

PREVISION DES CONCENTRATIONS STATIONNAIRES DE CHLORURE DANS LES EAUX SOUTERRAINES ET LES EAUX DE SURFACE

Thunqvist, Eva-Lotta

Institut Royal de Technologie, Marinens väg 30, SE-136 40 Haninge, SWEDEN, Tél. +46 8 7073106, Fax. +46 8 7073127, lotta@haninge.kth.se

Synopsis

Une route et son trafic peuvent représenter une menace de pollution importante pour les eaux souterraines et de surface environnantes. Les exemples de polluants sont en l'occurrence les sels d'épandage et d'agglutination de poussière; les métaux provenant de la corrosion des véhicules et de l'usure de la surface de la chaussée et des pneus; les hydrocarbures émis par l'usure de la surface de la chaussée, des pneus, les échappements, les huiles; et les marchandises dangereuses déversées lors d'accidents. En Suède, ce sont environ 300.000 tonnes de chlorure de sodium qui sont utilisés chaque année par l'Administration des routes suédoise à des fins de déneigement. En outre, les municipalités locales utilisent également le sel d'épandage à des fins de déneigement. L'utilisation de clous améliore l'adhérence, mais augmente l'usure et l'effet de destruction sur les routes en hiver. L'usure d'une surface humide correspond à entre deux et sept fois l'usure d'une surface sèche, et par conséquent, l'utilisation de sel d'épandage risque d'augmenter davantage encore l'effet de destruction.

Le mouvement des polluants de la route vers l'environnement voisin comprend le ruissellement de routes, la propagation dans l'air, l'infiltration des constructions de routes ou des voiries. L'ion de chlorure est un excellent traceur. Il est invariable et fortement soluble, et il n'est pas sujet au retard ou à la dégradation. Une petite partie du sodium peut être retenue dans le sol, mais pratiquement tout le sel d'épandage s'infiltrera et finira sa course dans les eaux souterraines ou ruissellera parmi les eaux de surface. D'autres substances associées à la route et non dégradables peuvent être retenues dans le sol dans une plus large mesure. Enfin, tous les polluants provenant des routes, qui ne sont pas sujets à une dégradation, seront transportés soit dans les eaux de surface, soit dans les eaux souterraines.

Ce document traite d'une méthode permettant de calculer la concentration stabilisée de chlorure liée aux sels d'épandage dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface. Les calculs reposent sur des données numériques relatives aux aires de captage, à la recharge nette (précipitation avec déduction de l'évapotranspiration), à la sédimentation de fond et au réseau routier avec des taux d'utilisation du sel d'épandage. Toutes ces données sont traitées et présentées avec l'outil GIS Arcview. La méthode permet de scanner une zone, par ex. un comté, afin de prendre les décisions concernant les régions à protéger et les mesures à adopter. Cette méthode peut être utilisée également pour prévoir les concentrations stationnaires d'autres polluants liés à la voirie.

Introduction

Une route et son trafic peuvent représenter une menace de pollution importante pour les eaux souterraines et de surface environnantes. Les exemples de polluants sont en l'occurrence les sels d'épandage et d'agglutination de poussière; les métaux provenant de la corrosion des véhicules et de l'usure de la surface de la chaussée et des pneus; les hydrocarbures émis par l'usure de la surface de la chaussée, des pneus, les échappements, les huiles; et les marchandises dangereuses déversées lors d'accidents. En Suède, ce sont environ 300.000 tonnes de chlorure de sodium qui sont utilisés chaque

année par l'Administration des routes suédoise pour faire fondre la glace et la neige sur les routes nationales (Thunqvist 2000). En outre, les municipalités locales utilisent également le sel à des fins de déneigement.

Les principales routes de Suède sont traitées avec 10-20 tonnes de chlorure de sodium par kilomètre chaque année. Sur la route, les effets du sel sont désirés, et dans l'océan une grande concentration de sel est présente à l'état naturel. Toutefois, sur leur chemin, les ions de sodium et de chlorure traverseront un environnement où la concentration naturelle en sel est basse, ce qui représente un impact sur l'environnement (Illustration 1).

