

ÉNERGIE GEOTHERMIQUE POUR CHAUFFER LES SURFACES DES RUES EN HIVER

R. Hess
Durth Roos Consulting GmbH, Allemagne
rainer.hess@durth-roos.de

RESUME

L'état des chaussées en hiver impose des limites à la praticabilité des routes et remet en cause la sécurité routière. Les services de ponts et chaussées sont tenus d'éviter dans la mesure du possible, par le déblayage et l'épandage de produits de dégivrage (interventions préventives), que des conditions hivernales ne s'installent sur les chaussées, ou tout au moins de les éliminer rapidement. Il n'est cependant pas possible ou pas rentable de combattre la formation de verglas partout en même temps. Dans certains cas, le service de déblayage et d'épandage conventionnel est donc complété par des dispositifs automatisés, permettant de mieux remédier à court terme à l'apparition de verglas.

Une possibilité, pour ces installations de dégivrage automatisé de la chaussée, est le chauffage de cette dernière par exploitation de la géothermie. Des installations de ce type sont utilisées ici et là dans le monde entier, mais elles ne se sont pas imposées jusqu'ici. Un calcul variationnel prenant en compte les incidences les plus diverses quant à l'efficacité et à la rentabilité de telles installations permet de considérer les aspects de la question. Il apparaît qu'une analyse très détaillée des conditions cadre individuelles sur un tronçon donné est indispensable pour pouvoir porter un jugement. De manière générale, l'utilisation de chauffages de chaussées par l'énergie géothermique semble être toujours profitable lorsque plusieurs tronçons de route répartis sur le secteur de réseau routier géré par la voirie respective doivent être équipés, et que cet équipement permet de supprimer ensuite dans leur ensemble les épandages préventifs.

Ce rapport repose sur des éléments du projet de recherche de référence FE 04.0221/2008/KRB, mandaté par le Ministère Fédéral Allemand des Transports, de la Construction et du Développement Urbain, représenté par l'Office Fédéral Allemand des Ponts et Chaussées [1]. La responsabilité de son contenu est assumée exclusivement par l'auteur.

1. INTRODUCTION

Par la mise en œuvre de techniques de déneigement et d'épandage, les services de déblayage et de salage ou sablage des routes doivent prévenir dans la mesure du possible la formation de verglas en hiver ou l'éliminer le plus rapidement possible, afin d'éviter que la praticabilité des routes et leur sécurité ne soient remises en cause. Un service de déblayage et d'épandage traditionnel cependant ne peut permettre de combattre l'apparition de verglas partout en même temps. Du fait de conditions d'environnement particulières, le verglas se forme plus rapidement sur certains tronçons du réseau routier, par exemple sur les ponts, que sur d'autres. De plus, les incidences de chaussées enneigées ou verglacées sur certains tronçons, par exemple en cas de pentes longitudinales importantes, sont plus marquées que sur le reste du réseau routier.

Les tronçons concernés doivent être desservis plus tôt, ce qui entraîne des trajets à vide improductifs. Jusqu'ici, il faut avoir recours à un épandage préventif ou à la mise en œuvre d'installations d'aspersion de produits dégivrants pour faire face à ce défi. La géothermie est une source d'énergie pratiquement inépuisable pour le chauffage de constructions. Cette source d'énergie est de plus en plus utilisée pour le chauffage de bâtiments. Mais elle est aussi appropriée pour réguler la température des routes. L'utilisation de la géothermie pourrait donc être une aide pour les services de déblayage et d'épandage, les tronçons potentiellement problématiques étant alors chauffés.

Le verglas n'aurait pas même l'occasion de se former sur ces tronçons. Ceci permet d'éviter une limitation de la sécurité et de la disponibilité routière ; des circuits d'épandage supplémentaires, impliquant des apports de sel sur les sols adjacents, ne seraient plus nécessaires. Les frais d'investissement et d'exploitation en résultant se justifient économiquement non seulement par la suppression des trajets pour l'épandage, mais aussi – si l'installation est utilisée en été pour refroidir la chaussée – par une plus grande longévité des couches d'asphalte.

2. METHODOLOGIE

Pour déterminer le contexte des avantages et inconvénients de tronçons de chaussées climatisés, il faut étudier les possibilités de mise en œuvre, et l'aptitude de la géothermie à convaincre avec efficacité dans la pratique en complément du déblayage et de l'épandage. Tenant compte du niveau actuel de la technique et des conditions juridiques cadre, l'utilisation de la géothermie sera comparée, du point de vue de l'économie de gestion, de l'économie nationale et l'écologie, à des mesures de déblayage et d'épandage par véhicules et aux installations d'aspersion de produits dégivrants.

