

AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES LIGNES HAUTE TENSION EXISTANTES PAR L'UTILISATION DE CONDUCTEURS ET CÂBLES DE GARDE CLOS

P. COUNESON* J. LAMSOU
D. DELPLANQUE
Tractebel

Th. CAPELLE M. HAVAUX
D. GUERY
Alcatel Cable Benelux

X. DELREE
CPTE

(Belgique)

RÉSUMÉ

Face à la réticence croissante de la population et des administrations responsables de l'aménagement du territoire à l'égard de la construction de nouvelles lignes à haute tension, les sociétés belges chargées du transport d'énergie électrique à haute tension ont réévalué les techniques disponibles pour faire face aux besoins croissants de transit sur le réseau.

L'augmentation de la capacité de transport des lignes existantes à l'aide d'un nouveau type de conducteur clos – dénommé AERO-Z[®] – s'est révélée une voie particulièrement intéressante tant au point de vue technique qu'économique.

Après un bref rappel de l'origine des conducteurs clos, ce rapport détaille l'application de cette technique aux conducteurs de phase et aux câbles de garde à fibres optiques (OPGW) :

- 1) *Conducteur clos*
 - . *raison fondamentale d'une utilisation accrue des conducteurs clos*
 - . *caractéristiques importantes et essais*
 - . *utilisation des conducteurs clos en Belgique*
- 2) *Câbles de garde à fibres optiques*
 - . *problématique des câbles aériens à fibres optiques*
 - . *conception des câbles*
 - . *essais réalisés, méthodologie des mesures et comparaison entre le câble OPGW à fils ronds et le câble OPGW à fils Z*

Mots clefs : *conducteur, OPGW, clos, fils Z, corrosion, auto-amortissement, galop, neige, givre, câble aérien, fibres optiques.*

I. PREMIÈRE PARTIE : CONDUCTEURS CLOS

1. ORIGINE DES CONDUCTEURS CLOS

Lors de la session 76 de la CIGRE, la Belgique présentait un rapport relatif aux caractéristiques aérodynamiques de nouveaux conducteurs pour grandes portées aériennes [1].

Ce rapport décrivait une première ligne aérienne à haute tension ayant de grandes portées (traversée de l'Escaut), équipée de conducteurs homogènes en alliage d'aluminium à surface externe lisse.

L'emploi d'un tel conducteur avait été choisi en raison du risque d'instabilité oscillatoire des conducteurs classiques pour des vitesses constantes de vents obliques allant de 45 à 56 km/heure. Ce risque de galop en l'absence de givre constituait un souci majeur pour les concepteurs [2].

Le rapport évoqué détaillait les raisons du choix du conducteur à surface externe lisse construit à partir de fils en forme de Z (voir figure 1). Rappelons succinctement que le fil Z a été préféré au fil de forme trapézoïdale car le câblage de tels fils en alliage d'aluminium conduit à une succession de petits gradins à la périphérie du conducteur. De plus, comme les fils trapèzes ne sont pas toujours parfaitement jointifs, les vibrations éoliennes peuvent augmenter l'inclinaison de ces fils et par conséquent la hauteur des gradins.

En outre, en cas de rupture d'un fil trapèze, sa forme en "coin" le chasse hors du conducteur. A l'inverse, le câblage des fils Z les imbriquent les uns dans les autres, le dessous d'un fil se plaçant sous le dessus du fil voisin.

* Avenue Ariane 7, B-1200 Bruxelles

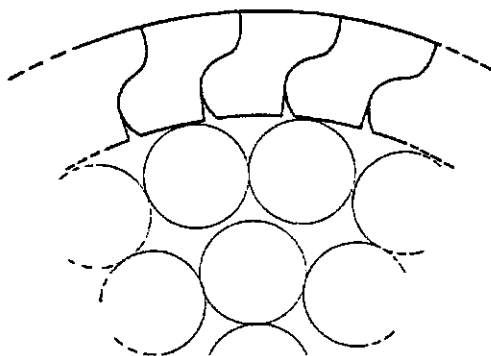


Figure 1. Secteur d'une section de conducteur clos

Toutefois, si l'aspect technique des profils Z suscitait dès l'abord l'intérêt des utilisateurs, le succès commercial s'avérait moins évident car les opérations de laminage des fils Z étaient onéreuses.

