

RECHERCHE FONDAMENTALE SUR LES EFFETS DE L'AGENT ANTIGEL SUR LES ZONES ENVIRONNANTES DES BORDS DE ROUTE

MM. Masataka NAKADA * et Takao NAKAYA **

* Directeur, Service des routes,
Bureau de construction,
Municipalité de Sendai
3-1-1 Kokubun-cho, Aoba-ku, Sendai,
Miyagi, 980-0803, Japon
Tél.: +81-22-214-8381 Fax: +81-22-227-2614
Email: masataka_nakada@city.sendai.jp

** Succursale de Tohoku,
Central Consultant Inc.
27-21 Tachimachi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi,
980-0822, Japon
Tél.: +81-22-264-1924 Fax: +81-22-264-1217
Email: tnakaya@central-con.co.jp

1. Abrégé

En 1980, dans la ville de Sendai, la poussière de la route produite par les pneus cloutés équipant les véhicules se répandait souvent dans toute la ville sous l'effet des premiers vents du printemps, de telle sorte que le phénomène appelé "Désert de Sendai" affectait gravement la vie civique quotidienne de la population et constituait alors un problème social sérieux. Dans de telles circonstances, la municipalité de Sendai avait répandu de l'agent antigel sur les routes principales de la ville dès 1983, en tant qu'une des mesures visant au soutien des "mouvements contre l'usage des pneus cloutés". Dans ce même temps, la municipalité avait procédé à une évaluation fondamentale et la collection des données nécessaires relatives à l'environnement d'une période portant sur les 18 dernières années de manière à contrôler l'existence des effets secondaires négatifs de l'agent antigel répandus sur les routes.

D'une façon générale, l'agent antigel repoussé par le vent d'hiver et éclaboussé par les véhicules circulant se concentre à moins de trois mètres du bord de la chaussée. Ainsi, afin de mieux comprendre les effets produits par l'agent antigel sur les arbres bordant la route, à titre d'expérience, une inspection visuelle des arbres aussi bien qu'une mesure de la teneur des ingrédients de l'agent antigel présents dans les branches et les feuilles des arbres ainsi que dans le sol adjacent ont été effectuées de telle sorte que la description générale des présents résultats constitue le principal sujet de cet exposé.

Deux types d'effets de trace d'agent antigel ont été relevés sur des arbres en bordure de route: (1) l'agent antigel directement aspergé adhérent aux arbres en bordure de route et ses éléments s'imprégnant dans les arbres par les stomates et les espaces de l'écorce, et (2) l'agent antigel directement aspergé s'infiltrant et s'accumulant d'abord sur le sol d'un secteur planté, puis ses éléments étant absorbés par les arbres par l'intermédiaire de ses racines alors qu'ils absorbent leurs éléments nutritifs et l'humidité. Cependant, des effets plus intenses ont été observés dans le cas (1) et des conclusions intérim ont été faites sur des points tels que la possibilité d'une identification visuelle, un effet significatif sur une espèce d'arbuste, des effets variables par type d'arbre et des effets limités sur une espèce de grands arbres dû à moins une adhérence moindre de l'agent antigel.

Dans le cas (2), parmi les éléments de l'agent antigel présents dans le sol d'un secteur planté d'arbres en bordure de route, on est en droit de supposer que le calcium se décompose et que cela laisse des restes en nombre limité dans le sol. D'autre part, un souci persiste par lequel les ions de sodium et de chlore peuvent ne pas se décomposer et restent dans le sol, près de la surface.

Cependant, de nombreux cas ont été observés au cours desquels les effets de l'agent antigel sur des arbres en bordure de route étaient considérés comme étant dus à l'absorption excessive des éléments de l'agent antigel éclaboussé et adhérant aux arbres.

2. Arrière-plan de la Recherche

Le nombre de véhicules enregistrés dans la ville de Sendai a rapidement augmenté depuis les années 1980 dû à un accroissement élevé de la densité de la population parce que la ville de Sendai joue un rôle politique et économique central et primordial pour la région de Tohoku. Par voie de conséquence, la poussière de la route produite par l'abrasion du revêtement en asphalte de la chaussée sous l'effet des pneus cloutés de véhicule utilisés pendant la saison d'hiver (de décembre à mars), s'est répandue dans toute la ville et ceci a provoqué un phénomène qualifié de "Désert de Sendai". Dans ces circonstances, une inquiétude s'est développée parmi les habitants domiciliés le long des routes, notamment au sujet de leur santé, de sorte que le phénomène est devenu un grave problème social —une forme de pollution urbaine. Ainsi, les fonctionnaires métropolitains et l'ensemble des habitants ont créés des mouvements d'opposition à l'usage des pneus cloutés.

