

### Information technique n° 2

## Cordes PARAFIL

### Propriétés Electriques

Les propriétés électriques des cordes PARAFIL sont importantes quand on prévoit leur utilisation comme haubans isolants très résistants ou comme câbles porteurs dans des zones assujetties à des contraintes électriques très élevées.

Par exemple quand on les utilise dans des systèmes d'antennes ou comme câbles porteurs dans différents types de réseaux de transmission.

Les caractéristiques électriques spécifiques sont présentées dans le tableau suivant :

#### 1 FACTEUR DE PUISSANCE, CAPACITE, PERMITIVITE

Diamètre du câble	Epaisseur de l'Echantillon	Fréquence (MHz)	Réactance de Capacité (pF)	Permittivité	Facteur de puissance
17,0 mm	2 mm	8	1	2,89	
8,6 mm	2 mm	15	0,5	2,11	0,01/0,10
11,0 mm	2 mm	15	0,55	2,04	

Mesures prises sur échantillons sous conditions de laboratoire standard (20°C env. 50% HR) en utilisant un pont de mesure Hartshorn-Ward selon BS2782 Part 2.

#### 2 RESISTIVITE SPECIFIQUE

6 x 108 ohm/cm

Mesures prises sur échantillon de corde d'un diamètre de 20mm et d'une épaisseur de 6mm en utilisant un système d'électrode micromètre et un mégohmmètre à 500V dc. Les échantillons de la corde étaient conditionnés à 65% HR.

#### 3 RESISTANCE AUX ECLAIRS ET AU COURANT ALTERNATIF

3.1 Des cordes de diamètre 17 et 31mm étaient complètement mouillées sur leurs surfaces extérieures. La tension était appliquée à raison de 5kV RMS/sec et les tensions des décharges étaient mises en relation avec les longueurs.

Tension de la décharge kV rms	Longueur de la corde (mm)
123	650
245	1280
420	1890

Dans les essais 3.1 et 3.2 les décharges n'ont pas détérioré les cordes.

3.2 Cinq impulsions positives et cinq impulsions négatives avec une pointe de 1200 kV étaient appliquées aux câbles secs et aux câbles à surfaces extérieures mouillées. La longueur du câble était ajustée pour ne produire aucun arc ou éclair.

Câble sec	Longueur pour pas d'arc	2,2m
Câble mouillé	" " " "	5,8m

L'ondulation des impulsions employées était de 1,2/50µs selon la définition IEC (Publication IEC 60).

3.3 En utilisant un dispositif bobine TESLA le câble PARAFIL a été soumis à la sévère tension de 750kV à approximativement 100kHz. Aucun dégât ne s'est produit après 4 essais consécutifs d'une durée de 60 secondes sur câble mouillé autant que sur câble sec et de légers dégâts se produisaient seulement sur des câbles fortement pollués.

#### 4 RESISTANCE AUX DECHARGES DE SURFACE

Le matériau de la gaine résiste pendant environ deux heures avant qu'une perforation se produise après décharges continues sur la même zone dans un essai standard poussière-brouillard selon ASTM 2132. Le matériau ne garde pas de traces.

#### 5 DECHARGES CORONA

Câbles et terminaisons ont été soumis à des décharges corona d'un niveau très élevé pendant de longues périodes sans moindre dégâts sur les surfaces. Et cela même sous conditions mouillées.

Ces chiffres et observations ci-dessus ont été obtenus sous conditions de laboratoire.

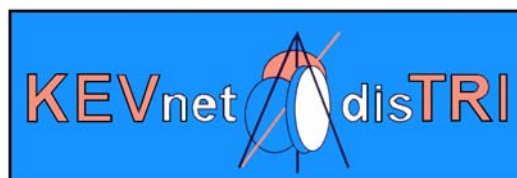
Les résultats de tests électriques peuvent être influencés par la présence d'eau. A l'intérieur du PARAFIL l'eau pourrait seulement pénétrer à travers les terminaisons, si elles n'étaient pas rendues étanches ou dans le cas invraisemblable que la gaine ait été endommagée par un maltraitement mécanique, exposant ainsi l'âme de fibre.

Même avec la présence d'eau dans le câble, aucun problème ne devrait se présenter pour les applications radio, si le hauban n'est pas exposé à un champ électrique élevé, ce qui n'est pas prévu dans les plans pour la majorité des systèmes de mâts et antennes.

Si PARAFIL était utilisé dans une zone où il pourrait être exposé à un champ électrique puissant, il est conseillé de rendre étanches les terminaisons. Voir pour les procédures recommandées information technique No3. Les techniques standards de terminaison et les propriétés mécaniques du PARAFIL se trouvent dans les Informations techniques No.3 et 1.



PARAFIL est une marque déposée de LINEAR COMPOSITES LTD.  
L'exemption des droits de brevet ne doit pas être présumée.  
*Tous les renseignements sont donnés de bonne foi mais sans garantie.*



Domaine du Jas Neuf - 22C Bld du Rigau  
83120 SAINTE-MAXIME  
Tél : 06 09 13 12 11 ou 06 15 02 37 25  
Fax 04 94 43 23 35

## Embout (Terminaisons) pour cordes PARAFIL

Les cordes PARAFIL doivent leurs propriétés uniques à leur structure de fibres essentiellement parallèles (Voir Information technique N.1) et pour profiter au maximum de ces propriétés, des embouts (Terminaisons) basés sur le principe du coin conique, ont été développés.

### 1 MATERIAUX

Les embouts standards sont construits en alliage aluminium anodisé (HE30TF) (anodisé selon BS1615,AA25) ou en acier doux galvanisé (EN8M). Pour satisfaire à des exigences spéciales, ces terminaisons peuvent aussi se faire sur demande en d'autres matériaux : p.e. Acier inoxydable (EN58J).

Le choix du matériau pour l'embout dépendra de l'environnement dans lequel il doit être utilisé et des précautions sont à prendre : p.e. des terminaisons en aluminium ne doivent jamais entrer en contact direct avec du cuivre ou des alliages de cuivre parce que, sous des conditions d'humidité permanente, la corrosion électrolytique créerait des problèmes.

