



**HAL**  
open science

# Transfert de COV du sol vers l'air : outils et illustration de la variabilité des impacts dans l'air intérieur. Guide FLUXOBAT

Sylvie Traverse, Corinne Hulot, Karen Perronnet, Bernard Collignan

## ► To cite this version:

Sylvie Traverse, Corinne Hulot, Karen Perronnet, Bernard Collignan. Transfert de COV du sol vers l'air : outils et illustration de la variabilité des impacts dans l'air intérieur. Guide FLUXOBAT. 3. Rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués, Nov 2014, Paris, France. ineris-01863925

**HAL Id: ineris-01863925**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01863925>**

Submitted on 29 Aug 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Transfert de COV du sol vers l'air : outils et illustration de la variabilité des impacts dans l'air intérieur

## Guide FLUXOBAT

Sylvie TRAVERSE<sup>1</sup>, Corinne HULOT<sup>2</sup>, Karen PERRONNET<sup>2</sup>, Bernard COLLIGNAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : BURGEAP, Direction Recherche et Développement, 19 rue de la Villette, 69425 Lyon Cedex 03,  
s.traverse@burgeap.fr,

<sup>2</sup> : INERIS, Direction des risques chroniques, Parc Technologique ALATA - BP2 60550 Verneuil en Halatte,  
corinne.hulot@ineris.fr, karen.perronnet@ineris.fr

<sup>3</sup> : CSTB, Division Santé Confort, 24, rue Joseph Fourier, F-38400 Saint-Martin d'Hères, France,  
bernard.collignan@cstb.fr

### Résumé

En France, la gestion des sites et sols pollués repose sur le principe de gestion suivant l'usage, et se décline par les documents méthodologiques de février 2007 [2] et les prestations encadrées par la norme NF X 31-620 [1]. En présence de composés organiques volatils (COV) dans les sols (hydrocarbures pétroliers, organo-halogénés aliphatiques et aromatiques, organo-solubles, etc.), leur transfert vers l'air et les concentrations induites dans l'air (et plus particulièrement l'air intérieur) constituent une part significative de l'impact du passif environnemental du site.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet FLUXOBAT [3] ont eu pour objectifs de préciser les outils pouvant être déployés pour évaluer l'éventuelle contribution de la pollution des sols à la dégradation de la qualité de l'air intérieur et extérieur. Ces outils regroupent les *outils métrologiques* (de concentrations, de flux ou de paramètres physiques) et les *outils de modélisation* des transferts et des concentrations résultantes. Le guide méthodologique [3], relatif à *l'évaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur*, rédigé dans le cadre du projet reprend, en fonction des objectifs, les recommandations quant au déploiement des différents outils.

Les recommandations formulées pour les diagnostics de la qualité de l'air intérieur reposent en partie sur les expérimentations sur le site atelier du projet. Les mesures présentées ont été réalisées en 2012 et 2013 à différentes périodes. En lien avec les conditions météorologiques et de chauffage, des variations significatives de concentrations dans l'air intérieur ont été mesurées. Les résultats obtenus appuient la nécessité, pour l'évaluation des expositions des populations, d'une intégration temporelle des concentrations dans l'air relativement longue et la multiplicité des campagnes (en particulier en conditions de chauffage). Ils mettent également en avant le besoin de connaître les paramètres d'influence afin d'interpréter les mesures.

### Introduction

A l'heure actuelle, dans le domaine des sites et sols pollués, les mesures de concentrations dans l'air intérieur sont réalisées dans le cadre de prestations de type *Interprétation de l'Etat des Milieux* (IEM, [4]) faisant référence aux risques sanitaires chroniques pour les populations associés à des expositions moyennes sur de longues périodes (supérieures à un an pour les polluants à seuil d'effet et vie entière pour les polluants sans seuil d'effet). Elles peuvent également être réalisées dans le cadre de *Plan de Gestion* (PG, [2]) pour comprendre et dimensionner les mesures de gestion à déployer (dépollution, limitation des transferts, dilution accrue...). Dans ces différentes prestations, la représentativité temporelle des mesures de concentrations dans l'air intérieur est une question fondamentale.

Si la réglementation impose des durées de prélèvement pour la surveillance des établissements recevant du public [5], les pratiques actuelles dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués sont hétérogènes, à la fois sur la durée des prélèvements (pouvant varier d'une heure à plusieurs jours) et la fréquence des campagnes.