Afin de faire face à cette situation, la municipalité de Sendai a pris et mis en application diverses mesures de soutien des mouvements d'opposition à l'usage des pneus cloutés. Par voie de conséquence, du point de vue de la sécurité routière à assurer pendant la saison d'hiver, des mesures d'entretien des routes principales ont été introduites telles que la réduction jusqu'à un niveau minimum de l'accumulation de la neige sur les routes, ce qui a entraîné des travaux de dégagement d'une couche de 15cm à 3cm, ceci entraînant l'établissement d'un programme de dégagement de la neige 24 heures sur 24 et d'un programme d'opérations de fonte de la neige avec un épandage d'agent antigel sur les principaux axes routiers, etc.

3. Objectifs de la Recherche

La municipalité de Sendai a effectué l'épandage d'un agent antigel sur les principaux axes routiers depuis 1983. Dans ce même temps, la municipalité a procédé à une évaluation fondamentale de l'incidence sur l'environnement au moyen de diverses observations des routes sur lesquelles un épandage d'agent antigel était effectué ainsi que d'expériences réalisées en laboratoire, mais aussi une collecte des données nécessaires pendant les 18 dernières années, afin de contrôler l'existence des effets secondaires négatifs de l'agent antigel répandu sur les routes, en faisant appel aux conseils et services de coopération d'experts issus de divers domaines universitaires et professionnels.

Ainsi, cet exposé présente les grandes lignes des résultats issus de l'observation de la vigueur des arbres en bordure de route effectuée en procédant à une inspection visuelle et des examens en laboratoire des branches et des feuilles d'arbre ainsi que des sols des secteurs plantés dans le contexte des résultats de diverses sortes d'observations et d'expériences sur les effets de l'utilisation des agents antigel épandés sur les routes.

4. Contenu de L'observation

Pour empêcher la formation de verglas sur les routes et pour assurer la sécurité routière pendant toute la saison d'hiver, la ville de Sendaï a procédé à l'épandage d'une solution de chlorure de calcium (à taux de concentration de 35%) principalement sur les routes en cote et les routes en terrain montagneux depuis 1983 et d'une solution mélangée de 65% (urée (à taux de concentration de 35%) et de chlorure de sodium de 35% (à taux de concentration de 23%)) sur les routes en terrain plat depuis 1993. Ceci a eu pour conséquence que l'agent antigel transporté par le vent d'hiver et éclaboussé par les véhicules circulant se concentrait généralement à moins de trois mètres du bord de la chaussée, malgré d'importantes variations suivant les conditions climatiques et l'état de la surface de la route.

En conséquence, il est permis de croire que les arbres plantés sur les bords de la route et près de la chaussée soient affectés quand de l'agent antigel aspergé adhère directement sur leur branches et leurs feuilles. Par ailleurs, il est également possible que le sol du secteur planté d'arbres en bordure de route affecte les arbres en bordure de route parce que des éléments de l'agent antigel peuvent s'infiltrer et s'accumuler dans le sol.

Pour déterminer les changements et les différences s'opérant dans les facteurs mentionnés ci-dessus au cours de ces dernières années (1994-2000), une inspection visuelle des arbres destinée à observer l'ampleur des effets a tout d'abord été effectuée. Ensuite, la quantité des éléments de l'agent antigel qui sont absorbés par les branches et les feuilles des arbres en bordure de route ainsi que la quantité d'éléments d'agent antigel qui se sont accumulés dans le sol dans le secteur planté d'arbres en bordure de route ont fait l'objet de mesures pendant la saison d'hiver, expériences réalisées pour mieux saisir les raisons des effets engendrés.

4.1 Inspection Visuelle de la Vigueur des Arbres en Bordure de Route

(1) Description Générale de L'examen

Un examen visuel des arbres en bordure de route a été effectué en utilisant une fiche d'inspection, et ce pendant quatre périodes, à savoir la nouvelle période de croissance (en mai), la période caduque (en novembre), la période après épandage de l'agent antigel (en mars), puis la nouvelle période de croissance de l'année suivante (en mai).

Les types d'arbres en bordure de route sélectionnés pour procéder à l'examen visuel sont les suivants: 1) grands arbres à feuilles caduques, c.-à-d., *zorkava serrata* (genre orme), *acer buergerianum* (genre d'érable) et tulipier (genre de magnolia), 2) arbustes à feuilles persistantes, c.-à-d. *buxus microphylla* var. *insularis* (genre de buis du Japon), *ligustrum Japonicum* (genre d'olivier odorant) et *quercus phillyraeoides* (genre d'hêtre) et 3) arbustes à feuilles caduques, c.-à-d., *enkianthus perulatus* (genre d'azalée).

