

2. La corrosion des routes, des ponts et des véhicules

Parmi tous les impacts sur l'environnement, la corrosion des véhicules et des structures fabriquées qui est accélérée par les chlorures est celle qui coûte le plus cher. En comparaison, les répercussions sur l'eau, la végétation et la faune sont relativement faibles.

2.1.

Les routes

Les routes et les grandes artères peuvent être construites de manière à résister au sel de voirie. Le béton aéré de qualité supérieure, armé d'acier résistant à la corrosion, prolonge la vie utile des structures de voirie. La chaussée peut également être traitée pour inhiber la pénétration de l'ion chlorure.

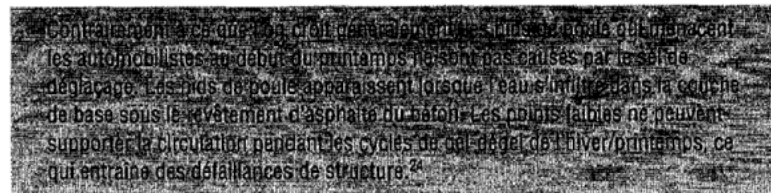
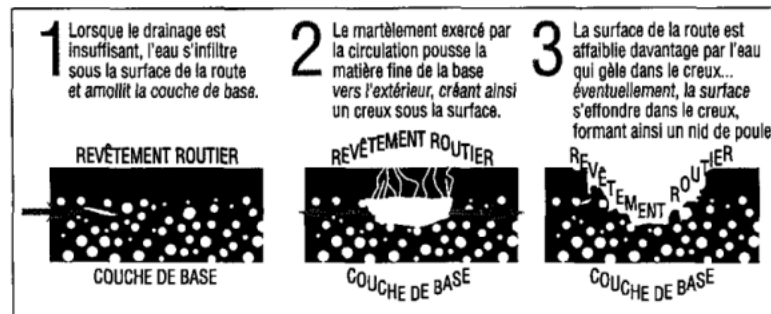


Figure 2 : les étapes de la formation des nids de poule



Un drainage insuffisant permet à l'eau de s'infiltrer dans la couche de base ou sol de fondation, où elle affaiblit la structure de soutien de la chaussée. Le martèlement répété des véhicules lourds et des pneus de voitures entraîne une liquéfaction localisée qui disperse les matières fines (matériaux triés plus finement) avec l'eau, laissant ainsi un vide qui finit par s'effondrer. Si l'eau gèle dans ces vides, elle prend de l'expansion et soulève la chaussée, ce qui provoque des fissures et favorise la pénétration de l'eau. À mesure que la glace dégèle, la circulation qui passe sur la chaussée affaiblie la fait fléchir, puis s'effondrer éventuellement. Les morceaux de chaussée brisée sont délogés de l'endroit affaibli par cette action, ce qui laisse un nid de poule.

²⁴ Berlin, Marcus et Elizabeth, Hun, Oregon DOT, Asphalt Concrete Patching Material Evaluation, rapport intérimaire, SR 458, 20 juin, <http://www.oregon.gov/ODOT/>

2.2.

Les ponts

La corrosion de l'armature du tablier des ponts est particulièrement inquiétante. Les technologies et conceptions nouvelles atténuent ce problème. Néanmoins, les chlorures accélèrent la corrosion de l'acier, causée par l'humidité et l'oxygène qui entrent en contact avec l'acier nu. Les appuis d'acier exposés de la plupart des ponts sont protégés par des systèmes de revêtement qui, s'ils sont bien entretenus, protègent l'acier exposé contre toute corrosion importante. Les ponts situés près des côtes, notamment dans des endroits humides comme la côte du golfe du Mexique, sont particulièrement préoccupants.²⁵

Le problème le plus sérieux se situe sous la surface, en raison de la corrosion de l'armature des tabliers de ponts en béton. Des fissures et autres ouvertures dans la chaussée du tablier permettent à l'humidité, à l'oxygène et aux ions chlorure d'attaquer les barres d'acier. De nos jours, tous les nouveaux ponts sont construits avec des barres qui résistent à la corrosion, pour tenir l'humidité, l'oxygène et les ions chlorure à l'écart de l'acier. Les concepteurs des tabliers de ponts exigent maintenant que l'armature soit recouverte d'au moins 50.8 mm de béton aéré lourd de qualité supérieure. L'occlusion d'air signifie que des milliers de bulles d'air minuscules sont délibérément emprisonnées dans le béton pour permettre son expansion et sa contraction durant le cycle de gel-dégel sans fendre.

