

Logiciel analytique pour évaluer l'atténuation naturelle par la méthode des bilans de flux

Juliette CHASTANET^{1*}, Sébastien KASKASSIAN¹, Jean-Marie COME¹, Manuel MARCOUX², Michel QUINTARD^{2,3}

¹ : BURGEAP, Département Recherche et Développement, 19 rue de la Villette, 69425 LYON Cedex 03, j.chastanet@burgeap.fr, s.kaskassian@burgeap.fr, jm.come@burgeap.fr

² : Université de Toulouse ; INPT, UPS ; IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse) ; Allée Camille Soula, F-31400 Toulouse, France, marcoux@imft.fr

⁴ : CNRS ; IMFT ; F-31400 Toulouse, France, Michel.Quintard@imft.fr

Résumé

Le logiciel « bilan de flux » est un outil d'aide à l'évaluation de l'atténuation naturelle dans les zones sources et les panaches de polluants organiques dans les eaux souterraines. Il est fondé sur la méthodologie proposée dans le guide MACAOH / Atténuation naturelle de l'ADEME (Côme et al, 2006a [1]) en facilitant la mise en œuvre de la démarche. Son interface conviviale, un « workflow » pour guider l'utilisateur dans la démarche, la compatibilité du logiciel avec les outils SIG et des calculs automatisées sont autant d'atouts pour faciliter l'étude. Au-delà de l'évaluation de l'atténuation naturelle, ce logiciel peut être utile à des fins de compréhension (identification des mécanismes participant au transfert de la pollution), de modélisation (calage des flux et du poids relatif de chaque mécanisme dans l'atténuation des concentrations) ou de choix des méthodes de gestion du site pour réduire les transferts et, in fine, les impacts.

Introduction

Le guide MACAOH / Atténuation naturelle propose une démarche pour évaluer la faisabilité d'une gestion d'un site pollué avec des composés organo-aliphatiques par Atténuation Naturelle¹ (AN). Les deux principales étapes de cette démarche consistent en une analyse qualitative des données de terrain et un bilan de flux pour quantifier les différents mécanismes d'atténuation naturelle présents sur le site d'étude. Plus généralement sur la thématique de l'évaluation de l'atténuation naturelle, plusieurs outils sont disponibles ou en cours de développement à l'international avec des approches différentes à celle proposée dans le guide MACAOH (Biochlor [2], Biobalance toolkit [3]...). Récemment, un protocole de gestion par AN de trois familles de composés (hydrocarbures pétroliers, HAP et chlorés) a été établi en lien avec le contexte réglementaire français (projet ATTENA – Phase 2, Saada et al. 2013 [4]). La méthodologie MACAOH présente de nombreux avantages : simplicité de mise en œuvre (ne nécessite pas le recours à la modélisation), intégration d'un bilan sur la source de pollution (la plupart des outils et méthodes se focalisant sur le panache en partant du principe que la source est maîtrisée), quantification séparée de chaque mécanisme qui participe à l'atténuation naturelle (et non pas seulement la biodégradation) et calcul des constantes de biodégradation. Ce dernier point est particulièrement important compte tenu du choix de certains pays (USA, Pays-Bas notamment) de ne pas autoriser la gestion d'un site par Atténuation Naturelle dès lors que les mécanismes de biodégradation ne sont pas suffisamment actifs.

Bien que la méthode soit décrite en détail dans le guide MACAOH, elle semble encore relativement peu mise en œuvre à ce jour (elle a notamment été mise en œuvre sur les 3 sites de démonstration du projet ATTENA ([5],[6],[7])). L'un des freins à son utilisation est l'absence d'un outil pratique et facile à mettre en œuvre de type logiciel permettant de réaliser les calculs décrits dans le guide. Outre la réalisation des calculs, mentionnons que le travail le plus conséquent dans la démarche consiste en (i) la représentation des données dans l'espace et (ii) la sélection des données pertinentes pour la définition de chaque mécanisme.

Fort de ce constat, BURGEAP a développé un logiciel analytique afin de faciliter la mise en œuvre de la démarche. Ce travail s'est fait dans le cadre d'un projet R&D en partenariat avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse et avec un co-financement de l'ADEME.

