

7E SESSION D'ETUDE
SUR
LES TECHNIQUES DE SAUTAGE

"LES MANCHONS IMPLOSIFS POUR LA CONNECTION
DES FILS DE LIGNE DE TRANSMISSION"

par

Michel Lamarre, Hydro-Québec

LES MANCHONS IMPLOSIFS
POUR LA JONCTION DES CÂBLES
DES LIGNES DE TRANSPORT

Michel Lamarre, ing.
Méthodes de construction

HYDRO-QUÉBEC

RÉSUMÉ

Les câbles des lignes de transport regroupent les câbles de garde entièrement en acier et les conducteurs en aluminium renforcés d'acier. La jonction ainsi que l'ancrage aux pylônes d'angles de ces câbles, a été traditionnellement réalisée au moyen de tubes métalliques comprimés sur ceux-ci. Le présent document décrit d'abord les caractéristiques des câbles et des manchons comprimés utilisés pour les lignes à 735 kV du réseau Baie-James, ensuite on y décrit un nouveau procédé à l'explosif pour la jonction et l'ancrage aux pylônes de ces mêmes câbles. On y dresse également l'historique de l'introduction des manchons "implosifs" sur le marché.

INTRODUCTION

Hydro-Québec a évalué et utilisé à différentes reprises depuis 1972, un nouveau système de jonction de câbles consistant à utiliser une charge explosive pour comprimer des tubes métalliques sur ceux-ci. D'abord utilisés sur une base d'évaluation pour de courtes sections de lignes à 735 kV en provenance du complexe Manicouagan-Churchill, ces manchons sont aujourd'hui utilisés systématiquement sur une portion de 455 km de la 5^e ligne à 735 kV du réseau Baie-James entre les postes Lemoyne (entre LG-3 et LG-4) et Chibougamau.

Ce rapport dresse d'abord un aperçu des principales caractéristiques des lignes de transport à 735 kV du réseau de la Baie-James. L'accent étant mis sur les caractéristiques des câbles ainsi que sur les systèmes conventionnels et à l'explosif de jonction de ces câbles. Nous traiterons ensuite des méthodes d'installation de chaque type de joint et nous dresseront finalement un historique de l'introduction et de l'évolution des "manchons implosifs" sur les lignes de transport à 735 kV d'Hydro-Québec.

