

# IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA VIABILITE HIVERNALE AVEC DU SEL

Par Dr Franz Götzfried, Salt Research et consultant (Allemagne)

Stéphanie Gaudé, spécialiste viabilité hivernale – Cerema (France)

## RÉSUMÉ

Cette étude a impliqué une recherche exhaustive pour collecter des informations à propos des matériaux agissant sur la neige et la glace. Cela comprend la révision d'informations publiées et des pratiques courantes. Les sujets suivants ont été couverts :

- La mobilité et la sécurité dans le cadre de l'entretien hivernal des routes ;
- La chaîne de production du sel ;
- La qualité du sel ;
- Entreposage et logistique du sel ;
- Consommation de sel ;
- L'efficacité du sel comparée à d'autres déglaçants organiques ou inorganiques ainsi que des abrasifs ;
- Les impacts environnementaux des déglaçants et des abrasifs ;
- L'entretien hivernal et l'économie circulaire ; et
- Les stratégies et les technologies pour optimiser l'utilisation du sel.

L'objectif principal de cette étude était de déterminer l'impact environnemental de l'entretien hivernal avec le sel et les alternatives.

Il est nécessaire de préserver la mobilité et la sécurité sur les routes en hiver. Donc, la maintenance hivernale est une activité systématiquement importante. L'objectif d'obtenir la même mobilité en hiver que pendant le reste de l'année ne peut être atteint que par un entretien hivernal efficace. Le nombre total d'accidents sur la glace et la neige est réduit, offrant une indication claire des bonnes pratiques d'entretien hivernal en Europe. L'utilisation du chlorure de sodium (NaCl, sel) est une partie essentielle de ces pratiques.

L'Europe a un excellent approvisionnement en matériau brut. Le sel peut être obtenu à partir de mines de sel gemme, d'eau de mer et de lacs salés. Les techniques de production de sel préviennent et minimisent toute contamination de l'environnement, elles contribuent à la conservation de la biodiversité et à l'utilisation durable des ressources. Elles assurent une empreinte écologique la plus basse possible. Tous les types de sels produits conviennent à une utilisation de sel de déneigement : Sel gemme, sel évaporé, sel solaire. L'industrie du sel fournit du sel de déneigement de grande qualité selon la norme européenne EN 16811-1.

Tous les produits étendus sur les routes ont un impact sur différents aspects de l'environnement (eau, biodiversité, végétation, sol) et dépendent de leur nature (organique, inorganique). Les effets du sel sont parmi les plus étudiés, car c'est le produit le plus utilisé. Il a des effets sur les sols : une augmentation de la concentration de sodium

dans le sol a tendance à lessiver les cations de K, Ca et Mg, ce qui peut causer des déficiences nutritionnelles dans certains types de sols. Le sodium peut aussi augmenter la libération de métaux lourds des sols en bordure des routes, s'il y a lieu. Les eaux de surface (stagnantes et courantes) sont les plus affectées par les activités d'entretien hivernal. Cette pression polluante saline peut donc entraîner une diminution de biodiversité dans des écosystèmes aquatiques, selon la durée, la fréquence d'exposition et la sensibilité des écosystèmes récepteurs ou provoquer des symptômes importants sur les arbres en bordure de route (réduction de la photosynthèse, etc.). Par contre, les réservoirs d'eau souterraine demeurent insensibles à une possible contamination du sel, à cause de leur volume et de leur débit. L'agent anti-agglomérant ferrocyanure du sel ne persiste pas dans l'environnement et il est enlevé par les précipitations, la photolyse, la volatilisation et la dégradation biologique.

Les fondants routiers à haute conductivité, comme le sel, peuvent impacter les métaux comme l'acier, le zinc, etc. Le choix du bon matériau et d'une protection contre la corrosion fait que les dommages de corrosion aux véhicules et aux infrastructures routières ne sont plus des problèmes importants de nos jours. Avec le sel, seule une attaque mineure aux infrastructures routières faites de béton peut être attendue, si elles correspondent aux normes actuelles de béton et de construction.