Méthodologie

¹ le terme « atténuation naturelle » englobe une variété de mécanismes physiques, chimiques ou biologiques qui, sous des conditions favorables, réduisent sans intervention humaine la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des polluants organiques dans les sols ou les eaux souterraines.

La méthodologie proposée pour évaluer la faisabilité d'une gestion de site par Atténuation Naturelle (AN) comprend quatre étapes successives :

- étape 1 : analyse préliminaire des données, en particulier pour préciser la structure spatiale et l'évolution de la pollution en fonction des cibles identifiées ;
- étape 2 : évaluation qualitative de la biodégradation dans les panaches de composés dissous et gazeux ;
- étape 3 : évaluation quantitative des mécanismes d'Atténuation Naturelle dans la zone source et les panaches, sur la base de bilans de masse ;
- étape 4 : prévision de l'évolution des concentrations dans les sols de la zone source et les panaches dissous et gazeux, étape généralement associée à une modélisation (cf. le guide MACAOH / Modélisation (Côme et al., 2006b [8]) pour des recommandations sur ce type d'étude).

Au terme de ces quatre étapes, une décision est prise quant à la possibilité de gérer le site par AN, seule ou en complément d'une technique « active » de dépollution (Saada et al., 2013 [4]). La mise en œuvre d'une telle gestion consiste en une surveillance détaillée du site et la mise à jour des interprétations vis-à-vis des simulations prédictives (étape 5).

Les étapes 1 et 2 sont classiquement mises en œuvre dans le cadre de l'évaluation de l'AN (présence, efficacité, mécanismes). L'étape 4 est souvent réalisée dans des contextes avec des enjeux forts pour prédire l'évolution des concentrations dans le futur. L'originalité de la démarche concerne l'étape 3. Le logiciel présenté ici se focalise sur les étapes 2 et 3 et est spécifique aux composés organo-chlorés aliphatiques.

L'objectif de l'étape 2 est de préciser si la biodégradation est active. La méthode consiste à analyser les conditions biogéochimiques sur la base d'un bilan des accepteurs et donneurs d'électrons. L'évaluation, focalisée sur la déchloration réductrice des polluants, est conduite sous forme d'expertise sur les données, en s'appuyant notamment sur le calcul d'un « taux de déchloration » et sur la comparaison de la concentration de chaque paramètre à une valeur seuil proposée.

Pour l'étape 3, la méthode développée permet de quantifier au temps t de l'étude la part de chacun des mécanismes impliqués dans l'Atténuation Naturelle ainsi que les taux de (bio)dégradation des organo-chlorés dans les panaches. La démarche distingue le calcul dans la zone source et le panache de composés dissous. Pour le panache, le principe consiste à évaluer de manière analytique, entre deux sections du panache, la part des mécanismes de convection, volatilisation et lessivage, puis à déduire la part de la dispersion hydrodynamique, de la « dilution » et de la biodégradation dans la diminution des concentrations (Figure 1). Dans la source, la démarche est identique en incluant les mécanismes qui lui sont propres (ajout de la dissolution / volatilisation...).

