

Merci, Prof. Farzaneh, pour l'introduction et aussi pour l'occasion de vous parler aujourd'hui. Je vous prie d'excuser la qualité de mes phrases en français. Si je dis quelque chose de trop bizarre, s'il vous plaît, arrêtez-moi et j'essaierai d'expliquer d'une autre façon.

Le titre de ma présentation contient les mots «Brouillard givrant». En anglais, j'ai utilisé les mots «Cold Fog », c'est à dire «Brouillard froid ». Ces choix de mots donnent une distinction entre des épreuves de Brouillard salin et de Brouillard propre. Le choix de «**Brouillard fondant**» est peut-être le meilleur, parce que l'effet de température au point de fusion est tellement important dans ce cas.

En dix-neuf cent quatre-vingts, Ontario Hydro a construit des lignes à tension de cinq cents kV dans le Sud de l'Ontario. Avec les avances techniques, il était possible d'utiliser les isolateurs avec dimensions réduites. Par exemple, nous avons choisi les isolateurs poteaux pour les postes de transformation au niveau de 1550 (quinze cent cinquante) kV, après avoir utilisé un niveau de 1800-kV (dix-huit cents) pour les postes plus âgés.

Nous avons eu nos premiers problèmes avec ce choix d'isolateurs en hiver quatre-vingt-deux. Les

problèmes étaient beaucoup plus sévères au mois de mars quatre-vingt-six, avec contournement cinquante-sept fois dans un seul matin. Nous avons étudié tous les aspects de ce problème : la climatologie, la pollution aux surfaces des isolateurs, les caractéristiques électriques du verglas et du brouillard, et enfin, après la construction d'une chambre spécialisée, le comportement électrique des isolateurs couverts de glace.

Les conditions atmosphériques qui donnent le givrage sont très variées. Le brouillard donne une épaisseur glacée de cinquante micromètres sur toutes les surfaces de l'isolateur. Le verglas peut donner une épaisseur de glace de cinquante millimètres sur les surfaces supérieures. Ces conditions ont une fréquence de, peut-être, quatre ou six fois par hiver.

Dans douze ans d'observations, nous avons eu des problèmes sérieux de contournement seulement sept fois, bien moins fréquemment que le givrage. L'élément qui manque dans les autres occasions est la pollution. Si les surfaces de l'isolateur sont propres, la conductivité électrique de la glace est basse. S'il y avait quelques semaines ou mois sans pluie, les surfaces peuvent gagner une densité équivalant à du sel de cent ou deux cents microgrammes par centimètre carré pour les postes

de transformation qui sont trop proches d'une autoroute.

Il y a, chez moi, un troisième élément important – la température. En bas du point de congélation, à -5°C , la glace est un isolant électrique. Avec un réchauffement naturel jusqu'à -1°C , la conductivité est élevée par un facteur de cinq ou dix. Le changement de conductivité entre -1°C et le point de fusion est plus dramatique, avec un autre facteur de cent. Toutefois, la fonte de glace perd la pollution dans un film d'eau qui disparaît vite. J'ai l'opinion que la température de glace de -1°C est la plus dangereuse pour le contournement.

La glace peut réduire les intervalles d'air dans l'isolateur. Si la conductivité de la glace est assez grande, peut-être quatre-vingts ou cent $\mu\text{S}/\text{cm}$ corrigé à 20°C , le contournement est obtenu. J'ai vérifié ce phénomène dans les expériences à l'échelle de cent cinquante (150) mm. La température de la glace peut être bien contrôlée (avec haute humidité) ou mesurée (avec fibre optique) pour établir que la tension de contournement a un minimum à -1° ou -0.5°C .

La glace ou le brouillard peuvent, beaucoup plus fréquemment, donner un mince film qui couvre

toutes les surfaces de l'isolateur. Au-dessous de zéro, ce film prend et stabilise la pollution de la surface. L'effet de température est le même que dans le cas de réduction de l'espace entre les électrodes. Dans les conditions d'humidité élevée, la tension de contournement donne encore un minimum à 0°C. Dans les conditions d'humidité relative de quatre-vingts %, on arrive à une tension minimum quand la température de la cuvette mouillée arrive à 0°C.

