

# Rapport de projet professionnel



Photographie d'une autoroute de Nancy en période hivernale

Années : 2017 - 2018



# Développement d'un procédé de lavage des fosses de plantation contaminées par les sels de déneigement

---

## TUTEURS

Pierre LEGLIZE

Catherine SIRGUEY

---

## RÉALISÉ PAR

Caroline ABREGAL

Laurianne CUFFEL

Camille DOLINAR

Walid EZZARAOUI

Glenn KECK

Antoine PERRY

Inès TOOLSEE

# Table des matières

Introduction :	4
1 Mise en contexte de notre étude	4
1.1 La viabilité hivernale	4
1.2 Les effets du sel de déneigement sur les fosses de plantations	5
1.2.1 Les conséquences sur le sol	5
1.2.2 Les conséquences sur la plante	7
1.2.2.1 Conséquences sur l'absorption racinaire	8
1.2.2.2 Conséquence sur les cellules de l'absorption d'eaux salées	8
1.2.2.3 Impact du contact direct des sels sur les parties aériennes	8
1.2.3 Le sel dans les eaux de récupération	9
1.3 Les barrières physiques empêchant le sel de rentrer dans les sols et/ou d'atteindre l'appareil racinaire	9
1.3.1 Protection physique	9
1.3.2 Copeaux de bois	10
1.3.3 Membrane artificielle	10
1.3.4 Gel hydro rétenteur	11
1.4 Les solutions de neutralisation du sodium dans le sol	11
1.4.1 Bactéries halophile/cryophile	11
1.4.2 Les plantes halophiles	12
1.4.3 Gypse	13
1.4.4 Lessivage	13
2 Les techniques testées expérimentalement pour dépolluer les fosses de plantations	14
2.1 Préparation des sols salés	14
2.2 Expériences de lessivage :	15
2.3 Les techniques de mesures réalisées sur nos expériences	17
2.3.1 Détermination de la CEC	17
2.3.2 Conductimétrie et pHmétrie	18
2.4 Test de phytotoxicité	18
3 Analyse et exploitation des résultats	18
3.1 Expériences de lessivage	18
3.2 Test de phytotoxicité	22
Conclusion	22
Bibliographie	23
Résumé	25

## Liste des figures

Figure 1: Schéma du complexe argilo-humique (d'après annabac)

Figure 2 : Lien entre la valeur d'une CEC et l'interprétation

Figure 3 : Dispersion (domaine de  $\text{Ca}^{2+}$ ) et gonflement des argiles (pénétration du  $\text{Na}^+$ ) (Essington 2004).

Figure 4: Photographie d'une fosse de plantation recouverte de BRF

Figure 5: photographie

Figure 6: Photo d'une plante halophile : la salicorne (*Salicornia europaea*)

Figure 7 : Photographie de la préparations des pots

Figure 8 : Photographie de la préparation des solutions salines

Figure 9: Dispositif de récupération des eaux de lessivages (percolats)

Figure 10: Diagramme en bâton de la CEC moyenne de 5 répétitions avec les écarts types des sols

Figure 11: Diagramme en bâton de l'ESP moyenne de 5 répétitions avec les écarts types des sols

Figure 12: Evolution du pH des percolats dans les différentes expériences

Figure 13: Evolution de la conductivité des percolats dans les différentes expériences

Figure 14 : Evolution de la concentration en sodium (mg/L) des percolats dans les différentes expériences

Figure 15: Diagramme en bâton du poids moyen des brins de ray grass de 5 répétitions avec les écarts types

Figure 16: Diagramme en bâton du taux de germination moyen de 5 répétitions avec les écarts types des ray grass

## *Introduction :*

La salinisation est un problème global qui touche de nombreuses régions du monde. Il existe deux types de salinisation : une salinisation primaire résultant de la dégradation de la roche mère et une salinisation secondaire liée aux activités anthropiques. Les principales causes de cette salinisation secondaire sont les projets d'irrigation mal conçus. 70 % des prélèvements d'eaux souterraines et de surface sont directement liés à l'irrigation. Dans certaines régions ces projets d'irrigation perturbent le cycle naturel de l'eau et peuvent avoir un effet non négligeable sur les écosystèmes et les communautés en aval. Les régions sèches dont le sous-sol est chargé en sel sont particulièrement touchées par une salinisation des horizons de surface à cause de l'irrigation. Les régions les plus touchées sont les zones désertiques et les littoraux, ces derniers à cause des submersions. Il n'existe malheureusement pas de statistiques officielles sur le problème<sup>1</sup>.

Dans le cas de la France la salinisation touche surtout les régions côtières sujettes à des submersions et les régions possédant des sous-sols chargées en sels. Dans la partie sud du pays l'irrigation, l'augmentation du nombre de sécheresses et de leur intensité risque d'entraîner également une salinisation progressive des terres agricoles.

En milieu urbain, le salage des routes en hivers pour éviter le gel est récurrent et entraîne la salinisation des fosses de plantation sur les bas-côtés. Ce qui a pour effet d'accélérer le renouvellement des végétaux par les agglomérations. Puisque le surplus de sel est toxique pour les plantes. Dans l'agglomération du grand Nancy, le remplacement d'une fosse de plantation contaminée par des sels de déneigement se chiffre à environ 500€. Il s'agit donc de coût non négligeable au vu du nombre de fosses sur la Métropole. Il est donc nécessaire de trouver des solutions pour remédier à ce problème. Quelles sont les solutions permettant d'éliminer le surplus de sel dans les fosses de plantations ? Existe-t-il des moyens permettant de protéger la fosse à une exposition très importante de sel ?

## *1 Mise en contexte de notre étude*

### *1.1 La viabilité hivernale*

La viabilité hivernale s'inscrit dans une dynamique de conservation de la praticabilité des réseaux routiers en période hivernale. Elle rassemble tous les moyens mis en oeuvre par les autorités publiques (ici par la métropole du Grand Nancy) pour lutter contre le givre, la neige et le verglas qui sont responsables d'une mauvaise adhérence des véhicules sur la chaussée et donc de l'insécurité des usagers. Cet hiver (2017), le plan de viabilité hivernale a été lancé le 19 novembre en prévision des annonces de première chute de neige<sup>2</sup>. Les saleuses et déneigeuses sont alors mises à disposition pour être disponibles pour des actions préventives et curatives. L'épandage du sel et la fréquence de passage des déneigeuses et alors adapté en fonction des risques prévus.

Ainsi l'épandage de sel (ici de chlorure de sodium : NaCl) sécurise la mobilité de riverain, cependant cela donne lieu à des solutions salées qui lors du passage des voitures sur les routes, de la fonte des neiges ou de l'écoulement des eaux en bord de route, atteignent les fosses de plantation.

## 1.2 Les effets du sel de déneigement sur les fosses de plantations

### 1.2.1 Les conséquences sur le sol

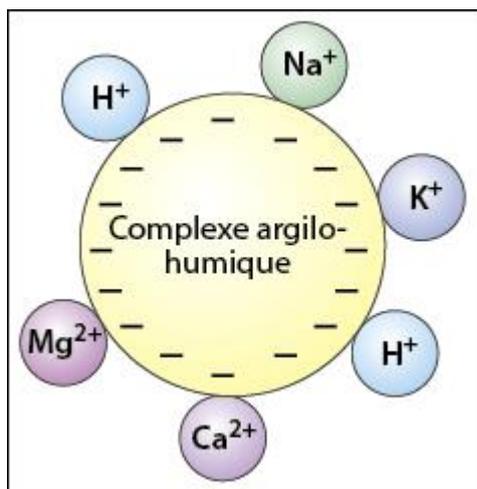
#### Particularités des sols urbains:

Les sols urbains ont été très fortement anthropisés, ils sont constitués de matériaux complexes apportés et transformés par les activités humaines. Ces sols sont donc hétérogènes d'un point de vue chimique et granulométrique. Ils sont également le support d'objets divers et variés. Il est donc important pour notre étude de bien considérer les caractéristiques propres de ses sols<sup>3</sup>.

Un apport trop important en  $\text{Na}^+$  (donc en sel de déneigement) entraîne des perturbations géochimiques au niveau des sols. Nous allons donc voir les conséquences sur les sols.