Les chlorures de calcium et de magnésium ont l'avantage qu'ils demeurent efficaces même à de très basses températures. Par contre, avec ces produits, davantage de chlorure est rejeté dans l'environnement. Il y a aussi le risque de glissement chimique, résultant de la formation d'hydrates sur la surface de la route. Ces produits sont plus dispendieux que le sel.

Quant aux autres fondants routiers, leur impact environnemental peut encore être étudié, à cause de leur grande variété. Les fondants routiers utilisés dans les zones aéroportuaires (formate, acétate, urée) sont issus de la chimie organique. Même s'ils sont dits biodégradables, la quantité d'oxygène requise pour leur biodégradation doit être considérée. L'oxygène consommé peut asphyxier l'environnement et mener à une réduction de la biodiversité. Leurs impacts sur les eaux, les sols et la végétation doivent encore être étudiés en fonction de leur composition.

Quant aux abrasifs, la formation d'une fine poussière (PM10), à cause de la circulation, doit être considérée. L'écrasement des abrasifs sur la voie peut augmenter la pollution des PM10 pendant l'hiver. La fine poudre de sel se dissout dans des membranes muqueuses et ne pose pas de risque pour la santé.

Le problème de l'élimination ou du traitement des résidus dépend de la nature des fondants routiers. Pour les produits avec des chlorures (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>), une grande partie est collectée dans les bassins de rétention. Pour contrôler la qualité des eaux de ruissellement déversées dans l'environnement, le débit d'eau des bassins de rétention peut être optimisé. Des recherches sont en cours pour tester des plantes halophytiques pour le dessalement des eaux de ruissellement routier.

Pour les fondants routiers organiques, comme les formates et les acétates, leur principal impact environnemental est leur consommation d'oxygène. Leur dégradation nécessite un traitement dans les usines de traitement des eaux usées. Pour les matériaux abrasifs en milieux urbains, le balayage est nécessaire pour prévenir l'obstruction des réseaux

d'égouts, la production de fines particules et la perte d'adhérence des véhicules sur la chaussée causée par les résidus.

Le problème de l'impact environnemental doit tenir compte du cycle de vie du produit. La consommation des énergies fossiles pour fabriquer le NaCl est plus basse que pour d'autres matériaux utilisés en viabilité hivernale, car il est naturel et ne nécessite pas un processus industriel pour sa fabrication (avec l'exception des abrasifs naturels venant de carrières). La consommation énergétique pour l'épandage est liée à la dose, donc prédominante pour les abrasifs et plus importante pour les déglaçants liquides organiques. L'émission des gaz à effet de serre peut être minimisée par une production locale du sel, et le choix de la bonne méthode de transport.

Plusieurs solutions alternatives, autres que le sel, existent sur le marché. Néanmoins, aucun produit ne remplit toutes les exigences (fonction, impact environnemental) de la spécification technique européenne CEN/TS 16811-3. Quelques avantages (comme moins corrosif et biodégradable) sont souvent contrebalancés par d'autres inconvénients (comme plus grandes doses, plus faible adhésion). Habituellement, les alternatives sont beaucoup plus coûteuses que le sel et, donc, utilisées seulement pour des besoins spécifiques.

Les produits abrasifs ont un objectif différent du sel ; ils ne sont utilisés qu'en traitement curatif pour rétablir l'adhérence sur une chaussée qui demeurera enneigée/glacée. Les taux d'épandage sont beaucoup plus élevés que pour le sel. Donc, ils créent une fine poussière et doivent être balayés à la fin de l'hiver. Ils ne sont utilisés que pour les réseaux dans des régions avec des hivers rigoureux (montagnes, faible circulation).

Le sel est utilisé dans la fabrication de nombreux produits. À la fin du processus de fabrication, le sel, au lieu d'être traité comme un déchet, peut être réutilisé comme fondant routier. Différents exemples en Europe démontrent que l'utilisation de sels en sous-produits et des sels usagés dans la viabilité hivernale contribue à l'efficacité de la ressource et à l'économie circulaire.