Sur le site atelier du projet FLUXOBAT, l'acquisition de données sur la pollution du milieu souterrain par du perchloroéthylène (PCE) et des paramètres physiques prédominants dans les transferts vers l'air intérieur a constitué la base des travaux présentés ici, appuyés également par des simulations numériques. Ces travaux s'attachent à mettre en évidence l'impact de facteurs d'influence que sont le chauffage, le vent, la pression atmosphérique et la pluie sur les concentrations dans l'air intérieur.

### Matériel et méthodes

Dans le cadre du projet FLUXOBAT, la compréhension des phénomènes de transfert a été menée à trois échelles : i) à l'échelle du laboratoire (caractérisation des transferts à travers les bétons et sa modélisation), ii) à l'échelle de deux plateformes expérimentales : le bassin SCERES du LHYGES et la maison

expérimentale MARIA du CSTB et enfin iii) à l'échelle d'un site atelier où une pollution concentrée en PCE est présente dans les sols.

Les mesures de concentrations dans l'air intérieur du site atelier sont présentées ici. Le bâtiment concerné de 167 m<sup>2</sup> a été utilisé pour le traitement de surface jusqu'en 1997 (volume 840 m<sup>3</sup>), il est perméable à l'air (I<sub>4</sub> entre 21 et 25 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>), équipé d'une extraction mécanique d'air (renouvellement d'air minimal de 1 h<sup>-1</sup>) et de convecteurs soufflants. La dalle recouvrant le sol, vraisemblablement de type dallage indépendant, est visuellement en mauvais état, sa perméabilité globale a été mesurée in situ entre à 5.10<sup>-14</sup> et 2.10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>.

Sous une partie du bâtiment, du PCE est présent sous forme de phase organique générant un panache gazeux qui s'étend au-delà de son emprise. Les concentrations dans les gaz de sol sous la dalle sont comprises entre 0,6 et 522 mg/m<sup>3</sup> (à une profondeur de 30 cm dans les remblais).

Les mesures de concentrations en PCE dans l'air intérieur ont été réalisées d'une part à l'aide de mesures ponctuelles (prélèvements actifs d'une durée de 2 heures sur des supports adsorbants de type tenax) sur 5 mâts de l'atelier à 10, 50, 150 et 250 cm au-dessus de la dalle lors de deux campagnes (juin 2012 et mars 2012). D'autre part, des mesures en continu (pas de 15 à 30 secondes) ont été réalisées en février et mai 2013, avec un détecteur par photoionisation (PID mini RAE) placé au centre de l'atelier à 10 cm au-dessus de la dalle. Les concentrations mesurées sont exprimées en équivalent PCE par l'application de facteurs correctifs. L'une de ces campagnes (4 au 7 février 2013) se caractérise par le chauffage déployé dans l'atelier et l'autre (4 au 17 mai 2013) par son absence. L'ensemble des données sont décrites dans [3].

Parallèlement, un modèle numérique nodal de calcul de la ventilation d'un bâtiment développé par le CSTB (SIREN) a été utilisé pour simuler les variations des paramètres physiques (renouvellement d'air, niveaux de dépression) du bâtiment en fonction des conditions météorologiques sur une année.

## Résultats et discussion

En l'absence de dépression entre l'air intérieur et l'air des sols, le moteur du transfert de la pollution vers l'air est la diffusion à travers la dalle. En présence d'un tirage thermique ou de vent sur les parois une différence de pression peut être occasionnée conduisant à un transfert également convectif. En particulier, l'effet du vent, du gradient thermique et de la pluie est visible sur la figure 1.

