

LA MIGRATION DES PRODUITS DÉGLAÇANTS DE REMPACEMENT DANS LES AQUIFÈRES DE FAIBLE PROFONDEUR

Taina Nystén et Pasi Hellstén

Institut Finlandais de l'Environnement, Division de la Prévention de la Pollution
B.P. 140, FIN-00251 Helsinki
TÉL. +358 9 40300441/FAX +358 9 40300491

1. Résumé

Les principaux effets négatifs des déglaçants sur la qualité des eaux souterraines sont le lessivage des métaux lourds dans les sols, la corrosion des systèmes d'approvisionnement en eau, les résidus chimiques et les pertes d'oxygène provoquées par les déglaçants organiques. La migration des déglaçants organiques dans les aquifères de faible profondeur typiquement rencontrés en Finlande n'est pas suffisamment connue et il nous faudrait trouver des solutions permettant de minimiser les effets négatifs du déglacage sur la qualité des eaux souterraines. L'objectif du projet MIDAS (**M**igration of **A**lternative **D**e-icing **C**hemicals in **A**quifers) est de trouver des déglaçants ayant le moins d'effets négatifs possible sur la qualité des eaux souterraines. La migration du chlorure de sodium, utilisé comme indicateur traceur, et de cinq déglaçants de remplacement dans les aquifères est actuellement étudiée. Les déglaçants de remplacement sont le chlorure de calcium, le chlorure de magnésium, l'acétate de calcium-magnésium, l'acétate de potassium et le formiate de potassium. L'étude se compose d'une *étude in vitro* et d'une étude de terrain ultérieure. Les résultats serviront à choisir un déglaçant parmi les produits chimiques existants et à mettre au point de nouveaux déglaçants moins nocifs. Ces informations seront exploitées principalement en Scandinavie et en Amérique du Nord, où les conditions hydrogéologiques sont similaires à celles rencontrées en Finlande.

2. Introduction

En Finlande, la Loi sur la Protection de l'Environnement prohibe toute atteinte à la qualité des eaux souterraines. Pour des raisons légales, le déglacage ne peut cependant être stoppé complètement et il nous faut parvenir à des solutions permettant de minimiser les effets négatifs du déglacage sans pour autant compromettre la sécurité routière. Le salage a pollué les eaux souterraines en Finlande et dans plusieurs autres pays. L'eau consommée par environ 70 % de la population finlandaise est d'origine souterraine. Cependant, sur les 2226 zones importantes sur le plan des eaux souterraines, au moins 528 sont traversées par des routes ayant besoin d'être salées l'hiver. On a observé un manque d'informations comparatives publiquement disponibles. Notamment, la migration des déglaçants organiques dans les aquifères de faible profondeur typiquement rencontrés en Finlande est mal connue. L'objectif du projet MIDAS est d'obtenir davantage d'information quant aux effets des déglaçants sur la qualité des eaux souterraines et de trouver des déglaçants ayant des effets les moins négatifs possible sur la qualité des eaux souterraines et sur les sols. Les principaux effets négatifs des déglaçants sur la qualité des eaux souterraines sont le lessivage des métaux lourds dans les sols, les résidus chimiques et la perte d'oxygène dans l'eau provoquée par les produits chimiques organiques. Les dommages infligés aux véhicules et aux ponts par la corrosion seraient également susceptibles d'être réduits par un recours à des déglaçants organiques. Une forte concentration en chlorures dans les eaux souterraines se traduit par une corrosion des conduites d'eau.

