

## **Modifications structurales induites dans la glace déposée sur les lignes électriques à très haute tension par la présence du champ électrique local.**

J. Bouillot<sup>(1)</sup>, M. Farzaneh<sup>(2)</sup>, E.C. Svensson<sup>(3)</sup>, R.L. Donabarger<sup>(4)</sup> et Y. Teisseyre<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> LAIMAN, ESIA, Université de Savoie, Annecy, France

<sup>(2)</sup> Laboratoire Haute Tension, Université du Québec à Chicoutimi, Canada

<sup>(3)</sup> AECL Chalk River Laboratory, Ontario, Canada

<sup>(4)</sup> McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada

**But :** effet du champ électrique sur la structure cristallographique de la glace, qui dans les conditions normales, est hexagonale.

**En effet :** on attend un changement possible de cette structure

- soit vers une structure plus ordonnée déjà existante (par exemple la structure tétragonale qui apparaît à la température ambiante avec une pression uniaxiale d'environ 1Kbar)
- soit vers une nouvelle structure pour la glace

**Raisons structurales :** tous les changements structuraux de la glace sont gouvernés par la répartition des hydrogènes sur les liaisons oxygène - oxygène. Dans les conditions normales, chaque oxygène a deux voisins hydrogène H pour conserver la neutralité électrique, et chaque liaison ne possède qu'un seul H. A ce niveau deux types de défauts peuvent apparaître :

- soit un oxygène a un ou trois voisins H au lieu de 2, ce qui forme soit des ions  $(OH)^-$  soit des ions  $(OH_3)^+$  (défauts dits « ioniques »).
- soit une liaison possède zéro ou deux H au lieu de un (défauts dits de « Bjerrum »)

Il est évident qu'un champ électrique extérieur peut jouer un grand rôle sur la répartition de ces atomes, et par là même induire éventuellement un changement de structure. Il semble même qu'à priori le champ électrique devrait être un paramètre plus sensible que la pression extérieure par exemple, ou même la température.

**Expérience réalisée :**

- **Au Laboratoire des Hautes Tensions de l'UQAC :** de l'eau lourde ( $D_2O$  et non pas  $H_2O$  en raison de l'expérience qui suit) est vaporisée à l'aide d'un gicleur sur un conducteur massif cylindrique de quelques millimètres de diamètre relié électriquement à la terre et placé à l'intérieur d'un tube conducteur cylindrique (de même axe) qui peut être porté à une tension électrique variable positive ou négative de 0 à +20Kvolts. L'ensemble est installé dans une enceinte climatique maintenue à une température de  $-12^\circ C$ . Après une heure il se dépose environ 1cm<sup>3</sup> de glace.
- **Au Laboratoire de Chalk River en Ontario :** expérience de diffraction neutronique sur les échantillons obtenus pour déterminer leur structure cristallographique en fonction des conditions de croissance. Les neutrons sont privilégiés par rapport aux rayons X car (i) ils « voient » tout l'échantillon (absorption quasiment nulle de l'oxygène et du deutérium, ce qui ne serait pas vrai pour l'hydrogène) et (ii) ils « voient » aussi bien l'oxygène que le deutérium alors que les rayons X ne verraient que l'oxygène.

- *Au Laboratoire de Matériaux et Instrumentation de l'Université de Savoie à Annecy en France* : Les diagrammes de diffraction neutronique (donnant l'intensité diffractée de neutrons en fonction de l'angle de diffraction) sont analysés à l'aide du logiciel GSAS pour remonter à la structure cristallographique.

### Résultats :

- Les diagrammes de diffraction portent clairement la signature de la structure hexagonale classique de la glace quelles que soient les conditions de champ électrique appliqué pendant la croissance des échantillons.
- L'analyse fine de la structure montre que les paramètres cristallins de la glace qui sont les dimensions de la maille cristallographique élémentaire (donc reliés à la grandeur macroscopique qu'est le volume de l'échantillon) varient en fonction du champ appliqué pendant la croissance de l'échantillon. Pour les tensions électriques positives sur le cylindre conducteur extérieur on observe une augmentation des paramètres cristallins, et pour une tension négative on observe une diminution de ces paramètres. La variation relative mesurée est d'environ de  $10^{-3}$  pour une tension de 20Kvolts.

### Interprétation :

- **physique** : pour les tensions positives sur le cylindre extérieur les ions hydrogène créés par ionisation de l'air sous l'effet du champ électrique intense qui règne au voisinage du conducteur central peuvent entrer dans la glace qui se forme et ainsi augmenter le nombre de défauts (essentiellement de type « ionique ») avec comme conséquence une augmentation du volume de la maille cristallographique élémentaire.
- **phénoménologique** : On peut écrire la variation d'un paramètre cristallin « a » en fonction de la température T et du module du champ électrique **E** par une fonction simple du 2<sup>ème</sup> ordre du type :  $a = a_0 + a_1T + a_2E + a_3T^2 + a_4E^2 + a_5TE$   
La variation de a avec T est bien connue et l'expérience semblerait montrer que « a » varie linéairement avec **E** ce qui amènerait le coefficient  $a_4$  à être nul.

### Conclusion :

L'intérêt de transformer la glace hexagonale en glace tétragonale (ou autre) pendant la déposition sur le conducteur soumis à une forte tension électrique est que cette nouvelle structure, très instable, se retransformera très vite en glace hexagonale en perdant donc sa cohésion mécanique, c'est à dire en devenant très fragile, d'où la possibilité de la faire partir plus facilement du conducteur. On a vu qu'en fait cette nouvelle structure n'apparaît pas dans les conditions expérimentables de ce travail. Deux voies sont ouvertes pour essayer d'obtenir cette nouvelle structure sous champ électrique intense :

- soit diminuer la taille des gouttelettes avant dépôt pour rendre leur surface spécifique plus importante, mais hélas les gouttelettes sont ce qu'elles sont dans la nature ! ! ! !
- soit augmenter le champ électrique au voisinage du conducteur, par exemple en y plaçant des pointes ! ! ! !