

# Jardins pollués aux métaux lourds en ville de Fribourg

---

## Résumé

Etude sur mandat du Service de l'environnement du canton de Fribourg

14 janvier 2016



---

### **BMG ENGINEERING AG**

Consulting:  
Ifangstrasse 11 • CH-8952 Schlieren/Zürich  
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 730 66 22  
bmg@bmgeng.ch • www.bmgeng.ch

Labors:  
Ifangstrasse 11 • CH-8952 Schlieren/Zürich  
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 732 92 21  
labors@bmgeng.ch

## Table des matières

1	Situation initiale et objectifs .....	1
1.1	Situation initiale.....	1
1.2	Objectifs.....	1
2	Interprétation des résultats des analyses .....	2
2.1	Contamination des sols de jardins privés dans d'autres régions de Suisse.....	2
2.2	Analyses de sols en ville de Fribourg.....	4
2.3	Description géographique de la contamination.....	4
2.4	Types de contamination en ville de Fribourg.....	5
2.4.1	Corrélations entre les concentrations en polluants .....	6
2.4.2	Analyse en composantes principales .....	7
2.4.3	Lien entre pollution et propriétés du sol.....	8
2.4.4	Profils de profondeur .....	8
2.5	Lien entre pollution et ancienneté des jardins privés.....	8
3	Recherche sur site : étude des sources et enquêtes .....	9
3.1	Quartier d'Alt.....	9
3.2	Bourg.....	9
3.3	Neuveville .....	10
3.4	Quartier de l'Auge .....	12
3.5	Pérolles.....	13
4	Scénarios de contamination .....	14
4.1	Teneurs géogènes en métaux lourds.....	14
4.2	Dépôts atmosphériques.....	14
4.3	Usine d'incinération des ordures ménagères des Neigles.....	15
4.4	Incinération de déchets dans les chauffages ménagers et en plein air.....	15
4.5	Combustion de charbon.....	16
4.6	Trafic.....	16
4.7	Usine à gaz.....	16
4.8	Scories issues de l'usine d'incinération des ordures ménagères.....	17
4.9	Fumure : compost et autres engrais.....	17
4.10	Produits phytosanitaires.....	18
4.11	Stockage des déchets.....	18
4.12	Production de métal et fonderies.....	18
4.13	Traitement et transformation du bois.....	18
4.14	Tanneries.....	18
4.15	Céramique et glaçure.....	18
4.16	Émissions du site industriel de Pérolles .....	19

5	Tableau comparatif des scénarios de contamination avec les valeurs effectivement relevées .....	19
5.1	Pollution des prairies et des espaces verts publics .....	21
5.2	Pollution des jardins et des pelouses privées.....	21
6	Conclusions de l'étude .....	22
	Annexe 1 .....	24
	Annexe 2.....	27

## Tableaux

Tab. 1	Médianes pour la pollution aux métaux lourds en ville de Fribourg (2011–2014), dans la partie rurale du canton de Fribourg, dans les villes de Zurich et d'Olten ainsi que dans le canton d'Uri.....	3
Tab. 2	Pollution des sols dans les régions peu habitées de Suisse.....	4
Tab. 3	Teneurs en métaux lourds dans les roches mères de la ville de Fribourg .....	14
Tab. 4	Teneurs en métaux lourds de la houille et estimation de la pollution due à la combustion de charbon dans une ville.....	16
Tab. 5	Concentrations en métaux lourds dans le compost vers 1990 et les substances organiques au début des années 2000 et apport calculé.....	17
Tab. 6	Récapitulation des immissions estimées et des estimations pour les prairies et les espaces verts publics. Comparaison avec les valeurs effectives analysées.....	20
Tab. 7	Récapitulation des immissions estimées et des estimations pour les jardins et les pelouses. Comparaison avec les valeurs effectives analysées.....	20

## Figures

Figure 1	Corrélation entre les concentrations de matières solides de chrome et de nickel et de chrome et de plomb en ville de Fribourg (données 2011–2014).....	6
Figure 2	Corrélation entre les concentrations de métaux lourds.....	7
Figure 3	Filature et fabrique de draps, vers 1895.....	10
Figure 4	Quartier de la Planche et caserne, après 1910 .....	11
Figure 5	Usine à gaz, vers 1949 .....	11
Figure 6	Inondation en 1939 dans le quartier de l'Auge .....	12
Figure 7	Plateau de Pérolles : extrait d'un plan urbain de 1906.....	13

## Abréviations

OSites	Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués
OTD	Ordonnance sur le traitement des déchets
ORRChim	Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques
OSol	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols
Hg	Mercure
Pb	Plomb
Zn	Zinc
Cu	Cuivre
Cd	Cadmium
Cr	Chrome
Ni	Nickel
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
PCDD/F	Polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofuranes

# **1 Situation initiale et objectifs**

## **1.1 Situation initiale**

La pollution aux métaux lourds de jardins privés et familiaux dans les villes est un problème connu, qui a été constaté dans le cadre de diverses analyses en Suisse [26][27][29].

Depuis 1987, l'Institut agricole de Grangeneuve analyse régulièrement les sols agricoles de l'ensemble du canton de Fribourg. Le Service de l'environnement (SEn) procède quant à lui à des analyses de sols urbains depuis 2004 (jardins familiaux, places de jeux, etc., campagne *FRIBO urbain*).

En 2011, des prélèvements de sols ont été effectués dans des jardins potagers, des places de jeux et des prairies permanentes ou temporaires en ville de Fribourg. Les analyses ont montré que certains jardins dans la Vieille Ville présentaient des teneurs en métaux lourds problématiques.

Entre 2012 et 2014, de vastes échantillonnages ont donc été réalisés en ville de Fribourg. Les résultats ont confirmé les premières analyses : divers sols présentent une forte teneur en métaux lourds, notamment en mercure et en plomb. L'origine de cette pollution demeure inconnue, tout comme la question de savoir s'il existe d'autres zones contaminées.

## **1.2 Objectifs**

Afin d'identifier les sources et les voies de contamination potentielles ainsi que d'autres sols éventuellement pollués, le SEn a mandaté le bureau d'ingénieurs BMG Engineering SA, qui a clos son enquête en octobre 2015 [1]. Les résultats de cette étude constituent le fondement pour la suite de la démarche concernant la pollution des sols en ville de Fribourg.

Le SEn a chargé BMG Engineering SA d'élaborer le présent rapport de synthèse comprenant l'ensemble des résultats et conclusions de l'étude et garantissant la protection des données.

## 2 Interprétation des résultats des analyses

De 2011 à 2014, le SEn a étudié la pollution des sols de jardins potagers privés et collectifs, de pelouses privées, d'espaces verts publics et de quelques prairies situés en ville de Fribourg. Au total, 92 échantillons ont été prélevés sur 49 parcelles. Les métaux lourds, HAP, PCB et PCDD/F ont été analysés, tout comme la granulométrie et la teneur en humus des sols. Les prélèvements ont fait l'objet d'une documentation détaillée au moyen de comptes rendus et de photographies.

Ce chapitre résume, interprète et examine les résultats des analyses de sols en ville de Fribourg (prélèvements de 2011 à 2014). Les concentrations sont comparées aux valeurs limites légales et aux résultats d'autres études. En outre, la répartition des polluants est analysée à l'aide de méthodes graphiques et statistiques afin d'obtenir des indications sur les sources potentielles des pollutions aux métaux lourds.

### 2.1 Contamination des sols de jardins privés dans d'autres régions de Suisse

La pollution des sols aux métaux lourds est problématique dans toute la Suisse, notamment dans les jardins urbains anciens. Les villes de Zurich [29] et d'Olten [26] ainsi que le canton d'Uri [27] ont également analysé les sols de jardins familiaux. Les concentrations en métaux lourds constatées dans ces régions sont résumées dans le Tab. 1.

L'étude de Zurich [29] date de 1994. Les analyses ont porté sur les jardins de quatre secteurs urbains : Friesenberg, In der Au, Juchhof, Susenberg. D'après les auteurs, la pollution aux métaux lourds est imputable à un surdosage de compost, mais aussi à une mauvaise utilisation des fongicides cupriques, à l'utilisation de boues d'épuration et d'un compost de mauvaise qualité ainsi qu'à des scories et à des cendres de cheminée.

L'étude d'Olten [26] date de 1998. Les teneurs élevées en métaux lourds ont presque toutes été constatées dans des jardins antérieurs à 1950. Elles sont notamment dues à l'utilisation de cendres de bois comme engrais, de l'eau des toits comme eau d'arrosage, d'engrais chimiques et de compost.

L'étude du canton d'Uri [27] date de 2009. La contamination des jardins est expliquée comme suit : exploitation intensive, affectations multiples des jardins, lieu de séjour/de divertissement/d'incinération et apport de sol contaminé dans le cadre de l'aménagement des jardins et par des sources de polluants situées à proximité.

Tab. 1 Médiannes<sup>1</sup> pour la pollution aux métaux lourds en ville de Fribourg (2011–2014, uniquement échantillons superficiels 0 – 5 et 0 – 20 cm), dans la partie rurale du canton de Fribourg, dans les villes de Zurich et d'Olten ainsi que dans le canton d'Uri.