(2) Résultats de L'examen

- a) Les effets de l'agent antigél sur les grands arbres à feuilles caduques étaient comparativement faibles. La faiblesse de ces arbres était principalement due aux conditions présentées par l'environnement de leur plantation (conditions atmosphériques, parcelles de terre de taille inadéquate, accroissement de l'émission des gaz d'échappement dû à une augmentation du nombre des véhicules, etc.) et entretien / soin des arbres (et plus particulièrement l'arrosage et l'élagage).
- b) En ce qui concerne les arbustes à feuilles persistantes, une décoloration des feuilles et une chute des feuilles ont été observées sur de nombreuses sortes d'arbres après l'épandage d'un agent antigél. En particulier le long des sections de route dans les virages de routes principales, des sections en descente où les véhicules ont tendance à circuler relativement à grande vitesse et les sections avec beaucoup d'ornières, là où des éléments d'agent antigél fondus subsistent, les effets de l'agent antigél ont été clairement observés: les ramilles inférieures faisant face à la chaussée étaient défraîchies et la vigueur des arbustes était affaiblie.
- c) En ce qui concerne les arbustes à feuilles caduques, il était impossible d'observer l'état des feuilles parce que la chute de celles-ci s'est produite avant l'épandage de l'agent antigél. Cependant, les effets de l'agent antigél étaient clairement observés: les ramilles faisant face à la chaussée étaient défraîchies et la nouvelle croissance était également faible pendant la nouvelle période de croissance.

4.2 Examen des Branches et des Feuilles des Arbres en Bordure de Route

(1) Description Générale de L'examen

Au cours de cet examen, des mesures et des comparaisons de la teneur en calcium, sodium, d'ions de chlore qui sont des éléments de l'agent antigél, ont été effectuées en se servant de deux échantillons de chaque type d'arbre. Ces échantillons ont été obtenus à partir d'arbres plantés en bordure de route et adjacents à la chaussée, considérés comme étant directement affectés par l'épandage de l'agent antigél et le même type d'arbres que ceux plantés en bordure de route mais situés loin de la route considérés comme n'étant pas affectés par l'épandage de l'agent antigél et se trouvant ainsi dans la même situation que les arbres plantés en bordure de route le long de la chaussée où l'agent antigél n'a pas été aspergé (échantillon de contrôle aux fins de comparaison).

Des arbres échantillons ont été choisis à partir des emplacements où une inspection visuelle de la vigueur des arbres a été effectuée et des branches de grands arbres à feuilles caduques ainsi que des ramilles et des feuilles d'arbustes à feuilles persistantes et à feuilles caduques étaient recueillies.

(2) Résultats de L'examen

Les caractéristiques mentionnées ci-dessous ont été obtenues pour les branches et les ramilles et des feuilles des arbres en bordure de route, en se concentrant sur les types et les parties des arbres qui ont eu une plus forte tendance à absorber un plus grand nombre d'éléments d'agent antigél en comparaison des plantes situées dans les secteurs où l'agent antigél n'a pas été aspergé (voir la figure 1):

