4.90	0.03	5		0.59	1.30	<0.01	6
	2.40	10.00	0.04	6		<0.50	0.70	<0.01	7
	2.50	7.80	0.03	7		0.74	2.00	<0.01	9
3.11	11.00	0.06	9	0.51		0.96	<0.01	10	
					<0.50	1.00	<0.01	2	

Un tableau comparatif des teneurs dans les sols et dans les plantes est donné en Annexe 1.

3.1. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus sont comparés ici aux valeurs limites présentées précédemment dans le chapitre 2.4 *Évaluation des risques*. Elles sont représentées par des lignes rouges pour le cadmium et orange pour le cuivre sur les graphiques de la Figure 5. Il n'existe pas de valeurs limites pour le zinc, raison pour laquelle aucune ligne n'est représentée.

En première approche, aucun des légumes cultivés dans les potagers de Reconvilier et Loveresse ne dépasse les valeurs limites pour le cuivre et le cadmium, à l'exception des laitues de la parcelle 10 pour le cadmium.

Les 11 potagers sélectionnés sont situés sur 3 types de sols différents. La parcelle 11 est représentative de la zone contenant une forte proportion de remblais et la parcelle 3 est représentative des sols contenant beaucoup de graviers. Sur la parcelle 11, seules les pommes de terre ont pu faire l'objet d'une analyse, les autres fruits et légumes n'ayant pas été récoltés en quantité suffisante. Les carottes, pommes de terre, oignons et laitues ont toutefois pu être analysés sur la parcelle 3. Toutes les teneurs mesurées sur ces deux parcelles sont inférieures aux valeurs limites. Il en est de même pour les teneurs mesurées sur les parcelles aux sols molassiques

homogènes. Le type de sol ne semble donc pas influencer les teneurs des fruits et légumes. De même, il ne paraît pas y avoir de corrélation entre les concentrations en cadmium, zinc et cuivre mesurées dans les sols et dans les fruits et légumes.