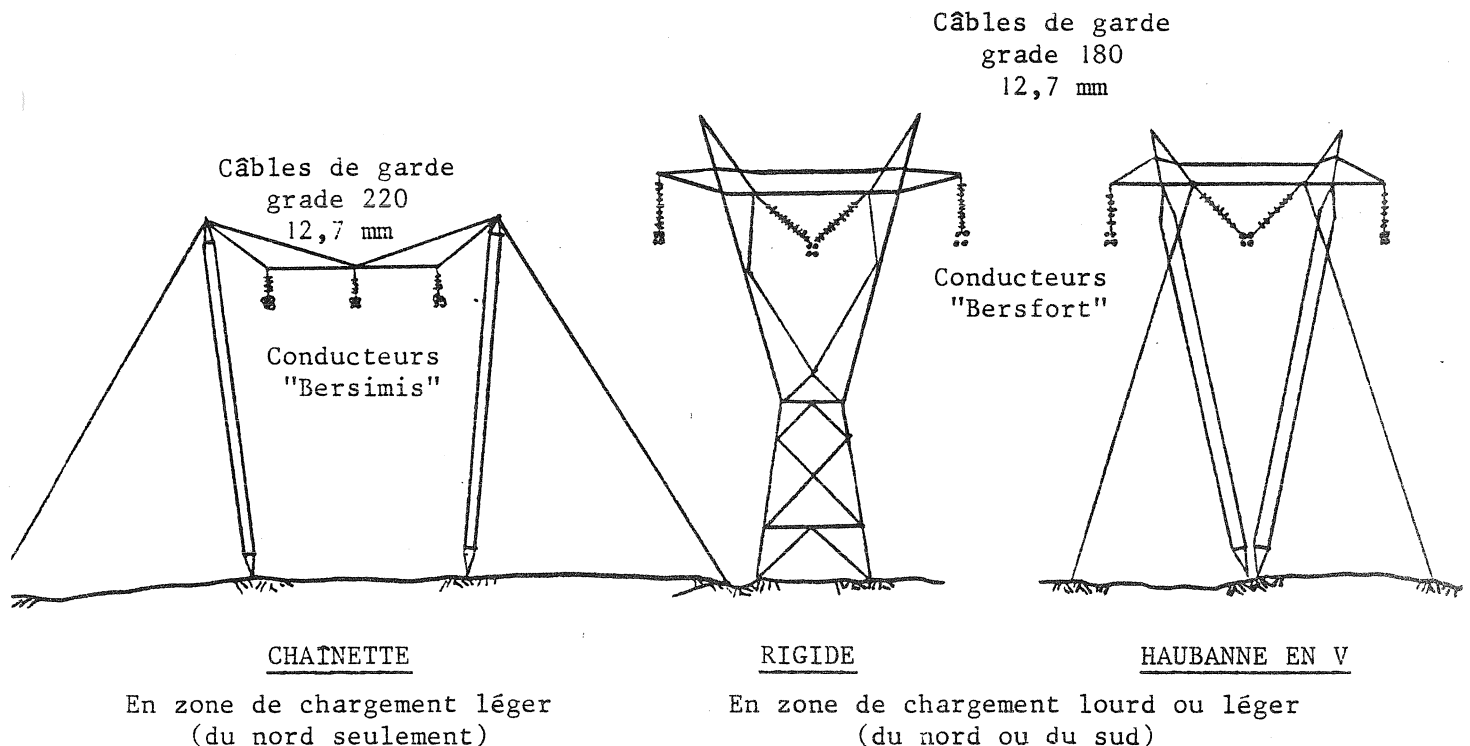
CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES À 735 KV DE LA BAIE JAMES

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES 2

Les cinq lignes à 735 kV en provenance de la Baie-James, utilisent des conducteurs en aluminium renforcés d'acier, pour acheminer le courant vers Montréal (3 lignes), Québec (1 ligne) et Chicoutimi (1 ligne). Sept brins d'acier centraux améliorent le comportement mécanique et diminuent le fluage de l'ensemble du conducteur, alors que les brins d'aluminium enroulés autour, assurent la conductivité électrique et reprennent une partie de l'effort de tension. Deux sortes de conducteurs sont utilisés pour les lignes Baie-James; soit le conducteur "Bersimis" avec le pylône à chafnette pour les chargements de glace légers du nord, et le conducteur renforcé "Bersfort" avec le pylône haubanné en V ou le pylône rigide, pour les chargements de glace lourds au sud. Les lignes comportent trois phases composées chacune d'un faisceau de quatre conducteurs espacés de 45 cm.

FIGURE 1

Types de pylônes et de câbles utilisés
pour le réseau de transport Baie-James



Les lignes sont protégées contre la foudre par deux câbles de garde en acier galvanisé de 12,7 mm de diamètre, de grade 180 pour le pylône rigide et le pylône haubanné et de grade 220 pour le pylône à chafnette. Ces câbles sont placés au sommet des pylônes de façon à garantir un angle minimal de protection de 20° par rapport aux phases extérieures de la ligne.

