

Transport et pose

1. Introduction

La sécurité de fonctionnement d'une installation de câblage dépend fortement, en plus de la qualité des câbles, d'une pose et d'un montage soigné. Chaque câble est produit avec soin et consciencieusement, contrôlé scrupuleusement après chaque phase de production et soumis en usine à un test final rigoureux. Les documents suivants présentent les points les plus importants à observer lors du transport et de la pose des câbles. Il est d'une nécessité absolue, lors de travaux de câblage, de surveiller les travaux très strictement, car le personnel employé est généralement très peu expérimenté dans ce domaine. Chaque travailleur doit être bien conscient des conséquences d'un pli ou d'une déformation trop importante du câble. Les dommages de transport ou de pose proviennent, sans exception, de fautes de conception ou d'une préparation insuffisante.

Le genre de pose devrait déjà être décidé lors du projet, afin que les opérations de terrassement et de préparation puissent être effectuées en conséquence. C'est seulement ainsi que de coûteux travaux ultérieurs peuvent être évités.

2. Bobines de câbles

Les câbles sont en général livrés sur bobines. Pour les bobines de câbles, le noyau de la bobine doit être adapté au diamètre du câble et la capacité de la bobine correspondre au câble prévu.

Le diamètre moyen du noyau de la bobine doit correspondre avec le diamètre extérieur du câble d selon le calcul suivant:

Diamètre minimal du noyau de la bobine

Câble monophasé

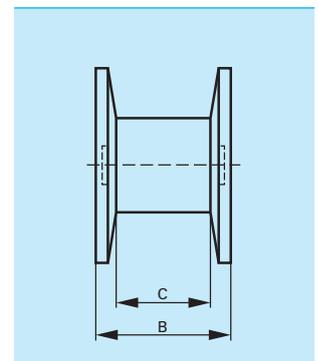
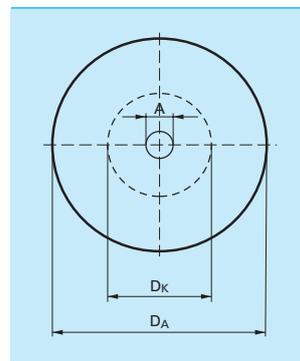
Câble à basse tension $20 \cdot d$

Câble à moyenne tension $25 \cdot d$

Câble multiphasé

A isolation polymère $20 \cdot d$

Mesures et poids des bobines de câbles



Type	Mesure mm					Poids du vide kg	Poids du câble kg
	D _A	D _K	C	B	A		
AK	800	400	450	550	90	15	250
BBE	1050	550	600	695	90	90	650
BE	1300	700	700	790	90	120	2 000
CCE	1600	800	800	890	90	165	3 500
CE	1650	965	610	750	90	170	2 500
CEs	1650	965	800	950	90	195	2 500
DE	1900	1160	1000	1175	90	295	4 000
DEs	1900	1400	1000	1175	90	290	4 000
FE	2200	1400	1000	1175	90	380	6 400
GE	2400	1500	1000	1165	90	510	8 000
HE	2600	1680	1000	1175	90	560	10 000
HEB	2600	1680	1225	1400	90	650	10 000
KE	3000	2000	1225	1400	105	900	12 000
OHE	3000	2000	1360	1560	105	970	12 000
OHEs	3150	2000	1360	1560	105	1000	15 000
OHEsp	3150	1500	1360	1560	105	910	15 000
WE20S	3800	2000	1360	1620	145	1450	20 000
WE355	3550	2000	1400	1620	145	1500	20 000

Du soin avec les bobines de câble

Lors du déchargement, les bobines de câble ne doivent jamais être jetées du véhicule, même sur un terrain mou, car elles ne sont pas conçues pour de telles contraintes. De plus, les bobines ou les câbles pourraient être endommagés. Les bobines devraient être transportées sur une remorque équipée d'un mécanisme de chargement et de

déchargement. Dans tous les cas, le chargement ou le déchargement doit se faire à l'aide d'une rampe ou d'une grue. La bobine peut être roulée sur de courtes distances. Lors du déplacement, le câble doit se tendre (l'extrémité supérieure doit regarder vers l'arrière). Une bobine peut être tournée sur place à l'aide d'un axe et d'un vérin.

Informations générales

Capacité des bobines en mètres

Pour le diamètre minimal du noyau de la bobine, voir à la première page de ce chapitre