Dans l'éventualité d'une crise, les gestionnaires routiers doivent s'assurer d'un stock suffisant de déglaçant pour répondre aux phénomènes hivernaux intenses. Le sel est un produit commun, dont la production peut être suffisante pour affronter ces événements intenses.

L'entreposage du sel nécessaire pour les mois d'hiver est habituellement fait selon un modèle en trois tailles : - petit, silos locaux et entrepôts, - moyen, entrepôts régionaux, - entrepôts de l'industrie du sel. Dans certains pays, les autorités routières constituent des réserves d'urgence de sel pour assurer une autonomie nationale. L'industrie du sel utilise tous les modes de transport possibles pour remplir les stocks : camions, trains, bateaux, etc.

La protection du sel et de l'environnement immédiat ainsi que la facilité de manutention du sel sont nécessaires et peuvent être assurés par un bon entreposage du sel, soit par un toit, soit par la couverture de stocks extérieurs. Des protocoles de gestion automatisée des stocks basés sur le Web permettent aux utilisateurs d'avoir un plein contrôle sur leurs stocks et budgets.

Lorsque vous choisissez des produits chimiques pour le déglacage, il est important de considérer leurs disponibilité, efficacité et coût sous les différentes conditions climatiques et d'évaluer leur impact environnemental.

Le chlorure de sodium a la meilleure efficacité environnementale (plus bas coûts, utilisable en climat hivernal normal, impact environnemental acceptable) et la plus grande disponibilité, c'est pourquoi c'est le fondant routier par excellence.

La dynamique de la consommation de sel dépend des conditions hivernales variables en températures et en précipitations. La consommation européenne de sel pour le déglacage est extrêmement variable, allant de 5 à 17,5 millions de tonnes annuellement. Les statistiques nationales disponibles montrent principalement une tendance stable voire à la baisse de la consommation et le décalage entre la consommation de sel et l'augmentation des km de routes ou des surfaces entretenues. Les raisons de ce succès sont des stratégies améliorées d'entretien (raclage d'abord, épandage préventif, recommandations de dose), un épandage de meilleure qualité (sel préhumidifié, saumure directe) et l'utilisation de systèmes d'information météorologique routière (RWIS). Dans une vision à long terme, une diminution de la consommation de sel est attendue, à cause des changements climatiques.

L'étude recommande plus d'efforts pour minimiser et optimiser la consommation ou l'utilisation du sel. Cela est bien accueilli et soutenu par l'industrie du sel. Il y a plusieurs façons d'optimiser la quantité de sel épandu. La première est d'épandre uniquement la quantité nécessaire ; en calibrant les épandeurs, s'adaptant aux phénomènes météo, etc. La tendance européenne est d'utiliser la saumure (sel préhumidifié, saumure sursaturée, saumure seule). D'autres mesures sont possibles, comme le développement de stratégies de gestion basées sur la sensibilité de l'environnement, ou encourager l'utilisation de pneus d'hiver.

L'objectif est de continuer à creuser l'écart entre la consommation de sel et le développement croissant de transport de passagers et de marchandises ainsi que de l'expansion des routes et des surfaces pavées en Europe. En même temps, les accidents de circulation causés par les routes glissantes doivent encore être réduits.

## **CONCLUSIONS IMPORTANTES ET TENDANCES MAJEURES**

Les conclusions importantes et les tendances majeures dans l'application de matériaux agissant sur la neige et la glace rencontrées durant cette analyse comprennent :

- Pour conserver la mobilité et la sécurité des routes européennes l'hiver, un entretien hivernal efficace est nécessaire. L'utilisation du chlorure de sodium (NaCl, sel) est une composante essentielle de cette importante activité systémique.
- Le sel de déneigement est obtenu des mines de sel gemme, de l'eau de mer et des lacs salés et il respecte les exigences de la norme européenne EN 16811-1.