TABLEAU I

CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES DU RÉSEAU DE TRANSPORT BAIE JAMES

	Chargement lourd Zone sud (44,45 mm radial de glace)	Chargement léger Zone nord (31,75 mm radial de glace)
- Tension nominale	735 kV	735 kV
- Intensité admissible à une température de conducteur de 49°C	<u>3250A</u>	<u>3250A</u>
- Pylône d'acier à un terne, type	En Vé haubané ou rigide	En Vé haubané, chafnette ou rigide
- Conducteurs		
type ACSR	<u>Bersfort</u>	<u>Bersimis</u>
diamètre mm	35,6	35,1
surface d'aluminium MCM	1354,8 MCM	1361 MCM
mm ²	686,5	689,7
surface d'acier mm ²	60,6	35,5
nombre de brins d'aluminium	48	42
nombre de brins d'acier	7	7
résistance limite kN	180,1	154,3
poids N/m	23,23	21,42
nombre de conducteurs par phase	4	4
espacement des conducteurs mm	450	450
- Câble de garde		
diamètre mm	12,7	12,7
grade	180	220
résistance limite kN	113.6	138.8
poids	7,44	7,44
nombre par pylône	2	2
angle maximal de protection au pylône	20°	20°

Les câbles de garde ainsi que les conducteurs sont livrés au chantier sur des tourets contenant respectivement 3080 m de câble et 2150 m de conducteur, ce qui implique la fabrication au chantier de plusieurs joints, et retarde la vitesse d'installation des câbles. Les câbles de garde sont déroulés en les remorquant au sol de pylône en pylône au moyen d'un tracteur, alors que les conducteurs sont déroulés phase par phase au moyen d'un treuil et d'une machine à tension (freineuse) qui maintient les quatre conducteurs des faisceaux constamment dégagés du sol ainsi qu'à une tension égale et uniforme pendant le déroulage.

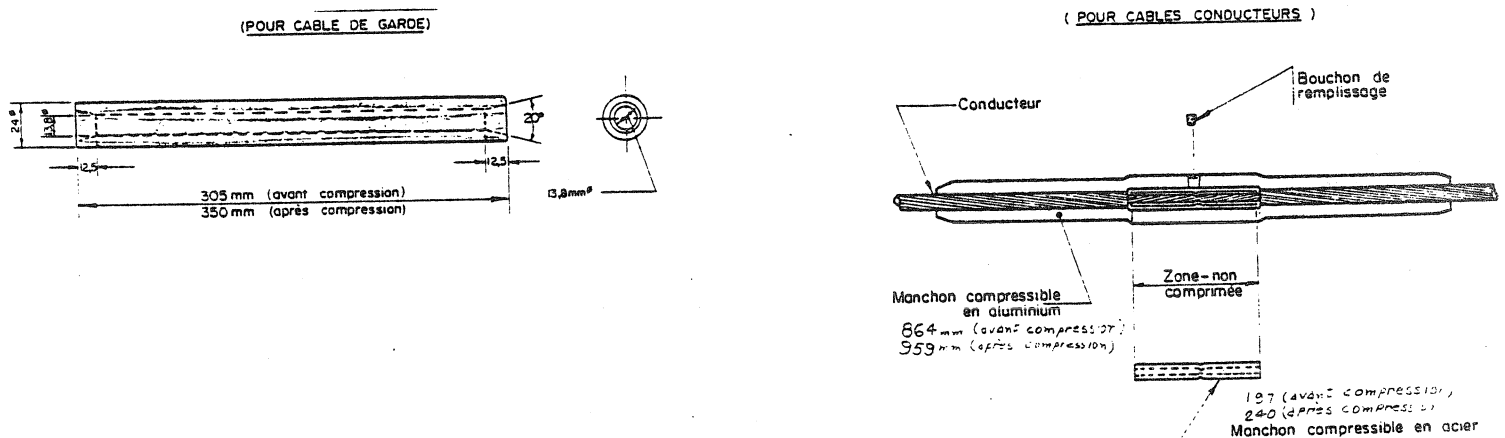
Lorsque la longueur de câble contenue sur un touret est déroulée, l'opération doit être interrompue le temps de placer de nouveaux tourets et de fabriquer des joints entre les nouveaux câbles et ceux déjà déroulés. Il devient donc très intéressant de réduire au minimum le temps requis pour fabriquer ces joints.