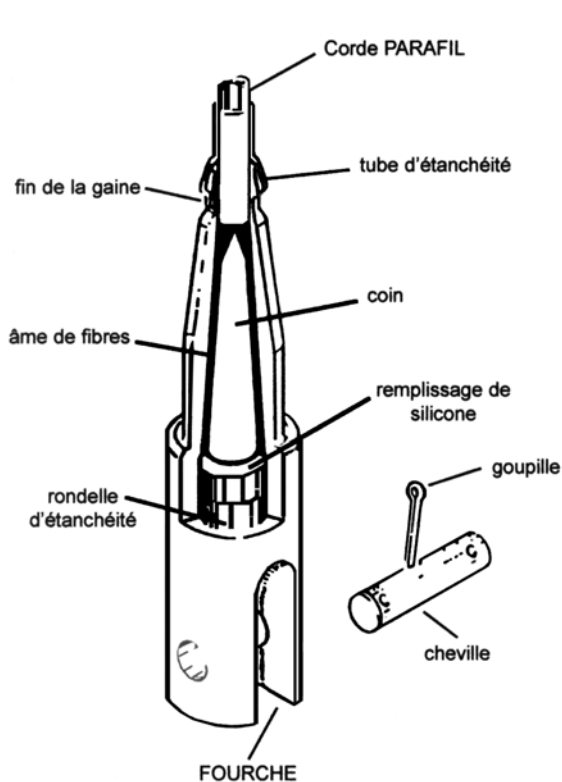


Fig. 1 : Terminaison d'une pièce

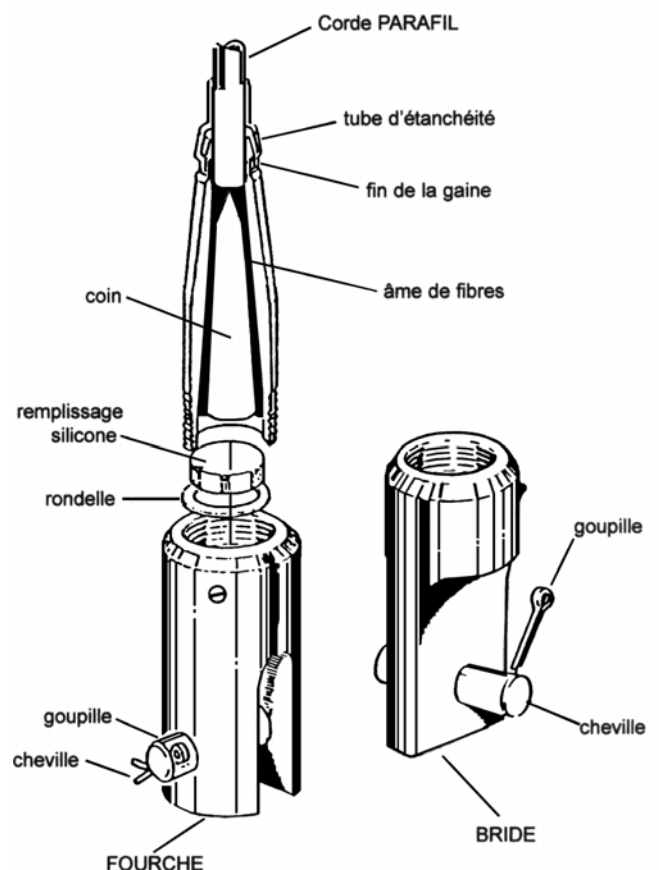
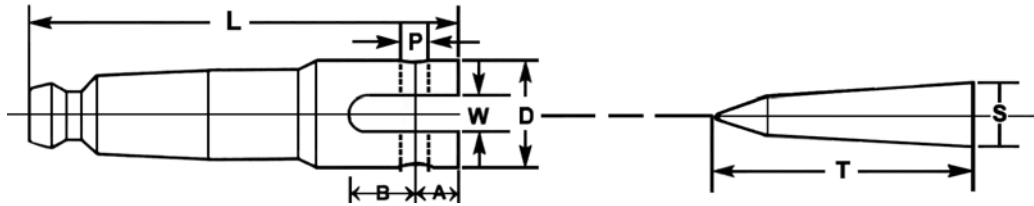


Fig. 2 : Terminaison de 2 pièces au choix : à fourche ou à bride

## 2 DIMENSIONS

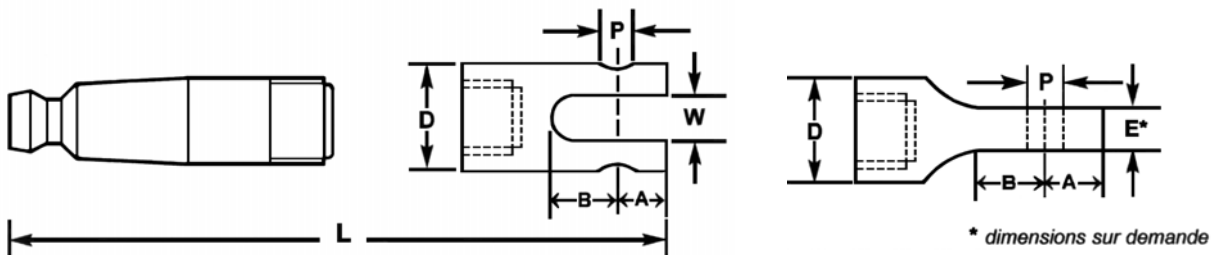
Les dimensions des terminaisons standards en alliage d'aluminium et acier doux galvanisé à chaud ou électro-galvanisé sont indiquées dans la table ci-dessous :



### DIMENSIONS TYPIQUES DES TERMINAISONS TYPE A (pour câble à fibres polyester) - 1 pièce jusqu'à 30T

Câble Tonnes	Dimensions des terminaisons						Poids approximatif de l'assemblage incl. l'étanchéité etc.	
	L mm	D(Dia) mm	P(Dia) mm	W mm	A mm	B mm	Aluminium (Kg)	Acier doux (Kg)
0.5	79	19	6.4	7	8	13	0.04	0.11
1	98	22	8.0	8	10	16	0.10	0.17
2	123	30	9.6	10	12	19	0.15	0.34
3.5	156	38	12.7	17	16	25	0.33	0.63
5.0	188	44	16.0	20	20	32	0.48	1.13
7.5	224	54	19.1	23	24	38	0.79	1.45
10	254	60	22.3	26	29	44	1.16	1.87
15	305	76	25.4	33	32	51	2.10	2.75
20	340	86	28.6	36	36	56	2.95	5.22
30	416	102	38.1	42	48	76	5.40	12.80

### DIMENSIONS TYPIQUES DES TERMINAISONS TYPE F & G (pour câble à fibres aramide) 2 pièces (sauf pour dimensions indiquées\*)



\* dimensions sur demande

Câble Tonnes	Dimensions des terminaisons						Poids approximatif de l'assemblage incl. l'étanchéité etc.	
	L mm	D(Dia) mm	P(Dia) mm	W mm	A mm	B mm	Aluminium (Kg)	Acier doux (Kg)
0.75	74	14.2	5	4.5	6.5	13	0.03	N.A.
1.5*	92	25	8	8.5	10	16	0.09	0.23
3*	132	38	12.8	17	16	25	0.25	0.57
6	168	44	16	20	20	32	0.45	1.10
10.5	225	60	22.4	26	29	44.5	1.00	2.40
15	257	76	25.5	33	32	51	1.60	4.00
22.5	305	83	28.7	36	36	56	2.40	6.10
30	371	102	38	42	48	76	4.90	12.25