- Le sel et les autres produits de déglacage ainsi que les abrasifs épandus sur les routes ont un impact sur différents aspects de l'environnement (eau, biodiversité, végétation, sol).
- Les effets du sel sont parmi les plus étudiés, car c'est le produit de traitement de la neige et de la glace le plus utilisé. Quant aux autres déglacants, leur impact environnemental doit encore être étudié étant donné leur grande variété.
- Le sel a des effets sur les sols (lessivage de nutriments, libération de métaux lourds) et peut provoquer des réactions importantes sur les arbres en bordure de route (réduction de la photosynthèse, etc.). Les eaux de surface (eaux stagnantes et courantes) sont plus impactées par les activités de viabilité hivernale (réduction de la biodiversité).
- Quelques avantages (comme moins corrosif et biodégradable) de déglacants alternatifs au sel sont souvent contrebalancés par d'autres inconvénients (comme de plus grandes doses, une plus faible adhérence et une grande consommation d'oxygène). Habituellement, les alternatives sont beaucoup plus coûteuses que le sel et, donc, utilisées seulement pour des besoins spécifiques.
- Les taux d'épandage des abrasifs sont beaucoup plus élevés que ceux du sel. Ils ne sont utilisés que dans des traitements curatifs pour rétablir l'adhérence à une voie qui demeurera enneigée/glacée. Avec les abrasifs, il faut tenir compte de la formation de fine poussière (PM10) causée par la circulation. Ils doivent être balayés à la fin de l'hiver.
- Le problème de l'impact environnemental doit tenir compte du cycle de vie du produit. La consommation d'énergies fossiles pour fabriquer le sel est plus faible que pour les autres déglacants. La consommation énergétique pour l'épandage est liée à la dose, donc prédominante pour les abrasifs et plus importante pour les déglacants liquides organiques.
- Le sel est le déglacant avec la meilleure efficacité environnementale pour l'entretien hivernal des routes ; il convient aux traitements préventifs et curatifs ; il est efficace jusqu'à une température de -8 C ; une faible quantité est possible ; il a un impact environnemental acceptable ; et il a le plus faible coût comparé aux autres déglacants. Les ressources naturelles, les capacités de production de l'industrie et les concepts de logistique garantissent une grande disponibilité du sel.
- Des exemples démontrent que l'augmentation de l'utilisation de sel dérivé d'autres produits et de sels usagés de différentes industries comme sel ou comme saumure pour le déglacage et la prévention de la glace dans l'entretien hivernal contribue à l'efficacité de la ressource et à l'économie circulaire.
- La dynamique de la consommation de sel dépend des conditions hivernales variables en températures et en précipitations. La consommation européenne de sel pour le déglacage est extrêmement variable, allant de 5 à 17,5 millions de tonnes annuellement.
- Les statistiques nationales disponibles montrent principalement une tendance stable ou à la baisse de la consommation et le découplage de la consommation de sel de l'augmentation des longueurs de routes ou des surfaces entretenues.
- Le changement climatique avec l'augmentation de la température durant l'hiver a un impact sur l'entretien hivernal. Les principaux effets sont des changements

dans l'intensité et le type de phénomènes ; moins de neige, plus de glace, des cycles de gel/dégel plus fréquents, plus rarement des événements plus intenses. L'entretien hivernal doit alors s'adapter. Dans une vision à long terme, une diminution de la consommation de sel est attendue, à cause des changements climatiques.

- L'étude recommande plus d'efforts pour minimiser et optimiser la consommation ou l'utilisation du sel. Cela est bien accueilli et soutenu par l'industrie du sel. Il y a plusieurs façons d'optimiser la quantité de sel épandu : épandre seulement la quantité nécessaire ; calibrage des épandeurs, adaptation aux phénomènes météo, etc. La tendance européenne est l'utilisation d'une solution saline (saumure) comme le sel préhumidifié, la saumure sursaturée et la saumure seule.
- L'objectif est de continuer à découpler la consommation de sel du développement croissant du transport de passagers et de marchandises ainsi que de l'augmentation de la longueur des routes et des surfaces pavées en Europe. En parallèle, les accidents de circulation causés par les routes glissantes doivent encore être réduits.