Les dommages dus à la corrosion dans les ponts moins récents peuvent être suspendus grâce à des systèmes de protection cathodique. La corrosion est causée par un flux d'électrons mis en mouvement lorsqu'un électrolyte tel que l'eau salée entre en contact avec l'acier. Le système de protection cathodique fait passer dans le tablier un courant électrique inverse de faible intensité, ce qui a pour effet de contrer le flux des électrons. Même si la corrosion est déjà amorcée depuis un certain temps, la protection cathodique peut la suspendre net. On incorpore la protection cathodique dans la construction des ponts neufs, pour prévenir la pénétration du chlorure. On a également mis au point des traitements pour éliminer les chlorures des ponts.²⁶

Pour protéger les ponts contre la corrosion, il faut les entretenir et les exploiter convenablement. Les surfaces de ponts, exposées par le dessus et par le dessous à des températures de gel, gèlent avant la chaussée adjacente. Dans les nouveaux ponts, on incorpore parfois des systèmes automatiques qui vaporisent des liquides déglaçants sur le tablier lorsque les capteurs détectent de l'humidité à des températures de gel. Il est donc d'autant plus important qu'on vérifie les systèmes de drainage sur les ponts pour s'assurer qu'ils sont ouverts et qu'ils fonctionnent, de manière à ce que la saumure ne demeure pas sur le tablier une fois le déglçage terminé.

²⁵ "Interim Conclusions, Recommendations and Design Guidelines for Durability of Post-Tensioned Bridge Substructures", rapport de recherche 1405-5, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1999, p. 12, http://216.239.37.104/search?q=cache:PYrmohHmSwAJ:www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/1405.pdf+%22rebar+corrosion%22+and+%22Gulf+coast%22&hl=en&ie=UTF-8

²⁶ "Chloride Removal Implementation Guide", Strategic Highway Research Board, National Academy of Sciences, 1993; <http://gulliver.trb.org/publications/shrp/SHRP-S-347.pdf>

2.3.

Les véhicules

Jusqu'à la dernière décennie, la corrosion des véhicules était la conséquence la plus coûteuse de l'utilisation du sel de voirie. Les fabricants de véhicules ont intégré la résistance à la corrosion dans leurs voitures et camions en améliorant la conception des véhicules et en ayant recours à des matériaux anticorrosionTM comme le plastique, l'acier galvanisé, les peintures améliorées et les revêtements anti-rouille. Ces derniers ont tous servi à prolonger la vie utile de l'automobile. " ... Certains modèles parviennent presque à éviter complètement la corrosion, grâce à une construction et à des matériaux de qualité, ainsi qu'à l'application soignée d'agents et d'adhésifs anti-rouille qui pénètrent et recouvrent les surfaces fissurées."²⁷ Il y a trente ans, motivés par les embargos sur le pétrole, les fabricants de voitures, ayant découvert que les plastiques rendaient les voitures plus légères et éconergétiques, se sont mis à incorporer les plastiques dans leurs pièces: pare-chocs, ailes, portières, glaces de sécurité et de custode, boîtiers de phares et de rétroviseurs extérieurs, couvercles de coffre, capots, calandres et enjoliveurs. Grâce aux plastiques, on est parvenu à réduire de 145 livres le poids moyen des voitures de tourisme construites en 1988, ce qui se traduisait par une économie de millions de gallons d'essence chaque année, soit l'équivalent de 21 millions de barils de pétrole sur la vie utile moyenne de ces véhicules.²⁸ À la sortie des modèles 1993, le véhicule moyen incorporait 250 livres de plastiques. Les futuristes²⁹ prédisent que la voiture moyenne sera une conception modulaire à deux pièces, constituée d'une unité châssis/transmission/propulsion et d'un compartiment carrosserie/habitacle. De fabrication plastique, la voiture moyenne aura une vie utile de 20 ans d'ici le milieu du 21^e siècle.³⁰ La durée des garanties anticorrosion augmente chaque année, la couverture actuelle pouvant atteindre 5 ans ou 100 000 miles (US), et même 12 ans / kilométrage illimité dans certains cas.³¹ Voir Tableau 2.