[mg/kg]	Âge	Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Ni	HAP	PCDD/F
Fribourg (2011-14)										
Jardins potagers		1.12	324	299	81	0.48	24	23	3.1	2.7
Pelouses privées		1.71	301	243	71	0.37	23	21	2.3	2.5
Espaces verts publics		0.10	22	42	14	0.18	16	18	0.3	<0.2
Prairies		0.10	35	63	21	0.20	27	26	0.3	1.8
FRIBO agricole, tous			16	45	15	0.20	22	21		
FRIBO urbain, places de jeux			22	48	18	0.20	18	24		
FRIBO urbain, espaces verts			24	54	18	0.10	16	18		
FRIBO urbain, prairies			19	38	12	0.05	22	21		
FRIBO urbain, jardins familiaux			40	86	33	0.30	24	20		
Zürich (1993) [29]										
Friesenberg	45	0.75	248	330	98	0.94				
In der Au	25	0.13	57	144	29	0.63				
Juchhof	46	0.64	161	284	91	0.87				
Susenberg	78	0.19	114	237	49	0.64				
Tous		0.34	118	221	58	0.72				
Uri (2009) [27]										
Jardins familiaux			35	113	28	0.41				
Jardins privés			94	232	71	0.85				
Olten (1998) [26]										
Carrés de légumes			166	319	55	0.79				
Espaces verts			153	285	46	0.73				
Valeurs indicatives OSol (v.i.)		0.5	50	150	40	0.8	50	50	1	5
Seuils d'investigation OSol (s.i.)		-	300	-	-	10	-	-	10	20
Valeurs d'assainissement (v.a.)		2 <sup>2</sup>	1000	2000	1000	20	-	1000	100	100

<sup>1</sup> La médiane partage l'ensemble des valeurs observées en deux moitiés de taille égale. Dans le cadre de concentrations classées par ordre de grandeur, la médiane est la valeur qui se trouve au centre. L'une des moitiés comprend les valeurs supérieures à la médiane, l'autre les valeurs inférieures à celle-ci. La médiane n'est pas influencée par les valeurs extrêmes, contrairement à la moyenne arithmétique.

<sup>2</sup> Valeur selon OSites. A défaut d'une valeur d'assainissement fixée dans l'ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol) pour le mercure et conformément à l'art. 5 al. 3 de l'OSol, l'OFEV recommande d'utiliser la même valeur d'assainissement pour les sols pollués selon l'OSol que celle fixée dans l'OSites

Fribourg (2011-14)									
	Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Ni	HAP	PCDD/F
Nombre de dépassements de la v.i./Nombre analyses	42/68	71/91	59/91	67/91	16/91	0/91	0/91	44/69	12/66
Dépassements de la v.i. en %	62%	78%	65%	74%	18%	0%	0%	64%	18%

## 2.2 Analyses de sols en ville de Fribourg

A l'aide de comptes rendus d'échantillonnage, de documentations photographiques et d'images aériennes, les sites des analyses effectuées entre 2011 et 2014 en ville de Fribourg ont été classés selon leur affectation :

- espaces verts publics (notamment les parcs et places de sport ainsi que les pelouses de la piscine en plein air) ;
- prairies (exploitation agricole) ;
- jardins potagers (culture de légumes, baies, fleurs, etc.) ;
- pelouses privées (pelouses fermées sur des parcelles privées).

Les médianes pour les concentrations en métaux lourds dans les espaces verts publics et les prairies en ville de Fribourg sont similaires aux valeurs observées dans les zones rurales du canton de Fribourg et dans les régions peu habitées de Suisse (cf. Tab. 2). Elles se situent clairement en dessous des valeurs indicatives.

Tab. 2 Pollution des sols dans les régions peu habitées de Suisse

[mg/kg]	[5]	[15]	Forêt [14] dans [15]
Hg	< 0,1	-	< 0,1
Pb	20-40	20 - 80	21
Zn	60-80	20-90	48
Cu	20-30	10-20	12
Cd	0,2-0,3	0,1-0,8	0,21

Les teneurs élevées en métaux lourds en ville de Fribourg se retrouvent surtout dans les jardins potagers et les pelouses privées.

Par rapport aux jardins potagers d'autres villes, ceux de Fribourg présentent des teneurs particulièrement élevées en mercure et, dans une moindre mesure, en plomb (cf. Tab. 1). Les teneurs en zinc et en cuivre sont « normales », la pollution au cadmium est moins importante.

## 2.3 Description géographique de la contamination

C'est surtout dans les quartiers très anciens que la pollution aux métaux lourds est importante. Il existe par ailleurs quelques cas isolés de concentrations particulièrement élevées.

La valeur d'assainissement pour le mercure dans les jardins privés et familiaux, fixée depuis le 1<sup>er</sup> mars 2015 à 2 mg/kg dans l'ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites)<sup>3</sup>, est dépassée sur 10 parcelles (quartiers du Bourg, de la Neuveville et des Places). Les concentrations en plomb et en zinc sont élevées dans tous les quartiers. La valeur d'assainissement pour le plomb dans les jardins privés et familiaux, fixée à 1000 mg/kg dans l'ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol), est dépassée sur 3 parcelles (quartiers du Bourg et de l'Auge). Un jardin a été assaini.

En ville de Fribourg, quatre secteurs présentent des concentrations en métaux lourds qui se différencient des autres parcelles analysées (abrégés secteurs particuliers dans la suite du rapport) :

- quartier de la Neuveville : 3 parcelles avec des teneurs en mercure comprises entre 4 et 19 mg/kg (soit 2 à 10 fois la valeur d'assainissement pour les jardins privés et familiaux au sens de l'OSites<sup>3</sup>) ;
- quartier du Bourg : 1 parcelle avec des teneurs en plomb allant jusqu'au double de la valeur d'assainissement pour les jardins privés et familiaux, fixée à 1000 mg/kg dans l'OSol ;
- quartier de l'Auge : 1 parcelle avec des teneurs en plomb dépassant la valeur d'assainissement pour les jardins privés et familiaux au sens de l'OSol ;
- quartier d'Alt : 3 parcelles avec des teneurs en zinc nettement accrues (> 50% de la valeur d'assainissement pour les jardins privés et familiaux au sens de l'OSol).

Les valeurs limites pour le mercure et le plomb ont été déterminées en fonction du risque qu'ils représentent pour la santé humaine. Par contre, un dépassement de la valeur limite pour le zinc est bien plus problématique pour certaines plantes que pour les humains.

## 2.4 Types de contamination en ville de Fribourg

Avec la même source de pollution, les sols peuvent présenter divers degrés de contamination, à cause de la dilution (p. ex. transport de polluants) ou de l'accumulation (p. ex. compostage) de polluants. Comme les métaux lourds sont indécomposables et peu mobiles, la proportion des concentrations en polluants reste cependant la même. Il y a donc une corrélation entre les concentrations des différents métaux lourds s'ils proviennent des mêmes sources.

La répartition des polluants est aussi influencée par le comportement des métaux lourds. Par exemple, le fait que le mercure est présent dans l'atmosphère surtout sous forme gazeuse, alors que les autres métaux lourds existent sous forme de particules, pourrait mener à une voie de contamination différente et, par conséquent, à une autre répartition des polluants.

---

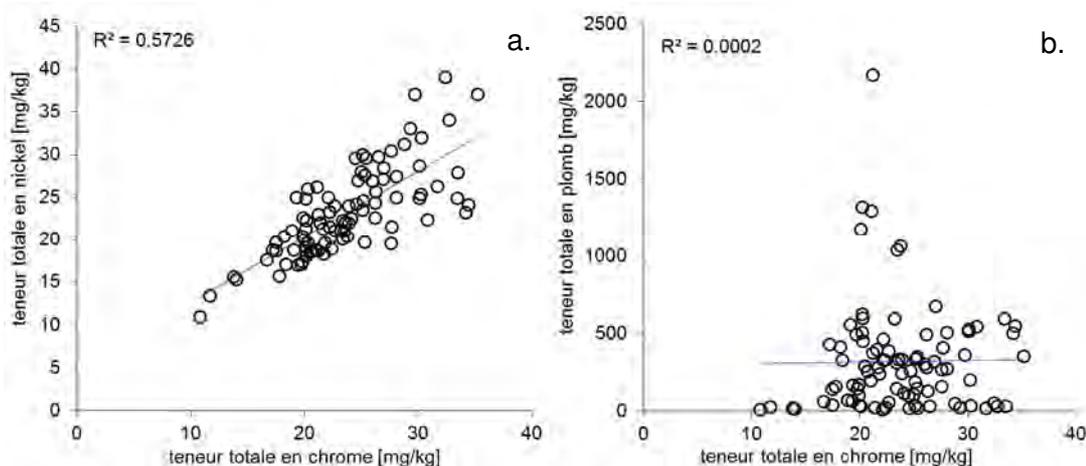
<sup>3</sup> A défaut d'une valeur d'assainissement fixée dans l'ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol) pour le mercure et conformément à l'art. 5 al. 3 de l'OSol, l'OFEV recommande d'utiliser la même valeur d'assainissement pour les sols pollués selon l'OSol que celle fixée dans l'OSites.

Enfin, la période de contamination peut elle aussi jouer un rôle. Par exemple, si la composition en métaux lourds change au cours du temps dans une source spécifique (p. ex. compost), la contamination sera différente sur les sols anciens que sur les sols jeunes (les éléments utilisés comme engrais ne sont pas les mêmes au début du XX<sup>e</sup> siècle qu'actuellement).

#### 2.4.1 Corrélations entre les concentrations en polluants

Pour identifier la répartition des polluants, les concentrations des divers métaux lourds d'un même échantillon sont comparées dans un graphique. Si la proportion des concentrations en polluants reste la même pour tous les échantillons, les points se situent sur une ligne droite.

