
Etude de phytoscreening et dendrochimie
Evaluation de la répartition des HCC dans l'environnement
et datation
Secteur du Vieux-Carouge



Dossier N°1637

25 mars 2020



Table des matières

1	Contrôle qualité interne	4
2	Résumé	5
3	Contexte initial et objectif	7
3.1	Présentation du contexte initial	7
3.2	Investigations précédentes	8
3.3	Objectifs	9
3.4	Méthodologie	9
3.5	Documents utilisés	11
4	Investigations effectuées	12
4.1	Cahier des charges initial/réalisé	12
4.2	Prélèvement d'échantillons	12
4.2.1	Méthodologie	12
4.2.2	Considérations géographiques sur les arbres prélevés pour la dendrochronologie	15
4.2.3	Evaluation des biais liés aux prélèvements	16
4.3	Analyses en laboratoire	17
4.3.1	Phytoscreening	17
4.3.2	Dendrochronologie	18
4.3.3	Contrôle qualité laboratoire	18
5	Résultats de l'investigation	20
5.1	Phytoscreening	20

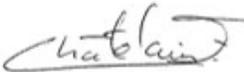


5.2	Dendrochronologie	21
5.2.1	Datation des cernes	21
5.2.2	Résultats sur les anomalies mono et multi-élémentaires	22
5.3	Interprétations des résultats	27
5.3.1	Phytoscreening	27
5.3.2	Dendrochronologie	28
5.3.3	Comparaison des résultats obtenus avec les études antérieures	31
6	Recommandations – Suite des opérations	33
6.1	Fiabilité et représentativité	33
6.2	Mesures pour la suite des opérations	33
6.3	Conclusions de l'auteur	34
6.4	Investigation complémentaire	35
	Liste des annexes	36



1 Contrôle qualité interne

Equipe de projet :

Collaborateurs	Rôle	Signatures
Florian Châtelain	Chef de projet	

Responsable de la revue Assurance qualité : Jérôme Berthoud

Version	Date	Signatures
1	25.03.2020	J. Berthoud : 

Collaboration : Jean-Christophe Balouet, Environment International

Adresse de l'étude (centre)	Autorisation
Rue Jacques-Dalphin 45 1227 Carouge	-



2 Résumé

Le secteur du Vieux-Carouge regroupe différentes emprises retenues au cadastre cantonal des sites pollués. Parmi ces sites se trouve, au droit de la parcelle 421 à Carouge, l'ancienne blanchisserie Rossi G. en exploitation entre 1948 et 1975 (site 452.2003.135). L'état des connaissances aux abords du site montre la présence d'hydrocarbures halogénés aussi bien à l'amont qu'à l'aval du site.

Compte-tenu de la répartition complexe des solvants chlorés observée dans ce secteur, une étude basée sur des méthodes de phyto-forensie environnementale (phytoscreening et la dendrochronologie) a été initiée de manière à définir la répartition des organochlorés autour de l'ancienne blanchisserie. Ces méthodes doivent permettre d'apprécier la répartition des hydrocarbures halogénés et de dater les apports de ces substances polluantes.

Elles reposent sur la propriété des arbres, par leur système racinaire, à extraire les contaminants présents dans le sol et le phréatique, en enregistreurs passifs, et permettant par simples échantillons de bois prélevés dans le tronc, de déterminer la nature des contaminants, l'extension du panache et de délimiter ce panache de manière semi-quantitative. Elles permettent d'étudier la pollution du sous-sol et du phréatique de manière rapide, tout en évitant les coûts et nuisances de forages conventionnels.

Les investigations réalisées mettent en évidence de nombreuses zones présentant des organochlorés impactant potentiellement la qualité des eaux souterraines (potentielles sources de contamination). L'approche phytoscreening et dendrochronologique révèle ou confirme les pollutions suivantes :

- A l'aval immédiat du site pollué n°452.2003.135, présence d'un panache de pollution en perchloréthylène (PCE) et dans une moindre mesure en trichloréthylène (TCE) que la dendrochronologie n'a pas permis de dater.
- Des signatures de PCE et TCE sont également trouvées au Sud du Boulevard des Promenades sans qu'un lien direct avec l'ancienne blanchisserie n'ait pu formellement être établi. Il semble plus probable qu'un foyer de pollution en hydrocarbures chlorés (HCC) se situe à proximité du Rondeau de Carouge (proche de SCG_15726) et influence la qualité des eaux souterraines à l'aval (en direction des rues du Vieux Canal et de la Faïencerie).
- A la rue du Collège, les mesures montrent l'apparition dès 1985 d'hydrocarbures halogénés. Actuellement, du 1,2-dichloréthylène (DCE) y est détecté. Ce produit de dégradation du PCE pourrait également potentiellement provenir d'un panache de contamination s'écoulant depuis le secteur du Rondeau de Carouge.
- A la rue de la Tannerie, les mesures montrent la présence de pics de 1,2-dichloréthylène (DCE) sans que ce composé puisse être rattaché aux activités de l'ancienne blanchisserie.

Ainsi, au droit des différents secteurs identifiés, il paraît nécessaire de mener des investigations complémentaires (piézomètres, gore sorber) pour préciser les pollutions et leurs



impacts sur les eaux souterraines au sens de l'art. 9 OSites. En effet, la méthodologie employée dans cette étude permet une première approche de la distribution de la pollution. En revanche, elle ne constitue pas un diagnostic de pollution du sous-sol ou des nappes d'eau souterraine dont les résultats pourraient être comparés aux valeurs limites définies dans les Ordonnances fédérales.



3 Contexte initial et objectif

3.1 Présentation du contexte initial

Les investigations selon l'OSites menées en lien avec le site pollué n°452.2003.135 (blanchisserie Rossi, G. dont les activités se sont déroulées entre 1948 et 1975) mettent en évidence des pollutions en organochlorés dans les eaux souterraines en aval et même à l'amont du site.

Il s'agit d'un site pollué dont l'extension correspond à l'emprise de la parcelle n°421 située dans le Vieux-Carouge et qui a pour adresse le n°45 de la rue Jacques-Dalphin.

Dans son voisinage, on rencontre de nombreux autres sites pollués (cf. Annexe 1) :

- n°453.2003.153 (Similor Kugler SA, fabrication d'articles de robinetterie entre 1917 et 2009) à plus de 100 m au Sud ;
- n°452.2003.501 (Comte Alfred, tannage et apprêt des cuirs entre 1895 et 1957) à plus de 110 m au Nord-Est ;
- n°453.2003.348 (Mado SA, ateliers mécaniques en activité depuis 1965 et Strombino Frères SA, fabrication de menuiseries entre 1965 et 1998) à plus de 120 m au Sud ;
- n°452.2000.001 (Chromage J. Tettamanti, traitement et revêtement des métaux entre 1930 et 1996) à plus de 180 m au Nord-Est ;
- n°453.2001.001 (Rotelli & Cie, commerce de gros de déchets et de débris depuis 1928) à plus de 200m au Sud-Ouest ;
- n°452.1991.001 (Parker Lucifer SA, fabrication d'appareils de distribution et de commande électrique depuis 1912) à plus de 220 m à l'Ouest ;
- n°453.2003.158 (Carrosserie de la Fontaine Sàrl, entretien et réparation de véhicules automobiles depuis 1955 et Leiser SA, traitement et revêtement des métaux entre 1983 et 2003) à plus de 230 m au Sud-Ouest ;
- n°452.2003.136 (Louis Tempia SA, commerce de gros de produits chimiques depuis 1934) à plus de 240 m à l'Est ;
- 452.2001.001 (Les Moraines, site de stockage – décharge jusqu'en 1967) à plus de 240 m au Sud-Est et à l'Est.

Ceux qui se trouvent à plus de 250 m ne sont pas mentionnés.

D'un point de vue hydrogéologique, selon les connaissances actuelles et cartes en vigueur, deux nappes d'eaux souterraines se développent au droit de la zone d'étude :

- Nappe superficielle de Carouge – La Praille : elle s'écoule librement dans les alluvions sablo-graveleuses de terrasse de l'Arve, globalement en direction du Nord Nord-Est dans le secteur du site pollué 452.2003.135. Le niveau d'eau s'établit à environ 5 m de



profondeur (son altitude moyenne s'élève à environ 377 m/mer au droit du site pollué 452.2003.135). L'épaisseur saturée est en moyenne d'environ 2 m mais peut localement et au cours du temps varier fortement (selon le régime hydrologique de l'Arve et l'ampleur des précipitations). Cette nappe n'est pas utilisée comme eau de boisson et aucun secteur de protection des eaux n'est lié à sa présence. Elle représente néanmoins un bien environnemental à protéger au sens de l'OSites. Les terrains argileux imperméables du complexe würmien délimite la base de l'aquifère.

- Nappe principale du Genevois : elle se trouve plus en profondeur (niveau piézométrique à environ 374 m/mer, soit environ 10-12 m de profondeur) mais son emprise se situe uniquement sur le secteur sud de la zone d'étude, à partir du Sud du Passage de l'Intendant et à l'Est de la Rue Ancienne (cf. Annexe 1). Cette nappe sature de manière captive les graviers sableux de l'Alluvion ancienne et s'écoule en direction du Sud-Ouest. Elle fait l'objet de plusieurs secteurs de protection des eaux du fait de son utilisation comme eau de boisson. Lorsqu'elle est protégée par des dépôts imperméables du complexe würmien suffisamment épais, elle est inscrite en secteur B. En absence de protection naturelle, elle est inscrite en secteur Au.

3.2 Investigations précédentes

En 2018, des travaux de transformation ont été menés dans le dépôt situé au 45A de la rue Jacques Dalphin (création d'habitations par transformation du bâtiment de l'ancienne blanchisserie Rossi). Dans ce cadre, une pollution en perchloréthylène (PCE) a été mise en évidence dans les terrains situés sous le radier. Après une première étude de caractérisation de la pollution, il s'avérait impossible de déterminer si la nappe superficielle de Carouge était ou non atteinte par les solvants chlorés. En effet, les sondages réalisés à la tarière manuelle n'avaient pas permis d'atteindre l'aquifère alors que les concentrations mesurées ne cessaient d'augmenter avec la profondeur de creuse. En conséquence, une investigation préalable a dû être initiée pour compléter les informations acquises en cours de travaux constructifs. L'objectif de ces investigations était de déterminer l'atteinte à la qualité des eaux souterraines de la nappe superficielle (bien à protéger au sens de l'OSites) et définir le statut du site pollué 452.2003.135.

Dans le cadre des études, aucun piézomètre n'a pu être implanté sur la parcelle située à l'aval immédiat (refus de la régie immobilière). En conséquence, les sondages ont dû être effectués plus en aval du site, sur la rue Adolphe Fontanel. Des résultats surprenant ont alors été obtenus, montrant la présence de concentrations significatives d'hydrocarbures halogénés sur ce piézomètre aval situé à une distance relativement importante (plus de 75 m du site pollué), mais également au piézomètre amont (forage GESDEC n°16'578). Sur cette base, l'origine de l'atteinte à la qualité des eaux de la nappe superficielle de Carouge-La Praille n'a pas pu être formellement attribuée au site pollué n°452.2003.135.

Par ailleurs, différentes investigations selon l'OSites ont également été effectuées au droit de sites pollués inscrits dans le secteur du Vieux Carouge. Notons surtout les études sectorielles de 2012 et 2013 qui ont évalué, lors de deux campagnes de prélèvement sur des arbres, la répartition des solvants organochlorés dans les eaux souterraines de la nappe superficielle de Carouge-La Praille. Le choix des arbres à prélever avait alors été déterminé selon les emprises des sites pollués et des connaissances hydrogéologiques.



3.3 Objectifs

Compte tenu des éléments mentionnés précédemment, la présente étude vise à répondre aux objectifs suivants :

- Evaluer la répartition des organochlorés (hydrocarbures chlorés – HCC) dans un rayon de 200 à 250 m autour du site pollué n°452.2003.135 (parcelle 421 à Carouge)
- Estimer la chronologie des apports en organochlorés dans le secteur.

Compte tenu des deux objectifs précités et du secteur d'étude relativement vaste autour du site pollué 452.2003.135 (env. 15 ha), l'approche retenue se base sur les méthodes de phytoforensie environnementale :

- Phytoscreening : permet de dresser les cartes de répartition spatiale du perchloréthylène (PCE), du trichloréthylène (TCE) et du 1,2-dichloréthylène (DCE) conduisant à apprécier les éventuels processus de biodégradation des solvants chlorés.
- Dendrochronologie : permet d'évaluer les apports en HCC dans le temps. Cette approche peut permettre de déterminer (ou exclure) certains sites pollués comme responsable d'atteinte à la qualité des eaux souterraines par des HCC.

L'étude est conduite en étroite collaboration avec M. Jean-Christophe Balouet de la société Environment International, expert reconnu dans l'approche forensique de phytoscreening et dendrochimie. Elle a été réalisée à la fin de l'année 2019 à la demande du Service de géologie, sols et déchets (GESDEC). Le présent rapport détaille les investigations réalisées et les résultats obtenus.

3.4 Méthodologie

L'investigation réalisée se base sur la méthodologie PIT (Pollution Investigation by Trees) afin d'apprécier la répartition des substances organochlorées dans l'environnement et de mieux cibler d'éventuelles investigations techniques complémentaires (gore sorber, implantation de nouveaux piézomètres, etc.).

Les méthodes de phytoforensie environnementale reposent sur la propriété des arbres, par leur système racinaire, à extraire les contaminants présents dans le sol et le phréatique, en enregistreurs passifs, et permettant par simples échantillons de bois prélevés dans le tronc, de déterminer la nature des contaminants, l'extension du panache et de délimiter ce panache de manière semi-quantitative. Elles permettent d'étudier la pollution du sous-sol et du phréatique de manière rapide, tout en évitant les coûts et nuisances de forages conventionnels.

Pour réaliser le phytoscreening, 27 arbres ont été échantillonnés le 21 octobre 2019 par micro-carottages superficiels d'une longueur moyenne de 2 cm et de moins d'un demi-centimètre de diamètre à l'aide d'un marteau échantillonneur.



En ce qui concerne la dendrochronologie, cette méthode nécessite le prélèvement d'une carotte de 20 à 30 cm de longueur et de 1 cm de diamètre à l'aide d'une sonde de Pressler. 5 arbres ont été échantillonnés le 22 octobre 2019 pour analyses en laboratoire des carottes par MicroFluorescence X (EDXRF). L'analyse est effectuée tous les 50 microns et permet de dater, à l'année près, l'influence d'une source de pollution.

Conformément au guide méthodologique PIT et aux expertises antérieures, la présente étude s'appuie sur :

- Un contrôle de qualité des données.
 - Le premier contrôle qualité est réalisé avec le programme Q-Spec de Cox, au laboratoire de l'université de Stockholm, calculant notamment l'erreur quadratique moyenne (MSE – Mean Square Error) et les totaux de comptes cohérents et incohérents¹.
 - Dans un deuxième temps, les données Argon sont évaluées, attestant d'une translation de la lame sans dérive de distance (permettant de détecter l'absence de fracture).
- La datation des cernes se fait classiquement en combinant l'image optique et les données obtenues par microradiographie de la carotte (profils cohérents et ceux du K et du Ca). L'opération est répétée trois fois pour valider l'interprétation des cernes.
- La physiologie des arbres est ensuite évaluée, notamment par rapport à la limite cœur/aubier (HSB), à la présence d'éventuelles traces ou barrières d'infection, ainsi qu'à toute anomalie associée à la transplantation de l'arbre entre sa pépinière et son site définitif.
- Le traceur élémentaire, ici le chlore, est ensuite évalué, identifiant une à une les anomalies observées, et cherchant pour chacune d'elle d'éventuelles autres anomalies synchrones. Les profils de chlore sont mis à la même échelle pour les différents arbres, dans le cas présent 900 cts².
- Chacun des profils élémentaires est évalué individuellement, puis deux à deux lorsque des anomalies sont détectées, à la recherche d'autre pollutions éventuelles comme par exemples des carburants fossiles ou du sel de déneigement.

Le traceur de la pollution pour les organochlorés est le chlore. La MicroFluorescence X le mesure indépendamment de son état ionique. Le chlore présent dans la carotte analysée par dendrochimie est sous forme élémentaire liée (chimiquement) dans les tissus ligneux, et non sous forme de solvant, lequel est entièrement évaporé par séchage. Tandis que le chlore est naturellement présent dans les arbres, les anomalies en chlore détectées relèvent la part fixée du chlore qui résulte de la déchlorination des solvants organochlorés soit par biodégradation naturelle au niveau racinaire, soit par décomposition des fractions de solvants qui transitent par la sève de l'arbre. Les profils de chlore obtenus permettent de donner des informations semi-quantitatives sur la présence de pollution interagissant avec l'arbre.