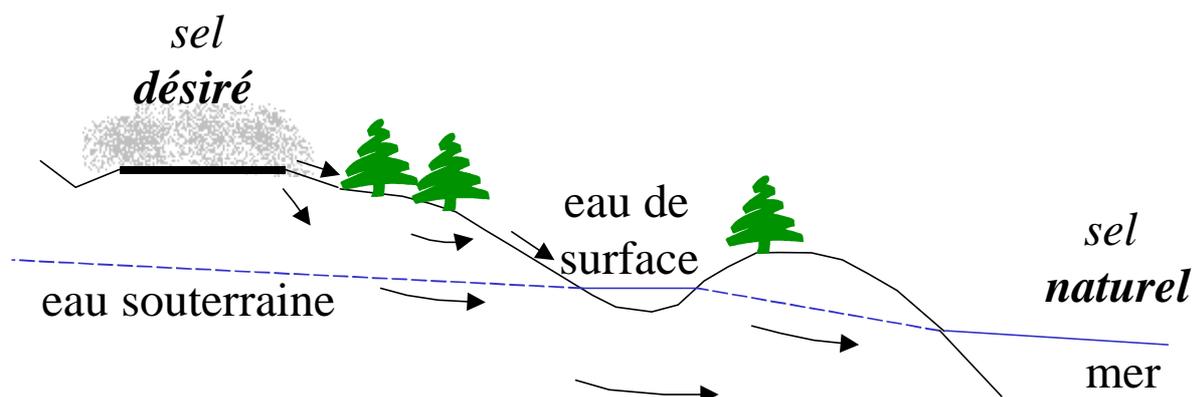


Illustration 1. Le mouvement du sel d'épandage de la route vers la mer.

L'ion de chlorure est un bon traceur. Il est invariable et fortement soluble, et il n'est pas sujet au retard ou à la dégradation. Une petite partie du sodium peut être retenue provisoirement dans le sol, mais pratiquement tout le sel d'épandage finira sa course dans les eaux souterraines ou parmi les eaux de surface. Plusieurs études suédoises ont montré que les concentrations de chlorure dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface augmentaient à proximité des routes (par ex. Bäckman & Folkesson 1995, Olofsson & Sandström 1998, Thunqvist 2000). Le mouvement des polluants de la route vers l'environnement voisin comprend le ruissellement de routes, les éclabousses, la propagation dans l'air, l'infiltration des constructions de routes ou des voiries. D'autres substances associées à la route et non dégradables peuvent être retenues dans le sol dans une plus large mesure, mais elles finiront pas s'insinuer dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines. Il existe également plusieurs études qui démontrent que l'utilisation puissante de sel de déneigement augmente la mobilisation du métal (Amrhein et al 1994, Bauske & Goetz 1993, Norrström & Jacks 1998).

Le code environnemental suédois (SFS 1998:808, ch.2) stipule que chacun est invité à disposer de la connaissance de l'impact de ses activités et de mettre en œuvre les mesures de protection afin d'éviter tout impact sur la santé humaine et l'environnement. Un modèle simple et fiable permettant d'estimer la concentration de chlorure dans les eaux de recharge selon différents taux d'utilisation de sel serait une première étape vers cette connaissance. Il est important que les données soient aisément accessibles et que l'outil de traitement soit bien connu.

Ce document montre à quel point un modèle aussi simple peut être utilisé pour prédire les concentrations de chlorure dans l'eau liées à l'utilisation de sel d'épandage. S'il est possible de scanner une zone, par ex. un comté, il est alors possible de prendre des décisions concernant les régions à protéger et les mesures à prendre. Les limitations du modèle et la façon dont les résultats peuvent être affinés par l'utilisation de données supplémentaires ou par l'utilisation d'un modèle plus sophistiqué se discutent.