Des recherches importantes furent réalisées pour rendre ce type de conducteur concurrentiel par rapport aux conducteurs traditionnels.

Ce but a pu être atteint grâce à la réalisation de ces fils Z à partir d'un procédé de tréfilage et non plus de laminage.

2. RAISON FONDAMENTALE D'UNE UTILISATION ACCRUE DES CONDUCTEURS CLOS

Depuis la fin des années 80, la construction de nouvelles lignes à haute tension s'est heurtée à la résistance croissante de la population et des administrations responsables de l'aménagement du territoire. Cette situation a conduit les sociétés belges chargées du transport de l'énergie électrique à haute tension à réévaluer les techniques disponibles pour faire face aux besoins croissants de capacités de transit sur le réseau.

Au lieu d'envisager systématiquement la construction de nouvelles lignes, l'augmentation des capacités de transit des lignes existantes s'est révélée une voie particulièrement intéressante tant aux points de vue technique qu'économique.

Pour y parvenir, un nouveau type de conducteur clos - dénommé AERO-Z[®] - a été mis au point. S'il utilise toujours, pour la ou les couche(s) externe(s), des brins profilés en Z au lieu des brins circulaires classiques, la dernière couche, quasi lisse, présente des petites rainures hélicoïdales pratiquées entre les bords supérieurs des fils "Z" de pas, de profondeur et de largeur judicieusement choisis. Des essais ont été réalisés avec l'Institut Von Karman (Bruxelles) [3]. Ils ont porté principalement sur l'optimisation des effets des rainures (voir figure 2).

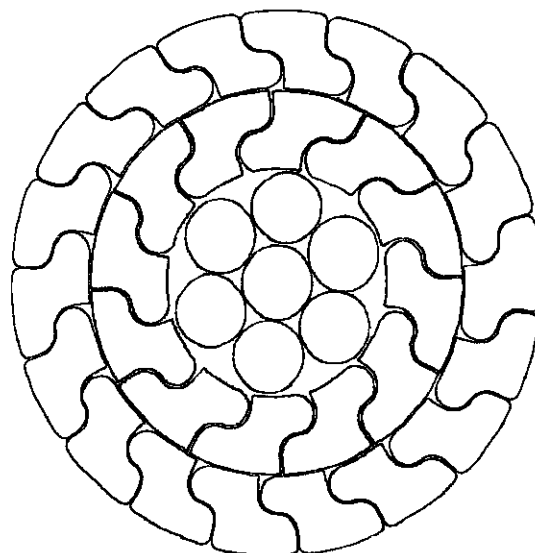


Figure 2. Coupe d'un conducteur AERO-Z[®]

De cette manière, on obtient une réduction sensible du coefficient de traînée pour les plus grands vents (voir tableau 1). Cette réduction induit une sollicitation moindre des pylônes à diamètre de conducteur égal ou une section conductrice plus grande à sollicitation égale des pylônes pour vent maximum exceptionnel.

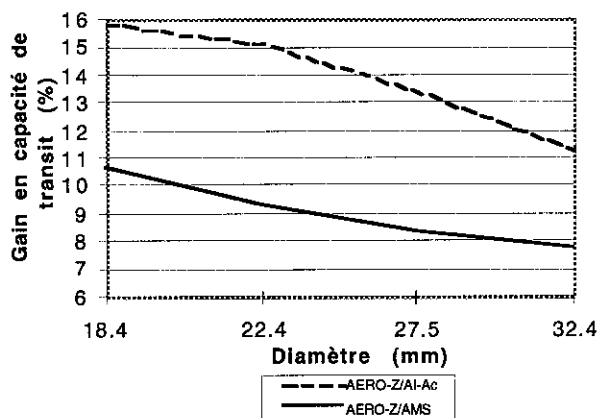
Ces caractéristiques ont été entérinées par le Règlement belge des installations électriques [4].