¹ Les comptes cohérents et incohérents reflètent les effets de matrice / densité

² Cts : counts (count = détection d'un photon de rayon X)



Par ailleurs, seule la partie du xylème¹ postérieure à la plantation sur le site peut renseigner sur la contamination du sous-sol en solvants organochlorés. En effet, généralement les arbres d'ornement ont été cultivés en pépinière, impliquant que les caractéristiques chimiques de leur cœur ne sont pas représentatives des conditions locales dans lesquelles ils évoluent désormais.

Enfin, une limite d'interprétation est à relever pour la présente étude. La répartition des HCC dans le sous-sol est fortement liée aux directions d'écoulement des eaux souterraines. Celles-ci, sur la nappe superficielle de Carouge - La Praille sont influencées par les niveaux piézométriques (apparition de zones dénoyées en périodes de basses eaux) et les constructions (effet de barrage liés à la présence de sous-sols). Or, le contexte hydrogéologique actuel n'est plus strictement le même que celui qui prévalait lors de la plantation des arbres étudiés les plus anciens. En effet, l'urbanisation importante du secteur a depuis lors introduit localement des barrages à l'écoulement et a diminué l'infiltration des eaux pluviales. Les directions d'écoulement des eaux souterraines ne sont donc plus exactement les mêmes mais sans carte hydrogéologique de l'époque, elles sont présumées comme identiques à celles d'aujourd'hui.

3.5 Documents utilisés

Pour les besoins de l'étude, plusieurs documents et études antérieures ont été consultés :

- Pollution Investigations by Trees – PIT (ADEME, 2015),
- Etude phytoscreening et dendrochimique de la nappe de Carouge-La Praille (BG Ingénieurs Conseils SA, 2014),
- Expertise dendrochimique à Carouge, Suisse (Environment International, 2011),
- Etudes GADZ relatives au site pollué n°452.2003.135 (2018 et 2019).

¹ Xylème : tissu végétal, formé de fibres ligneuses et de vaisseaux conduisant la sève brute, constituant le bois.



4 Investigations effectuées

4.1 Cahier des charges initial/réalisé

Les investigations réalisées ont globalement couvert le cahier des charges initial qui prévoyait d'échantillonner 30 arbres par phytoscreening et 5 arbres pour les analyses dendrochronologiques.

Seuls 27 prélèvements ont été effectués sur les arbres pour le phytoscreening en considérant la représentativité suffisante sur la zone d'étude, la difficulté d'accès à certains arbres privés (autorisations non obtenues) et le besoin de disposer de 3 blancs d'air caractérisant la présence d'HCC dans l'air ambiant pouvant influencer les résultats analytiques (processus d'assurance qualité – évaluation de biais potentiels lors de l'échantillonnage).

4.2 Prélèvement d'échantillons

4.2.1 Méthodologie

Les prélèvements d'échantillons ont été déterminés de manière à couvrir au mieux le secteur d'étude, à savoir les arbres situés dans un rayon de 200 à 250 m autour du site pollué n°452.2003.135 (Ancienne blanchisserie Rossi, G.).

Afin d'obtenir l'accord de la Ville de Carouge et de l'OCAN (Office cantonal de la nature – Service des forêts et arbres isolés) pour effectuer les prélèvements sur les 21 arbres du domaine public, une séance s'est tenue le 2 octobre 2019 sous la direction du GESDEC.

Pour les 7 arbres situés sur des parcelles privées, nous avons établi un contact préalable à notre intervention avec chaque propriétaire pour obtenir leur consentement.

Le choix des prélèvements a aussi été porté en fonction des essences d'arbres. Bien que la littérature spécialisée indique que l'essence d'un arbre n'influence pas les résultats, il existait une volonté de la part de l'expert de ne pas introduire trop d'essences différentes (limitation de biais potentiels).

La période de prélèvements retenue (mi-octobre) permet de garantir des échantillons représentatifs en lien avec l'activité des arbres. En effet, les prélèvements ont été réalisés avant la perte du feuillage, soit avant que le flux de sève ne devienne très faible.

En ce qui concerne le phytoscreening, l'échantillonnage a été fait avec un marteau échantillonneur de type Hagloff, en diamètre 4,5 mm, à raison de 5 microéchantillons d'une longueur moyenne de 2 cm, afin de disposer d'une masse de bois entre 0,5 et 1 gramme par arbre. Ces microéchantillons ont été conservés dans des flacons de verre de 2 cl avec fermeture aluminium à vis et joint téflon permettant la réalisation de mesures en headspace.



Pour les prélèvements destinés aux analyses dendrochronologiques, ce sont cinq carottes de 1 cm de diamètre et d'une trentaine de centimètres de longueur qui ont été prélevées. Pour ce faire, une tarière Hagloff de 10 mm de diamètre et 60 cm de long a été employée. Directement après l'échantillonnage, les carottes ont été examinées sur place pour vérifier que le cœur de l'arbre a été rencontré ou très approché, et surtout s'assurer de l'absence d'interférence majeure de branche ou autre anomalie majeure (barrière d'infection marquée, etc.). Elles ont été placées aussitôt dans des porte-échantillons en bois pour permettre leur séchage sans déformation.

Bien qu'aucun des platanes échantillonnés ne présentait de signe visible de chancre coloré, les outils ont été systématiquement désinfectés entre les prélèvements pour éviter toute propagation d'une éventuelle maladie d'un arbre à l'autre. Ces mesures permettent également de garantir l'absence de contamination croisée entre les prélèvements.

L'ensemble des prélèvements effectués sont répertoriés dans le tableau ci-après.

N° arbre	Coordonnées E / N	Essence / Circonférence	Positions cardinale et hydrogéologique par rapport au site pollué n°452.2003.135	Distance par rapport au site pollué n°452.2003.135	Type d'analyses
1	2'499'715 / 1'115'140	Tilia cf cordata / 2,55 m	SSO - Amont	135 m	Phytoscreening + dendrochronologie
6	2'499'753 / 1'115'421	Platanus occidentalis / 1,25 m	N - Aval	145 m	Phytoscreening
7	2'499'656 / 1'115'468	Tilia cf cordata / 1,55 m	NNO - Latéral	215 m	Phytoscreening + dendrochronologie
8	2'499'826 / 1'115'260	Platanus occidentalis / 2,4 m	E - Latéral	70 m	Phytoscreening
9	2'499'835 / 1'115'232	Platanus occidentalis / 3,7 m	ESE – Latéral	85 m	Phytoscreening + dendrochronologie
10	2'499'768 / 1'115'261	Juglans / 0,9 m	SE - Amont	15 m	Phytoscreening
12	2'499'878 / 1'115'336	Catalpa / 3,0 m	ENE – Latéral	135 m	Phytoscreening
13	2'499'753 / 1'115'281	Liquidambar styraciflua / 0,9 m	N - Aval	5 m	Phytoscreening



N° arbre	Coordonnées E / N	Essence / Circonférence	Positions cardinale et hydrogéologique par rapport au site pollué n°452.2003.135	Distance par rapport au site pollué n°452.2003.135	Type d'analyses
15	2'499'654 / 1'115'139	Platanus occidentalis / 2,5 m	SO - Amont	160 m	Phytoscreening
16	2'499'625 / 1'115'254	Platanus occidentalis / 1,1 m	O - Latéral	115 m	Phytoscreening
17	2'499'609 / 1'115'373	Platanus occidentalis / 2,1 m	NO - Latéral	160 m	Phytoscreening
18	2'499'563 / 1'115'347	Acer Negundo / 1,65 m	ONO - Latéral	190 m	Phytoscreening
19	2'499'581 / 1'115'228	Betula / 0,8 m	OSO - Latéral	165 m	Phytoscreening
20a	2'499'731 / 1'115'359	Platanus occidentalis / 1,1 m	N - Aval	80 m	Phytoscreening
20b	2'499'729 / 1'115'367	Platanus occidentalis / 1,1 m	N - Aval	90 m	Dendrochronologie
21	2'499'716 / 1'115'453	Platanus occidentalis / 1,2 m	N - Aval	180 m	Phytoscreening
22	2'499'975 / 1'115'208	Acer Negundo / 1,9 m	ESE – Au droit de la nappe du Genevois	225 m	Phytoscreening
24	2'499'637 / 1'115'189	Acer japonicum / 2,5 m	SO - Amont	130 m	Phytoscreening
25	2'499'591 / 1'115'436	Platanus occidentalis / 2,2 m	NO - Latéral	220 m	Phytoscreening
26	2'499'772 / 1'115'289	Platanus occidentalis / 1,45 m	NE - Aval	20 m	Phytoscreening (autorisation pour dendrochronologie non obtenue)



N° arbre	Coordonnées E / N	Essence / Circonférence	Positions cardinale et hydrogéologique par rapport au site pollué n°452.2003.135	Distance par rapport au site pollué n°452.2003.135	Type d'analyses
27	2'499'664 / 1'115'029	Fagus sylvatica / 2,5 m	SSO – Au droit de la nappe du Genevois	255 m	Phytoscreening
28	2'499'928 / 1'115'360	Acer platanoides / 1,2 m	ENE - Aval	185 m	Phytoscreening
29	2'499'667 / 1'115'409	Betula / 1,2 m	NNO - Latéral	150 m	Phytoscreening
30	2'499'573 / 1'115'265	Betula / 0,9 m	O – Latéral	165 m	Phytoscreening
31	2'499'609 / 1'115'315	Platanus occidentalis / 1,9 m	ONO - Latéral	135 m	Phytoscreening +dendrochronologie
33	2'499'675 / 1'115'108	Platanus occidentalis / 2,8 m	SSO – Au droit de la nappe du Genevois	175 m	Phytoscreening
34	2'499'720 / 1'115'412	Japanese prunus / 0,75 m	N - Aval	135 m	Phytoscreening
35	2'499'832 / 1'115'528	Tilia cf cordata / 1,3 m	NNE - Aval	265 m	Phytoscreening

Les fiches de terrain relatives aux prélèvements sont jointes en annexe 6.

4.2.2 Considérations géographiques sur les arbres prélevés pour la dendrochronologie

L'arbre 1 est un platane se trouvant au bout de la Rue Ancienne, à une cinquantaine de mètre de la Place du Rondeau. Il était initialement prévu de carotter l'arbre voisin, un tilleul probablement centenaire, mais sa surface marquée par de très nombreuses cicatrices ne permettaient pas de disposer d'une dendrochronologie fiable ni de données dendrochimiques pertinentes au regard des barrières d'infections observées. Nous avons donc fait le choix d'échantillonner ce platane même si on le savait plus jeune.

L'arbre 7 est un tilleul de 1m55 de circonférence, soit un rayon de 25 cm, situé dans le parc de la cure de la paroisse Sainte-Croix le long de la rue du Collège, alors que **l'arbre 9** est un platane de 3,7 m de circonférence qui se situe au Sud de la terrasse de l'Auberge communale de Carouge, non loin du Théâtre de Carouge.



Il était prévu d'échantillonner un arbre pour la dendrochronologie le plus proche possible de l'aval immédiat du site pollué n°452.2003.135 (Rossi, G., dont l'activité avait débuté en 1948). Malheureusement, les arbres correspondants étaient tous très jeunes.

En s'éloignant un peu du site susmentionné (80 m à l'aval), **l'arbre 20a** a finalement été retenu comme étant le plus vieux spécimen représentatif. Il s'agit d'un platane situé dans la cour de l'école Jacques-Dalphin, à l'angle de la rue éponyme et de la rue Adolphe Fontanel. Il possède une circonférence de 1.1m, soit un rayon de 17 cm.

Les platanes situés dans la cour de l'école ne sont pas natifs. Ils ont été plantés à l'automne 1996 ou à l'automne 1997 selon les orthophotos disponibles (les arbres anciens n'existent plus sur la photographie aérienne de 1998, voir annexe 2, remplacés par de jeunes platanes).

Lors de la campagne d'échantillonnage, il était prévu initialement de prélever une carotte pour la dendrochronologie dans l'arbre 20a utilisé pour le phyto-screening (voir plan de situation en annexe 1b) mais celui-ci s'est avéré creux, libérant après seulement 9.5 centimètres de pénétration de la tarière de Pressler un flot estimé à deux litres de sève (liquide transparent, aqueux, peu odorant). L'outil a alors immédiatement été retiré et les soins ont été apportés à l'arbre. Sur la base de ce constat, le choix a été d'échantillonner le platane voisin (arbre 20b pour la dendrochronologie en annexe 1b). Une carotte de 25 cm de long, hors écorce, a pu être prélevée dans ce deuxième platane.

Enfin, **l'arbre 31** est un platane d'1,9 m de circonférence, soit un rayon de 30 cm. Il se situe dans l'angle formé par la rue de la Faïencerie. La carotte prélevée sur ce platane mesure 22,1 cm.

4.2.3 Evaluation des biais liés aux prélèvements

Pour l'envoi, les échantillons ont été recouverts de papier-bulles et conditionnés dans les colis par M. Jean-Christophe Balouet de la société Environment International.

Les échantillons pour les analyses de phytoscreening ont été envoyés le 21 octobre 2019 par UPS au laboratoire de Rolla (Missouri, USA), après la fin de la journée de prélèvements. Ils ont été réceptionnés 48 heures plus tard. A leur arrivée, ils ont tout de suite été congelés à - 80°C afin de stabiliser leur teneur en composés organiques aliphatiques chlorés volatils (HCOV). La brève durée entre le prélèvement et la congélation de l'échantillon permet de garantir sa représentativité.

Les 5 échantillons pour les analyses de dendrochronologie ont été mis au séchage à 55% d'humidité dans les locaux d'Environment International avant d'être envoyés au laboratoire de l'Université de Stockholm par la poste le 31 octobre 2019, selon les processus établis pour ce type d'analyses.



En ce qui concerne les trois blancs d'air pour le phytoscreening, leurs coordonnées sont détaillées ci-dessous :

N° air	Coordonnées E	Coordonnées N
1	2'499'748	1'115'282
2	2'499'776	1'115'291
3	2'499'605	1'115'316

Après analyses, les blancs d'air ont révélé la présence d'HCC. Le tableau ci-dessous détaille les concentrations mesurées :

N° air	PCE (ppt)	TCE (ppt)	DCE (ppt)
1	2	45	Non détecté
2	2	27	Non détecté
3	2	29	Non détecté

Ainsi, l'interprétation des résultats pour les analyses de phytoscreening devra tenir compte des résultats obtenus dans les blancs d'air. Des concentrations équivalentes ou inférieures à celles affichés ci-dessus, ne seraient pas significatives. Hormis le biais lié à la qualité de l'air lors des prélèvements (blancs d'air), l'échantillonnage réalisé est représentatif des arbres étudiés et ne présente pas d'autres biais potentiels.

4.3 Analyses en laboratoire

4.3.1 Phytoscreening

Les analyses sur les 30 échantillons (27 arbres et 3 blancs d'air) ont été réalisées par l'Université de Science et Technologie du Missouri à Rolla. Elles ont été effectuées par Chromatographie Gazeuse, micro- Electron Capture Detection (GC / ECD) complétée par micro-extraction en phase solide (SPME) sur fibre Polydimethylpentasiloxane (PDMS) après calibration.

Pour connaître les concentrations en HCC dans la sève, il convient de peser les flacons avant analyse puis après avoir sécher les échantillons afin de ramener les concentrations mesurées au volume d'eau évaporée pendant le séchage, qui correspond à la fraction de sève.

Les limites de quantification pour le PCE, le TCE et le DCE sont respectivement de 2, 15 et 10'000 ppt. Les limites de détection sont inférieures d'un facteur 10 environ. Le chlorure de vinyle n'est pas en revanche pas détecté par phytoscreening. Cette méthode d'analyses étant semi-quantitative, les teneurs mesurées ne sont comparables à des valeurs de concentrations dans les terrains ou les eaux souterraines.



4.3.2 Dendrochronologie

Les 5 échantillons sont arrivés le 6 novembre 2019 au laboratoire Dendrolab de l'Université de Stockholm pour être analysés par Micro-Fluorescence X (EDXRF) sur machine ITRAX en line-scanning, tous les 50 microns. Cette fréquence d'analyses permet d'obtenir une grande précision permettant de distinguer les variations saisonnières parmi les divers éléments analysés. En effet, l'épaisseur moyenne d'un cerne annuel est de l'ordre de 0,5 à 1 cm.