#### La défloculation des argiles :

Le sol est formé grâce à l'altération de la roche mère sous l'action de différents processus physique (gel/dégel), chimique (hydrolyse par l'eau, oxydoréduction) et biologique (libération d'acides organiques par les plantes et les organismes du sol). Ces produits d'altération s'associent avec les matières organiques principalement d'origine végétale pour former le complexe argilo-humique<sup>4</sup>.



Ce complexe étant globalement chargé négativement l'équilibre électrique du sol est assuré par divers cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2/3+}$  et  $\text{H}^+$ ).

Figure 1: Schéma du complexe argilo-humique (d'après annabac)

La capacité d'échange cationique (CEC) permet de caractériser le complexe d'échange, elle détermine la capacité d'un sol à fixer des cations mobiles. La CEC correspond à la somme des cations que le sol peut échanger<sup>4</sup>. Plus le sol est riche en argile et en matière organique, plus la CEC est élevée<sup>5</sup>. On peut l'exprimer en milliéquivalent par 100g de sol (mEq/100g)<sup>6</sup>.

Elle possède deux origines :

- Les déficits de charges permanents provoqué par des substitutions isomorphiques dans les réseaux cristallins : un cation étant remplacé par un autre de valence inférieur <sup>7</sup> (par ex : Ca 2+ par Na+)
- L'apparition de charges négatives par hydratation ou ionisation des groupes fonctionnels périphériques.

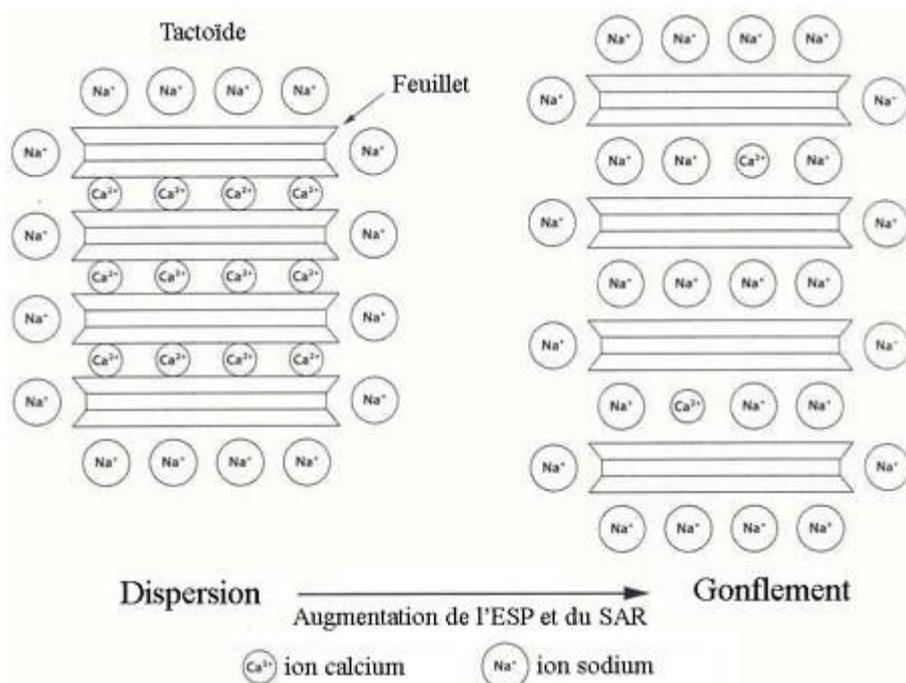
Valeur de la CEC en méq/100g	Interprétation
CEC < 9	Petite CEC
9 < CEC < 12	CEC moyenne
12 < CEC < 15	CEC assez élevée
15 < CEC < 25	CEC élevée
CEC > 25	CEC très élevée

*Figure 2 : Lien entre la valeur d'une CEC et l'interprétation*

*Source : Programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie*

Par ailleurs, on note qu'il y a 4 ions principaux considérés comme les bases échangeables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>) qui participent à la nutrition des végétaux et aux processus de pédogénèse en particulier l'agrégation du complexe argilo-humique.

Lorsque le sel de déneigement se retrouve sur le sol, la concentration en sodium augmente nettement. En effet, les sols sodiques ont un complexe d'échange contenant plus de +15% de Na échangeable (ESP ou pourcentage de sodium échangeable). Ainsi les ions sodium (monovalent) prennent la place d'autres ions divalent fixé sur le complexe argilo-humique tel que les ions calcium. C'est ainsi que des phénomènes de gonflement et de dispersion des argiles vont être observés <sup>8</sup>.



En effet comme nous pouvons le voir sur la figure, le remplacement du calcium par le sodium entraîne un éloignement des feuillets car le nombre de liaison a diminué; de ce fait des molécules d'eau peuvent s'y insérer. Cette dispersion des argiles défavorise le développement du végétal en diminuant la perméabilité des sols et en rendant l'eau plus difficile d'accès pour la plante <sup>9</sup>.

Figure 3 : Dispersion (domaine de Ca<sup>2+</sup>) et gonflement des argiles (pénétration du Na<sup>+</sup>) (Essington 2004).

### L'alcalinisation des sols

Un grand apport en sodium dans le sol va entraîner une augmentation du pH du sol. Le sol peut alors atteindre un pH de 9. C'est le phénomène d'alcalinisation des sols. En effet, le sodium va précipiter sous forme de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). On a donc un apport de base dans le sol ce qui conduit à une augmentation de pH du sol. L'alcalinisation des sols va abîmer les sols, car à un tel pH les qualités du sol se dégradent fortement.

#### 1.2.2 Les conséquences sur la plante

Les apports massifs de sels lors des opérations de déneigement, impacte le fonctionnement en augmentant la salinité du sol (force ionique et concentration en Na<sup>+</sup>) mais également via un dépôt direct de sels sur les parties aériennes. La tolérance des plantes vis-à-vis de cette contrainte dépend du type de plantes considéré. Ainsi en fonction de la plante, les conséquences d'une exposition trop importante de sel ne seront pas les mêmes.

Le stress salin, cause de multiples dégâts aux plantes qui sont exposées. En effet, le stress salin est la résultante de trois effets toxiques pour la plante : le stress osmotique vis-à-vis de l'absorption racinaire, la toxicité cellulaire des ions Na et Cl et les effets secondaires liés à ce stress.

### 1.2.2.1 CONSÉQUENCES SUR L'ABSORPTION RACINAIRE

La plante pour répondre à ses besoins doit pouvoir se nourrir de sels minéraux et absorber de l'eau présente dans le sol par l'intermédiaire de ses racines. L'absorption racinaire de l'eau se fait grâce à des mouvements d'eaux dirigés par les phénomènes d'osmose : l'eau se déplace spontanément dans le sens des potentiels hydriques décroissants. Ainsi, en condition « classique » la solution du sol étant une solution diluée, par rapport aux cellules des racines, l'eau se dirige du sol vers les racines. Cependant lors d'une forte concentration de sel dans le sol, il y a accumulation d'ions et ainsi modification des potentiels hydriques du compartiment sol. Ce potentiel devenant plus faible que celui de la racine, l'eau a tendance à sortir de la racine pour aller vers le sol [10]. On parle ici de stress hydrique pour la plante <sup>10</sup>.

De plus, la plante en absorbant des quantités plus faibles d'eau, elle se trouve appauvrie en éléments minéraux essentiels pour la plante tel que le K, Ca... En effet l'eau véhicule les ions du sol vers la plante. Ainsi cela compromet sa croissance et sa viabilité sur le long terme.

### 1.2.2.2 CONSÉQUENCE SUR LES CELLULES DE L'ABSORPTION D'EAUX SALÉES

En plus d'une perte d'éléments minéraux, une absorption d'eau trop concentrée en sel et donc en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  entraîne une augmentation de la concentration de ces ions dans les cellules. Or la présence en trop grande quantité d'ion  $\text{Na}^+$  dans la cellule est toxique pour la plante. En effet, cela cause un grand nombre de dysfonctionnements métaboliques dans les cellules : une déstabilisation des structures tertiaires des enzymes entraînant un dysfonctionnement de cette enzyme par inactivation des sites réactifs. On parle ainsi ici de toxicité ionique pour la plante <sup>10</sup>.