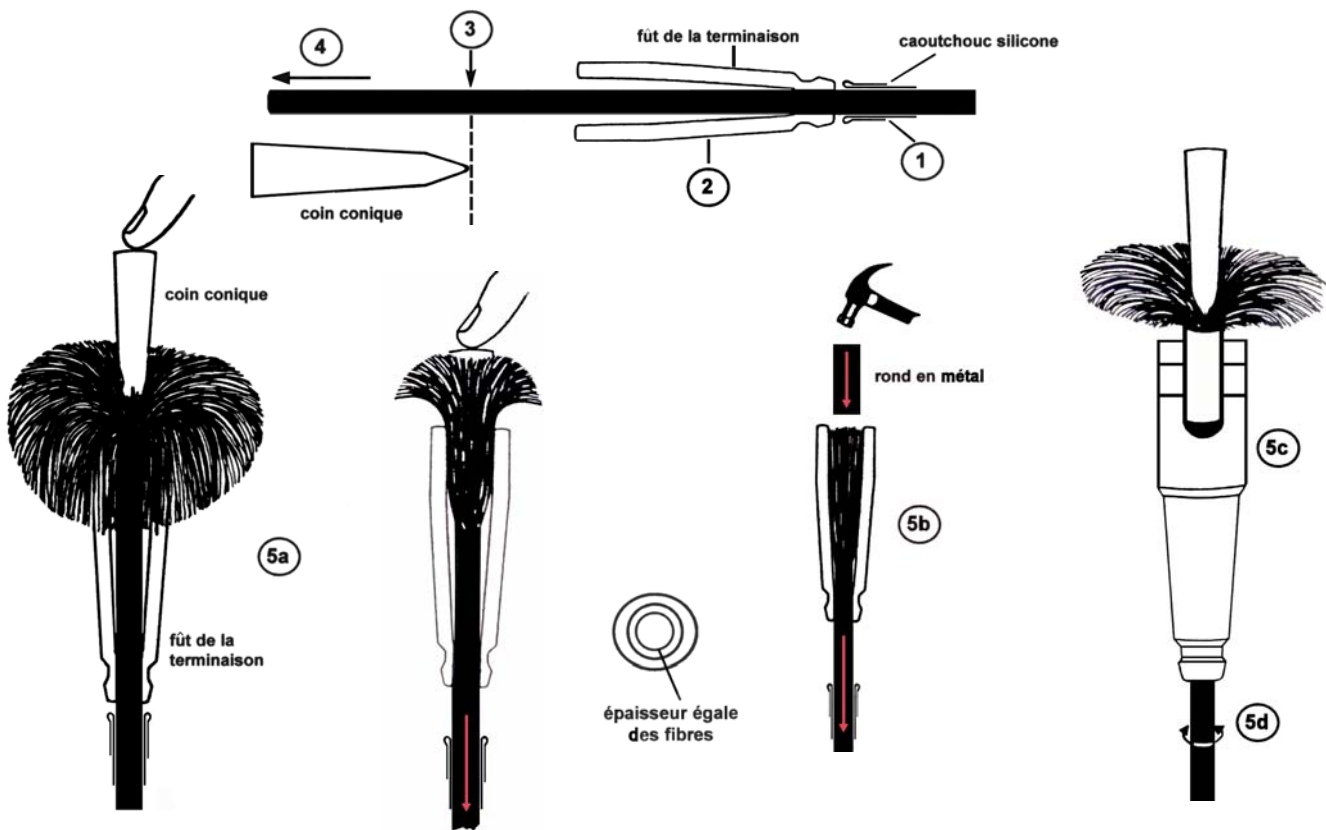
## 3 TECHNIQUES D'ETANCHEITE

Quoique la présence d'eau dans l'intérieur d'une corde PARAFIL n'a aucune influence sur les caractéristiques mécaniques, l'eau influera sur les propriétés électriques (Voir Information technique N°2). Ainsi toutes les terminaisons industrielles sont fournies avec des dispositifs d'étanchéité sur les deux bouts.

Dans des champs électriques de haute intensité les utilisateurs ont pris des précautions particulières : p.e. en obstruant l'espace entre le bout de la corde et le tampon à l'arrière par un compound flexible de silicone (p.e. Loctite Superflex ou Wacker Elastosil E-3) et en enveloppant le tube d'étanchéité à l'avant avec un ruban en silicone auto-amalgamant (p.e. Ruban Elkosil E12).

#### 4 INSTRUCTIONS DE MONTAGE

Le montage des terminaisons sur les cordes PARAFIL est une opération rapide et facile. Les instructions suivantes sont destinées à ceux qui n'ont pas l'habitude des terminaisons PARAFIL :



(1) Glissez le tube d'étanchéité avant en caoutchouc siliconé sur le bout de la corde PARAFIL à une distance du bout supérieure de 70 ou 80mm que la longueur du fût de la terminaison plus la longueur du coin conique et repliez environ 1/3 de sa longueur. L'utilisation de talc sur la corde facilitera cette opération, mais tout excédent est à enlever de la corde et de l'intérieur du terminal. Huile et graisse sont à proscrire.

(2) Glissez le corps de la terminaison sur la corde.

(3) Faites une seule coupure circonférentielle dans la gaine de la corde à une distance du bout de la corde équivalente à la longueur du cône conique. Il faut absolument éviter de couper des fibres de l'âme. Cela s'accomplit facilement en n'incisant que 90% de l'épaisseur de la gaine et en pliant la corde à l'endroit de la coupure pour séparer le reste de la gaine.

(4) Retirez la partie découpée de la gaine.

(5) a) Tenez la terminaison en position verticale et Permettez aux fibres de retomber sur le bout de la corde et de la terminaison.

(6) Glissez le tube de caoutchouc siliconé jusqu'au nez de la terminaison et dépliez le sur le bout de la terminaison.

7) Complétez l'assemblage en mettant en place les garnitures d'étanchéité.

a) Pour les terminaisons en deux pièces vissez simplement les deux parties et serrez la vis de blocage. Si une étanchéité supplémentaire était requise, remplissez le vide entre l'extrémité du coin conique et l'arrière du culot de la terminaison avec un mastic de

Tirez sur la corde vers le bas jusqu'à ce que le bout coupé de la corde soit au niveau de l'arrière de la terminaison et arrangez les fibres de façon qu'elles soient d'aplomb (pas croisées l'une sur l'autre) et régulièrement distribuées.

Posez la pointe du coin conique dans le centre du bout de la corde, appuyez doucement avec le doigt sur le coin conique. Tirez la corde vers le bas en poussant le coin en prenant la précaution que les fibres soient bien réparties autour du coin. Cela devrait produire un anneau régulier de fibres entre le fût et le coin conique.

b) Frappez légèrement, mais fermement le coin en place à l'aide par exemple d'un rond en métal, tout en tirant la corde vers le bas. Généralement une variation du son du marteau frappant la barre indique que le coin est solidement en place.

c) Pour les terminaisons en une seule pièce (Voir Fig. 1) il s'avère souvent que l'introduction d'un cylindre de papier rigide dans l'étrier d'attache de la terminaison facilite l'opération. Le papier est à enlever après l'assemblage.

#### OBSERVATIONS IMPORTANTES

Pour la majorité des besoins, p.e. pour les transports, il suffira de frapper sur le coin conique pour le mettre solidement en place. (Voir opération 5b). En appliquant une traction sur une corde PARAFIL munie d'une terminaison, le coin conique est tiré davantage dans la terminaison, ainsi, elle ne peut plus être enlevée sans couper la corde au ras du nez de la terminaison et en expulsant le coin conique avec une presse. Ainsi pour les cordes continuellement sous traction, le procédé d'assemblage décrit s'est prouvé entièrement

caoutchouc siliconé.

