

L'ÉNERGIE SOLAIRE POUR L'ENTRETIEN HIVERNAL DES ROUTES À GRAND DÉBIT

Walter J. Eugster*, Jürg Schatzmann**

*Polydynamics Engineering Zurich.
19 Malojaweg, CH-8048 Zurich, Suisse.
TEL +41-1-430-1500/FAX +41-1-430-1504
E-mail adress: wje@polydynamics.ch

**Ponts et Chaussées du Canton de Berne.
11 Reiterstrasse CH-3011 Berne, Suisse.
TEL +41-31-633-3564/FAX +41-31-633-3580
E-mail adress: juerg.schatzmann@bve.be.ch

1. Résumé

Les routes à grand débit qui ceinturent les grosses agglomérations en Suisse telles que Zürich, Bâle, Berne ou Genève accusent aujourd'hui déjà des fréquences de trafic très élevées et qui à l'avenir risquent de s'accroître encore plus. La fluidité du trafic est dès lors une condition majeure pour que cette augmentation puisse être assimilée. En hiver il s'en faut de peu pour que la circulation soit entravée ou même bloquée. Les véhicules d'intervention hivernale des ponts et chaussées concernés ont à peine la possibilité de poursuivre leur service d'entretien. Aussi est-on à la recherche de systèmes qui soient aptes à maintenir la chaussée praticable tout l'hiver. Le système SERSO-PLUS, fruit des expériences faites avec SERSO, offre toutes les caractéristiques d'une méthode ménageant l'environnement. Le mot SERSO est l'abréviation de la désignation allemande **Sonnen-Energie-Rückgewinnung auf Strassen-Oberflächen**.

Le projet-pilote SERSO récupère la chaleur qu'absorbe le revêtement du pont en été et la stocke dans une roche située à proximité. Cette énergie emmagasinée est utilisée en hiver pour tempérer la chaussée (voir fig. 1). Ce système stabilise la chaleur de la chaussée à un niveau de température légèrement supérieur à 0° C, prévenant ainsi la formation de verglas et la congélation de la couche de neige compacte, à l'avantage du service d'intervention hivernale et du trafic, qui lui, n'aura plus qu'à souffrir en marge des affronts de l'hiver. Les expériences réalisées sur SERSO en rapport avec ces conditions sont désormais disponibles. En été le système prélève du revêtement plus de chaleur qu'il n'est nécessaire pour prévenir la formation de verglas sur la chaussée en hiver, proposition qui ne vaut en général que pour l'Europe centrale. De plus, ce système stabilise la température du revêtement, ce qui signifie que les températures maximales en été sont nettement inférieures que celles en cas normal et que celles minimales en hiver nettement plus élevées. La conséquence est une prolongation de la durée de vie des revêtements bitumineux.

Le système SERSO-PLUS se compose pour l'essentiel de serpentins collecteurs intégrés dans le revêtement ainsi que de plusieurs sources de chaleur disposées dans les alentours directs de la route. Tous les éléments sont conçus de telle sorte qu'il est possible de les intégrer ou de les construire en série en même temps que sont effectués les travaux de réfection de la chaussée, et sont branchés et exploités à l'écart de la zone de trafic.

Non seulement la faisabilité technique de SERSO mais aussi les résultats des modèles énergétiques demandent à être démontrés. Pour les études de la rentabilité globale de SERSO-PLUS, il est fait appel aux méthode et aux éléments de l'analyse des coûts et rentabilité. Comme élément de rentabilité on conçoit la réduction des coûts liés aux accidents, des coûts engendrés par les embouteillages et les travaux d'entretien, la réduction des coûts matériels et des coûts occasionnés par les dommages routiers pendant l'intervention en été et une prolongation de la durée de vie du revêtement consécutive aux variations de température devenues plus faibles pendant l'exploitation d'été, de même que la réduction

des coûts alternatifs ou liés à la rentabilité. Il est prévu d'intégrer un système SERSO-PLUS dans un tronçon à grand débit des routes nationales suisses faisant l'objet d'une rénovation prochaine après production de résultats positifs sur la faisabilité de SERSO-PLUS.

2. Introduction et présentation du problème

Le trafic sur les tronçons les plus importants des routes nationales suisses est déjà très dense et s'accroît toujours plus. Il est naturel que l'utilisateur de la route attende des routes nationales à fort débit qu'elles restent praticables sans discontinuité, même par fortes intempéries.

Aux heures de pointe, principalement tôt le matin, le trafic est tellement dense en saison hivernale dans les zones urbaines que les véhicules des services d'entretien peuvent à peine progresser. Si la circulation, dans ces circonstances, se voit entravée, voire bloquée par un embouteillage, et qu'en plus la neige persiste de tomber, on se trouve rapidement devant une situation routière critique, avec formation partielle de verglas ou compactification de la couche de neige sur la chaussée, qui ne peut être rétablie qu'après un investissement considérable en temps et en matériel. Les conséquences sociales de ces perturbations, en particulier les coûts générés par les embouteillages, sont loin d'être négligeables.