CARACTÉRISTIQUES DES MANCHONS CONVENTIONNELLS

Traditionnellement, les joints des câbles étaient réalisés au moyen de tubes métalliques comprimés sur les câbles avec une presse hydraulique. Le manchon du câble de garde étant constitué d'un seul tube d'acier, alors que le manchon du conducteur alu-acier est composé d'un tube interne en acier pour joindre mécaniquement l'âme d'acier du conducteur, et d'un tube externe en aluminium pour joindre mécaniquement et électriquement la partie d'aluminium du conducteur.

FIGURE 2

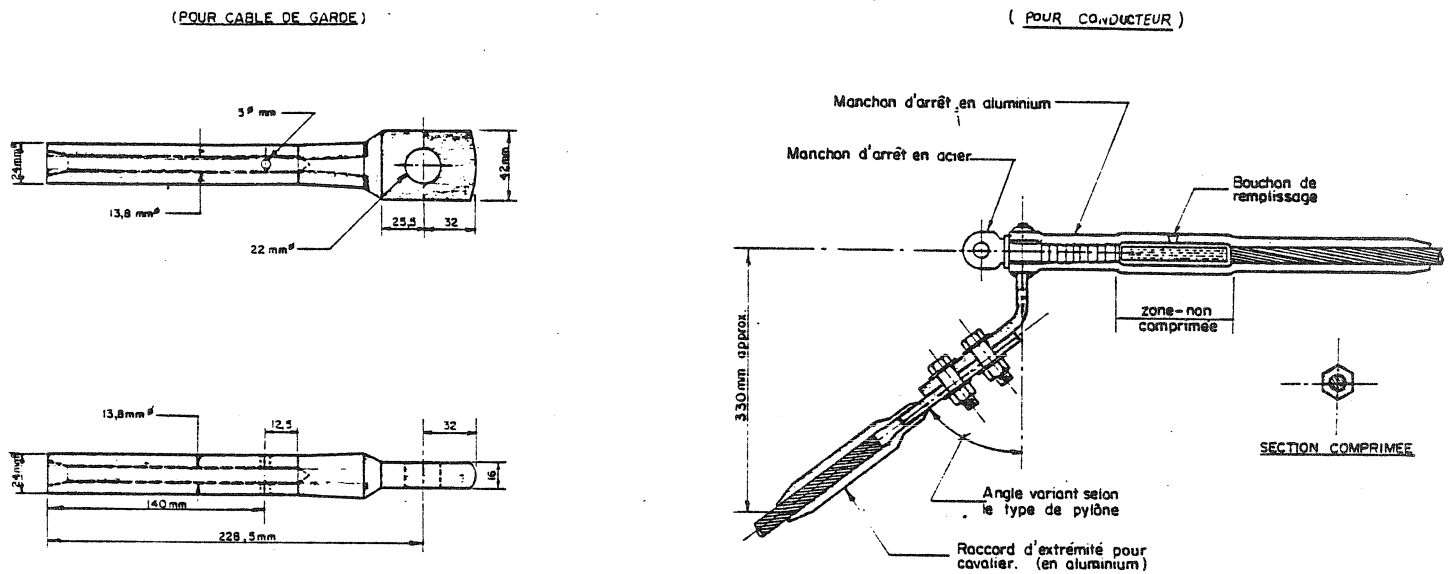
Détails des manchons de jonction compressibles



Des manchons compressibles sont également utilisés pour fixer le câble de garde et les conducteurs aux pylônes d'angle et d'arrêt. Ces derniers sont alors constitués d'une partie tubulaire compressible terminée à une extrémité par une partie plate avec un oeil de raccord.

FIGURE 3

Détails des manchons d'arrêt compressibles



CARACTÉRISTIQUES DES MANCHONS IMPLOSIFS

Les manchons implosifs sont des dispositifs qui font appel à une charge explosive pour développer une force radiale contrôlée (d'implosion) servant à comprimer des tubes métalliques sur les extrémités des câbles que l'on désire joindre ou ancrer.