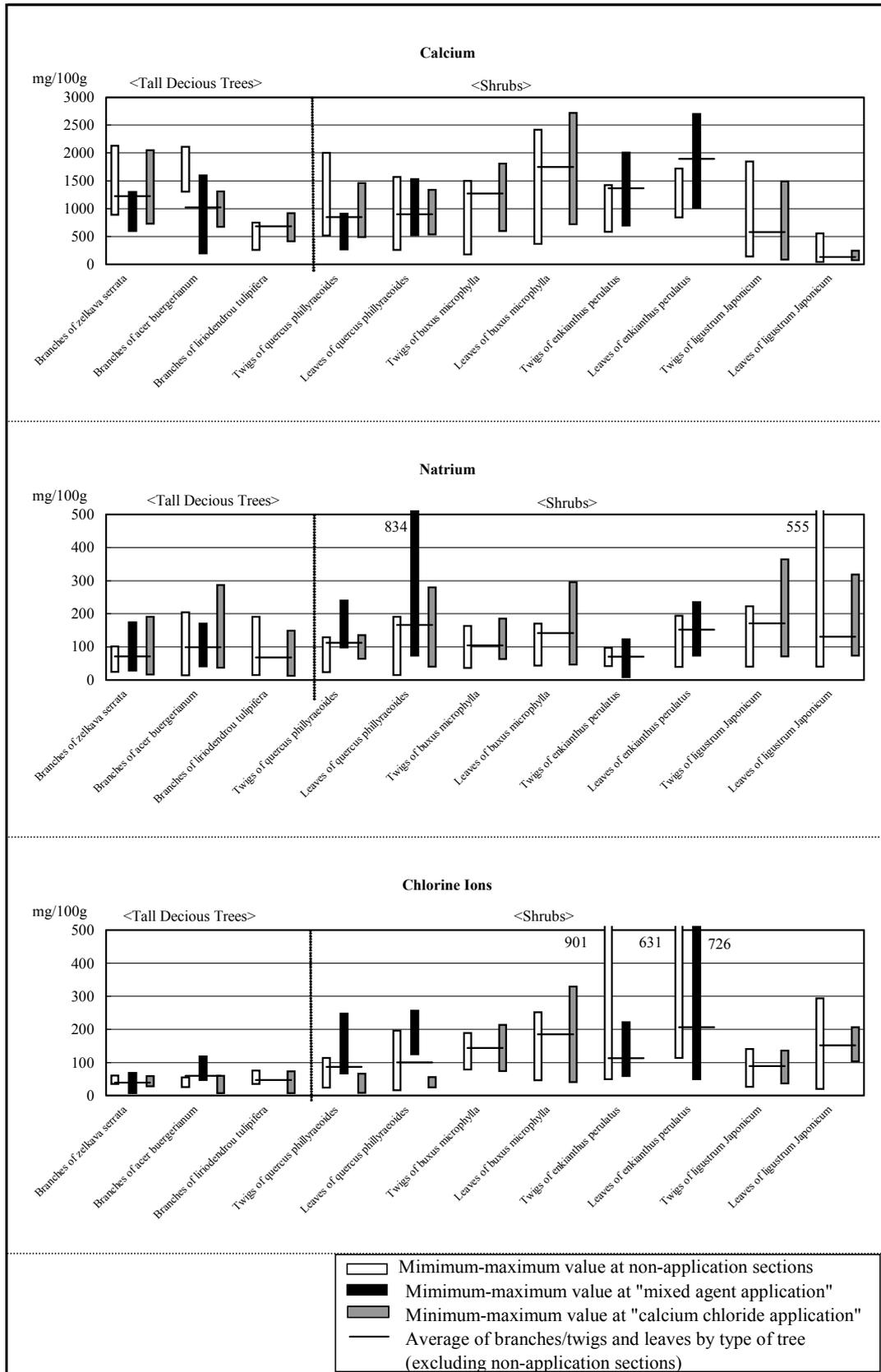


Figure 1 Tendances à L'absorption des Éléments d'Agent Antigél par les Arbres en Bordure de Route (Valeur Moyenne des Échantillons Obtenus entre Novembre 1994 et Novembre 2000)

a) En ce qui concerne les grands arbres, les tendances suivantes d'absorption ont été identifiées:

Absorption de sodium plus élevée

- Branches des zelkava serrata (plantés le long des routes, là où le chlorure de calcium et l'agent mélangé ont été aspergés (se référant ci-après à l'indication “application de deux types”).
- Branches d'acer buergerianum (plantés le long des routes, là où seulement du chlorure de calcium a été aspergé (se référant ci-après à l'indication “application de chlorure de calcium”).

Absorption des ions de chlore plus élevée

- Branches d'acer buergerianum (plantés le long des routes, là où seulement de l'agent mélangé a été aspergé (se référant ci-après à l'indication “application d'agent mélangé”).

b) En ce qui concerne les arbustes, les tendances d'absorption suivantes ont été identifiées:

Absorption de calcium plus élevée

- Les ramilles et les feuilles de buxus microphylla var. insularis (“application de chlorure de calcium”)
- Ramilles et feuilles d'enkianthus perulatus (“application d'agent mélangé”)

Absorption de sodium plus élevée

- Les ramilles et les feuilles d'enkianthus perulatus (“application d'agent mélangé”)
- Les ramilles et les feuilles de quercus phillyraeoides (“application d'agent mélangé”)
- Les feuilles de buxus microphylla var. insularis (“application de chlorure de calcium”)
- Les ramilles de ligustrum Japonicum (“application de chlorure de calcium”)

Absorption d'ions de chlore plus élevée

- Les ramilles et les feuilles de hêtre ou quercus phillyraeoides (“application d'agent mélangé”)
- Les ramilles et les feuilles de buxus microphylla var. insularis (“application de chlorure de calcium”)
- Feuilles d'enkianthus perulatus (“application d'agent mélangé”)

c) En ce qui concerne les éléments d'agents antigel, les tendances suivantes d'absorption ont été identifiées:

Absorption de calcium plus élevée

- Les ramilles et les feuilles d'enkianthus perulatus (“application d'agent mélangé”) tels que les arbustes

Absorption de sodium plus élevée

- Branches des zelkava serrata (“application à deux types”) et d'érables aux feuilles trifides ou acer buergerianum (“application de chlorure de calcium”) tels que les grands arbres

- Feuilles de *buxus microphylla* var. *insularis* (“application de chlorure de calcium”), ramilles de *ligustrum Japonicum* (“application de chlorure de calcium”) et ramilles et feuilles de *quercus phillyraeoides* (“application d'agent mélangé”) tels que les arbustes

Absorption des ions de chlore plus élevée

- Feuilles de *buxus microphylla* var. *insularis* (“application de chlorure de calcium”) et d'*enkianthus perulatus* (“ application d'agent mélangé”) et ramilles et feuilles de *quercus phillyraeoides* (“application d'agent mélangé”) tels que les arbustes

d) Suite aux résultats de l'examen décrit ci-dessus, il est évident que l'absorption de calcium était comparativement faible et que ses effets sur les arbres en bordure de route étaient modérés alors que l'absorption de sodium et des ions de chlore était élevée et que leurs effets sur les arbres en bordure de route étaient importants.

4.3 Examen du Sol des Parcelles de Terre Plantées

(1) Description Générale de L'examen

Avec cet examen, deux genres d'échantillons de sol avant (novembre) et après (mars) l'épandage de l'agent antigel (novembre) ont été recueillis dans les parcelles de terre plantées d'arbres en bordure de route et des analyses chimiques de pH, conductivité électrique, calcium substituant, sodium substituant, ions de chlore et 10% d'azote extrait par KCL ont été effectuées afin de mieux comprendre comme s'opèrent les changements de composition chimique dans les sols des parcelles de terre plantées après un épandage d'agent antigel. Des échantillons de sol ont été recueillis aux endroits où l'inspection visuelle de la vigueur des arbres et l'examen des branches ou des ramilles et des feuilles des arbres en bordure de route ont été effectués.