Tableau 1. Coefficient de traînée par classe de diamètre pour un vent maximum exceptionnel (175 km/h à 10 m du sol)

Diamètre nominal du conducteur (mm)	18,90 ≤ d < 28,35	28,35 ≤ d < 31,50	31,50 ≤ d < 36,85	36,85 ≤ d < 50
Section nominale (mm ²)	245 ≤ S < 536	536 ≤ S < 621	621 ≤ S < 926	926 ≤ S
Coefficient de traînée max. pour conducteur AERO-Z [®]	0,80	0,60	0,55	0,46
Coefficient de traînée max. pour conducteur à brins ronds	0,95	0,95	0,95	0,95

Il s'ensuit dès lors une augmentation (voir figure 3) de la capacité de transit des lignes existantes déjà par simple substitution des conducteurs à diamètre égal c'est-à-dire sans qu'il faille renforcer les pylônes (en toute rigueur il faut cependant contrôler sur les pylônes d'angle l'impact de l'augmentation de la tension de pose, elle-même due à l'augmentation de poids si on veut travailler à flèche constante). Si une augmentation de transit plus importante est nécessaire, le fait d'utiliser des conducteurs clos réduit de toute façon les renforcements des pylônes et des fondations par rapport à ce qu'ils auraient été avec des conducteurs conventionnels.

Figure 3. Gain en capacité de transit pour un conducteur AERO-Z® par rapport à des conducteurs conventionnels en alliage d'aluminium (AMS) et en aluminium-acier (Al-Ac)



En dehors d'un gain significatif en capacité de transit à sollicitations égales du pylône, ce type de conducteur présente d'autres avantages importants qui en justifient une utilisation plus systématique. Ces caractéristiques et les essais qui les ont confirmées, sont détaillés ci-après.

3. CARACTÉRISTIQUES IMPORTANTES ET ESSAIS

En plus des essais classiques prescrits par la norme belge NBN C34-100 [5] relative au conducteurs aériens, les essais spécifiques aux conducteurs clos décrits ci-après ont été définis et mis en oeuvre avec succès.

3.1. Corrosion

La grande surface de contact entre deux fils Z d'une même couche constitue une protection efficace contre le suintement de la graisse vers l'extérieur du conducteur. Lors de la fabrication, tous les interstices internes du conducteur sont remplis d'une graisse placée à ± 120 °C, éliminant ainsi l'air et l'humidité. La protection interne est donc renforcée par rapport aux conducteurs traditionnels qui sont sujets à une migration de la graisse de protection vers l'extérieur du fait des cycles de charge.

Le câble clos, par contre, maintient un niveau constant de la protection contre la corrosion et garantit un vieillissement moindre des fils au cours du temps.

Ce fait a été démontré par les mesures effectuées sur des conducteurs classiques et clos (une couche Z) posés en 1970 sur une même ligne (Lillo - Solvay) et retirés en 1988 suite à une modification du tracé (tableau 2).

3.2. Indétoronnabilité

Même rompu, un fil d'une couche externe d'un conducteur AERO-Z® reste en place sous la tension mécanique de service. Cette propriété est conservée jusqu'à cinq fils jointifs rompus.

Tableau 2. Mesures effectuées sur des conducteurs classiques et clos (une couche Z) posés en 1970 et retirés en 1988

	Variation du poids de graisse	Variation de tension de rupture des fils		Variation d'allongement moyen à la rupture	
		Couches internes	Couches externes	Couches internes	Couches externes
Classiques	- 28 %	inchangé	- 5 %	- 19 %	- 26 %
Clos à couche Z	inchangé	inchangé	- 5 %	- 9 %	- 2,2 %

3.3. Auto-amortissement

La grande surface de contact entre les profilés confère également au conducteur AERO-Z® un meilleur amortissement.