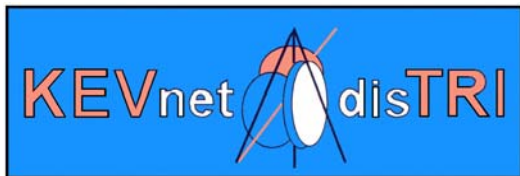
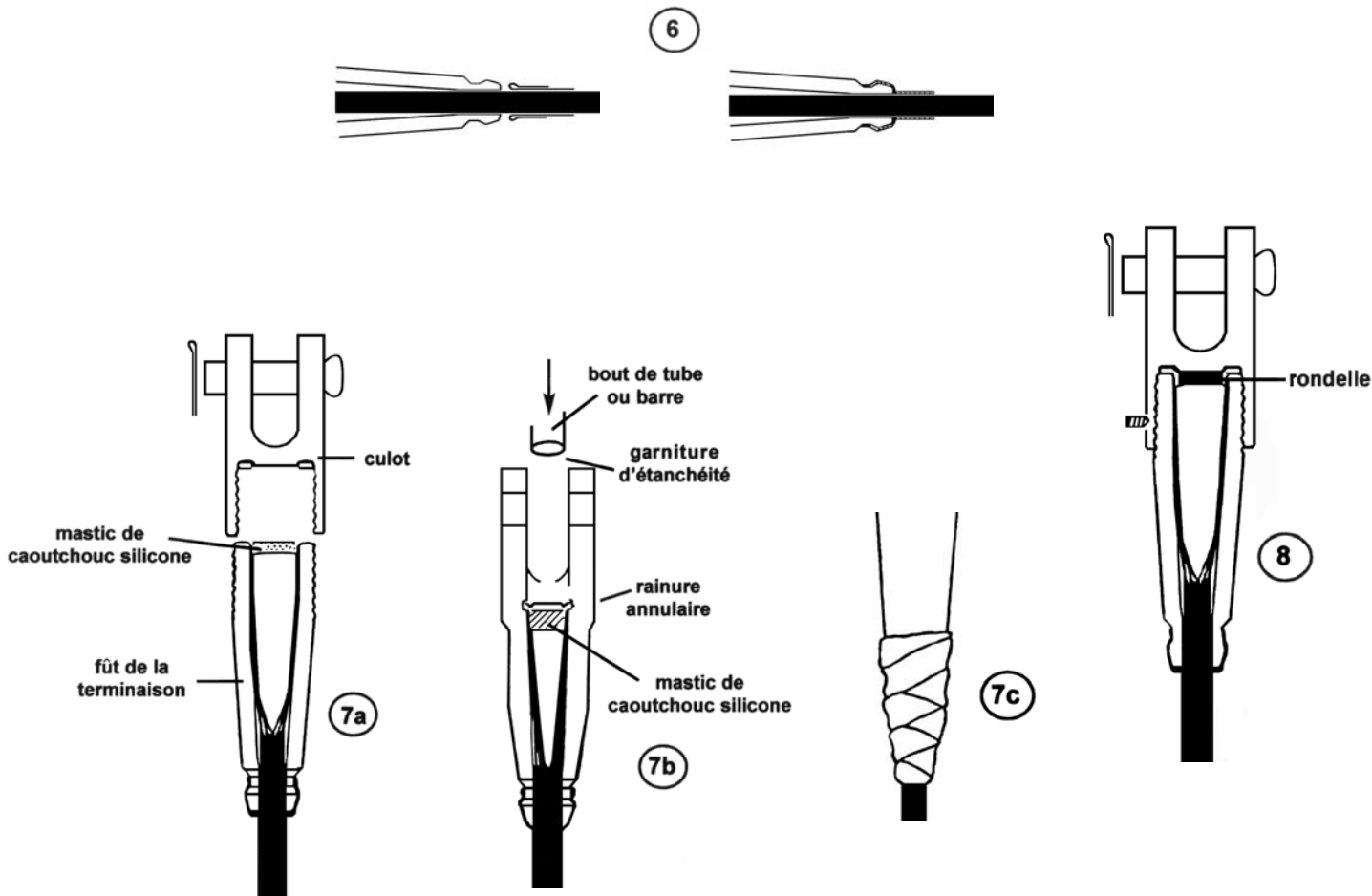
b) Pour les terminaisons en une seule pièce poussez carrément la rondelle d'étanchéité dans la rainure annulaire en vous servant d'un bout de tube ou d'une barre. (Si nécessaire complétez l'étanchéité avec un mastic de caoutchouc siliconé).

c) L'étanchéité peut être améliorée en enveloppant le nez de la terminaison avec un ruban auto-amalgament.

satisfaisant.

Cependant dans des situations où les cordes PARAFIL sont installées sans tension et peuvent donc être exposées à des vibrations ou à des charges oscillantes très faibles avant qu'elles soient soumises à des fortes tensions (ce qui peut arriver pour certains types d'amarrages) il est recommandé de les pré-étirer, avant l'utilisation jusqu'à 10 ou 20% de la charge de rupture ou encore mieux jusqu'à la charge de travail et si possible jusqu'à 60% de la charge de rupture.

Si sous certaines conditions cette pré-tension n'était pas possible certains utilisateurs ont avec succès introduit une garniture entre l'extrémité du coin conique et le culot (terminaison en deux pièces seulement) pour empêcher des mouvements du coin.



PARAFIL est une marque déposée de LINEAR COMPOSITES LTD.  
Tous les renseignements sont donnés de bonne foi mais sans garantie.  
Les droits résultant de la législation des brevets demeurent intangibles.

Domaine du Jas Neuf - 22C Bld du Rigaou  
83120 SAINTE-MAXIME  
Tél : 06 09 13 12 11 ou 06 15 02 37 25  
Fax 04 94 43 23 35



## Propriétés Physiques Fondamentales

### Type PARAFIL

Les câbles PARAFIL sont constitués d'une âme très serrée de fibres synthétiques parallèles à haute résistance enrobées dans une gaine polymère robuste et durable.

La structure des fibres parallèles assure aux câbles PARAFIL des caractéristiques d'élasticité et de résistance élevée alliées à une excellente résistance à la fatigue tension-tension et un faible fluage.

Il existe trois types standards de PARAFIL, basés sur le genre de fibre utilisé. Chaque type se présente avec un choix de trois gaines polymères différentes. Une variété ignifugée est également disponible. La gamme des produits est indiquée au Tableau 1.

TABLEAU 1  
Types PARAFIL

Fibre	Gaine			
	Polyéthylène	Polyéthylène EVA copolymère	Polyester élastomère	Ignifuge
Polyester	Type A	Type A/C	Type A/H	Type A/X
Aramide élasticité standard	Type F	Type F/C	Type F/H	Type F/X
Aramide élasticité élevée	Type G	Type G/C	Type G/H	Type G/X

La gaine de polyéthylène est la gaine généralement utilisée, elle convient parfaitement à la plupart des usages, mais la gaine copolymère de polyéthylène-EVA est plus souple. Une résistance plus élevée à la chaleur et à l'abrasion peut être obtenue avec l'élastomère polyester.

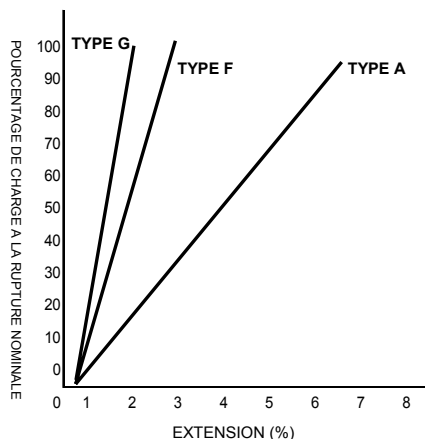
Les gammes standards de câbles PARAFIL sont indiqués aux Tableaux 2 et 3 ; d'autres tailles sont disponibles sur demande.