(3) Résultats de L'examen

Les changements opérés dans la teneur du sol aux endroits où les échantillons ont été prélevés après l'épandage d'agent antigel étaient comme suit:

- a) Selon les résultats de cet examen, des quantités remarquables de calcium substituant, de sodium substituant, d'ions de chlore et 10% d'azote extrait par KCL se sont révélés subsister dans les sols des parcelles de terre plantées le long des routes, là où de l'agent antigel a été aspergé, comparé à l'analyse des parcelles de terre plantées le long des routes où il ne l'a pas été. En outre, une conductivité électrique, qui tend à avoir une haute corrélation avec ces groupes de base, a changé de façon rigoureuse. En conséquence, on en est arrivé à la conclusion que de grandes quantités d'éléments d'agent antigel ont subsistés dans le sol et notamment près de la surface du sol (voir la figure 2).
- b) Après un épandage de l'agent antigel, les ions de chlore sont restés dans le sol le long des sections traitées par une “application de chlorure de calcium” tandis que le sodium substituant, les ions de chlore et 10% d'azote extrait par KCL sont restés dans le sol le long des sections traitées avec une “application d'agent mélangé” (voir la figure 3).

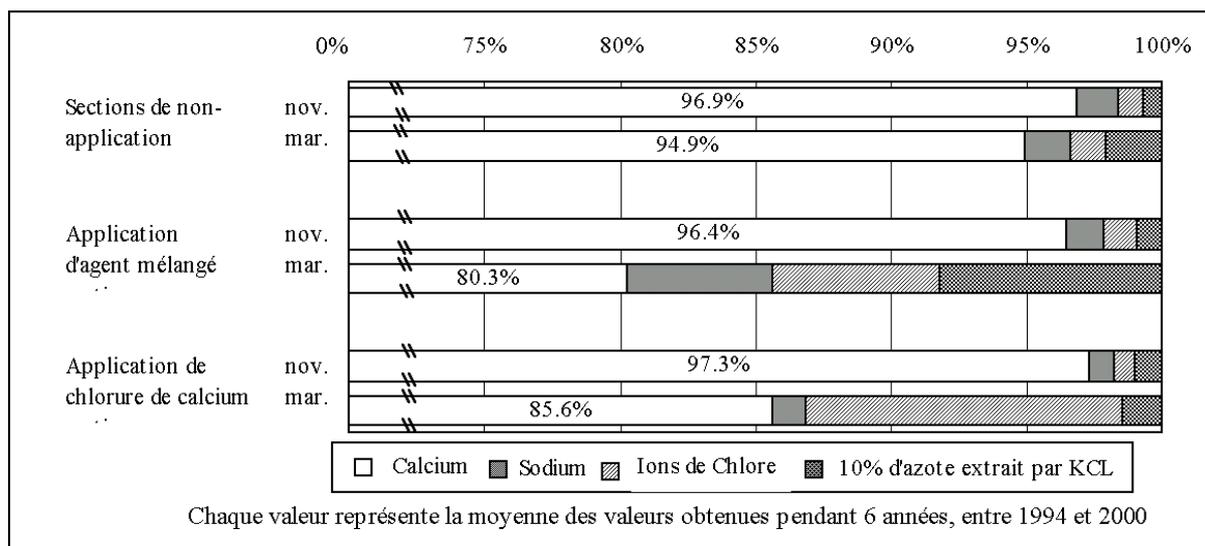


Figure 2 Principaux Changements Opérés dans la Composition Chimique des Sols avant et après L'épandage d'un Agent Antigél (Valeur Moyenne des Échantillons Recueillis entre Mars 1994 et Novembre 2000)