Plusieurs conducteurs classiques et AERO-Z® ont été soumis à des oscillations provoquées par le délestage d'un poids (25, 50 ou 75 kg) suspendu au milieu de la portée. Les enregistrements des efforts aux ancrages du pylône et de l'amplitude des oscillations, ont permis de comparer les coefficients d'auto-amortissement de ces conducteurs.

Ainsi, un conducteur constitué de 2 couches de fils Z s'auto-amortit 2 à 3 fois plus vite que le conducteur classique tant en oscillations de flexion que de torsion.

3.4. Galop

Par ailleurs le meilleur amortissement du conducteur AERO-Z® en auto-amortissement vertical et torsionnel réduit notablement les problèmes complexes de galop. La probabilité de galop est ainsi beaucoup plus faible et en cas de galop, son amplitude s'avère nettement moins importante.

Des observations sur site des comportements au galop d'AERO-Z® ont confirmé le résultat des essais réalisés en soufflerie sur le conducteur clos de la première génération [1].

3.5. Neige collante et givre

Des expériences sur sites ont montré que le conducteur AERO-Z® se comporte également mieux vis-à-vis de la neige collante et du givre. La formation de manchons est plus difficile, voire inexistante. En moyenne, le poids du manchon est 2 fois moindre pour les conditions extrêmes.

On notera de plus qu'un manchon formé se détache plus rapidement.

4. UTILISATION DES CONDUCTEURS AERO-Z® EN BELGIQUE

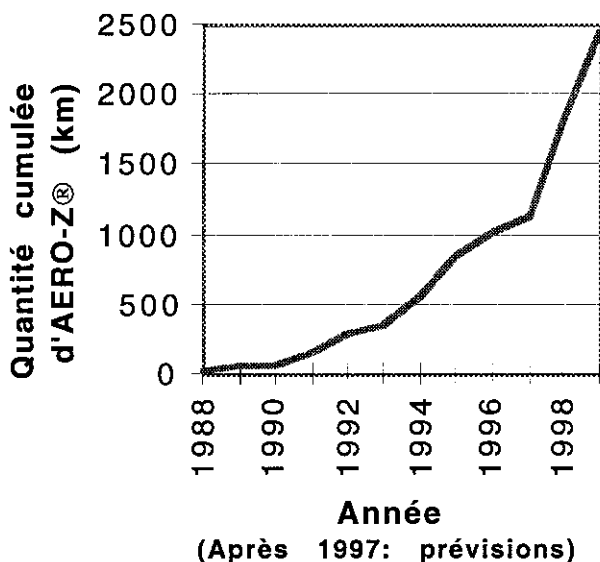
Tenant compte des caractéristiques intéressantes des conducteurs AERO-Z® et des premiers retours d'expérience positifs constatés sur les tronçons posés dans les années 1970-1980, le secteur électrique belge a décidé d'en généraliser l'usage à partir du début des années 1990.

C'est ainsi qu'en 1991 et 1992, 5 liaisons furent réalisées avec ce type de conducteur. Même si la longueur totale tirée d'AERO-Z® durant ces années ne fut que d'environ 200 km, cela représentait 60 % des longueurs mises en service durant cette période.

Fin 1997, la longueur totale installée de conducteurs AERO-Z® est de plus de 1000 km.

Pour 1999, une longueur totale d'environ 2500 km est prévue (voir figure 4).

Figure 4



II. DEUXIÈME PARTIE : CÂBLE DE GARDE À FIBRES OPTIQUES (OPGW)

1. INTRODUCTION

Pour faire face aux besoins croissants en transit d'information entre les différents points du réseau ainsi qu'à l'obligation faite aux électriciens belges d'abandonner la plage de fréquences qui leur avait été attribuée pour le réseau hertzien, le secteur électrique belge a décidé de se doter d'un nouveau réseau de télécommunication basé sur la technologie des fibres optiques.

C'est ainsi que depuis plusieurs années déjà, l'opportunité de prévoir des liaisons optiques est systématiquement examinée pour toutes les nouvelles réalisations et réhabilitation de lignes aériennes ou de câbles souterrains.