Les dispositifs de jonction ainsi que d'ancrage des conducteurs aluminium-acier sont essentiellement formés d'un manchon extérieur d'aluminium et d'un manchon intérieur en acier. Contrairement aux manchons comprimés conventionnels, le manchon d'acier est constitué ici de deux parties, soit; une machoire en acier, couverte d'un tube de bourrage en aluminium dont la principale fonction est de combler le vide entre le manchon extérieur en aluminium et la machoire d'acier. L'absence de ce tube de bourrage cause une dépression au centre du manchon d'aluminium après l'implosion.

La charge explosive est constituée d'un cordeau détonnant enroulé directement sur le manchon extérieur d'aluminium dont il n'est séparé que par une gaine en plastique qui assure une distribution plus uniforme des forces de compression sur la surface du manchon. La mise à feu s'effectue au moyen d'un détonnateur no: 8 fixé à un endroit spécifié sur le cordeau détonnant.

Les manchons d'ancrage ou de jonction du câble de garde ne nécessitent qu'un manchon d'acier sur lequel est placé directement la gaine de plastique et le cordeau détonnant.

FIGURE 4

Détails des manchons implosifs

MANCHON D'ANCRAGE - CÂBLE DE GARDE

Le manchon d'ancrage du câble de garde comprend un seul manchon d'acier avec une charge implosive.



MANCHON D'ANCRAGE POUR LE CONDUCTEUR ACSR

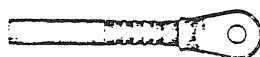
Le manchon d'ancrage comprend:

- a) Un manchon d'aluminium avec une charge implosive. Une plaque d'aluminium est soudée au manchon pour faire la connection avec la cosse du cavalier.



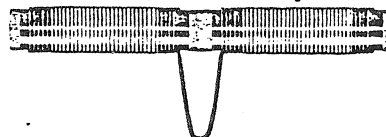
MANCHON PRINCIPAL

- b) Un manchon d'acier avec un oeil et un court manchon d'aluminium qui sert de bourrage.



MANCHON DE JONCTION - CÂBLE DE GARDE

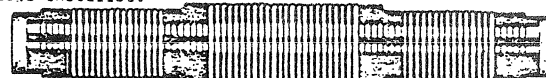
Le manchon de jonction du câble de garde consiste en un seul manchon d'acier avec la charge implosive déjà montée.



MANCHON DE JONCTION - CONDUCTEUR ACSR

Le manchon de jonction pour conducteur comprend:

- a) Un manchon extérieur d'aluminium avec une charge implosive déjà installée.



MANCHON PRINCIPAL

- b) Un manchon intérieur d'acier recouvert d'un tube de bourrage d'aluminium.



MANCHON D'ACIER

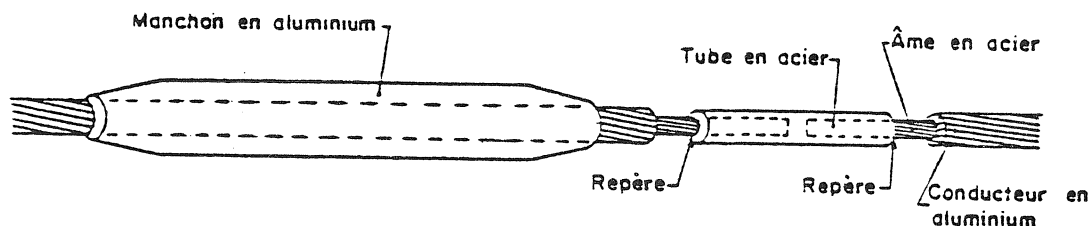
MÉTHODE D'INSTALLATION DES MANCHONS COMPRIMÉS

L'installation des manchons comprimés pour câbles de garde est très simple. Les manchons d'acier sont livrés avec l'intérieur pré-enduit d'une graisse anti-corrosive contenant des particules aptes à augmenter l'adhérence entre le câble et le manchon. Il suffit d'introduire le câble dans le tube du manchon de jonction ou du manchon d'arrêt et d'en assurer le centrage ou la pénétration adéquate. Ensuite, le tube est comprimé sur le câble de garde au moyen d'une presse hydraulique de 90 t métriques en partant du centre vers les extrémités pour le manchon de jonction et du fond vers l'extrémité pour le manchon d'ancrage. Pendant la compression, les tubes subissent un allongement considérable, le manchon de jonction passant de 305 mm avant compression à 350 mm après compression.

