

## Études comparatives des fondants routiers

S. POISSONNIER

CETE Est - Laboratoire de Nancy, France

[stephanie.poissonnier@developpement-durable.gouv.fr](mailto:stephanie.poissonnier@developpement-durable.gouv.fr)

G. CASTERAN

Service technique de l'Aviation Civile, France

[guillaume.casteran@aviation-civile.gouv.fr](mailto:guillaume.casteran@aviation-civile.gouv.fr)

RICHARD Olivier

SETRA, France

[olivier-michel.richard@developpement-durable.gouv.fr](mailto:olivier-michel.richard@developpement-durable.gouv.fr)

### RÉSUMÉ

Le chlorure de sodium est le fondant routier le plus utilisé (à plus de 99%) sur le réseau routier français. Différents produits de substitution apparaissent aujourd'hui sur le marché comme une alternative, notamment les produits déverglaçants utilisés sur zones aéroportuaires, les formulations issues de divers procédés industriels, ou encore des abrasifs imprégnés de fondants.

C'est dans ce cadre que le Centre d'Étude Technique de l'Équipement de l'Est de la France (CETE Est), organisme d'État, en partenariat avec le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) et le Service d'Études sur les Transports, les Routes et de leurs Aménagements (SETRA), a tenté de caractériser et de comparer ces produits.

Cet article expose, par typologie de produits, un comparatif des caractéristiques physico-chimiques au travers de critères physico-chimiques et environnementaux tels les demandes chimiques et biochimiques en oxygène, des durées de biodégradation et la toxicité. Le troisième volet porte sur l'aspect performantiel des produits avec l'élaboration des courbes de transitions de phase et de la capacité de mise en fusion d'une lame de glace. Cet article tente au final de déduire quelques préconisations d'emploi en fonction des typologies de produits, des objectifs des gestionnaires et des phénomènes météorologiques auxquels ils doivent faire face.

### 1. INTRODUCTION

Face à la rigueur des derniers hivers français parfois particulièrement neigeux, les consommations en chlorure de sodium ont atteint un niveau rarement aussi élevé. Certains gestionnaires de voiries se sont alors tournés vers des produits de substitution, recherchant à la fois des performances plus élevées ainsi qu'une disponibilité accrue.

Les produits déverglaçants sont des matériaux utilisés sur le domaine aéroportuaire pour le traitement des aires de manœuvres et aires de trafic en zones réservées. Ils apparaissent actuellement comme des matériaux de substitutions à ceux couramment utilisés sur le domaine routier français, au même titre que les nouvelles formulations du marché. C'est dans ce cadre que le Centre d'Étude Technique de l'Équipement de l'Est de la France (CETE Est), organisme d'État, en partenariat avec le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) et le Service d'Études sur les Transports, les Routes et de leurs Aménagements (SETRA), a tenté de caractériser et de comparer les familles de produits. Cet article expose donc, par typologie de produits, leurs caractéristiques physico-chimiques, environnementales ou encore performantielles.

## 2. LES PRODUITS ÉTUDIÉS

Le SETRA a missionné le CETE de l'Est pour établir une liste plus ou moins exhaustive des nouveaux produits émergeant sur le marché et pour les qualifier. Le CETE de l'Est s'est également appuyé sur les travaux engagés avec le STAC pour caractériser les produits utilisés sur zone aéroportuaire. Ces investigations concernent des produits dits fondants [1] solides tels que les acétates de sodium (2 produits) et formiate de sodium (2 produits), les produits ioniques (chlorure de sodium NaCl et chlorure de calcium CaCl<sub>2</sub>). Des études ont également été réalisées sur les produits liquides comme les acétates de potassium (4 produits) et formiates de potassium (4 produits), à base de glycérol (2 produits) et les additifs liquides au NaCl, ainsi qu'un produit dit mixte, mélange d'abrasifs et de fondants.

## 3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les produits se distinguent de part leur aspect (solide, liquide ou mixte) et donc dans leur mode de fonctionnement. Les produits fondants sont destinés à éviter la formation de la glace et/ou à assurer sa fusion [1]. Ces produits fondants sont donc par définition solubles, contrairement aux abrasifs ont pour objectif d'améliorer l'adhérence en surface de la couche de neige restante. Ils constituent également une solution complémentaire sur les chaussées à haut niveau de service dans des circonstances particulières (trafic poids lourd, rampe). Leur utilisation est conditionnée par le balayage, récupération, nettoyage et leur mise en décharge comme déchet routier [2].