Une lame de 2 mm d'épaisseur est prélevée, perpendiculairement à la fibre, par un système de scies à double disque. Cette lame est ensuite radiographiée en même temps qu'elle est analysée.

La longueur des carottes mesurant entre 200 et 300 mm, c'est donc entre 4000 à 6000 points de mesure qui sont effectués par carotte. A chaque point de mesure, 31 éléments sont analysés : Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Mo, Cd, I, Cs, Ba, Hg, Pb, Bi, en plus des paramètres relatifs à l'assurance-qualité, représentant entre 124'000 et 186'000 analyses élémentaires et 20 à 30'000 paramètres physiques d'analyses par carotte.

En ce qui concerne la datation des cernes, M. Balouet (Environment International) incite par précaution, à admettre une précision à +/- 1 an en 1975 et +/- 2 ans en 1940.

4.3.3 Contrôle qualité laboratoire

Pour le phytoscreening, aucun élément relatif au contrôle qualité du laboratoire ne nous a été fourni malgré les multiples relances de M. Balouet (Environment International). En l'état, nous ne pouvons compter que sur la bonne foi du laboratoire qui effectue toujours des vérifications (doublons, etc.) selon les standards américains.

En ce qui concerne la dendrochronologie, comme vu au chapitre 3.4, l'étude de qualité de l'analyse se fait par l'évaluation des données sur l'erreur quadratique moyenne, des profils de comptes cohérents et du profil de l'argon.



Les résultats des contrôles qualité effectués sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Contrôles- Qualité	Erreur quadratique moyenne (MSE)	Comptes cohérents	Profil Argon
Arbre 1	ok	ok	ok
Arbre 7	ok	ok	ok
Arbre 9	ok	ok	ok
Arbre 20b	2 anomalies : <ul style="list-style-type: none">infection (maladie) de l'arbre lors de son implantation sur le site en 1997au niveau de l'écorce	Anomalie négative associée à l'implantation de l'arbre sur site Anomalie au niveau de l'écorce	ok
Arbre 31	ok	Forte anomalie de densité sur le premier cerne (avant 1970)	ok

Les éléments-graphiques associés à ces contrôles qualité figurent dans l'annexe 3.

Les arbres 1, 7 et 9 ne présentent pas d'anomalie dans les contrôles qualité. Il n'a pas de biais à considérer dans l'interprétation des résultats analytiques obtenus sur ces trois échantillons.

En revanche, l'arbre 20b présente deux anomalies pour l'erreur quadratique moyenne. La première correspond au moment de l'implantation de l'arbre sur son emplacement actuel. Pour la seconde, elle se trouve au niveau de l'écorce. Des anomalies correspondantes sont également répertoriées pour les comptes cohérents.

A son extraction, la carotte montrait une zone grisée au centre de l'arbre, puis une zone légèrement brunie. Cette dernière s'est révélée finalement être associée à une légère infection (la couleur de cette zone s'est assombrie avec le séchage). La limite entre le xylème grisé et le bois sain est logiquement associée à la transplantation de l'arbre datée précédemment à 1997 (voir chapitre 4.2.2).

De plus, au moment de la découpe de la lamelle de 2 mm d'épaisseur par scie double disque, la lamelle s'est cassée en morceaux. Ce type de perte de lame double disque reste rare (< 4% des échantillons traités). Il n'est pas dû à un défaut de la scie double disque (les 4 autres échantillons étant parfaits), mais à des tensions internes à la carotte et donc à l'arbre 20b, qui s'expriment fortement lors de la préparation de la lamelle. Si la lamelle se casse en deux fragments, il est possible de les repositionner sur la table de translation, pour analyse par microradiographie. Cela n'a pas été le cas ici. En revanche, il a été possible de mesurer par Micro-Fluorescence X la demie-carotte collée au porte échantillon.

Selon M. Balouet, les analyses effectuées sur les échantillons de l'arbre 20b révèlent qu'il est malade sans que les observations effectuées lors du prélèvement ne pouvaient le supposer. Le type d'infection ne peut pas être déterminé (champignons, bactéries ?). La maladie affecte les enregistrements dendrochimiques et rend délicate l'interprétation des données



analytiques. En conséquence, les enseignements qui peuvent être tirés de cette carotte sont limités.

En ce qui concerne l'arbre 31, il présente une forte anomalie de densité sur le plus vieux cerne (avant 1970). Celui-ci correspond au cœur de l'arbre qui est composé par un tissu moelleux, ce qui produit l'anomalie de densité observée. Cela est sans conséquence sur l'interprétation des données, car l'arbre n'est pas né sur son emplacement actuel mais y a été transplanté plusieurs années plus tard. Les cernes les plus vieux n'apportent ainsi aucune information sur la pollution à Carouge.

5 Résultats de l'investigation

5.1 Phytoscreening

Les résultats analytiques mettent en évidence six « points chauds » d'organochlorés :

- 1'665 ppt de PCE sur l'arbre 16 ;
- 761 ppt de PCE sur l'arbre 26 ;
- 174 ppt de TCE sur l'arbre 24 ;
- 137 ppt de TCE sur l'arbre 27 ;
- 37'869 ppt de DCE sur l'arbre 7 ;
- 42'128 ppt de DCE sur l'arbre 28.

Dans le détail, le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des résultats obtenus :

N° arbre	PCE (ppt)	TCE (ppt)	DCE (ppt)
1	14	27*	Non détecté
6	Non quantifié	25*	Non quantifié
7	4	18*	37'869
8	6	56	Non quantifié
9	2*	44*	Non quantifié
10	6	44*	16'661
12	78	76	Non quantifié
13	99	76	Non quantifié
15	18	73	Non quantifié
16	1'665	87	Non détecté
17	55	62	Non quantifié
18	3	53	Non détecté
19	12	42*	Non détecté
20a	40	120	15'769



N° arbre	PCE (ppt)	TCE (ppt)	DCE (ppt)
21	4	17*	Non détecté
22	169	Non détecté	Non détecté
24	9	174	11'460
25	14	47	Non quantifié
26	761	Non détecté	Non détecté
27	29	137	Non quantifié
28	2*	40*	42'128
29	8	116	18'648
30	67	35*	Non quantifié
31	24	79	Non détecté
33	21	54	Non détecté
34	Non quantifié	24*	11'293
35	2*	18*	18'744

* : non significatif

Les résultats sont désignés comme « non significatifs » lorsqu'ils ne dépassent pas les concentrations maximales mesurées dans les blancs d'air (voir chapitre 4.2.2).

Une représentation graphique des concentrations mesurées est présentée sous forme de cartes fournies en annexe 4 pour chacun des organochlorés recherchés : perchloréthylène (PCE), trichloréthylène (TCE) et du 1,2-dichloréthylènes (DCE).

5.2 Dendrochronologie

5.2.1 Datation des cernes

Si on excepte l'arbre 20b, la datation des cernes n'a pas posé de problème particulier.

Le cœur de l'arbre 1 a été daté à 1989.

L'arbre 7 n'est a priori pas natif. Il pourrait avoir été planté en 1976, comme suggéré par la série de cernes de croissance moindre après cette date. En effet, il n'est pas rare d'observer après la plantation des cernes plus étroits qui correspondent aux racines coupées pour son déplacement.

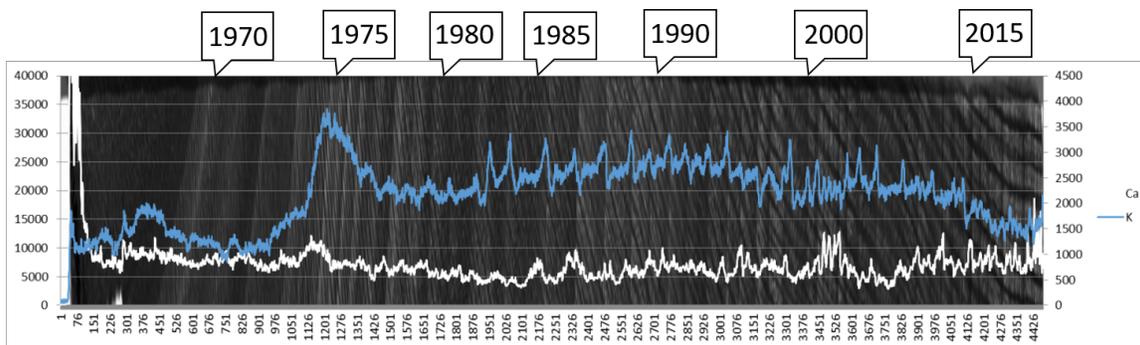
L'arbre 9 est un vieil arbre. Le rayon de l'arbre (60 cm) étant bien supérieur à la longueur de la carotte, il n'y a pas de considération sur l'âge de ce platane ni sur l'éventuelle date de plantation. La carotte prélevée permet de remonter jusqu'aux années 1930.

Pour l'arbre 20b, il n'a pas été possible de dater les cernes en combinant l'image optique et la microradiographie de la carotte (pour cause de lamelle cassée - cf. 4.3.3 contrôle-qualité). La



datation s'est faite sur la base des orthophotos de 1996 et 1998 qui permet d'attribuer la plantation de l'arbre sur son emplacement actuel à l'automne 1996 ou 1997 (cf. chapitre 4.2.2).

La carotte de l'arbre 31 mesure 22,1 cm et a atteint le cœur. Ce platane aurait été transplanté sur son emplacement actuel à l'Automne 1972 comme en attestent le profil du potassium (cf. graphique ci-dessous) qui augmente très nettement à cette date, indiquant une « blessure » et l'épaisseur très réduite du cerne formé en 1973.

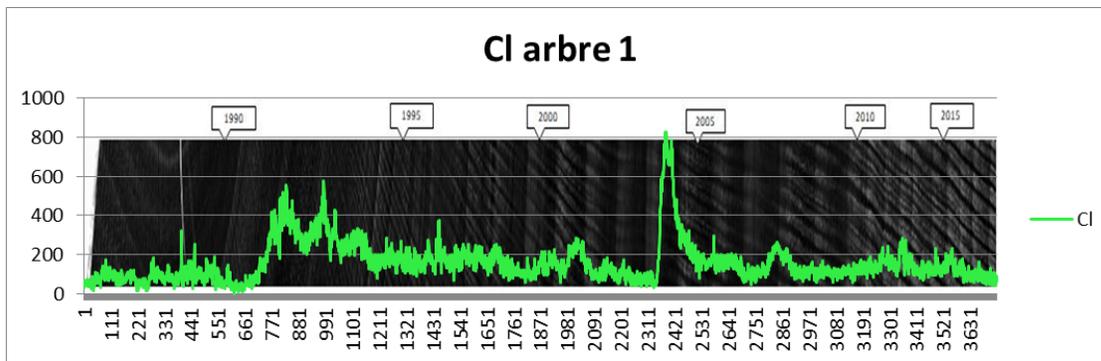


5.2.2 Résultats sur les anomalies mono et multi-élémentaires

Conformément aux protocoles d'expertise établis, les profils mono-élémentaires des 31 éléments chimiques analysés sont individuellement évalués pour chaque carotte. Le but étant de mettre en évidence d'éventuelles anomalies (pic, forte baisse) sur un ou plusieurs profils élémentaires. Le cas échéant, il s'agit d'examiner si les anomalies détectées sont synchrones ou non.

Pour le cas du chlore qui est déterminant dans la présente étude, en l'absence d'autre anomalie synchrone, l'origine d'un pic sur le profil du chlore correspond à une pollution en organochlorés.

Arbre 1



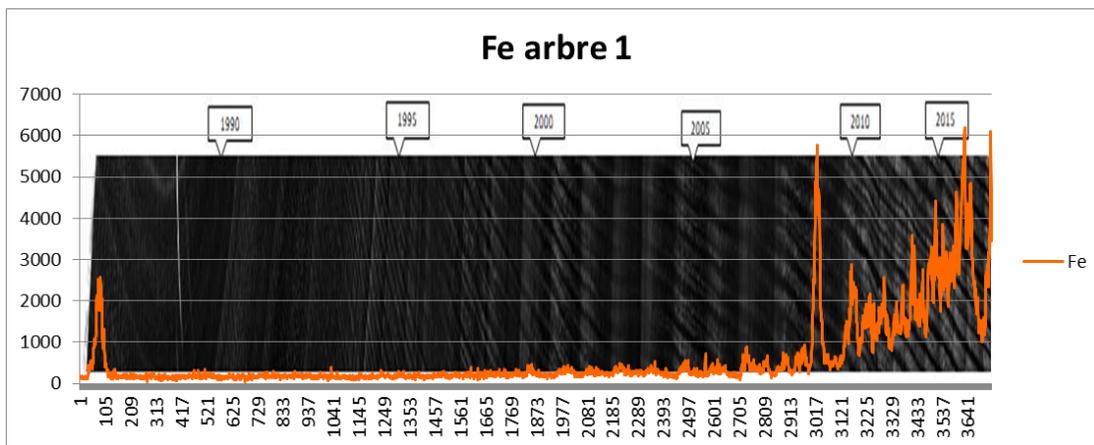
Le profil du chlore révèle plusieurs anomalies. Parmi les autres éléments analysés, aucune anomalie n'est synchrone avec le chlore, la présence de celui-ci a donc pour origine une pollution en HCC.



Une première anomalie intervient à la fin 1991. Elle pourrait correspondre à la date de plantation de l'arbre 1 sur son site actuel.

Par la suite, une très forte anomalie, dite de type abrupte, a lieu au printemps 2004.

Une seule autre anomalie dendrochimique est mise en évidence. Elle concerne le fer et débute au printemps 2009. Elle est indépendante des autres métaux qui sont eux stables.

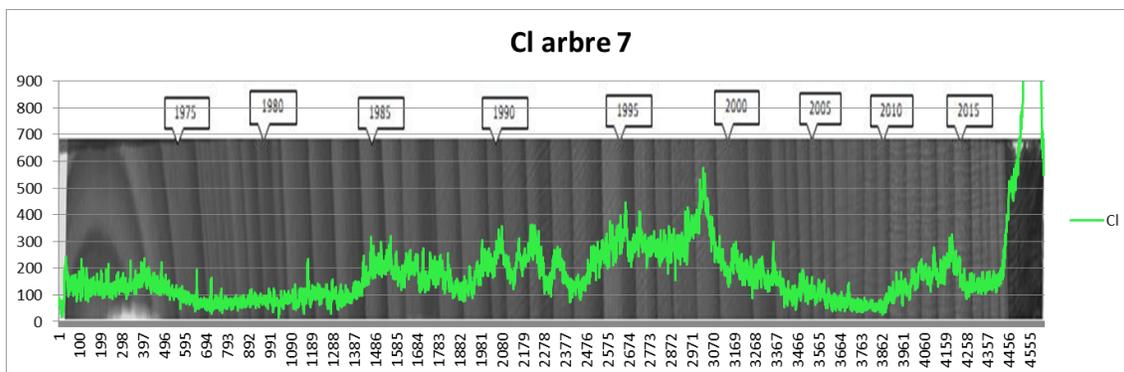


Cet événement n'affecte pas l'enregistrement dendrochimique du chlore.

Arbre 7

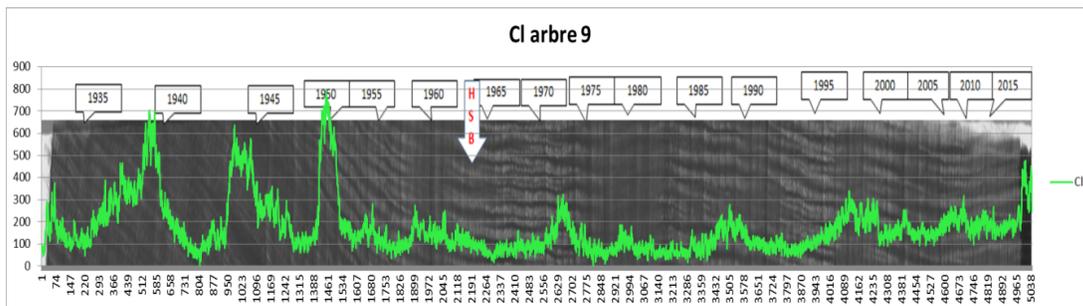
Le profil du chlore révèle plusieurs anomalies asynchrones, postérieures à la plantation de l'arbre (1976 ?), indiquant que le site n'était pas contaminé à la plantation de l'arbre. Les anomalies se marquent par des pics respectivement en 1985, 1990, 1995, 1999 et 2014. Celle de 1999 est la plus marquée de toutes.

Les autres profils (soufre, traceurs élémentaires de carburants fossiles, etc.) ne présentent pas d'anomalie, ne laissant la présence de solvants organochlorés comme seul facteur possible de l'enrichissement en chlore.





