

C A N A D A

RÉGIE DE L'ÉNERGIE

PROVINCE DE QUÉBEC
DISTRICT DE MONTRÉAL

NO : R-3522-2003

HYDRO-QUÉBEC

Demanderesse

- et -

L'UNION DES CONSOMMATEURS
1000 rue Amherst, Montréal
Bureau 300 (Québec) H2L 3K5

Partie intervenante

Projet du Déglaceur de Lévis

**REPONSES DE L'UNION DES CONSOMMATEURS
AUX QUESTIONS D'HYDRO-QUÉBEC**

Question 1 :

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 1 de 4.

Préambule : « Finalement, la méthode du transfert de courant dans les conducteurs d'un faisceau a été classée bonne dernière. Or cette méthode, est une méthode qui n'exige pas la mise hors service de la ligne et est relativement simple à mettre en œuvre. »

1.1 Veuillez expliquer comment accroître le courant dans les conducteurs, au niveau requis précisé en preuve pour chacune des lignes à être déglacées, sans ouvrir d'autres lignes.

Réponse :

La méthode proposée par le chercheur Pierre Couture de l'IREQ n'est applicable qu'aux lignes dont les câbles sont composés de faisceaux de deux ou plusieurs conducteurs en parallèle. La méthode consiste à faire circuler tout le courant dans un seul des conducteurs en débranchant les autres. Comme les pertes par effet Joule sont proportionnelles au carré du courant, le conducteur restant sera le siège de pertes beaucoup plus grandes qu'en opération normale. Ainsi, pour un faisceau de 4 conducteurs (lignes 735 kV), les pertes dans ce conducteur seront multipliées par 16.

M. Couture décrit aussi dans ses brevets une méthode pour modifier l'impédance équivalente d'une ligne de façon à augmenter le transit de courant. De façon similaire à la compensation série des lignes de transmission, cette modification de l'impédance équivalente est obtenue par l'ajout de condensateurs au moyen d'un commutateur auxiliaire. (Voir référence 4, réponse 1.2)

1.2 Veuillez indiquer la source des informations permettant de conclure qu'il s'agit d'une méthode relativement simple à mettre en oeuvre.

Réponse :

M. Couture a très bien décrit la méthode qu'il propose dans ses brevets. Une simple lecture de ces documents permet de comprendre la simplicité conceptuelle de son invention. On y retrouve aussi la description des commutateurs et des circuits de commande. Un avantage intéressant de sa proposition provient du fait que tous les équipements de puissance sont installés dans les pylônes éliminant le besoin d'espace dans les postes.

Liste partielle des brevets de M. Couture :**En langue anglaise:**

1. Brevet américain no. US 6,396,172 B1, « Switching Apparatus and Method for a Segment of an Electric Power Line », 28 mai 2002.
2. Brevet américain no. US 6,486,569 B2, « Power Flow Management in an Electric Power Grid », 26 novembre 2002.

En langue française:

3. Brevet international, WO 00/35061, « Appareil et méthode de commutation pour un tronçon d'une ligne de transport d'énergie électrique », 15 juin 2000.
4. Brevet international, WO 02/41459, « Appareil et méthode de commutation pour varier l'impédance d'une ligne de phase d'un tronçon d'une ligne de transport d'énergie électrique » 23 mai 2002.

1.3 Veuillez fournir une estimation du coût d'implantation de cette solution en remplacement du Déglaceur au poste de Lévis et ce, pour le même degré d'efficacité.

Réponse :

L'estimation des coûts de la solution de M. Couture demande de l'information qui n'est pas habituellement disponible à un chercheur universitaire. Ces renseignements qui concernent le coût des composants et les coûts de construction sont connus d'Hydro-Québec et des firmes d'ingénieurs-conseils.

Une telle étude d'implantation requiert temps et moyens financiers. Les fonds de recherche dont disposent les chercheurs universitaires ne peuvent être utilisés pour réaliser des études destinées à des compagnies ou des particuliers. Dans de tels cas, des contrats de recherche doivent être signés par les autorités de l'institution universitaire et la firme qui demande les travaux pour que les chercheurs universitaires puissent participer à de telles études. De plus, certaines études dont celles d'estimation de coûts, relèvent plus de la mission des firmes d'ingénieurs-conseils que du mandat normal des ingénieurs-chercheurs oeuvrant en milieu universitaire.