L'ajout de fondant dans les produits abrasifs a pour seul objectif de favoriser la pénétration du grain dans la couche de neige ou de verglas pour redonner une adhérence au revêtement ou pour éviter le gel du stock du produit. Les additifs au NaCl trouvent leur pertinence dans la tenue sur le revêtement, notamment pour des niveaux de service élevés pratiquant des stratégies préventives. Cette adhésion est obtenue par enrobage des grains par le liquide (additif). C'est le principe même de la bouillie de sel où l'enrobage est réalisé avec de la saumure de NaCl à 23% w/w.

Les parts respectives des composants principaux varient de 23% w/w à 50% w/w pour les fondants liquides et sont de l'ordre de 90% pour les fondants solides (**Figure 1**). Or, tout produit fondant doit être en solution pour devenir efficace. Ainsi, les produits liquides sont plutôt dédiés à une action rapide, puisque déjà sous forme de solution, tandis que les fondants solides perdurent plus longtemps sur la chaussée. Environ 3% de produit fondant sont incorporés dans les abrasifs pour constituer les produits mixtes.

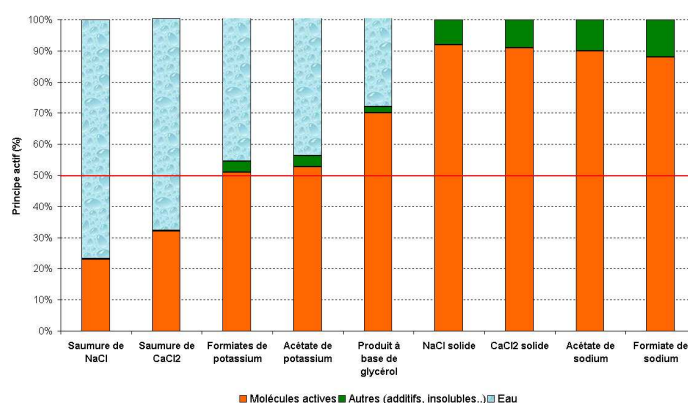


Figure 1 - Pourcentage de produits actifs dans les principaux produits de viabilité hivernale

Les sels (au sens chimique) présents dans l'eau augmentent la conductivité électrique de la solution formée par dilution des produits au contact de la neige ou du verglas. Cette propriété participe à la corrosion des métaux présents dans les infrastructures routières. Ainsi, un produit de viabilité hivernale ayant une conductivité élevée pourra altérer certains matériaux de type acier, zinc...

Figure 2). Les produits à base de glycérol étant organiques, contrairement aux autres produits étudiés dits minéraux, se révèlent les moins conducteurs. Les produits de type formiates et acétates, utilisés sur zones aéroportuaires contiennent généralement des inhibiteurs de corrosion qui, ajouté en faible quantité, ralentissent de façon significative la corrosion d'un métal.

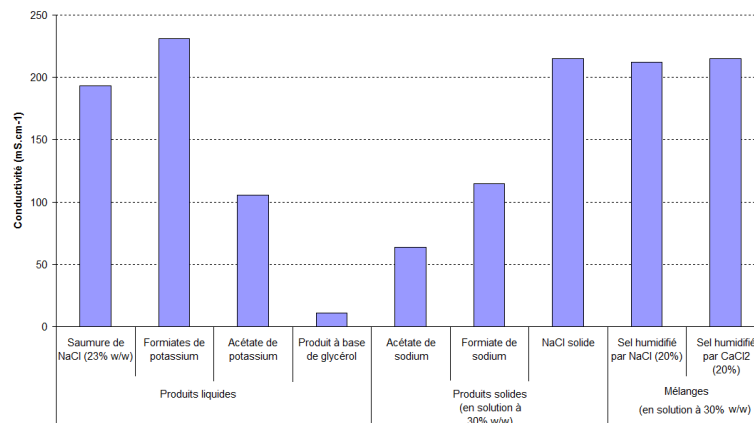


Figure 2 - Conductivité de produits de viabilité hivernale

La viscosité a été étudiée sur les produits liquides à concentration maximale et sur les produits solides en solution à 30%w/w. La viscosité de tous les produits étudiés augmente lorsque la température décroît (**Figure 3**). Certains produits peuvent induire une baisse du niveau d'adhérence si ces derniers sont épandus de façon préventive, notamment à température négative. La sensibilité des formulations aux variations de températures tend à privilégier les produits les plus constants, en terme de viscosité, dans les zones à rigueurs hivernales les moins contrastées. Compte tenu de leur viscosité ; l'utilisation des produits à base glycérol doit faire l'objet d'essais préalables sur les revêtements, notamment s'ils sont utilisés sur des zones particulières (cheminement bois, pavés, etc.).