Arbre 9

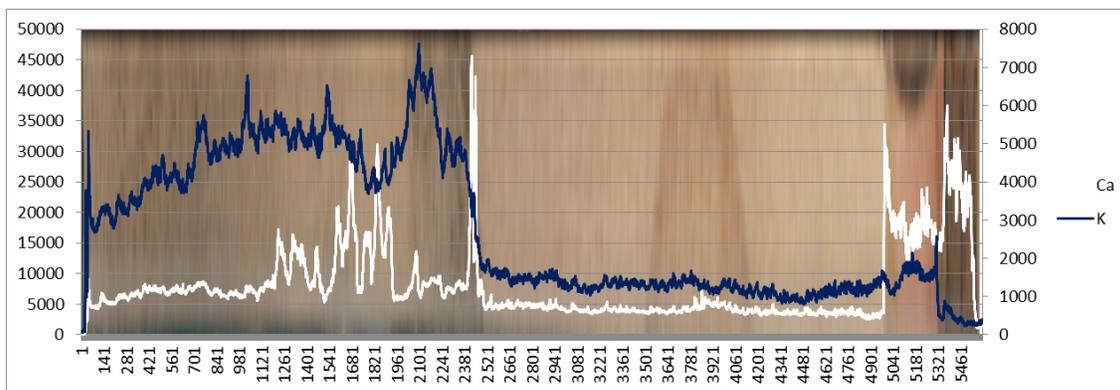


Le profil du chlore révèle plusieurs anomalies asynchrones, dont trois très marquées correspondant aux pics de 1939 (débuté en 1935), 1943 et 1949. Cette dernière est abrupte, débutant au printemps 1949. Il s'en suit plusieurs anomalies moindres, restant toutefois significatives, en 1954, 1958, 1972, 1980, 1988, 1997, 2009.

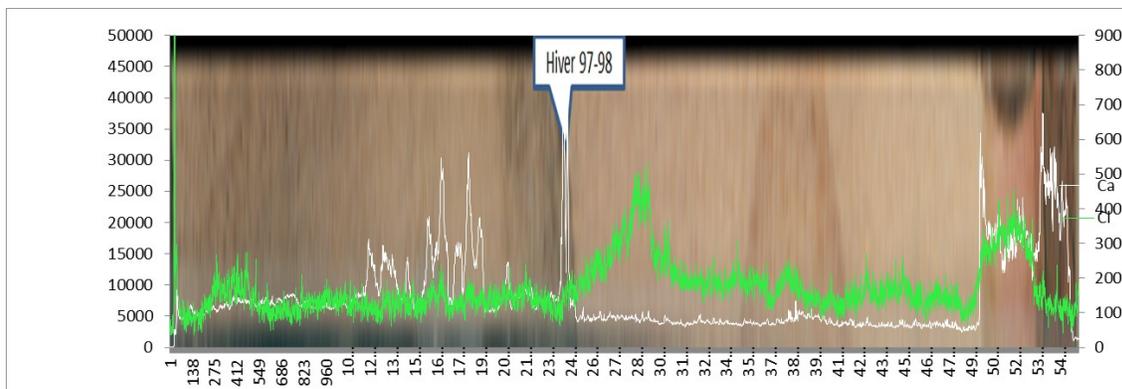
Il n'y a aucune anomalie mono- ou multi-élémentaire associée au chlore. Les traceurs élémentaires des carburants fossiles (V, Ni, Ba, Sr, Cs, Rb) sont stables, tout comme le soufre indiquant l'absence d'infection (maladie) de cet arbre. Par conséquent, les pics observés sont liés à des HCC.

Arbre 20b

En raison de la maladie qui affecte l'arbre 20b, le bois possède des tensions internes élevées, ce qui a provoqué l'explosion de la lamelle destinée aux mesures de radiographie. En conséquence, il n'y a pas pu avoir de datation par radiographie et comme sur l'image il n'est pas possible de voir les cernes, la datation n'a pu finalement se faire qu'à partir des orthophotos. Il n'y a donc pas de dates indiquées sur l'image ci-dessous.

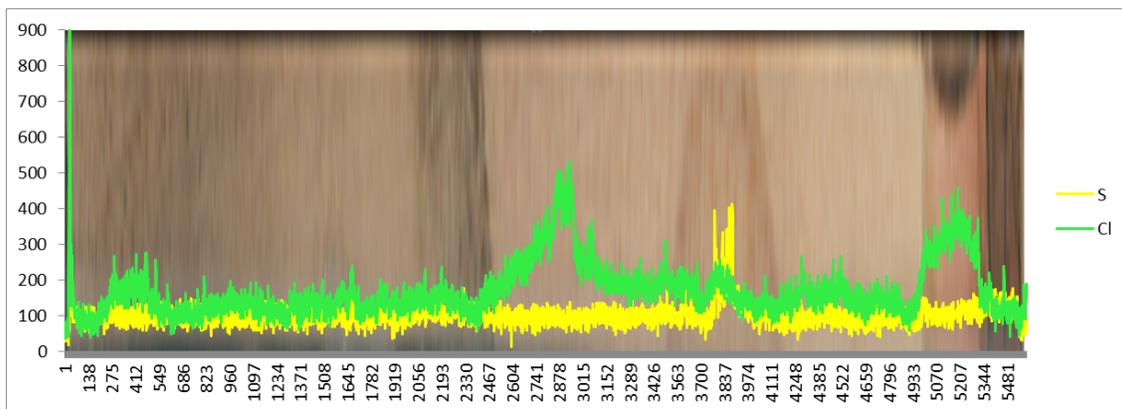


La partie gauche des profils Calcium et Potassium montre de fortes anomalies associées à un important déséquilibre physiologique. Dès 1999/2000 (point 2520) et jusqu'au début de l'écorce (5000), ces profils sont stables, ce qui correspond au profil attendu pour un platane.



Le profil du chlore présente également une anomalie significative à partir du point 2248. Cette période doit correspondre à la transplantation de l'arbre sur le site. L'anomalie augmente pendant environ deux ans, accompagnée par la croissance des nouvelles racines, avant de diminuer. Une nouvelle anomalie en chlore se marque au niveau de l'écorce (pollution actuelle).

Concernant les autres anomalies, le soufre présente une signature indépendante des autres éléments suivis. Elle est toutefois positionnée sur la tache de moisissure et traduit une situation physiologique caractéristique des bactéries et champignons qui ont infecté l'arbre (selon Smith et Balouet) :

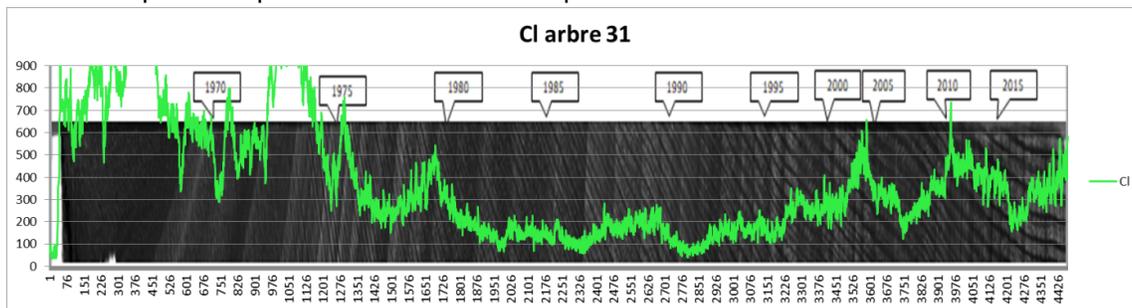


Aucune autre anomalie mono ou multi-élémentaires synchrones à celles du chlore n'est détectée, indiquant que les deux anomalies en chlore sont probablement liées à la présence de solvants organochlorés.

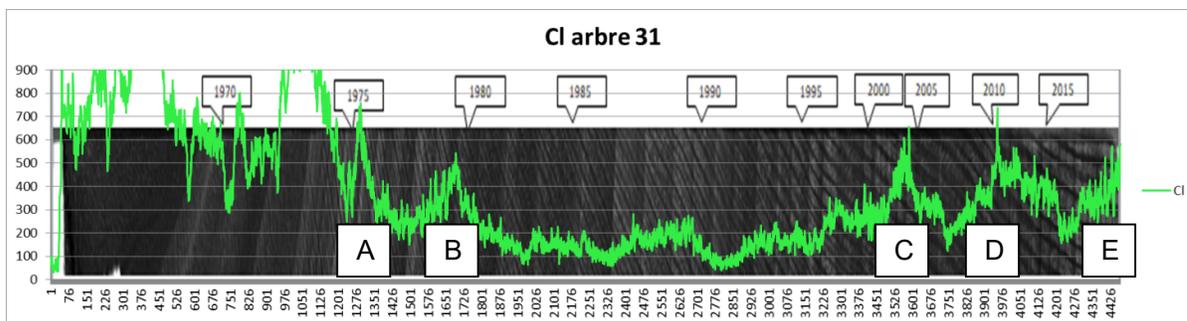


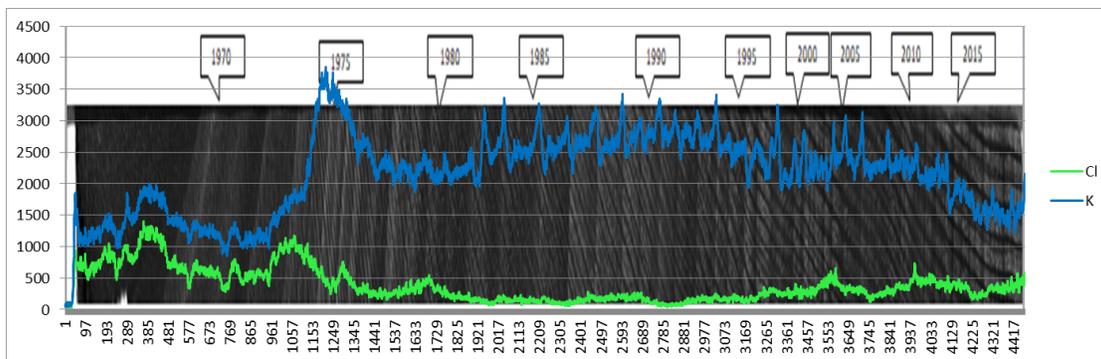
Arbre 31

Le profil du chlore présente plusieurs anomalies marquées :



- Anomalies antérieures à l'hiver 1972/73 : le profil du potassium (traceur physiologique majeur) présente une forte corrélation avec le chlore (proportions relatives stables pour ces deux éléments). Cela pourrait correspondre à l'influence de sels de route sur l'arbre avant sa transplantation (impact des soins en pépinière). Sur cette base, le profil du chlore durant cette période ne peut pas être attribué à une pollution aux organochlorés
- Anomalies post 1972 : le profil du potassium augmente très nettement indiquant une probable « blessure » à l'arbre durant les travaux de transplantation. Cette hypothèse est confirmée par un cerne d'épaisseur réduite formé en 1973. Ce type de constat est fréquemment observé lors de l'année où l'arbre est replanté. Après vérification, il convient de retenir comme impacts au chlore, les anomalies dont l'origine est cette fois à attribuer aux organochlorés (pas d'anomalie parmi les autres éléments analysés synchrones avec le chlore) et qui se marquent par les pics suivants :
 - A : en 1976
 - B : à l'automne 1979 mais débutant au printemps 1979 ;
 - C : en 2004 mais débutant en 1999,
 - D : en 2010 mais débutant en 2007,
 - E : anomalie sur 3 cernes les plus récents résultante de la présence résiduelle de solvants organochlorés.





5.3 Interprétations des résultats

Les investigations réalisées mettent en évidence de nombreuses zones présentant des organochlorés impactant potentiellement la qualité des eaux souterraines (potentielles sources de contamination). Les résultats montrent que ces différentes sources ne peuvent pas être rattachées en raison de leur implantation géographique (sources potentiellement rattachées à différents sites pollués) et des résultats dendrochronologiques montrant que les différentes sources ne sont pas synchrones.

5.3.1 Phytoscreening

5.3.1.1 Nappe de Carouge - La Praille

En ce qui concerne le site pollué n°452.2003.135 (blanchisserie Rossi, G.) qui est à l'origine de la présente étude, les résultats mettent en évidence un panache de PCE en aval du site. En effet, les arbres 26 et 13 situés à l'aval hydraulique, à une distance comprise entre 5 et 15 mètres de l'extension Nord du site pollué, présentent des concentrations significatives en PCE avec respectivement 761 et 99 ppt. Par ailleurs, l'arbre 13 montre également une concentration significative en TCE (76 ppt). Ces mesures tendent à montrer que des processus de dégradation du PCE sont actifs dans ce secteur. En revanche, le DCE n'est pas détecté à l'aval immédiat de l'ancienne blanchisserie mais à l'amont (arbre 10) avec 16'661 ppt. Au regard du contexte hydrogéologique défini dans le secteur (écoulement des eaux souterraine vers le Nord), la présence du DCE pourrait provenir d'une source de pollution située plus au Sud sans pouvoir la rattacher aux emprises des différents sites pollués inscrits au cadastre cantonal.

Malgré la proximité entre les arbres 16 et 24, les résultats indiquent la présence de deux panaches possédants chacun une signature chimique distincte. Ces arbres sont situés à l'aval de plusieurs sites pollués susceptibles d'engendrer les atteintes mesurées :

- Le site contaminé n°452.1991.001 (Parker Lucifer SA, fabrication d'appareils de distribution et de commande électrique, toujours en activité depuis 1912) ;
- Le site pollué n°453.2001.001 (Rotelli & Cie, commerce de gros de déchets et de débris depuis 1928) ;
- Les données du site contaminé n°453.2003.148 (Fiedler SA) semble exclure toute influence de ce site sur les arbres 16 et 24 au regard des panaches de contamination



se propageant plus à l'ouest des arbres. Toutefois, des investigations menées dans le cadre de l'investigation de détail avaient révélé la présence de fortes teneurs en HCC dans les terrains du petit parc situé au parking du Rondeau de Carouge. Cette source n'avait pas pu être formellement rattachées aux activités du site Fiedler.

L'arbre 7 détecte une pollution en DCE sans qu'aucun site pollué ne soit recensé en amont à moins de 200 m. Il s'agit vraisemblablement d'une ancienne pollution qui a migré au sein de la nappe de Carouge – La Praille.

L'arbre 28 présente également une pollution en DCE. Le site pollué n°452.2003.501 (Comte Alfred, tannage et apprêt des cuirs entre 1895 et 1957) situé à 25 m environ sur la nappe de Carouge – La Praille pourrait être à l'origine de la pollution. En revanche, l'autre site pollué qui se trouve à proximité immédiate (n°452.2000.001 : Chromage J. Tettamanti, traitement et revêtement des métaux entre 1930 et 1996) ne semble pas susceptible d'avoir générée la pollution observée, car il est situé sur la nappe plus profonde du Genevois avec une pollution en chrome VI et dont l'assainissement a été terminé en 2011.

Parmi les panaches identifiés, il n'y a pas de recouvrement entre les différents types d'organochlorés. Ainsi, la pollution en PCE mise en évidence sur l'arbre 16 n'a pas connu de dégradation, soit parce qu'elle est récente, soit en raison des propriétés chimiques du sous-sol.

5.3.1.2 Nappe du Genevois

L'arbre 27 met en évidence une pollution en TCE. Sa position à proximité directe des sites pollués n°453.2003.348 (Mado SA, ateliers mécaniques en activité depuis 1965 / Strombino Frères SA, fabrication de menuiseries entre 1965 et 1998) et n°453.2003.153 (Similor Kugler SA, fabrication d'articles de robinetterie entre 1917 et 2009) laisse penser que l'origine de la pollution observée est à relier à ces derniers.

Enfin, rappelons que le phytoscreening permet une première approche de la distribution de la pollution. En revanche, cette méthode ne constitue pas un diagnostic de pollution du sous-sol ou des nappes d'eau souterraine dont les résultats pourraient être comparés aux valeurs limites définies dans les Ordonnances fédérales. Il convient donc, après identification des points chauds de mener les investigations nécessaires (forages, etc.) pour préciser les pollutions et leurs impacts sur les biens à protéger.

5.3.2 Dendrochronologie

Une représentation cartographique est fournie en annexe 5 des « arrivées » d'HCC sur les arbres analysés par dendrochronologie avec la position des différents sites pollués à proximité et leurs années d'activités.