Si votre voiture est un modèle moins récent privé de cette protection accordée pendant le montage, vous pouvez néanmoins accroître sa résistance à la corrosion. En faisant laver votre voiture une fois par semaine pendant la saison hivernale, vous ferez beaucoup pour prévenir les problèmes de rouille.

Grâce aux améliorations continues de la part des fabricants de voitures, la corrosion des véhicules est plus faible que jamais. Moins de 1 % des véhicules âgés de 6 ans (1990) présentent des signes de perforation due à la rouille.³² Le coût moyen de la protection anti-rouille est passée de 500 \$ à 150 \$ (2000). Le pourcentage du PIB (produit intérieur brut) attribuable à la corrosion des véhicules motorisés est passé de 0,37 % en 1975 à 0,27 % en 1998.³³ Voir la Figure 3.

²⁷ CORROSION98 – Evaluation of Corrosion Protection on Recent Model Vehicles. NACE International, rapport 741, 1998.

²⁸ Site Web de la Society of the Plastics Industry, <http://plasticsindustry.org/industry/2118.htm>, téléchargé le 23 mars 2003.

²⁹ Snyder, David, www.the-futurist.com

³⁰ Burns, Lawrence D., McCormick, J. Byron, et Borroni-Bird, Christopher E., Vehicle of Change. Scientific American, octobre 2002.

³¹ Rapport FHWA-RD-01-156, Motor Vehicles, annexe N., Johnson, Joshua T., 2000. <http://www.corrosioncost.com/transportation/motorvehicles/index.htm>

³² Comparativement aux 96 % des véhicules de six ans perforés par la rouille, tel qu'il fut mesuré dans une étude menée par NACE en 1976. Ostermiller, Michael R., Piepho, Lee L., et Singer, Larry, 1996, "Advances in Automotive Resistance" présentée à la réunion automnale du Salt Institute, p. 10.

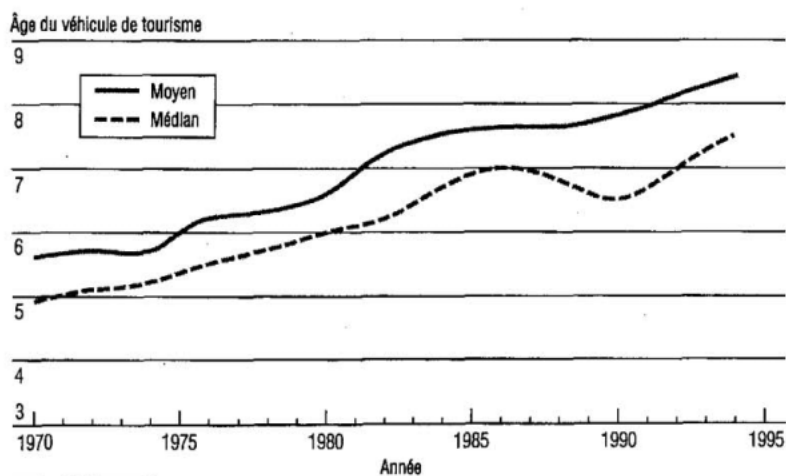
³³ IBID.