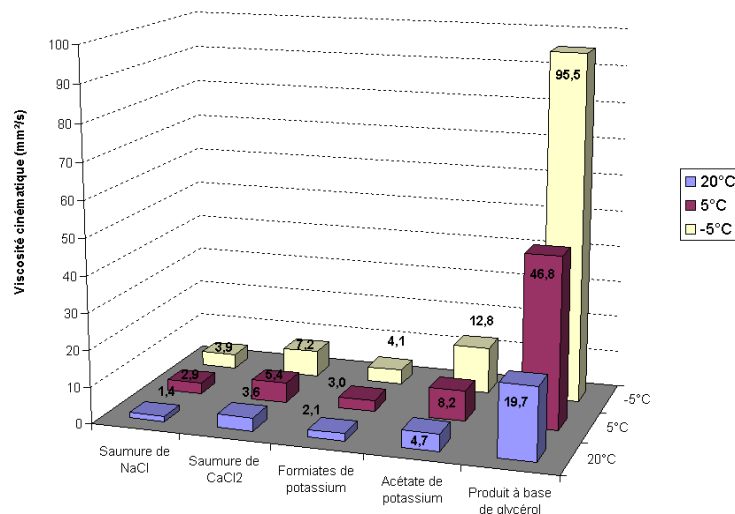


Figure 3 - Viscosités cinématiques moyennes de fondants liquides à différentes températures

Les produits solides ont été préférentiellement étudiés sur leur granularité pour évaluer leur comptabilité avec les moyens d'épandages classiques français (**Figure 4**). Le chlorure de sodium solide doit appartenir à une des trois classes granulaires : fins, moyens ou gros, selon le corpus normatif français NF P 98-180 [3]. L'ensemble des formulations solides à base d'acétates et de formiates présente des fuseaux granulaires avec une forte proportion d'éléments compris entre 2 et 5 mm de diamètre. Les abrasifs ont une granulométrie généralement comprise entre 3 et 6 mm. Un produit se démarque car composé de billes sphériques. Cette caractéristique est susceptible d'induire des problèmes d'épandage, notamment liés aux rebond en sortie de disque d'épandage. La variation de la granularité, en sus du caractère hygroscopique de ces formulations, doivent amener les gestionnaires à assurer un contrôle et un étalonnage régulier des engins d'épandage.

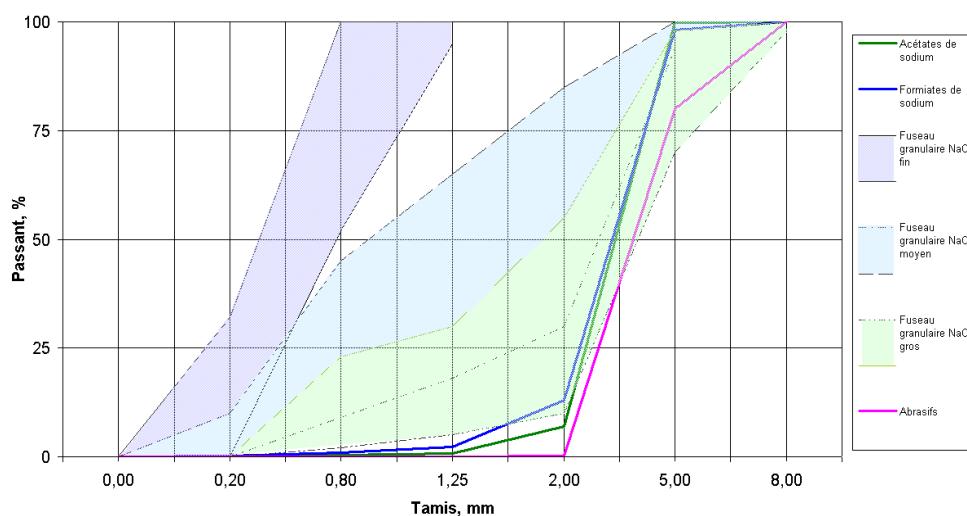


Figure 4 - Fuseau granulaire des fondants solides selon la norme NF P 98-180

Outre la taille des granules, certains produits se révèlent pulvérulents et friables. Leur utilisation est conditionnée par le port d'équipement de protection individuelle.