Arbre 1

L'absence de diffusion du chlore pour le pic de 2004 indique que la source de la pollution est probablement située à proximité et que l'apport de substances organochlorées est rapide et significatif. Plusieurs scénarios peuvent être envisagés, entre un déversement accidentel, une remobilisation de solvants chlorés en phase à proximité de l'arbre lors de travaux d'excavation ou le passage d'un panache fortement concentré dans la nappe s'écoulant au droit de l'arbre.



Potentiellement, la mise en place d'un piézomètre au droit d'un secteur pollué pourrait produire cet effet, mais dans le cas présent, aucun piézomètre n'a été installé dans les alentours en 2004 selon les données du SITG.

Un nombre important de sites pollués (aire d'exploitation utilisant potentiellement des hydrocarbures halogénés) est situé à proximité de cet arbre. Il est de ce fait difficile de rattacher le pic de 2004 à un site pollué en particulier. En effet, les sites recensés comme pollués les plus proches (Mado et Similor Kugler) sont situés au droit de la nappe du Genevois. Il est donc peu probable qu'une pollution dans la nappe du Genevois puisse provoquer les anomalies en chlore observées sur cet arbre. A priori, l'origine des anomalies en chlore dans cet arbre sont plus à rattacher à la présence d'HCC dans les terrains superficiels.

Arbre 7

Les pics en chlore étant diffus, la ou les source(s) de pollutions doivent être relativement distantes de l'arbre (passage d'un panache progressif). Ces sources sont potentiellement liées à l'utilisation d'organochlorés ou à des travaux remobilisant d'anciennes pollutions (travaux de terrassement, etc.). Le fait que la ou les source(s) de pollutions mises en évidence soient éloignées de l'arbre coïncide avec l'absence de site pollué dans un rayon d'environ 200 mètres.

Si on excluait toute remobilisation d'anciennes pollutions, seules les activités de Parker Lucifer (site pollué n°452.1991.001) semblent être en mesure d'atteindre l'arbre en tenant compte de la période d'activité et de la direction d'écoulement des eaux souterraines. Toutefois, bien que le bâti n'ait pas beaucoup évolué autour de l'arbre 7 (exception faite du bâtiment de la rue du Collège 22 de 2015), de nombreux petits terrassements liés notamment à l'entretien et la mise en place de réseaux enterrés ont été inévitablement réalisés et sont susceptibles d'avoir remobiliser d'anciennes pollutions.

Enfin, le pic du dernier cerne peut être attribué à une contamination actuelle rémanente en hydrocarbures chlorés. Cela a été confirmé par la campagne de phytoscreening qui met en évidence une pollution en DCE.

Arbre 9

Les anomalies en chlore postérieures à 1939 pourraient refléter de nouvelles émissions dans le sous-sol ou dans le phréatique, autant que des remobilisations de panaches préexistants dues à des travaux d'excavation de tout type (nouvelles constructions enterrées, intervention sur les réseaux souterrains ou forages voir pieux de fondation).

Le contexte hydrogéologique est relativement similaire à celui de l'arbre 1, avec la présence présumée de la nappe superficielle de Carouge – La Praille (situation en bordure de nappe s'écoulant régionalement en direction du Nord-Est) superposant la nappe principale du Genevois protégée par 3 à 15 mètres de formations limono-argileuses peu perméables du complexe würmien. Parmi les sites pollués recensés au cadastre cantonal et situés sur la nappe de Carouge – La Praille, aucun ne se trouve en amont hydraulique de l'arbre 9. Au regard de ce contexte et en le présumant relativement constant au cours du temps, il paraît peu vraisemblable qu'une pollution en organochlorés dans la nappe du Genevois puisse



affecter la chimie de cet arbre (superposition de nappe et profondeur relativement conséquente de la Nappe du Genevois). Il n'y a donc pas de source potentielle identifiée pour expliquer les anomalies de chlore observées. Les plus marquées (1939, 1943 et 1949) sont toutefois très anciennes et sont par conséquent à rattacher à des activités très vieilles pas toujours facile à identifier.

Le profil « exponentiel » du chlore dans les deux derniers cernes indiquerait une contamination résiduelle par des organochlorés à proximité de l'arbre 9. Elle n'a cependant pas été retrouvée par le phytoscreening, car il s'agit vraisemblablement d'organochlorés très volatils. En effet, le phytoscreening permet de mesurer le PCE, le TCE et le DCE, mais pas les organochlorés au bout de la chaîne de dégradation (chlorure de vinyle).

Arbre 20b

L'arbre a évolué dans un environnement influencé par la présence d'organochlorés dès sa transplantation qui s'est effectuée à l'automne 1996 ou à l'automne 1997.

Parmi les sites pollués en amont hydrogéologique, on trouve à plus de 80 m au Sud de l'arbre 20b, le site n°452.2003.135 (Rossi G., blanchisserie et teinturerie) dont l'activité s'est arrêtée en 1975 et, à plus de 225 m au Sud-Ouest, le site contaminé n°452.1991.001 (Parker Lucifer SA, fabrication d'appareils de distribution et de commande électrique) actif depuis 1912. Toutefois, l'arbre 31 situé entre l'arbre 20 et Parker Lucifer SA ne présente pas d'anomalie en chlore entre 1980 et 2000, donc la pollution en organochlorés mise en évidence sur l'arbre 20b ne proviendrait pas de Parker Lucifer SA.

Par ailleurs, l'anomalie au chlore visible sur l'écorce signale la présence d'une contamination rémanente au chlore sur le site. Les analyses de phytoscreening sur l'arbre voisin le confirment avec la présence de pollution en PCE, TCE et DCE (voir chapitre 5.1).

Arbre 31

Deux immeubles ont été construits à proximité de l'arbre 31 depuis qu'il a été transplanté sur son emplacement actuel. Il convient donc d'examiner si les années de construction correspondent aux anomalies de chlore mises en évidence au chapitre précédent. En effet, les terrassements associés à ces travaux auraient pu potentiellement remobiliser d'anciennes pollutions en organochlorés. Cependant, pour les deux bâtiments, les années de construction ne correspondent pas aux pics de chlore mesurés (1976, 1979, 2004, 2010 et 2019). En effet, l'immeuble de la parcelle n°2090 situé à env. 70 mètres de l'arbre 31 a été construit au début des années 1970, soit au moment de l'implantation de l'arbre sans aucune pollution associée. Pour les immeubles de la parcelle n°2634, à env. 25 mètres de l'arbre 31, ils ont été réalisés à la fin des années 1980 dans une période sans anomalie de chlore.

Les sites pollués suivants, situés en amont hydraulique de l'Arbre 31, peuvent potentiellement expliciter la présence d'anomalie en chlore :

- Le site contaminé n°452.1991.001 (Parker Lucifer SA, fabrication d'appareils de distribution et de commande électrique, toujours en activité depuis 1912) se trouvant à une centaine de mètres de l'arbre.



- Le site pollué n°453.2001.001 (Rotelli & Cie, commerce de gros de déchets et de débris depuis 1928) situé à environ 130 m.
- Les données du site contaminé n°453.2003.148 (Fiedler SA) semble exclure toute influence de ce site sur l'Arbre 31 au regard des panaches de contamination se propageant plus à l'ouest de l'arbre. Toutefois, des investigations menées dans le cadre de l'investigation de détail avaient révélé la présence de fortes teneurs en HCC dans les terrains du petit parc situé au parking du Rondeau de Carouge. Cette source n'avait pas pu être formellement rattachées aux activités du site Fiedler.
- Les autres sites pollués se trouvent en amont hydraulique sont situés à une distance supérieure à 200 mètres, limitant leur potentiel d'influence sur l'Arbre 31

De part leurs activités et des valeurs de concentrations en organochlorés au droit de ces sites (sources), ce sont surtout les substances polluantes provenant du site de Parker Lucifer qui sont susceptibles d'interagir avec l'arbre 31.

Enfin, les fortes concentrations résiduelles aux organochlorés mesurées sur les 3 cernes les plus récents sont confirmées par les analyses de phyto-screening. Ce constat met en évidence la présence de pollutions actuelles en PCE et TCE dans les terrains ou par l'écoulement d'un panache de contamination aux solvants chlorés.

5.3.3 Comparaison des résultats obtenus avec les études antérieures

En 2013, BG Ingénieurs Conseils SA en collaboration avec M. Balouet de Environment International avait échantillonné trois arbres qui se trouvent dans le secteur étudié pour des analyses de phytoscreening. Il s'agit des arbres BG4, BG12 et BG43 qui figurent sur le plan de situation en annexe 1.

Malgré une méthodologie de prélèvement similaire, les campagnes de 2013 et 2019 ne sont pas comparables en valeurs absolues en raison des périodes différentes d'échantillonnage (août 2013 et octobre 2019). Toutefois, il est intéressant de comparer si elles sont cohérentes au niveau de la répartition des organochlorés :

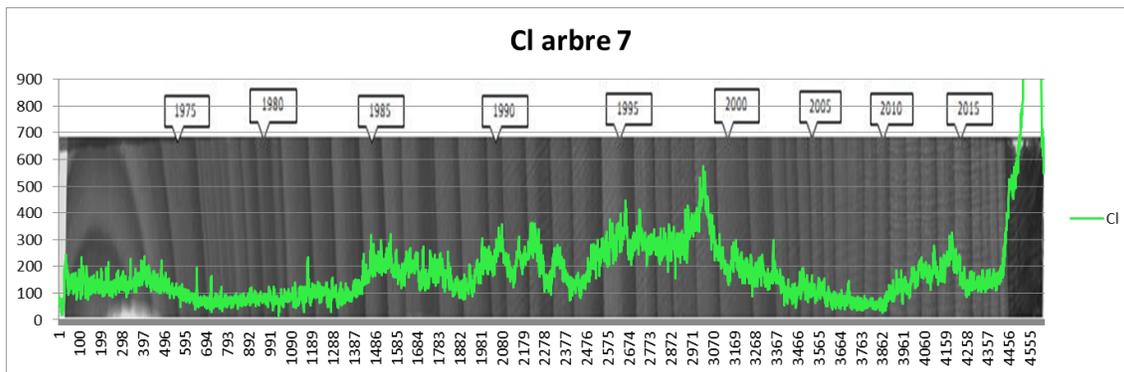
- Le phytoscreening sur l'arbre BG4 n'avait pas détecté de pollution significative en PCE, TCE ou DCE. Ce résultat est cohérent avec ceux obtenus sur la présente campagne, dans laquelle le Nord de la cour d'école Jacques-Dalphin est exempt de pollution aux organochlorés.
- Une concentration relativement élevée en DCE avait été identifiée au droit de l'arbre BG12 (47'637 ppt). Il n'y a pas de nouveau échantillonnage à proximité directe de cet arbre, le plus proche se trouve à plus de 80 mètres, sans qu'aucune pollution ne soit détectée.
- L'arbre BG43 avait mis en évidence une présence importante de PCE (2'801 ppt). Il est situé entre les arbres 17 (à 30 m) et 31 (à 25 m) sur lesquelles du PCE a été mesuré en concentrations significatives avec respectivement 55 et 24 (ppt). Il ne s'agit pas de point chaud sur la présente campagne, contrairement à l'arbre 16 (1'665 ppt) qui est situé à l'amont hydraulique du BG43 (à 90 mètres environ). Ces différents résultats montrent ainsi la présence significative d'HCC que le secteur du Boulevard de la



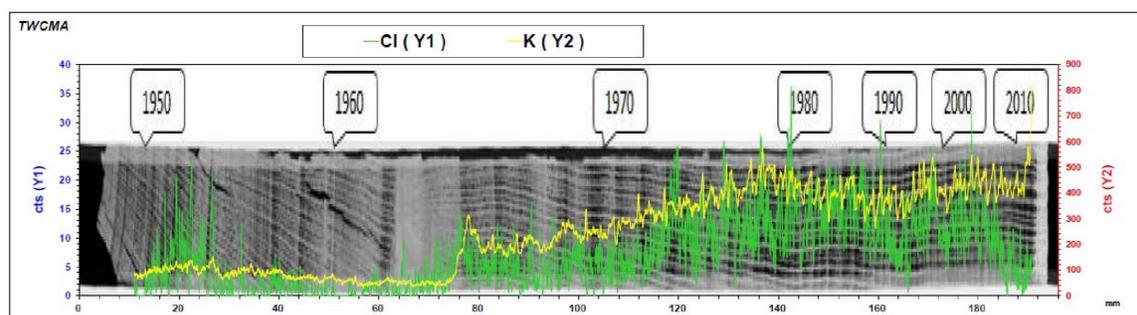
Promenade (source non identifiée, potentiellement rattachée aux fortes teneurs en HCC observées au droit du forage SCG_15726).

En ce qui concerne la dendrochronologie, les données de l'étude réalisée en 2013 sont valorisables mais aucune analyse n'a été faite sur un arbre situé dans la zone d'étude 2019. On relèvera néanmoins que les arbres BG24 et BG28 situés non loin du secteur étudié (voir annexe 5) montraient :

- L'arbre BG28 se trouve en bordure du site pollué n°453.2003.148 (Fiedler SA) dans un contexte hydrogéologique relativement excentré par rapport aux arbres étudiés (selon les directions présumées d'écoulement des eaux souterraines de la nappe superficielle). Il avait enregistré des pics de pollutions en organochlorés en 1988, 1993 et durant l'hiver 2005-2006. Ces pollutions n'ont pas trouvé de correspondance avec celles mises en évidence lors de la présente étude (arbre 31 situé à 325 m) .
- L'arbre BG24 est situé à plus de 230 mètres en aval hydrogéologique de l'arbre 7. Ce dernier, planté autour de 1976, a été impacté par des organochlorés majoritairement lors des années suivantes : 1985, 1990, 1995, 1999 et 2014. Sur l'arbre BG24, la période entre 1972 et 2004 est riche en anomalies de chlore. Il pourrait ainsi exister une relation dans les anomalies de chlore entre ces deux arbres (cf. graphiques ci-dessous) qui pourraient avoir enregistré les mêmes panaches (vitesse d'écoulement de la nappe entre ces deux arbres de l'ordre de 2 à 4 ans).



Profil du chlore sur l'arbre 7



Profils du chlore et du potassium sur l'arbre BG24



6 Recommandations – Suite des opérations

6.1 Fiabilité et représentativité

Les résultats fournis par les laboratoires sont fiables, reproductibles et représentatifs moyennant différentes considérations relatives aux biais :

- influence de la qualité de l'air ambiant au moment des prélèvements ;
- influence de l'infection sur l'arbre 20b ;
- défaut documentaire dans les contrôles qualité liées aux analyses du phytoscreening.

En effet, la campagne de prélèvements et d'analyses a été réalisée selon des processus éprouvés, encadrée de M. Balouet (Environnement International) expert de la méthodologie PIT (Pollution Investigation by Trees). Les prélèvements ont été effectués avant la perte du feuillage, ce qui garantit des résultats représentatifs en phytoscreening.

Les cartographies de la pollution en organochlorés faites par phytoscreening présentent des secteurs sans donnée dans les zones dépourvues d'arbres prélevables (maillage limité de données).

6.2 Mesures pour la suite des opérations

Les données issues du phytoscreening confirment ou révèlent la présence d'HCC dont les concentrations dans le sous-sol influencent la chimie des arbres. Pour rappel, la démarche ne permet pas d'extrapoler les résultats pour estimer les teneurs en polluants dans les terrains ou les eaux souterraines (diagnostic de pollution des terrains ou estimation de l'ampleur de l'atteinte à la qualité des eaux souterraines). Les résultats montrent la présence d'au moins 3 foyers d'hydrocarbures halogénés, dont les sources ne peuvent pas être systématiquement rattachées à des sites pollués inscrits au cadastre cantonal, justifiant des investigations complémentaires :

- Secteur Sud du Boulevard des Promenades - Vieux-Canal - Faïencerie : les résultats montrent, d'amont en aval selon le sens global d'écoulement des eaux souterraines, la présence de fortes concentrations en PCE sur l'arbre 16 (confirmant les données de 2013 de l'arbre BG43), des teneurs importantes en TCE sur l'arbre 24 puis du DCE à l'arbre 7. Potentiellement, ces données montrent la présence d'un panache de contamination d'hydrocarbures halogénés s'écoulant depuis le secteur du Rondeau de Carouge dont la présence de substances chlorées se note dès 1976 sur l'arbre 31 :
 - Etude sectorielle entre le Rondeau de Carouge et le Vieux Canal : investigation historique succincte visant à préciser le potentiel de pollution autour du sondage SCG_15726 (zone source autour du Rondeau de Carouge ?) et définition des investigations techniques à même de préciser le contour de la zone source de pollution et l'atteinte à la qualité de la nappe superficielle.