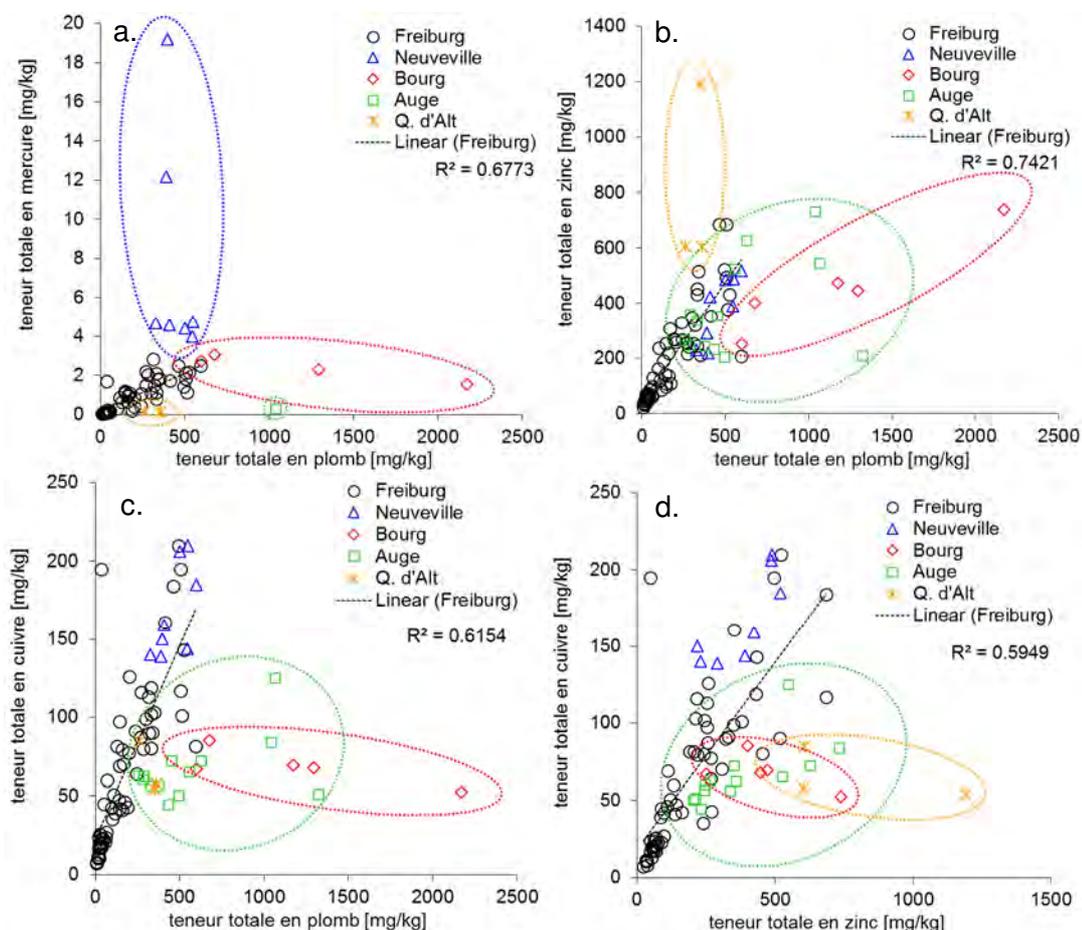
Figure 1 Corrélation entre les concentrations de matières solides de chrome et de nickel (à gauche) et de chrome et de plomb (à droite) en ville de Fribourg (données 2011–2014).



L'importante corrélation entre les concentrations en chrome et en nickel signifie que la pollution a des origines communes (cf. Figure 1a).

Il n'y a pas de corrélation entre les concentrations en chrome et en nickel avec les autres métaux lourds, notamment le plomb (cf. Figure 1b), ce qui signifie que les sources avec émissions de chrome (p. ex. tanneries, traitement de la laine) ou émissions de nickel ne sont pas à l'origine de la teneur accrue des autres métaux lourds.

Figure 2 Corrélation entre les concentrations de matières solides de plomb et de mercure (a), de plomb et de zinc (b), de plomb et de cuivre (c) et de zinc et de cuivre (d) en ville de Fribourg (données 2011–2014). Les secteurs particuliers sont représentés séparément : triangle bleu = Neuveville, losange rouge = Bourg, carré vert = Auge, croix jaune = Alt.



Dans la Figure 2, les concentrations des principaux métaux lourds présents dans les sols de toute la ville sont comparées.

La Figure 2a montre les teneurs en mercure et en plomb. A l'exception des secteurs particuliers (*Neuveville*, *Bourg*, *Auge*, *Alt*), les valeurs pour le mercure et le plomb sont en nette corrélation.

En regard de ces corrélations, on peut avancer qu'il existe en ville de Fribourg une « pollution générale aux métaux lourds » issue des mêmes sources et ayant les mêmes voies de contamination.

Dans les secteurs particuliers, il y a un apport supplémentaire de certains métaux lourds.

## 2.4.2 Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique qui vise à expliquer un ensemble de paramètres (dans le cas présent, les teneurs en métaux lourds) par le plus petit nombre possible de variables, appelées composantes principales. Dans le cas présent, les composantes principales sont une combinaison de teneurs en métaux lourds. Ces variables ne sont pas (nécessairement) des sources

isolées, mais peuvent être composées d'un mélange de sources. La pollution atmosphérique, par exemple, est constituée d'un mélange de sources.

Les résultats de l'analyse en composantes principales aboutissent à la même conclusion que la méthode de corrélation entre les polluants, à savoir :

- La pollution aux métaux lourds (sauf secteurs particuliers) est probablement due en majeure partie à la même source/aux mêmes sources, du moins en ce qui concerne les jardins potagers et les pelouses privées.
- La pollution aux métaux lourds des secteurs particuliers est imputable à d'autres sources que celles ayant entraîné la pollution des autres jardins potagers et pelouses privées.

### **2.4.3 Lien entre pollution et propriétés du sol**

La relation entre les teneurs en polluants et les caractéristiques des sols (teneur en humus, argile, sable) a été analysée.

Les propriétés du sol ne fournissent aucune indication sur les sources potentielles de polluants.

### **2.4.4 Profils de profondeur**

Dans le cadre des analyses de sols, des prélèvements ont été effectués à diverses profondeurs sur trois sites. Dans certains cas, la profondeur à laquelle sont situées les concentrations de polluants (« profils de profondeur ») permet d'identifier la voie de contamination et les sources potentielles : les apports de polluants par dépôt de poussières ou par l'eau météorique se caractérisent par une forte accumulation de substances toxiques dans la couche supérieure du sol. Toutefois, en raison des mélanges opérés dans le sol [30] (p. ex. labour ou vers de terre), plus le temps passe, moins les profils de profondeur sont marqués.

Ceux des sols de Fribourg sont peu prononcés. Cela est probablement dû à l'ancienneté de la pollution.

## **2.5 Lien entre pollution et ancienneté des jardins privés**

Les jardins du quartier d'Alt, aménagés au début du XX<sup>e</sup> siècle, présentent une pollution au mercure nettement plus faible que les jardins des quartiers historiques du Bourg et de la Neuveville. Dans le quartier d'Alt, la teneur moyenne en mercure s'élève à  $0,15 \pm 0,06$  mg/kg. Dans les quartiers du Bourg et de la Neuveville (sauf secteurs particuliers), elle atteint respectivement  $1,63 \pm 0,84$  et  $1,67 \pm 0,60$  mg/kg. Aucune conclusion ne peut être tirée pour les autres métaux lourds, car la plupart des échantillons ont été prélevés dans le secteur du quartier d'Alt où les valeurs en zinc sont particulièrement élevées (les valeurs de plomb y sont aussi élevées).

Les études menées dans les villes de Zurich [29], d'Olten [26] et dans le canton d'Uri [27] ont aussi conclu à un accroissement de la pollution aux métaux lourds en fonction de l'ancienneté, un phénomène décrit dans la littérature, comme l'indique le chapitre suivant.

L'importance de l'ancienneté est aussi démontrée par une méthode empirique [28] permettant de pronostiquer la probabilité d'un dépassement de la valeur indicative

pour le plomb (50 mg/kg) et les HAP à l'aide de quelques caractéristiques. Les observations montrent que les apports de polluants directs et très anciens (p. ex. première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, voire avant) ont une influence plus grande que la pollution diffuse atmosphérique ou issue de sites contaminés se trouvant à proximité.

La corrélation existante entre la pollution au plomb et la présence d'autres métaux lourds dans les sols de Fribourg (à l'exception des secteurs particuliers) indique que l'ancienneté est un paramètre important non seulement pour le plomb, mais aussi pour les autres métaux lourds.

Il est donc possible de tirer les conclusions suivantes :

- Plus un jardin est ancien, plus le risque est élevé qu'il présente une pollution aux métaux lourds.
- Les apports importants en mercure remontent peut-être à des utilisations très anciennes (XIX<sup>e</sup> siècle), tandis que les apports significatifs en plomb et en zinc ont eu lieu jusqu'à la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.
- Ces constats indiquent que l'exploitation elle-même des jardins a amené de grandes quantités de métaux lourds, qui se sont accumulés dans les sols.

### **3 Recherche sur site : étude des sources et enquêtes**

Les teneurs élevées en métaux lourds sont des conséquences directes (à l'emplacement de la source) et indirectes (p. ex. apport de substances toxiques par les poussières ou les précipitations) de l'activité humaine.

L'étude de l'exploitation des parcelles au fil du temps et de l'évolution de la ville permet d'identifier les sources de contamination potentielles. À cet effet, des photographies historiques, des images aériennes et des ouvrages ont été consultés, de même que des spécialistes, des habitants et des propriétaires. L'histoire de l'exploitation des parcelles se révèle généralement approximative, car il n'est pas possible de reconstituer les influences prépondérantes, souvent très anciennes.

Les résultats pour chaque quartier sont les suivants :

#### **3.1 Quartier d'Alt**

Le quartier d'Alt est né au tournant du XX<sup>e</sup> siècle. Il est donc plus jeune que les quartiers du Bourg et de la Neuveville.

Le quartier d'Alt recensait entre autres une entreprise de transformation du bois. Des métaux lourds étaient utilisés pour l'imprégnation du bois et dans les peintures. Cela pourrait expliquer la forte pollution au zinc constatée dans le secteur particulier du quartier d'Alt.

#### **3.2 Bourg**

La plupart des jardins du Bourg sont très anciens.

Il n'existe aucune trace d'activités artisanales ou industrielles avec émission de métaux lourds.