Comme une partie non négligeable de ce nouveau réseau de télécommunication utilise les lignes aériennes existantes, il a été nécessaire de concevoir un câble aérien à fibres optiques incorporées adapté à cette situation particulière.

2. PROBLÉMATIQUE DES CÂBLES AÉRIENS À FIBRES OPTIQUES

2.1. Technologie retenue

Parmi les différentes technologies disponibles permettant de placer des fibres optiques sur des lignes existantes, le secteur électrique belge a décidé d'utiliser quasi exclusivement des câbles de garde à fibres optiques intégrées (OPGW: Optical Ground Wire) tant comme câble de garde d'une nouvelle ligne qu' en remplacement de câble(s) de garde pour des lignes existantes. Ils jouent donc à la fois le rôle classique du câble de garde, et le rôle de vecteur d'informations.

Ce choix est basé sur deux critères essentiels :

- garantir la fiabilité de la fonction électrique et du vecteur d'informations;
- éviter ou réduire à un minimum l'augmentation des efforts sur le pylône et de ce fait les renforcements de ceux-ci.

2.2. Contraintes des câbles aériens à fibres optiques incorporées

Tout comme un câble de garde traditionnel, le câble OPGW doit remplir un rôle de protection vis-à-vis des conducteurs de phase et donc avoir une section conductrice suffisante pour supporter le courant de court-circuit imposé et les contraintes de foudre.

Par ailleurs, et surtout en cas de remplacement de câbles de garde sur des lignes existantes, il y a lieu de limiter le diamètre extérieur afin de répondre aux critères précédemment définis (§2.1.).

En outre, comme tout câble aérien métallique tendu entre deux pylônes, il voit son effort et son allongement constamment évoluer en fonction des conditions climatiques (température, vent, surcharge de givre). L'influence des variations de longueur du câble sur les fibres optiques doit donc être prise en considération.

Deux approches sont envisageables :

- les fibres optiques sont solidaires des éléments métalliques du câble. Dans ce cas, l'allongement du câble conduit inévitablement à un allongement des fibres optiques. Il est dès lors impératif que l'allongement du câble soit limité pour que, même dans les conditions d'utilisation les plus défavorables, l'allongement des fibres optiques reste sous une valeur acceptable;
- les fibres optiques sont complètement libres dans le câble. Le découplage est tel que dans les conditions d'utilisation les plus défavorables, les contraintes exercées sur le câble ne sollicitent pas mécaniquement les fibres optiques. De ce fait, il n'y a pas de risque de rupture à court ou moyen terme des fibres dû aux variations d'élongation du câble. Pour ce type de câble, la notion de marge d'allongement est fondamentale. Par définition, elle est la valeur maximale de l'allongement relatif du câble complet au delà de laquelle les fibres sont mises en traction. Plus cette marge est élevée, plus les fibres sont mécaniquement désolidarisées du câble.

Le choix du secteur électrique belge s'est porté finalement sur la seconde approche car, après essais, il s'est avéré possible d'avoir une marge d'allongement correspondant à plus de 60 % de la charge de rupture du câble c-à-d. une charge bien au-delà des sollicitations usuelles et exceptionnelles en exploitation.

3. CONCEPTION DES CÂBLES DE GARDE

3.1. Ame optique

L'âme optique est constituée d'un jonc central en aluminium muni de 4 encoches, chacune d'elle contenant un tube synthétique dans lequel se trouvent 12 fibres.

Les fibres optiques sont libres dans les tubes et sont câblées avec une surlongueur contrôlée. Celle-ci associée au choix judicieux du diamètre des tubes et des caractéristiques de câblage de ceux-ci (pas et rayon de l'hélice) permet de garantir qu'aucune sollicitation mécanique n'apparaîtra sur les fibres même dans l'éventualité des charges exceptionnelles rencontrées par le câble de garde lors de sa vie.