- Site pollué n°452.2003.135 (Rossi, G.) : les résultats en PCE montrent un pic sur l'arbre 26 implanté sur le site. L'absence de PCE sur l'arbre 10 et les faibles teneurs sur l'arbre 13 confirment une problématique spécifique d'hydrocarbures halogénés sur ce site (pas d'apport depuis l'amont, ni d'influence de la zone source « Rondeau de Carouge - Vieux Canal »). Plus en aval du site Rossi et selon la direction générale d'écoulement des eaux de la nappe superficielle, les teneurs en TCE observées sur l'arbre 20 pourraient potentiellement provenir de la dégradation du PCE issu du site Rossi ou du secteur « Rondeau de Carouge - Vieux Canal ». Les investigations techniques actuellement en cours sur ce site pourraient permettre de définir le panache de pollution / contamination pour le site Rossi au sens de l'art. 9 OSites. A ce stade et selon les résultats de phytoscreening, le panache d'hydrocarbures halogénés ne semble pas se propager à plus de 100 m à l'aval du site.
- Le pic en DCE mesuré sur l'arbre 28 à la rue de la Tannerie semble totalement déconnecté des autres observations. Sur cette base, l'origine de cette signature doit probablement provenir d'une source de pollution différente de celles mentionnées ci-dessus (« Rondeau de Carouge - Vieux Canal » et site pollué n°452.2003.135 Rossi). A notre connaissance, le site 452.2000.001 de chromage Tettamanti assaini en 2011 présentait une problématique uniquement de chrome hexavalent et ne pourrait pas expliciter ce pic de DCE. Le site pollué Tempia n° 452.2003.136 ne semble également pas en mesure d'expliquer ce pic en raison des directions d'écoulement des eaux souterraines et que les substances polluantes majeures concernent des chlorométhanés (chloroforme).

6.3 Conclusions de l'auteur

Les méthodes de phyto-forensie environnementales que sont le phytoscreening et la dendrochronologie ont permis de mettre en évidence de nombreuses interactions entre les arbres du secteur du Vieux-Carouge et des substances organochlorées et d'en dater les apports.

L'origine des pollutions n'a pas toujours pu être identifiée précisément. Le fait que les panaches mis en évidence puissent être le fruit de remobilisation d'anciennes pollutions à la faveur de travaux de terrassement complique l'identification des sources et des responsables de la pollution.

Néanmoins, sur la base des résultats du phytoscreening, il apparaît qu'un panache de PCE se développe à partir du site pollué n°452.2003.135 (Rossi, G.). Des investigations complémentaires, au moyen de forages carotés, sont actuellement entreprises afin de quantifier les atteintes à la nappe de Carouge-La Praille et de déterminer s'il y a lieu de procéder à une éventuelle surveillance ou un éventuel assainissement selon l'OSites.

Le phytoscreening a également permis de mettre en évidence des pollutions en organochlorés sur la rue du Vieux-Canal et en aval de celle-ci, confirmant les résultats de 2013. Dans ce cadre, une investigation sectorielle ciblée autour du Rondeau de Carouge et le long de l'ancien canal permettrait d'identifier la source de pollution (proche de SCG_15726 ?) et définir



les atteintes à la qualité des eaux souterraines de la nappe superficielle de Carouge-La Praille.

6.4 Investigation complémentaire

Les chapitres précédents mentionnent les démarches supplémentaires permettant de caractériser l'atteinte à la qualité des eaux souterraines de la nappe superficielle de Carouge-La Praille par des hydrocarbures halogénés au droit des deux secteurs source d'hydrocarbures halogénés identifiés (« Rondeau de Carouge et Vieux Canal » et « Ancienne blanchisserie Rossi »). Ces propositions n'intègrent aucune investigation complémentaire en lien avec la méthodologie utilisée dans le cadre de la présente étude en raison du manque d'arbres représentatifs permettant d'affiner les données acquises par phytoscreening et dendrochronologie. Seul un échantillon sur l'arbre 26 situé au droit du foyer de pollution du site 452.2003.135 pourrait potentiellement confirmer que la venue d'HCC est synchrone à la période d'activité de l'ancienne blanchisserie.

Petit-Lancy, le 25 mars 2020

Hydro-Géo Environnement Sàrl

Jérôme Berthoud

Florian Châtelain (CP)



Liste des annexes

- Annexe 1a** Contexte environnemental général (1 : 3'000)
- Annexe 1b** Plan de situation des arbres échantillonnés (1 : 3'000)
- Annexe 2** Datation des arbres 20a et 20b sur la base d'orthophotos historiques
- Annexe 3** Contrôle qualité du laboratoire
- Annexe 4** Cartographie de la répartition du PCE, TCE et DCE
- Annexe 5** Cartographie de la répartition des « arrivées » d'HCC sur les arbres analysés par dendrochronologie
- Annexe 6** Fiches de terrain



Orthophotos de 1996 (source SITG): les arbres sont massifs dans la cour de l'école Jacques-Dalphin



Orthophotos de 1998 (source Swisstopo): de nouveaux arbres ont été transplantés dans la cour de l'école Jacques-Dalphin par rapport à l'image de 1996

Etude de Phytoscreening et dendrochimie / Secteur du Vieux-Carouge

Annexe n°2 - Datation des arbres 20a et 20b sur la base d'orthophotos historiques

Dessin: FC

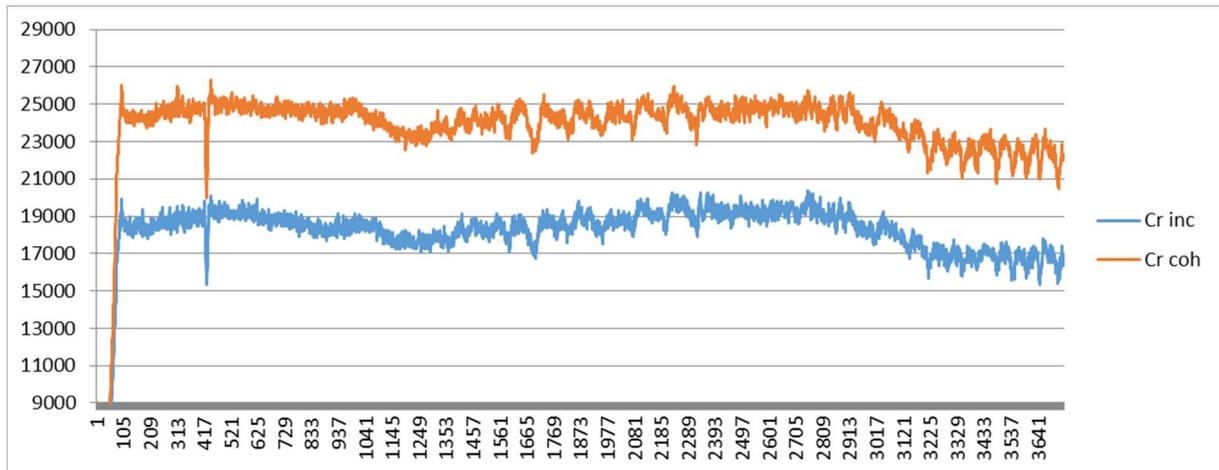
Date: 27.02.20



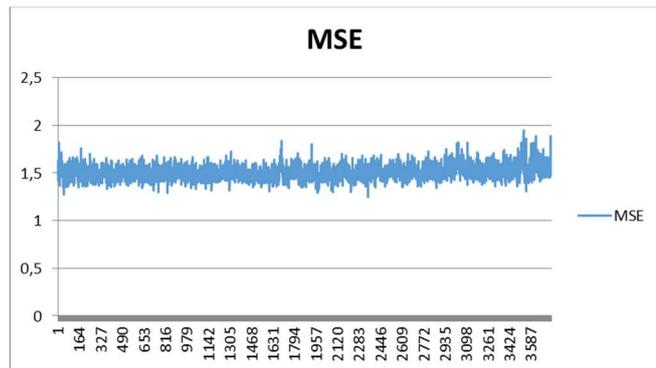
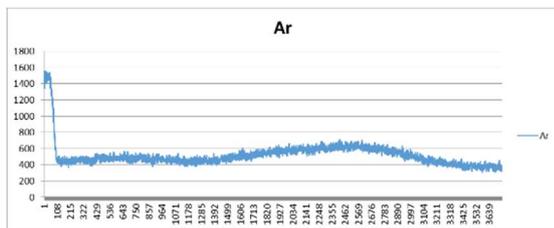
Annexe 3 Contrôle-qualité du laboratoire

Arbre 1

Comptes cohérents et incohérents :

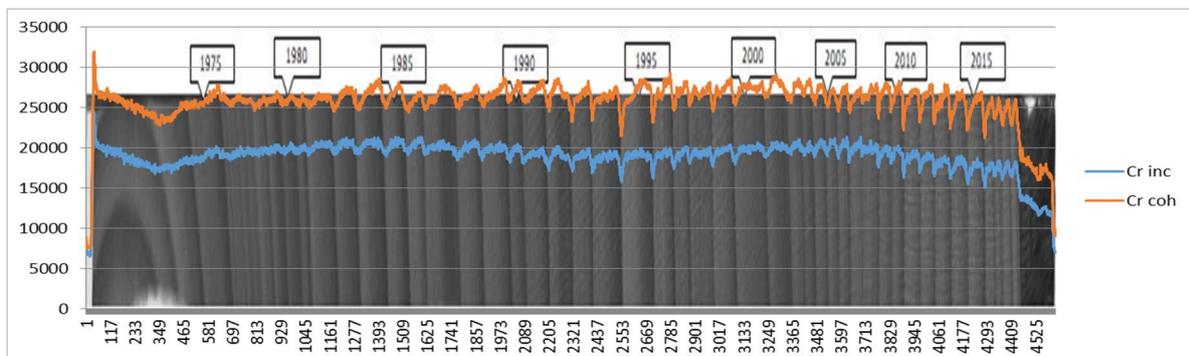


Les profils de l'argon et celui de l'erreur quadratique moyenne :

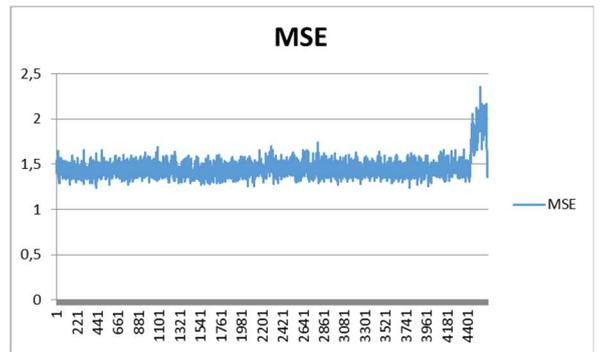
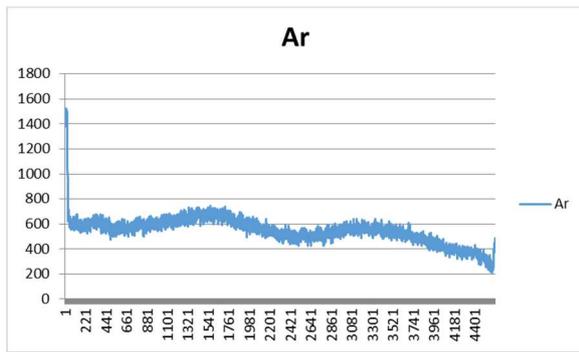


Arbre 7

Comptes cohérents et incohérents :

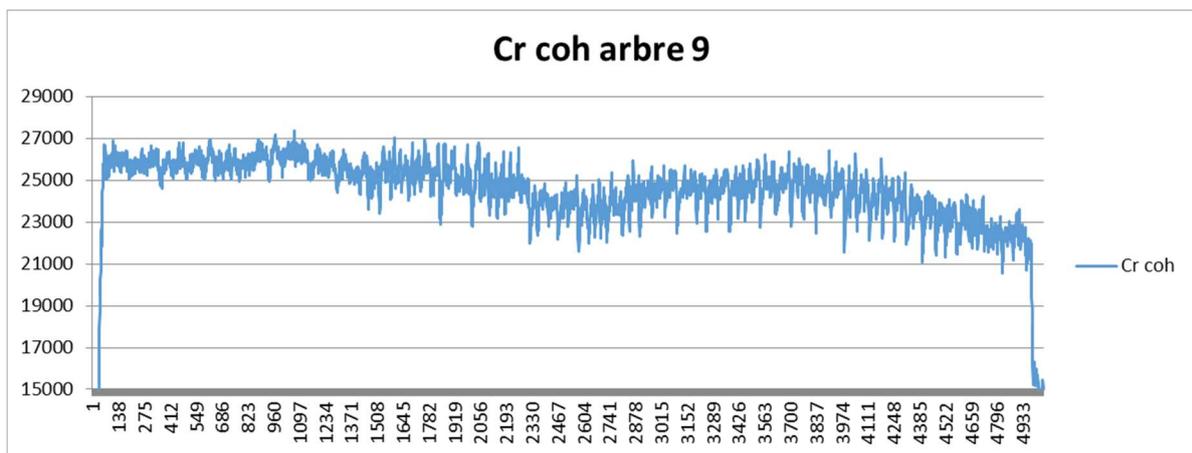


Les profils de l'argon et celui de l'erreur quadratique moyenne :

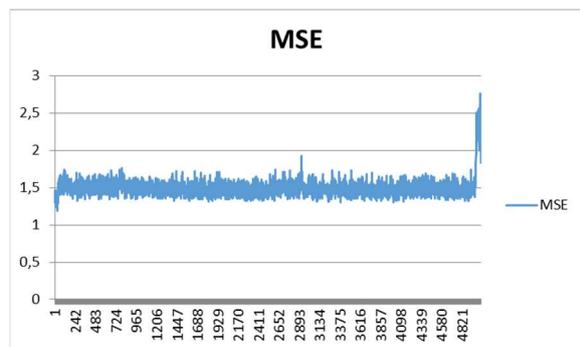
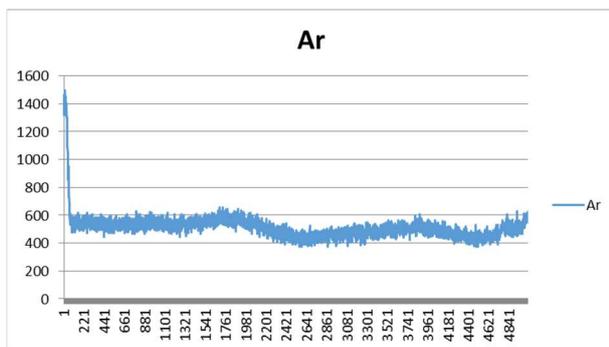


Arbre 9

Comptes cohérents et incohérents :

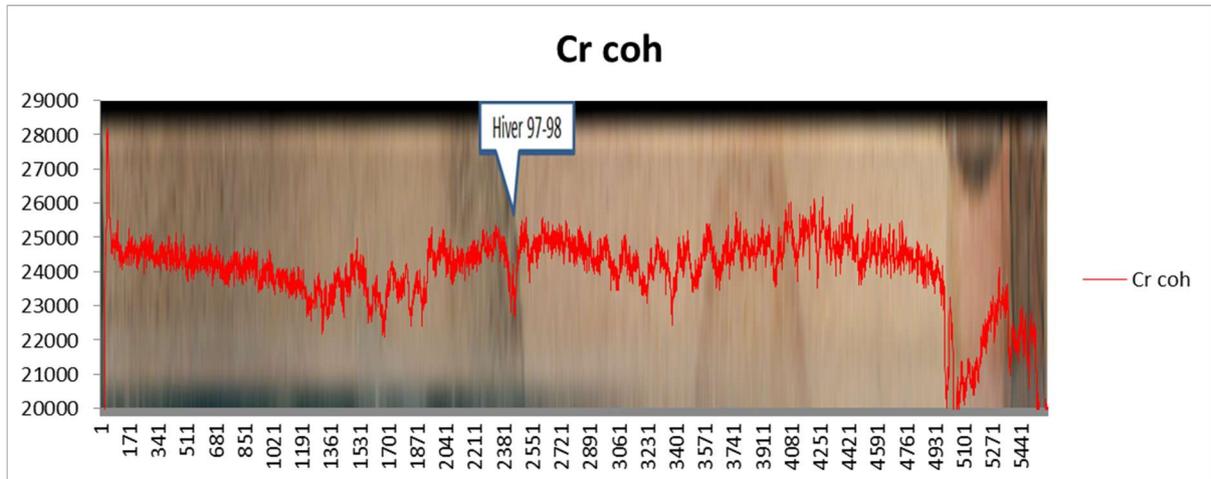


Les profils de l'argon et celui de l'erreur quadratique moyenne :