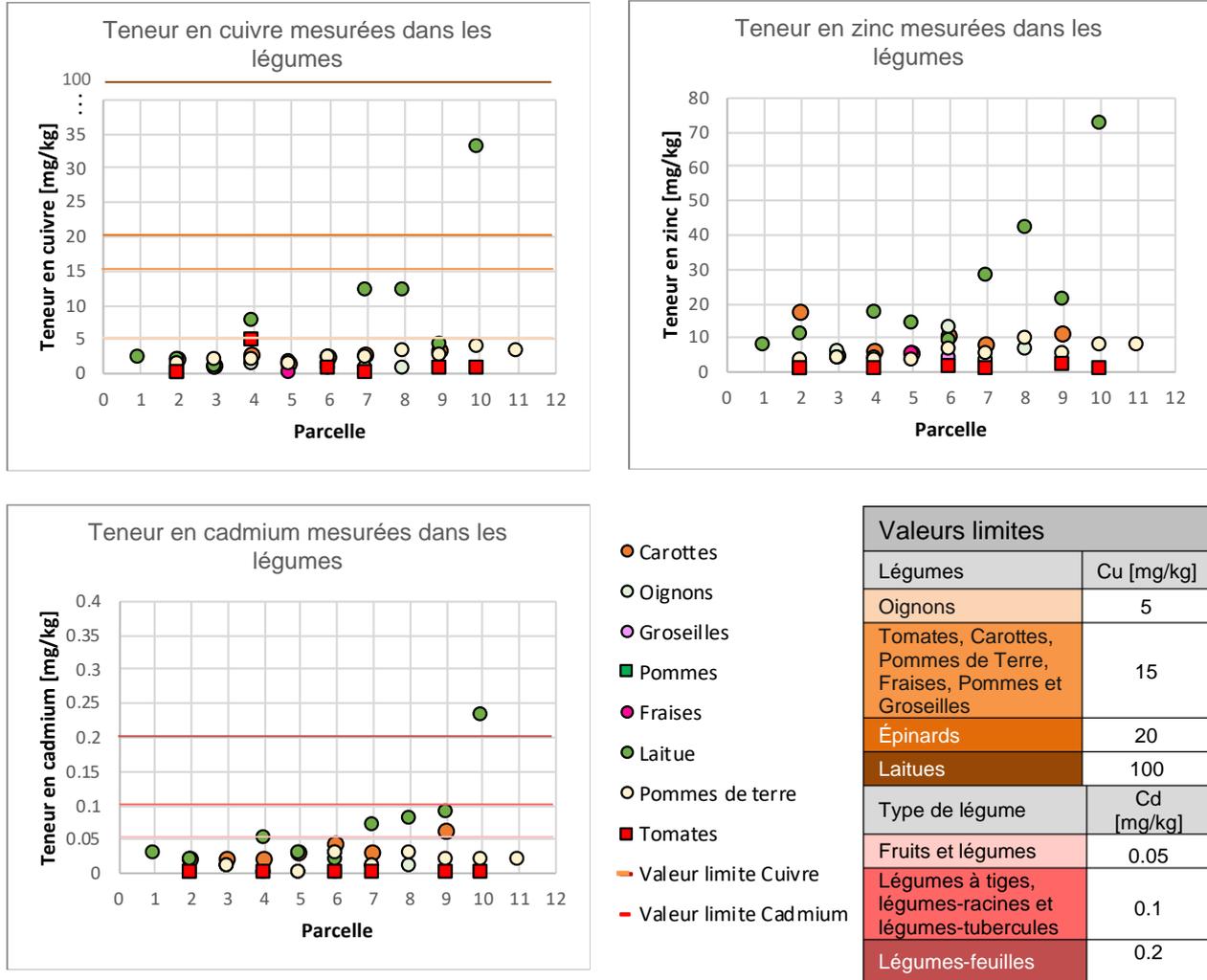


Figure 5 Comparaison par rapport aux valeurs limites des teneurs en cuivre, zinc et cadmium mesurées dans les fruits et légumes récoltés.

Les espèces analysées ont été sélectionnées selon leur capacité d'accumulation. Bien qu'il soit attendu que les tomates aient une forte tendance à l'accumulation de tous les métaux d'intérêt, ces dernières ont presque toujours les concentrations les plus faibles et sont systématiquement inférieures aux valeurs limites. Contrairement à elles, les laitues, les carottes, les oignons et les pommes de terre poussent directement dans la terre et n'ont pas été lavés avant d'être analysés. Ceci peut expliquer que presque tous aient des teneurs plus élevées.

Les résultats sont interprétés individuellement pour le cuivre, le zinc et le cadmium dans les paragraphes suivants.

3.1.1. Cuivre (Cu)

Sur les 11 parcelles sélectionnées, 10 d'entre elles ont des sols où des teneurs en cuivre supérieures au seuil d'investigation ont été mesurées. Elles sont visibles sur la Figure 6 où la ligne bleue représente le seuil d'investigation. Les teneurs en cuivre mesurées dans les fruits et légumes y sont également représentées et sont toutes inférieures à la valeur limite qui leur est associée.

La tomate est l'espèce plantée qui a la plus forte tendance à l'accumulation de cuivre en comparaison des autres fruits et légumes (cf. Tableau 2). Les teneurs mesurées dans cette espèce sont inférieures aux valeurs limites (ligne orange à 15 mg/kg représentée sur la Figure 6). Les teneurs mesurées dans les laitues, les carottes et les pommes de terre sont systématiquement plus élevées que celles des tomates mais se situent également en dessous de leurs valeurs limites respectives.

Une exception est à relever : la concentration de 4.80 mg/kg dans la tomate de la parcelle 4 est la deuxième plus élevée après celle de la laitue (7.50 mg/kg). Cette valeur s'explique par le fait que le propriétaire avait appliqué du cuivre peu de temps avant la récolte sur ses plants de tomates pour lutter contre le mildiou.