Dans de telles circonstances, il s'avère indispensable de faire appel à des systèmes d'appoint capables de maintenir la chaussée exempte de neige ou de verglas ou qui soient du moins en mesure de retarder aussi longtemps que possible l'installation d'un état critique, jusqu'au rétablissement d'un trafic normal. Pour cela, on peut envisager l'intervention d'installations automatiques conventionnelles d'arrosage sur les tronçons difficiles. Cependant il est temps de penser aussi à de nouveaux systèmes non conventionnels et ménageant l'environnement. A cet égard on peut très bien concevoir comme solution alternative un développement de l'installation de récupération de l'énergie solaire SERSO, en service depuis 1994 sur la route nationale A8 contournant Därligen.

3. Les expériences faites avec SERSO

Les expériences menées sur plusieurs années avec le système SERSO, en service sur un pont de route nationale sur lequel il a été recensé auparavant un nombre élevé d'accidents en hiver, démontrent l'efficacité du projet. Le mot SERSO est l'abréviation de la désignation allemande **S**onnen-**E**nergie-**R**ückgewinnung auf **S**trasse-**O**berflächen.

Le projet-pilote SERSO récupère la chaleur qu'absorbe le revêtement du pont en été et la stocke dans une roche située à proximité. Cette chaleur emmagasinée est utilisée en hiver pour tempérer la chaussée (voir fig. 1). La phase pilote est à présent achevée et l'installation fonctionne normalement.



Fig. 1 - Projet pilote SERSO en service hivernal.

3.1 Énergie

En été l'installation récolte sans discontinuer la chaleur absorbée par le revêtement du pont et la stocke dans une roche située à proximité. La température de ce réservoir rocheux s'élève et se stabilise aux environs de 20° C. Ce sont à peu près 140 MWh d'énergie qui sont ainsi accumulés pendant un été moyen. Toutefois un tiers environ de cette quantité d'énergie s'échappe en perte de l'accumulateur. La quantité de chaleur pouvant être stockée varie d'année en année et est fonction du degré d'absorption momentanée du réservoir. Ce réservoir est en mesure d'emmagasiner un quantité importante de chaleur s'il est vide. Par contre il ne peut pas assimiler beaucoup de chaleur s'il présente déjà un contenu élevé d'énergie.

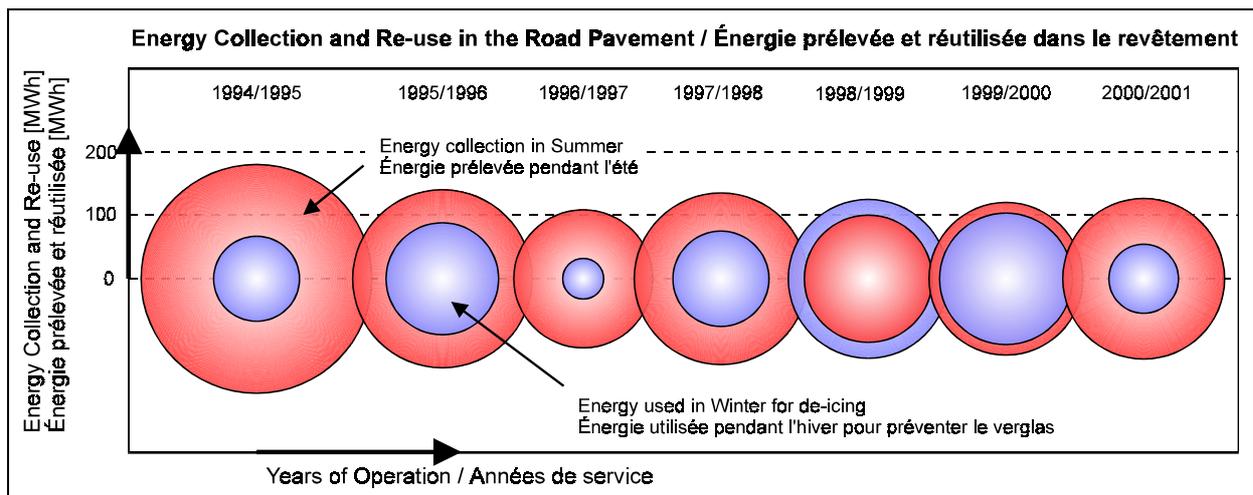


Fig 2. - Récolte et apport d'énergie dans le revêtement routier (SERSO - données des mesures)

Selon les impératifs, le projet pilote prend son service en hiver. La température du fluide caloporteur est réglée en fonction de la température de l'air et se situe vers 6°C - 10°C empêchant de cette

manière la formation de verglas. Suivant les conditions climatiques, il faut envisager une dépense d'énergie se situant entre 30 et plus que 100 MWh par hiver.