Les teneurs élevées en plomb du secteur particulier du Bourg peuvent s'expliquer par l'incinération de déchets de bois.

### 3.3 Neuveville

Depuis le Moyen-Âge, la Neuveville est le quartier des artisans. Il comptait une filature, des fabriques de draps (cf. Figure 3) et une teinturerie de laine. Au XV<sup>e</sup> siècle, la fabrication de draps à Fribourg a atteint son apogée, avant de subir un déclin progressif.

Au tournant du siècle (1900), une fabrique de chaussures se trouvait près de la Sarine, et une fabrique de cartons dans le secteur ouest de la Neuveville. Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, il y avait une blanchisserie publique.

Plusieurs tanneries étaient établies dans le quartier jusqu'à la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle [21]. Lors de la construction d'un garage souterrain, des copeaux de bois ont été trouvés. Ces derniers étaient destinés à la tannerie [22].

Il existait aussi des activités de traitement de la ferraille et des déchets [21], lors desquelles certaines substances ont probablement été incinérées.

Il est par ailleurs possible qu'une fabrique d'engrais ait existé dans le quartier.



Figure 3 Filature et fabrique de draps, vers 1895 (Bibliothèque de l'EPFZ, archives [24])



Figure 4 Quartier de la Planche et caserne, après 1910 (source [23])

En 1708/1709, le grenier à blé de la Planche a été construit au sud de la Sarine. Dès 1821/1822, il a été transformé en caserne (Figure 4). Cependant, rien n'indique que la zone autour de la caserne de la Planche ait servi de place d'armes qui aurait pu avoir pour conséquence une pollution de l'environnement.

De 1861 à 1980, une usine à gaz était présente (usine à gaz, cf. Figure 5). Mise en service en 1861, elle produisait quotidiennement quelque 1000 m<sup>3</sup> de gaz. Jusqu'en 1908, la production est passée progressivement à quelque 6000 m<sup>3</sup>. Dès 1969, cette usine a servi au craquage catalytique d'essence minérale (Fluid Catalytic Cracking). En 1980, la production a été interrompue, et le gazomètre démonté. Les processus de raffinage et la production de chaleur par combustion de charbon, telle que pratiquée dans l'usine à gaz, peuvent libérer des métaux lourds dans l'air.

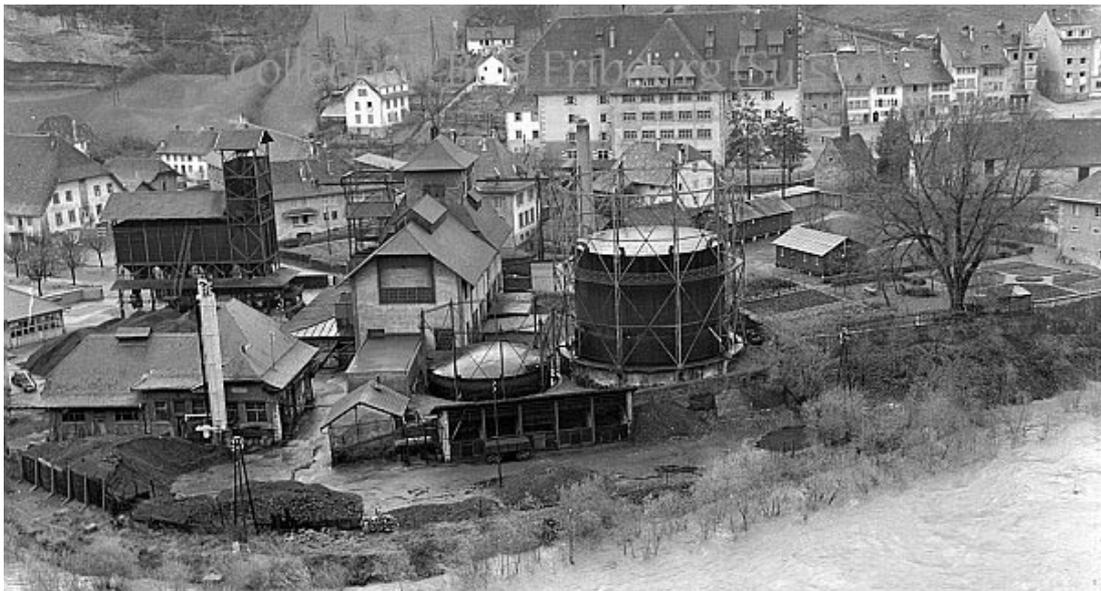


Figure 5 Usine à gaz, vers 1949 (source [23]).

La centrale hydroélectrique de l'Oelberg-Maigrauge a été construite en 1870 [36]. Des génératrices diesel étaient utilisées pour améliorer les performances en cas de faible débit ou de besoins accrus ponctuels [37]. La combustion d'environ 32'500 t de diesel au total ne peut être tenue pour principale responsable de la pollution au mercure en ville de Fribourg.

Le quartier de la Neuveville a donc abrité des activités susceptibles de libérer localement des métaux lourds. Il est toutefois peu probable que ces activités industrielles aient entraîné une pollution aussi vaste (jusque dans le quartier du Bourg), notamment au mercure et au plomb.

A ce jour, il n'existe aucune explication claire pour les teneurs élevées en mercure observées dans le secteur particulier de la Neuveville. Les jardins présentant ces teneurs n'ont jamais été entourés directement par des activités artisanales, mais ils sont probablement très anciens ; ils apparaissent déjà sur des photographies du XIX<sup>e</sup> siècle.

### 3.4 Quartier de l'Auge

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle déjà, on y trouvait une teinturerie. Pour fabriquer les couleurs, il était autrefois courant d'utiliser des teintures à base de plomb (p. ex. oxydes de plomb ou acétate de plomb).

Le secteur a souvent été victime d'inondations au XIX<sup>e</sup> siècle (cf. Figure 6). À la fin du même siècle, les berges de la Sarine ont été consolidées et partiellement remblayées, comme le montrent les cartes historiques [25].

Il est possible que la pollution au plomb du secteur particulier de l'Auge soit due à l'incinération de vieux bois et à la mise en dépôt de scories ou à l'utilisation de matériel contaminé (peut-être issus de la teinturerie) pour le remblayage.



Figure 6 Inondation en 1939 dans le quartier de l'Auge (source [23]).

### 3.5 Péroilles

Les premières industries ont été érigées au bord des méandres de la Sarine [8]. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, après la construction de la gare des Pilettes, les industries se sont déplacées vers la ville haute [7]. Les derniers terrains libres ont été bâtis dans les années 1930.

Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le site de Péroilles a compté des activités industrielles qui ont pu produire de fortes émissions de métaux lourds : fabrique d'engrais, fabrique de wagons, fonderies, production d'emballages métalliques, éventuellement papeterie et fabrique de machines. Toutefois, il n'est pas possible d'identifier une seule source.

Ces émissions peuvent aussi résulter de l'utilisation de charbon pour le chauffage et, ainsi, être issues de secteurs d'activité n'étant pas directement liés aux émissions de métaux lourds.

Elles peuvent avoir eu lieu par voie aérienne ou, en partie, par le déversement d'eau usée dans la Sarine. En ce qui concerne la pollution des jardins, la contamination par l'air est plus plausible (vent en direction du sud-ouest).

Jusqu'en 1952, des ordures ménagères étaient déversées dans le ravin de Péroilles. Il est peu probable que cette décharge soit à l'origine de la pollution aux métaux lourds constatée en ville de Fribourg.

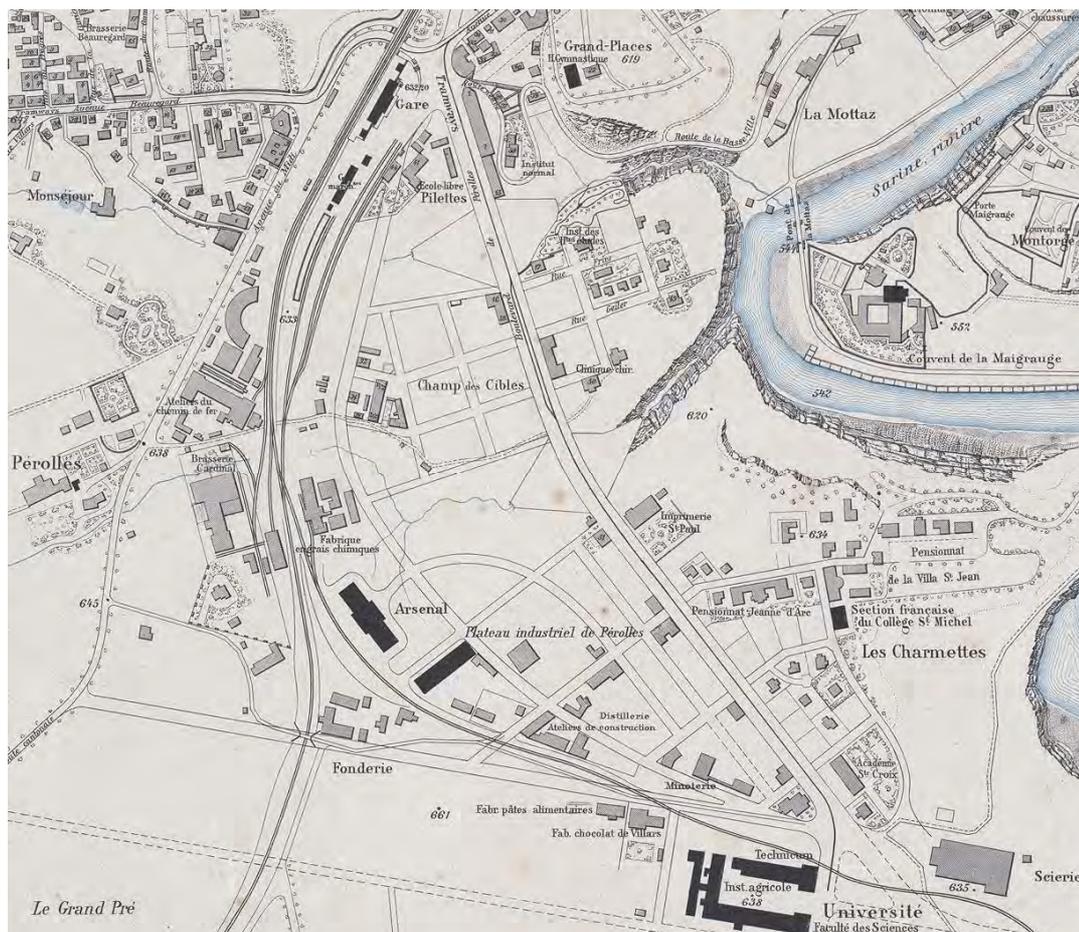


Figure 7 Plateau de Péroilles : extrait d'un plan urbain de 1906.