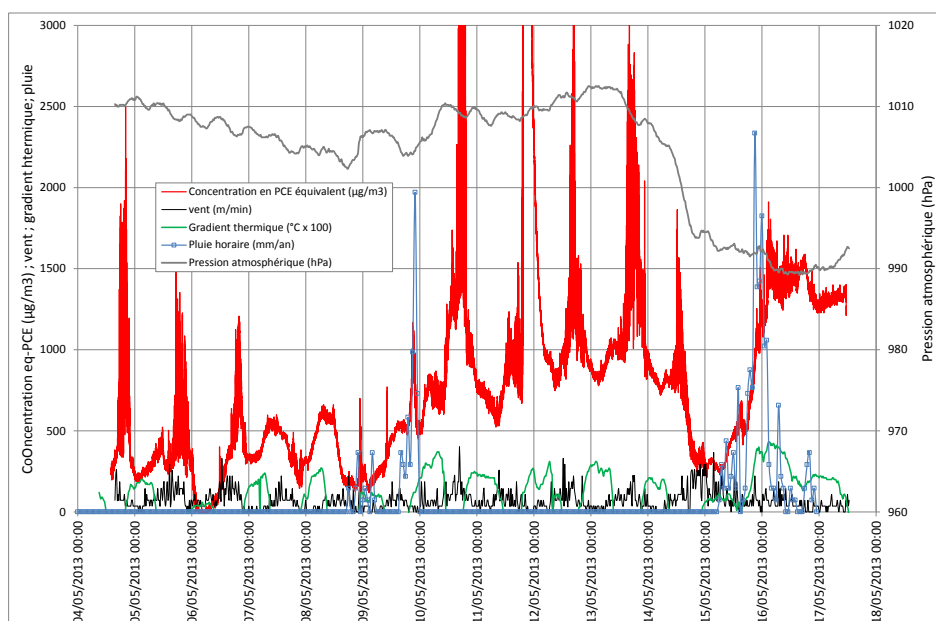


Figure 1 : Effet du vent et de la pluie sur les concentrations en eq-PCE dans l'air intérieur du site atelier FLUXOBAT

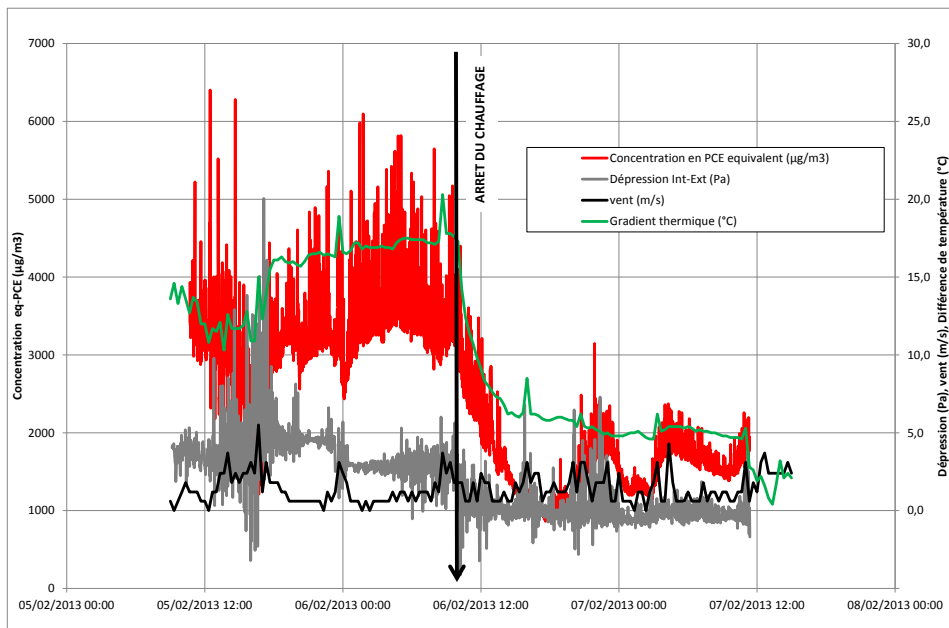
Lors de cette campagne, les gradients thermiques sont restés faibles (inférieurs à 4°C) et les conditions de pressions barométriques dépressionnaires avant les épisodes pluvieux et relativement stables entre ces événements. Les variations des concentrations dans l'air intérieur au cours d'une journée peuvent-être associées aux épisodes de vent (courbe noire) générant une dépression ou une surpression vis-à-vis de l'air extérieur en fonction de ses directions et une augmentation du renouvellement d'air. Par ailleurs, les augmentations de concentrations nocturnes peuvent être associées aux conditions stables à neutres mesurées conduisant à une accumulation de la pollution proche de la surface du sol.

Autour du bâtiment, la pluie, lors de son infiltration, conduit à une surpression des gaz du sol produisant un effet de chasse des polluants vers les zones plus perméables. La pluie modifie par ailleurs la saturation en

eau des sols alentour du bâtiment limitant sa diffusion dans cette direction. Sur le site atelier, compte tenu de la présence de phase organique sous l'atelier, en période de pluie, le débit massique de polluant vers l'air intérieur est théoriquement augmenté. Les épisodes pluvieux (courbe bleu en figure 1) confirment cette incidence : la pluie du 9 mai (17 mm) et celle du 15 mai (28 mm) conduisent à des augmentations de la concentration en PCE respectivement de 300 à 800  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$  et de 300 à 1300  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$ .