Cette exploitation hivernale douce, et dans un certain sens "prédictive", évite l'apport soudain et massif d'énergie pour faire fondre le verglas ou les couches de neige gelée en faisant circuler dans les serpentins un fluide à température élevée. Dans ces circonstances il est permis de renoncer à l'intervention de pompes à chaleur.

Pendant l'été en Europe centrale, il est généralement possible de prélever du revêtement plus de chaleur qu'il n'est nécessaire pour prévenir la formation de verglas pendant l'hiver suivant (voir fig. 2). D'une manière générale le surplus d'énergie compense les pertes de chaleur subies pendant l'accumulation saisonnière. Cependant l'année d'exploitation 1999/2000 a été une exception: le projet pilote n'a fonctionné que partiellement pendant les mois les plus chauds de l'été à cause d'une erreur de système restée inaperçue pendant plusieurs semaines.

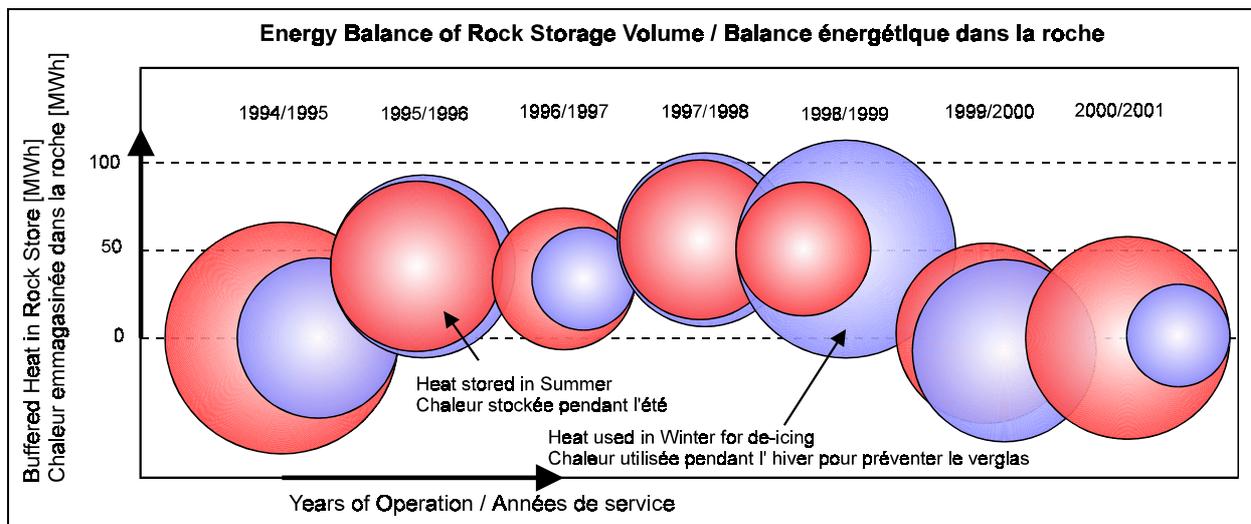


Fig. 3 - Balance énergétique de l'accumulateur saisonnier (SERSO - données des mesures)

Le bilan énergétique global de l'accumulateur rocheux est visualisé en figure 3. L'évolution annuelle montre une augmentation ininterrompue du contenu du réservoir. A cause de l'erreur de système mentionnée plus haut, l'accumulateur s'est pour ainsi dire complètement vidé, ce qui a anéanti les données prélevées pendant l'année d'exploitation et contraint les responsables de recommencer à zéro.

3.2 Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation s'élèvent à environ CHF 10'750 (US\$ 6'300) pour l'année 2000. La part de CHF 6'500 (US\$ 3'800), accordée aux frais d'entretien et de rémunération du personnel, est relativement haute. 40 % des coûts restant sont à imputer à la campagne de mesures et au chauffage du bâtiment d'exploitation. Le reste (60%, c'est à dire environ 25% du total) consiste en frais de courant électrique pour l'alimentation des pompes (voir fig. 4).