## 4 Scénarios de contamination

Ce chapitre détermine les sources potentielles de polluants en évaluant les apports de métaux lourds dans les sols. La comparaison entre la contamination des sols estimée et les valeurs effectivement relevées pour les métaux lourds permet d'identifier les sources potentielles de polluants.

Pour évaluer les concentrations de matières solides sur la base des apports de polluants, il faut tenir compte des hypothèses suivantes :

- La répartition des métaux lourds est homogène dans la couche supérieure de 40 cm.
- La densité du sol est de 1800 kg/m<sup>3</sup>.
- La durée de l'exposition est sélectionnée de façon judicieuse en fonction de la source.

Dans la mesure du possible, les teneurs en polluants sont définies par des données quantitatives. Si tel n'est pas le cas, les polluants sont évalués selon la probabilité de leur présence, conformément à la littérature disponible.

### 4.1 Teneurs géogènes en métaux lourds

Les métaux lourds sont présents naturellement dans la roche mère ; on parle de teneur géogène en métaux lourds. La ville de Fribourg est bâtie essentiellement sur un plateau de grès, composé en partie de marne [11].

Les métaux lourds dans les sols des espaces verts publics et des prairies (cf. Tab. 1) présentent donc une contamination de fond naturelle d'origine géogène (cf. Tab. 3). En ce qui concerne les jardins et les pelouses privées fortement pollués, la contamination d'origine géogène peut tout au plus concerner le cadmium.

Tab. 3 Teneurs en métaux lourds dans les roches mères de la ville de Fribourg [6].

mg/kg	Marne Teneurs fréquentes (80%)	Grès Teneurs fréquentes (80%)
Mercure	< 0,1 – 0,2	< 0,1
Plomb	7 - 41	7 - 38
Zinc	45 - 150	22 - 93
Cuivre	10 – 32	8 - 56
Cadmium	0,12 - 0,3	0,04 - 0,34

### 4.2 Dépôts atmosphériques

Les rejets de métaux lourds dans l'atmosphère se sont accrus avec l'industrialisation. Le mercure, le plomb et le zinc ont atteint des pics d'émission dans les années 1970 et 1980 [3][4].

Il est possible d'évaluer les concentrations en métaux lourds d'origine atmosphérique en analysant les taux de dépôt [2] dans les régions peu habitées. Les estimations montrent que les dépôts atmosphériques entre 1900 et 2014 étaient trop faibles pour avoir pu contribuer à une forte pollution (cf. Tab. 6).

### 4.3 Usine d'incinération des ordures ménagères des Neigles

L'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) des Neigles se situe dans le nord de la ville. Elle a cessé ses activités au début des années 1980, après une quinzaine d'années d'exploitation.

Les usines d'incinération des ordures ménagères entraînent une contamination principalement par dépôts atmosphériques. L'UIOM des Neigles n'était pas équipée d'un dispositif moderne d'épuration des fumées. À Fribourg, les vents dominants sont orientés SO-SSO [31], avec une deuxième forte composante NE.

Des valeurs ont été mesurées pour les dépôts de plomb et de zinc par les poussières [32]. Les valeurs mesurées avant la fermeture de l'UIOM permettent de calculer la hausse des concentrations en polluants dans le sol pendant les 15 ans d'exploitation (cf. Tab. 6).

La pollution des sols au mercure a été évaluée à l'aide d'un scénario fondé sur la moyenne des émissions de mercure, par tonne de déchets incinérés<sup>4</sup>. Il en résulte une hausse moyenne de 0,1 mg/kg (cf. Tab. 6) des teneurs en mercure.

Il faudrait par ailleurs compter avec une hausse des concentrations en métaux lourds dans les environs de l'usine d'incinération des ordures ménagères. Cette hausse n'a pas pu être constatée.

Selon ce scénario, l'UIOM des Neigles ne peut avoir contribué que dans une faible mesure à la pollution au mercure constatée dans les sols de la ville de Fribourg (cf. Tab. 6).

### 4.4 Incinération de déchets dans les chauffages ménagers et en plein air

Il faut partir du principe que des déchets ont été incinérés dans les chauffages ménagers et en plein air. Telle était la pratique jusqu'à la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle [26][27].

Le vieux bois issu de démolitions et les déchets de bois provenant de menuiseries (aménagement intérieur) sont souvent imprégnés (HAP, mercure) ou peints (plomb) et sont partiellement chargés de zinc [13]. Lors de l'incinération, ces métaux lourds sont libérés ; en outre, des PCDD/F peuvent se former, notamment lorsque le vieux bois contient des matières chlorées (p. ex. PVC).

Il n'existe pas de données d'analyses, raison pour laquelle la pollution est évaluée au moyen d'un scénario : si l'on considère une pollution au plomb ou au zinc de 10 g/kg de cendres et un épandage de 2 kg de cendres issues de l'incinération de

---

<sup>4</sup> Il s'agit de diviser les émissions de mercure dues à l'incinération des ordures ménagères en Suisse (5,5 tonnes en 1988) par le volume de déchets incinérés (deux millions de tonnes de déchets en 1979, dont 70% ont été incinérés), puis de multiplier le résultat par le volume des déchets incinérés aux Neigles en 15 ans (28'000 tonnes en 1974). Résultat : en 15 ans d'exploitation, quelque 800 kg de mercure ont été rejetés. Si l'on répartit cette quantité de mercure sur une surface correspondant à 1/8 de cercle avec un rayon de 2 km dans la direction principale des vents et si l'on suppose que le vent souffle dans cette direction les 50% du temps et que 30% des émissions retombent dans ce rayon, cela donne une pollution au mercure de 0,1 mg/kg.

vieux bois par an (cela représente environ 200 kg de bois) pendant 100 ans, cela donne une hausse de 30 mg/kg pour le plomb et le zinc (cf. Tab. 6) pour une surface de jardin de 100 m<sup>2</sup> et une profondeur d'incorporation de 40 cm.

Aucune estimation n'est possible pour le mercure.

Selon ce scénario, la dispersion des résidus d'incinération peut donc avoir contribué de façon importante à la pollution des sols au plomb et au zinc (cf. Tab. 6).

#### 4.5 Combustion de charbon

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les ménages privés étaient souvent chauffés au charbon. Celui-ci contient des métaux lourds naturellement présents (cf. Tab. 4). Les apports atmosphériques et les cendres déposées dans les jardins constituent des voies de contamination. Le Tab. 4 montre la contamination des sols évaluée à l'aide d'un scénario.

La pollution des sols par combustion de charbon est évaluée sur la base de volumes de 2,7 t de charbon incinérées par ménage [16][17] et l'on suppose que tous les métaux lourds restent sur le terrain (hypothèse : env. 300 m<sup>2</sup>). Cela donne les valeurs indiquées dans le Tab. 4.

Tab. 4 Teneurs en métaux lourds de la houille selon [20] (plausibilisation avec [18] et [19]) et estimation de la pollution due à la combustion de charbon dans une ville.

Polluant	Teneurs moyennes en métaux lourds pour le charbon [mg/kg]	Pollution de 1900 à 1965 [mg/kg]
Mercuré	0,25	0,21
Plomb	50	41
Zinc	70	58
Cuivre	20	16
Cadmium	0,5	0,41

Selon ce scénario, la combustion de charbon dans les ménages est une source importante de métaux lourds, mais cela ne saurait expliquer la pollution totale (cf. Tab. 6).

#### 4.6 Trafic

Les sols de Suisse sont chargés de plomb et de zinc issus du trafic motorisé, surtout à proximité des routes. Dans les zones urbaines, les immissions cumulées imputables au trafic entre 1950 et 2015 (65 ans) sont d'environ 2 g/m<sup>2</sup> de plomb et 1 g/m<sup>2</sup> de zinc. Ces valeurs sont plus élevées près des routes. Toutefois, la plupart des jardins de Fribourg ne se situent pas à proximité de routes. Si l'on répartit ces quantités dans la couche supérieure du sol de 40 cm, cela entraîne une hausse moyenne d'environ 3 mg/kg pour le plomb et 1,5 mg/kg pour le zinc. Le trafic routier ne joue donc qu'un faible rôle dans la contamination des sols de Fribourg.

#### 4.7 Usine à gaz

Entre 1861 et 1969, on estime que 500'000 t de pétrole brut ont été raffinées dans l'usine à gaz. Si l'on considère une teneur de 3,4 mg de mercure par tonne de pétrole brut [33][35] et un facteur d'émission atmosphérique de 0,25 [33], cela correspond à un rejet de 0,43 kg de mercure pendant toute la durée de production. Si l'on

suppose que l'ensemble du mercure est retombé dans un rayon de 100 mètres, cela correspondrait à une hausse de 0,02 mg/kg (profondeur de mélange : 40 cm). Il est donc peu probable que l'usine à gaz, par ses rejets de métaux lourds, soit responsable d'une vaste pollution des sols.