De plus avec une forte concentration de Na dans les cellules, des phénomènes de turgescences et de plasmolyse peuvent avoir lieu toujours à cause de la diminution de différence de potentiel entre les cellules.

### 1.2.2.3 IMPACT DU CONTACT DIRECT DES SELS SUR LES PARTIES AÉRIENNES

Tout d'abord, il a été observé des retards plus ou moins importants sur le débourrement des bourgeons<sup>11</sup>. De plus la forte abondance de Na et Cl peuvent entraîner le jaunissement des feuilles allant parfois jusqu'au dessèchement et la chute de ces dernières. Ainsi ce stress impacte directement les organes photosynthétiques et donc sur la photosynthèse. De plus, la surabondance de sodium peut perturber le fonctionnement de l'ouverture et de la fermeture des stomates. En effet, ces phénomènes sont contrôlés par

des transporteurs ioniques et des pompes  $K^+$  présents sur les membranes des cellules de gardes des stomates qui sont perturbés par un déséquilibre sodium/potassium.

La lumière du jour permet grâce à ces transporteurs de faire entrer des ions  $K^+$  permettant ainsi la turgescence des cellules de gardes et ainsi la fermeture des stomates. La plante limite alors les pertes d'eaux aux heures les plus chaudes puisque la transpiration foliaire se fait par le biais des stomates. Ainsi la fermetures des stomates réduit les pertes d'eaux et protège la plante contre le dessèchement aux heures les plus chaudes.

Or une forte concentration en sel perturbe ce système de fermeture des stomates. En effet, les ions  $Na^+$  agissent sur les pompes et ainsi empêchent leur fermeture : les stomates restent ouverts toute la journée entraînant ainsi une transpiration accrue qui à terme cause le dessèchement de la plante <sup>12</sup>.

Enfin, le sel au contact des tissus aériens peut provoquer des blessures sur la plante. En effet, les sels de déneigement utilisés sont constitués de petites particules abrasives, cela se traduit par une altération de la cuticule qui est une fine couche présente à l'extérieure de la plante et qui a pour fonction de protéger la plante <sup>12</sup>.

### *1.2.3 Le sel dans les eaux de récupération*

Les espaces verts du Grand Nancy souffrent d'une salinisation secondaire des sols. En effet suite à l'activité de l'homme, via l'usage de sels de déneigement, la surface du sol et la zone racinaire souffrent d'une accumulation de sels. Comme cela a pu être décrit précédemment il s'en suit une dégradation des végétaux. Différentes techniques peuvent être mise en œuvre pour lutter contre cette accumulation de sel ( $Na^+, Cl^-$ ) en créant une barrière à l'entrée de sel ou bien en neutralisant le sodium dans le sol.

## 1.3 Les barrières physiques empêchant le sel de rentrer dans les sols et/ou d'atteindre l'appareil racinaire

### *1.3.1 Protection physique*

Les protections physiques telles que des bâches, des barrières autour des troncs ou encore des barrières en bois ou PVC autour des fosses, représentent un premier rempart pour empêcher le sel de s'infiltrer dans le sol ou d'être en contact avec les parties aériennes des plantes.

Ces dispositifs nécessitent un travail de main d'œuvre important pour couvrir l'intégralité des fosses de plantation d'une ville de la superficie de Nancy et représentent également un coût important en termes d'équipement. De plus, le fait de mettre une interface imperméable entre l'atmosphère et le sol empêche les échanges gazeux et aussi les échanges d'eau, des échanges essentiels à la survie de la plante. Par ailleurs certaines

de ces méthodes peuvent conduire à une pollution visuelle, ce qui est en inadéquation avec le concept des fosses de plantation. Il faut donc envisager d'autres solutions pour empêcher le sel de pénétrer dans le sol.

### 1.3.2 Copeaux de bois

Les BRF (Bois Raméal Fragmenté) permettent le stockage temporaire de sel. En effet, ils sont capables d'absorber et de stocker certains éléments chimiques tels que les ions. Ils seraient donc capables d'absorber une partie du sel de déneigement épandue et ainsi limiter les effets néfastes du sodium sur les sols.



Le risque est que ce stockage est temporaire. En effet ces copeaux de bois vont se dégrader en quelques mois voir années. Les ions seront alors libérés et pourront être retournés au sol. Etant donné les temps de décomposition des copeaux de bois, nous n'avons pas pu mettre en oeuvre une expérience pour vérifier l'utilité bénéfiques ou non d'apporter des copeaux de bois au pied des arbres<sup>13</sup>.

Une autre solution serait de retirer manuellement les copeaux de bois à la fin de l'hiver. Mais cela est difficilement réalisable car cela demande énormément de main d'oeuvre.

Figure 4: Photographie d'une fosse de plantation recouverte de BRF

Ils n'apparaissent donc pas comme une solution pour éviter la salinisation des fosses de plantation. Cependant les copeaux de bois peuvent aussi remplacer le sel sur les routes pour déneiger augmenter l'adhérence des piétons et des voitures, mais cela reste une option peut intéressante au regard de la surface du réseau routier de la métropole du grand Nancy.

### 1.3.3 Membrane artificielle

Il existe des membranes artificielles appelées membranes échangeuses d'ions capables de filtrer de manière sélective des espèces chargées. Cette sélection se fait en fonction de la charge des espèces (cations ou anions).

La séparation d'espèces chimiques au travers d'une membrane est possible sous l'influence d'un champ électrique. Le terme « électrodialyse » désigne le transfert d'ions à travers des membranes sous l'effet d'un champ électrique. Cette technique, tout d'abord mise au point pour le dessalement de l'eau de mer, a connu de nouvelles applications comme la déminéralisation de lactosérum ou la réalisation d'une déminéralisation sélective <sup>14</sup>.

En théorie, étaler une membrane échangeuse au pied des fosses de plantation dans le but de ne laisser passer uniquement l'eau sans le surplus de NaCl semble être envisageable. Mais cette option ne sera pas retenue dans nos expérimentations car elle serait beaucoup trop coûteuse à réaliser.

#### 1.3.4 Gel hydro rétenteur

Le gel hydro-rétenteur (Polyter) est un produit sous forme de granulé à base de cellulose capable d'absorber 500 fois son poids en eau. Une fois hydratée il forme alors un gel. Il est utilisé dans les milieux arides où les plantes sont susceptibles de subir un dessèchement mais aussi par des agriculteurs pour faire des économies d'eau<sup>15</sup>. Son rôle est de créer un micro système gélifié au contact des racines. Elles pourront directement puiser l'eau au sein du gel.



Dans le cas des fosses de plantation dans la ville de Nancy le problème n'est pas la sécheresse, mais la présence de sodium dans le sol. Notre hypothèse est la suivante : en créant un micro système près des racines nous permettrions un effet barrière entre le sol pollué et le végétal. Cependant par manque de temps nous n'avons pas pu faire d'expérience car la croissance végétale nécessaire à l'expérimentation est longue à obtenir.

Figure 5 : Photographie d'un gel hydro rétenteur.

Toutefois s'il s'avérait que le gel offre une amélioration significative, il pourrait être envisagé sur le long terme car sa durée de vie est de 5 ans [15] et son coût est de 25 euros le kilogramme<sup>16</sup>.

### 1.4 Les solutions de neutralisation du sodium dans le sol

#### 1.4.1 Bactéries halophile/cryophile

Les organismes extrémophiles sont des organismes ayant une capacité à se développer dans des milieux avec des conditions physico-chimique pour lesquelles la plupart des organismes ne pourraient pas survivre (température extrême, teneur élevées en ions, acidité...). Ces organismes, au cours de l'évolution, ont développé des stratégies adaptatives très variées. Ils présentent des voies métaboliques et des biomolécules spécifiques leur permettant non seulement de survivre mais aussi de se développer souvent





- En cas de trop forte concentration du sel dans le sol, leurs feuilles grasses leur servent de réserve d'eau, ce qui limite la déshydratation de la plante.
- Lorsque la concentration en sel dans la plante est en excès, il s'accumule dans certaines feuilles qui en mourant vont permettre de détoxifier la plante.