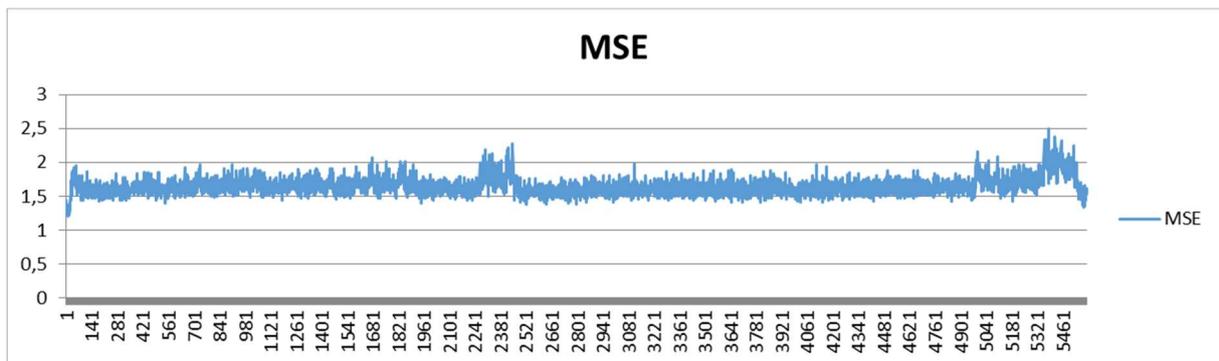


Arbre 20b

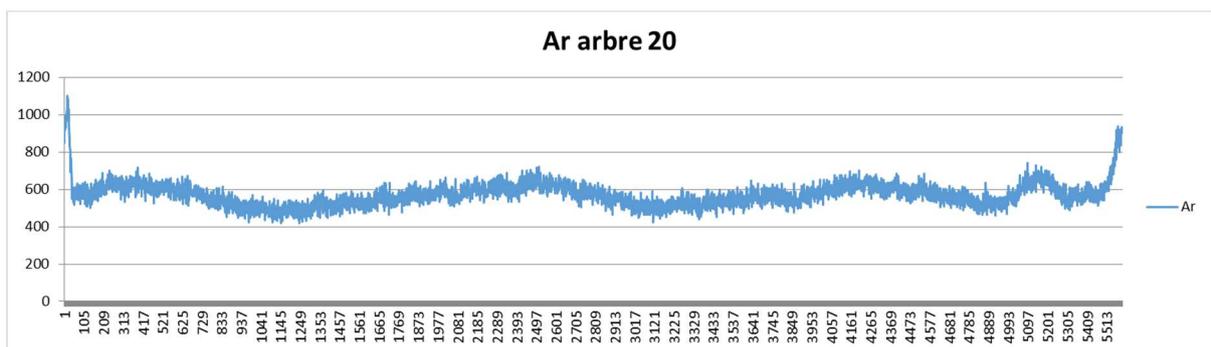
Comptes cohérents :



Erreur quadratique moyenne :

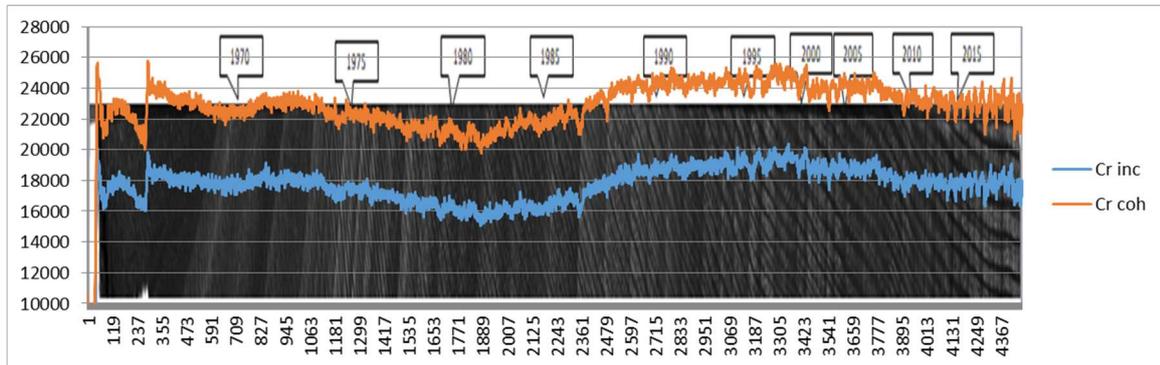


Argon :

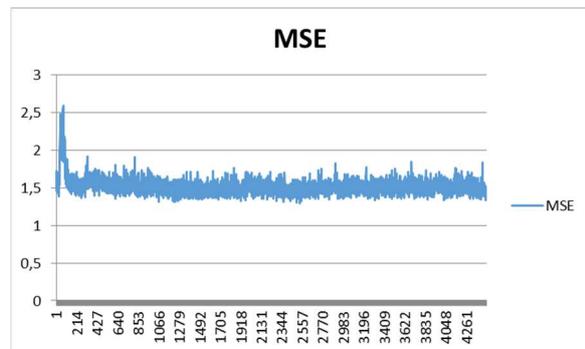
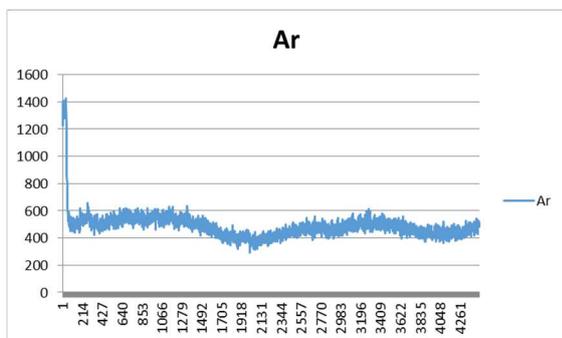


Arbre 31

Comptes cohérents et incohérents :



Les profils de l'argon et celui de l'erreur quadratique moyenne :





REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

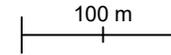
1697 Evaluation de la répartition des HCC dans l'environnement et datation

Vieux Carouge - Phyto-screening et dendrochronologie

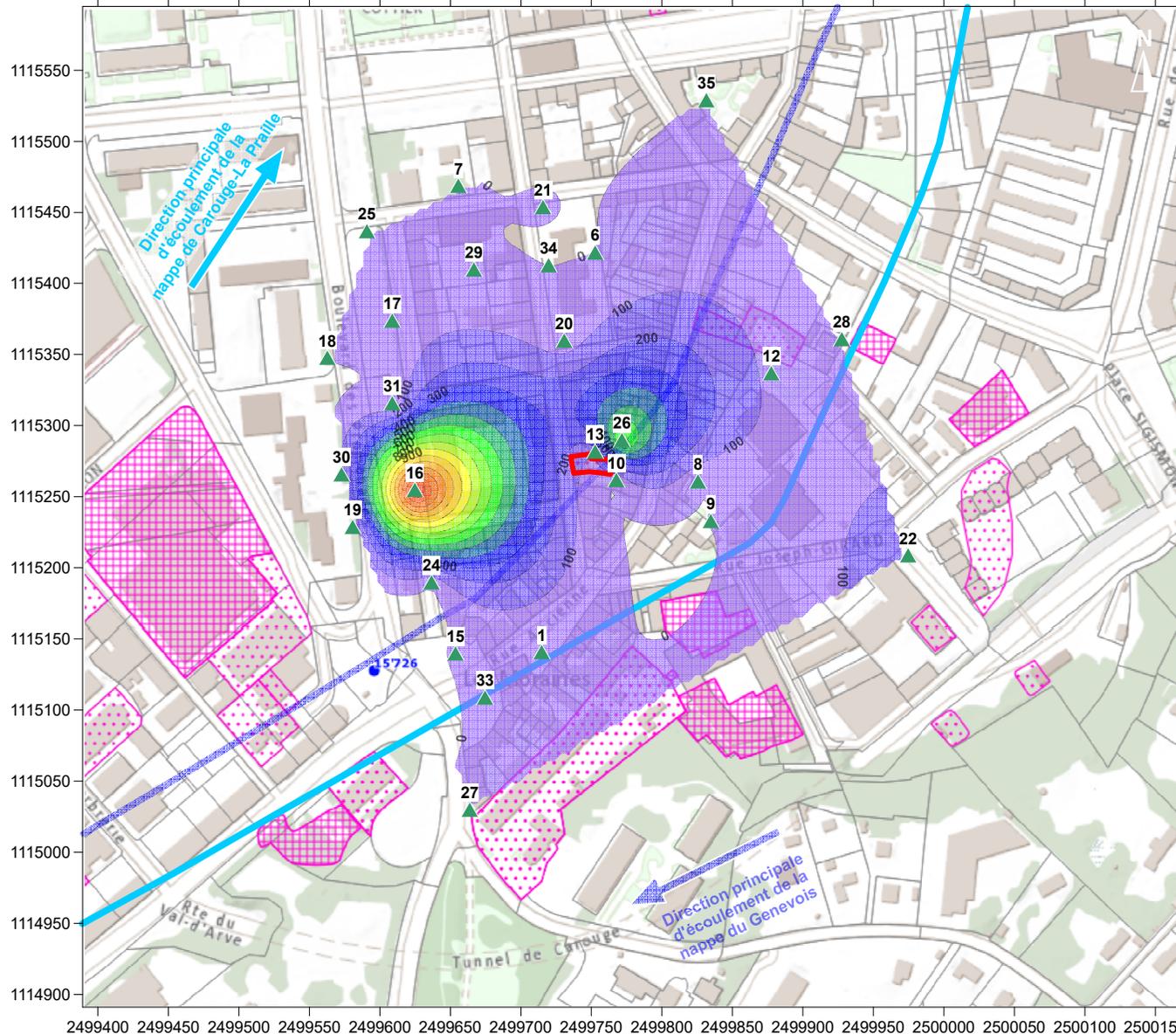
ANNEXE 4a : Cartographie de la répartition perchloréthylène (PCE)

Dessin : PP

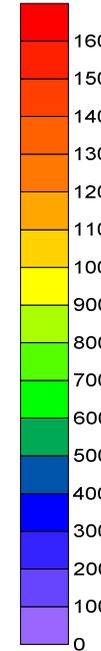
Date : 25.03.2020



Chemin du Fief-de-Chapitre 7
1213 Petit-Lancy (GE)
+41 (0)22 301 15 39
www.hydro-geo.ch | info@hydro-geo.ch



Teneur en PCE
dans les arbres
(ppt)



N° arbre	PCE (ppt)
1	14
6	Non quantifié
7	4
8	6
9	2*
10	6
12	78
13	99
15	18
16	1'665
17	55
18	3
19	12
20a	40

N° arbre	PCE (ppt)
21	4
22	169
24	9
25	14
26	761
27	29
28	2*
29	8
30	67
31	24
33	21
34	Non quantifié
35	2*

* = non significatif

▲ Arbres échantillonnés

▭ Site pollué n°452.2003.135 (Ancienne Blanchisserie)

Autres sites pollués inscrits au cadastre cantonal

▭ Pollué

▭ A surveiller

▭ Contaminé

— Limite d'extension de la nappe de Carouge-La Praille

— Limite d'extension de la nappe du Genevois

● Piézomètre SCG 15726



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

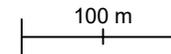
1697 Evaluation de la répartition des HCC dans l'environnement et datation

Vieux Carouge - Phyto-screening et dendrochronologie

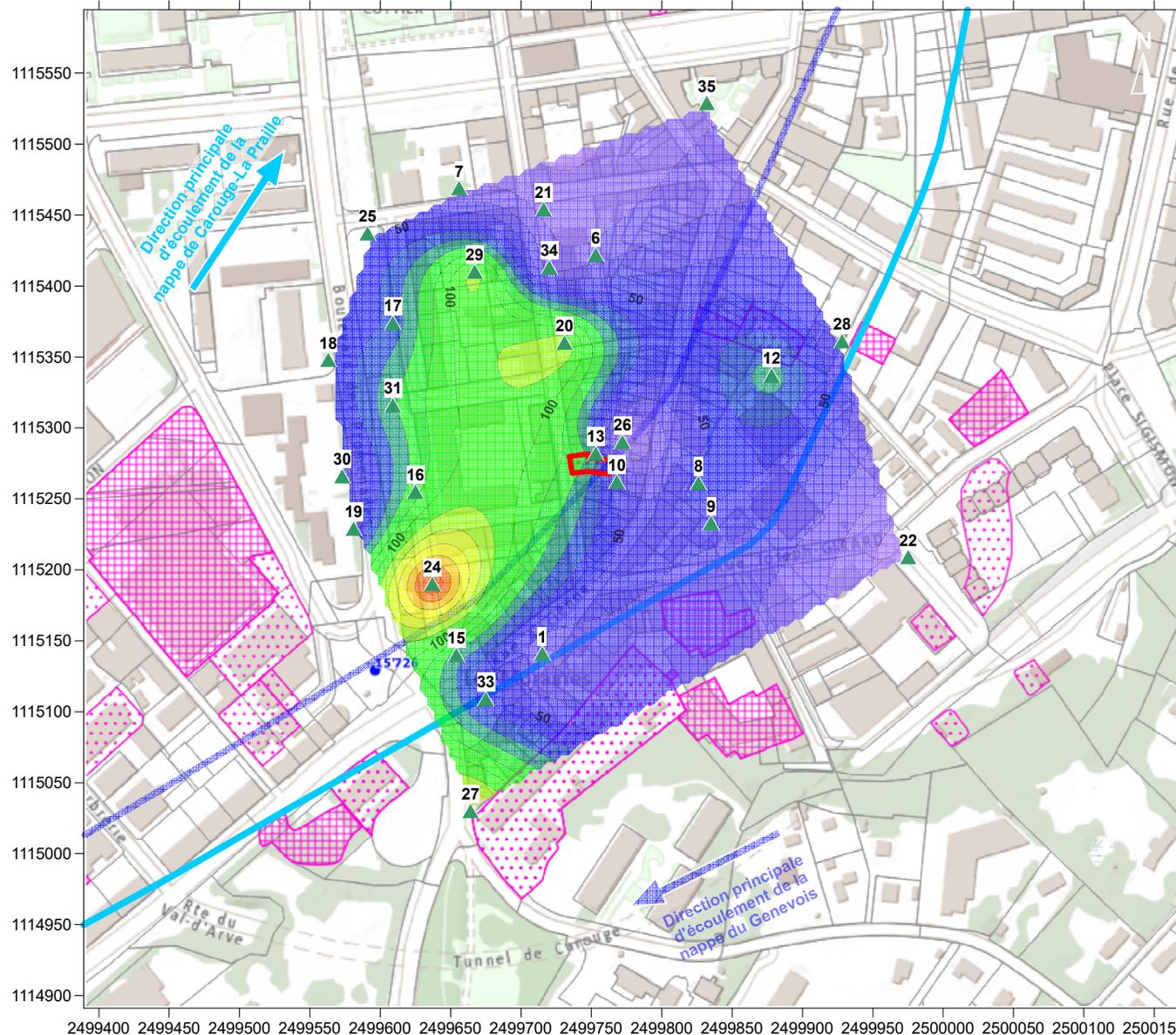
ANNEXE 4b : Cartographie de la répartition trichloréthylène (TCE)

Dessin : PP

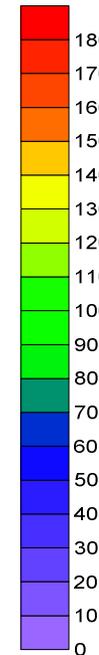
Date : 25.03.2020



Chemin du Fief-de-Chapitre 7
1213 Petit-Lancy (GE)
+41 (0)22 301 15 39
www.hydro-geo.ch | info@hydro-geo.ch



Teneur en TCE
dans les arbres
(ppt)



N° arbre	TCE (ppt)
1	27*
6	25*
7	18*
8	56
9	44*
10	44*
12	76
13	76
15	73
16	87
17	62
18	53
19	42*
20a	120

N° arbre	TCE (ppt)
21	17*
22	Non détecté
24	174
25	47
26	Non détecté
27	137
28	40*
29	116
30	35*
31	79
33	54
34	24*
35	18*

* = non significatif

▲ Arbres échantillonnés

▭ Site pollué n°452.2003.135 (Ancienne Blanchisserie)

