

Modélisation de la pollution accidentelle des eaux intérieures

Les enjeux de la dispersion des produits chimiques dans les eaux intérieures

Les eaux intérieures sont des habitats fragiles qui jouent un rôle crucial dans nos écosystèmes locaux et notre approvisionnement en eau douce. Malheureusement, les accidents impliquant des produits chimiques peuvent entraîner des déversements toxiques dans ces eaux, mettant en danger l'équilibre délicat de ces habitats. Ces incidents peuvent résulter d'activités industrielles, de défaillances d'équipements, de transports de substances dangereuses ou même d'actes de vandalisme. En août 2019, une fuite d'engrais liquide azoté, issue d'une exploitation agricole de la commune normande de Tanques, se déverse dans une rivière de l'Orne et entraîne la mort de poissons sur plus de 2 km en aval de l'accident⁽¹⁾. En août 2020, dans le Finistère, un rejet de déchets chargés en ammoniacque issus d'un méthaniseur entraîne la pollution d'une rivière proche de la ville de Châteaulin. Cette pollution atteint le captage d'une usine de potabilisation de l'eau, entraînant la rupture de service pour plusieurs milliers de foyers pendant quelques jours⁽²⁾. Ces deux exemples illustrent la nécessité d'évaluer les conséquences pour la faune, la flore et, potentiellement, pour les humains lors de déversement accidentel entraînant des pollutions majeures des cours d'eau. C'est dans ce contexte de gestion des risques que s'inscrit la modélisation de la dispersion accidentelle des produits chimiques dans les eaux intérieures pour comprendre et prévenir ces incidents.

Les paramètres clés de la modélisation

La modélisation de la dispersion des produits chimiques dans les eaux intérieures est un outil crucial pour anticiper les conséquences d'un déversement accidentel. En simulant les scénarios de déversement, les modèles permettent d'estimer les zones potentiellement touchées, les concentrations en substances chimiques et les délais d'atteinte de ces zones. Ces informations sont essentielles pour évaluer les risques pour l'environnement et les populations riveraines. La modélisation de la dispersion accidentelle des produits chimiques dans les cours d'eau est un domaine crucial de la gestion des risques environnementaux. Cette discipline combine des connaissances en hydrodynamique, en chimie et en modélisation mathématique. Ces modèles utilisent des équations mathématiques basées sur les mécanismes de transport, de diffusion et de dilution et doivent prendre en compte des paramètres environnementaux pour refléter la réalité du milieu aquatique. Ces différents mécanismes sont des processus complexes en raison de la variété des paramètres impliqués. Ainsi, les caractéristiques du milieu aquatique et de l'environnement externe, le type de polluant ou la topographie jouent un rôle déterminant dans les processus de dispersion. Comprendre ces mécanismes de dispersion nécessite donc une approche systémique et pluridisciplinaire. Ainsi, les modèles doivent prendre en compte une multitude

de paramètres pour obtenir des prévisions précises. L'évaluation des propriétés physiques de l'eau (masse volumique, viscosité, salinité, température, turbidité), du débit et de la vitesse du courant et de la turbulence du milieu ont un impact significatif sur la dispersion des polluants, tout comme les conditions météorologiques telles que le vent et les précipitations, ou la forme et la géométrie du cours d'eau (rivières, fleuves, estuaires, lac, etc.). La nature intrinsèque du polluant chimique joue également un rôle déterminant dans les conséquences directes de ces pollutions. Certains polluants peuvent se dissoudre complètement dans l'eau, tandis que d'autres peuvent adsorber sur des particules en suspension ou être transportés par des organismes vivants. Ces comportements, associés aux phénomènes de dégradation biologique, photodégradation et d'autres processus chimiques, influencent dès lors les impacts environnementaux à plus ou moins long terme. Comprendre et modéliser précisément l'ensemble de ces phénomènes, c'est également disposer de données précises. Or, l'acquisition de ces données est souvent un défi en soi.

Enfin, la modélisation peut être réalisée à différentes échelles temporelles et spatiales. La résolution temporelle peut varier de l'échelle horaire à l'échelle annuelle, tandis que la résolution spatiale peut couvrir des échelles allant de la petite retenue d'eau au fleuve ayant des débits importants sur plusieurs centaines de kilomètres.

Types de modèles

En raison de cette complexité, les modèles de dispersion de polluants dans l'eau sont souvent développés avec des approches numériques avancées, telles que les modèles hydrauliques ou hydrodynamiques et les modèles de transport de polluants, qui simulent les processus physiques, chimiques et biologiques impliqués. Ces modèles peuvent nécessiter des ressources informatiques importantes et une expertise spécialisée pour être utilisés et interprétés correctement. Il existe différentes approches pour modéliser la dispersion des produits chimiques dans les eaux intérieures. Parmi celles-ci, on retrouve les modèles lagrangiens qui suivent le parcours individuel des particules chimiques, et les modèles eulériens qui décrivent la concentration des produits chimiques à des emplacements spécifiques dans l'eau. Le choix entre ces deux types de modèles dépend essentiellement des caractéristiques du déversement et des objectifs spécifiques de la modélisation. Couplées à des données spatiales issues des SIG (systèmes informatiques géographiques) ou des images satellites ou de drones, les données de simulations permettent de cartographier l'ampleur d'une pollution et fournir des informations pour anticiper les décisions des autorités publiques, entreprises et organisations environnementales.