L'installation des manchons comprimés pour conducteur est beaucoup plus élaborée. On doit d'abord dénuder l'âme d'acier du conducteur en coupant les brins d'aluminium sur une longueur suffisante pour permettre l'installation du tube d'acier en tenant compte de son allongement lors de la compression. Ensuite, les couches d'aluminium sont défaites, nettoyées et graissées avec une brosse d'acier sur une longueur équivalente au manchon d'aluminium. Après la remise en place des couches d'aluminium, le tube de jonction en aluminium est introduit sur l'un des conducteurs à joindre, assez loin pour dégager l'extrémité du conducteur. (Voir fig. 5) L'âme d'acier des deux conducteurs à joindre est introduite dans le tube d'acier, après quoi on procède à la compression du manchon d'acier de la même façon que pour le manchon du câble de garde.

FIGURE 5

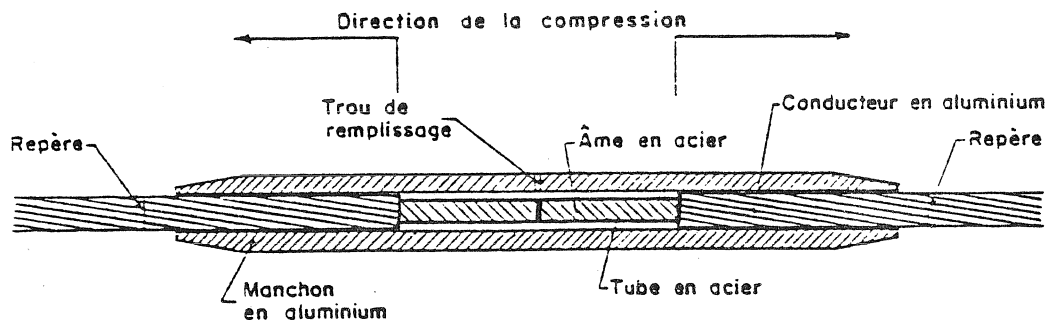
Mise en place du manchon en aluminium et
du tube en acier (conducteur hétérogène)



Le tube (manchon) de jonction en aluminium, est ramené et centré sur les conducteurs à joindre. Au moyen d'une pompe, on injecte par le trou de remplissage prévu dans le tube d'aluminium, un composé anti-corrosif à l'intérieur du manchon. Le tube d'aluminium est ensuite comprimé à chaque extrémité sur l'aluminium des conducteurs (voir fig. 6). Après la compression, l'extérieur du tube d'aluminium doit être limé et poli afin d'éliminer les saillies et les bavures laissées par la presse.

FIGURE 6

Vue en coupe du manchon avant la compression de l'aluminium



Le manchon d'arrêt pour conducteur est installé de façon semblable, sauf que le tube d'aluminium est pressé sur l'aluminium du conducteur ainsi que sur le manchon d'acier qui transmet toute la charge au pylône.

MÉTHODE D'INSTALLATION DES MANCHONS IMPLOSIFS

La procédure d'installation des manchons implosifs, ressemble beaucoup à celle des manchons comprimés. Toute la procédure de coupe et de préparation du câble de garde ou du conducteur aluminium-acier, est identique à celle décrite pour les manchons comprimés à la différence qu'on ne doit pas appliquer de graisse ou de composé anti-corrosif. Ceci est un avantage marqué surtout en hiver alors que l'on doit normalement réchauffer le composé pour en permettre l'application. De plus, le fabricant fournit un gabarit pour faciliter le marquage et la coupe du conducteur, ce qui réduit le risque d'erreur à ce niveau.