Autres sites pollués inscrits au cadastre cantonal

▭ Pollué

▭ A surveiller

▭ Contaminé

— Limite d'extension de la nappe de Carouge-La Praille

— Limite d'extension de la nappe du Genevois

● Piézomètre SCG 15726



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

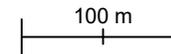
1697 Evaluation de la répartition des HCC dans l'environnement et datation

Vieux Carouge - Phyto-screening et dendrochronologie

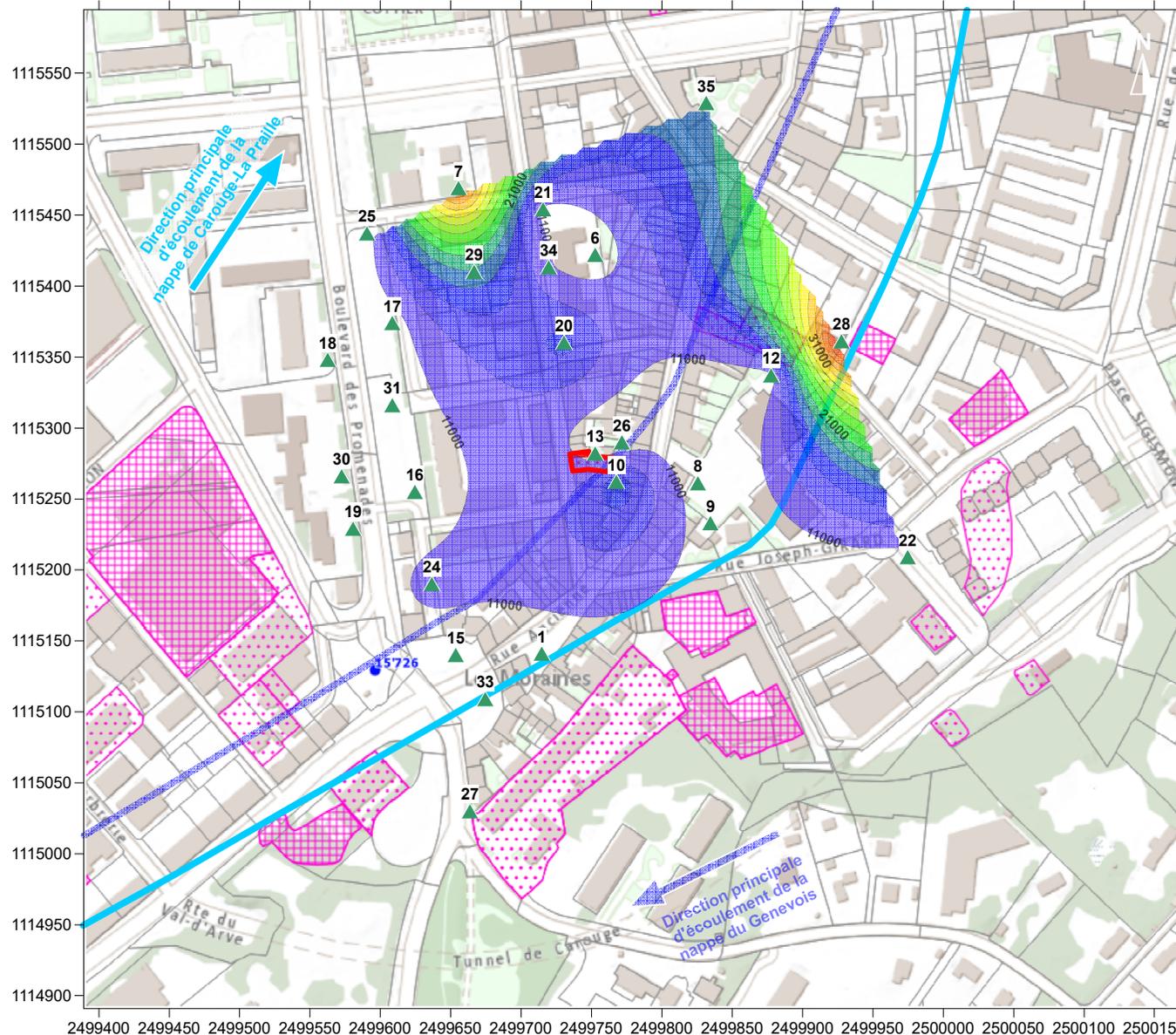
ANNEXE 4c : Cartographie de la répartition dichloréthylène (DCE)

Dessin : PP

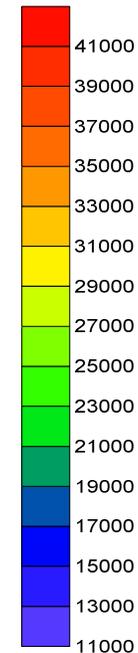
Date : 25.03.2020



Chemin du Fief-de-Chapitre 7
1213 Petit-Lancy (GE)
+41 (0)22 301 15 39
www.hydro-geo.ch | info@hydro-geo.ch



Teneur en DCE
dans les arbres
(ppt)



N° arbre	DCE (ppt)
1	Non détecté
6	Non quantifié
7	37'869
8	Non quantifié
9	Non quantifié
10	16'661
12	Non quantifié
13	Non quantifié
15	Non quantifié
16	Non détecté
17	Non quantifié
18	Non détecté
19	Non détecté
20a	15'769

N° arbre	DCE (ppt)
21	Non détecté
22	Non détecté
24	11'460
25	Non quantifié
26	Non détecté
27	Non quantifié
28	42'128
29	18'648
30	Non quantifié
31	Non détecté
33	Non détecté
34	11'293
35	18'744

* = non significatif

▲ Arbres échantillonnés

▭ Site pollué n°452.2003.135 (Ancienne Blanchisserie)

Autres sites pollués inscrits au cadastre cantonal

▭ Pollué

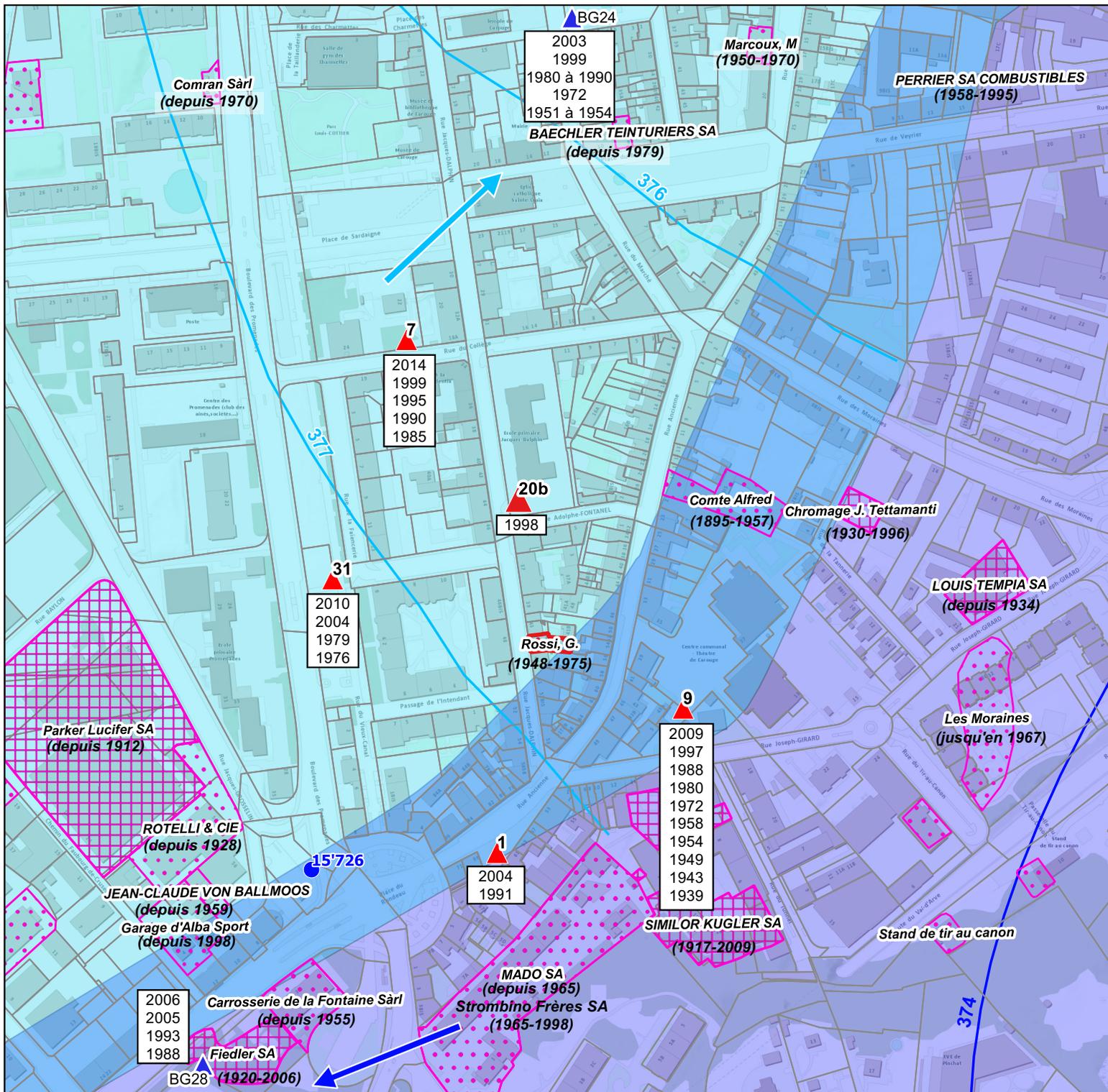
▭ A surveiller

▭ Contaminé

— Limite d'extension de la nappe de Carouge-La Praille

- - - Limite d'extension de la nappe du Genevois

● Piézomètre SCG 15'726



1637 Evaluation de la répartition des HCC dans l'environnement et datation

Vieux-Carouge
Phyto-screening et dendrochronologie

ANNEXE 5 Cartographie des "arrivées" de HCC sur les arbres analysés par dendrochronologie

- Parcelles
- Nappe de Carouge-La Praille
- Nappe du Genevois
- Isopièzes**
- Nappe de Carouge-La Praille
- Nappe du Genevois
- Direction principale d'écoulement de la nappe de Carouge-La Praille
- Direction principale d'écoulement de la nappe du Genevois
- Piézomètre SCG 15'726
- Site pollué n°452.2003.135, Ancienne Blanchisserie (avec période d'activité)
- Autres sites pollués inscrits au cadastre cantonal (avec période d'activité)**
- Pollué
- A surveiller
- Contaminé
- Abres analysés par dendrochronologie**
- Présente étude
- Etudes antérieures
- | |
|------|
| 2004 |
| 1991 |
| ... |

 Années concernées par une arrivée de HCC enregistrée dans les arbres

Dessin : PP
Date : 25.03.2020
Echelle : 1:3'500 (A4)

Annexe 6

Fiches de terrain

terrain Carouge

20 sept 19

Participants : Balouet, Châtelain

Arbre # : 33 espèce Platane

Latitude : $46^{\circ}10'47.7''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'21.5''$ E

Circonférence arbre : 2,8 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 15 espèce Platane

Latitude : $46^{\circ}10'48.7''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'21.0''$ E

Circonférence arbre : 2,5 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : ~~15~~ 1 espèce Tilia Cordata

Latitude : $46^{\circ}10'49.1''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'23.7''$ E

Circonférence arbre : 2,55 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Fiche terrain Carouge

Date : 20 sept 19

Participants : Balouet,

Châtelain

Arbre # : 34 espèce *Cerisier japonais*

Latitude : $46^{\circ}10'57.7''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'23.3''$ E

Circonférence arbre : 0,75

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 21 espèce *Platane*

Latitude : $46^{\circ}10'58.9''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'23.3''$ E

Circonférence arbre : 1,2

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 6 espèce *Platane*

Latitude : $46^{\circ}10'57.8''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'24.7''$ E

Circonférence arbre : 1,25

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre #: 22 espèce *Boxelder*
Latitude: $46^{\circ}10'51.4''$ N Longitude: $006^{\circ}08'35.4''$ E
Circonférence arbre: 1,5 m Longueur carotte échantillon:
Autres notes (distance source/point chaud):

Arbre #: 10 espèce *Noyer juglans*
Latitude: $46^{\circ}10'52.9''$ N Longitude: $006^{\circ}08'25.6''$
Circonférence arbre: 0,9 m Longueur carotte échantillon:
Autres notes (distance source/point chaud):

Arbre #: 13 espèce *Liquidambar styraciflua*
Latitude: $46^{\circ}10'53.4''$ Longitude: $006^{\circ}08'25.1''$
Circonférence arbre: 0,9 m Longueur carotte échantillon:
Autres notes (distance source/point chaud):

Arbre #: 20 espèce *Platane*
Latitude: $46^{\circ}10'56.1''$ N Longitude: $006^{\circ}08'29.2''$
Circonférence arbre: 1,10 Longueur carotte échantillon:

Arbre # : ^{Air 1}_{à proximité} arbre 13 espèce

Latitude :

Longitude :

Circonférence arbre :

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 31 espèce *Platanus*

Latitude : $46^{\circ}10'54.4''$ N

Longitude : $006^{\circ}08'13.0''$

Circonférence arbre : 1,9

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 17 espèce *Platanus*

Latitude : 46.18236

Longitude : 006.13014

Circonférence arbre : 2,10 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 25 espèce *Platanus*

Latitude : 46.18250

Longitude : 006.13821

Circonférence arbre : 2,20 m

Longueur carotte échantillon :

Fiche terrain Carouge

Date : 20 sept 19

Participants : Buet,

Chiletain

Arbre # : 7 espèce *Tilia cf cordata*

Latitude : 46.18322

Longitude : 006.13909

Circonférence arbre : 1,55 Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 35 espèce *Tilia cf cordata*

Latitude : 46.18378

Longitude : 006.14135

Circonférence arbre : 1,30 Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 26 espèce *Platanus*

Latitude : 46.18159

Longitude : 006.14068

Circonférence arbre : 1,45 Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : ^{arbre 2 g} _{à proximité} espèce
Latitude : ^{arbre 26} 46.18153

Longitude : 006.14068

Circonférence arbre :

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 8 espèce *Platanus*

Latitude : 46.18138

Longitude : 006.14127

Circonférence arbre : 2,4 m Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 9 espèce *Platanus*

Latitude : 46.18099

Longitude : 006.14145

Circonférence arbre : 3,7 m Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 23 espèce *Non retenu*

Latitude :

Longitude :

Circonférence arbre :

Longueur carotte échantillon :

Fiche terrain Carouge

Date : 20 sept 19

Participants : Balouet, *Chatelain*

Arbre # : *32* espèce *Non retenu*

Latitude :

Longitude :

Circonférence arbre :

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : *11* espèce *Non retenu*

Latitude : ~~46.18204~~

Longitude : ~~006.14200~~

Circonférence arbre :

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : *12* espèce *Catalpa*

Latitude : *46.18204*

Longitude : *006.14200*

Circonférence arbre : *3*

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 28 espèce *Quercus platanoides*
Latitude : 46.18225 Longitude : 006.14262
Circonférence arbre : 1,2 Longueur carotte échantillon :
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 29 espèce *Betula (bouleau)*
Latitude : 46.18257 Longitude : 006.13903
Circonférence arbre : 1,2 m Longueur carotte échantillon :
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : Air.3
à côté arbre #31 espèce
Latitude : Longitude :
Circonférence arbre : Longueur carotte échantillon :
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 18 espèce *Box helder*
Latitude : ~~46.18225~~ 46.18224 N Longitude : 006.13783 E
Circonférence arbre : 1,65 Longueur carotte échantillon :

Arbre # : 24 espèce érable japonais 08334
Latitude : 46.10838 N Longitude : 006.5107
Circonférence arbre : 250m Longueur carotte échantillon : 08334
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 27 espèce fagus sylvaticus
Latitude : 46.10752 Longitude : 006° 08.362
Circonférence arbre : Longueur carotte échantillon :
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : espèce
Latitude : Longitude :
Circonférence arbre : Longueur carotte échantillon :
Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : espèce
Latitude : Longitude :
Circonférence arbre : Longueur carotte échantillon :

Fiche terrain Carouge

Date : 20 sept 19

Participants : Balouet,

Châblain

Arbre # : 30

espèce

Betula

Latitude : 46.18158 N

Longitude :

006.13802 E

Circonférence arbre : 0,90 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 19

espèce

Betula

Latitude : 46.10863 N

Longitude :

006.08293

Circonférence arbre : 0,80 m

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :

Arbre # : 16

espèce

Platanus

Latitude : 46.10879

Longitude :

006.08319

Circonférence arbre : 1,10

Longueur carotte échantillon :

Autres notes (distance source/point chaud) :