La protection des fibres optiques contre l'humidité a été envisagée sous de nombreux aspects. Sur base des informations disponibles, il a été décidé d'assurer l'étanchéité par trois composantes: le gel thixotropique enrobant les fibres optiques, le tube en polyamide et la graisse recouvrant le tube en polyamide. Cette conception apparaît comme le meilleur compromis entre la garantie que la fibre n'entre jamais en traction et sa protection contre l'humidité.

Par la suite, l'étanchéité a été à nouveau renforcée par l'utilisation de fils "Z" dans la couche extérieure de l'armure selon la technique des câbles AERO-Z[®] présentée ci-avant.

3.2. Armure

3.2.1. Nombre de couches externes de fils

La première génération de câbles de garde à fibres optiques incorporées installés sur le réseaux belge comportait une âme optique protégée par une seule couche de fils métalliques. Bien que le câble ait ainsi le plus petit diamètre, tout autre chose étant égale, deux inconvénients majeurs de cette structure se sont rapidement révélés :

- ce câble, ayant une armure constituée d'une seule couche, présente une valeur importante du couple de torsion lors du tirage. De ce fait, le déroulage nécessitait l'emploi d'un dispositif anti-rotation, ce qui rendait cette opération très délicate; des dégâts au câble ont même été causés par ce dispositif;
- des essais réalisés sur des câbles du réseau belge, corroborés par des résultats d'essais similaires faits à l'étranger ont montré que la protection de l'âme optique contre un choc de foudre est bien mieux assurée par le choix de deux couches de fils associé au respect d'un diamètre minimum du fil d'armure.

En 1995, une seconde génération de câbles de garde à fibres optiques a ainsi été développée afin de répondre aux exigences exposées ci-dessus. L'armure est cette fois constituée de deux couches de fils câblées en sens opposés.

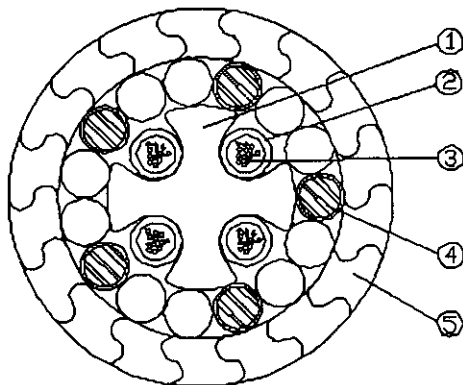
3.2.2. Composition des couches externes de fils

La seconde génération à double couche externe a connu elle-même deux développements successifs importants :

- la première génération : le câble OPGW 225/31 est constitué d'une couche externe de 21 fils ronds en alliage d'aluminium et d'une couche interne de 15 fils ronds dont 10 en alliage d'aluminium et 5 en acier recouvert d'aluminium. La marge d'allongement de cette variante a d'abord été de 0,5 %, puis de 0,7 % suite à une adaptation des caractéristiques de câblage des encoches;
- la seconde génération : le câble OPGW 253/31 développé en 1996 est constitué d'une partie optique identique à la précédente, d'une couche externe de 18 fils en alliage d'aluminium de forme Z et d'une couche interne de 15 fils ronds dont 10 en alliage d'aluminium et 5 en acier recouvert d'aluminium. Le câble AERO-Z[®] ainsi obtenu a gardé le même diamètre que le câble de la première génération afin de garder des armements identiques (figure 5).

Le fait de placer les fils d'acier dans la couche intérieure résulte des essais de foudre. Comme lors d'un coup de foudre, plusieurs brins de la couche externe peuvent être rompus, la tenue mécanique résiduelle est toujours plus élevée si les fils d'acier sont dans la couche interne, là où ils risquent moins d'être affectés.

Notons également que la composition des deux couches de l'armure métallique (fils d'acier recouvert d'aluminium à l'intérieur, fils d'alliage d'aluminium à l'extérieur) a comme conséquence que les moments de torsion des deux couches sont équivalents et que le câble ainsi obtenu est quasiment inerte.