Des calculs variationnels sont réalisés sur la base des expériences faites à partir d'installations pilotes dans le monde entier, de relevés de données supplémentaires de caractère économique et touchant à la circulation, ainsi que d'études en laboratoires sur des matériaux de construction routière. Leurs résultats permettent de comparer les installations géothermiques aux interventions de déblayage et d'épandage traditionnelles et aux installations d'aspersion de produits dégivrants.

2.1. Géothermie

Les procédés d'exploitation de la géothermie se divisent en géothermie superficielle et géothermie profonde. Pour le chauffage de voies de circulation, la géothermie superficielle est en général suffisante. Elle est pour la plus grande part, à l'exception de l'exploitation de la chaleur de la nappe phréatique, indépendante du site. Il n'y a pas de contraintes géologiques précises pour ces installations, mais elles peuvent cependant être soumises, du fait de la nécessité de forages, à des restrictions d'ordre géologique.

De manière générale et par principe, les installations destinées à l'exploitation de la géothermie superficielle sont divisées en systèmes fermés et systèmes ouverts. Dans les systèmes fermés, ce sont des capteurs géothermiques qui servent d'échangeurs thermiques, capteurs montés soit verticalement (capteurs géothermiques) soit horizontalement (collecteurs géothermiques) dans le sol. Les systèmes ouverts exploitent la présence naturelle de la nappe phréatique, à l'aide de puits.

Pour le calcul permettant de déterminer les capteurs à utiliser pour l'exploitation ou le stockage de l'énergie géothermique, ce sont en premier lieu les propriétés thermiques de la roche qui sont décisives. Des pompes à chaleur peuvent permettre d'élever à un niveau de température plus important l'énergie thermique extraite du sous-sol et de la transférer au fluide caloporteur du système de chauffage.