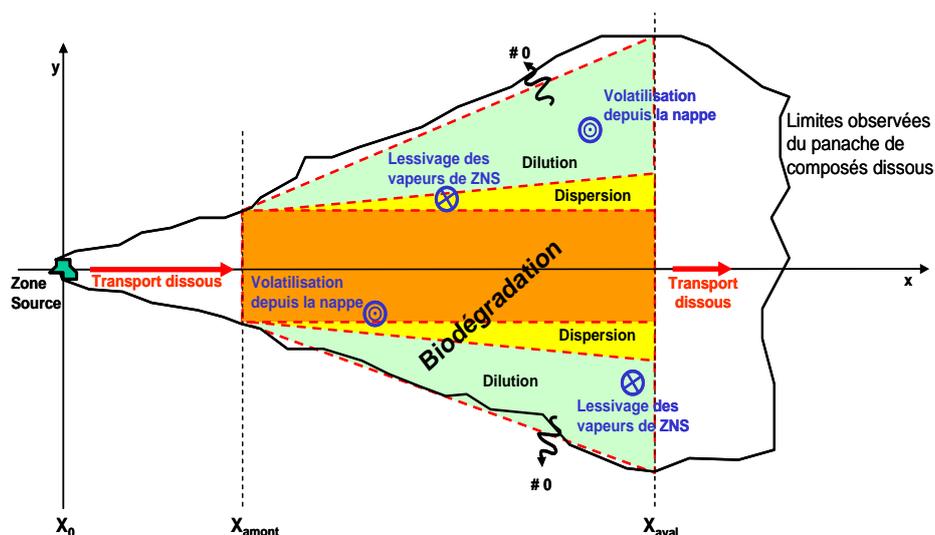


Figure 1. Principe de l'évaluation quantitative des mécanismes d'atténuation naturelle dans le panache de composés dissous [1]

Résultats et discussion

Le logiciel « bilan de flux » a été conçu pour faciliter la mise en œuvre de la démarche d'évaluation de l'AN pour les composés organo-chlorés aliphatiques à travers une interface conviviale et en automatisant les

calculs analytiques proposés dans le guide méthodologique. Conformément au guide, le logiciel inclut 2 modules principaux correspondants aux deux étapes clés de l'évaluation (étape 2, qualitative et étape 3, quantitative). Il comprend également un guide utilisateur et une base de données pour les paramètres physico-chimiques d'intérêt. La visualisation des données de site étant généralement réalisée à l'aide de SIG, le logiciel est compatible avec ce type d'outil (données d'entrée sous forme de couche vecteur).

Le premier module, dédié à l'évaluation qualitative de la biodégradation, met en forme les données de site (résultats d'analyse) afin de faciliter la lecture de celles-ci dans un objectif d'évaluation de la biodégradation (cf. figure 2). Il comprend un espace « workflow » pour guider l'utilisateur dans son évaluation, des calculs automatisés pour les taux de déchloration, des codes couleurs (en accord avec les valeurs seuils proposées dans le guide méthodologique) et des graphiques. Enfin des recommandations quant à l'analyse des résultats sont proposées dans le guide utilisateur.

Le second module correspond au calcul du bilan de flux pour quantifier la part de chaque mécanisme participant à l'atténuation naturelle des polluants dissous. Ce module comprend une fenêtre pour renseigner les données d'entrée et choisir les différentes options du logiciel (éléments de géométrie du panache, famille de polluants considérés, type de biodégradation attendue, etc.) et une fenêtre pour la présentation des résultats (flux de chaque mécanisme, constante de dégradation, etc.) sous forme de tableau et de graphique (cf. figure 3).