Tableau 9: Comparatif impacts environnementaux connus des différents fondants routiers

Fondants	Caractéristiques respectueuses de l'environnement	Impacts négatifs sur l'environnement	Commentaires
Chlorure de sodium NaCl (solide)		Toxicité des ions chlorure (contamination de la nappe phréatique).  Sodium Na <sup>+</sup> effet dispersant sur le sol.  Symptômes importants sur les arbres en bordure de route.	Meilleure éco-efficacité : pour le traitement préventif et curatif; efficace jusqu'à la température -8 ° C; faible dose nécessaire; coût le plus bas par rapport à tous les autres fondants.  Haute disponibilité (ressources naturelles : gisements de sel gemme, eau de mer, lacs salés).
Saumure de chlorure de sodium (liquide)	Moins d'entrée de sel dans l'environnement qu'avec du NaCl solide.	Mêmes impacts que le NaCl solide.	Plus efficace que le NaCl solide en traitement préventif, mais ne convient pas à toutes les conditions météorologiques.
Chlorure de calcium CaCl <sub>2</sub>	Le calcium Ca <sup>2+</sup> n'a pas d'effet dispersant sur le sol comme le sodium <sup>Na+</sup> .	Toxicité des ions chlorure (contamination de la nappe phréatique).  Double la quantité de chlorure par rapport au NaCl.  Symptômes importants sur les arbres en bordure de route.	Coût élevé par rapport au NaCl.  Efficace à des températures inférieures par rapport au NaCl. Risque de glissement chimique. Sa toxicité serait plus importante que celle du NaCl pour le plancton et les invertébrés, et moins importante pour les poissons.

			Classification du SGH en tant que substance dangereuse (« irritant pour les yeux »).
Chlorure de magnésium  MgCl <sub>2</sub>	Le magnésium Mg <sup>2+</sup> n'a pas d'effet dispersant sur le sol comme le sodium <sup>Na+</sup> .	Toxicité des ions chlorure (contamination de la nappe phréatique).  Double la quantité de chlorure par rapport au NaCl.  Symptômes importants sur les arbres en bordure de route.	Risque de glissement chimique. Le chlorure de magnésium est plus toxique que le NaCl pour certaines espèces de poissons aquatiques testées.
Chlorure de potassium  KCl		Dommages constatés sur certaines plantes.	Inefficace à des températures inférieures à -4° C / -7° C.  Le chlorure de potassium est plus toxique que le NaCl pour certaines espèces de poissons aquatiques testées.
Fondants à base d'acétate (CMA, acétate de potassium, acétate de sodium)  C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Biodégradable.  Moins de dommages à la flore et à la faune que le NaCl.	A priori plus d'effets nocifs sur le phytoplancton, les invertébrés et les poissons que le NaCl.  Biodégradation consommatrice d'oxygène pour l'acétate de sodium.  Impact de l'ion sodium <sup>Na+</sup> (similaire à NaCl).	Son coût est environ 20 fois plus élevé que le coût du NaCl [28]
Fondants à base de formate	Biodégradable.	Impacts similaires à ceux de l'acétate.  Plus difficile à biodégrader que l'acétate [28].  Biodégradation consommatrice d'oxygène.	Son coût est environ 20 fois plus élevé que le coût du NaCl [28]
Urée	Faible corrosivité.	Dommages à la végétation favorise la croissance des algues et l'eutrophisation des cours d'eau.	Efficace jusqu'à des températures -3° C / -4° C.  Coût élevé.  Nécessité de prendre des précautions pour limiter le ruissellement aux eaux souterraines.
Fondants à base de sulfate / nitrate		Nocif pour le béton et les pierres poreuses.	

		Risques de pollution importants pour les eaux de surface (azote inorganique). Très corrosif.	
Alcool et glycol		Non corrosif. Substances non autorisées dans les lacs et les rivières. Biodégradation à forte consommation d'oxygène.	Classification SGH de l'éthylène glycol en tant que substance dangereuse.