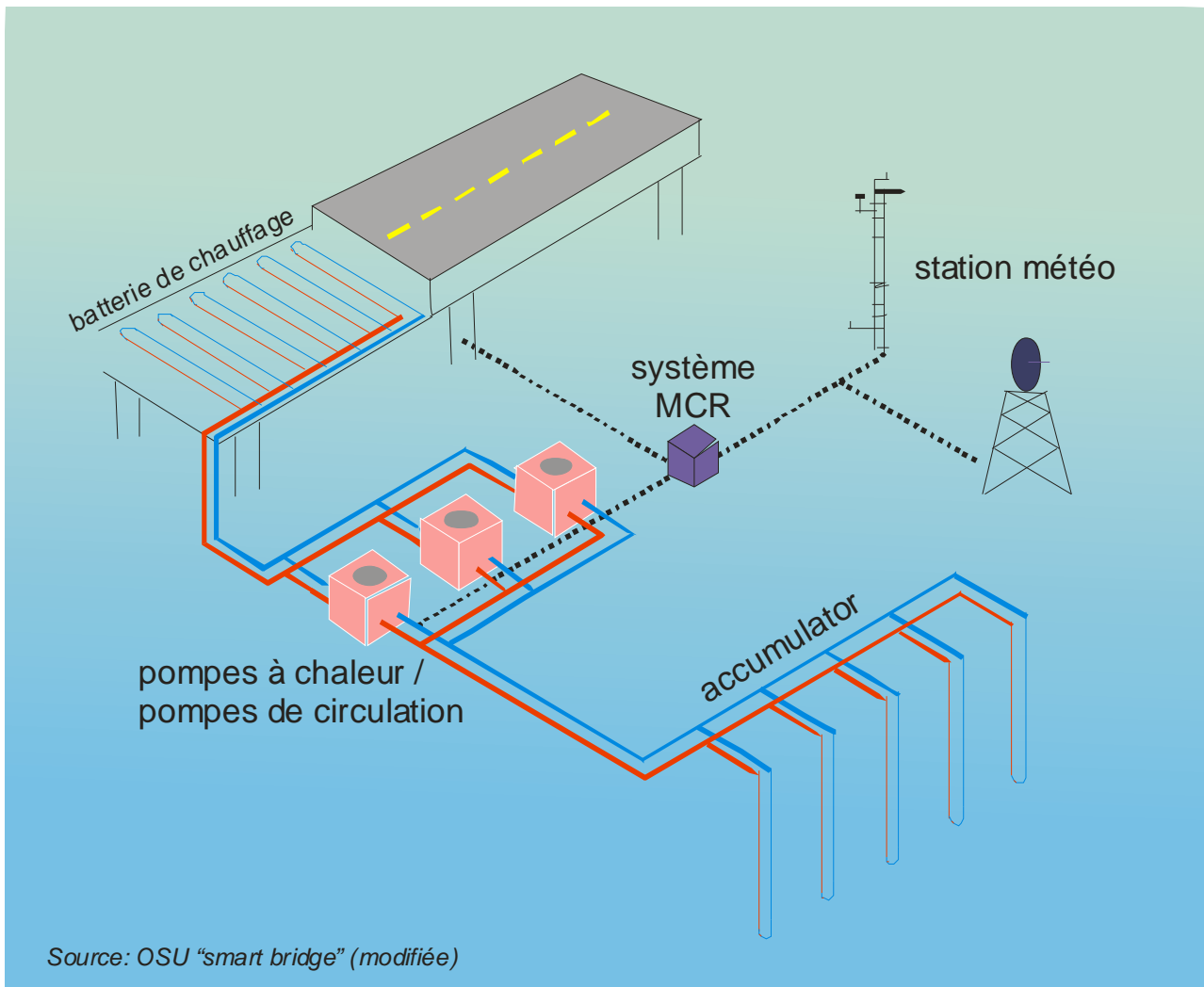


Fig. 1 - Croquis de principe d'une installation de géothermie pour la climatisation d'une chaussée

Une analyse d'installations existantes dans le monde entier, prévues pour empêcher le gel sur des chaussées, montre des systèmes de production d'énergie divers. Cette évaluation a été réalisée avec l'obligeant soutien, dans quelques cas, des exploitants, qui y ont contribué par leurs expériences et l'apport de chiffres caractéristiques. Des installations utilisant des capteurs géothermiques sont l'installation suisse de SERSO, près de Därligen, le Snow Melting System GAIA au Japon, installé par exemple à Ninohe et Aomori City, ainsi qu'une installation pour le chauffage d'un pont à Amarillo, au Texas, Etats-Unis. La figure 1 montre le croquis de principe d'une telle installation.

Plusieurs projets utilisent pour la régulation de la température non point des capteurs géothermiques, mais la nappe phréatique. Des installations de ce type sont implantées aux Pays-Bas, en Belgique, en Grande-Bretagne, au Japon et aux Etats-Unis, par exemple l'installation de chauffage d'un pont à Silver Creek dans l'Oregon, aux Etats-Unis. A Klamath Falls (Etats-Unis), plusieurs surfaces de voies de circulation sont chauffées par des gisements hydrothermaux, par exemple le Wall Street Bridge. Ce sont également des

gisements hydrothermaux, ceux du spa de Jozankei, qu'utilise une installation à Sapporo, au Japon. D'autres installations fonctionnent à partir de tubes horizontaux. Dans des cas exceptionnels, des énergies conventionnelles sont également mises en œuvre pour le chauffage, par exemple sur un pont d'Amherst County (Virginie, Etats-Unis), où est utilisé un brûleur au propane.

Des données nombreuses, permettant, dans le courant de la suite de l'étude, des considérations économiques, sont disponibles pour les installations SERSO, GAIA à Ninohe, Amarillo, Jozankei Spa, Silver Creek et celle du Wall Street Bridge à Klamath Falls.

2.2. Collecte de données

Pour la mesure et la saisie des données relatives au trafic et des données climatiques, et pour l'analyse des interventions des services de déblayage et d'épandage, des sections choisies ont été observées pendant tout un hiver. Avec l'enregistrement complet et détaillé de ces essais in situ, le déroulement du trafic est analysé en fonction des conditions météorologiques prédominantes et des interventions de déblayage et d'épandage effectuées. Les données relatives au trafic ont été saisies par des points de comptage permanents et des radars propres. Pour les données climatiques, ont été évaluées les informations des installations d'alerte verglas, et des sondes propres ont été installées pour la mesure de la température et de l'humidité de l'air aux postes de mesure ne présentant pas de dispositif d'alerte verglas.