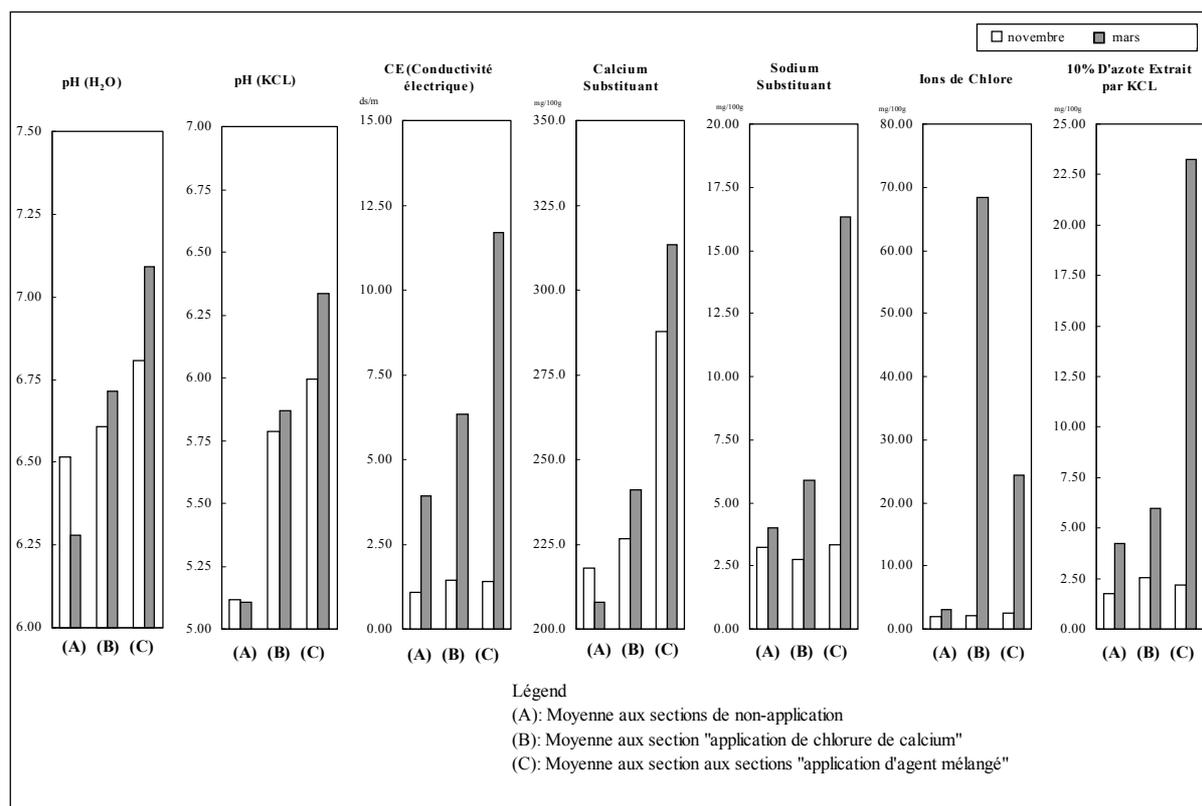


Figure 3 Principaux Changements Opérés dans la Teneur des Éléments de L'agent Antigél dans les Sols des Parcelles de Terre Plantées avant et après L'épandage d'un Agent Antigél pour les Sections où L'agent Antigél a été ou n'a pas été Aspergé (Valeur Moyenne des Échantillons Recueillis entre Mars 1994 et Novembre 2000)

4.4 Effets de L'épandage d'un Agent Antigél sur les Arbres en Bordure de Route

Les principaux éléments de l'agent antigél épandé par la municipalité de la ville de Sendaï sont le calcium, le sodium, le chlore, l'azote, etc., et ces éléments sont également des éléments indispensables à la nutrition des plantes (engrais).

D'une façon générale, les ions positifs tels que le calcium et le sodium, ont une forte tendance à se déplacer dans le corps des plantes tandis que les ions négatifs tels que le chlore ont des tendances similaires plus faibles.^{1), 2), 3)} Cependant, après l'épandage de l'agent antigél, une quantité très limitée des éléments indispensables à la nutrition qui sont à l'origine contenus dans le corps des plantes augmentera de façon rigoureuse pour l'instant de sorte que les éléments nutritifs dans le corps des plantes risquent d'être déséquilibrés. Par conséquent, une absorption excessive de ces éléments par les plantes est devenue un sujet de préoccupation important en considération de l'effet direct produit par l'épandage de l'agent antigél.

(1) Changements Opérés dans les Branches ou les Ramilles et les Feuilles des Arbres en Bordure de Route

En ce qui concerne les branches ou les ramilles et les feuilles des arbres en bordure de route plantés le long de la route où l'épandage d'un agent antigél a été effectué, la teneur en calcium n'a pas changé rigoureusement, même après comparaison avec le groupe de plantes de contrôle tandis que la teneur en sodium et en ions de chlore a rigoureusement changé après comparaison avec le groupe de contrôle. En conséquence, les effets provoqués par l'agent antigél ont pu être constatés par examen visuel.

En recherchant les voies éventuelles qui engendrent les effets sur les arbres en bordure de route, les deux possibilités suivantes ont été supposées:

- a) Agent antigél directement épandé adhérant aux arbres en bordure de route et ses éléments s'imprégnant dans les arbres par les stomates et les espaces de l'écorce.
- b) Agent antigél épandé s'imprégnant d'abord et s'accumulant dans le sol de la parcelle de terre plantée, puis ses éléments étant retenus dans les arbres par leurs racines suite à l'absorption des éléments nutritifs et de l'humidité du sol.