3. Matériaux et Méthodes

La migration dans les aquifères finlandais du chlorure de sodium (utilisé comme traceur) et de cinq déglacants a fait l'objet d'une étude. Cette dernière comporte l'étude *in vitro* en cours (1998-2001) (Schéma 1) et l'étude de terrain qui la suivra (2001-2003) (Schéma 2). Dans notre étude *in vitro*, la migration et la décomposition des différents déglacants – chlorure de calcium (CaCl₂), chlorure de magnésium (MgCl₂), formiate de potassium (KFo), acétate de potassium (KAc), acétate de calcium-magnésium (CMA) – sont comparées en filtrant des solutions de déglacants à travers des filtres de sable et de gravier sableux de 1.0 mètre et de 3.5 mètres de haut (Schéma 3.a, 3.b), avec et sans horizon pédologique. Les caractéristiques chimiques (température, conductivité, pH, alcalinité, O₂, CO₂, acétate, formiate, chlorure, Br⁻, F⁻, total N, NO₃-N, total P, PO₄-P, SO₄, TOC, BOD₇, COD_{Cr}) et les concentrations de métaux des filtrats sont analysées.

La zone d'eaux souterraines pour l'étude de terrain sera choisie en fonction de l'étude *in vitro* et de critères géologiques. Cette zone sera similaire aux aquifères des zones routières et aéroportuaires. Le transit du déglacant sera suivi au moyen d'une analyse régulière de la qualité des eaux souterraines et de modèles mathématiques de simulation.

ÉTUDE IN VITRO	1998		1999		2000		2001	
	I-VI	VII-XII	I-VI	VII-XII	I-VI	VII-XII	I-VI	VII-XII
Tests d'infiltration dans des filtres de sol I NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂ II CMA, KFo, CaCl ₂ , NaCl -rapport final des tests d'infiltration			→				→	
Tests d'infiltration supplémentaires III NaCl, CaCl, CMA, KFo, H ₂ O -sélection des déglacants les plus prometteurs pour des tests d'infiltration supplémentaires et préparation du plan de recherche plus détaillé pour les études de terrain				→				
Tests d'infiltration supplémentaires pour les déglacants les plus prometteurs IV KFo and KAc -tests géotechniques pour gravier -tests de lessivage pour matériaux des sols graveleux (métaux et biotests) -préparation des filtres -tests d'infiltration supplémentaires dans filtres graveleux/sableux -rapport final de l'étude in vitro					→	→	→	→

Schéma 1. Calendrier de l'Étude In Vitro.

ÉTUDE DE TERRAIN	2001		2002		2003		2004	
	I-VI	VII-XII	I-VI	VII-XII	I-VI	VII-XII	I-VI	XII-VII
-préparation du programme détaillé de l'étude de terrain -sélection de la zone de l'étude de terrain -études de terrain in situ -suivi de la qualité des eaux souterraines -tests d'infiltration in situ et analyses en laboratoire -modélisation mathématique du transit		→	→		→	→	→	

Schéma 2. Calendrier de l'Étude de Terrain.

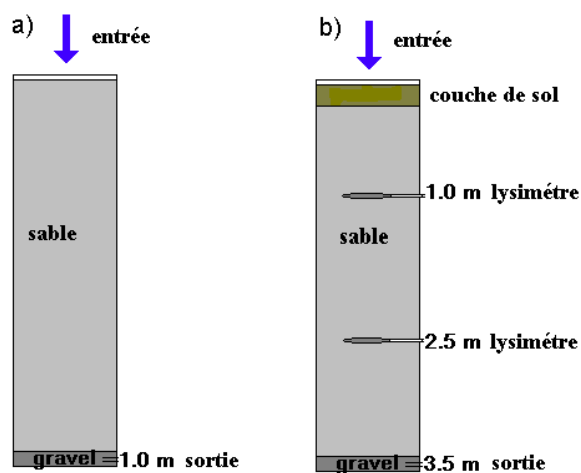


Schéma 3.a,b) Filtres sableux de 1.0 Mètre et 3.5 Mètres de Hauteur.