Tableau 2 – Durée des garanties contre la perforation due à la corrosion pour les voitures de l'année modèle 2000 vendues aux États-Unis

Acura	5	Illimitée	Lincoln	5	Illimitée
Audi	12	Illimitée	Mazda	5	Illimitée
BMW	6	Illimitée	Mercedes-Benz	4	50,000
Buick	6	100,000	Mercury	6	Illimitée
Cadillac	6	100,000	Mitsubishi	7	100,000
Chrysler	5	100,000	Nissan	5	Illimitée
Daewoo	5	Illimitée	Oldsmobile	6	100,000
Dodge	5	100,000	Plymouth	5	100,000
Ford	5	Illimitée	Pontiac	6	100,000
GM	5	100,000	Porsche	10	Illimitée
Honda	5	Illimitée	Saab	6	Illimitée
Hyundai	5	Illimitée	Saturn	6	100,000
Infiniti	7	Illimitée	Subaru	5	Illimitée
Isuzu	6	100,000	Suzuki	5	100,000
Jaguar	6	100,000	Toyota	5	Illimitée
Kia	5	100,000	Volkswagen	6	Illimitée
Land Rover	6	100,000	Volvo	8	Illimitée
Lexus	6	Illimitée			

1 mi = 1,61 km

Figure 3 – Âges moyens et médians des véhicules de tourisme entre 1970 et 1994³⁴



³⁴ Op cit. Johnson, Joshua T.

3. Végétation sur les abords de route

Toutes les matières utilisées pour l'entretien hivernal risquent de causer des dommages à l'environnement. Les effets les plus visibles sont observables sur les arbres et les buissons qui longent les routes.

3.1.

Le problème

Les abords de route sont des milieux très éprouvants pour la végétation. Ce sont toujours des milieux artificiels, créés au moment de la construction des routes. Les sols sont souvent compactés. À cause de l'exposition au vent et à la circulation, ainsi qu'aux contaminants toxiques déposés par cette circulation, les abords de route constituent un environnement sec et ingrat pour les plantes. Le sel peut accentuer ce stress. Des concentrations élevées de chlorure peuvent entraver l'absorption de l'humidité du sol, et amener les feuilles à brunir ou brûler. Les concentrations élevées de sodium risquent de nuire à la croissance des plantes, en modifiant la structure, la perméabilité et l'aération du sol. Les dommages additionnels que le sel risque d'infliger à la végétation dépend de six facteurs: la quantité de sel, le type de sol, la précipitation totale, la distance de la route, la direction du vent, et les espèces de plantes. En somme, les impacts sont très spécifiques au site.

Pour évaluer l'impact du sel sur l'environnement, il faut bien connaître les concentrations et les durées d'exposition, ainsi que les espèces de plantes qui sont exposées. Certains sols tolèrent mieux le sodium que d'autres. Certaines espèces de plantes tolèrent mieux les chlorures que d'autres. Certains climats influent sur la fréquence et la durée des expositions hivernales. Les expositions varient selon les saisons: saturations élevées de chlorure en hiver et au printemps, suivies de faibles expositions durant l'été et l'automne. Les taux élevés de sodium et de chlorure dans le sol diminuent au cours de la saison de croissance, à cause de la dissolution des ions par la pluie et les eaux de ruissellement. Les mesures du sol en été et à l'automne indiquent que les taux diminuent pour atteindre des niveaux de fond, après avoir été élevés durant le printemps.³⁵ Des études récentes ont révélé que certaines plantes exposées au sel résistent mieux aux maladies que les mêmes espèces non exposées.³⁶ Encore une fois, ces variables varient d'un endroit à l'autre.

La concentration saline des eaux de ruissellement varie selon les taux de précipitation. Après avoir analysé les eaux de ruissellement des routes, la *Federal Highway Administration* est parvenue à la conclusion suivante: " les eaux de ruissellement des routes sont généralement plus propres que celles des immeubles, fermes, ports ou autres sources ponctuelles... il est important de reconnaître que les eaux de ruissellement des routes ne constituent pas nécessairement, et le plus souvent, un problème grave."³⁷

Après plus de 50 années d'épandage de sel, il est *théoriquement* possible que l'accumulation de sodium dans les sols d'abords de route puisse avoir un effet indirect sur la croissance des plantes. À titre de solution, on pourrait corriger chimiquement la salinité du sol en y ajoutant du gypse ou de l'ammoniac anhydre.