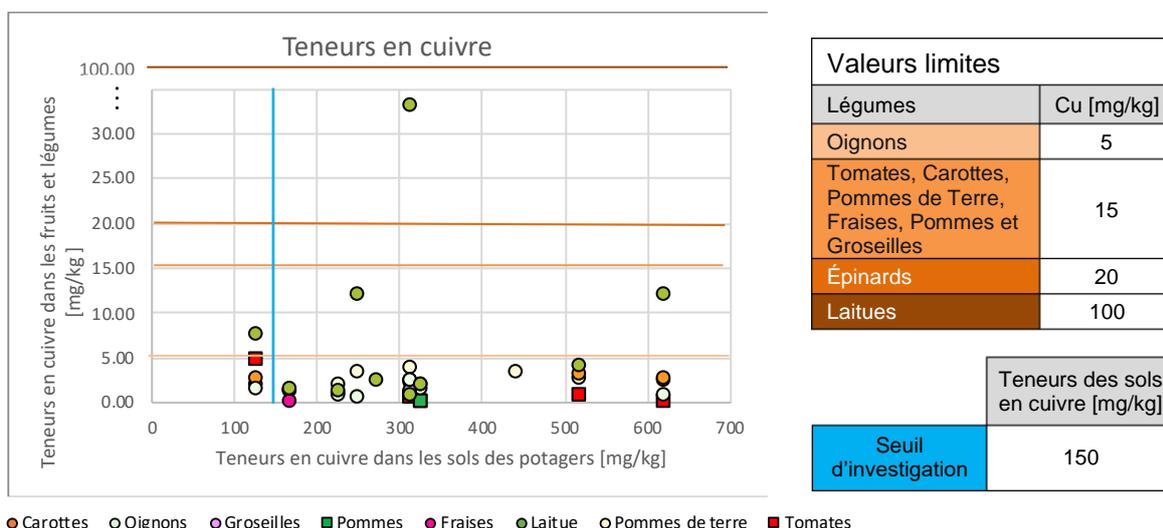


Figure 6 Teneurs en cuivre mesurées dans les sols des potagers retenus en fonction de celles mesurées dans les fruits et légumes récoltés. Le seuil d'investigation est représenté par la ligne bleue. Les valeurs limites en fonction des fruits et légumes sont quant à elles représentées par les lignes en dégradé orange.

Les teneurs mesurées dans les laitues sont globalement plus élevées et masquent les variations des teneurs à petite échelle pour les autres fruits et légumes. Les graphiques des résultats sans ces valeurs sont visibles en Annexe 3.

3.1.2. Zinc (Zn)

La totalité des 11 parcelles sélectionnées ont des sols où des teneurs en zinc supérieures au seuil d'investigation ont été mesurées. Elles sont illustrées sur la Figure 7 où la ligne bleue représente le seuil d'investigation. Les teneurs en zinc mesurées dans les fruits et légumes y sont également représentées.

En évaluation préliminaire, les teneurs des fruits et légumes peuvent être mises en parallèle avec les valeurs comparatives dérivées extrapolées obtenues au chapitre **Error! Reference source not found...** Elles sont visibles en dégradé de violet sur la Figure 7. Les teneurs mesurées dans les fruits et légumes sont toutes inférieures à ces valeurs comparatives dérivées.

Les laitues et les tomates sont les deux espèces plantées qui ont une très forte tendance à l'accumulation de zinc. Cette tendance dans les laitues s'est confirmée : 6 d'entre-elles présentent les concentrations les plus importantes en zinc en comparaison des teneurs trouvées dans les autres légumes sur les différentes parcelles. Elle n'est par contre pas évidente pour les tomates également accumulatrices pour le zinc ; leurs teneurs ne dépassent pas 2 mg/kg et sont les plus basses mesurées en comparaison des autres fruits et légumes récoltés.