Des effets plus intenses ont été observés dans le cas a) et des identifications visuelles furent possibles, mais les effets étaient différents suivant le type d'arbre. D'une façon générale, les feuilles des plantes à feuilles persistantes ont créé une couche de cuticule ayant une tendance à repousser l'agent antigél aspergé de sorte que les effets ont été considérés comme relativement faibles. Cependant, ces feuilles ont été également affectées quand l'agent antigél a été fréquemment aspergé car il adhérerait directement aux feuilles. Ces feuilles ont porté des traces de nécroses noires ou brun clair qui se sont formées en partant du pourtour des feuilles et en s'étendant vers la partie entière de la feuille avec une défoliation anormale également observée (voir la figure 4).

En raison de ces observations, on a supposé que ces effets étaient évidents sur des arbustes et que le niveau de l'effet était différent suivant le type d'arbre. D'autre part, les effets sur les grands arbres étaient considérablement réduits parce que l'adhérence directe de l'agent antigél aspergé sur ces arbres était limitée.

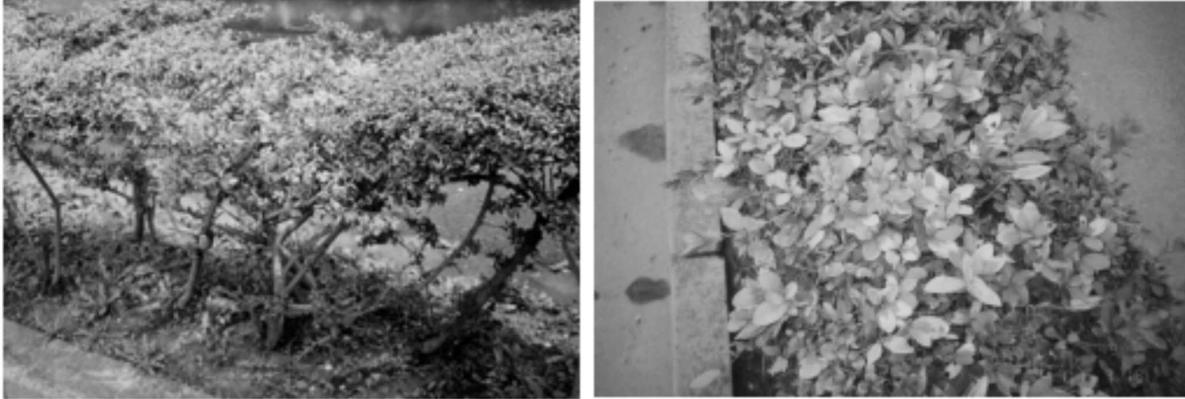


Figure 4 Exemple des Voies Engendrant les Effets Produits sur les Branches ou les Ramilles et les Feuilles des Arbres en Bordure de Route

(2) Mouvements Opérés par les Éléments D'agent Antigél dans le Sol et leurs Effets sur les Arbres en Bordure de Route

Étant donné que les éléments de l'agent antigél aspergé en hiver à basse température peuvent être absorbés par les arbres entre le printemps et l'automne, quand les racines d'arbre deviennent actives et absorbent leurs éléments nutritifs et l'humidité du sol, une accumulation excessive de ces éléments dans le sol est un sujet de préoccupation en raison des effets directs provoqués sur les arbres en bordure de route après l'épandage d'un agent antigél. Désormais, en ce qui concerne la voie b), il était important d'identifier les mouvements opérés par l'agent antigél et la quantité des éléments subsistant dans le sol des parcelles de terre plantées.

Les résultats de l'observation ont montré qu'une plus grande quantité de chaque élément a été mesurée suivant le type d'arbre en comparaison de la quantité des éléments subsistant dans le sol après un épandage d'agent antigél:

En ce qui concerne les sections avec une "application de chlorure de calcium"

- Calcium, sodium et ions de chlore dans les ramilles et les feuilles de buis ou buxacés ou buxinés, *buxus microphylla* var. *insularis*
- Sodium dans les branches des ormes du Caucase ou *zelkava serrata*, de *quercus phillyraeoides* et de troène du Japon ou *ligustrum Japonicum*

En ce qui concerne les sections avec une "application d'agent mélangé "

- Calcium et sodium dans les ramilles et les feuilles d'azalée ou *enkianthus perulatus*
- Sodium et calcium dans les ramilles et les feuilles de *quercus phillyraeoides*
- Ions de chlore dans les ramilles de érables aux feuilles trifides ou *acer buergerianum*

En conséquence, il existe une possibilité que les arbustes soient affectés par des éléments de l'agent antigél non seulement à la suite d'une absorption excessive des éléments de l'agent antigél aspergé et adhérant à leurs surfaces, mais également suite à une absorption des éléments par les sols des parcelles plantées. (Voir la figure 5)