### 2. Propriétés mécaniques à la traction

Les courbes charge-extension sont indiquées en Fig 1, elles ont été obtenues, après précontrainte à 60% de la charge de rupture nominale puis relaxation pendant 1 heure, en utilisant une terminaison PARAFIL adaptée à chaque extrémité de la longueur d'essai.

FIGURE 1

COURBES CHARGES-EXTENSION DES PARAFIL TYPES A, F & G



Les propriétés mécaniques à la traction sont indiquées au tableau 4, basées sur la section de fibre dans l'âme.

Les propriétés mécaniques à la traction sont uniquement déterminées par le type et la quantité de fibre utilisés dans l'âme, elles sont indépendantes du type de gaines.

TABLEAU 2  
Caractéristiques fondamentales des câbles PARAFIL Type A et A/C

∅ nominal (mm)	Charge de rupture nominale avec terminaisons standards (tonnes)	∅ nominal de l'âme en fibres (mm)	Section de fibres dans l'âme (mm <sup>2</sup> )	Poids approx. dans l'air (kg/100m)	Poids estim. * dans eau de mer (âme noyée) (kg/100m)
4	0.3	3.0	5.19	1.2	-
7	0.5	3.7	7.97	3.7	0.05
8.5	1	5.3	15.94	5.4	0.2
11	2	7.5	31.88	9.4	0.5
13.5	3.5	10	55.8	14.5	2.1
17	5	12	79.7	22	2.1
20	7.5	15	119.6	30	4.6
22	10	17	159.4	37	5
27.5	15	22	239.1	56	7.5
31	20	24	318.8	73	9.3
36	30	29	478.2	99	13.4
47	50	39	797	165	25
53	60	42	956	215	32
64	100	56	1594	310	77
90	200	77	3188	622	143
99	250	86	3985	763	153
140	500	122	7970	1440	240

TABLEAU 3  
Caractéristiques fondamentales des câbles PARAFIL Type F et F/C, G et G/C (à noter que les câbles Type G ont un module d'élasticité plus élevé que celui des câbles Type F)

∅ nominal (mm)	Charge de rupture nominale avec terminaisons standards (tonnes)	∅ nominal de l'âme en fibres (mm)	Section de fibres dans l'âme (mm <sup>2</sup> )	Poids approx. dans l'air (kg/100m)	Poids estim. * dans eau de mer (âme noyée) (kg/100m)
4	0.75	3.0	4.8	1.2	-
7	1.5	4	7.64	3.7	0.13
8.5	3	5.4	15.28	5.4	0.34
11	6	7.6	30.55	9.1	0.8
13.5	10.5	10	53.47	14.9	2.6
17	15	12.5	76.38	21.5	3.7
20	22.5	15	114.6	30	5.8
22	30	17	152.8	37	7.2
27.5	45	21.5	266.8	60	7.5
31	60	24	305.5	72	8.2
36	90	29	458.3	100	16.0
47	150	39	763.8	170	29
53	180	43	916.5	220	38
85	460	68.5	2343	545	90
120	1000	101	5093	1088	175
144	1500	124	7640	1570	270

NOTA : \*Etant donné que les câbles PARAFIL sont constitués d'une âme très serrée de filaments cylindriques, il y a toujours un espace d'air s'élevant à 25-30% de la superficie de l'âme. S'ils sont rendus étanches pour empêcher la pénétration de l'eau, les câbles flotteront. Si on leur permet de devenir complètement saturés, les câbles auront ce poids en eau de mer.

TABLEAU 4  
Effort de tension et module d'élasticité

Câble	Effort limite de tension	Module d'élasticité (Young)
Type A	6.300 kg/cm <sup>2</sup> 0.6 kN/mm <sup>2</sup>	100.000 Kg/cm <sup>2</sup> 9.8 kN/mm <sup>2</sup>
Type F	19.600 kg/cm <sup>2</sup> 1.9 kN/mm <sup>2</sup>	793.000 Kg/cm <sup>2</sup> 77.7 kN/mm <sup>2</sup>
Type G	19.600 kg/cm <sup>2</sup> 1.9 kN/mm <sup>2</sup>	1.290.000 Kg/cm <sup>2</sup> 126.5 kN/mm <sup>2</sup>

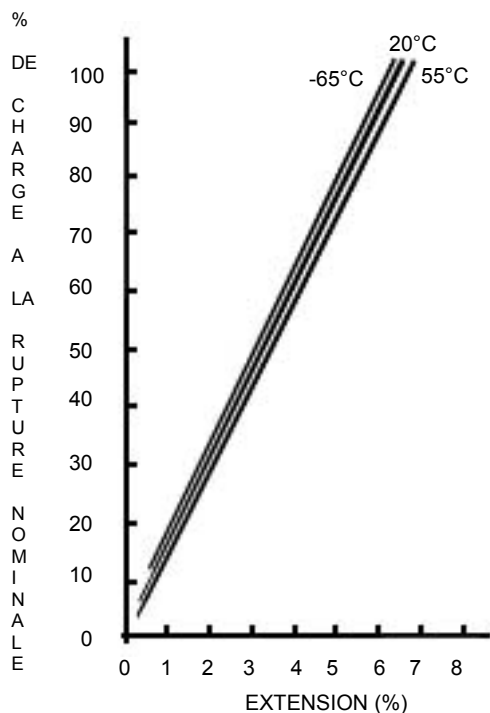
NOTA : Tous les câbles 'A' ont la même âme, ils sont par conséquent dotés des mêmes propriétés mécaniques à la traction. Ceci s'applique également aux séries de câbles 'F' et 'G'.

### 3 Effet de température

Les fibres en polyester fondent à environ 260 C. Les fibres en aramide ne fondent pas mais se décomposent aux alentours de 460 C. Il est important de faire la distinction entre (1) l'effet d'exposer la fibre à des températures élevées et les essais effectués à cette température, et (2) l'effet d'exposer la fibre à des températures élevées pendant une certaine durée mais avec les essais effectués à des températures normales.

Des câbles PARAFIL basés sur des fibres en aramide ont été testés à des températures situées entre -40 C et +80 C, aucun changement n'a été détecté dans les propriétés. De plus, les fibres en aramide exposées pendant de longues durées à une température de 150C n'ont révélé aucun changement de résistance résiduelle, lorsque testées à des températures normales. Les fibres en aramide indiquent une perte de résistance de 5% seulement, après 20 heures d'exposition à 200 C, lorsque testées à des températures normales.

FIGURE 2  
COURBES CHARGE-EXTENSION DU PARAFIL TYPE A  
A DIFFERENTES TEMPERATURES



La charge à la rupture du PARAFIL basé sur le polyester n'a pratiquement pas été affectée lorsque des essais ont été effectués à des températures situées entre -65 C et +55 C, mais de légers changements ont été constatés dans l'extension, comme indiqué en Figure 2. Les fibres de polyester ne sont pas affectées par de longues expositions à des températures jusqu'à 80-100 C, mais elles présentent une petite réduction de résistance lorsqu'elles sont testées à ces températures.

Si les câbles PARAFIL doivent être utilisés à des températures supérieures à 80 C environ, pendant de longues périodes, il est recommandé d'utiliser une gaine élastomère polyester.