Problème de fond

Il existe plusieurs manières de combiner les données qui donnent une précision différente lors de l'identification de l'eau à proximité de routes où il y a un risque élevé de concentrations en chlorure. La

manière la plus simple consiste à combiner les cartes du réseau routier avec les cartes des situations hydrogéologiques et les cartes de lacs et de cours d'eau afin d'épingler les zones à risque. Le résultat n'est alors qu'une ébauche des endroits où existent des conflits d'intérêt entre les routes et les eaux souterraines/de surface. Cette méthode a été utilisée par l'Administration des routes suédoise afin d'identifier les endroits où les conséquences d'un accident de la route seraient sérieuses pour la source d'eau (Vägverket 1995). Toutefois, l'enquête a été limitée aux routes nationales et aux captages d'eau municipaux d'une certaine capacité. Le nombre réel d'aquifères et de lacs/cours d'eau importants affectés par les routes salées est bien plus grand. Par ailleurs, seuls les sites conflictuels sont listés – l'augmentation de la concentration de chlorure pour différentes zones n'est pas calculée. Dans l'illustration 2, les cartes numériques des routes principales sont combinées aux cartes numériques représentant les aquifères principaux du comté de Västmanland. Historiquement, les routes suédoises ont été construites sur un bon sol dans les hauteurs des campagnes. Par conséquent, les routes sont souvent construites sur les plus grands eskers (qui sont également des aquifères importants) étant donné qu'ils répondaient aux exigences requises.

Les catégories d'entretien des routes en hiver sont A1 à A4, B1 et B2. Les routes nationales sont déneigées régulièrement, où la catégorie A1 représente la route la plus grande avec les opérations de salage les plus récurrentes. Les routes B1 sont déneigées occasionnellement, bien que du sable mélangé à une petite quantité de sel d'épandage soit utilisé plus fréquemment, et les routes B2 le sont encore moins.

