Transfert de vapeurs de composés organiques volatils chlorés depuis les sols et eaux souterraines vers l'air ambiant de bâtiments

Amadou THIAM - *amadou.thiam@ineris.fr*

Directeur de thèse : Michel QUINTARD - Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT) - Thèse suivie à l'IMFT par Manuel MARCOUX
Co-directeur de thèse : Guillaume GAY – INERIS - Thèse suivie à l'INERIS par Claire ROLLIN, Corinne HULOT et Benoît HAZEBROUCK

1. Contexte et objectifs

Dans le domaine des sites pollués par des composés organiques volatils, la migration depuis les sols et eaux souterraines vers l'air ambiant de bâtiments est souvent le principal vecteur d'exposition en termes de risques sanitaires liés à la voie inhalation mais de nombreuses questions se posent encore pour la caractériser sans d'importantes incertitudes.
Lorsque des contaminations par les composés organiques volatils (COV) sont observées, la maîtrise de la source s'avère particulièrement lourde, en termes de coûts et de délais, notamment lorsqu'elle s'étend en profondeur et atteint la nappe. Elle est donc généralement laissée en place ou partiellement enlevée, et ce au droit même des zones d'habitations et de services (dont écoles et crèches) notamment dans les opérations de réaménagement / valorisation de friches en milieu urbain (enjeu économique, social et développement durable). Ainsi, la quantification, prédictive et par la mesure, du transfert de vapeurs et donc des concentrations dans l'air intérieur des bâtiments est essentielle pour une gestion des sites pollués protectrice de la santé des personnes.
Cette évaluation du transfert de substances émises par le sol vers l'air ambiant des bâtiments est entachée encore aujourd'hui d'importantes incertitudes, aussi bien dans la modélisation que dans la mesure. En particulier, les modèles les plus couramment utilisés en évaluation quantitative de risques basés sur les équations de Volasoil [Bakker et al., 2008] et Johnson & Ettinger [US EPA, 2004] ne sont pas suffisamment validés niveau expérimental. Les travaux antérieurs de l'INERIS sur le sujet ont montré des différences entre mesures/modèles d'un facteur supérieur à 100, sur trois sites [Hulot et al., 2003 ; 2009], gamme de valeur également mentionnée dans la littérature [RIVM, 2007].

2. Méthodologie de travail

Mon travail de thèse se base sur la comparaison de mesures de terrain (air du sol, air ambiant) avec des données modélisées à partir de mesures au niveau de la source (nappe, zone non saturée du sol). Ces mesures et résultats de modélisation seront issus soit de campagnes de mesures menées sur des sites ateliers, soit de jeux de données anonymées issues de dossiers internes à l'INERIS ou de bureaux d'études extérieurs.
A partir de ces comparaisons, la thèse devra identifier les mécanismes qui interviennent effectivement dans le transfert des substances volatiles, et mettre en évidence les éventuelles lacunes rencontrées : en termes de métrologie, en termes de représentativité des mesures à une échelle large, en termes de modélisation et en particulier de prise en compte des différents mécanismes de transfert. Sur la base des constats relatifs à la modélisation, la thèse s'attachera à proposer des améliorations aux modèles utilisés tant analytiques que numériques. Ces principes généraux seront affinés en fonction du site atelier qui sera utilisé dans le cadre de la thèse. Parmi les approfondissements possibles en fonction des sites ateliers, des couplages entre modèles numériques et analytiques pourront par exemple être envisagés. Si cela s'avère pertinent et réaliste, une participation au couplage entre modèles numériques sera également envisagée.

3. Etat d'avancement

Dans le cadre du Programme CITYCHLOR, j'ai eu à trouver un site atelier (avril 2010) compatible avec la thématique intrusion de vapeurs chlorées (industrie encore en activité). Après avoir fait un historique du site choisi, une campagne de confirmation (juillet 2010) des concentrations dans les divers milieux a été réalisée avec les ouvrages de surveillance de la nappe existantes et des Cannes Drager (ouvrages non permanents) pour les gaz du sol. Cette précampagne, en plus de confirmer les informations récoltées lors de l'historique, a aussi servi de dimensionner le nouveau réseau d'ouvrages (mars 2011). Ainsi, plusieurs piézomètres et piézairs ont été construits au regard de la localisation des sources de pollution pressenties,