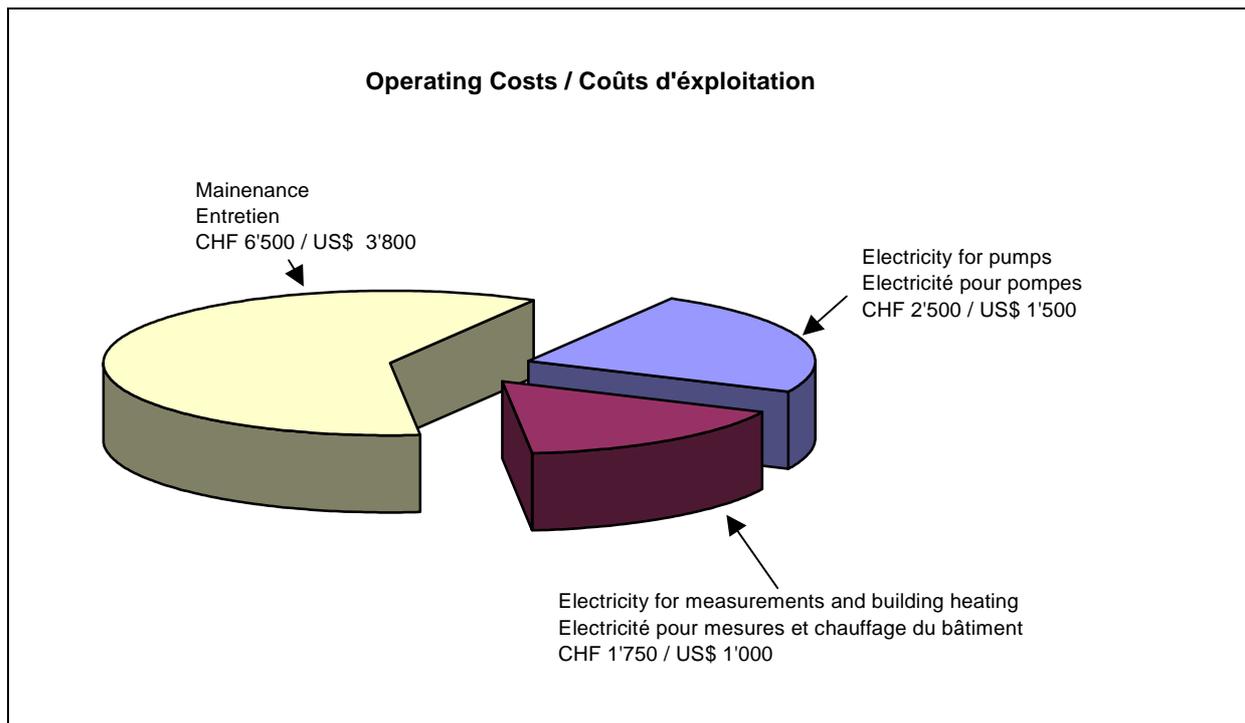


Fig. 4 - Coûts d'exploitation pour l'année 2000

3.3 Chaussée et revêtement

Le comportement stable du revêtement de la chaussée traitée par le système SERSO est remarquable. Aucune des sondes intégrées dans le revêtement n'émerge de la surface et aucune rigole ou dégat n'est à déplorer après plus de six ans d'exploitation, en dépit du tracé extrême horizontal et vertical de la route. L'influence stabilisatrice du prélèvement de la chaleur en été est évidente et n'est pas qu'une simple conjecture. Suivant les cas, il y a lieu d'opter pour une solution optimale prenant compte de la déformation du revêtement lors de températures élevées et le comportement de ce revêtement face aux basses températures (formation de fissures). Comme les températures du revêtement prennent des valeurs moins élevées en période chaude grâce à l'évacuation de la chaleur par le système SERSO et que les pics extrêmes de température peuvent être évités, la durée de vie du revêtement s'en trouve avantageusement prolongée.

Les pics de température sur la surface du revêtement peuvent atteindre des valeurs oscillant autour de 70° C. Ces températures élevées pénètrent aussi dans la couche de roulement. Même à la mi-profondeur de cette couche les valeurs maximales atteignent en été 40° C. Le refroidissement abaisse ces pointes et les températures moyennes dans ce cas, sont à peu près 6 K inférieures à celles sans le refroidissement. Si l'on considère les valeurs de pointe, on voit que la différence se situe aux environs de 15K (voir fig. 5).