1. Jonc rainuré en aluminium
2. Tube thermoplastique (PA)
3. Fibres optiques (4 x 12)
4. Fils en acier recouvert d'aluminium
5. Fils en alliage d'aluminium

Figure 5. Coupe d'un câble OPGW 253/31-1Z (48 fibres optiques)

3.2.3. Rôle et structure des fils d'acier

Le rôle des fils d'acier recouverts d'aluminium est de limiter l'allongement du câble pour un effort donné.

Le choix s'est porté sur des fils en acier recouvert d'aluminium plutôt que sur des fils en acier galvanisé pour deux raisons :

- garantir une meilleure tenue dans le temps contre la corrosion;
- éviter une réaction de corrosion galvanique entre le zinc et l'aluminium.

4. ESSAIS RÉALISÉS, MÉTHODOLOGIE DES MESURES ET COMPARAISON ENTRE LE CÂBLE OPGW 225/31 (TORONNE) ET LE CÂBLE OPGW 253/31-1Z (AERO-Z®)

4.1. Généralités

Les spécifications qui ont guidé les essais réalisés sur les câbles sont inspirées du projet de norme CEI 1396 [6].

Les deux essais considérés comme étant les plus critiques étaient les essais de traction-allongement et de flexions alternées (passage du câble sur des poulies). Le premier essai avait pour but d'analyser tous les phénomènes subis par le câble et surtout par les fibres optiques lors des sollicitations de traction appliquées sur le câble. Le second essai avait pour but de vérifier que le déroulage d'un câble même dans les cas les plus sévères n'affecterait pas les fibres optiques.

D'autres essais ont cependant aussi été effectués : citons notamment l'essai de foudre déjà évoqué précédemment et qui est destiné à étudier le comportement du câble lors d'un choc de foudre, les essais de tenue aux courants de court-circuit et les essais de torsion, de courbures répétées, de chocs et d'écrasement. Des essais de vibrations éoliennes et de cycles thermiques ont aussi été réalisés.

L'adéquation du câble aux accessoires et la fixation de ceux-ci aux pylônes ont été testées et validées.

Comme en Belgique, les câbles aériens sont systématiquement déroulés sous tension mécanique, les câbles OPGW 225/31 et 253/31-1Z ont aussi fait l'objet d'un essai de déroulage dans ces conditions, entre deux machines de déroulage-freinage de chantier. Ces essais avaient pour but de vérifier le caractère inerte du câble en torsion et le comportement du câble lors de la pose (formation de cages d'écureuil).

4.2. Méthodologie des mesures

De prime abord, il semblait que les fibres optiques pouvaient être parfaitement contrôlées au moyen de la réflectométrie. Ce moyen de contrôle, basé sur l'atténuation des fibres, fournit un graphique représentatif de l'état local en terme de prise d'atténuation de la fibre optique sur toute la longueur mesurée, ainsi qu'une valeur globale de l'atténuation. Cette valeur est une intégration de toutes les prises locales d'atténuation. Cette méthode de mesure présente l'avantage non négligeable qu'il suffit d'avoir accès à une seule extrémité de la fibre à contrôler et qu'elle peut mettre en évidence l'importance d'un défaut local qui crée une prise d'atténuation.

Il est cependant rapidement apparu que la réflectométrie ne suffisait pas à cerner tous les phénomènes impliqués ni à assurer que la fibre optique n'était en aucune manière soumise à des contraintes mécaniques.

Des investigations complémentaires ont ainsi montré que les contraintes agissant sur les fibres optiques ne sont pas toutes mises en évidence par la réflectométrie. En effet, ce sont essentiellement les contraintes de courbures macroscopiques et microscopiques et les microfissures dans les fibres optiques qui créent des pertes optiques détectables par le réflectomètre. Par contre, jusqu'à une certaine limite, les efforts de traction ne provoquent pas de prise d'atténuation. La réflectométrie qui ne mesure que l'atténuation ne peut donc pas mettre en évidence l'effort limite dans le câble à partir duquel les fibres optiques entrent en traction.