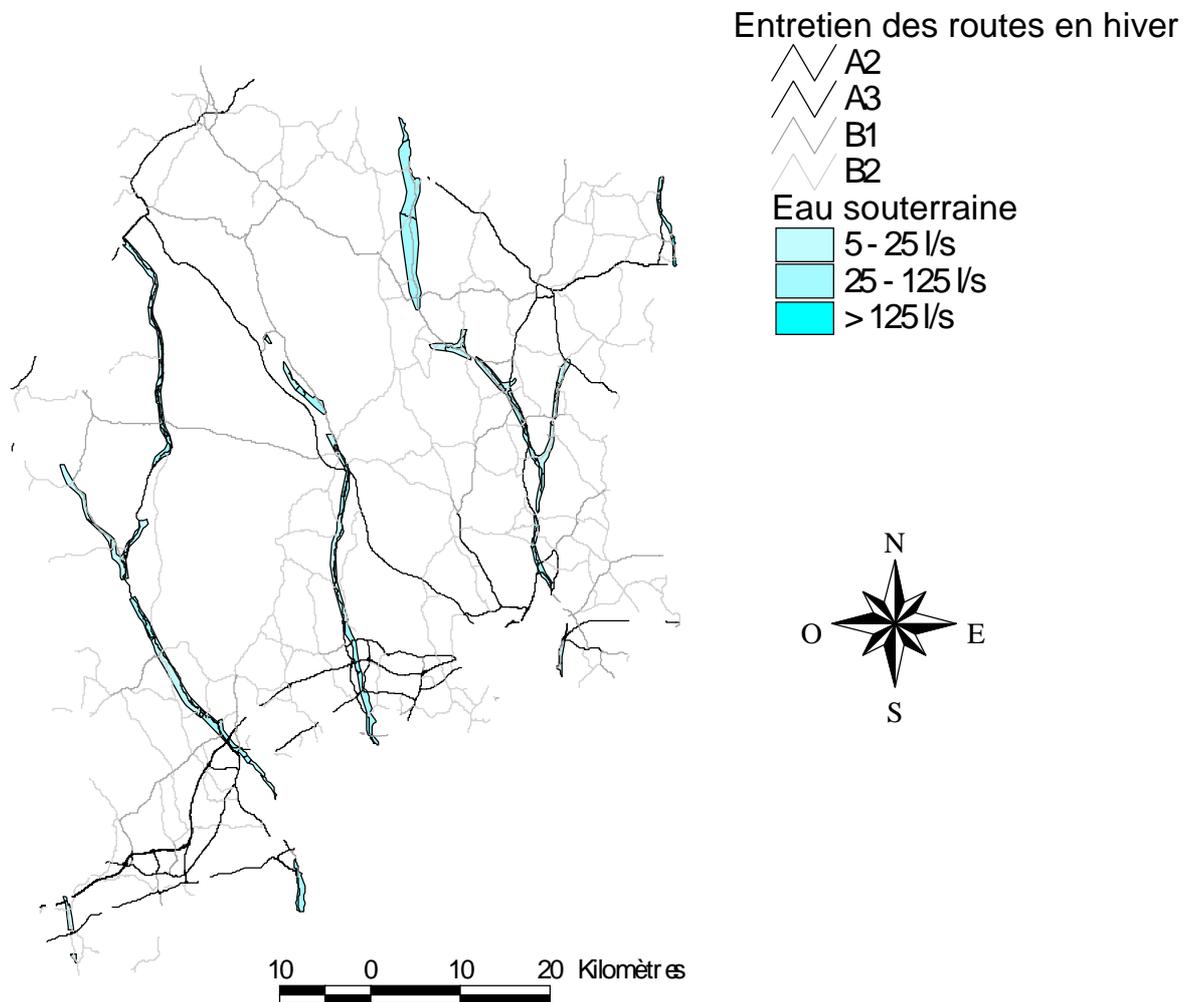


Illustration 2. Intersection entre les routes principales et les aquifères principaux dans le Västmanland, Suède.

Une méthode plus générale consiste à appliquer la quantité annuelle de sel de déneigement dans une zone et la recharge nette annuelle dans les aires de captage au sein de la zone étudiée (Huling & Holocher 1972, Howard & Haynes 1993, Thunqvist 2000). En Suède, l'Institut national météorologique et hydrologique a évalué les aires de captage pour l'ensemble de la Suède et ces études sont disponibles sous forme numérique. Si l'on considère que l'utilisation de sel d'épandage s'est déroulée suffisamment de temps pour qu'une situation stationnaire s'établisse, la concentration moyenne de chlorure déversée sera la même que dans la recharge nette. Pendant les premières années d'utilisation du sel d'épandage, la concentration en chlorure dans la recharge sera bien plus élevée que dans la décharge. Par conséquent, le chlorure va s'accumuler et la concentration augmentera. A condition que l'épandage de sel soit invariable, la concentration en chlorure dans la décharge finira par être la même que dans la recharge (état stationnaire). L'augmentation de la concentration en fonction du temps suit une courbe exponentielle (illustration 3). La concentration calculée de chlorure provenant du sel de route s'ajoute ensuite à la sédimentation naturelle de fond pour cette zone.

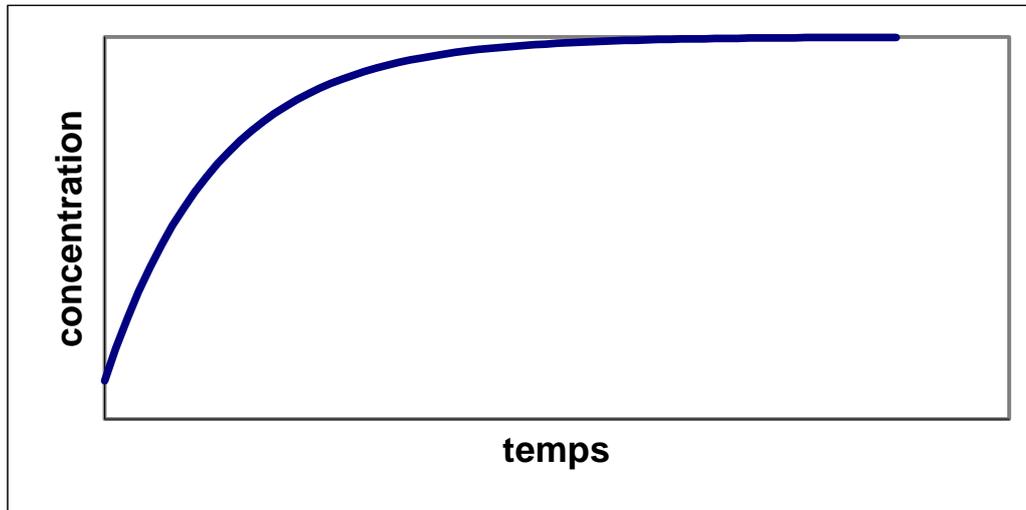


Illustration 3. La fonction exponentielle pour un modèle complet.