#### 4.8 Scories issues de l'usine d'incinération des ordures ménagères

Des scories ont été en partie utilisées comme engrais. Elles provenaient surtout de l'usine d'incinération des ordures ménagères des Neigles. Les scories issues de l'UIOM peuvent présenter diverses compositions. Toutefois, en plus d'autres métaux lourds, elles contiennent beaucoup de chrome [5]. Comme des déchets à base de PCB ont été incinérés aux Neigles, il faut s'attendre à ce que du PCDD/F soit aussi retrouvé dans les scories. Ce scénario peut expliquer la pollution de certaines parcelles, mais ne saurait être responsable d'une vaste pollution. Les scories ont été déposées dans les environs de l'UIOM des Neigles jusqu'en 1974 ; plus tard elles ont été éliminées à la décharge de Châtillon [32].

#### 4.9 Fumure : compost et autres engrais

Les auteurs des études menées à Zurich [29], à Olten [26] et dans le canton d'Uri [27] considèrent que l'utilisation de compost, d'autres engrais et de produits phytosanitaires est la principale cause des teneurs élevées en métaux lourds constatées dans les jardins privés. C'est surtout du compost, du fumier et des engrais chimiques qui ont été utilisés comme engrais [29]. Les boues d'épuration de la STEP de Fribourg ont presque en totalité été épandues dans l'agriculture jusqu'au début des années 2000.

Tab. 5 Concentrations en métaux lourds dans le compost vers 1990 [12][34] et les substances organiques au début des années 2000 [9] et apport calculé.

		Teneurs en métaux lourds			Source	Pollution aux métaux lourds dans le sol			
		Compost	Fumier	Engrais		Compost	Fumier	Engrais	Somme
Mercure	mg/kg	0,1	0,1		[12]	0,02	0,06	0	0,08
Plomb	mg/kg	134	8		[34]	30	4	0	34
Zinc	mg/kg	276	170		[34]	61	94	0	155
Cuivre	mg/kg	50	42		[34]	11	23	0	34
Cadmium	mg/kg	1	0,29	5,7	[34]	0,2	0,16	0,02	0,38
PCDD/F	ng I-TEQ/kg	5,6			[9]	1,2	0	0	1,2
HAP	mg/kg	3,1			[9]	0,7	0	0	0,7

Les teneurs en métaux lourds dans le compost [12][34], le fumier [29] et les engrais minéraux [29] vers 1990 sont indiquées dans le Tab. 5. Selon une étude de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, les micropolluants organiques présents dans le compost sont les HAP, les PCDD/F et d'autres substances organiques [9].

Pour évaluer la pollution du sol, on suppose que 1,6 kg/m<sup>2</sup> de compost, 4 kg/m<sup>2</sup> de fumier et 27 g/m<sup>2</sup> d'engrais chimiques ont été épandus chaque année, sur une période de 100 ans.

Conformément à ce scénario, la fumure constitue donc une source importante de pollution au plomb et au zinc dans les jardins de Fribourg. Par contre, il n'explique pas les teneurs en mercure observées.

#### **4.10 Produits phytosanitaires**

Les apports absolus via les produits phytosanitaires devraient être relativement faibles. Les plantations fruitières constituent une exception pour le mercure, tout comme les vignobles pour le cuivre. Le type de contamination dépendrait fortement du traitement, varierait beaucoup selon les parcelles et donc contribuerait tout au plus partiellement à la pollution générale.

#### **4.11 Stockage des déchets**

Il est possible que le stockage des déchets ait entraîné une pollution locale, mais cela ne saurait expliquer une vaste pollution.

#### **4.12 Production de métal et fonderies**

Les fonderies se situaient surtout sur le Plateau de Pérolles. Une fonderie de cloches et de canons existait par ailleurs au début du XV<sup>e</sup> siècle vers la porte de Morat, puis dès le début du XVI<sup>e</sup> siècle et jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à la Planche Inférieure à proximité de la centrale actuelle de l'Oelberg. Il est probable qu'elles aient entraîné une pollution aux métaux lourds locale des sols [10]. Il faut s'attendre à une pollution au plomb, au zinc, au cuivre, au cadmium et au nickel, mais peut-être aussi au mercure, au chrome, aux HAP et aux PCDD/F.

Une contamination par voie aérienne est également possible dans une certaine mesure, mais il est peu probable qu'elle ait entraîné des conséquences pour des quartiers entiers ou la Basse-Ville toute entière, située à plus d'un kilomètre du Plateau de Pérolles.

#### **4.13 Traitement et transformation du bois**

Des entreprises de transformation du bois étaient en activité dans le quartier d'Alt et au sud de la ville. Des pollutions locales au mercure, au zinc, au cuivre, au chrome, à l'arsenic, aux HAP, aux PCDD/F et aux PCB sont possibles. Une contamination par voie aérienne dans un petit périmètre ne peut être exclue. Toutefois, il est peu probable que des quartiers entiers ou la Basse-Ville toute entière aient été touchés.

#### **4.14 Tanneries**

Le quartier de la Neuveville hébergeait plusieurs tanneries pour la fabrication du cuir. A cet effet, beaucoup de chrome (sel de chrome pour la tannerie), mais aussi du mercure, du cuivre, du cadmium, du zinc et du nickel ont été utilisés. Il faut s'attendre à des pollutions au chrome locales. Une contamination par voie aérienne dans un petit périmètre ne peut être exclue. Toutefois, il est peu probable que des quartiers entiers ou la Basse-Ville toute entière aient été touchés.

#### **4.15 Céramique et glaçure**

De la céramique était produite à Fribourg. Depuis le Moyen-Âge, les carreaux de poêle étaient enduits de glaçure, qui devait sa couleur à divers oxydes métalliques. Une contribution à la pollution locale au plomb, voire au cuivre, est envisageable (mise en dépôt de matériel). Toutefois, le travail de la céramique et la glaçure ne peuvent expliquer les teneurs en mercure et en zinc.

#### **4.16 Émissions du site industriel de Péroilles**

Sur le Plateau de Péroilles, on trouvait notamment des fonderies et des industries métallurgiques, une fabrique de papier et de carton ainsi qu'une fabrique d'engrais. On sait que la pollution des sols est localement forte. Il faut partir du principe qu'il y a aussi eu des émissions atmosphériques notables. Le vent vient souvent du sud-ouest (autre du nord-est) [31] et souffle de Péroilles vers la Basse-Ville. Il est donc possible que des substances toxiques aient été transportées dans la ville par voie aérienne.

En ce qui concerne l'industrie métallurgique et les fonderies, il est probable que les sols aient été localement pollués au plomb, au zinc, au cuivre et au nickel, voire au mercure et au chrome. Pour la fabrique de papier, ce sont surtout les émissions de mercure qui entrent en ligne de compte. Selon toute vraisemblance, la fabrique d'engrais n'est responsable que dans une faible mesure des rejets de métaux lourds. La combustion de charbon est probablement une source importante de pollution aux métaux lourds d'origine atmosphérique.

Il n'est pas possible d'évaluer le type exact de polluants qui auraient pu s'infiltrer dans les sols par voie aérienne. Pour donner un ordre de grandeur, on suppose que les industries de Péroilles ont entraîné une pollution des sols des quartiers historiques deux fois plus faible que le chauffage au charbon direct dans les ménages (cf. Tab. 6).

### **5 Tableau comparatif des scénarios de contamination avec les valeurs effectivement relevées**

Les tableaux 6 et 7 ci-après regroupent les immissions estimées au chapitre 4 pour la ville entière. Pour les jardins et les pelouses privées (Tab. 7), toutes les immissions ont été totalisées. Pour les prairies et les pâturages (Tab. 6), il n'a pas été tenu compte des sources présentes uniquement dans les jardins (incinération de déchets de bois et combustion de charbon, scories issues de l'UIOM, compost, produits phytosanitaires, stockage de déchets).

Tab. 6 Récapitulation des immissions estimées et des estimations pour les prairies et les espaces verts publics. Comparaison avec les valeurs effectives analysées. + : pollution locale possible, - : pollution locale peu probable.

Source		Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	PCDD/F	HAP
Pollution d'origine géogène + pollution atmosphérique	mg/kg	0.05	16	45	15	0.20	-	-
UIOM Les Neigles	mg/kg	0.10	0.8	3			+	-
Trafic	mg/kg	-	3	1.5	-	+	-	+
Usine à gaz	mg/kg	0.02	+	+	-	-	-	+
Fonderies		-	+	+	+	+	+	+
Imprégnation de bois		+	-	+	+	-	-	+
Tanneries		+	-	-	-	-	-	-
Céramique et glaçure		-	+	-	+	-	-	-
Emissions diffuses Pérolles	mg/kg	0.11	21	29	8	0.21	+	+
Somme estimation Prairies + esp. verts publics	mg/kg	0.28	41	79	23	0.41		
Analyses : médiane Prairies + esp. verts publics	mg/kg	0.10	32	61	18	0.19	1.5	0.3
Rapport analyses / estimation Prairies + esp. verts publics		0.3	0.8	0.8	0.8	0.5	-	-

Tab. 7 Récapitulation des immissions estimées et des estimations pour les jardins et les pelouses. Comparaison avec les valeurs effectives analysées. + : pollution locale possible, - : pollution locale peu probable.