### 4 Résistance au feu

Exposés à une flamme, les câbles PARAFIL Type A (A/C et A/H) brûleront. Toutefois, les matières de gainage peuvent être ignifugées, si nécessaire (voir Notice technique séparée).

Les fibres en aramide ne brûlent pas mais se décomposent aux alentours de 460 C. Une gaine ignifugée peut également être fournie comme pour le câble PARAFIL Type A.

### 5 Résistance aux effets d'environnement

#### 5.1 Résistance à la corrosion

L'aptitude d'un câble à résister à la détérioration sur une longue durée d'exposition continue à l'environnement est d'importance primordiale. Tenant compte de ce critère, les câbles PARAFIL ont été développés à partir de matières qui non seulement possèdent une grande résistance mécanique mais sont aussi extrêmement inertes chimiquement. Par exemple les composants de l'âme et de la gaine utilisés dans les câbles PARAFIL présentent une résistance exceptionnelle à l'action corrosive de l'eau salée, à la plupart des sels inorganiques et des acides, et à de nombreux solvants organiques.

Exemple: L'examen de câbles Type A d'amarrage en eau de mer retirés après 10 ans a indiqué que les câbles étaient propres et en bon état. Les essais de traction à la fois du câble et des fibres d'âme individuelles n'ont révélé aucune réduction importante de la résistance.

La résistance à l'attaque biologique marine est extrêmement élevée et la gaine lisse empêche l'accumulation de toute salissure marine.

#### 5.2 Résistance à la lumière solaire

Le polyéthylène noir et les copolymères de polyéthylène utilisés pour le gainage des câbles PARAFIL sont spécialement formulés pour fournir une résistance maximale à la dégradation aux rayons ultra-violet. Par exemple, l'exposition des composants de polyéthylène noir au soleil de la Floride pendant 20 ans n'a causé ni dégradation ni fragilisation de grande portée.

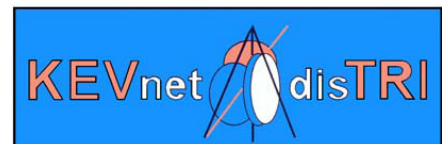
#### 5.3 Givrage

L'adhérence est très pauvre entre la glace et la surface lisse hydrofuge des câbles PARAFIL. Ceci a été nettement démontré par les essais effectués dans la chambre fonctionnelle de la British Aircraft Corporation.

Les expériences conduites sur des bateaux de pêche dans les eaux islandaises ont démontré que les haubans de mâts en PARAFIL réussissaient à se libérer de la glace, aidés par les vibrations du bateau qui étaient transmises par les cordages.

### 6 Chargement à vitesse élevée

Les câbles PARAFIL Type A ont été soumis à des essais en laboratoire, dans des conditions de chargement à vitesse élevée, par les National Engineering Laboratories au Royaume-Uni. A une vitesse de chargement de 15.2 m/s (50 ft/s) sur un échantillon de 6 m (20 ft) de long, on a enregistré des charges à la rupture de 10-15% inférieures à la valeur nominale. L'énergie absorbée mesurée était de 2000 joules (1500 ft.lbf) par tonne de charge à la rupture (nota: pour une longueur de 6 m).



Domaine du Jas Neuf – 22C Blvd du Rigaou  
83120 SAINTE-MAXIME  
Tel : 06 09 13 12 11 ou 06 15 02 37 25  
Fax : 04 94 43 23 35



## Propriétés à long terme

### ELEMENTS DE BASE

Pour certaines applications, particulièrement dans le génie civil et la construction où la durée de vie calculée est normalement de 100 ans approximativement, il est nécessaire de connaître le comportement des matériaux soumis à une charge pendant de longues périodes.

Cette fiche expose dans les grandes lignes le travail qui a été exécuté ou est toujours en cours, dans certains cas.

### FLUAGE

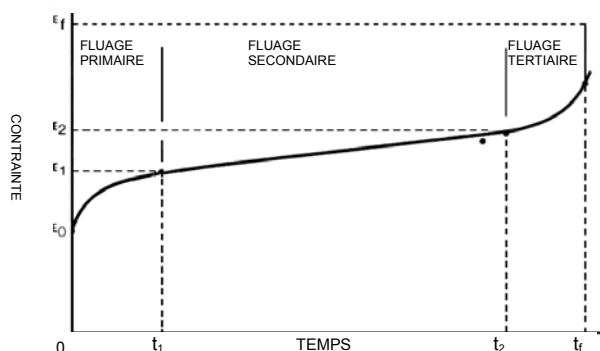
#### 2.1 Généralités

Le fluage est l'allongement continu que subit un matériau soumis à une charge. Tous les matériaux subissent plus ou moins le fluage. Les fibres synthétiques modernes haut module ont un degré de fluage relativement faible.

Pour les essais de fluage et de relaxation présentés dans cette brochure, les câbles PARAFIL avaient été précontraints à 60% de la charge nominale de rupture (CRN) puis laissés se relaxer pendant une heure, avant de commencer les essais. Cette procédure aide à démontrer l'absence de toute désorientation résiduelle des fibres causées par le bobinage.

La forme générale de la courbe de fluage est indiquée en Figure 1. Cette courbe est caractéristique de la plupart des fibres synthétiques.

Figure 1  
COURBE DE FLUAGE CARACTERISTIQUE



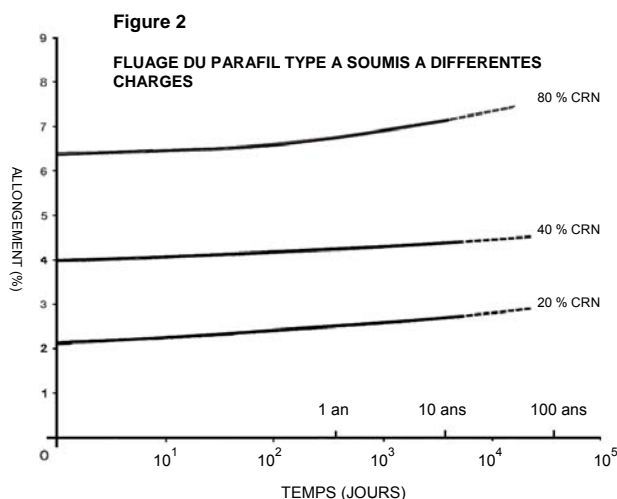
De manière typique, la période 0-t<sub>1</sub> est mesurée en mn/heures, la période t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub> en années (en assumant que les charges qui sont normalement utilisées, disons 20 à 60% de la charge nominale de rupture (CRN) et la période t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub> en jours.

La période t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub> des câbles PARAFIL reste toujours à déterminer étant donné qu'il ne s'est pas encore produit de défaillance pendant les essais avec des charges variant de 20 à 80% de CRN.