Méthodes et matériaux

La concentration moyenne dans la recharge nette peut être calculée comme la quantité moyenne annuelle de chlorure utilisée, divisée par la recharge nette annuelle pour la zone, plus la sédimentation naturelle de fond.

$$[Cl]_{tot} = \frac{M_{Cl} * m_{salt}}{(P - E)A} + [Cl]_{dep}$$

Pour pouvoir effectuer ces calculs pour une région, les données numériques nécessaires sont:

- Les cartes illustrant l'aire de captage, obtenues auprès de l'Institut suédois de météorologie et d'hydrologie (SMHI) ou les données d'élévation numériques à partir desquelles sont obtenues les aires de captage grâce aux systèmes d'information géographique, par ex. Arcview.
- La recharge nette obtenue à partir de cartes réalisées par l'Institut suédois de météorologie et d'hydrologie (SMHI).
- La sédimentation naturelle de chlorure (considérant la différence de sédimentation en fonction des divers usages agricoles) dans la zone de l'Agence de protection de l'environnement suédoise (SEPA 2000).
- Le réseau de routes nationales, les différentes catégories de routes et la quantité moyenne de sel d'épandage utilisée pour chaque catégorie, obtenus auprès de l'Administration suédoise des routes.

Toutes les données sont traitées et présentées avec l'outil GIS Arcview.

Les informations sur la recharge nette du SMHI reposent sur la moyenne annuelle de la période 1961-1990. Les valeurs de sédimentation de base naturelle sont calculées à partir des valeurs de sédimentation 1985-1989 (SEPA 2000). L'utilisation de sel d'épandage se base sur les valeurs moyennes annuelles de la période 1995-1999.