Figure 6: Photo d'une plante halophile : la salicorne (*Salicornia europaea*) Source : H. Roques, LPO

D'après cette dernière propriété, nous nous sommes questionnés sur les possibilités de dessaler les fosses grâce à ces plantes. Malheureusement la durée du projet ainsi que la gestion lié à ce type de plante (difficulté pour se fournir, diamètre des pots) ne nous ont pas permis d'explorer ces pistes.

#### 1.4.3 Gypse

L'application d'amendements chimiques tels que le gypse permet de désaturer le complexe d'échange en sodium. En effet, l'épandage de gypse constitue un apport en ions  $Ca^{2+}$  et permet ainsi de contrer la sodisation par compétition entre les deux ions. En effet en se dégradant le gypse met à disposition du  $Ca^{2+}$ . Toutefois cette technique est coûteuse ainsi elle ne sera pas testé car non réalisable à l'échelle du grand Nancy.

#### 1.4.4 Lessivage

Le lessivage consiste en un apport d'eau permettant de désorber le sodium de la zone racinaire. Cette technique dissout les cristaux de NaCl accumulé au cours de l'hiver et pourrait permettre également d'entraîner le surplus de sodium présent sur le complexe d'échange grâce aux eaux de gravité. Les besoins en eau de lessivage (LR) peuvent être calculés selon la formule suivante:

$$LR = \frac{\text{Drainage sous la zone racinaire}}{\text{Apports par irrigation (besoin vég.+lessivage)}} = \frac{CEi}{CEs} = \frac{Ci}{Cs}$$

CEi : conductivité électrique de l'eau d'irrigation / Ci : concentration en sel de l'eau d'irrigation

CEs : conductivité électrique de eaux de drainage / Cs : concentration en sel des eaux de drainage <sup>19</sup>.

Le plus souvent une fraction de lessivage (LR) de l'ordre de 10 à 20% est suffisante<sup>20</sup>. Le lessivage est une méthode que nous avons testé dans le cadre de notre problématique. Nous avons testé différents traitement donc celui d'une eau enrichi en Ca.

## *2 Les techniques testées expérimentalement pour dépolluer les fosses de plantations*

Actuellement la métropole du grand Nancy utilise le lessivage à l'eau de ville pour désaturer ses fosses de plantation en sodium. Néanmoins cela est fait de manière empirique et le volume d'eau utilisé n'est donc pas forcément adapté au besoin réel de la fosse pour

son dessalement. L'expérimentation s'est donc naturellement portée sur les volumes d'eau nécessaires ainsi que sur l'utilisation de  $\text{CaCl}_2$  (le  $\text{Ca}^{2+}$  étant un concurrent du  $\text{Na}^+$  mais non toxique pour les plantes). Un test de toxicité aiguë de germination a également été réalisé sur les différentes terres après lessivage pour évaluer l'impact de ces opérations sur la capacité de la terre à être un support de développement des végétaux.

### 2.1 Préparation des sols salés

En vue des expériences de lessivage, nous avons dans un premier temps salé une terre végétale mise à disposition par le service espace vert de la Métropole du Grand Nancy.

Afin de respecter les conditions rencontrées en hiver dans la métropole du Grand Nancy, nous avons décidé d'apporter une solution salée à 36 g/L à hauteur de 60 ml par pot. Soit 2,16g de NaCl, ce qui correspond à la teneur moyenne en sel des fosses de plantation. Le volume de solution apporté est ajusté pour atteindre 100% de la capacité au champ dont la valeur est de 14,58% (14.58g d'eau pour 100 g de terres) en tenant compte de l'humidité initiale du sol.

Cependant, plutôt que de saler un grand volume de terre pour ensuite la répartir dans les dispositifs de culture, il a été choisi de saler la terre directement dans les pots de culture. En effet, même si la solution n'est pas saturée en sel, au cours des premiers essais, des grains de sels ont persisté dans la solution (temps de dissolution très lent). La présence de ces grains n'aurait pas permis d'avoir une répartition homogène dans un grand volume de terre. Le fait de saler individuellement chaque a permis d'avoir une quantité de sel identique par pot et la présence éventuelle de grains permettra de simuler les conditions de terrain. En effet, les opérations de déneigement se font généralement avec une saumure qui contient une solution saline avec du sel en grain.



Figure 7 : Photographie de la préparation des pots

Nous avons choisi des pots circulaires de diamètre 11 cm et de 21,1 cm de hauteur. Au fond du pot, nous avons disposé un « grillage » au-dessus d'une couche de 2 cm de graviers pour limiter les pertes de terre fines par les orifices du fond du pot et bien drainer le pot. Nous avons remplis les pots avec 480 g de terre tamisé à 2 mm.



Le salage de la terre a été réalisé par trois apports successifs de 20 mL de solution saline à 36 g/L. Durant les 15 jours suivants nous avons apporté l'équivalent de 25 mm d'eau (eau déminéralisée) afin de simuler les précipitations que reçoivent les fosses de plantations. L'apport a été réalisé en 4 fois (2 fois par semaine). Il a ensuite été décidé de tester 4 modalités de lessivage en faisant varier le volume de solution utilisée et le type de solution utilisée.

Figure 8 : Photographie de la préparation des solutions salines

## 2.2 Expériences de lessivage :

Les expériences de lessivage ont été réalisées selon 4 modalités sur les pots avec la terre préalablement salée. Ces traitements de lessivages ont été déterminé en fonction

de la valeur de 100% de la capacité au champ du sol qui correspond à la rétention maximale d'eau que possède le sol. Cette valeur, étant de 70 mL pour nos pots. De plus pour ces expériences de lessivages, nous avons utilisé deux types de solutions : de l'eau distillé et une solution de chlorure de calcium (0,01 mol/L soit 1,47 g/L).

Les 4 modalités sont les suivantes :

(i) Traitement Saturation avec de l'eau déminéralisée : un lavage des pots par 2 fois le volume d'eau correspondant à la capacité au champ (2x70 ml) ces pots sont notés H2O(x2)

(ii) Traitement Saturation + Lessivage avec de l'eau déminéralisée : un lavage des pots par 5 fois le volume d'eau correspondant à la capacité au champ (5x70 mL) ces pots sont notés H2O(x5)

(iii) Traitement Saturation avec une solution saline : un lavage des pots par une solution de CaCl<sub>2</sub> (10<sup>-2</sup> M) avec 2 fois le volume correspondant à la capacité au champ (2x70ml) ces pots sont notés CaCl<sub>2</sub>(x2)

(iv) Traitement Saturation + Lessivage avec une solution saline : un lavage des pots par une solution de CaCl<sub>2</sub> (10<sup>-2</sup> M) avec 5 fois le volume correspondant à la capacité au champ (5x70 ml) ces pots sont notés CaCl<sub>2</sub>(x5)

Une modalité témoin a également été réalisée sans apport de solution.

5 répliquas ont été réalisés pour chaque modalité et les témoins

Après ces opérations de lessivages, nous avons mesuré la CEC du sol, la conductivité et le pH des eaux de lessivages. Nous avons également mesuré la concentration en sodium échangeable (solution de désorption de la mesure de la CEC) et en sodium dans les solutions de lessivages.