#### 2.2 PARAFIL Type A (polyester)

La Fig.2 indique le comportement au fluage, commençant 24 heures après l'application de la charge, des câbles PARAFIL Type A à 20%, 40% et 80% de la charge de rupture nominale. Le fluage enregistré dans les premières 24 heures est le suivant :

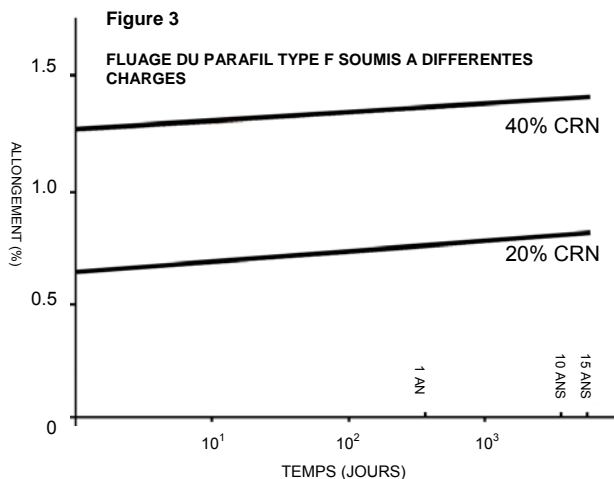
0,69 à 20% CRN  
0,41 à 40% CRN



#### 2.3 PARAFIL Type F (Aramide module standard)

La Fig.3 indique le comportement au fluage des câbles PARAFIL Type F. Le fluage est beaucoup plus faible que celui du PARAFIL Type A. Le fluage enregistré dans les premières 24 heures est le suivant :

0,09 à 20% CRN  
0,09 à 40% CRN



## 2.4 PARAFIL Type G (Aramide haut-module)

Les mesures effectuées sur les fibres aramide haut module ont indiqué une valeur de fluage de 40% seulement de celle des fibres Aramide module standard.

Les mesures relevées sur PARAFIL Type G ont indiqué :

$$\varnothing_t = (0,012 \pm 0,003) \log_{10} t \quad (\text{Réf. 1})$$

où  $\varnothing_t$  est le coefficient de fluage défini comme

$$\varnothing_t = \frac{\epsilon_C(t)}{\epsilon_0}$$

où  $\epsilon_C(t)$  = déformation par fluage au temps t

et  $\epsilon_0$  = déformation initiale

t est exprimé en secondes.

Les observations provenant du travail à charge de rupture et de l'analyse des données de fluage indiquent que le type G comporte une déformation par fluage limitée entre 0,10 et 0,12 %, indépendamment de la contrainte initiale.

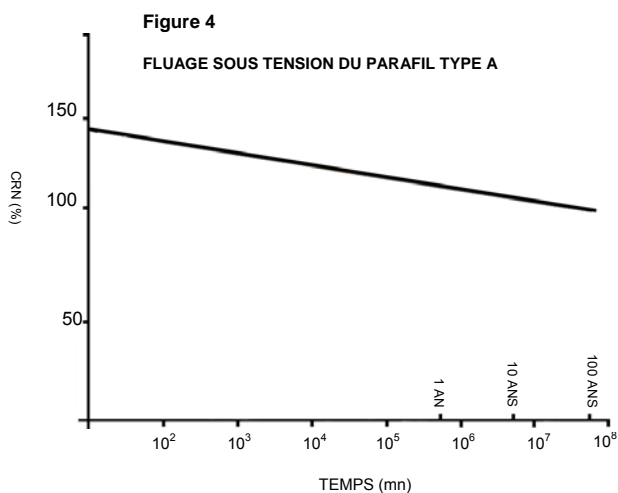
Réf. 1 : "comportement au fluage d'un câble aramide à fibres parallèles". C.J. BURGOYNE et G.B. GUIMARAES. Journal of Materials Science 27 (1992) 2473-2489.

## 3 ESSAI DE FLUAGE SOUS TENSION

### 3.1 PARAFIL Type A (polyester)

Les câbles PARAFIL Type A ont une teneur en fibres plus élevée que celle requise pour atteindre la charge de rupture nominale (CRN).

Avec des terminaisons efficaces actuelles, les charges de rupture actuelles sont bien supérieures aux charges de rupture nominales. La courbe de fluage sous tension du PARAFIL Type A est indiquée en Figure 4.



### 3.2 PARAFIL Type G (Aramide haut-module)

Le fluage sous tension du PARAFIL Type G a fait l'objet d'une manière approfondie à l'Imperial Collège et à l'Université de Cambridge au Royaume-Uni, en utilisant des câbles PARAFIL de 1,5, 3 et 60 tonnes. Un résumé des données à ce jour est indiqué en Figure 5. Ceci indique que si la contrainte initiale est limitée à moins de 50% de la résistance à la traction, il est possible d'obtenir une durée de vie de 100 ans.

## 4 RELAXATION DE CONTRAINTE

Des courbes typiques de relaxation de contrainte concernant PARAFIL Type A sur 500 heures sont indiquées en Figure 6 ; les deux courbes se rapportent à (a) avec et (b) sans cycle de précontrainte à 60% de CRN.

Figure 5

RESULTATS DES ESSAIS DE FLUAGE SOUS TENSION ET DUREES DE VIE PREDITES POUR PARAFIL TYPE G

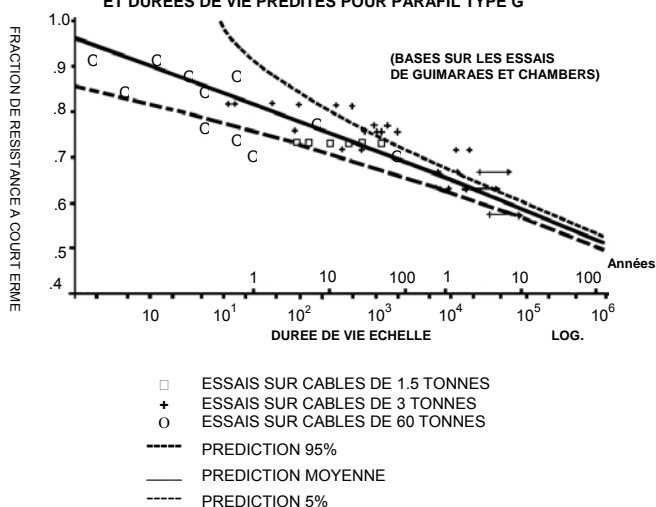
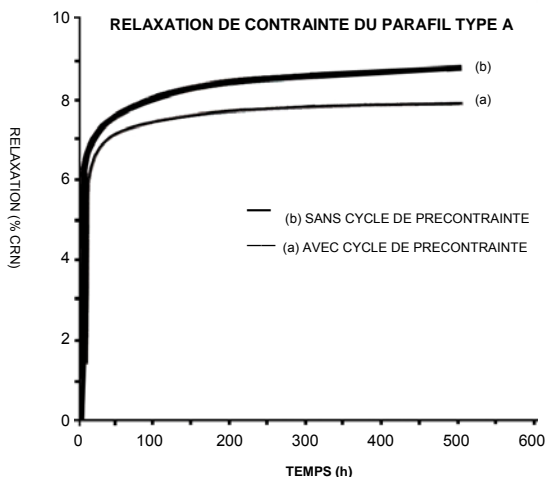


Figure 6

RELAXATION DE CONTRAINTE DU PARAFIL TYPE A



La relaxation actuelle, exprimée en pourcentage de CRN, à partir d'une contrainte initiale de 40% est de 7.86% pour l'échantillon avec cycle de contrainte et de 8.75% pour l'échantillon sans cycle de contrainte.

De la même manière, les chiffres de relaxation de contrainte du PARAFIL Type F sont respectivement de 6.29% et 8.82%.