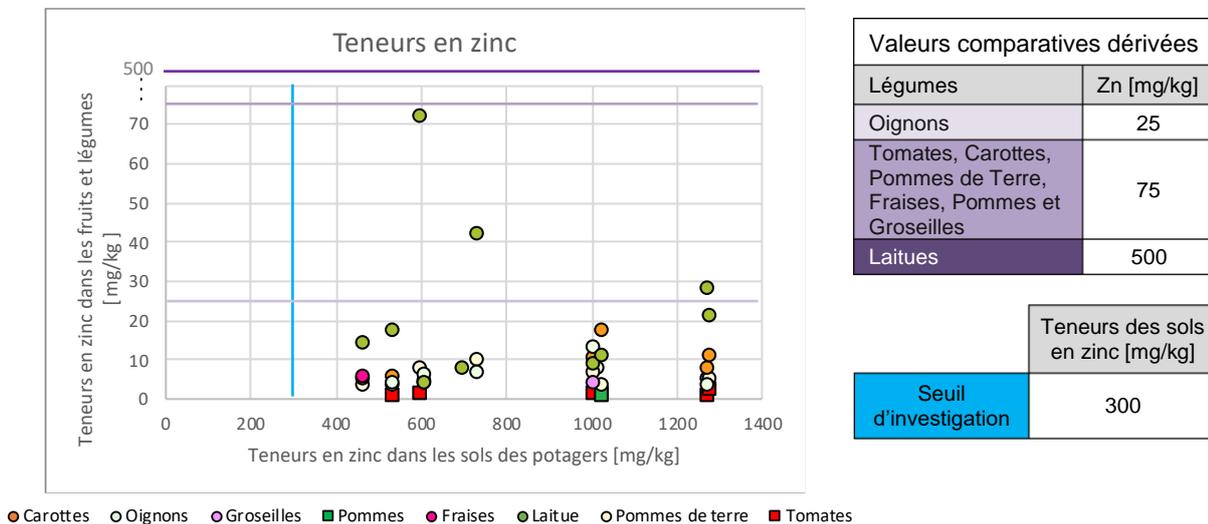


Figure 7 Teneurs en zinc mesurées dans les sols des potagers retenus en fonction de celles mesurées dans les fruits et légumes récoltés. Le seuil d'investigation est représenté par la ligne bleue.

L'étude réalisée par le SCAHT sur mandat de l'OED conclut « à l'absence de risque sanitaire pour les propriétaires de jardins des parcelles investiguées à Reconvilier »⁵. En effet, un potentiel danger pour la santé humaine n'est pas à prévoir même en considérant un scénario d'utilisation et de consommation intensive des fruits et légumes des jardins potagers aux plus fortes teneurs.

Ces résultats sont confirmés par les conclusions de 8 autres études sur l'évaluation de la contamination de fruits et légumes par le zinc dans des jardins privés. Toutes indiquent qu'il n'existe généralement pas de risque sanitaire pour les usagers de potagers contaminés par le zinc.

⁵ Swiss Centre for Applied Human Toxicology (SCAHT).

3.1.3. Cadmium (Cd)

Parmi les jardins potagers sélectionnés, un seul présentait un sol dont les teneurs dépassaient les seuils d'investigation tel qu'illustré par la Figure 8. Pour tous les autres, une investigation n'était pas nécessaire. Les teneurs en cadmium pour tous les légumes récoltés ont toutefois été quantifiées.

L'unique mesure supérieure aux valeurs limites et visible sur la Figure 8 a été trouvée dans la parcelle 10 sur une laitue. La plante était particulièrement petite et les feuilles souillées de terre n'ont pas été éliminées. Ce résultat doit donc être écarté. De plus, les sols de cette parcelle présentaient les teneurs en cadmium les plus faibles. Cela confirme que les résultats de cet échantillon ont été influencés par l'importante quantité de terre qu'il contenait.

Les carottes et les tomates sont des espèces qui ont une très forte tendance à l'accumulation de cadmium. Les laitues accumulent moyennement ce métal, en comparaison. En suivant ce raisonnement, des teneurs supérieures devraient être retrouvées dans les légumes à fort potentiel d'accumulation. Or les teneurs les plus élevées se retrouvent dans la laitue. Ce résultat est donc à relativiser.

En effet, les valeurs limites maximales s'appliquent une fois les fruits et légumes lavés et la partie comestible séparée. On peut donc s'attendre à ce que le dépassement de 0.03 de la valeur de 0.23 mg/kg soit en réalité inférieur à la valeur limite si l'échantillon avait été lavé avant son analyse.