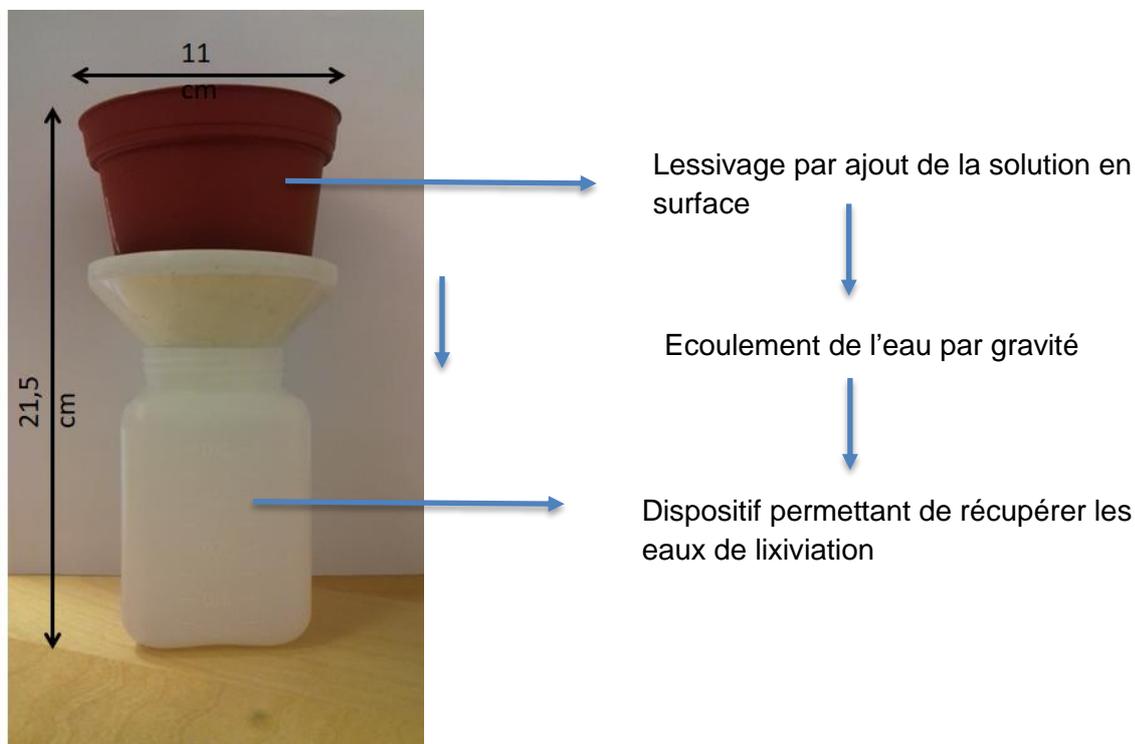


Figure 9: Dispositif de récupération des eaux de lessivages (percolats)

## 2.3 Les techniques de mesures réalisées sur nos expériences

### 2.3.1 Détermination de la CEC

Nous avons utilisé la méthode de mesure de la CEC dite effective au pH du sol avec l'ion de cobaltihexamine comme ion compensateur. Le principe se base sur l'échange par l'ion compensateur (jusqu'à saturation) des cations retenus par le complexe. Le choix de cet ion compensateur est dû à sa forte capacité à déplacer les ions présents initialement sur le complexe. La concentration initiale de la solution de cobaltihexamine appliqué au sol est connue. Après la phase d'échange ions compensateurs/ions présents sur le complexe, le dosage de la concentration finale en ions compensateur permet de déterminer la quantité

de cet ion fixée sur le complexe et donc la valeur de la CEC. Ce dosage se fait par colorimétrie à 475nm.

Le dosage des ions désorbés dans la solution finale permet de quantifier les ions dit échangeables. Le rapport entre la somme des bases échangeables et la valeur de la CEC s'appelle le taux de saturation du sol.

### 2.3.2 Conductimétrie et pHmétrie

La conductivité électrique quantifie l'aptitude d'une solution à laisser passer un courant électrique, elle augmente avec la salinité de cette dernière et permet de juger d'une manière indirecte la concentration en sels solubles. Réalisée simultanément avec la mesure du pH sur les percolats, elle fournit un bon indicateur de la quantité d'ion lixivié. C'est grâce à cette méthode que nous pourrions suivre la concentration en sel dans les percolats et savoir si le lessivage apporte une réelle solution au dessalage des fosses. Dans la pratique nous avons mesuré le pH et la conductivité à l'aide de sondes selon des protocoles adaptés aux normes ISO.

### 2.3.3 Dosage des ions sodium en solution

Les ions sodium présents dans la solution finale de la CEC ou dans les solutions aqueuses de lessivage ont été dosés par spectrophotométrie d'émission de flamme. Deux gammes étalons de sodium ont été réalisées, la première avec une matrice aqueuse l'autre avec une matrice de solution de cobaltihéxamine identique à celle utilisée pour la mesure de la CEC. Cela nous a donc permis de connaître les quantités d'ions sodium dans les eaux de lessivages et la part du sodium dans la CEC.

## 2.4 Test de phytotoxicité

Après avoir réalisé les expériences précédentes nous avons réalisé un test de phytotoxicité aiguë adapté de la norme ISO NF X 31-201. Nous avons semé 30 graines de Ray Grass dans chaque pot et nous les avons laissé se développer pendant 3 semaines. Les pots ont été arrosés régulièrement avec de l'eau distillée de façon à simuler les précipitations. Le taux de germination a été déterminé à la fin de l'expérimentation ainsi que la masse sèche produite à la fin de l'expérience.

## 3 Analyse et exploitation des résultats

### 3.1 Expériences de lessivage

Après les lessivages et le test de phytotoxicité, nous avons mesuré la CEC des sols de tous les pots. On obtient les CEC moyennes suivante:

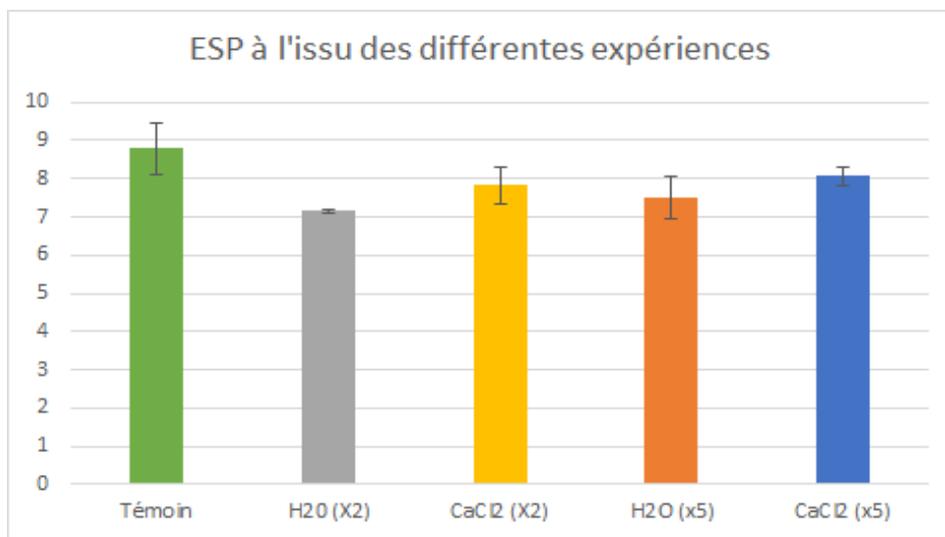


Figure 10: Capacité d'échange cationique des terres testées (moyenne +/- écart-type, n=5)

Pour commencer, on observe que toutes les CEC sont élevées. Ce sol a donc une très grande capacité à fixer les ions sur le complexe argilo humique. Les résultats montrent que les traitements appliqués n'ont pas modifiés la capacité du sol à fixer des cations (pas de lessivage des argiles ou de la matière organique).