Enfin, pour qu'une comparaison honnête puisse être faite, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de l'objet de comparaison. Or, le devis du déglaceur ne nous ayant pas été transmis, toute comparaison demeure difficile. Le terme « degré d'efficacité » devrait être défini par rapport à des exigences techniques précises.

Question 2

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 2 de 4.

Préambule : Au point 2 du rapport, M. Olivier présente une méthode de déglacage par injection de courant à haute fréquence.

2.1 Veuillez déposer les informations à la disposition de M. Olivier confirmant que les perturbations électromagnétiques reliées à l'injection d'un signal haute-fréquence sur les lignes de transport n'auront pas d'effets majeurs sur les systèmes de télécommunications, de commande et de protection, tant ceux de Hydro-Québec TransÉnergie que ceux d'autres entités.

Réponse :

Ce point particulier n'a pas été soulevé dans le rapport du professeur Olivier. Ce dernier ne possède pas d'informations particulières sur ce point.

Il tient cependant à préciser les points suivants :

Si des précautions ne sont pas prises, cette méthode pourrait en effet causer des perturbations électromagnétiques. Depuis quelques années, des fibres optiques sont utilisées pour transmettre les signaux de mesure et de commande. Cette technologie n'est pas affectée par les courants induits. Par contre, les conséquences sur les autres entités devraient être similaires aux conséquences des courants harmoniques causés par la source à courant continu envisagée. En effet, les fréquences des premiers courants harmoniques et la fréquence de la source utilisée pour faire fondre la glace sont semblables, entre 1 et 10 kHz.

2.2 Veuillez fournir une estimation du coût d'implantation de cette solution en remplacement du Déglaceur au poste de Lévis et ce, pour le même degré d'efficacité.

Réponse :

Voir réponse 1.3.

Question 3 :

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 2 de 4.

Préambule : Au point 3 de son rapport, M. Olivier présente une méthode de déglçage par opération asymétrique des lignes.

3.1 Veuillez indiquer comment une telle solution pourrait permettre d'obtenir un courant de 7200 A dans l'une des phases d'une ligne à 735 kV de 242 km.

Réponse :

La Figure 1 illustre le principe du chauffage des lignes par asymétrie. On y montre deux réseaux électriques (Réseau S pour source et Réseau R pour récepteur) ayant des tensions équilibrées symétriques et reliés par une ligne triphasée.

Le chauffage de la ligne par asymétrie consiste à ouvrir une ou deux phases et à transférer le courant qui circulait dans la ou les phases ouvertes sur la ou les phases non ouvertes tout en préservant l'intégrité des deux réseaux aux bouts de la ligne. C'est-à-dire que cette manœuvre doit être totalement transparente (ou presque) pour les deux réseaux dont les tensions, les courants et les puissances ne doivent pas être modifiés.

Les courants déséquilibrés dans la ligne sont rééquilibrés au départ et à l'arrivée de la ligne grâce à la compensation shunt et à la compensation série. Les compensateurs peuvent être réalisés soit avec des éléments passifs : transformateurs, condensateurs et inductances. Il est aussi possible d'envisager l'utilisation de convertisseurs électroniques.

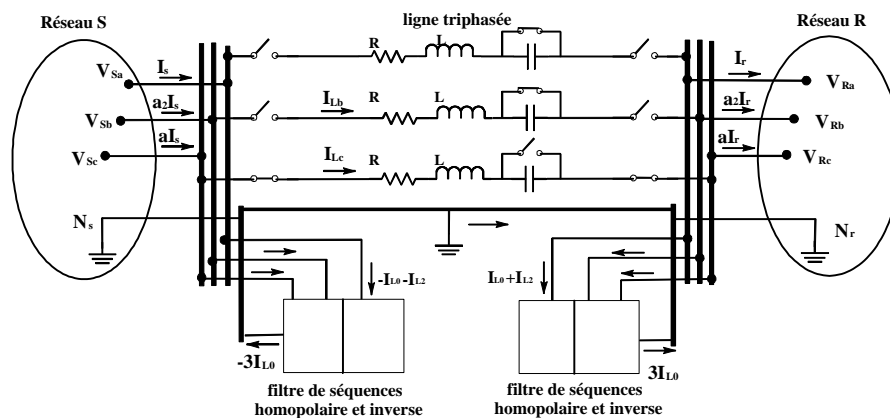


Figure 1 Illustration du principe de chauffage par asymétrie

À la figure 1, les phases a et b de la ligne sont ouvertes et on y ajoute des éléments de compensation pour filtrer les courants de neutre et rééquilibrer les courants dans les réseaux de part et d'autre de la ligne (filtres de séquence homopolaire et de séquence inverse). Ce faisant, le courant dans la phase restante est considérablement accru. On doit ajouter les compensateurs suivants :