Un exemple courant de modèle de dispersion est le modèle d'advection-diffusion. Ce modèle utilise l'équation de transport pour représenter la dispersion d'un polluant dans l'eau (voir encadré page suivante).

Équation générale de transport

L'équation générale de transport est la suivante :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(uC) = \nabla(D\nabla C)$$

où C est la concentration du polluant (en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), t est le temps (en secondes), u est la vitesse du fluide (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et D le coefficient de dispersion.

Ainsi, dans le cas d'un déversement de produits chimiques en un point d'un cours d'eau, le modèle d'advection diffusion permet de prédire la concentration du polluant à différents emplacements du cours d'eau au cours du temps.

La figure suivante illustre les résultats de l'équation d'advection diffusion obtenus dans le cas d'un déversement de 15 000 L d'acide acétique au centre d'un cours d'eau dont le débit est de $45 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Chaque courbe représente l'évolution de la concentration au centre du cours d'eau, toutes les heures pendant 5 heures et à différentes distances.

Comprendre et prévenir les risques

La modélisation de la dispersion accidentelle des produits chimiques dans les eaux intérieures est une composante vitale de la gestion des risques environnementaux. En combinant des données et des modèles précis, il est possible de minimiser les dommages potentiels pour les écosystèmes aquatiques et les communautés environnantes. En comprenant comment les substances chimiques se propagent et se diluent dans un cours d'eau, il devient alors possible de mettre en place des mesures préventives efficaces pour planifier les stratégies de réponse en cas de déversement. Cela peut guider le déploiement d'équipements de détection, ou aider à établir des zones de confinement et faciliter la mise en œuvre de mesures de nettoyage et de restauration.

Une planification minutieuse est essentielle pour une intervention rapide et efficace en cas de pollution accidentelle. Les autorités locales, les organismes de réglementation environnementale et les entreprises doivent donc collaborer pour élaborer des plans d'urgence détaillés. Cela inclut la désignation de responsables de la gestion de crise, l'identification des ressources nécessaires et la définition des procédures

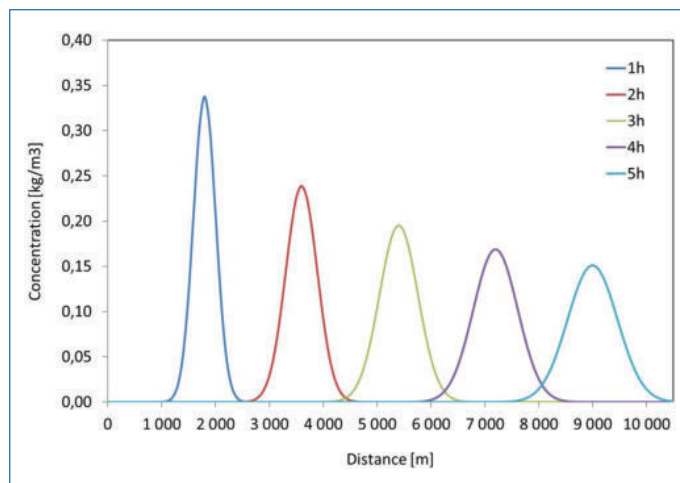


Figure - Évolution de la concentration dans un cours d'eau au cours du temps.

d'intervention. Des simulations régulières d'incidents sont donc des éléments cruciaux pour multiplier les scénarios d'accident et s'assurer que les équipes sont prêtes à réagir rapidement et efficacement.

Cependant, il est tout aussi crucial de prendre des mesures proactives pour prévenir les déversements accidentels en renforçant les réglementations et en encourageant les meilleures pratiques industrielles. La préservation de nos écosystèmes aquatiques dépend de l'engagement de tous les acteurs concernés.

(1) https://actu.fr/normandie/tanques_61479/pollution-de-l-ammoniac-deverse-dans-une-riviere-de-l-orme-des-poissons-meurent-un-livreur-et-un-agriculteur-condamnes_37546199.html (consulté le 16/02/24).

(2) www.ouest-france.fr/bretagne/chateaulin-29150/proces-du-methaniseur-de-chateaulin-retour-sur-la-pollution-qui-avait-prive-deau-le-finistere-eff4ffd6-5d3d-11ee-923e-4f7f2a6b2edd (consulté le 16/02/24).

Laurent APRIN,
Professeur,
Laboratoires des sciences des risques LSR, IMT Mines Alès, Alès.

*laurent.aprin@mines-ales.fr

Site de ressources en Chimie pour les enseignants

Thèmes en lien avec les PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT
Contenu validé par des CHERCHEURS

Articles, Vidéos, Diaporamas
AGENDA, ACTUALITÉS
événements, conférences, parutions scientifiques...

<http://culturesciences.chimie.ens.fr>