#### 4. CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

La principale problématique environnementale de l'utilisation des produits de viabilité hivernale réside dans leur charge organique et dans leur biodégradabilité. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) correspond à la consommation en dioxygène  $O_2$  pour oxyder les produits par des oxydants chimiques forts. Elle représente la charge organique totale susceptible d'être dégradée. La quantité de matière biodégradable en 5 jours par oxydation biochimique (oxydation par des bactéries aérobies) est définie par le paramètre de la Demande Biochimique en Oxygène ( $DBO_5$ ). Ces essais n'ont pas été réalisés sur les produits chlorés en raison de leur incompatibilité vis à vis du test. S'il est important pour l'environnement que les substances soient biodégradables (pour éviter leur accumulation dans les écosystèmes), la quantité d'oxygène nécessaire à leur dégradation ne doit pas être trop importante sous peine de provoquer une asphyxie du milieu [4-5]. Les formiates, sous forme solide ou liquide, paraissent moins problématiques que les acétates ou les produits à base de glycérol particulièrement pénalisant pour l'environnement (**Figure 5**).

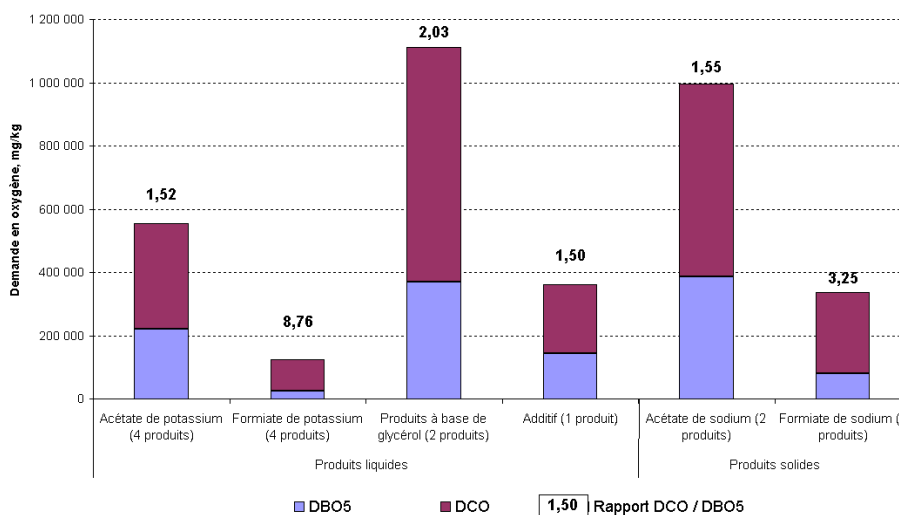


Figure 5 - Demande Chimique en Oxygène DCO (NF T 90-101) et Biochimique en Oxygène à 5 jours DBO<sub>5</sub> (NF EN 1899-1), rapport DCO/DBO<sub>5</sub>

La biodégradabilité est approchée par la prise en compte de ces deux paramètres : le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> et la durée de biodégradation des produits. Ce dernier paramètre exprime le pourcentage de produit bio-dégradé en un temps donné.

L'impact environnemental des formiates, au regard de la DCO et de la DBO<sub>5</sub>, est significativement plus faible que les acétates et les produits à base de glycérol. Cette première appréciation est à relativiser compte tenu de la biodégradabilité et de la durée de biodégradation : le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> indique que les formiates sont plus difficilement biodégradables que les autres familles de produits. Le test sur la durée de biodégradation vient corroborer le point précédent avec les formiates qui se dégradent plus lentement (**Figure 6**).