Source		Hg	Pb	Zn	Cu	Cd	PCDD/F	HAP
Pollution d'origine géogène + pollution atmosphérique	mg/kg	0.05	16	45	15	0.20	-	-
UIOM Les Neigles	mg/kg	0.10	0.8	3			+	-
Incinération de déchets de bois	mg/kg	-	30	30	-	-	+	+
Combustion de charbon	mg/kg	0.21	41	58	16	0.41	+	+
Trafic	mg/kg	-	3	1.5	-	+	-	+
Usine à gaz	mg/kg	0.02	+	+	-	-	-	+
Scories issues de l'UIOM		+	-	-	-	-	+	-
Compost, fumier et engrais chimiques	mg/kg	0.08	34	155	34	0.38	1.2	0.7
Produits phytosanitaires		+	-	-	+	-	-	-
Stockage de déchets		+	+	+	+	+	+	+
Fonderies		-	+	+	+	+	+	+
Imprégnation de bois		+	-	+	+	-	-	+
Tanneries		+	-	-	-	-	-	-
Céramique et glaçure		-	+	-	+	-	-	-
Emissions diffuses Pérolles	mg/kg	0.11	21	29	8	0.21	+	+
Somme estimation Jardins + pelouses	mg/kg	0.57	146	322	73	1.2	1.2	0.7
Analyses : médiane Jardins + pelouses	mg/kg	1.43	329	266	78	0.47	2.6	2.8
Rapport analyses / estim. Jardins + pelouses.		2.5	2.3	0.8	1.1	0.4	2.2	4.0

## 5.1 Pollution des prairies et des espaces verts publics

La pollution estimée pour les prairies et les espaces verts publics (Tab. 6) est environ 20% trop élevée pour le plomb, le zinc et le cuivre. Cette bonne concordance tient notamment au fait que la moitié des immissions estimées sont influencées par la source « Pollution d'origine géogène + pollution atmosphérique », qui se fonde sur des mesures (FRIBO agricole). La deuxième composante importante est la source « Émissions diffuses Pérolles ». Ce scénario d'immission repose sur l'hypothèse d'une combustion de charbon et n'est pas vraiment spécifique pour les polluants. Une autre source pourrait donc être responsable des valeurs de pollution élevées par rapport à la contamination de fond d'origine géogène et à la pollution par dépôt de poussières atmosphériques.

La pollution au mercure est surestimée d'un facteur d'environ 3. Les scénarios d'immission prépondérants sont l'UIOM des Neigles et la contamination de fond diffuse de Pérolles. Le scénario retenu entraîne probablement une surestimation de la contribution aux émissions de mercure issues de l'UIOM des Neigles. L'interprétation pour Pérolles s'avère plus compliquée, car le type de polluants est peu spécifique.

## 5.2 Pollution des jardins et des pelouses privées

Les immissions estimées pour les jardins et les pelouses privées varient de  $\pm 20\%$  pour le zinc et le cuivre, et la pollution au cadmium est plus que doublement surestimée. Les teneurs effectives en mercure et en plomb représentent plus du double des valeurs estimées.

Dans l'étude menée par le Service de la protection des sols du canton de Zurich [29], l'équipe a aussi procédé à des modélisations pour les apports de substances toxiques dans les jardins. Les estimations concernant le plomb étaient de 1,5 à 7 fois trop faibles. Les estimations pour le zinc et le cuivre étaient plus précises (le mercure n'a pas été évalué). Cette étude de 1994 [29] était soumise aux mêmes limites que la présente étude. Il n'existe que peu de données historiques pour évaluer de façon fiable les apports de substances toxiques avant 1980. Cela vaut tout particulièrement pour le mercure.

Lorsque l'on travaille le jardin, les polluants s'accumulent : en cas d'utilisation de l'eau des toits comme eau d'arrosage, par exemple, les polluants atmosphériques peuvent s'accumuler. Les métaux lourds qui pénètrent dans les jardins à partir de déchets domestiques ou d'épluchures s'enrichissent eux aussi au fil des ans. Il est fort possible que le mercure s'enrichisse d'un facteur de 3. Comme les autres métaux lourds s'enrichissent également, il reste à savoir pourquoi c'est précisément le mercure qui est sous-estimé.

Voici peut-être une explication : entre le XIX<sup>e</sup> siècle et le XX<sup>e</sup> siècle, la conscience de la toxicité des métaux lourds a fortement changé. Le mercure est liquide et volatil, ce qui fait qu'il pénètre plus facilement dans l'environnement. Il est donc possible qu'une manipulation inappropriée de métaux lourds ou de produits à base de métaux lourds ait jadis entraîné une plus forte pollution des déchets et des engrais organiques (comme le compost), même si les quantités de métaux lourds utilisées et les émissions totales (p. ex. atmosphériques) étaient plus grandes au XX<sup>e</sup> siècle

qu'au XIX<sup>e</sup> siècle. Le fait que les valeurs de pollution élevées se retrouvent surtout dans les zones urbaines est peut-être lié au fait que, par rapport aux régions rurales, les métaux lourds étaient bien plus souvent présents au quotidien (activités artisanales) et que les jardins travaillés étaient plus petits, et la population plus dense.

## 6 Conclusions de l'étude

Il est possible de tirer les conclusions suivantes :

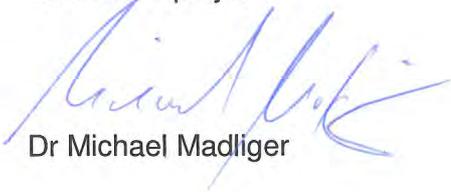
La pollution des jardins aux métaux lourds a plusieurs origines possibles : utilisation d'engrais, épandage de cendres ou de scories comme amendements, pollution atmosphérique générale due notamment à la combustion de charbon et aux émissions des industries, utilisation de l'eau des toits pour arroser les potagers. Les métaux lourds issus de ces différentes sources se sont accumulés dans les jardins au fil du temps.

La contamination au mercure touche essentiellement les jardins aménagés avant le XX<sup>e</sup> siècle. Le type de contamination plaide pour une pollution diffuse ou provenant d'activités largement répandues.

En ce qui concerne les quatre secteurs présentant des concentrations en métaux lourds qui se différencient des autres parcelles analysées (secteurs particuliers), les indications sont les suivantes :

- Quartier de la Neuveville : l'origine de la pollution au mercure est inconnue, mais probablement locale.
- Quartier du Bourg : la pollution au plomb est vraisemblablement due à l'incinération de déchets de bois liés à une activité artisanale.
- Quartier de l'Auge : la pollution au plomb est probablement due aux dépôts de cendres ou des scories, ou au remblayage avec des matériaux pollués.
- Quartier d'Alt : les teneurs en zinc particulièrement élevées sont sans doute dues aux émissions d'une ancienne entreprise de traitement de bois.

Le chef de projet



Dr Michael Madliger

**BMG Engineering SA**



Dr Christian Niederer

Schlieren, le 14 janvier 2016

Projet : Hg-FR, 62'294.03

BMG Engineering AG a effectué cette étude en mettant en œuvre toutes ses compétences professionnelles et en accord avec des principes communément admis. Les constatations et conclusions de ce rapport se base sur les informations à dispositions de BMG Engineering AG au moment de la rédaction du rapport. Ces constatations et conclusions ne peuvent pas être reportées sur des situations futures sans vérification préalable.

## Annexe 1

Le rapport se fonde non seulement sur les dispositions légales et les directives techniques concernées, mais aussi sur les éléments suivants :

- [1] Schwermetallbelastungen in Hausgärten in Freiburgs Altstadt – Potentielle Schadstoffquellen und Optionen zum weiteren Vorgehen. BMG Engineering SA, Schlieren, sur mandat du Service de l'environnement du canton de Fribourg. 30 octobre 2015.
- [2] Thöni L., Seitler E., Schnyder E., Ehrenmann J. 2013 : Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalysen 1990–2010. Office fédéral de l'environnement, Berne. Umwelt-Zustand n° 1328 : 170 pages.
- [3] OFEFP 1995 (éd.). Émissions polluantes dues à l'activité humaine en Suisse de 1900 à 2010. Cahier de l'environnement n° 256. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 121 pages.
- [4] NABEL – La pollution de l'air 2011, résultats du Réseau national de l'observation des polluants atmosphériques (NABEL)
- [5] OFEFP 1997 (éd.). Zur chemischen Belastung von Böden. Eine synoptische Darstellung der Schadstoffgehalte und Bindungsstärken der Böden des NABO. Umwelt-Materialien n° 77, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 63 pages.
- [6] OFEFP 1996 (éd.). Schadstoffgehalte von Böden in der Schweiz. Schlüssel zur Identifikation gesteinsbedingter Richtwertüberschreitungen. Vollzug Umwelt. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 26 pages.
- [7] Dictionnaire historique de la Suisse, <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/f/F19415.php>. Consultation : juin 2015.
- [8] Université de Lausanne, mémoire online, [http://memoireonline.com/06/09/2198/m\\_Potentiel-des-friches-industrielles-des-secteurs-de-gare-pour-un-developpement-urbain-durable25.html](http://memoireonline.com/06/09/2198/m_Potentiel-des-friches-industrielles-des-secteurs-de-gare-pour-un-developpement-urbain-durable25.html). Consultation : juin 2015.
- [9] Kupper T., Fuchs J. 2007 : Compost et digestat en Suisse. Étude n° 1 : Micropolluants organiques dans le compost et le digestat. Étude n° 2 : Influences des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes. Connaissance de l'environnement n° 0743. Office fédéral de l'environnement, Berne. 124 pages.
- [10] Service de la protection des sols du canton de Zurich. Die Bodenbelastung in der Umgebung von Giessereien im Kanton Zürich, décembre 2003.
- [11] Carte lithologique et pétrographique de la Suisse – Classification des roches 1 :500000 (Office fédéral de topographie swisstopo, SGTK), carte électronique, <http://map.geo.admin.ch>. Consultation : 6 mai 2015.
- [12] Zürcher Kompostier- und Vergärungsanlagen. Jahresbericht zu den Inspektionen 2009, AWEL.