La compression des tubes d'acier et d'aluminium étant simultanée, on introduit ensuite les conducteurs dans les tubes d'acier et d'aluminium que l'on centre parfaitement. Le détonnateur est positionné et fixé sur le cordeau détonnant. Pendant l'explosion, il est nécessaire de supporter le manchon sur des trépiers pour le maintenir à environ 1,5 m au-dessus du sol, ainsi que d'assurer une pente au conducteur pour éviter toute infiltration d'eau dans le manchon. Dû à la vitesse de la compression, si de l'eau ou une autre matière se trouve dans le manchon, elle n'aura pas la possibilité d'être évacuée au moment de l'explosion, ce qui peut réduire la résistance du joint. La mise à feu est faite en utilisant une mèche de sûreté qui alloue 2 minutes 20 secondes au personnel pour se retirer à une distance de 60 mètres du point d'impact afin de se protéger du bruit de 140 db produit par l'explosion.

Après l'explosion, on obtient un beau joint droit, cylindrique, lisse, légèrement annelé en surface, éliminant ainsi le limage ou le polissage requis normalement avec les manchons comprimés.

La mise à feu simultanée de plusieurs manchons est possible en les reliant ensemble au moyen d'un cordeau détonnant qui est initié de la même façon qu'un manchon unique. Les manchons doivent alors être supportés comme précédemment et espacés d'environ 3 m les uns des autres.

Le manchon implosif s'allonge très peu lors de l'explosion, ce qui élimine le problème de gonflement des brins d'aluminium (déformation en panier) aux extrémités du manchon, comme cela peut se produire pour les manchons comprimés. De plus, sa longueur réduite, environ 680 mm comparée aux 959 mm après compression pour le manchon comprimé, en facilite le passage dans les poulies de déroulage et réduit le problème de courbure des manchons.

HISTORIQUE DES MANCHONS IMPLOSIFS

Le manchon implosif a été conçu vers 1965 en Norvège. Son utilisation à commencée en 1968 sur des lignes à 380 kV en Norvège. En 1977, plus de 100 000 de ces joints avaient déjà été installés dans les pays scandinaves et avaient remplacé les joints compression conventionnels.

C'est vers 1972 que des manchons de jonction et d'arrêt de conducteur alu-acier furent proposés à Hydro-Québec. Des essais menés à l'IREQ démontrèrent que les manchons implosifs étaient mécaniquement au moins aussi bon que les manchons conventionnels. De plus, des examens radiographiques et des coupes de manchons permirent d'affirmer que les contacts manchon-brins d'aluminium ainsi que brins sur brins d'aluminium, étaient meilleurs avec les manchons implosifs. En effet, presque aucun vide ne subsiste dans le manchon après l'implosion, les brins d'aluminium étant même déformés par la pression.

En 1974, une centaine (100) de manchons furent installés sur la section Jacques-Cartier - Duvernay des lignes à 735 kV du réseau Manicouagan - Churchill. Cette expérience donna des résultats très positifs, dont une réduction importante du temps de pose, ce qui a entraîné une très bonne perception par les entrepreneurs.

D'autres essais effectués à cette époque démontrèrent que le manchon implosif produit moins d'effet couronne dû à sa forme plus régulière et que son comportement électrique est bien meilleur que celui du manchon conventionnel.

En 1979, un manque passager de presses de 135 t métriques requisent pour un manchon particulier de câble de garde, incita Hydro-Québec à recourir aux manchons implosifs. À cette époque, une firme Canadienne venait de s'introduire dans ce marché en fournissant le cordeau détonnant par l'intermédiaire d'une filiale Québécoise. Cette firme développa un manchon d'ancrage excellent qui fut installé sur différentes sections de la deuxième ligne Baie-James.