³⁵ Hofstra, G. et Smith, DW. 1984. The effects of road deicing salt on the levels of ions in roadside soils in southern Ontario. *J. Environ. Manage.* 19 :261-271.

³⁶ Elmer, W.H., Sodium Chloride Can be used to Control Plant Disease, <http://www.saltinstitute.org/elmer.html>

³⁷ Dossier technologique de la Federal Highway Administration, " Is Highway Runoff A Serious Problem? ", accédé le 23 mars 2003 à cette adresse: www.tfhrc.gov/hnr20/runoff/runoff.htm, 8 pages.

Actuellement, les traitements au gypse semblent être la méthode de restauration la plus efficace et la moins chère.³⁸

Le rapport d'étude contient quelques observations générales concernant les effets de dix années d'épandage de sel de déglacage sur le sol et la végétation des abords de route:

Bien qu'on ait constaté une tendance cumulative générale des ions chlorure, la concentration était bien inférieure aux niveaux de sodium qui sont considérés comme étant dommageables.

Les ions chlorure ont été délavés du sol assez rapidement et n'ont donc eu aucun effet cumulatif.

L'effet global a diminué à mesure que la distance de la route augmentait, et est devenu insignifiant au delà de 80 pieds.

Le chlorure de potassium et l'urée sont des fertilisants communs que l'on utilise parfois pour le déglacage des routes ou des trottoirs. On les considère généralement comme étant des produits sans risques pour la végétation, mais les dommages végétatifs dépendent de leur taux d'application, et pour faire fondre la glace, il faut habituellement utiliser des concentrations beaucoup plus élevées que les taux d'application recommandés pour la fertilisation.

Selon le *Dayton Ohio News*, un autre sondage géologique américain, ainsi qu'une étude de 10 ans, à demi terminée par le ministère des transports de l'Ohio et fondée sur 5 000 échantillons d'eau, il semblerait que " le sel de voirie et les autres produits déglacants auraient peu ou pas d'impact à long terme sur l'environnement ". " Dans plusieurs sites, on aurait noté la présence de sel dans l'eau souterraine, mais à des concentrations pas très élevées ", remarque un agent de la USGS menant l'étude pour le compte du ODOT.³⁹

3.2.

Traitement des abords de route contre le sel

Un épandage sensé peut réduire la quantité de sel qui se répand sur les abords de routes, mais de bonnes méthodes d'ingénierie peuvent aussi aider les abords à mieux tolérer le sel. Tout comme les fabricants de voitures ont traité leurs véhicules contre le sel, les agences de la voirie peuvent traiter les abords de route contre le sel. L'emprise routière n'est pas un environnement naturel; elle est conçue pour la création d'une route. Les bonnes pratiques d'ingénierie routière canalisent les eaux de ruissellement pour faciliter le drainage et préviennent les effets néfastes pour l'environnement. Les arbres longeant les artères ou les routes principales sont généralement éliminés étant donné qu'il constituent un danger. Le remplacement de l'herbe, des buissons et des arbres (dans la mesure où on peut les planter en toute sécurité) implique un choix. Les planificateurs routiers sensibilisés à l'environnement choisissent des espèces capables de tolérer les conditions sévères de l'environnement routier qu'ils sont en train de créer. Évidemment, tous les effets néfastes des routes s'atténuent à mesure qu'on s'éloigne de la chaussée. On en observe également moins dans les abords en amont de la route et du vent.

³⁸ Suarez, Donald, « Sodic Soil Reclamation : Model and Field Study ». USDA, 18 juillet 2000. <http://www.nal.usda.gov/itrc/tektran/data/00001171/0000117105.html>

³⁹ Jones, Allison L. et Sroka, Bernard N., "Effects of Highway Deicing Chemicals on Shallow Unconsolidated Aquifers in Ohio", rapport intérimaire, 1988-93, sondage géologique américain, 6 août 1997.