- [13] Noger, D., 2001. Beurteilung der Holzbrennstoff-Qualität gemäss LRV mittels Schnelltests von Holzaschen. Beurteilung von Holzaschen aus Stückholzfeuerungen für naturbelassenes Holz und Feiern im Freien. Rapport EMPA n° 251.
- [14] Meyer, K. Die Stoffliche Belastung der Böden in der Schweiz. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes „Boden“. Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (FAC), Bern-Liebefeld, 1991.
- [15] OFEFP (éd.), 1992. Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt n° 185. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, novembre 1992. 144 pages.
- [16] Dictionnaire historique de la Suisse. <http://www.hls-dhs-dss.ch>, consultation : juin 2015.
- [17] Statistique suisse de l'énergie 1910-1985, Conseil suisse de l'énergie, Berne. Référence. <http://www.energiestatistik.ch>, consultation : 30 avril 2015.
- [18] USEPA, 1980. Abundance of Trace and Minor Elements in Organic and Mineral Fractions of Coal, EPA-600/7-80-003.
- [19] U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Mercury in U.S. Coal – Abundance, Distribution, and Modes of Occurrence, USGS Fact Sheet FS-095-01, septembre 2001.
- [20] Rentz, O., Martel, Ch, 1998. Analyse der Schwermetallströme in Steinkohlefeuerungen – Einfluss der Kohlesorte und des Lastzustandes. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Massnahmen zur Luftreinhaltung (PEF). Institut Franco-Allemand de Recherche sur l'Environnement, université de Karlsruhe.
- [21] Interviews d'habitants. Avril et mai 2015.
- [22] Interview de François Guex, Service des biens culturels SBC, Planche Supérieure 3, 1700 Fribourg. Avril 2015.
- [23] Fonds photographiques de la Bibliothèque cantonale et universitaire et du Service des biens culturels. <http://www2.fr.ch/bcuf/photos.aspx> Consultation : juin 2015.
- [24] Archives e-pics en ligne de la Bibliothèque de l'EPFZ. <http://ba.e-pics.ethz.ch>. Consultation : juin 2015.
- [25] Cartes topographiques – voyage dans le temps. Office fédéral de topographie swisstopo. <http://map.geo.admin.ch>. Consultation : avril 2015.
- [26] Affolter, R., Syss R. & Borer, F. Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten. Service de la protection de l'environnement, Soleure, Olten, février 1998.
- [27] Küttel, S. & Imhof, A.. Schadstoffuntersuchungen in Gärten, Spielplätzen, Rebbergen und Wiesen des Kantons Uri. Office de la protection de l'environnement Uri, Altdorf, juin 2009.

- [28] Reichard, P. U. & Papritz, A. 2007, Prognosemethode zur qualitativen Abschätzung der Bodenbelastung in Kleingartenanlagen. Bodenschutz, p. 96.
- [29] Wegelin, T. et al. Boden- und Pflanzenuntersuchungen in Familiengärten der Stadt Zürich. Service de la protection des sols. Juin 1994.
- [30] McLachlan M. S. ; Czub G. ; Wania, F ; 2002. The influence of vertical sorbed phase transport on the fate of organic chemicals in surface soils. Environ. Sci. Technol. pp. 4860-7.
- [31] Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse Roses des vents : <http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/passe/normes-climatologiques/roses-des-vents.html>, consultation : mai 2015.
- [32] Bulletin d'information de la Ville de Fribourg, juin 1984.
- [33] PNUE, 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 2, Version 1.2, avril 2013. PNUE Substances chimiques, Genève, Suisse.
- [34] Candinas, T., Besson, J.-M., & Humbel, A. 1998. Erhebung über die Qualität von Kompost aus getrennt gesammelten Siedlungsabfällen. Berne (FAC Liebfeld)
- [35] Site de l'ancienne usine à gaz, parcelle N°13'063. Investigations historiques et proposition d'investigations techniques selon OSites, site N°2196-1439. ABAGEOL, juillet 2009.
- [36] Patrick Donzallaz, Responsable de centrale. Groupe E SA, Centrale de l'Oelberg, Karrweg 12, 1700 Fribourg, communication personnelle, 17 juillet 2015.
- [37] Centrale thermique de la Maigrauge. Ensemble du site de la centrale. Investigation de site pollué N° 2196-1146. Investigations historiques et cahier des charges pour les investigations techniques préliminaires restant à réaliser - secteur 3. Résultats des investigations techniques préliminaires et assainissement des sols effectués dans les secteurs 1 et 2. Rapport d'état de la situation au 28.02.2011.

# PLAN DE LA VILLE DE FRIBOURG



Annexe 2.1

Plans de la ville de Fribourg

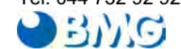
Année: 1822

Service de l'environnement SE n

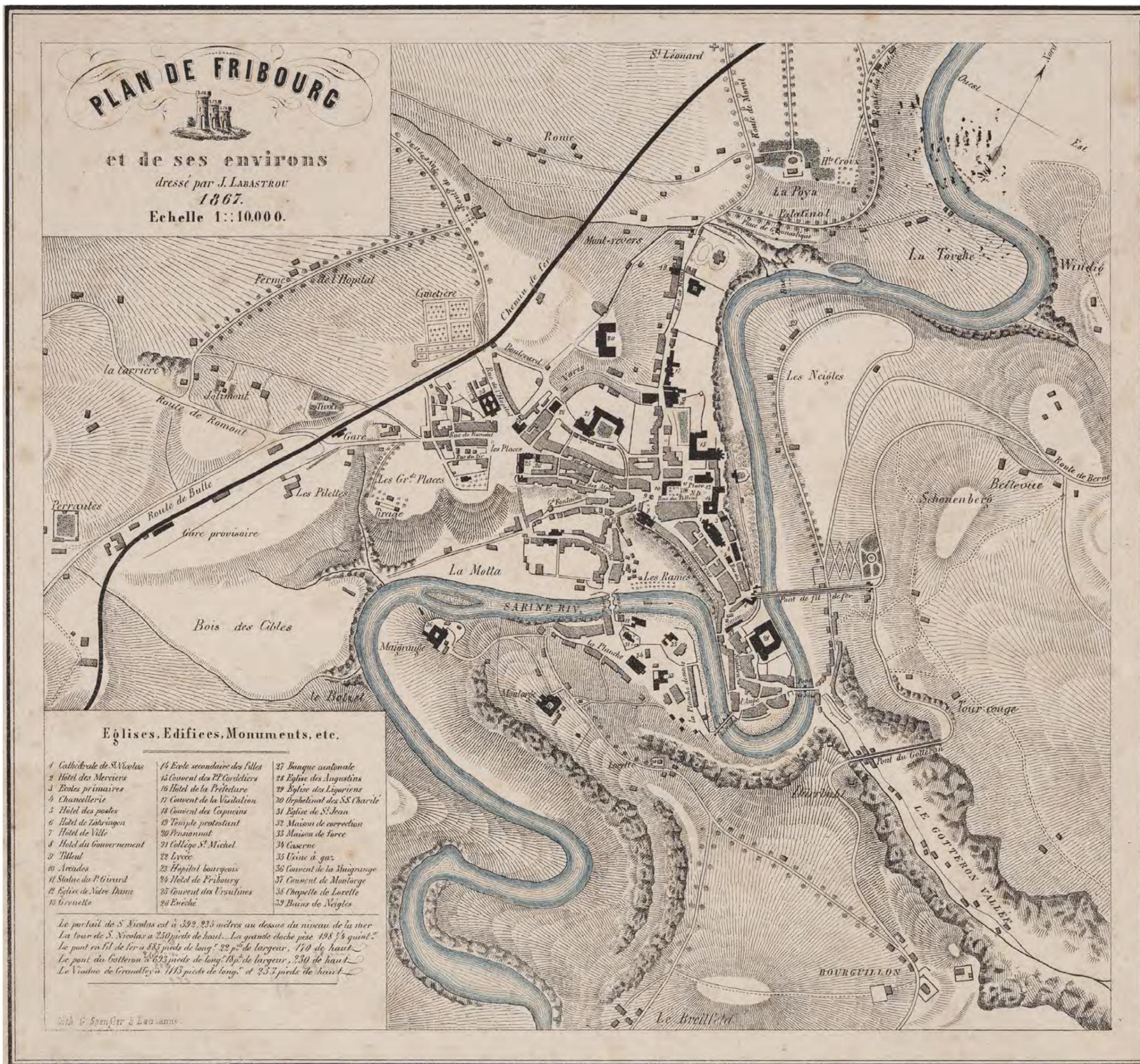
**Jardins pollués aux métaux lourds en ville de Fribourg**

Source: Service de l'environnement SE n

Ajustement: BMG Engineering AG  
 Ifangstrasse 11  
 8952 Schlieren  
 Tel. 044 732 92 92



Mise à jour: 17.09.2015



Source: Service de l'environnement SEN

Ajustement: BMG Engineering AG  
 Ifangstrasse 11  
 8952 Schlieren  
 Tel. 044 732 92 92



Mise à jour: 17.09.2015

PLAN DE LA VILLE DE FRIBOURG ET DES ENVIRONS.



Annexe 2.3

Plans de la ville de Fribourg

Anné: 1881

Service de l'environnement SEN

Jardins pollués aux métaux lourds en ville de Fribourg

Source: Service de l'environnement SEN

Ajustement: BMG Engineering AG  
Ifangstrasse 11  
8952 Schlieren  
Tel. 044 732 92 92



Mise à jour: 17.09.2015

# PLAN DE LA VILLE DE FRIBOURG ET DES ENVIRONS.

1904 - 2<sup>me</sup> Edition.

Reproduction interdite.



Dessiné et gravé d'après le plan cadastral par Dr. Joly-Denis 1876. - Révisé en 1904.

Édité par la Librairie Josué Labastrou à Fribourg

Institut géographique et artistique de Kümmerly & Frey, Berne.

Echelle 1:5000

Droits réservés des cartes du Service topographique fédéral.

Annexe 2.4

Plans de la ville de Fribourg

Anné: 1904

Service de l'environnement SEN

Jardins pollués aux métaux lourds en vieille ville de Fribourg

Source: Plankopie 1:500  
8184 Bachenbülach  
13.12.2000

Ajustement: BMG Engineering AG  
Ifangstrasse 11  
8952 Schlieren  
Tel. 044 732 92 92



Mise à jour: 17.09.2015