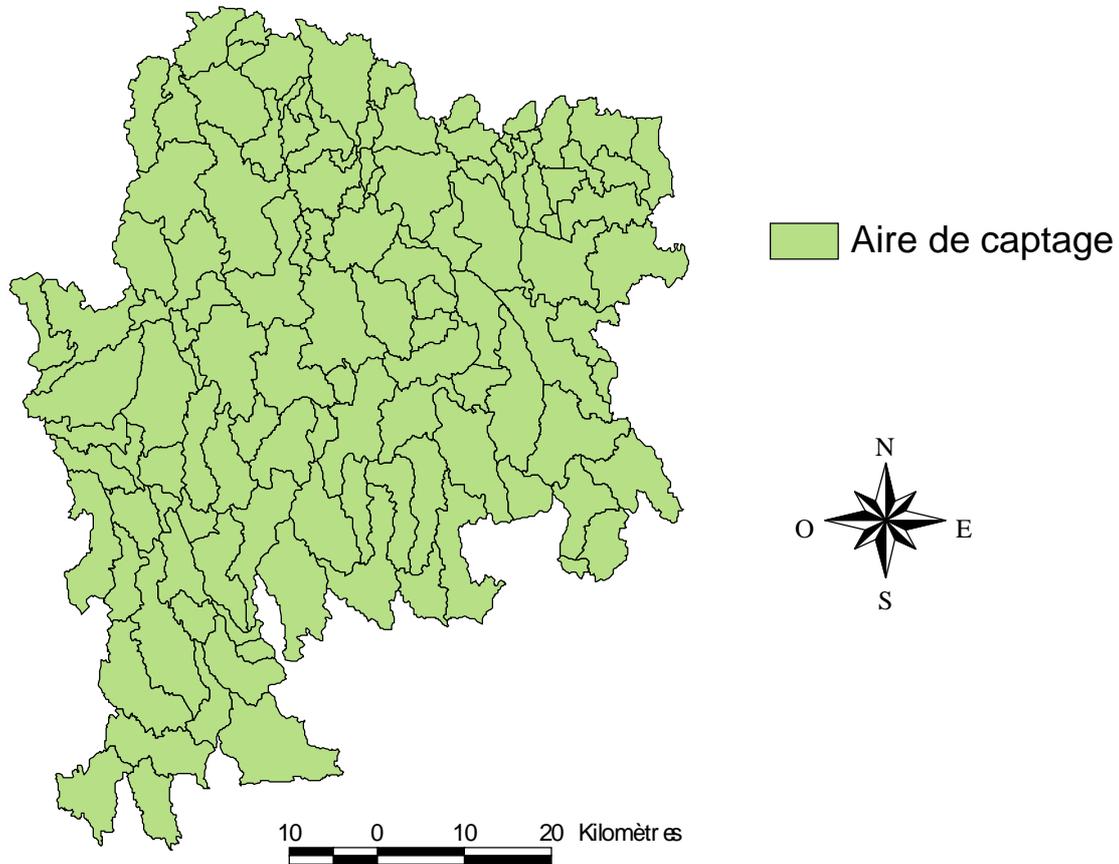


Illustration 4. Les aires de captage de Mälaren dans le comté de Västmanland

Les calculs ont été effectués pour le compte du comté suédois de Västmanland. Dans l'illustration 4, l'aire de captage de Mälaren est représentée avec des sous-aires de captage moyennes de 34 km². La concentration en chlorure calculée est une valeur moyenne pour l'eau de recharge dans chaque sous-aire de captage. Toutefois, la concentration en chlorure dans l'eau de décharge d'une sous-aire de captage dépend de la concentration dans la recharge de la zone et de la concentration dans l'eau de zones en amont du bassin [1].

$$[Cl]_i = \frac{M_{Cl}}{M_{NaCl}} \frac{\sum \left(\frac{m_{salt}}{(P-E)A} + [Cl_{dep}] \right) A_i}{\sum A_i} \quad [1]$$

Résultat

A Västmanland, la recharge annuelle nette varie entre 200 et 300 mm, et la sédimentation de fond contribue à une concentration en chlorure de 2 mg/l dans l'eau de recharge. Dans l'illustration 5, la concentration en chlorure moyenne calculée est représentée pour toutes les sous-aires de captage de Mälaren au sein du comté de Västmanland. La quantité de sel d'épandage utilisée (en tonnes par kilomètre et saison) pour les différentes catégories de routes est de 12 tonnes pour A2, 11 tonnes pour

A3, 4 tonnes pour B1 et 1 tonne pour B2. Il n'y a pas de routes entrant dans les catégories A1 ou A4 dans ce conté.