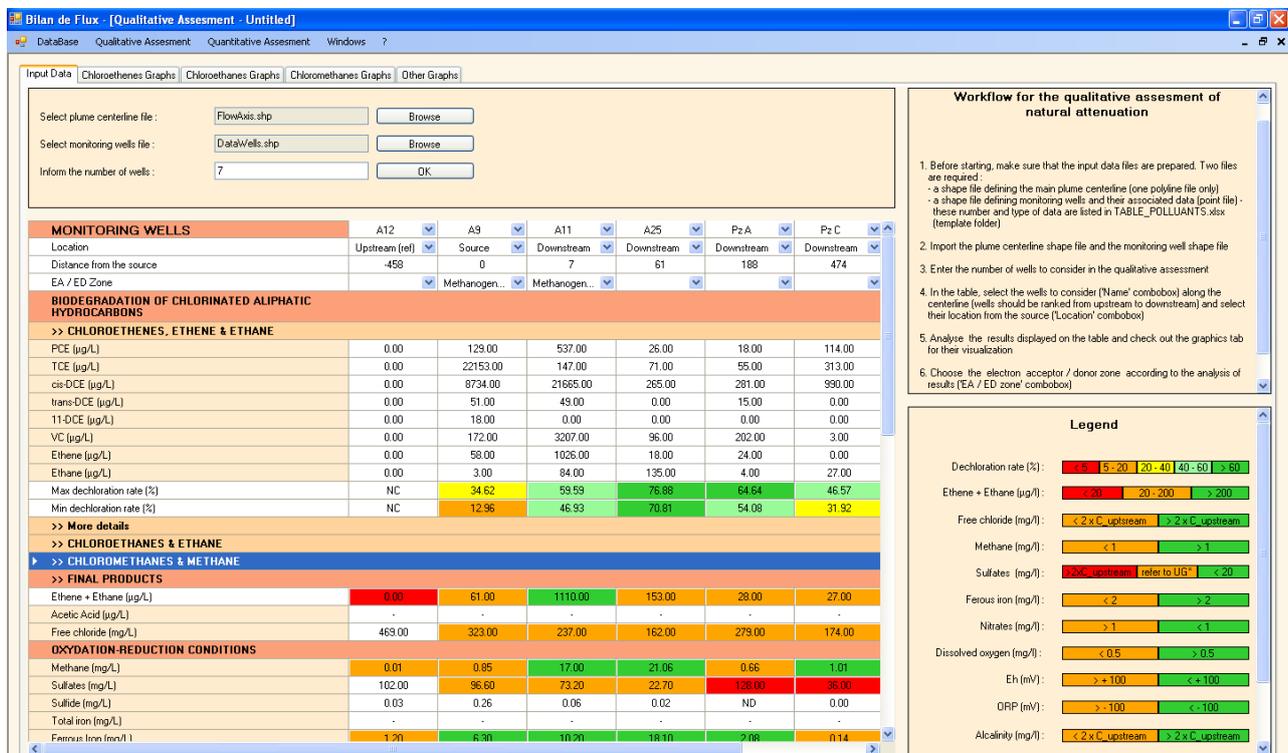


Figure 2. Logiciel « bilan de flux » - Module d'évaluation qualitative

Conclusions et perspectives

Le logiciel analytique « bilan de flux » a été conçu pour faciliter l'évaluation de l'atténuation naturelle (AN) des composés organo-chlorés aliphatiques à travers deux modules, l'un qualitatif (dédié à l'évaluation des mécanismes de biodégradation) et l'autre quantitatif (basé sur le principe du bilan de flux de polluants dissous pour calculer la part de chaque mécanisme qui participe à l'AN). Ce logiciel peut être utilisé à la fois à des fins de compréhension de la prépondérance des mécanismes et d'estimation des constantes de biodégradation in situ mais également pour anticiper les méthodes de réduction des transferts dans un souci de maîtrise des impacts : sur quelle zone (source / panaches) sur quel mécanisme (ou sur quel paramètre du mécanisme en question « jouer » pour réduire les transferts vers l'air ou vers l'aval du panache.