Il existe des espèces de plantes, d'arbres et d'arbustes dotées d'une grande tolérance au sel (voir Tableau 2) et d'autres espèces dotées d'une très faible tolérance au sel. Le chêne, le robinier, l'orme blanc, l'olivier de Bohême, l'aubépine, et les peupliers argentés et gris ont tous une résistance élevée au sel. Par contre, l'érable à sucre et l'érable rouge, le peuplier de Lombardie, le noyer noir, le rosier et la spirée seraient de mauvais choix pour les endroits exposés aux écoulements de sel et au brouillard résultant des opérations de déglacage. Le *Department of Agriculture Research Service* des États-Unis a effectué un grand nombre de tests sur la sensibilité au sel de 13 espèces de pin différentes.⁴⁰ Des semis arrosés avec des solutions de sel furent comparés à des groupes de contrôle arrosés avec de l'eau distillée. Trois des 13 espèces ont très bien supporté des conditions extrêmement salines, plus salines d'ailleurs que les pires conditions qu'on retrouve sur les abords de routes – *Pinus thunbergii* et *P. nigra* ont affiché un taux de survie de 89 %, tandis que *P. ponderosa* s'en est tiré avec un taux de survie de 95 %. Le taux de survie inscrit est un pourcentage par rapport au contrôle – 100 % serait donc "normal" dans des conditions de laboratoire.

Tableau 3 – Tolérance relative des arbres et des ornementaux au sel

Faible tolérance au sel	Tolérance moyenne au sel	Bonne tolérance au sel
Aveline	Bouleau	Mûre blanche
Buis compact	Tremble	Abricotier
Érable à sucre	Peuplier deltoïde	Chêne blanc
Érable rouge	Érable dur	Chêne rouge
Peuplier de Lombardie	Hêtre à grandes feuilles	Aubépine
Aulne rugueux	Épinette blanche	Tamaris
Érable sycamore	Sapin baumier	Viorne trilobée
Mélèze	Douglas taxifolié	Olivier de Bohême
Viorne molle	Épinette bleue	Orme blanc
Peuplier italien	Privet du Texas	Peuplier blanc
Hêtre blanc	Xylosma	Osier blanc
Rosier	Pycarantia	Robinié faux-acacia
Ananas	Gadellier noir	Grisard
Viburnum	Pommier de Sibérie	Peuplier argenté
Saule de Drummond	Érable négondo	Chêne anglais
Spirée	Chèvrefeuille japonais	Acacia blanc
Rosier multiflore	Genévrier rouge	Callistème à feuilles
Fusain ailé	Frêne vert	lancéolées
Berbérís vulgaire	Pin ponderosa	Laurier rose
Tilleul à petites feuilles	Osier jaune	Lyciet à feuilles d'Obione
Noyer noir	Lantana	
	Genévrier touffu	
	Thuya occidental	
	Shepherdie argentée	

⁴⁰Townsend, A.M. et W.F. Kwolek, 1987. Susceptibilité relative de treize espèces de pins à l'embrun de chlorure de sodium. *J. Arbor.* 13:225-22.

Tableau 4 – Tolérance des graminées et des légumineuses au sel

Intolérants	Tolérants moyennement	Tolérants
Trèfle rampant Vulpin des prés Trèfle d'alsike Trèfle rouge Trèfle ladino Pimprenelle	Méliot blanc Méliot jaune Ray-grass vivace Brome caréné <i>Phalaris aquatica</i> Élyme triticoïde Trèfle fraise <i>Paspalum dilatatum</i> Herbe du Soudan <i>Hubram cover</i> Luzerne Dactyle pelotonné Boutelou gracieux Fétuque des prés Alpiste roseau Lotier des marais Brome inerme Avoine élevée <i>Astragalus Complanatus</i> <i>Melilotus indicus</i>	<i>Sporobolus airoides</i> <i>Distichlis stricta</i> <i>Puccinella nuttalliana</i> Herbe des Bermudes Agropyre élevé Herbe de Rhodes Brome cathartique Élyme du Canada Agropyre de l'Ouest Fétuque élevée Lotier corniculé