Pour rencontrer cet objectif, la méthode basée sur le principe de la variation de phase dans la fibre optique a été utilisée. Cette méthode repose sur la mesure très précise du chemin optique donc de la longueur de la fibre optique. En comparant le signal injecté avec celui recueilli à la sortie d'une fibre, il est possible de mesurer cette "variation de phase" et d'en déduire le début d'un allongement dû à une contrainte de traction globale. Étant donné la sensibilité de la mesure, il faut compenser l'effet de température. Il est ainsi possible de détecter des mises en traction des fibres bien avant qu'un supplément d'atténuation soit perceptible.

4.3. Comparaison des câbles OPGW 253/31-1Z (AERO-Z[®]) et OPGW 225/31 (toronné)

Les différents essais effectués sur ces deux types conduisent aux observations suivantes.

4.3.1. Étanchéité du câble

La couche externe, constituée de fils-Z imbriqués les uns dans les autres, forme une structure "tubulaire" qui joue concrètement un rôle de barrière d'étanchéité supplémentaire. Cet effet était d'ailleurs à la base du développement de ce type de câble.

4.3.2. Aspect mécanique

De par sa conception, le câble de garde AERO-Z[®] peut reprendre des efforts de traction plus importants que le câble classique avant d'atteindre la limite de sa marge d'allongement;

Le câble OPGW 253/31-1Z présente un coefficient de traînée au grand vent plus faible. Ceci réduit les efforts sur les pylônes de près de 17 % en situation de vent exceptionnel (175 km/h à 10 m du sol) par rapport aux efforts sous même vent pour le câble 225/31.

4.3.3. Aspect électrique

Électriquement, le câble AERO-Z[®] présente une section conductrice plus élevée pour un même diamètre. Par conséquent pour un même échauffement, il peut accepter un courant de court-circuit plus élevé de près de 12 %, ou encore, pour un court-circuit donné, la température du câble s'élève moins que celle du câble classique placé dans les mêmes circonstances; la réduction est de l'ordre de 15°C.

4.3.4. Autres aspects

Le câble de garde AERO-Z[®] présente comme tout conducteur AERO-Z[®] des caractéristiques intéressantes dans les domaines suivants : corrosion, indétoronabilité, auto-amortissement, comportement au galop, à la neige collante et au givre.

III. CONCLUSION

Conçu initialement pour apporter une solution aux cas des grandes traversées de fleuves, un conducteur clos a été mis au point en Belgique dès 1970.

Ce fut l'origine du conducteur AERO-Z[®] dont les caractéristiques générales et en particulier la plus grande capacité de transport et le plus faible coefficient de traînée par rapport aux conducteurs toronnés classiques ont amené le secteur électrique belge à en généraliser l'usage.

Ces mêmes caractéristiques d'ensemble ont conduit à développer également un câble de garde à fibres optiques clos.

IV. BIBLIOGRAPHIE

- [1] DRUTSKOY A. - RIEZ M. - Caractéristiques aérodynamiques de nouveaux conducteurs pour grandes portées aériennes - CIGRE 1976 - 22.06.
- [2] DAVIS D.A. - RICHARDS D.J.W. - SCRIVEN R.A. - Investigation of conductor oscillation on the 275 kV crossing over the Rivers Severn and Wye - Proceedings IEE Vol 110 n° 1, January 1963, pp. 205-218.
- [3] OLIVARI D. - HAUCHART J-L - Etude en soufflerie aérodynamique de câbles électriques à faible rugosité de surface - Institut von Karman de Dynamique des Fluides - chaussée de Waterloo, 72 B-1640 Rhode-Saint-Genèse - Belgique Réf. : EAR 8710/DO-JLM/nt.
- [4] Règlement Général sur les Installations Electriques - Arrêté Royal du 10 mars 1981 complété par l'Arrêté Ministériel du 24 juin 1992.
- [5] NBN C34-100 + addendum - Conducteurs massifs et conducteurs câblés pour lignes aériennes de transport d'énergie.
- [6] PROJET : PUBLICATION CEI 1396 - Méthodes d'essai du point de vue électrique, mécanique et physique des conducteurs de garde à fibres optiques.