- un compensateur série (ici constitué d'un condensateur) dans la phase saine (phase c) pour réduire la réactance série et augmenter ainsi le courant transitant dans cette phase. Le condensateur série n'est pas nécessaire si la tension du réseau de droite n'est pas régulée autour d'une consigne, auquel cas on tolère une plus grande chute de tension dans la ligne;
- un filtre de séquence homopolaire pour empêcher que des courants de neutre ne circulent dans les deux réseaux. Ces filtres de séquence homopolaire ne sont pas nécessaires si le réseau de transport n'est pas mis à la terre;
- un compensateur de séquence inverse à chaque bout de ligne. Les compensateurs de séquence inverse peuvent être montés en étoile ou en triangle et sont constitués de deux inductances et d'un condensateur ou de deux condensateurs et d'une inductance.

En ajoutant la compensation série, les tensions et la grandeur des courants aux deux bouts de la ligne ne sont pas affectées de sorte que la puissance transitée dans la ligne n'est pas modifiée. Si la compensation série n'est pas utilisée, les courants et la puissance transitée seront légèrement diminués.

Si une seule phase est retirée de service, les pertes dans la phase qui suivent sont multipliées par quatre. Si le courant ne circule que dans une phase et le neutre ou dans les fils de garde, les pertes dans la phase restante sont multipliées par neuf (9) et si le courant de retour passe dans les fils de garde, les pertes y seront aussi très grandes.

- 3.2** Veuillez produire les résultats de toute simulation numérique permettant de démontrer l'efficacité de la solution présentée en fonction des besoins spécifiques du projet de déglacage au poste de Lévis.

Réponse :

Le professeur Olivier n'a pas effectué de telles simulations. Le Dr Sana a développé une solution analytique pour cette simulation. Il est possible de calculer les éléments de la solution sans avoir recours à des simulations numériques.

M. Sana ou ses directeurs de thèse Messieurs R. Marceau ing. et D. McGillis pourraient certainement apporter des éléments additionnels de réponse à cette question.

- 3.3** Veuillez fournir une estimation du coût d'implantation de cette solution en remplacement du Déglaceur au poste de Lévis et ce, pour le même degré d'efficacité.

Réponse :

Voir réponse 1.3.

Au chapitre 7 de sa thèse, le Dr Sana présente une brève analyse économique de sa méthode. Malheureusement, les chiffres cités ne s'appliquent pas directement au déglaceur.

Question 4 :

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 3 de 4.

Préambule : Au point 4 de son rapport, M. Olivier fait référence à une publication de M. Pierre Couture, intitulée «Switching Modules for the Extraction/Injection of Power from a Bundled HV Line», et identifiée comme étant Paper no TPWRD-00350-2002, 2004-IEEE Power Engineering Society General Meeting, Denver.

4.1 Comme il appert que les communications qui seront faites au IEEE Power Engineering Society, du 6 au 10 juin 2004, à Denver, Colorado, seront publiées plus tard comme actes de la conférence, veuillez déposer au dossier de la cause R-3522-2003 une copie de l'exemplaire que cite M. Olivier.

Réponse :

M. Olivier ne possède pas de copie de cette communication qui n'est pas encore disponible de l'IEEE. Afin de répondre à la demande de Hydro-Québec, M. Olivier a tenté d'obtenir une copie directement de l'auteur. Il n'a pas encore reçu de réponse à sa demande.