Pour permettre l'extrapolation des interventions de déblayage et d'épandage pour des réseaux routiers complets, des valeurs indicatives sont calculées. Sont analysées pour cela les données d'intervention de plusieurs services d'entretien des autoroutes et de plusieurs voiries, ainsi que de plusieurs hivers, quant à la fréquence et à la situation des tronçons, dans le réseau d'une voirie, ayant subis un épandage préventif (fig. 2). Est établie sur la base d'une évaluation détaillée de tous les comptes-rendus d'interventions d'un hiver pour les réseaux de quelques voiries une extrapolation reposant sur les données d'intervention, saisies automatiquement, de plusieurs hivers et de voiries et de services d'entretien et de sécurité autoroute divers.

Le système de tubes, installé dans la chaussée, d'une installation de chauffage de la chaussée, peut également être utilisé en été pour le refroidissement de la surface de la chaussée. A été étudiée sur les types d'asphalte courants, par simulation de diverses températures d'essai, l'incidence possible d'une baisse de la température à la surface de la chaussée sur la longévité des couches de roulement en asphalte. Ont été réalisés un essai de compression cyclique pour le béton bitumeux et le béton bitumineux macrorugueux standardisé SMA, et un essai de poinçonnement pour l'asphalte coulé.



Fig 2 - Points dangereux au sein d'un service d'entretien et de sécurité autoroute

2.3. Calcul variationnel

Est comparé dans un modèle mathématique le traitement de points dangereux par des interventions traditionnelles, des installations d'aspersion de produits dégivrants et la géothermie, et ce du point de vue de l'économie de gestion, de l'économie nationale et l'écologie.

Une division systématique du calcul variationnel en micro-modèles, visant à la description d'incidences ou d'éléments individuels, et un macro-modèle permettant de déterminer les effets sur le plan de la gestion, de l'économie politique et de l'écologie permet de

considérer de manière très complète la mise en œuvre de la géothermie. Les calculs variationnels reposent sur l'analyse d'expériences nationales et internationales faites avec des installations géothermiques. Ce faisant, de par le procédé décrit, les projets ne concernant pas le chauffage d'une chaussée sont également utiles. De même, ce procédé permet d'étudier aussi bien le chauffage que le refroidissement de surfaces de voies de circulation.

Le modèle est divisé en un macro-modèle. Et des micro-modèles tout d'abord indépendants permettant de décrire des incidences ou éléments divers. Les données des micro-modèles « installation », « interventions de déblayage et épandage », « trafic », « construction » et « environnement » sont superposées en un macro-modèle permettant de comparer le traitement des points dangereux selon les trois démarches différentes, en fonction du nombre de points dangereux et de leur surface.

- Installation : sont réalisés, à l'aide des données disponibles provenant des installations géothermiques existantes, des calculs de régression permettant de déterminer les frais d'investissements et d'exploitation en fonction de la taille de la surface des voies de circulation chauffées. Ceci permet de déterminer la part des frais en corrélation avec la surface et la part des frais indépendante de la surface. De même, les données à disposition permettent d'estimer la longévité des installations géothermiques. Les installations d'aspersion de produits dégivrants sont elles aussi analysées selon ce principe.
- Interventions de déblayage et d'épandage : les données provenant des comptes-rendus d'interventions des voiries et services d'entretien des autoroutes permettent de déterminer les trajets au cours desquels seuls les points dangereux particuliers ont été traités ; sont calculés à partir de là les trajets à vide minimums, moyens et maximums par point dangereux, ainsi que le trajet d'épandage minimum, moyen et maximum par surface traitée. De plus, il y a, pour d'autres voiries, analyse de données d'intervention saisies automatiquement, visant à la détermination des valeurs extrêmes et moyennes du nombre d'interventions spéciales par an. Des valeurs empiriques et estimatives permettent ainsi de calculer les frais annuels correspondants, rapportés, respectivement, à un point dangereux et à la surface de tous les points dangereux. Ces frais se composent de frais de personnel, frais véhicules, et frais de produits d'épandage.
- Trafic : dans le micro-modèle « Trafic », les effets des conditions routières hivernales sur le déroulement de la circulation sont déterminés à l'aide de données relevées relatives à la circulation et au climat. Il est présupposé que les pertes de temps causées par la situation météorologique au niveau des points dangereux peuvent être considérées comme négligeables dans le cas des installations d'aspersion de produits dégivrants ou d'installations géothermiques. Aussi, seuls les frais causés par les pertes de temps au niveau des points dangereux traités de manière conventionnelle sont pris en compte. Un autre point considéré est les incidences de l'équipement des points dangereux avec des installations stationnaires sur la sécurité routière. Sont analysés pour cela les nombres d'accidents d'échantillons de mesure avec et sans installation d'aspersion de produits dégivrants. Il est parti du principe que l'équipement d'un point dangereux avec une installation géothermique a approximativement le même effet qu'une installation d'aspersion de produits dégivrants. Ceci permet de prendre en compte dans cette étude les aspects du chauffage des chaussées touchant à l'économie nationale bien que l'Allemagne n'ait pas d'expérience jusqu'à présent avec des installations géothermiques pour les routes.