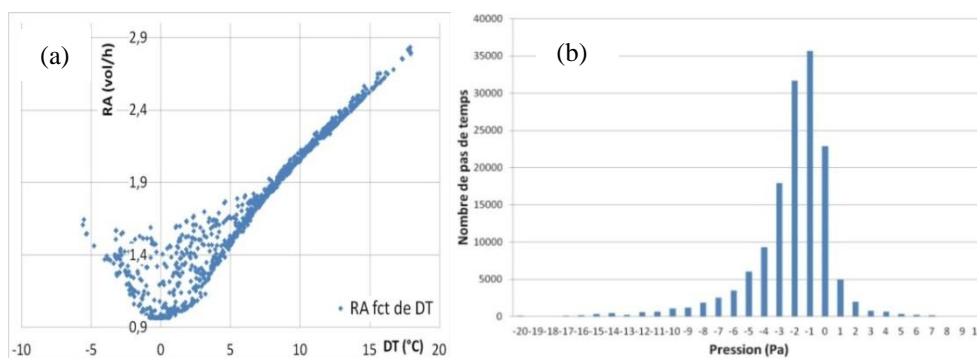
Ainsi, sur le site atelier, les modifications des conditions météorologiques conduisent à une variabilité temporelle élevée des teneurs dans l'air intérieur. Si la concentration mesurée du 5 au 17 mai est en moyenne de 890  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$ , les moyennes horaires vont de 1 à 8000  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$  et les moyennes journalières (24h) vont de 300 à 1900  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$ .

Les mesures PID réalisées en février 2012 présentées sur la figure 2 confirment la forte variation temporelle des concentrations liées au vent et à la différence de pression entre l'air intérieur et extérieur. Le chauffage conduisant en moyenne à un gradient thermique de 15°C et une dépression de 4 Pa génère des concentrations augmentées d'un facteur 2 (les moyennes sont de 1600 et 3200  $\mu\text{g}_{\text{eqPCE}}/\text{m}^3$ ). Par ailleurs l'effet de certaines rafales de vent est clairement visible sur les dépressions mesurées.



**Figure 2 : Effet du chauffage sur la dépression du bâtiment et les concentrations en PCE dans l'air intérieur du site atelier FLUXOBAT**

Enfin, les calculs réalisés montrent les variabilités obtenues sur les paramètres relatifs au bâtiment et ayant un impact sur la concentration en polluant résultante [6]. La figure 3a montre que le renouvellement d'air peut varier sensiblement en fonction du tirage thermique. La figure 3b montre la variabilité de la dépression au sol du bâtiment tout au long d'une année. Les valeurs importantes de dépression sont dues aux rafales de vent. Ainsi, les calculs réalisés donnent des résultats qualitatifs analogues aux observations expérimentales et permettent de les expliquer.



**Figure 3 : Résultats numériques, modèle nodal de ventilation**

(a) niveau de renouvellement d'air en fonction du tirage thermique du bâtiment pour des vents faibles  
 (d) histogramme des dépressions au niveau du sol du bâtiment pour un calcul annuel

Les campagnes de mesures des concentrations réalisées en 2012 à l'aide de prélèvements de 2 heures permettent d'apprécier la variabilité spatiale des concentrations. Elle est d'un facteur 10 en hiver (60 à 560  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et d'un facteur 70 (8 à 547  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en période estivale (convecteurs soufflants à l'arrêt). En moyenne sur les 20 points de mesures, les concentrations ont été augmentées de 124 à 230  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour un gradient thermique respectivement de 0 et 13°C et une différence de pression entre l'air intérieur et les sols de 0,5 et 3,4 Pa.

## Conclusions et perspectives

Les mesures présentées mettent en évidence l'influence du tirage thermique, du vent et de la pluie sur les concentrations dans l'air intérieur d'un bâtiment présentant sous la dalle des concentrations hétérogènes en tétrachloroéthylène. En moyenne horaire, hors période de chauffage, les concentrations peuvent s'écarter de 1 à 3 ordres de grandeur de la moyenne mesurée sur la période de 15 jours. Par ailleurs, il a été montré que le chauffage a généré une augmentation des concentrations d'un facteur 2 à 3.