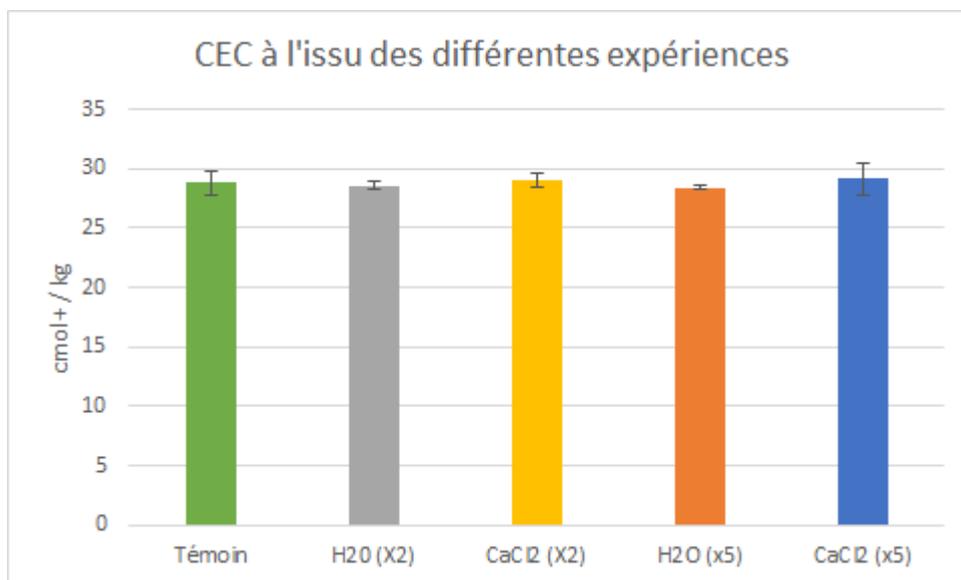


Figure 11: Teneur en sodium échangeable (ESP) (moyenne +/- écart-type, n=5)

Les résultats obtenus montrent que le sol témoin présente un ESP proche de 9. Cette valeur étant inférieure à 15, la terre testée n'est pas considérée comme sodique. Les quantités de sels de déneigement apportées n'ont donc pas été suffisantes. Après les différents traitements de lessivage, les valeurs d'ESP ont légèrement diminué. Le fait d'avoir utilisé un plus grand volume de solution (traitement x5 par rapport à X2) n'a pas permis de diminuer la valeur d'ESP. De même, l'utilisation d'une solution contenant un cation divalent n'a pas eu l'effet attendu par rapport à la désorption du sodium.

L'analyse des solutions de lessivage va nous permettre de caractériser la mobilité des ions sodium en fonction des traitements testés.

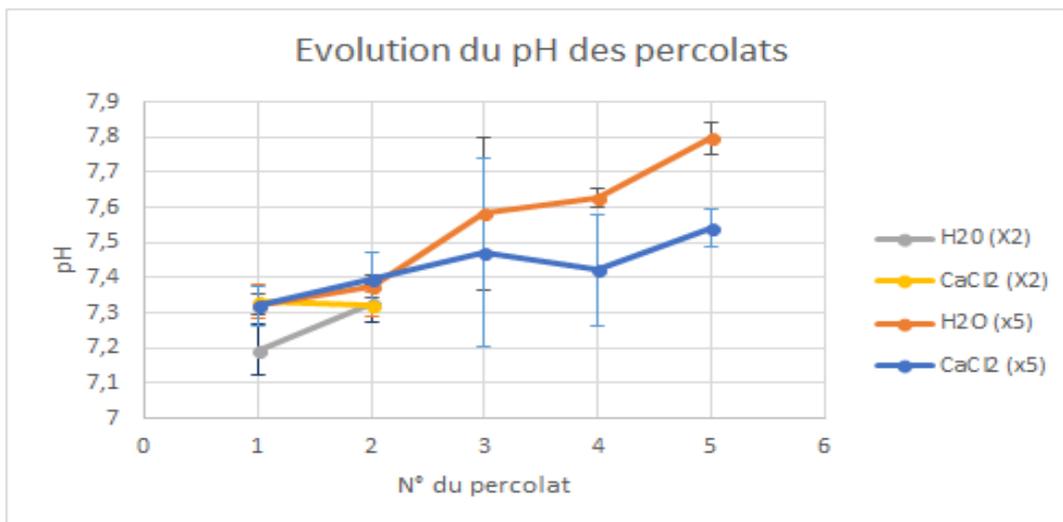


Figure 12: Evolution du pH des percolats dans les différentes expériences (moyenne +/- écart-type, n=5)

Nous pouvons voir ici que le pH augmente au fur et à mesure des lessivages, sauf pour le traitement CaCl<sub>2</sub>(X2). Dans le cas des traitements avec un lessivage correspondant au passage de 5 fois le volume de la capacité au champ le pH augmente de 0,2 à 0,5 unité. Cette augmentation est plus importante pour le traitement avec l'eau distillée. L'utilisation de CaCl<sub>2</sub> pour le lessivage semble donc moins impacter le pH que l'utilisation d'eau. Mais globalement le pH des percolats varie assez peu ce qui est logique car l'objectif des lessivages n'est pas d'avoir un impact sur le pH.

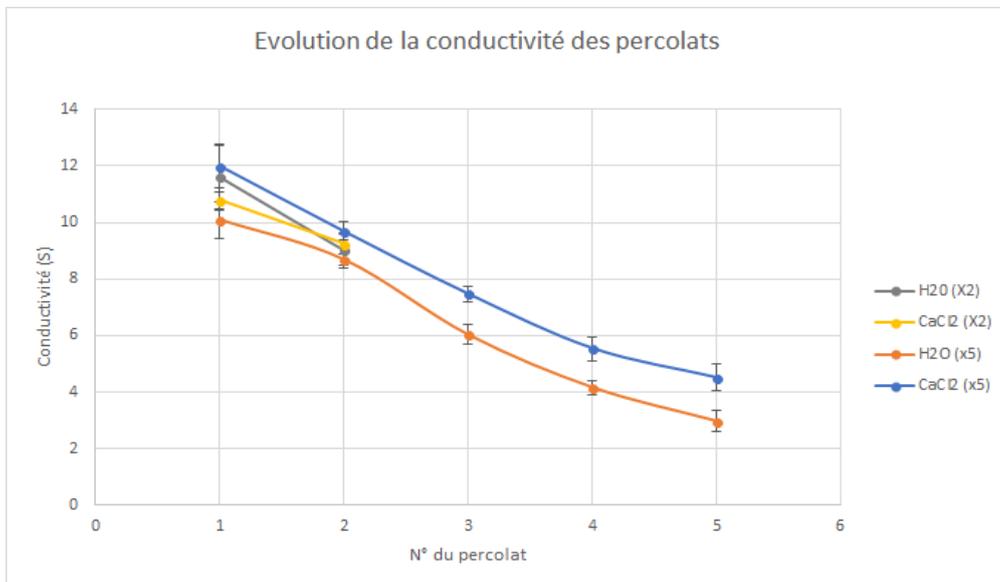


Figure 13: Evolution de la conductivité des percolats dans les différentes expériences (moyenne +/- écart-type, n=5)

La conductivité des percolats diminue assez fortement au cours de différents lessivages. Cette diminution de conductivité témoigne du fait que les lessivages successifs épuisent le stock de cations mobilisables. En effet le sol étant très fortement chargé en ion suite au salage, les premiers percolats ont une conductivité assez importante, mais ensuite les lessivages successifs vont lixivier les ions et ainsi la conductivité des eaux des derniers lessivages est nettement moins importante que celle des premiers percolats. Nous constatons aussi cette baisse de conductivité est légèrement plus importante avec des solutions d'eau distillée. Les solutions de CaCl<sub>2</sub> ne semblent donc pas améliorer le processus de lessivage. Cette baisse de conductivité témoigne donc du fait que la majorité des ions mobiles ont été lixiviés et que nos lessivages fonctionnent.

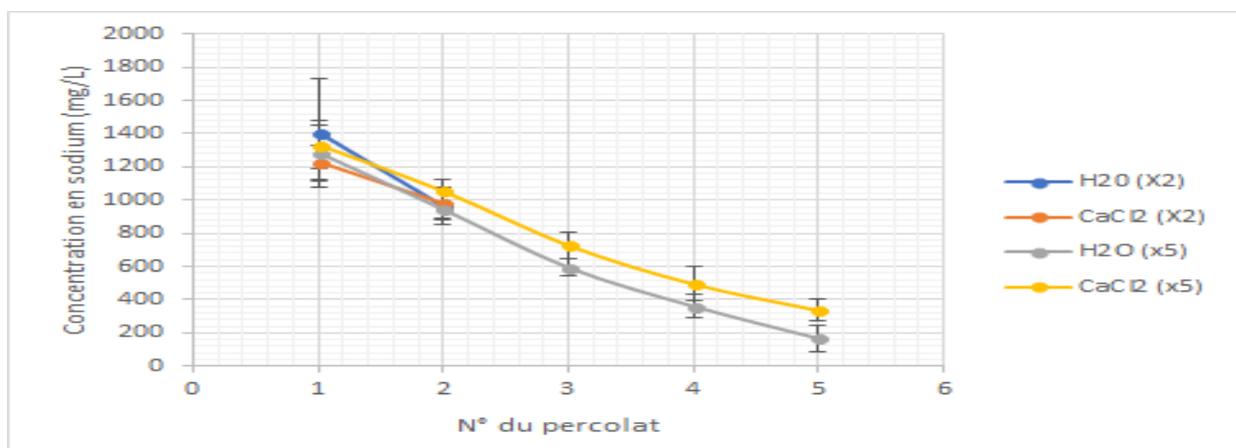


Figure 14 : Evolution de la concentration en sodium (mg/L) des percolats dans les différentes expériences (moyenne +/- écart-type, n=5)

