

ANNEXE C-3.7

Méthodes pour la détermination de la constante de (bio)dégradation λ d'un polluant organique.

Niveau 2 (EDR-N) :

Généralités

Estimation du potentiel de (bio)dégradation

Valeurs par défaut de constante de (bio)dégradation

1 GENERALITES

La dégradation d'un composé organique est un phénomène complexe faisant intervenir de nombreux facteurs. Elle est souvent biotique, c'est-à-dire mise en œuvre par des microorganismes, mais peut également être abiotique (exemple : dégradation des solvants chlorés catalysée par le fer). Différents modèles cinétiques permettent de décrire mathématiquement ces processus et de les intégrer aux modèles analytiques (ou numériques) de transport de polluants dans les nappes souterraines.

La biodégradation est intégrée à l'équation de transport par l'application d'un terme soustracteur comprenant la constante de biodégradation (λ).

Le modèle le plus courant est celui basé sur l'hypothèse d'une cinétique de biodégradation de premier ordre qui suppose que :

- le taux de biodégradation est proportionnel à la concentration du composé qui se biodégrade ;
- les autres éléments nécessaires à la réaction, tels l'accepteur d'électrons (souvent l'oxygène) ou le donneur d'électrons (l'hydrogène dans le cas des solvants chlorés), le catalyseur ou les nutriments, sont présents en quantités non-limitantes.

La mise en équation de la biodégradation des composés organiques se rapproche alors de celle de la désintégration des composés radioactifs ou des substances dites "instables" dans leur comportement. La décroissance d'une substance polluante dissoute est prise en compte dans les modèles analytiques (ou numériques) par la résolution d'une équation différentielle du type :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\lambda C_e$$

Après intégration, cette équation devient :

$$C_e = C_e^0 e^{-\lambda t}$$

On peut en déduire la période de demi-vie par biodégradation d'un composé organique :

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda, \text{ d'où } \lambda = 0,693 / T_{1/2}.$$

La valeur de λ est donc directement calculée à partir de $T_{1/2}$, dont la valeur est donnée par la littérature pour les composés organiques les plus courants.

Il faut cependant ne pas oublier que ce modèle simple ne convient pas dans tous les cas et que le taux de biodégradation est souvent limité par le manque des autres éléments nécessaires à la réaction ou par des conditions peu favorables (température, pH, etc.).






2 ESTIMATION DU POTENTIEL DE (BIO)DÉGRADATION

De manière générale, il est nécessaire que l'expert ait une bonne connaissance des conditions physico-chimiques du sol favorables au phénomène de (bio)dégradation des composés considérés. Une analyse comparative qualitative de ces caractéristiques aux conditions physico chimiques propres au milieu renseignera l'expert sur le potentiel de biodégradation du composé dans un tel environnement. Cette étape doit précéder tout choix de valeurs de biodégradation.

Exemples :

- Les composés BTEX et/ou huile minérale se biodégradent relativement rapidement en milieu aérobie. La présence d'oxygène est donc un paramètre critique. Cela n'exclut cependant pas la biodégradation plus lente en milieu anoxique ou anaérobique en présence d'autres accepteurs d'électrons mais la constante de (bio)dégradation (λ) doit être sélectionnée en conséquence.
- Généralement les solvants chlorés se biodégradent en milieu anaérobique et sont des accepteurs d'électrons (remplaçant l'oxygène en quelque sorte). La présence d'un substrat permettant la croissance des micro-organismes et fournissant un accepteur d'électrons (l'hydrogène) est donc requise.

Des références classiques sur le sujet de l'évaluation du potentiel de (bio)dégradation sont reprises ci-dessous :

	Wiedemeier et al, <i>Technical protocol for implementing intrinsic remediation with longterm monitoring for natural attenuation of fuel contamination dissolved in groundwater</i> , Air Force Civil Engineer Center (AFCEC) of Environmental Excellence, 1999.
	Wiedemeier et al, <i>Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water</i> , EPA/600/R-98/128, Environmental Protection Agency, 1998. Ce rapport est disponible en ligne sur le site de l'EPA :  https://cfpub.epa.gov/ols/catalog/advanced_brief_record.cfm?&FIELD1=TITLE&INPUT1=chlorinatedANDsolvents&FIELD3=AUTHOR&INPUT3=wiedemeier&TYPE1=ALL&TYPE3=ALL&LOGIC1=AND&LOGIC3=AND&COLL=&YR=1998&SORT_TYPE=YRDESC&item_count=1&item_accn=460651 , consulté le 16/07/2018
	Saada et al, <i>Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures, rapport final</i> , BRGM/RP-54183-FR, 2006.  Ce rapport est disponible en ligne sur le site du BRGM : http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54183-FR.pdf , consulté le 16/07/2018.