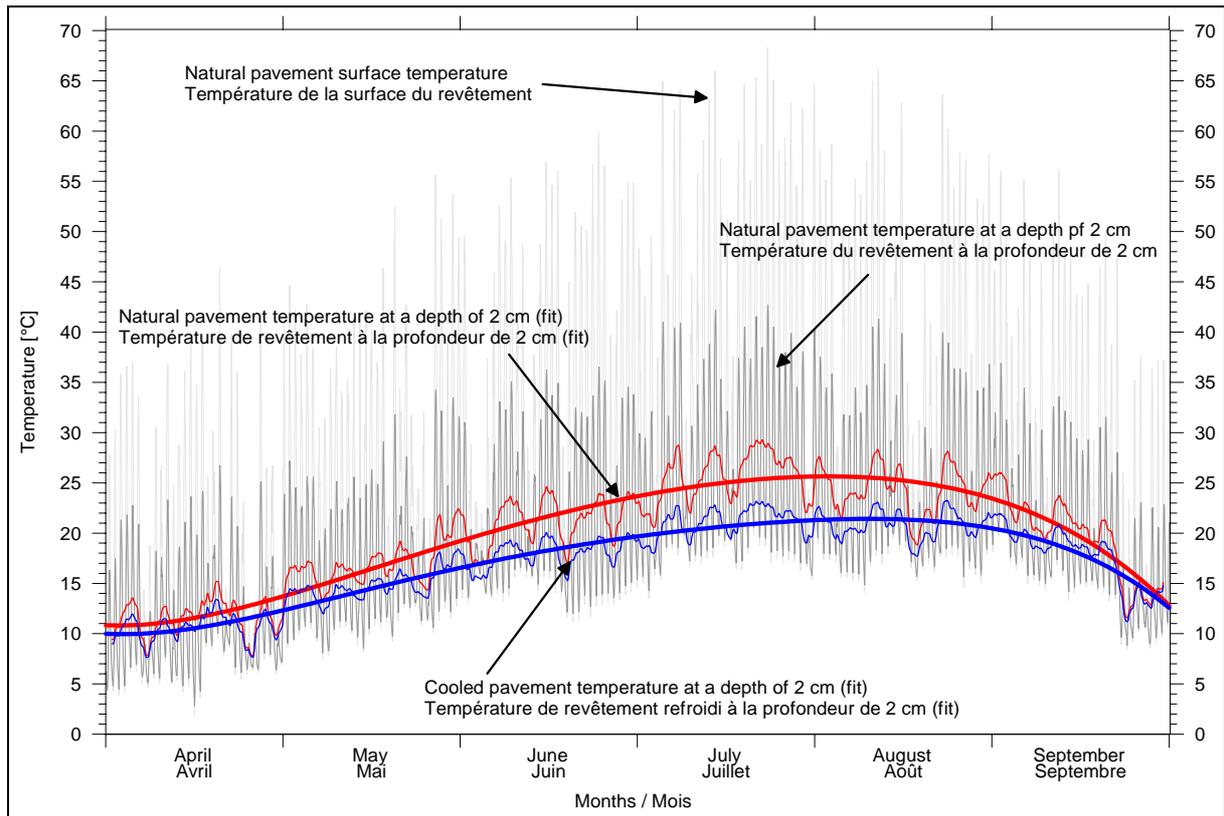


Fig. 5 - Exploitation d'été du projet-pilote SERSO (valeurs de simulation)

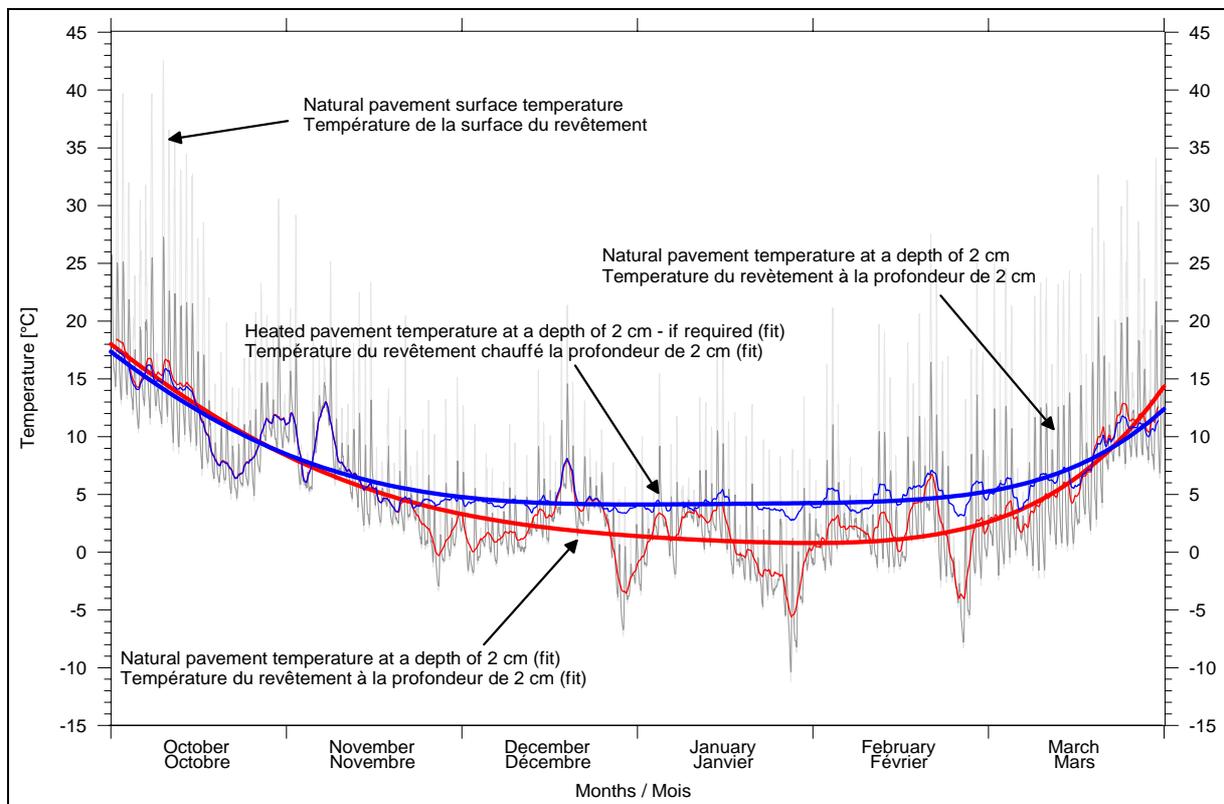


Fig. 6 - Exploitation d'hiver du projet-pilote SERSO (valeurs de simulation)