Les résultats obtenus montrent des tendances similaires à ceux observés précédemment : la concentration en sodium des percolats diminue lessivage après lessivage. Nous constatons que même après cinq lessivages, la concentration en sodium n'est négligeable et que le stock mobilisable n'a pas été épuisé : il reste du sodium dans le sol. Comme avec les mesures de conductivité, la présence de CaCl<sub>2</sub> n'a pas d'effet positif sur la quantité de sodium désorbée. Après 5 lessivages, bilan de sodium désorbé montre que cette quantité est 60% plus importante que dans les traitements (X2) (0,273 g contre 0,168 g). Initialement nous avons apporté 2,16 g de sodium par pot. Ainsi avec deux lessivages 7,8 % du sodium initial a été entraîné et 12% avec 5 lessivages ; une grande partie du sodium restent dans le sol. Il faut maintenant vérifier avec le test de phytotoxicité si la quantité de sodium lessivé a un effet sur le potentiel de germination du sol.

### 3.2 Test de phytotoxicité

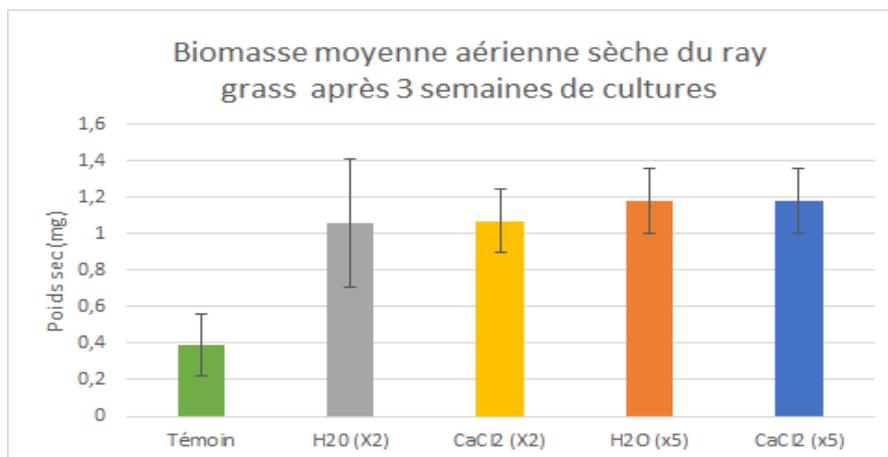


Figure 15: Biomasse aérienne sèche du ray grass après 3 semaines de cultures (moyenne +/- écart-type, n=5)

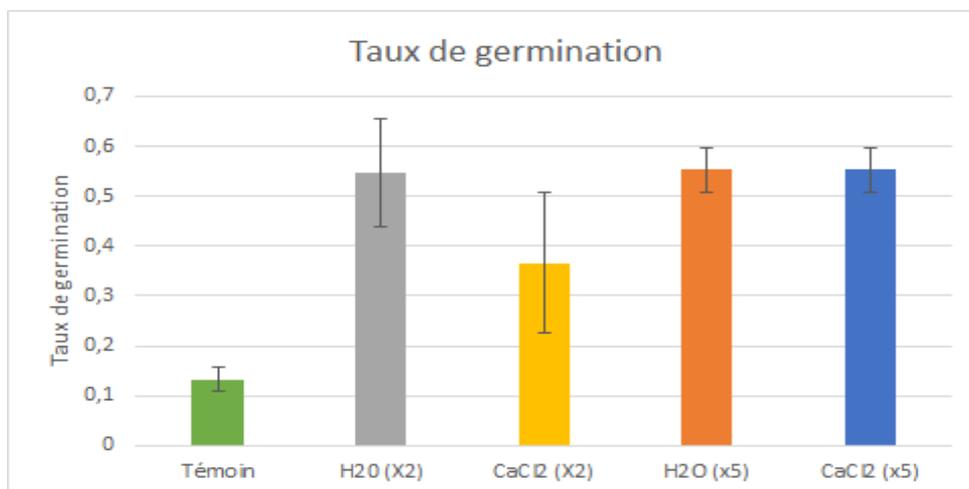


Figure 16: Taux de germination du ray grass après 5 semaines de cultures (moyenne +/- écart-type, n=5)

Les résultats obtenus montrent que les différents traitements ont eu un effet positif sur la croissance des végétaux. En effet, le taux de germination et la biomasse produite après traitement sont plus importants que pour la terre témoin qui n'a pas subi de traitement de lessivage. Le lessivage du sodium permet de lever en partie sa toxicité. Le fait d'utiliser un volume plus important de solution pour le lessivage semble avoir augmenté légèrement la biomasse produite (quantité de sodium lessivée plus importante). Cependant la variabilité observée des résultats ne permet pas de conclure de manière significative.

Les expériences réalisées montrent que le fait d'augmenter le volume de solution de lessivage permet d'augmenter la quantité de sodium désorbée. Cependant par rapport aux quantités apportées, la quantité lessivée quelque soit le traitement reste limitée. Les essais de phytotoxicité ont montré que les traitements mis en place n'ont pas eu d'effet négatif sur la germination et le potentiel de production de biomasse des terres. Au contraire, le lessivage améliore le potentiel des terres à être support de cultures. L'effet positif attendu pour la solution de  $\text{CaCl}_2$  n'a pas été observée. La concentration utilisée (10<sup>-2</sup> M) était peut-être trop faible pour avoir un impact.

## *Conclusion :*

Dans la région Grand Est, les conditions climatiques hivernales mettent chaque année en danger les usagers des axes de communication. Maintenir un trafic fluide permettant une stabilité de l'activité économique est une préoccupation majeure des responsables politiques.

L'action principale visant à maintenir des conditions de circulation optimale consiste à épandre du chlorure de sodium. Ce produit est utilisé principalement pour son faible coût d'achat et pour son efficacité indéniable. Cependant, des conséquences néfastes pour les plantes ont été observées par les agents du Grand Nancy. Nous avons alors effectué des

recherches bibliographiques dans le but de comprendre les mécanismes d'attaque du chlorure de sodium sur les plantes au niveau racinaire et caulinaire. Nous avons alors constaté que la présence de chlorure de sodium dans le sol modifie les échanges entre le sol et la plante ayant pour conséquence un stress hydrique.

L'objectif de notre étude était de trouver des solutions pour limiter les effets néfastes du chlorure de sodium sur les plantes que la métropole de Nancy pourrait mettre en place. Nous avons alors distingué deux types de solution possible : les barrières physiques qui empêchent le chlorure de sodium de pénétrer dans la plante, et des solutions pour neutraliser l'effet de cette substance.

La solution mise en place par le Grand Nancy consiste à effectuer plusieurs lavages avec de l'eau. Nous avons donc décidé d'analyser plus précisément cette pratique afin de respecter

les attentes du Grand Nancy en matière d'efficacité mais surtout de coût. Nous avons étudié des lavages à l'eau et des lavages au CaCl<sub>2</sub>.

Au terme de cette étude, nous pouvons en conclure que plus les lavages sont répétés plus le chlorure de sodium est éliminé efficacement. Bien que le CaCl<sub>2</sub> apporte des ions supplémentaires dans le sol, son efficacité comparée à celle de l'eau ne justifie pas de payer plus cher pour lessiver avec cette substance. D'après les tests de phytotoxicité réalisés, les lessivages ont une efficacité certaine sur la croissance et la germination des plantes. À la vue du prix nécessaire pour renouveler une fosse de plantation il semble donc judicieux d'effectuer des lessivages successifs à l'eau au niveau des fosses de plantation.

