

***Calcul de la distribution du
potentiel et du champ
électriques le long des surfaces
de glace et dans les intervalles
air entre celles-ci***

**Christophe Volat
M. Farzaneh - A. Gakwaya**

Objectif

- **Déterminer les valeurs critiques du potentiel et du champ électriques susceptibles de provoquer un recouvert de glace à l'aide d'une simulation numérique**

Problématique

- Types de dépôts de glace à considérer
- Paramètres à prendre en compte
- Modélisation des paramètres retenus

Simulation numérique

Application finale

Régime de formation considéré

- Accumulations de glace formées en **régime humide**
 - forte dangerosité par rapport au régime sec
 - épaisseur importante \Rightarrow tension de tenue faible
- Présence d'un **film d'eau** à la surface du dépôt
- Présence de glaçons dans les **intervalles d'air**
- Caractérise une accumulation de Verglas

Période de dégel pour Températures $\geq 0^{\circ}\text{C}$

Exemples d'accumulations



Revue et modélisation des paramètres relatifs à l'accumulation de glace

- Caractéristiques intrinsèques de la couche de

Le film d'eau présent à la surface de la glace

Les intervalles d'air

Couche de glace

- Épaisseur importante ≥ 2 cm
- Permittivité relative entre 70 et 80
- Résistivité importante entre 10^5 et $10^6 \Omega.m$
pour $T_{\text{ambient}} \approx -1^\circ\text{C}$



Film d'eau

Caractérisation

- **Conductivité élevée**
 - jusqu'à **10 fois** supérieur à celle de l'eau d'accumulation
 - guide une grande partie du courant de fuite
- **Épaisseur faible entre 40 et 300 μ m**

Modélisation

- **Surface conductrice**
 - conductivité constante sur toute la surface
 - es en laboratoire
 - analogie avec une couche humide de pollution

Les intervalles d'air

Caractérisation

- **Les glaçons**
 - géométrie de leur extrémité
 - nombre dans les intervalle d 'air
 - leur déviation angulaire
- **Les décharges couronnes**



- Géométrie idéalisée de l'extrémité des glaçons 
- Détermination de la charge d'espace lors de décharges

Réalisation de tests pour différentes formes idéalisées de glaçons pour des températures proches de 0 °C

Problèmes liés à la modélisation

- Problème à plusieurs diélectriques

Problème à dimension spatiale infinie

Évaluation du potentiel et du champ électriques à la surface de la glace et dans les intervalles d'air

Prise en compte d'une surface conductrice (film

Prise en compte de charges d'espace

Nature de la tension appliquée

Simulation en 2-D et 3-D

Résolution des équations de

Avantages de la MEF dans les problèmes de champs électriques

- Discrétisation du milieu infini
Application à des problèmes à géométries complexes et à diélectriques multiples
- Réduction de un de la dimension du problème
Le potentiel et sa dérivée normale sont évalués sur la frontière mais aussi à l'extérieur du domaine
Méthode plus précise
Méthode moins coûteuse et plus rapide car nul besoin de techniques spéciales d'optimisation

Principe de la M.E.F.F

- **Reformulation des équations différentielles par équations intégrales**
 - formulation directe
 - formulation indirecte
- **Discrétisation de la frontière du domaine en éléments finis**
- **Évaluation des intégrales sur chaque élément**
- **Résolution du système final d'équations**

Procédure de simulation

- **Familiarisation avec la M.E.F.F**
 - réalisation d'un programme basé sur une formulation indirecte application à un isolateur de géométrie simple propre et glacé comparaison avec la M.E.F 
- **Formulation directe du problème avec décomposition du domaine en sous-régions pour**
 - prise en compte de l'accumulation de glace, de la surface conductrice
prise en compte des charges d'espaces
- **Réalisation du programme définitif en C++ utilisant la formulation directe par sous-régions**

Application finale

- Simulation d'une colonne isolante recouverte de glace
- Calcul de la distribution du potentiel et du champ pour différentes conductivités du film

des valeurs critiques de la tension et du champ électriques susceptibles de provoquer

Comparaison avec des tests réalisés en chambre

Validation des résultats de simulation