En hiver, le réchauffement de la chaussée empêche que la température du revêtement tombe au-dessous de 0° C. Alors que des valeurs minimales de moins de -10° C peuvent s'installer à la surface et jusqu'à -10° C dans la couche de roulement non réchauffée, le système SERSO, lui, peut relever ces valeurs vers +2° C / +4° C (voir fig. 6).

Les amplitudes de température auxquelles sont soumis les revêtements de type courant durant toute l'année se réduisent dans les cas exceptionnels de 50K à 30K. Les températures extrêmes supérieures à 30° C et inférieures à 0° C ne sont plus atteintes.

4. De SERSO à SERSO-PLUS

Le développement et la construction de ce type d'installation (récupération d'énergie solaire) pour l'entretien hivernal peuvent s'avérer judicieux dans les cas suivants :

- utilisation ponctuelle aux endroits « sensibles » (risques d'accident élevés) ou pour les nœuds routiers soumis à une forte circulation
- utilisation sur différentes surfaces de routes à grand débit

Comme aujourd'hui on dispose de suffisamment de connaissances pour le premier secteur d'utilisation, il n'est pas indispensable de traiter plus avant ce sujet. Par contre la situation au départ pour l'application du principe SERSO sur les routes à grand débit est de loin beaucoup plus complexe et pose un nouveau défi.

En particulier aux heures de pointe, l'entretien hivernal des routes à grand débit se révèle difficile, voire impossible. Lors de chutes de neige ou de formation de verglas ainsi que lors des embouteillages quotidiens ou suite à un accident, le trafic est bloqué pendant de longs moments. Une couche de neige et/ou de verglas se forme alors immédiatement sur la chaussée. Il faut ensuite souvent des heures pour que la situation se normalise à nouveau. Autre difficulté: il n'est pas rare que les véhicules du service hivernal se trouvent eux-mêmes pris au piège des embouteillages. Les services d'entretien ont ensuite fort à faire pour rétablir des conditions de circulation normales et recourent alors à une utilisation massive de fondants routiers.

Le système SERSO-PLUS de la nouvelle génération est tout indiqué pour ce type de situation. En hiver, les jours critiques, cette technique permet en effet de tempérer légèrement la surface du revêtement routier et de prévenir ainsi la formation immédiate de verglas ou d'une couche neigeuse sur la chaussée. Aux heures de pointe, après un embouteillage ou un accident, la circulation peut être rétablie très rapidement. Outre la réduction des frais d'entretien et des coûts liés aux accidents, il est surtout possible de réduire notablement les coûts élevés d'immobilisation; il convient donc de mettre en regard les coûts de construction d'une installation SERSO-PLUS avec les économies potentielles que permet de réaliser une telle installation.

5. Le système SERSO-PLUS

Le système SERSO-PLUS se compose pour l'essentiel d'une surface collectrice recouvrant la chaussée et intégrée dans le revêtement ainsi que de plusieurs sources de chaleur disposées dans les alentours directs de la route. Tous les éléments sont conçus de telle sorte qu'il est possible de les intégrer ou de les construire en série en même temps que sont effectués les travaux de réfection de la chaussée.

Le système de serpentins échangeurs de chaleur noyés dans la chaussée est incorporé par une machine dans une couche intermédiaire spéciale, qui est recouverte ensuite d'une couche de roulement. Cette dernière peut être rénovée par des moyens conventionnels sans que le système SERSO-PLUS ait à subir de pannes. Le système hydraulique, comprenant les conduites et les pompes et aménagé à l'écart de la chaussée, est chargé de relier les surfaces collectrices intégrées dans la chaussée aux accumulateurs et autres sources alternatives d'énergie.