Notre étude s'est restreinte à l'analyse de l'efficacité des lessivages pour respecter au mieux les demandes des commanditaires du Grand Nancy mais il serait intéressant d'analyser les autres méthodes de protection proposées et de faire une analyse économique plus approfondie pour éventuellement proposer une méthode peu coûteuse et plus efficace que les lessivages répétés à l'eau si cela est possible.

## Bibliographie:

- [1] MONTANARELLA L, président du Groupe technique intergouvernemental sur les sols (FAO). État des ressources en sols dans le monde Résumé technique. Publié à Rome en 2016
- [2] France 3, Métropole du Grand Nancy et dispositif de viabilité hivernal. Disponible sur: <https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/meurthe-et-moselle/nancy/metropole-du-grand-nancy-dispositif-viabilite-hivernale-1375199.html> [consulté le 12/05/2018]
- [3] FAO, disponible sur: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR1999002616> [consulté le 20/04/2018]
- [4] Nancy INRA, Définitions. Disponible sur : <https://www2.nancy.inra.fr/collectif/acidification/Definitions/definitions.html> [consulté le 21/04/2018]
- [5] Chimie générale, la CEC. Disponible sur: [http://www.chimiegenerale.com/capacite\\_d\\_echange\\_cationique.php](http://www.chimiegenerale.com/capacite_d_echange_cationique.php) [consulté le 21/04/2018]
- [6] Laboratoire agronomique de Normandie, la CEC. Disponible sur: [http://www.lano.asso.fr/web/capacite\\_dechange\\_cationique.html](http://www.lano.asso.fr/web/capacite_dechange_cationique.html) [consulté le 21/04/2018]
- [7] Guide des analyses en pédologie: 2e édition, revue et augmentée par Denis Baize [consulté le 21/04]
- [8] Cours magistral, Jean Louis Morel (ENSAIA), fonctionnement des sols [consulté le 20/04/2018]
- [9] Charles-Henri Pons, Denise Tchoubar. Mécanisme de dispersion des argiles dans l'eau. Organisation des feuillets dans les suspensions concentrées. Quelques aspects de l'état de l'eau (1). Agronomie, EDP Sciences, 1982. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00884333/document> [consulté le 20/04/2018]
- [10] Yaël Haddad. Impact du sel sur les arbres. Disponible sur: <http://www.arbres-caue77.org/medias/files/sel-caue-77.pdf> [consulté le 02/04/18]

[11] Robin Dasvene, Justine de Minguine, Claire Egloff, Margot Gortais et Valentin Voisin. Etude de l'impact des sels de déneigements sur les fosses de plantations. Disponible sur: [https://ensaia.univ-lorraine.fr/sites/ensaia.univ-lorraine.fr/files/users/telechargements/rapport\\_final\\_sel\\_de\\_deneigement21.pdf](https://ensaia.univ-lorraine.fr/sites/ensaia.univ-lorraine.fr/files/users/telechargements/rapport_final_sel_de_deneigement21.pdf) [consulté le 24/03/2018]

[12] Wikipedia, BRF, Disponible sur: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois\\_ram%C3%A9al\\_fragment%C3%A9#Composition\\_du\\_bois\\_ram%C3%A9al](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois_ram%C3%A9al_fragment%C3%A9#Composition_du_bois_ram%C3%A9al) [consulté le 14/01/2018]

[13]Techniques ingénieurs, l'électrodialyse , Disponible sur : <https://www-techniques-ingenieur-fr.bases-doc.univ-lorraine.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-techniques-separatives-sur-membranes-42331210/electrodialyse-2840> [consulté le 14/04/2018]

[14] : Site Polyter. Disponible sur : <https://polyter.com/> [consulté le 10/04/2018]

[15] Neoverda, hydro retenteurs . Disponible sur : <https://www.neoverda.fr/hydro-retenteurs/268-hydroretenteur.html> [consulté le 10/04/2018]

[16] Amazon, Hydrodétenteur. Disponible sur : [https://www.amazon.fr/hydroretenteur-fertilisant-engrais-int%C3%A9rieur-balconnieres/dp/B00IEG37KM/ref=sr\\_1\\_3?ie=UTF8&qid=1526587506&sr=8-3&keywords=polyte](https://www.amazon.fr/hydroretenteur-fertilisant-engrais-int%C3%A9rieur-balconnieres/dp/B00IEG37KM/ref=sr_1_3?ie=UTF8&qid=1526587506&sr=8-3&keywords=polyte) [consulté le 10/04/2018]

[17] : Les bactéries: adaptations physiologique et génétique au sel Par Sami Mnif, Mohamed Chamkha et Sami Sayadi Centre de biotechnologie de Sfax [consulté le 28/03/2018]

[18] :Les plantes halophiles, disponible sur : <https://planteshalophiles.wordpress.com/> [consulté le 28/03/2018]

[19] Patrimoine naturel historique, les plantes halophiles du saulnois, disponible sur: <http://www.patrimoine-naturel-historique.com/saulnois-moselle/patrimoines/nature/plantes/plantes-halophiles> [consulté le 28/03/2018]

[20] A. MERMHOUD, 2006. Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique de Lausanne

[21] Marlet, S., et J.O. Job, 2006. Processus et gestion de la salinité des sols.Ch9. texte 4

[22] Les effets du sel de déneigement et comment y remédier. Disponible sur: [https://www.waldwissen.net/wissen/wsl\\_streusalz/index\\_FR](https://www.waldwissen.net/wissen/wsl_streusalz/index_FR) consulté le [23/03/2018]

## Résumé :

Dans la région Grand Est le salage des axes de communications est une pratique courante en période hivernale. Or, le chlorure de sodium utilisé a des conséquences sur la viabilité des plantes dans les fosses de plantation au bord des axes de communication et le renouvellement d'une fosse de plantation représente un prix non négligeable. Pour remédier à cette problématique les agents de la métropole de Nancy effectuent des lessivages dont l'objectif est d'éliminer le chlorure de sodium des sols. Cette étude a pour objectif de trouver des solutions pour limiter les effets néfastes de ce produit.

Nous étudions deux types de lessivage : un lessivage classique avec de l'eau et un lessivage avec du  $\text{CaCl}_2$ . La pH-métrie et la conductimétrie nous permettent de comparer ces lessivages. Nous analysons également la conséquence d'une répétition des lessivages sur les sols, par ces mêmes outils, et la reprise de végétation par des tests de phytotoxicité.

Au terme de notre étude, nous mettons en évidence le fait que plus les lavages sont répétés plus le chlorure de sodium est éliminé efficacement. Contrairement à nos attentes, l'utilisation de  $\text{CaCl}_2$  n'est pas significativement différente de l'utilisation de l'eau bien que le  $\text{CaCl}_2$  apporte des ions supplémentaires dans le sol. D'après les tests de phytotoxicité réalisés, les lessivages ont une efficacité certaine sur la croissance et la germination des plantes.

Le prix nécessaire pour renouveler une fosse de plantation étant important il semble judicieux d'un point de vue écologique et économique d'effectuer des lessivages successifs à l'eau au niveau des fosses de plantation pour éviter un renouvellement trop rapide de ces fosses.

In the *Grand Est* region, salting road is a practice usually used during the winter period. However, the sodium chloride used has aftermath on plants' viability inside the tree pits on the roadside. Moreover the renewal of the tree pits is very expensive. In order to address this problem, the Nancy metropolis workers carry out washouts which aim to remove the sodium chloride. The goal of this survey is to find solutions to limit the adverse effects of this product.

We study two types of washout: one with water and another with  $\text{CaCl}_2$ . The measurement of pH and conductivity allow to compare these washouts. We also analyse the consequences of repeated washouts on the soil, with the same tools, and the vegetation recovery by phytotoxicity tests.

At the end of this survey, we shed light on the fact that the more we make washouts, the more sodium chloride is easy to eliminate. Contrary to our expectations, using  $\text{CaCl}_2$  is not different from using water even though the  $\text{CaCl}_2$  provides additional ions to the soil. According to the phytotoxicity tests, washouts have a real efficiency on the plants growth and germination.

Regarding the high cost to renew a tree pit, it seems to be judicious from an ecological and economical point of view to carry out successive washouts in order to prevent the renewal of pits.