des résultats des campagnes de mesures précédentes, de l'utilisation future des données (modélisation numérique et analytique de l'intrusion de vapeur dans le bâti). Une première campagne a été réalisée avec le nouveau réseau de surveillance, dans la nappe, les gaz du sol et l'air ambiant. Les résultats obtenus dans la nappe et les gaz du sol sont en adéquation avec les campagnes précédentes et l'historique. Cependant, les concentrations mesurées dans l'air ambiant sont difficilement interprétables car le perchloroéthylène est toujours utilisé dans les ateliers (on retrouve même des cuves à l'air libre). De plus, du fait de la marge de manœuvre réduite du fait de la présence de l'exploitant, le volet Communication avec les riverains a fini par engendrer des retards considérables sur le planning.
Dès lors, il a été judicieux de s'orienter vers un autre site pollué aux chlorés (octobre 2011). Ce nouveau site, site atelier du Programme FLUXOBAT (projet ANR), présente moins d'inconvénients (aucune activité sur le site, donc une plus grande liberté d'action et une absence d'interférences avec des émissions parallèles). Ainsi, le site a été instrumenté au mieux (travaux de désamiantage, d'amélioration de l'étanchéité, réseau de piézairs, installation d'un extracteur) afin d'avoir une meilleure qualité des données. Une première campagne de mesures dans les gaz du sol et l'air ambiant a été réalisée en juillet 2011. Les résultats ont montré, entre autres, un drainage des vapeurs par une fosse ouverte de l'atelier. Afin d'être plus réaliste, la fosse a été comblée en décembre 2011. Des travaux précédents à l'INERIS ont montré la différence notable entre les mesures réalisées en condition hivernale et les mesures réalisées en condition estivale. De ce fait, des convecteurs ont été mis en place dans l'idée de retranscrire le chauffage des habitations pendant l'hiver. Dans ces conditions (mars 2012), la dépression obtenue dans l'atelier ainsi que le renouvellement d'air et les concentrations devinrent plus importantes qu'en été (biais induit par la fosse). Une campagne en été avec la fosse comblée est en préparation pour le mois de juin 2012.
Il est important de noter que les informations relatives à la nappe sont collectées par BURGEAP, partenaire du programme FLUXOBAT.
L'interprétation des données acquises permet d'alimenter la modélisation numérique comme analytique, en fournissant données d'entrée et données de calage. Aussi, c'est au vu des données susceptibles d'être acquises que le modèle numérique a été construit.
Concernant la modélisation, le code de calcul choisi est COMSOL Multiphysics : il s'agit d'un code éléments finis qui procure une flexibilité certaine car permettant d'introduire directement les équations régissant le problème étudié. Il peut faire aussi un couplage de plusieurs physiques (ce qui est très utile dans notre cas : écoulement dans un milieu poreux, écoulement dans l'air intérieur du bâtiment, transfert de pollution, transfert de chaleur).
Les tests théoriques et la nature du problème à résoudre ont conduit à une conclusion : il est plus pertinent de concevoir le problème en 3D.

4. Difficultés rencontrées / solutions de remplacement envisagées

Sur le site de CITYCHLOR plusieurs difficultés ont été rencontrées, nous pouvons en lister les deux principales :

- le site est encore en activité ce qui a deux conséquences, d'abord il n'est pas possible de faire autant d'ouvrages (« trous ») que l'on souhaite et ensuite l'utilisation régulière de solvant biaise les concentrations mesurées dans l'air ambiant ;
- la nécessaire communication avec les riverains a engendré des retards remarquables.

La solution adoptée fut de changer de site afin de tenir les délais de la thèse.
Sur le site de FLUXOBAT, les données disponibles, les réflexions et diverses discussions ont abouti à :

- la pertinence de modéliser l'air intérieur (ce qui permet de résoudre des problèmes de conditions limites, de futures comparaisons avec les concentrations mesurées dans l'air ambiant intérieur). Des discussions ont été entreprises avec des spécialistes de l'aéraulique (de l'INERIS et du CSTB) pour nous apporter l'expertise manquante.
- la pertinence de faire une modélisation en 3 dimensions, la variabilité spatiale et temporelle des données acquises suscitèrent plusieurs questions quant à leur utilisation. Des discussions ont été entreprises avec des spécialistes de la géostatistique (KIDOVA) pour nous apporter l'expertise manquante, avec l'utilisation d'un outil dédié au traitement de données provenant de sites pollués.
- Les ressources matérielles nécessaires pour faire la modélisation numérique (plus de 200 000 degrés de liberté) ont été la plus grande difficulté. A ce jour, j'ai pu avoir un ordinateur « boosté », qui malgré des temps de calcul conséquents, permet d'avoir un premier résultat du modèle (en découplant les phénomènes). Des discussions sont en cours pour l'installation de COMSOL sur les « super » calculateurs du CEA (inscription déjà faite).