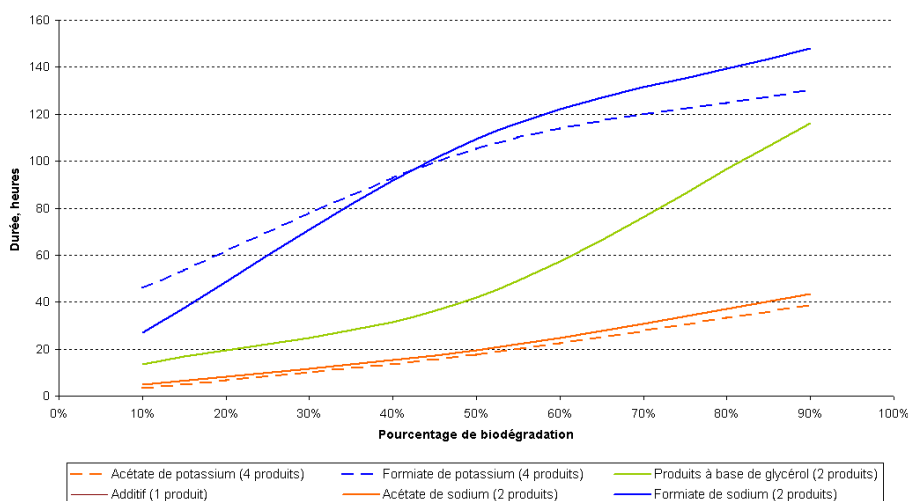


Figure 6 - Durée de biodégradation à 20°C de produits de viabilité hivernale

Le choix des produits de viabilité hivernale peut être alors dicté par les exigences environnementales et réglementaires locales : les produits à durée de biodégradation lente, à faibles DCO et DBO<sub>5</sub> et donc à faible risque d'asphyxie du milieu sont à utiliser préférentiellement dans des ouvrages capables de gérer ces effluents sur de longues durées [6]. Cet exemple est typique des fossés longeant les réseaux. A contrario, les

produits à forte DCO et DBO<sub>5</sub> et à biodégradation rapide sont préférables sur des réseaux dont les eaux de ruissellement sont traitées dans des ouvrages d'assainissement avec oxygénation (réseaux publics de collecte, stations d'épuration).

Cette approche de l'impact environnemental des produits de viabilité hivernale est restrictive et nécessite un élargissement du domaine d'étude par le biais du cycle de vie du produit. Des investigations antérieures ont montré que la consommation d'énergie fossile liée à l'élaboration de ces produits est élevée au regard de la production de chlorure de sodium [9]. D'autres paramètres sont à prendre en compte tels le lieu de production, les modes de transport utilisés, les conditionnements et les consignes d'application qui influent sur la consommation des engins d'épandage.

## 5. CARACTÉRISTIQUES PERFORMANTIELLES

La température de congélation à concentration maximale apparaît souvent comme le critère de référence vis à vis de la performance des produits de viabilité hivernale. Ces propos sont à modérer sachant que ces produits ne sont efficaces que s'ils sont sous forme de solution et que les températures de surface rencontrées sous les latitudes françaises avoisinent les  $-20^{\circ}\text{C}$ , et ce très ponctuellement. Les courbes des températures de congélation des produits commercialisés ont été déterminées selon un protocole interne au CETE de l'Est [7]. Les formulations commercialisées sous forme liquide (formiate de potassium, acétate de potassium et produits à base de glycérol) se solidifient vers  $-65^{\circ}\text{C}$ . Seul le chlorure de calcium se démarque par une température eutectique de l'ordre de  $-50^{\circ}\text{C}$ . Les formulations solides présentent une courbe de congélation similaire jusqu'à 25% environ (**Figure 7**).

Pour protéger une chaussée à une température donnée variant entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $-20^{\circ}\text{C}$  et pour une quantité d'eau déterminée, les quantités de produit à mettre en œuvre sont globalement doublées pour les produits liquides par rapport aux produits solides.