Cette communication apparaît dans le programme détaillé de la Conférence *2004-IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Ce programme est disponible sur le site :

**[http://www.ieee.org/portal/index.jsp?pageID=pes_level1&path=pes/su
bpages/meetings-
folder/2004_Denver&file=2004denver_advpgm.xml&xsl=generic.xsl](http://www.ieee.org/portal/index.jsp?pageID=pes_level1&path=pes/su
bpages/meetings-
folder/2004_Denver&file=2004denver_advpgm.xml&xsl=generic.xsl)**

Extrait du programme :**1 HVDC and FACTS (paper)***Thursday, 10 June, 2:00 PM–5:00 PM**Directors Row H**Sponsored by: Transmission and Distribution Committee**Chair: D. Woodford, Electranix Corporation***PAPERS AND AUTHORS:**

- **Switching Modules for the Extraction/Injection of Power (Without Ground or Phase Reference) from a Bundled HV Line [TPWRD-00350-2002]**
P. COUTURE, IREQ (Hydro-Quebec)
- **Flying Capacitor Multilevel Inverter and Its Applications in Series Compensation of Transmission Lines**
A. SHUKLA, *Indian Institute of Technology*
A. GHOSH, *Indian Institute of Technology*
A. JOSHI, *Indian Institute of Technology*
- **Study on the Pure DC Transmission Scheme for China's Future Power Transmission from the West to the East**
Z. XU, *Zhejiang University*
Y. HUANG, *Zhejiang University*
- **Study on the Transmission Capacity and Voltage Stability of Weak Back-to-Back HVDC System**
P. LIU, *Beijing Wanglian DC Engineering Consultation Co. Ltd.*
- **A New Proposal for Solid State Fault Current Limiter and Its Control Strategies**
G. CHEN, *Zhejiang University*
D. JIANG, *Zhejiang University*
Z. LU, *Zhejiang University*
Z. WU, *Zhejiang University*

Par ailleurs, l'Union des consommateurs avait la volonté d'assigner M. Couture en audience pour qu'il puisse déposer lui-même le texte de sa communication à la Régie. Ce qui ne pourra vraisemblablement avoir lieu.

Question 5:

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 3 de 4.

Préambule : Au point 5 de son rapport, M. Olivier indique que la solution du convertisseur à courant continu n'a jamais été éprouvée.

5.1 Veuillez indiquer le(s) aspect(s) des convertisseurs à courant continu que vous considérez comme n'ayant jamais été éprouvé(s).

Réponse :

Les points suivants nous incitent à affirmer que la solution proposée par Hydro-Québec, ne peut être qualifiée de solution éprouvée :

- **Tension et courant nominaux** : Hydro-Québec a besoin d'après ses calculs d'une source de +/- 22 kV, 7200A, d'une puissance continue de 250 MW et intermittente de 300 MW. La puissance d'une telle installation est du même ordre de grandeur que les redresseurs utilisés dans les alumineries (plusieurs centaines de milliers d'ampères à environ 1000V). Ces installations consistent habituellement en des redresseurs de 24 phases ou plus. Cette puissance est aussi semblable à celle des convertisseurs HVCC utilisés pour raccorder le réseau québécois au réseau du Nouveau-Brunswick. Ces redresseurs travaillent cependant à des tensions plus élevées. Sa puissance est aussi semblable sinon supérieure à la puissance des compensateurs statiques. C'est donc une installation de très grande puissance. Sa nouveauté provient de son niveau de tension unique. À notre connaissance, il n'existe pas d'installation industrielle ou autre qui fonctionne à cette combinaison de tension et de courant continu. À la fin des années 1980, le professeur Olivier a été confronté au même problème lorsqu'il a participé au développement de plusieurs convertisseurs cc/ca dont un redresseur de 5000 V, 300 A pour Hydro-Québec.

1. G. Olivier, N. Shankar, "A 5 kV, 1.5 MW, Variable DC Source", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol IAS-26, no. 1, jan.-fév. 1990, p. 73 à 79.
2. G.-É. April, G. Olivier, "A Family of Power Converters Using Rectifier Transformers Connected in Series on the Primary Side", brevet américain, le 17 septembre 1991, numéro 5,050,058.
3. M. El Kahel, G. Olivier, C. Guimaraes, G.-É. April, "Conception et simulation d'une source haute tension à courant continu (70kV, 60A)", Revue Canadienne en Génie Electrique et Informatique" Vol. 19, No. 4, 1994, p. 177 à 186.

Les constructeurs devront adapter leur matériel pour rencontrer ces niveaux de tension et de courant.

- **Reconfiguration** : Hydro-Québec désire opérer son redresseur en compensateur statique lorsqu'il n'est pas utilisé pour faire fondre la glace. Il existe plusieurs façons possibles de réaliser des compensateurs statiques. En autres :
 - compensateurs à inductances commutées,
 - compensateurs à condensateurs commutés,
 - compensateurs réalisés en court-circuitant un redresseur polyphasé de Graetz sur une inductance,
 - compensateurs à commutation forcée (Stacom, Facts...)