- Construction : en été, le refroidissement des couches supérieures de l'asphalte entraîne une réduction de la formation de rainures, d'où une plus grande longévité de la couche de roulement. Les frais des mesures d'entretien des couches de roulement peuvent donc être amortis sur une plus longue période au niveau des points dangereux chauffés et refroidis par une installation géothermique que ce n'est le cas pour d'autres points dangereux. Ceci est valable indépendamment du fait qu'un point dangereux soit encadré par un service de déblayage et d'épandage reposant sur des véhicules ou soit équipé d'une installation d'aspersion de produits dégivrants. Les amortissements annuels divers en résultant pour le maintien du tronçon sont représentés dans le micro-modèle « Construction ».
- Environnement : en ce qui concerne l'incidence sur l'environnement, sont comparées les émissions de CO₂, l'apport de sel dans les sols et les frais environnementaux externes des trois possibilités d'encadrement hivernal de points dangereux. Dans le cas d'un déblayage et épandage conventionnel, les émissions de CO₂ se composent des émissions des véhicules de déblayage et d'épandage eux-mêmes, ainsi que des émissions générées par les usagers de la route pris dans les embouteillages résultant des chaussées enneigées ou du verglas. Les données des micro-modèles « Interventions de déblayage et d'épandage » et « Trafic » permettent de déterminer les émissions de CO₂ par point dangereux et par surface traitée. Les émissions de CO₂ causées par les installations géothermiques et les installations d'aspersion de produits dégivrants relèvent de la production du courant nécessaire au fonctionnement de l'installation. Les émissions annuelles de CO₂ des installations par unité de superficie sont calculées à partir des données de l'Office fédéral allemand de l'environnement et des données de consommation d'énergie des installations. Il est parti du principe que, si un point dangereux est équipé d'un système stationnaire, il n'y a pas d'émission de CO₂ de par des embouteillages résultant des chaussées enneigées ou du verglas. Les frais environnementaux causés par les émissions de CO₂ des véhicules de déblayage et d'épandage, des usagers de la route pris dans les embouteillages et des installations stationnaires sont convertis, à l'aide des taux de l'Office fédéral allemand de l'environnement, en frais annuels par surface de superficie ou par point dangereux. Pour les interventions de déblayage et d'épandage impliquant la mise en œuvre de véhicules, l'apport de sel dans les sols est calculé par unité de superficie à partir des données du micro-modèle « Interventions de déblayage et d'épandage ». L'apport de sel de l'installation d'aspersion de produits dégivrants est estimé à l'aide des ouvrages scientifiques sur le sujet. L'apport de sel n'est pas évalué en argent.

Dans le macro-modèle, les données obtenues à partir des micro-modèles sont superposées. Il en résulte des bilans sur les incidences au niveau de l'économie de gestion, de l'économie nationale et de l'écologie. Ces bilans permettent de comparer l'équipement de voies de circulation par des installations géothermiques, des installations d'aspersion de produits dégivrants ou l'encadrement par un service de déblayage et d'épandage conventionnel. Pour l'interprétation des éléments du contexte, extrêmement complexes, sont apposés les résultats touchant à la variation du nombre (fig. 3) et de la surface totale des points dangereux au sein du réseau.