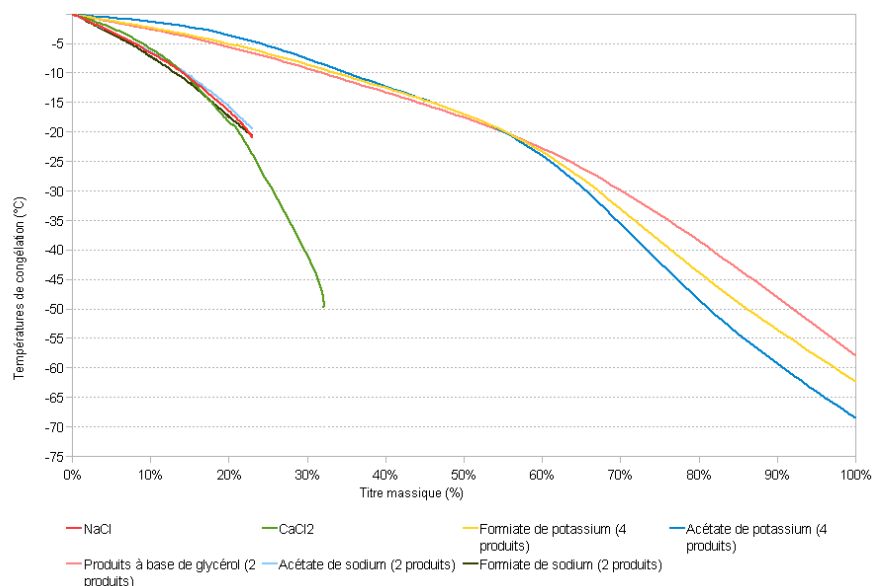


Figure 7 - Courbes de congélation de produits de viabilité hivernale commercialisés

Pour approcher l'aspect dynamique, la capacité de fusion d'une lame de glace est testée selon un protocole du domaine aéroportuaire [8]. Ces résultats mettent en évidence la rapidité d'action des produits liquides et la durabilité des produits solides (**Figure 8**).

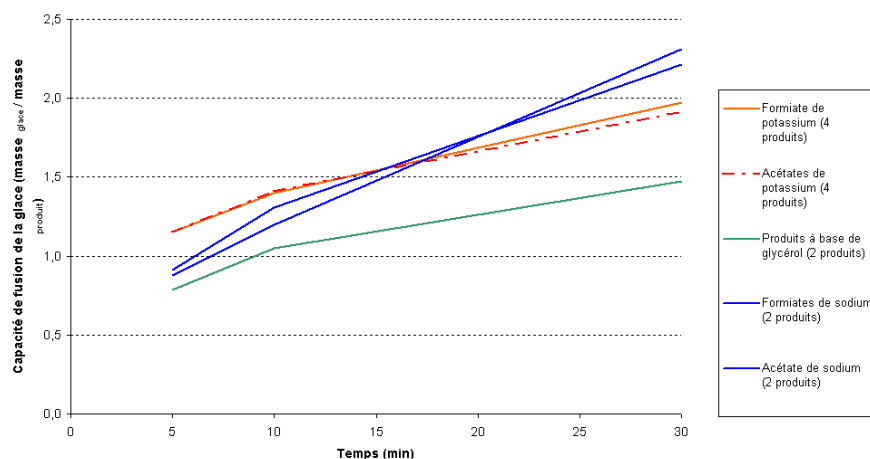


Figure 8 - Capacité de fusion de la glace de fondants chimiques à -5°C

Le choix d'un produit de viabilité hivernale résulte donc d'un compromis entre les objectifs que s'est fixés le gestionnaire et les performances de ce dernier (retour rapide à une adhérence normale, durabilité du traitement, etc.).

## 6. AUTRES SPÉCIFICITÉS DES FORMULATIONS ÉTUDIÉES OTHERS ASPECTS OF STUDIED FORMULATIONS

Pour les gestionnaires des milieux routiers (milieu urbain, interurbain), les produits de substitutions au NaCl sont généralement des matériaux onéreux (**Figure 9**) avec des dosages préconisés variant de 20 g/m<sup>2</sup> à 150 g/m<sup>2</sup>. Ces consignes modifient en conséquence les longueurs de circuits ou le nombre de matériels d'épandage à disposition. Au regard de leur coût, ces produits ne peuvent convenir qu'à des traitements ponctuels.