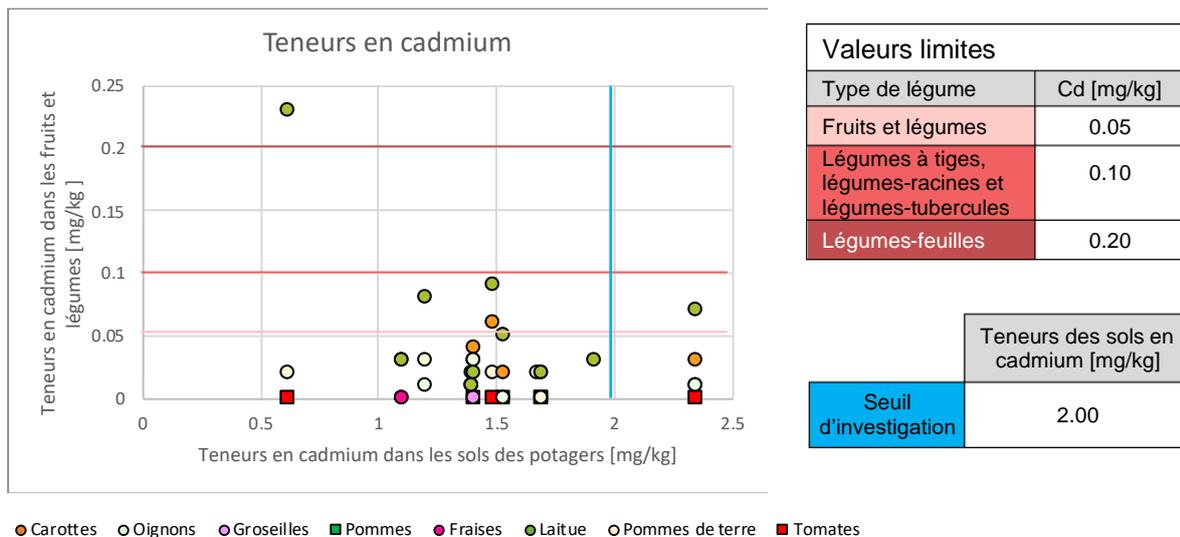


Figure 8 Teneurs en cadmium mesurées dans les sols des potagers retenus en fonction de celles mesurées dans les fruits et légumes récoltés. Le seuil d'investigation est représenté par la ligne bleue.

Tous les résultats des mesures sont inférieurs aux valeurs limites, excepté le résultat de l'unique laitue de la parcelle 10, qui peut être écarté.



4. Conclusions et recommandations

Sur les 11 jardins potagers sélectionnés, 41 échantillons de fruits et légumes ont été récoltés et envoyés au laboratoire Qualiservice Sàrl pour analyse de leurs teneurs en cuivre, zinc et cadmium (dans la partie consommée).

Aucun d'entre eux ne dépassait les valeurs limites fixées pour le cuivre. De plus, l'étude de risque sanitaire réalisée par le SCAHT a conclu à l'absence de risque sanitaire en cas de consommation de fruits et légumes relativement aux teneurs en zinc mesurées sur les échantillons. Finalement, tous les échantillons analysés présentent des concentrations en cadmium en dessous des valeurs limites, à l'exception d'une laitue, dont le dépassement de seuil est expliqué par une forte quantité de terre dans l'échantillon analysé.

Les propriétaires des jardins potagers peuvent donc consommer leurs fruits et légumes **sans aucune restriction**.

Les teneurs mesurées dans les fruits et légumes sont inférieures aux valeurs limites pour les différents types de sols. **L'absence de risque pour la santé** peut être étendue à **l'ensemble des 162 parcelles** pour lesquelles des concentrations en cuivre, en zinc et ou en cadmium ont montré des **dépassements des seuils d'investigation** mais inférieurs aux valeurs d'assainissement.

Les valeurs limites pour le cuivre, le zinc et le cadmium ne sont dépassées pour aucun des fruits et légumes des parcelles échantillonnées, à l'exception des laitues pour la parcelle 10. Cette étude montre également que les laitues présentent les plus fortes teneurs en cuivre, zinc et cadmium de tous les fruits et légumes échantillonnés. Afin d'éviter une consommation trop importante de ces métaux, l'OED formule les recommandations suivantes :

- **Bien laver et frotter** les fruits et légumes pour **éliminer** tous les **résidus de terre** qu'ils pourraient contenir,
- Finalement, un **épluchage soigné** des légumes racines et tubercules, tout comme une **élimination des extrémités flétries ou souillées** des légumes-feuilles évitent toute consommation inutile.