Les câbles PARAFIL Type G de module plus élevé ont fait l'objet d'une étude approfondie à l'Imperial Collège. Ces câbles sont d'un intérêt particulier pour les applications de précontrainte (Réf :2). Les résultats de relaxation sont indiqués au Tableau 1.

TABEAU 1 RELAXATION DE CONTRAINTE DU PARAFIL TYPE G

Contrainte initiale (% CRN)	Relaxation à 100 heures (% CRN)	Relaxation à 100 ans (% CRN)
30	2.9	7.0
40	3.5	7.4
50	3.8	7.8
60	4.5	8.2
70	4.5	8.6

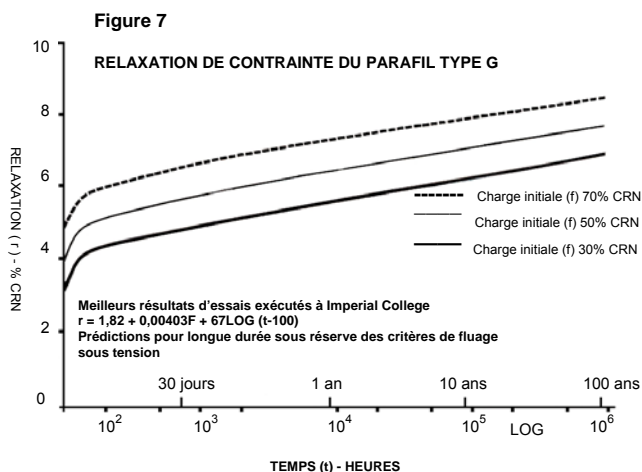
Ces résultats sont en conformité avec les relations indiquées en Figure 7 :

$$r = 1,82 + 0,0403 f + 0,67 \log_{10} (t-100)$$

où r = relaxation de contrainte exprimée en % CRN

f = contrainte initiale exprimée en % CRN

t = temps exprimé en heures



Les performances à la fatigue du PARAFIL Type A (10 tonnes CRN) et du PARAFIL Type F (6 tonnes) sont indiquées en Figure 8. Les courbes ont été tracées en enregistrant le nombre de cycles jusqu'à la défaillance cyclique, à partir d'une limite inférieure constante correspondant à 7,5% CRN jusqu'à la limite de charge supérieure décrite par la courbe.

Les essais sur PARAFIL Type G (6 tonnes CRN) ont été exécutés sous différentes amplitudes de charge. Les résultats typiques sont indiqués au Tableau 2.

TABLEAU 2 PERFORMANCE A LA FATIGUE DU PARAFIL TYPE G

Charge moyenne (% CRN)	Gamme de charges (% CRN)	Cycles à défaillance (x 10 <sup>6</sup> )
30	+25	0,5
30	±15	3,4
40	±15	2,9
*40	± 5	>10

\*La force résiduelle a été mesurée à 6.5 tonnes.

## 6 CONDITIONS ENVIRONNANTES

Les câbles PARAFIL sont constitués de deux composants – une âme de fibres qui détermine les propriétés mécaniques à la traction, et une gaine qui définit et maintient la forme du câble et sert de protection à l'âme de fibres.

La plupart des câbles PARAFIL sont prévus avec une gaine en polyéthylène. Les polyéthylènes sont considérés comme des matières inertes chimiquement, ils ne sont pas attaqués par l'eau, les acides inorganiques, les alcalis, les sels aqueux et autres substances trouvées dans le sol ou dans l'environnement. Les grades utilisés pour PARAFIL sont ceux qui ont été développés et utilisés pour les câbles électriques noyés dans le sol ou sous-marins.

Les polyéthylènes utilisés pour PARAFIL sont stabilisés avec du noir de carbone. Les essais exécutés sur une période de 20 ans dans des zones de grande activité aux U.V. sur des grades stabilisés n'ont indiqué aucun changement discernable dans les propriétés.

Les câbles PARAFIL ont été d'abord utilisés comme haubans de mâts sur les installations du Ministère de la Défense, au Royaume-Uni. Montés en 1966/67, ils sont toujours en usage. Examinés et testés après 20 ans de service, ils n'ont révélé aucun changement.

Les fibres polyester et aramide sont des fibres durables, résistant à la plupart des substances chimiques. La réaction des polyesters avec l'eau (hydrolyse) a fait l'objet d'étude approfondie au cours des dernières années. Les résultats indiquent que les polyesters sélectionnés ne subissent que 3% de perte de résistance après 100 ans d'immersion dans l'eau à 20°C. (Résultats publiés séparément par l'Imperial Collège).

Les essais exécutés par Du Pont ont indiqué que les fibres aramide ne sont pas attaquées par l'eau à des températures normales.

A noter que les relaxations sont exprimées en pourcentage de la charge de rupture nominale. Les chiffres de relaxation sont plus élevés lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage de la contrainte initiale :

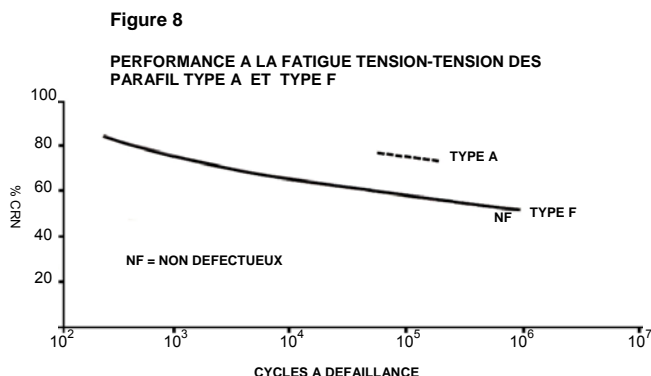
Ex : A une contrainte initiale de 60% CRN, la relaxation sur une période de 100 ans est de 8.2% CRN. Ce qui équivaut à une relaxation de 13,6% de contrainte initiale.

Bien que les relaxations soient plus élevées que celles associées à l'acier, la perte totale de force de précontrainte dans une poutre en béton précontraint avec du PARAFIL est très semblable à celle d'une poutre précontrainte avec de l'acier. Les pertes dues à la relaxation de l'élément de précontrainte sont plus élevées mais les pertes dues au raccourcissement élastique du béton sont plus faibles à cause du module d'élasticité plus faible du PARAFIL. La valeur est fonction de la conception détaillée, qui sera différente pour les structures conçues avec les éléments de précontrainte PARAFIL ou acier, mais dans la plupart des cas les deux effets s'annulent.

Réf. 2 Chambers J.J., "Câbles aramide en couches parallèles pour servir d'éléments de précontrainte dans le béton précontraint". Thèse de doctorat, Université de Londres 1986.

## 5 PERFORMANCE A LA FATIGUE

D'une manière générale, la performance à la fatigue tension-tension des câbles à fibres parallèles est excellente, elle est supérieure à celle de la plupart des autres formes de construction de câble. Ceci est essentiellement dû au non croisement des fibres qui cause 'l'érosion' des fibres dans les structures torsadées ou tressées.



PARAFIL est une marque déposée de LINEAR COMPOSITES LTD. Tous les renseignements sont donnés de bonne foi mais sans garantie. Les droits résultant de la législation des brevets demeurent intangibles.



Domaine du Jas Neuf - 22C Blvd du Rigaou - 83120 SAINT-MAXIME  
 Tél : 06 09 13 12 11 ou 06 15 02 37 25 - Fax 04 94 43 23 35