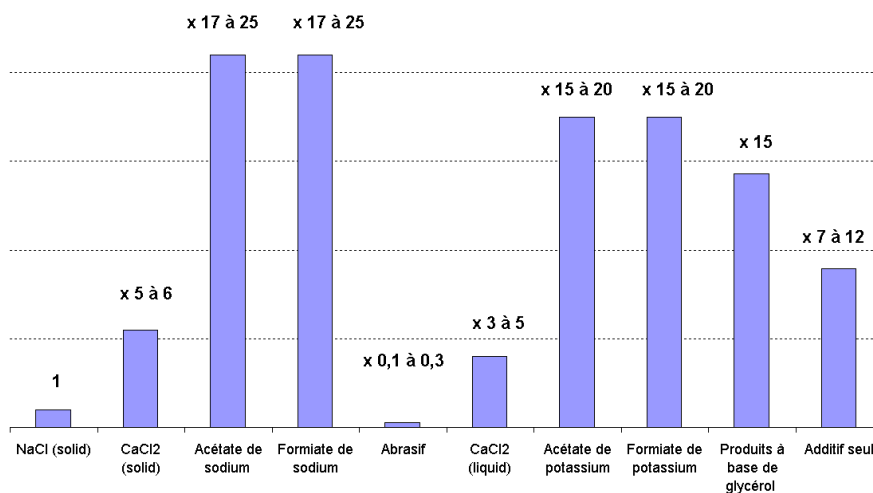


Figure 9 - Coûts estimés des produits de viabilité hivernale sur le marché français.

Les formiates et acétates ont, selon les fournisseurs une date limite d'usage de 2 ans, durée confirmée par une étude parallèle. Les modalités de stockage sont détaillées dans les fiches de données de sécurité. Pour certains produits liquides, le stockage est réalisé dans des cuves munies d'évent ou de double paroi. De part leur caractère hygroscopique et éventuellement leur conditionnement en sacs polyéthylène, certains produits solides sont à entreposer dans des lieux frais, ventilés, à l'abri de l'humidité et des UV. Des investissements sont alors parfois nécessaires en cas de changement de produit de

viabilité hivernale. Les fiches de données de sécurité mentionnent également, pour les produits chimiques, le port de gants, masques, etc. lors de leur manipulation.

## 7. CONCLUSION

Les produits de substitution au chlorure de sodium se présentent sur le marché français par le biais de besoins ponctuels : traitement des ouvrages d'art, entrées et sorties de tunnel, milieu urbain avec le traitement des voiries spécifiques (pistes cyclables, trottoirs, etc). Ce marché s'explique d'une part par la disponibilité plus faible de ces produits au regard du chlorure de sodium et d'autre part par la variété des produits proposée, variété liée à la recherche permanente de la formulation « miracle ». Un échantillon représentatif mais restrictif à été étudié dans ces investigations. Ces produits ont chacun des caractéristiques distinctes qui conviennent à différentes situations. La formulation idéale n'existant pas, la décision est alors généralement le résultat du « meilleur compromis » entre les besoins du gestionnaire et les caractéristiques des produits.

Outre l'aspect performantiel, tout changement de matériau nécessite une adaptation au sein de l'organisation : réglage des épanduses, mise en place de modalités de stockage adéquates, modification des pratiques internes, voire modification des stratégies de traitement. Ce « meilleur compromis » est donc le résultat du triptyque besoins / caractéristiques / contraintes.

## 8. RÉFÉRENCES

1. XP P 98-181 (2011) Matériels et produits d'entretien routier, Fondants, solide ou liquides, pour le service hivernal des routes et voiries d'usages spécifiques
2. SETRA (2009), Viabilité hivernale, approche globale, Guide méthodologique, page 26
3. NF P 98-180 (2003) Service hivernal, Chlorure de sodium solide utilisé comme fondant routier, Spécifications
4. CNRS (2006) L'eau douce - Une ressource précieuse. Dossiers scientifiques SagaScience. <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html>
5. Corsi, S.R., Booth, N.L. et Hall, D.W. (2001) Aircraft and runway deicers at General Mitchell International Airport, Milwaukee, Wisconsin, USA. 1. Biochemical oxygen demand and dissolved oxygen in receiving streams. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 20, n°7. pp 1474-1482.
6. Marchetti, Poissonnier, Mars (2011). Evaluation de la performance des produits de déverglacement, rapport d'étude, Service Technique de l'Aviation Civile, pages 25-27
7. Durickovic I. Claverie R. Bourson P. Marchetti M. Chassot J.M. Fontana M.D.(2011). Water-ice phase transition probed by Raman spectroscopy, Journal of Raman Spectroscopy, pages 1408-1411
8. Aerospace Information Report AIR 610 (2011). Ice Melting Test Method for Runways and Taxiways Deicing/Anti-icing Chemicals, AMS 1431/1435.
9. Gartiser, S., Reuther, R., Gensch, C.O., (2003) Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums F.R. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, page 82.