De manière générale, ce rapport ne tient pas compte des sources additionnelles de cuivre, zinc ou cadmium, tels que les compléments alimentaires ou autres apports non-alimentaires ; les conclusions portent uniquement sur un apport des trois métaux par la consommation des fruits et légumes des jardins potagers.



5. Références

Ouvrages

ADEME. « Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux », 2014.

Liénard, Amandine, et Gilles Colinet. « Teneurs limites en polluants dans le sol en vue d'une production végétale commercialisable », 2019.

MDGDR. « Pollution des sols à Reconvilier et Loveresse - Stratégie d'échantillonnage des plantes potagères », 2021.

Sauerbeck, D. R. « Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge ». *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991.

Swiss Centre for Applied Human Toxicology (SCAHT). « Évaluation du risque sanitaire lié à la consommation de fruits et légumes contaminés par le zinc dans les jardins privés sur le site de Reconvilier (BE) », novembre 2021.

Versluijs, CW, et PF Otte. « Accumulatie van metalen in planten, een bijdrage aan de evaluatie van de interventiewaarden en locatiespecifieke risicobeoordeling van verontreinigde bodem », 2001.

Bases légales

RS 814.12. Ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol) du 1^{er} juillet 1998 (État le 12 avril 2016)

RS 817.021.23 Ordonnance du DFI sur les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les produits d'origine végétale ou animale (OPOVA) du 16 décembre 2016 (État le 1^{er} août 2021)

RS 817.022.15 Ordonnance du DFI sur les teneurs maximales en contaminants (OCont) du 16 décembre 2016 (État le 1^{er} juillet 2020)



6. Annexes



Concentration des sols des parcelles retenues en cuivre, zinc et cadmium

Annexe 1 Tableau de résultats des teneurs en cuivre zinc et cadmium mesurées dans les sols des potagers et dans les légumes récoltés. La tendance à l'accumulation des différents fruits et légumes⁶ est indiqué pour rappel dans les trois dernières colonnes. Toutes les parcelles se situent sur le territoire de la commune de Reconvilier à l'exception de la parcelle 10 qui se trouve sur la commune de Loveresse.

Parcelle	Teneurs des sols			Teneurs dans les fruits et légumes			Accumulation			
	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Légume/Fruit	Cuivre [mg/kg]	Zinc [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Cu	Zn	Cd
1	273	701	1.92	Laitue de Morges	2.3	7.8	0.03	+	++	+
2	328	1024	1.7	Laitue de Morges	1.8	11	0.02	+	++	+
				Pommes	<0.50	0.55	<0.010	?	?	?
				Carottes	1.8	17	0.02	+	-	++
				Pommes de terre	1.4	3.3	<0.010	+	-	-
				Tomates	<0.50	1	<0.010	++	++	++
3	227	608	1.4	Laitue de Morges	1.1	3.6	0.01	+	++	+
				Carottes	0.93	4.2	0.02	+	-	++
				Oignons	0.79	5.9	0.01	?	?	?
				Pommes de terre	1.8	3.6	0.01	+	-	-
4	127	536	1.53	Laitue de Morges	7.5	17	0.05	+	++	+
				Carottes	2.5	5.6	0.02	+	-	++
				Oignons	1.4	3.8	<0.010	?	?	?
				Pommes de terre	2	3.3	<0.010	+	-	-
				Tomates	4.8	0.81	<0.010	++	++	++
5	168	467	1.1	Laitue de Morges	1.5	14	0.03	+	++	+
				Fraises	<0.50	5.3	<0.010	?	?	?
				Carottes	1.3	4.9	0.03	+	-	++
				Pommes de terre	1.3	3.1	<0.010	+	-	-
6	314	1008	1.41	Laitue de Morges	0.81	8.7	0.02	+	++	+
				Groseilles	1.3	3.6	<0.010	?	?	?
				Carottes	2.4	10	0.04	+	-	++
				Oignons	2.3	13	0.03	?	?	?
				Pommes de terre	2.2	6.4	0.03	+	-	-
				Tomates	0.59	1.3	<0.010	++	++	++
7	621	1275	2.35	Laitue de Morges	12	28	0.07	+	++	+
				Carottes	2.5	7.8	0.03	+	-	++
				Oignons	0.73	3.3	0.01	?	?	?
				Pommes de terre	2.3	4.9	0.01	+	-	-
				Tomates	<0.50	0.7	<0.010	++	++	++
8	251	735	1.2	Laitue de Morges	12	42	0.08	+	++	+
				Oignons	0.58	6.3	0.01	?	?	?
				Pommes de terre	3.2	9.5	0.03	+	-	-
9	518	1280	1.49	Laitue de Morges	4	21	0.09	+	++	+
				Carottes	3.11	11	0.06	+	-	++
				Pommes de terre	2.5	5	0.02	+	-	-
				Tomates	0.74	2	<0.010	++	++	++
10	315	601	0.62	Laitue de Morges	33	72	0.23	+	++	+
				Pommes de terre	3.7	7.5	0.02	+	-	-
				Tomates	0.51	0.96	<0.010	++	++	++
11	441	1018	1.68	Pommes de terre	3.3	7.4	0.02	+	-	-