Les tests disponibles pour mesurer la constante de (bio)dégradation sont les tests en laboratoire et les tests in-situ. En général, les tests en laboratoire ((bio)dégradation en colonne et/ou tests en microcosmes) sont peu probants pour déterminer des taux de (bio)dégradation *in situ*. Ils servent plutôt à démontrer le potentiel de (bio)dégradation sur site mais sont peu fiables pour déterminer les constantes utilisables dans les modèles.

L'utilisation de l'analyse d'isotope spécifique au composé considéré est une méthode en développement qui permet de mesurer le taux de (bio)dégradation in-situ :



Hunkeler et al, *A guide for assessing biodegradation and source identification of organic groundwater contaminants using compound specific isotopes analysis (CSIA)*, EPA 600/R-08/148, Environmental Protection Agency, 2008.



Ce rapport est disponible en ligne sur le site de l'EPA :
<https://archive.epa.gov/ada/web/pdf/p1002vai.pdf>, consulté le 16/07/2018.

Ces tests, longs et coûteux, sont rarement pratiqués dans le cadre des évaluations des risques.

Si l'on dispose d'un historique de suivi des concentrations dans l'eau souterraine suffisamment long et de données détaillées au sujet de l'écoulement de la nappe, il est aussi possible de dériver la constante de biodégradation via calibration d'un modèle de transport.

3 VALEURS PAR DÉFAUT DE CONSTANTE DE (BIO)DÉGRADATION

Le cas échéant, des valeurs publiées dans la littérature scientifique peuvent être sélectionnées avec précaution.



Le site Internet du programme Transpol (INERIS), relatif à la recherche sur les thèmes de la caractérisation, de la modélisation et de la surveillance des pollutions des sols et des nappes, propose diverses ressources pour assister l'expert au niveau de la détermination de la constante de (bio)dégradation d'un composé en fonction de caractéristiques propres aux essais réalisés.





Des données expérimentales K_d et $T_{1/2}$ relatives à divers HAP et solvants chlorés ont pu être synthétisées grâce à une vaste étude bibliographique des valeurs mesurées lors de divers tests de laboratoire ou *in situ*.

Néanmoins, ces valeurs ne peuvent être utilisées que si les renseignements acquis sur le site (conditions redox, lithologie, f_{oc} ...), sont suffisamment proches des caractéristiques du site étudié dans la publication. Les résultats de l'étude qualitative visant à estimer le potentiel de biodégradation seront utiles au choix des valeurs par défaut.

L'expert devra éventuellement évaluer si des données plus récentes ne sont pas plus pertinentes dans le cadre de son projet.

Le tableau ci-dessous présente les ressources disponibles du programme Transpol relatives à la détermination de la constante de (bio)dégradation :

Références utiles (non exhaustif)	Outils utiles disponibles
 <p>O. BOUR, <i>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, Données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines : Synthèse bibliographique relative aux paramètres K_d (sorption) et $T_{1/2}$ (biodégradation)</i>, Rapport d'étude (ref. INERIS – DRC – 66244 – DESP – R02), Programme TRANSPOL, 2005.</p>  <p>Ce rapport est disponible en ligne sur le site web de l'INERIS : https://transpol.ineris.fr/sites/default/files/cr1/66244-DESP-R02.pdf, consulté le 16/07/2018</p>	<p>Synthèse bibliographique des paramètres d'entrée K_d et $T_{1/2}$, issus de la littérature scientifique, pour les principaux HAP (16 de la liste de l'agence environnementale américaine).</p>

 <p>M. MARIOT (INERIS), <i>Solvants chlorés, Données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines : Synthèse bibliographique relative aux paramètres K_d (sorption) et $T_{1/2}$ (biodégradation)</i>, Rapport d'étude (ref. INERIS – DRC – 08 – 94669 – 08132A), Programme TRANSPOL, 2009.</p>  <p>Ce rapport est disponible en ligne sur le site web de l'INERIS : https://transpol.ineris.fr/sites/default/files/DRC-08-94669-08132A.pdf, consulté le 16/07/2018 .</p>	<p>Synthèse bibliographique des paramètres d'entrée K_d et $T_{1/2}$, issus de la littérature scientifique, pour les principaux Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV).</p>
 <p>INERIS, <i>Notice d'utilisation de la base de données de paramètres de sorption et biodégradation de substances organiques, BDD SOP-BIO</i>, Rapport d'étude (ref. INERIS – DRC – 08 – 94669 – 14994A), Programme TRANSPOL, 2009.</p>  <p>Base de données téléchargeable en ligne sur le site web du programme Transpol de l'INERIS : https://transpol.ineris.fr/?q=modeles https://transpol.ineris.fr/sites/default/files/DRC-08-94669-</p>	<p>Base de données spécifique (B.D.D. Sorp-Bio), accompagnée de son manuel d'utilisation, basée sur ces deux premières synthèses présentées ci-dessus puis actualisée.</p> <p>Mise à jour régulière, base de données évolutive en fonction du retour d'expérience des utilisateurs.</p>