Associée à l'hétérogénéité spatiale des concentrations (facteur 10 à 70), leurs variations temporelles nécessitent la prise en compte des paramètres d'influence pour dimensionner les campagnes de mesures et en interpréter les résultats. Les simulations numériques réalisées confirment l'impact des variations météorologiques sur deux paramètres du bâtiment : le renouvellement d'air et la dépression au sol.

La représentativité des concentrations mesurées ne devant pas être un frein pour l'évaluation des expositions des populations, trois recommandations sont proposées à l'issue de ces travaux :

- la réalisation de prélèvements sur des périodes les plus longues possibles avec au moins une campagne réalisée dans les conditions les plus défavorables à l'instar de ce qui est déjà mis en œuvre pour l'évaluation des expositions au radon [7]. La durée doit cependant être limitée pour intégrer la représentativité du renouvellement d'air et prendre en compte d'éventuels facteurs comportementaux et environnementaux contribuant à dégrader la qualité de l'air intérieur ;
- l'enregistrement lors des prélèvements des conditions pouvant influencer les concentrations mesurées (comme cela est déjà précisé dans les normes en vigueur pour certains paramètres) ;
- l'interprétation des mesures, afin de chercher à apprécier la représentativité des mesures au regard de l'objectif de l'étude.

Le site internet du projet ([www.fluxobat.fr](http://www.fluxobat.fr)) donne accès à l'ensemble des livrables dont le guide méthodologique [3]. Les recommandations formulées reposent sur la réglementation, les méthodes et normes existantes, ainsi que sur les enseignements des travaux menés. D'autre part, des recommandations plus globales sur la conduite des études et prestations en lien avec la norme NF X 31-620 [1] sont formulées répondant aux principes i) de proportionnalité des investissements au regard des enjeux et ii) d'une approche progressive et spécifique aux sites sur lesquels les impacts sont suspectés ou avérés.

## Références

- [1] AFNOR (2011) Norme NF X 31-620 :2011. Qualité du sol – prestations de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution). Révision de juin 2011
- [2] Note ministérielle du 8 février 2007. Sites et sols pollués - Modalité de gestion et de réaménagement des sites pollués du 8 février 2007 et ses annexes
- [3] Traverse S., Schäfer G., Chastanet J., Hulot C., Perronnet K., Collignan B., Cotel S., Marcoux M., Côme J.M., Correa J., Gay G., Quintard M., Pepin L. (2013). Projet FLUXOBAT, Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur. Guide méthodologique. Novembre 2013. 257 pp. [www.fluxobat.fr](http://www.fluxobat.fr)
- [4] MEDDE, 2007. Guide d'interprétation de l'état des milieux. 30 pp+ annexes. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/IEM\\_V0-022007.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/IEM_V0-022007.pdf)
- [5] Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public. JORF n°0005 du 6 janvier 2012
- [6] Powaga E., Perronnet K. (2013) Evaluation de l'influence de la métrologie et du tirage thermique sur les conditions d'ambiance du site atelier : mesures et interprétation des concentrations dans l'air intérieur. Journées techniques « Gestion des sites et sols pollués », Retour d'expérience des projets CITYCHLOR, FLUXOBAT et ATTENA, 29 mai 2013, Paris. Communication orale
- [7] AFNOR (2012) NF ISO 11665-1. Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Air : radon 222 - Partie 1 : origine du radon et de ses descendants à vie courte, et méthodes de mesure associées. AFNOR, octobre 2012

## Informations factuelles

Coordonné par BURGEAP et cofinancé par l'ANR, le projet de recherche FLUXOBAT ([www.fluxobat.fr](http://www.fluxobat.fr)) associe des laboratoires de recherche (IMFT, LHYGES), des EPIC (CSTB, INERIS), des entreprises (TERA environnement, BURGEAP) et une collectivité territoriale (Communauté urbaine du Grand Lyon). Le projet d'une durée de 4 ans (2009-2013) s'achève par la parution du guide méthodologique libre d'accès sur le site du projet.

Les campagnes de mesures dans l'air présentées ont été réalisées par BURGEAP et l'INERIS, la modélisation nodale par le CSTB et les analyses chimiques par laboratoire TERA Environnement. Les partenaires du projet remercient l'ADEME et le propriétaire du site atelier pour sa mise à disposition.