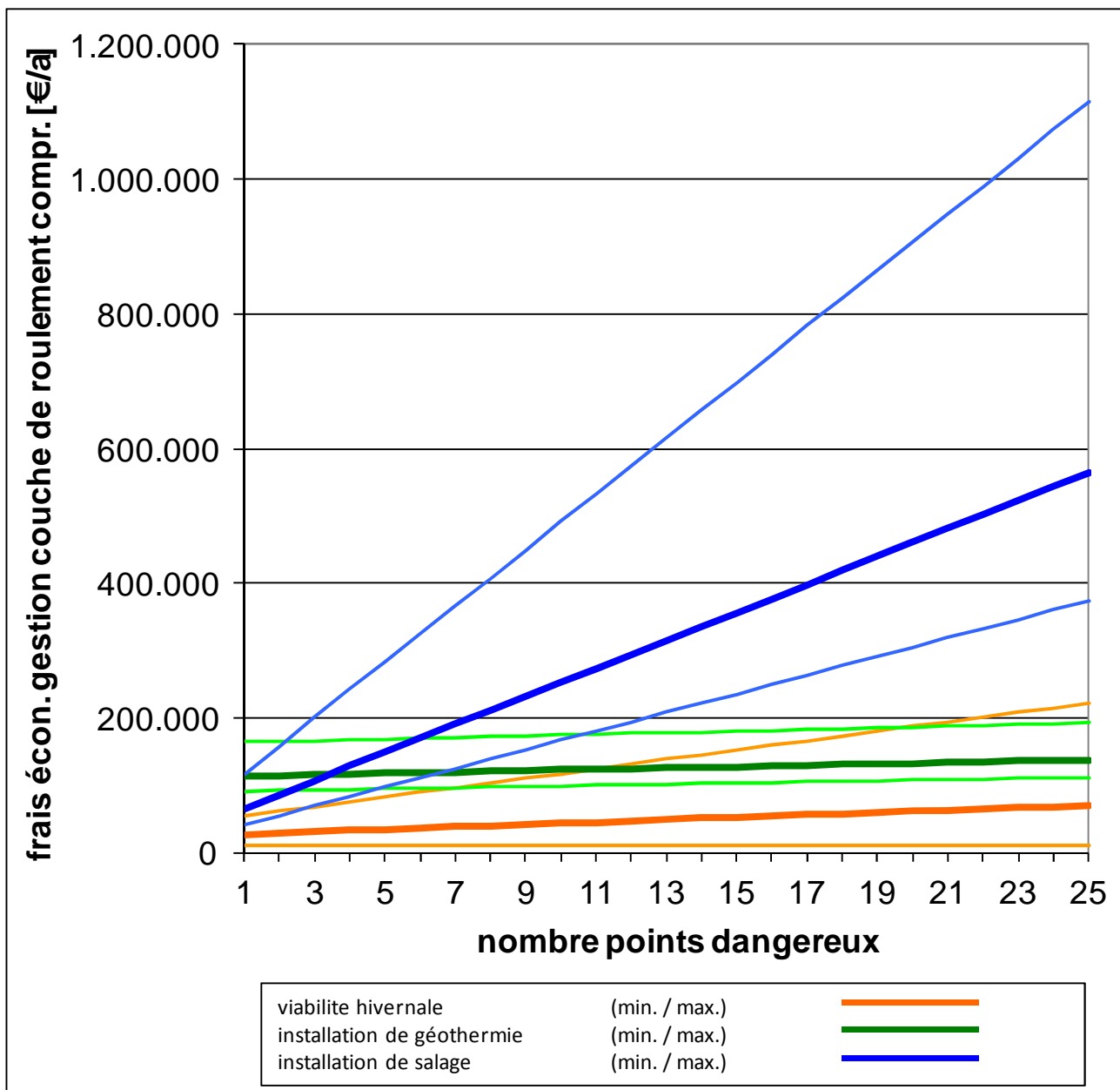


Fig. 3 - Frais du point de vue de l'économie nationale y compris amortissement du remplacement de la couche de roulement pour 10.000 m²

De plus, un éventail de résultats est représenté respectivement par suite de l'éventail des conditions cadre pouvant survenir, constatées lors de l'étude. Les éventails déterminés dans les micro-modèles ont ainsi une incidence sur les résultats du macro-modèle.

3. RESULTATS

Tenant compte de l'éventail des valeurs d'entrée observées dans la réalité, il apparaît, en relation avec le nombre et la surface totale des points dangereux à encadrer, une très large variation des résultats. Sont représentés à titre d'exemple à la figure 3 les frais économiques de gestion, y compris l'amortissement des mesures de maintien de la couche de roulement. Dans ce diagramme, les frais ont été apposés sur le nombre de points dangereux dans le réseau routier, pour une surface totale de points dangereux de 10.000 m².