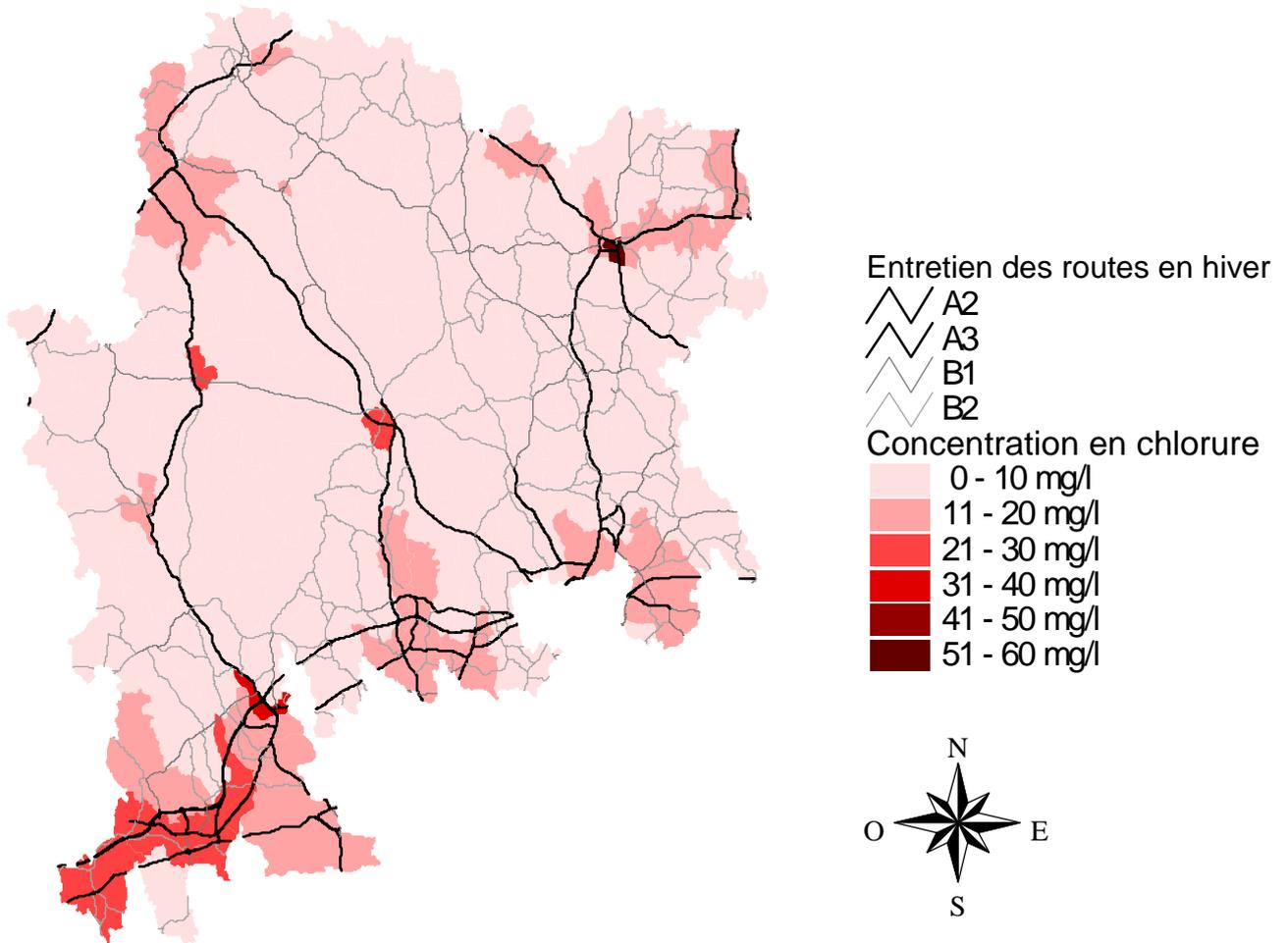


Illustration 5. Concentration moyenne en chlorure dans l'eau de recharge des sous-aires de captage du Västmanland, Suède.

Discussion

La méthode représente l'effet sur l'environnement du sel d'épandage à grande échelle. Les variations saisonnières et les variations spatiales locales peuvent influencer la concentration réelle. Pour calculer les concentrations stationnaires moyennes, il conviendrait de simplifier un événement complexe afin d'estimer les effets.

A l'origine, les calculs s'effectuaient par conté. Toutefois, afin de calculer les concentrations dans une sous-aire de captage en particulier, le calcul doit commencer au bassin hydrographique et par conséquent, les calculs ont été modifiés pour se baser sur l'aire de captage. Comme nous le mentionnons précédemment, la concentration en chlorure calculée est une valeur moyenne pour l'eau de recharge de chaque sous-aire de captage et la concentration en chlorure dans l'eau de décharge d'une sous-aire de captage dépend de la concentration dans la recharge de la zone et de la

concentration dans l'eau des zones en amont du bassin. En réalité, la représentation la plus fidèle de cette valeur serait la concentration en chlorure dans un lac ou dans une grande source à proximité de l'émissaire de la sous-aire de captage. Dans le cadre du programme de surveillance nationale, l'Université SLU d'Uppsala étudie l'état de certains lacs tous les cinq ans. Dans les trois études les plus récentes, la concentration en chlorure a été mesurée. Afin d'évaluer la méthode, la concentration en chlorure calculée dans chaque sous-aire de captage a été comparée aux concentrations de chlorure mesurées dans les lacs proches de l'émissaire de la sous-aire de captage concernée. La concentration en chlorure calculée était cohérente par rapport aux valeurs mesurées.