Au début de l'année 1980, deux types de manchons implosifs pouvant s'adapter au conducteur BERSFORT furent proposés par la compagnie canadienne; le premier, dénommé "MARK-II" était plutôt du type courant et ressemblait à ceux que la compagnie norvégienne utilisait largement dans les pays scandinaves et au Japon; le deuxième type, dénommé "MARK-III" ressemblait au premier, sauf en ce qui traitait de l'intérieur du manchon d'acier; en effet, pour améliorer la prise du manchon sur le conducteur, des rainures hélicoïdales agissant comme un ressort, avaient été prévues à l'intérieur de l'âme d'acier; sous l'effet de l'implosion, un serrage très efficace des conducteurs était ainsi assuré.

Suite à l'intérêt particulier que soulevait la fabrication au Québec de manchons implosifs ainsi qu'à la satisfaction qu'avait donné il y a quelques années la mise en place des manchons implosifs sur des tronçons de la deuxième ligne Jacques-Cartier - Duvernay, il fut décidé, en mai 1980, d'utiliser des manchons Mark II sur une section importante de ligne à 735 kV. Ce projet allait permettre de procéder à une véritable étude économique où les manchons conventionnels pourraient être comparés aux implosifs.

La section La Vérendrye - St-Michel-des-Saints de la troisième ligne Baie-James, fut choisie pour l'implantation des manchons implosifs, et la section de ligne adjacente, comme ligne de comparaison avec manchons conventionnels. Les deux sections de ligne ont été construites par le même entrepreneur et les mêmes équipes de travail ce qui permet une comparaison fiable des résultats.

Bien que des manchons implosifs aient été utilisés à la fois pour les câbles de garde et les conducteurs, notre étude n'a portée que sur les conducteurs car l'intérêt pour les manchons implosifs ainsi que l'impact sur la vitesse de l'ensemble de l'opération de pose des câbles, y apparaissait le plus significatif.

Cette étude nous a permis d'abord de constater que les équipes de travail n'étaient pas affectées de façon évidente par l'utilisation de manchons implosifs que ce soit pour la fabrication des manchons de jonction, d'arrêt ou de bornes de cavaliers.

Les observations faites ont confirmées la réduction importante du temps d'installation qui passe de 16 minutes/manchon comprimé de jonction (ou 64 minutes par faisceau de quatre) à 10 minutes/manchon implosif (ou 40 minutes par faisceau). L'économie totale de construction a été établie à 383,60\$/km, ce qui ne compense pas le coût supérieur d'achat qui est de 870,42\$/km plus élevé pour les manchons implosifs. On doit remarquer que lors de cette étude, les manchons étaient mis à feu séparément et qu'une économie de temps additionnelle est réalisable avec la mise à feu simultanée des quatre manchons du faisceau.

En 1983, lors des soumissions pour la fourniture des manchons de la 5^{ème} ligne Baie-James, il a été décidé d'utiliser les manchons implosifs type III malgré leur coût plus élevé. Leur utilisation sur 455 km de cette ligne entre Lemoyne et Chibougamau est encore une fois justifiée par le désir d'évaluer plus précisément l'économie dans le coût d'installation, ainsi que les avantages et inconvénients de ce produit. La 5^{ème} ligne permettra d'expérimenter la mise à feu simultanée de quatre manchons, ce qui réduira l'écart entre les coûts d'achat et d'installation des manchons implosifs par rapport aux manchons conventionnels. Après ce test qui implique quatre contrats et trois entrepreneurs différents, une décision définitive devra être prise sur leur utilisation ultérieure.

CONCLUSION

Les manchons implosifs ont démontré un excellent comportement mécanique et électrique ainsi qu'une grande facilité et rapidité d'installation. Toutes leurs caractéristiques sont égales ou supérieures aux manchons conventionnels et leur installation est plus facile surtout dans les conditions de froid intense ou pour l'installation dans les airs.

Leur coût d'achat élevé est actuellement le principal handicap à leur utilisation à grande échelle sur le réseau transport d'Hydro-Québec.