Il s'avère que les frais d'un déblayage et épandage conventionnel, dans une constellation entraînant des coûts moyens, sont inférieurs aux frais des installations géothermiques et d'aspersion de produits dégivrants. Pour la surface totale représentée, de 10.000 m², ceci est valable indépendamment du nombre de points dangereux. Si l'on considère la totalité de l'éventail, il existe des points de recoupement. Les frais d'un équipement avec une installation d'aspersion de produits dégivrants se recoupent eux aussi avec les frais de l'équipement par la géothermie. Ceci signifie que, dans d'autres conditions (situation des points dangereux dans le réseau encadré, taille des points dangereux, conditions cadre topographiques et climatiques, longévité des installations, etc.), la mise en œuvre d'installations géothermiques peut être judicieuse du point de vue de l'économie de gestion.

Du point de vue de l'économie nationale, qui prend en considération les frais causés par les pertes de temps, les frais d'accidents et les frais environnementaux, l'équipement de points dangereux avec des installations stationnaires est dans tous les cas meilleur marché que l'encadrement par un service de déblayage et épandage impliquant l'utilisation de véhicules. De par la possibilité de formation d'embouteillages et les émissions de CO₂ plus importantes des usagers de la route qui y sont liées, le bilan CO₂ est nettement plus élevé dans le cas d'un service de déblayage et épandage impliquant l'utilisation de véhicules que dans le cas d'un équipement avec des installations stationnaires. En raison de leurs besoins en électricité légèrement plus importants et des frais environnementaux plus élevés qui en résultent, les installations géothermiques engendrent, dans cette étude, des frais plus importants, au niveau de l'économie nationale, que les installations d'aspersion de produits dégivrants. Compte tenu du fait que l'apport de sel dans l'environnement n'a pas été évalué en argent, ce résultat doit toutefois être relativisé.

L'apport de sel annuel par unité de surface ne se distingue pas sensiblement pour un service de déblayage et épandage impliquant l'utilisation de véhicules ou une installation d'aspersion de produits dégivrants. Cet apport de sel peut être évité complètement si les points dangereux sont équipés d'un système géothermique.

4. CONCLUSIONS

Tenant compte des valeurs d'entrée observées dans la réalité, il apparaît une très large variation des résultats. Il en résulte qu'il n'est pas possible de se prononcer dans le principe sur le potentiel de la géothermie. Un examen très détaillé au cas par cas reste nécessaire. De plus, de par les coûts relativement élevés des forages pour la mise en place des capteurs, l'aménagement d'une installation exclusivement destinée au chauffage d'une section de chaussée n'est en général pas rentable.

La combinaison du chauffage en hiver et du refroidissement en été, ainsi que la possibilité d'utiliser de manière multiple la source d'énergie amène à une autre conclusion. Les conditions climatiques en Allemagne permettent en général de dimensionner l'installation de telle sorte qu'il y ait un excédent d'énergie dans le cas de la combinaison des fonctions de chauffage en hiver et de refroidissement en été. Le refroidissement en été augmente la longévité des couches roulantes et permet de plus une économie de dépenses pour des mesures de maintenance.

Du point de vue du réseau routier, la mise en œuvre d'un système géothermique semble toujours être envisageable s'il faut équiper plusieurs points dangereux – de taille respectivement relativement petite chacun -. La condition en est d'une part que le réseau présente plusieurs points dangereux nécessitant une desserte avancée dans le temps, et d'autre part que ces points dangereux soient définissables de telle sorte, sur le plan du microclimat, qu'un équipement avec des installations géothermiques puisse remplacer complètement les véhicules de déblayage et d'épandage pour la desserte préventive sur ce réseau.

REFERENCES

1. Hess, R.; Müller, D.; Schulz, T.; Steinhauser, B.; Steinauer, B.; Kemper, D.; Petry, I.; Wagner, R. (2012). Erkundung der Potenziale der Geothermie als Beitrag für den Winterdienst. Forschungsbericht aus dem Forschungsprogramm der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) – Entwurf des Schlussberichts [Etude des potentiels de la géothermie pour la contribution aux interventions de déblayage et d'épandage hivernales. Rapport de recherche du programme de recherche de l'Office Fédéral Allemand des Ponts et Chaussées (BASt) – Ebauche du rapport de conclusion], Bonn 2012 (unveröffentlicht) [(inédit)]