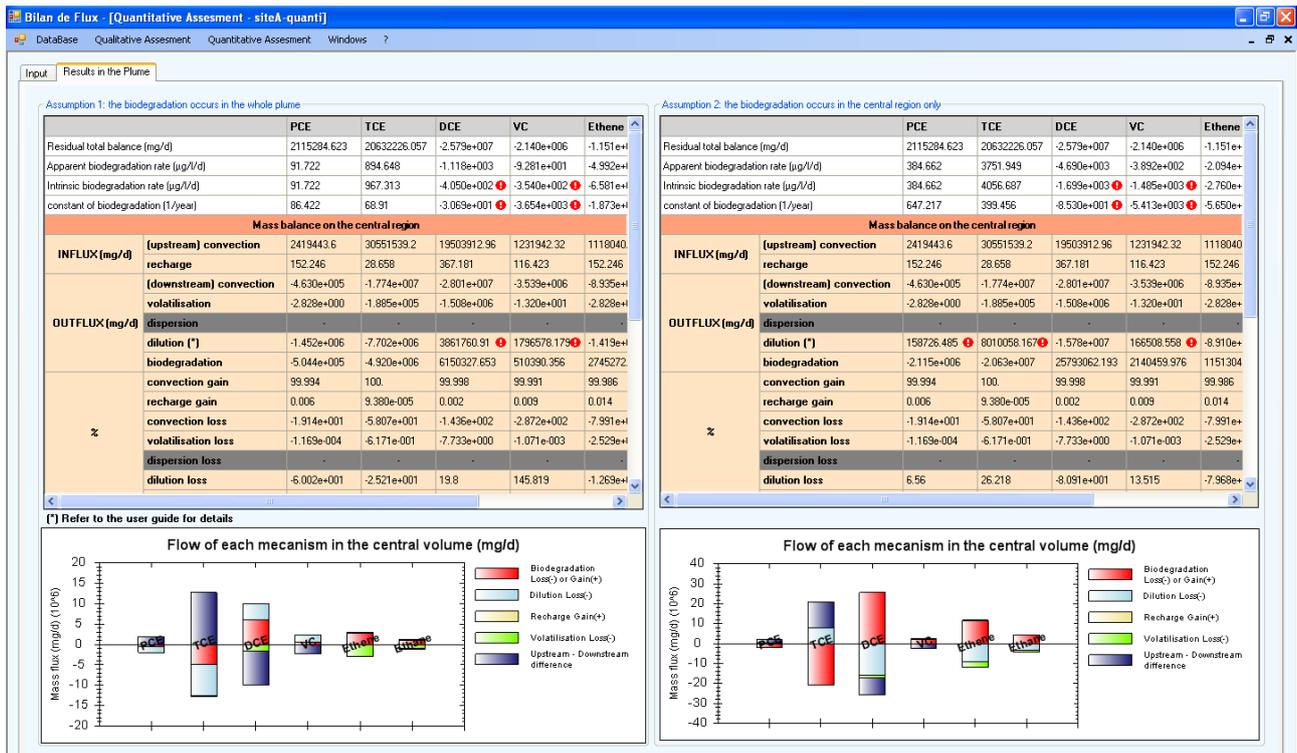


Figure 3. Logiciel « bilan de flux » - Module d'évaluation quantitative

Références

- [1] Côme, J.M., Kaskassian, S., Ropars, M., Quintard, M., Vogel, T., Razakarisoa, O., Nex, F., Schäfer, G., Haeseler, F. (2006). Atténuation naturelle des composés organo-chlorés aliphatiques dans les aquifères, *Guide méthodologique ADEME, Programme R&D MACAOH (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés)*, 214 p. <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=10143>
- [2] Newell, C. J., Smith, A. P., Aziz, C. E., Khan, T. A., Gonzales, J. R., Hass, P. E. (1998). Biochlor: a planning-level natural attenuation model and database for solvent sites. In *Natural attenuation: chlorinated and recalcitrant compounds*. G. B. Wickramanayake et R. E. Hinchey Eds. *Battelle Press, Columbus, OH*, pp. 237-242.
- [3] Kamath, R., Looney, B. B., Newell, C.J., Adamson, D.T., Vangelas, K.M. (2010). Closing the mass balance at chlorinated solvent sites: Sources and attenuation processes. *Remediation Journal*, 20 (2), 61-75
- [4] Saada, A., Blanc, C., Colombano, S., Zornig, C. (2012). Projet ATTENA – Protocole opérationnel de gestion de l'atténuation naturelle dans le contexte réglementaire français, *BRGM*, 97p.
- [5] Kaskassian, S., Gleize, T., Chastanet, J., Côme, J.-M. (2013). Projet ATTENA – Tâche 3.1.2 : mise en œuvre des guides méthodologiques MACAOH par BURGEAP sur le Site 1bis (solvants chlorés), *Rapport Final, 3 volumes*, 296p.
- [6] Verardo, E., Saada, A., Blanc, C., Colombano, S., Gourry, J-C., Blessing, M., Zornig, C. (2013). Projet ATTENA – Phase 2, Cas d'étude de gestion de site par atténuation naturelle : Site 2, 2 volumes, 150p.
- [7] Verardo, E., Saada, A., Guerin, V., Colombano, S., Gourry, J-C., Blessing, M., Zornig, C. (2013). Projet ATTENA – Phase 2, Cas d'étude de gestion de site par atténuation naturelle : Site 3 – hydrocarbures pétroliers, 128p.
- [8] Côme, J.M., Quintard, M., Schäfer, G., Mosé, R., Delaplace, P., Haeseler, F. (2006). Modélisation du devenir des composés organo-chlorés aliphatiques dans les aquifères, *Guide méthodologique ADEME, Programme R&D MACAOH (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés)*, 182 p. <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=10143>