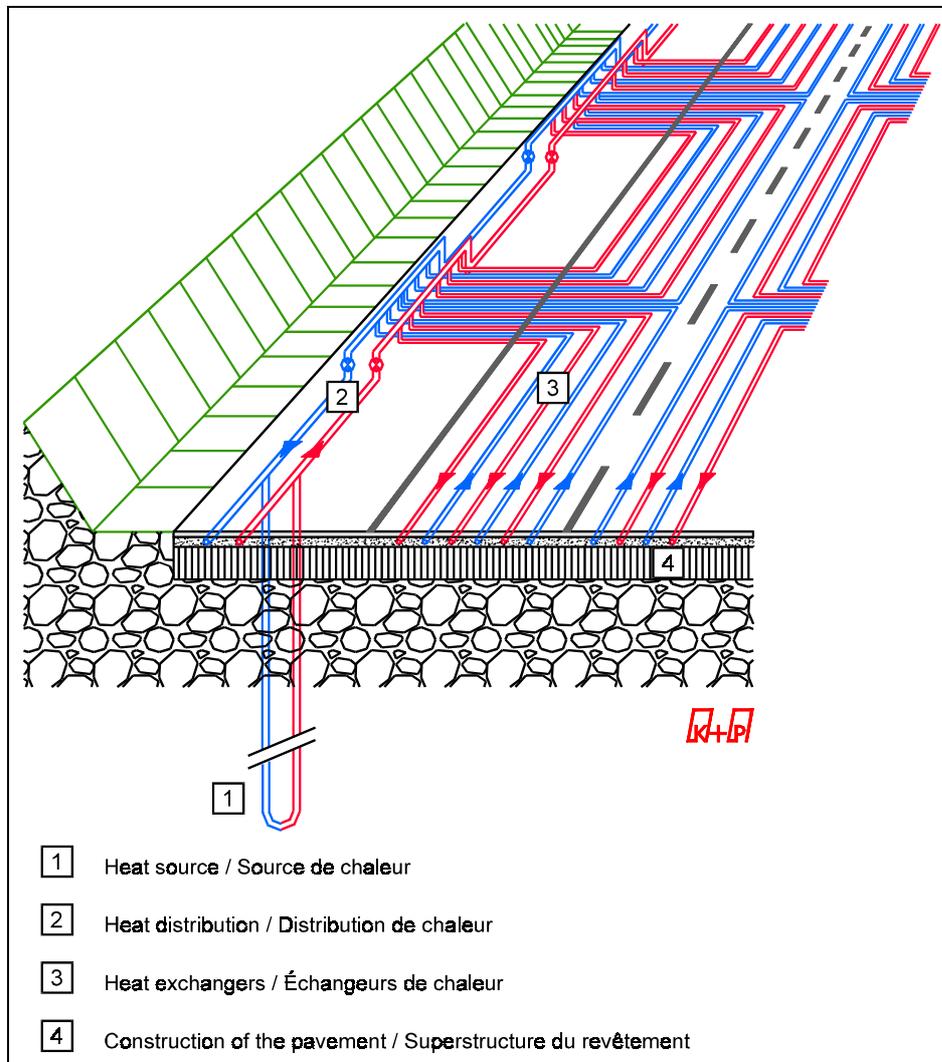


Fig. 7 - Schéma de disposition des tubes intégrés dans la chaussée

Le système SERSO-PLUS peut bien entendu être intégré dans les nouveaux projets. A cet égard les études et les concepts ont la possibilité de réaliser des installations sur mesure. Naturellement toutes les conditions applicables à la conservation ordinaire des routes à grand débit prévalent aussi pour l'incorporation de SERSO-PLUS.

6. Les paramètres de faisabilité de SERSO-PLUS

6.1 Faisabilité technique

Les composantes fonctionnant aujourd'hui sans problème sur SERSO, en particulier la partie intégrée dans la chaussée, ne peuvent pas être simplement transférées sur SERSO-PLUS. Ce que l'on

demande pour SERSO-PLUS, ce sont une application et des solutions pratiques faisant appel à de nouveaux matériaux, à des éléments en fabrication modulaire pouvant être intégrés dans les programmes de mesures conservatrices connues et expérimentées à ce jour.

Pour les différents types et structures de routes connus, il reste à développer des modèles ou à en créer de nouveaux sur la base des connaissances acquises avec SERSO et des expériences vécues. A cela s'ajoutent les considérations conceptuelles sur les possibilités de pose, sur les procédés de rénovation et de construction des routes, sans oublier l'aspect esthétique du revêtement. De plus une sélection des matériaux et des techniques de chantier s'impose en rapport avec la construction, incluant la fabrication des distributeurs de chaleurs. Les générateurs et distributeurs de chaleur doivent fonctionner pour les routes en tranchée, en digue et sur les ouvrages d'art. Enfin il y a lieu de réfléchir, si dans le cadre d'une rénovation d'ouvrage, un système SERSO de la deuxième génération peut être intégré et mis en service sur des routes à forte densité de circulation sans que la durée des travaux de construction prolonge à l'excès les restrictions de trafic.

6.2 Exploitation et modèle énergétique

Pour décrire le plus complètement possible le processus de dégivrage et d'exploitation de la chaleur, on doit disposer de plusieurs informations telles que la température du revêtement aux environs des serpentins ou la température superficielle du revêtement. La température à la surface du revêtement varie sans cesse et dépend au moins de la température de l'air, du rayonnement global et de la température du fluide caloporteur dans les serpentins, ainsi que du vent et des précipitations. Plusieurs simulations sont entreprises pour différentes années entières d'exploitation d'après des scénarii définis (époques de stockage et déstockage). D'autre part, en regard d'un rapport optimal coûts-rendement, on a également besoin de calculs types pour expliquer l'influence des paramètres caractérisant chaque genre de construction et d'exploitation, tels que le flux passant dans les serpentins, la profondeur d'incorporation, la distance réciproque et le diamètre des serpentins, la superstructure du revêtement et le temps de passage dans les conduites pour différents scénarii, ainsi que la simulation de sources de chaleur.