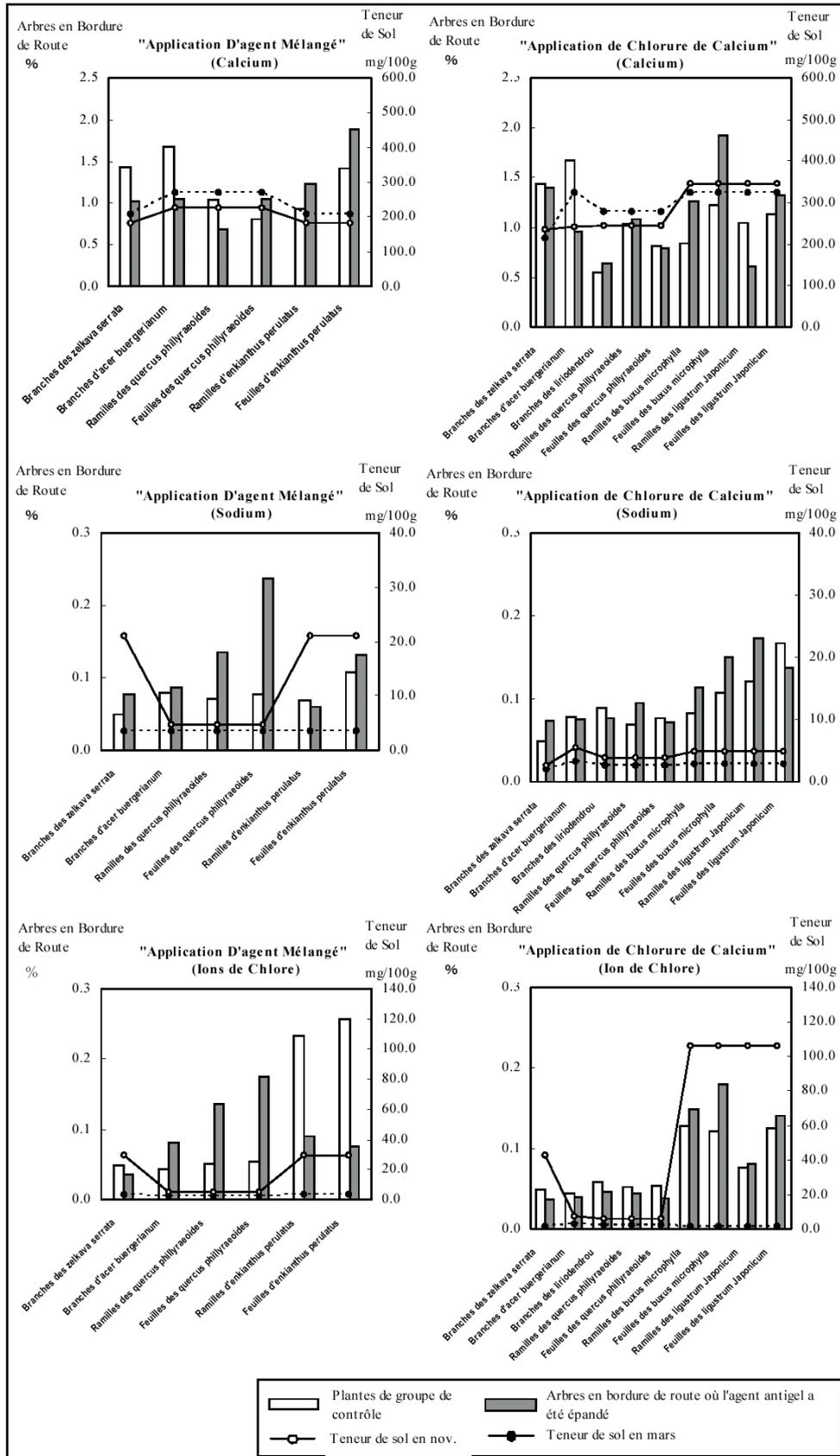


Figure 5 Rapport entre la Teneur des Éléments de L'agent Antigél dans les Branches ou les Ramilles et les Feuilles des Arbres et des Sols des Parcelles de Terre Plantées en Bordure de Route

5. Tâches Futures

Sur la base des résultats des observations antérieures, on peut considérer qu'il y a nécessité de procéder à un examen attentif comme décrit ci-dessous:

- Identification des types d'agents antigel et quantité de chaque type d'agent épandé et adhérent aux arbres en bordure de route sur les routes
- Identification du rapport existant entre la quantité des éléments de l'agent antigel absorbés et la profondeur des racines des arbres en bordure de route pour un même type d'arbre.

Dans ce même temps, on peut considérer qu'il est nécessaire d'installer un champ expérimental en transplantant des échantillons expérimentaux des arbres à grandes feuilles à feuilles caduques et à feuilles persistantes pour effectuer les expériences suivantes, améliorer l'exactitude de l'observation et la précision des analyses:

- Aspersions directes d'agent antigel sur les branches ou les ramilles et les feuilles ainsi que sur le sol sous des chutes de neige en hiver et en procédant à des observations suivant la densité et la quantité des agents antigel utilisés
- Comparaison des branches ou des ramilles et des feuilles des arbres du même type plantés dans le sol où seulement de l'eau est pulvérisée.

Références:

- 1) "Gamme environnementale des sols" (Mai 1997, Fuji Techno System Co., Ltd.)
- 2) "Compte-rendu de l'étude des documents relatifs aux agents antigel" (1990, Université de Montréal)
- 3) "Curtailling Usage of De-icing Agents in Winter Maintenance" (1989, OECD)