A Ontario Hydro, nous avons choisi trois essais pour vérifier le comportement des isolateurs dans les conditions givrantes. La première est l'épreuve brouillard froid. Un mince film de kaolin et sel est appliqué, sec dans le cas de non-céramique ou mouillé dans le cas d'isolateur céramique.

Pendant la nuit, la température est maintenue à -5°C. Au commencement de l'épreuve, nous ajoutons du brouillard avec des jets ultrasoniques. Ces jets donnent un diamètre de 10 µm, le même que l'on trouve dans la nature. Avec notre échangeur de chaleur, il est possible d'avoir une humidité relative de quatre-vingt-seize ou quatre-vingt-dix-sept pourcent. Le voltage de service est aussi appliqué à ce temps.

La chambre est chauffée lentement jusqu'à -2°C . En arrivant à ce point, nous augmentons le voltage, en pas de 5%, avec une minute par pas, jusqu'au contournement. Après le contournement de l'isolateur, le voltage de service est établi encore une fois. Le processus est répété chaque demi-heure. Nous prenons quatre heures pour réchauffer la chambre de -2°C à 1°C . Typiquement, après l'épreuve, nous avons six voltages de contournement, avec les températures ambiantes et les températures de la cuvette mouillée. Après avoir fait les analyses statistiques, nous avons une seule valeur de contournement en conditions brouillard froid. Le coût de ces données: huit mille dollars canadiens.

Le prochain graphique donne nos observations pour deux sortes d'isolateurs. A 500 kV et 69 kV, nous avons fait l'épreuve seulement dans les isolateurs céramiques de poteau. A 230 (deux cent trente) kV et 115 kV (cent quinze), nous avons étudié les chaînes de trois, cinq, sept ou quatorze isolateurs de porcelaine avec bouchon et fiche métallique. Le comportement des isolateurs de poteau est pire que le comportement des chaînes. Quelques autres chercheurs ont trouvé la même caractéristique dans leurs essais près de l'océan, avec la contamination épaisse.

Je suis ravi de dire que la modélisation de Prof. Farzaneh et son groupe, appliquée en utilisant la ligne de fuite, donne presque le même résultat que nous avons obtenu aux chaînes d'isolateurs. Vous voyez aussi qu'il y a beaucoup d'incertitude dans les résultats. A Ontario Hydro, nous avons confiance d'employer le modèle physique pour établir les spécifications de claquage pour isolateurs.

Comme mitigation, nous avons trouvé que les isolateurs de poteaux avec vernissage semi-conducteur sont les meilleurs.

La présentation suivante discute des deux autres épreuves beaucoup plus en détail. Il suffit de dire que l'épreuve 'CIFT', avec contamination, glace, brouillard froid et température fondante, est très sévère, comme dans les conditions naturelles. Les épreuves avec une grande épaisseur de verglas sont bien mieux connues et il y a, peut-être, plus de méthodes que de chercheurs. J'ai l'opinion que la température fondante donne le minimum de voltage de contournement dans les essais avec glace, pour les mêmes raisons que nous avons discutées ici pour l'épreuve Brouillard froid.

William Chisholm est né à Plattsburgh, New York en 1955.

Il a étudié à l'Université de Toronto, et a reçu un BAsC en Science d'Ingénierie (1977) et une maîtrise d'Ingénierie en ingénierie électrique en 1979. Il a reçu aussi un doctorat en ingénierie électrique à l'Université de Waterloo en 1983.

Dr Chisholm est à l'emploi de Ontario Hydro depuis 1977 dans le Laboratoire de Recherche Dobson à Toronto. Il a fait des contributions aux sujets de foudre, rafraîchissement naturel des conducteurs et isolateurs contaminés et glacés pour les lignes à haute tension. Il est président du Sous-comité Foudre et Isolateurs du comité Transmission et Distribution du IEEE.