6.3 Rentabilité globale

L'étude de rentabilité du système SERSO-PLUS est essentielle et décisive pour expliquer la faisabilité technique et le modèle énergétique. Les coûts et les profits générés par ce système sont systématiquement recensés sur un exemple concret d'utilisation et convertis en valeurs monétaires, c'est-à-dire en sommes d'argent, dans le cadre de méthodes existantes. Ces calculs de rentabilité doivent servir de base déterminante aux utilisateurs intéressés ou aux investisseurs. L'étude de rentabilité s'appuie sur les méthodes de l'analyse coûts-rentabilité. Les coûts et rentabilité d'exploitation et les coûts sociaux supplémentaires que l'intégration de SERSO-PLUS et la construction d'une route peuvent engendrer (coûts et profits nets) sont l'objet d'études. La construction d'une route et son degré d'exploitation avec SERSO-PLUS sont comparés avec ceux d'une route sans SERSO-PLUS. L'étude s'appuie sur les données de faisabilité technique tant du point de vue de l'énergie que de l'aspect construction routière ainsi que sur la littérature traitant des conséquences sociales liées aux coûts et rentabilité, en particulier celles causées par les embouteillages de trafic, les coûts sociaux engendrés par les accidents de la circulation ainsi que les coûts externes provoqués par le trafic dans les agglomérations.

Parmi les éléments coûtants on compte les coûts de construction, avec variante nouveau projet et conservation/rénovation de la substance, les coûts d'exploitation et d'entretien, les coûts d'entretien de la chaussée, les coûts de maintenance du système et les répercussions économiques sur la conservation de la substance, les coûts d'amortissement pour toutes les parties de l'installation et les coûts aux risques provenant des coûts inhérents aux pannes du système et aux dommages sur le matériel.

Comme éléments de rentabilité on conçoit la réduction des coûts liés aux accidents, la réduction des coûts d'entretien et d'intervention matérielle, la réduction des coûts causés par les dommages routiers en été et la prolongation de la durée de vie du revêtement consécutive à la réduction des variations de température en service d'été ainsi que la réduction des coûts alternatifs et complémentaires de rentabilité.

7. Conclusion

Vu l'importance toujours plus croissante de la praticabilité qu'une route à fort débit doit offrir à l'usager et des difficultés que les services d'entretien rencontrent pour intervenir sur place au cours de circonstances exceptionnelles, il est évident qu'un perfectionnement de SERSO cautionnerait la disponibilité de ces routes. L'efficacité du système SERSO-PLUS reste à être démontrée par les études de faisabilité. Dans ces dernières on verra jusqu'à quel point le système SERSO-PLUS est rentable dans son ensemble et quels risques ou questions sont à prendre en considération pour pouvoir l'appliquer dans la pratique. Suivant les besoins, des expériences concrètes peuvent être encore envisagées. Il est prévu d'intégrer un système SERSO-PLUS dans un tronçon à grand débit des routes nationales suisses faisant l'objet d'une rénovation prochaine.

8. Littérature

Il existe un grand nombre de rapports non publiés sur les phases d'étude préliminaire, les analyses de détail, les études théoriques et les phases de la construction de SERSO. De plus, depuis la commande de l'installation en 1994, des rapports intermédiaires ont été réalisés tous les six mois. Ces rapports ont tous été commandés par le "Service des ponts et chaussées du canton de Berne", division entretien et exploitation, CH-3011 Berne.

Publications à ce jour

SCHLUP, U.; SCHATZMANN, J. (1998): L'énergie solaire pour limiter le verglas - Rapport technique Volume. 2. Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR, Mars 1998, Lulea, Suède.

HOPKIRK, R.J.; HESS, K.; EUGSTER, W.J.; KNOBEL, P. (1994): SERSO - Pilotprojekt zur Sonnenenergierückgewinnung aus Strassenoberflächen. Editors: Bundesamt für Strassenbau und Tiefbauamt des Kantons Bern. August 1994. For information contact phone: +41-31-633-3582.

EUGSTER, W.J.; HESS, K.; HOPKIRK, R.J. (1996): SERSO - Mit Sommer-Sonne gegen Winter-Glatteis. Proc. 4. Geothermische Fachtagung GtV, September 1996, Konstanz.

RAUBER, M. (1995): Energy from Road Surfaces. CADDET Renewable Energy Newsletter 1/95. January 1995.

Information dans le WWW:

<http://www.polydynamics.ch>

<http://www.geothermie.de>