Selon la solution retenue par les constructeurs, le passage d'un mode d'opération à l'autre sera plus ou moins difficile à réaliser. Au meilleur de notre connaissance, une telle dualité d'opération n'a jamais été tentée.

- **Barres à courant continu** : L'opération du déglaceur nécessitera l'installation de jeux de barres à courant continu dans les postes et l'installation de sectionneurs capables de raccorder ces barres aux lignes à déglacer. Ces jeux de barres ne se situeront pas dans une partie isolée des postes mais se retrouveront un peu partout afin de pouvoir raccorder les différentes lignes. De plus, il semblerait, aux dires mêmes de Hydro-Québec, que des sectionneurs capables de 735 kV et 7200 A ne soient pas encore commercialement disponibles. La disposition des jeux de barres dans le poste devra donc faire l'objet d'une étude détaillée afin, entre autres, d'éviter l'induction de tensions et de courants alternatifs dans les barres à courant continu et les interférences possibles produites par la présence d'un champ magnétique continu important.
- **Opération** : Des procédures d'opération nouvelles et inédites devront être développées et enseignées aux personnels d'opération pour qu'ils soient en mesure de transformer rapidement le compensateur statique en source à courant continu et d'effectuer son raccordement successivement à chacun des conducteurs à déglacer.

Pour toutes ces raisons, nous ne croyons pas que la solution proposée par Hydro-Québec puisse être qualifiée d'éprouvée.

Question 6 :

Référence : Rapport d'expertise, Prof. Guy Olivier, page 4 de 4.

Préambule : Au point 5 de son rapport, M. Olivier indique également que depuis la tempête de verglas plusieurs chercheurs se sont penchés sur le problème et de nouvelles solutions sont apparues.

- 6.1** Veuillez indiquer si M. Olivier a participé à l'atelier de travail (Workshop on Ice Storm Mitigation) organisé par CAE Technologies avec le concours de Hydro One et de TransÉnergie, tenu à Montréal, les 6, 7 et 8 octobre 2002, et ayant pour thème «Preparation for Extraordinary Climatic Events».
- 6.2** Si oui, M. Olivier peut-il identifier les techniques de déglacage de lignes de transport d'électricité qui ont fait l'objet d'études et de discussions à cet atelier de travail?

Réponse :

Le professeur Olivier n'a pas participé à cet évènement.

Par contre, il s'est toujours intéressé aux problèmes reliés à la haute tension. Son mémoire défendu en 1975 à l'École Polytechnique de Montréal de maîtrise portait sur les mécanismes de claquage disruptif en milieu gazeux. Il a aussi publié plusieurs communications et dirigé quelques étudiants de maîtrise sur ce sujet. Il entretient depuis plusieurs années des liens étroits avec le groupe de recherche Cigele (Chaire industrielle sur le givrage atmosphérique des équipements des réseaux électriques) dirigé par le professeur Farzaneh de l'UQAC. Il faisait partie de l'équipe de chercheurs qui a obtenu une partie des subventions destinées à l'achat d'un générateur de chocs de foudre pour le nouveau laboratoire de haute tension de l'UQAC. Il a co-dirigé avec le professeur Farzaneh la thèse de doctorat de X. CHEN intitulé : "Modeling of Electrical Arc on Ice Surfaces" (Polytechnique 1999). En mai 2003, comme président de la Conférence Canadienne de l'IEEE en génie électrique et en génie informatique (CCGÉGI 2003), il s'est impliqué dans l'organisation de sessions spéciales sur les problèmes associés au verglas. Dernièrement, il a accepté de s'impliquer dans le comité d'organisation et le comité scientifique de la 11^{ème} conférence internationale sur le givrage des structures (IW AIS 2005) qui se tiendra à Montréal du 12 au 16 juin 2005. Voir : http://www.congresbcu.com/iwais/fr/default_fra.htm.

Le professeur Olivier réitère que le projet du déglaceur doit faire l'objet d'un débat technique public. Toute l'information technique sur la réalisation du déglaceur tient en un seul dessin (HQ5, document 1, annexe B, page 3). Il est impossible de se faire une idée juste de cette solution avec si peu de détails. Les constructeurs potentiels approchés par Hydro-Québec devraient rendre publique les détails de leur proposition. En parallèle avec cela, des études d'implantation devraient aussi être effectuées sur les autres solutions.