Une autre façon possible d'évaluer les effets du sel d'épandage consiste à commencer par des valeurs mesurées et à estimer la contribution d'autres sources. Quelle est la contribution du sel de déneigement par rapport à d'autres sources de chlorure (par ex. sel subsistant, intrusion d'eau salée, eaux usées, sites d'enfouissement, fertilisants, etc). La méthode présentée ne prend en considération que l'utilisation de sel d'épandage et la concentration de fond. D'autres sources peuvent être d'égale importance ou d'importance supérieure à certains endroits. Toutefois, l'impact le plus grand du sel d'épandage peut concerner les zones où la concentration en chlorure est déjà augmentée en raison d'autres facteurs.

Afin d'estimer la concentration en chlorure avec davantage de précision, il est nécessaire de prendre en considération le sens de l'écoulement de l'eau. En amont d'une route, seule l'eau douce s'infiltrera ou ruissellera. Immédiatement en aval de la route, la concentration en chlorure dans l'eau d'infiltration ou l'eau de surface sera la plus élevée. L'emplacement de la route dans l'aire de captage sera importante pour la concentration en chlorure obtenue. Si la route est située plus en aval, l'effet de dilution sera encore plus grand que si la route est située "plus en haut" dans le système, avec seulement une faible contribution en eau douce.

La contamination sera relativement élevée devant les petites aires comptant de nombreuses routes importantes. Si l'aire est "plus en haut" dans le système, la concentration dans l'eau de décharge de la zone sera plus élevée. Si la zone est plus proche de l'effluent, l'effet de dilution peut réduire la concentration à des niveaux inférieurs.

Lorsque les concentrations de chlorure calculées sont comparées aux concentrations mesurées, en particulier dans les zones urbaines, il est important de se souvenir des différences entre l'environnement urbain et rural. Dans l'environnement rural, la route peut être considérée comme une source linéaire. Dans l'environnement urbain, l'utilisation de sel de déneigement est répartie plus uniformément étant donné que non seulement l'Administration nationale des routes, mais également les propriétaires fonciers municipaux et privés recourent au sel pour le déneigement. Par conséquent, il est plus précis de prendre en considération l'application moyenne en g/mm^2 (Howard & Haynes 1993). Par ailleurs, la quantité de surfaces en dur et le système d'eau de drainage dans un environnement urbain affectera la distribution d'eau au sein de l'aire de captage.

Remerciements

Le projet a été financé par l'Administration suédoise des routes par le biais du Centre de recherche et d'éducation chargé du fonctionnement et de la maintenance de l'infrastructure (CDU) et par l'Institut royal de technologie (KTH) de Stockholm.

Références

- Amrhein, C., Mosher, PA., Strong, JE., Pacheo, PG., 1994. Heavy Metals in the Environment. Trace Metal Solubility in Soils and Waters Receiving Deicing Salts. *J. Environ. Qual.* 23, 219-227.
- Bauske, B. & Goetz, D., 1993. Effects of Deicing-Salts on Heavy Metal Mobility. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 21, 38-42.
- Bäckman, L., Folkesson, L., 1995. The influence of de-icing salt on vegetation, groundwater and soil along Highways E20 and 48 in Skaraborgs County during 1994. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) meddelande Nr 775A.

- Howard, K. & Haynes, J., 1993. Groundwater Contamination Due To Road Deicing Chemicals - Salt Balance Implications. *Geoscience Canada*, Vol 20, 1-8.
- Huling, EE. & Hollocher, TC., 1972. Groundwater contamination by Road Salt: Steady-State Concentrations in East Central Massachusetts. *Science*, Vol 176, 288-290.
- Norrström, AC & Jacks, G., 1998. Concentration and Fractionation of Heavy Metals in Roadside Soils Receiving Deicing Salts. *The Science of the Total Environment* 218, 161-174.
- Olofsson, B. & Sandström S., 1998. Increased salinity in private drilled wells in Sweden – Natural or manmade? In *Deicing and Dustbinding – Risk to Aquifers*, NHP Report 43, 75-81.
- Swedish Environmental Protection Agency (SEPA), 2000. Environmental Quality Criteria: Groundwater. Report 5051.
- Thunqvist, E-L., 2000. Pollution of groundwater and surface water by roads, Licentiate thesis, Division of Land and Water Resources, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ISBN 91-7170-600-3.
- Vägverket (Swedish National Road Administration), 1995. Yt- och grundvattenskydd. VV Publ 1995:1. (In Swedish).