⁶ Sauerbeck, « Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge ».

Aléas et photos de terrain

La météo particulièrement peu clémente, les nombreux orages et la grêle ont contribué à des quantités récoltées variables :

- Tous les plans de tomates sauf un ont été infecté par le mildiou. Malgré cela, 6 d'entre-elles ont pu être envoyées au laboratoire.
- Les carottes ont globalement fourni des quantités suffisantes pour être analysées. Lorsqu'elles avaient été semées serrées, leur taille était petite et les quantités nécessaires n'ont pas toujours été atteintes. C'est le cas de trois parcelles.
- Une quantité suffisante de pommes de terre a pu être récoltée sur toutes les parcelles qui en avaient reçu.
- Les oignons ont souffert de la pluie et des températures fraîches, la moitié d'entre-eux n'ont pas atteint une taille suffisante pour être analysés.
- Les laitues étaient globalement assez grandes pour être analysées. Seule la parcelle 11 présentait des laitues qui n'ont pu atteindre une taille suffisante par manque de soleil.
- Les épinards semés n'avaient pas les quantités suffisantes pour être analysés. Il en est de même pour les fraises pour lesquelles le poids récolté n'a été suffisant que sur une des parcelles.
- Les pommes et groseilles qui poussaient déjà sur les parcelles ont pu être suffisamment récoltées pour être analysées.

Ces réalités du terrain sont illustrées dans les photos ci-dessous.

Annexe 2 Photos de terrain prise lors de la récolte des fruits et légumes le 05.07.21 et le 18.08.21



Laitues hâchées par la grêle



Laitues productives



Laitue trop petite



Fraisiers



Fraisiers



Fraisiers entourés de paille



Carottes productives



Carottes trop serrées



Carottes trop serrées



Pommes de terre



Pommes de terre



Plantes de pommes de terre



Plantes de tomates productives



Tomates atteintes de mildiou



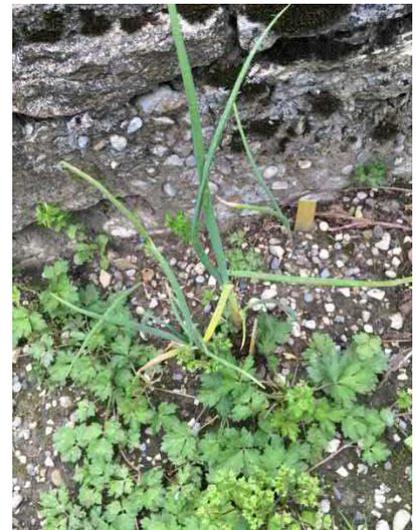
Tomates saines



Oignons productifs



Oignons en terre



Oignons trop petits



Teneurs des potagers et des fruits et légumes (excepté les laitues)

Annexe 3 Teneurs des sols des potagers et teneurs mesurées dans les fruits et légumes. Les valeurs mesurées dans les laitues ne sont pas représentées pour pouvoir observer si une tendance existe sur les données.