4. Résultats et Discussion

Les microbes ont provoqué une biodégradation des déglaçants à base d'acétates et de formiates organiques. La demande biologique et chimique en oxygène a été accrue par les déglaçants organiques. Le pH et l'alcalinité de l'eau ont été accrus par les déglaçants organiques et décrets par les chlorures. Les déglaçants organiques ont également décreu la quantité des éléments nutritifs (NO₃-N et PO₄-P) dans les filtrats. La concentration en acétate (CMA), formiate (KFo) et chlorures (NaCl, CaCl₂) était de 700 mg/l dans les solutions d'alimentation. Après cinq semaines d'infiltration, dans des filtres de sable de 1.0 m de haut, la biodégradation totale de l'acétate était d'environ 70 % et celle du formiate d'environ 82 %. La concentration des chlorures était au bout de cinq semaines pratiquement identique à celle observée dans les solutions d'alimentation (Tableau 1).

Tableau 1. Concentrations des Anions dans les Filtrats à partir des Filtres de 1.0 Mètre de Haut.

Durée de l'infiltration	Concentrations des anions dans les filtrats (mg/l)			
	Jours	acétate de CMA	formiate de KFo	Cl de NaCl
5	410	420	280	500
12	140	320	-	-
19	110	0	620	700
26	130	0	-	-
33	180	0	-	-
40	290	43	660	710

Après une période d'infiltration de cinq mois, dans des filtres de sable de 3.5 m de haut, le formiate du KFo n'a été observé dans les filtrats qu'au cours des premières semaines. Au bout de la même période, l'acétate du KAc n'a été observé que dans les filtrats de 1.0 mètre et de 2.5 mètres de profondeur, pas dans ceux de 3.5 mètres de profondeur (Tableau 2). La teneur en acétate était d'environ 300 mg/l et celle en formiate de 270 mg/l dans les solutions d'alimentation.

Tableau 2. Concentration des Anions dans les Filtrats à partir de Filtres de 3.5 Mètres de Haut avec couche de sol.

Concentrations d'acétate et de formiate dans les filtrats après cinq mois d'infiltration (mg/l)		
profondeur des filtres (m)	acétate de KAc	formiate de KFo
1.0	110	0
2.5	32	0
3.5	0	0

Après une période de filtration de cinq mois, le formiate n'a été observé que dans le filtre de gravier sableux sans couche de sol dans les filtrats à partir de 1.0 mètre et de 2.5 mètres de profondeur (Tableau 3).

Tableau 3. Concentration de Formiate dans les Filtrats de Filtres de 3.5 Mètres de Haut.

Concentrations de formiate (KFo) dans les filtrats après cinq mois d'infiltration (mg/l)			
Profondeur des filtres (m)	filtre de gravier sableux sans couche de sol	filtre de gravier sableux avec couche de sol	filtre sableux avec couche de sol
1.0	80	0	0
2.5	59	0	0
3.5	45	0	0

Après les premières semaines, le formiate a commencé à se biodégrader plus rapidement que l'acétate. La couche de sol organique dans les colonnes s'est avérée être un facteur très important dans la dégradation du formiate (Tableau 3). Les tests en laboratoire ont montré que la biodégradation du formiate peut être plus rapide que celle de l'acétate à basses températures (T 3-6 °C) et les résidus de formiate dans les eaux souterraines des aquifères de faible profondeur sont peut-être moins évidents. Le formiate requiert également moins d'oxygène pour se biodégrader que l'acétate et il se dégradera donc aussi dans les eaux souterraines où l'on trouve moins d'oxygène dilué. La possibilité de lessivage des métaux lourds dans les horizons pédologiques contaminés par les déglacants le long des

routes n'a pas encore fait l'objet d'études. Si la biodégradation du formiate dans le sol intervient avant le lessivage dans les eaux souterraines, elle provoquera moins de changements dans la qualité de l'eau que les chlorures, car ces derniers ne se biodégradent pas. Il est cependant possible que la biodégradation du formiate en hiver et au printemps soit différente à l'échelle de l'étude de terrain par rapport au niveau observé lors de *l'étude in vitro*. Dans l'état actuel de nos recherches, il est possible que le KFo constitue un déglacant susceptible de se substituer au NaCl.