Câble Ø mm	BBE	BE	CCE	CE	CEs	DE	DEs	FE	GE	HE	HEB	KE	OHE	OHEs	OHEsp	WE20S	WE35S		
8	3977	7707																	
10	2650	4961	9840	6680	8761														
12	1720	3425	6595	4483	5918		6179												
14	1255	2504	4882	3363	4458	7203	4587												
15	1100	2173	4139	2973	3701	6054	3931	7891											
16	928	1904	3747	2510	3303	5417	3376	7100	8807										
17	891	1691	3366	2176	2922	4808	3180	6340	7512	8679									
18	756	1449	2796	1920	2560	4306	2730	5361	6814	7891									
19	720	1259	2518	1732	2273	3826	2597	4785	6142	7132									
20	619	1240	2435	1642	2190	3440	2233	4646	5610	6534									
21	585	1061	2169	1466	1921	3005	2111	4101	4991	5832	7197	8819							
22	492	895	1916	1250	1667	2905	1782	3668	4503	5282	6456	8432							
23	479	876	1677	1216	1590	2562	1711	3256	4037	4756	5862	7709	8582						
24	394	856	1648	1061	1401	2238	1413	3130	3882	4253	5291	7013	7701						
25	382	732	1470	1028	1371	2201	1385	2818	3534	4182	5123	6346	6993	8482					
26	370	686	1394	885	1154	1898	1322	2697	3384	3706	4584	5707	6317	7741					
27	357	575	1228	853	1125	1862	1292	2404	3056	3349	4073	5501	6112	7500					
28	284	580	1199	821	1095	1775	1034	2290	2664	3189	3918	4903	5473	6796					
29	272	562	1044	727	935	1548	1008	2019	2606	2856	3528	4819	5278	6124	8469				
30	275	543	1015	698	907	1513	982	1972	2547	2789	3381	4257	4789	6032	7952				
31	263	443	871	668	879	1477	956	1719	2258	2475	3016	4175	4603	5394	7275				
32	200	426	879	583	767	1269	759	1675	2201	2412	2956	3749	4144	5303	6785				
33	202	429	851	555	741	1235	737	1630	1931	2347	2895	3670	4067	4820	6692				
34	192	412	823	825	715	1202	715	1585	1878	2058	2555	3268	3631	4731	6214				
35	193	343	693	531	688	1013	692	1357	1823	1998	2497	3193	3466	4161	5603	7923	6616		
36	183	328	699	428	588	982	670	1316	1577	1937	2439	3117	3392	4074	5506	7356	5928		
37		312	672	430	565	988	672	1322	1586	1738	2125	2744	2994	3647	5066	6807	5808		
38		314	582	433	568	956	649	1113	1535	1682	2070	2673	2924	3564	4969	6664	5312		
39		299	558	408	544	787	488	1075	1484	1625	2015	2602	2853	3481	4548	6317	5195		
40		301	562	410	547	791	490	1080	1314	1633	1960	2529	2866	3178	4586	6183	4866		
42		228	542	321	435	735	453	1003	1221	1338	1687	2204	2432	3020	4082	5532	4683		
44		216	438	301	416	710	435	826	1024	1291	1584	2069	2299	2575	3601	4909	4078		
46		219	419	304	397	568	418	795	985	1080	1338	1774	1979	2511	3259	4478	3676		
48			399	227	302	545	291	763	947	1037	1296	1719	1925	2181	2929	4061	3291		
50			331	229	305	550	292	640	813	1045	1254	1447	1628	2120	2862	3659	3206		
52			314	211	288	423	278	613	778	854	1033	1396	1578	1814	2547	3559	2732		
54				163	207	404	264	472	618	814	995	1150	1307	1757	2248	3178	2648		
56				149	209	384	251	448	588	646	798	1104	1262	1476	2183	3078	2418		
58				150	195	387	161	451	592	649	802	1111	1216	1424	1904	2721	2338		
60				151	196	281	152	427	560	615	769	1064	1170	1371	1841	2623	2022		
62					137	182	283	153	429	454	618	734	849	938	1124	1776	2292	1946	
64					138	184	266	144	405	428	471	596	853	943	1130	1599	2313	1869	
66						268	144	313	431	473	569	812	903	1082	1538	2000	1671		
68						251	135	294	404	444	571	817	907	1089	1369	2017	1600		
70						253	135	295	406	446	542	775	866	1040	1313	1927	1612		
72						236	126	275	379	416	544	630	667	825	1255	1640	1348		
74						169	126	277	381	418	515	595	670	829	1266	1653	1281		
76						170	126	278	294	420	517	598	635	787	1049	1387	1290		
78							117	258	273	300	375	563	638	790	1058	1397	1055		
80							117	259	274	301	376	565	640	794	1067	1407	1062		
82								117	186	275	302	353	529	605	751	1012	1329	1068	
84								108	171	253	278	354	532	608	608	873	1169	1007	
86									171	254	279	356	412	441	572	824	1098	1013	
88									172	256	280	331	384	443	574	830	1105	805	
90									173	257	281	333	385	444	577	836	1112	810	
92									157	234	257	334	386	416	540	786	894	814	
94										167	258	335	388	418	543	664	899	760	
96										168	185	222	359	419	545	668	904	764	
98										169	186	223	360	390	508	624	840	768	
100										169	186	223	361	392	392	628	844	637	
104											168	206	333	394	394		720	594	
108											169	207	240	262	366		667	549	
112											152	190	220	264	369		673	554	
116												221	243	340			618	446	
120													222	244	342			513	408

Informations générales

3. Construction du tracé du câble

Le tracé doit être le plus rectiligne possible et les virages serrés sont à éviter. Il faut placer les regards de jonction et de tirage de telle façon que l'accessibilité soit assurée aux transports de matériel. Aux extrémités, il faut prévoir de la place pour le montage de machines de tirage et pour les bobines de câble. Pour les introductions dans les bâtiments, des chambres ouvertes sont nécessaires, afin de faciliter le tirage.

Tranchée de câble ouverte

Dans la tranchée, aucune terre ne doit tomber des parois ou du déblai sur le sol de la tranchée jusqu'après le tirage du câble. Si nécessaire, il faut étayer les parois. Le sol de la tranchée doit être plat. Les pierres présentes doivent être retirées. Un fond de tranchée rugueux doit être aplani par une couche de sable de 10 cm environ. Cette mesure est indispensable pour des câbles sans armure. Il faut ensuite à nouveau répandre une couche d'environ 20 cm de sable ou de matériel de remplissage thermostable par-dessus les câbles.

Équipement avec des tubes en plastique

En Suisse, on construit en général des équipements de tubes en plastique pour les câbles. Ce système présente le grand avantage de ne pas nécessiter de regards intermédiaires, même sur de longs tracés, grâce au faible coefficient de frottement entre câble et tube. L'installation des tubes peut être réalisée à l'avance en commun avec d'autres travaux.

Matériaux

Tube de protection de câble et accessoires sont livrés dans les matières thermoplastiques suivantes:

- Polyéthylène (PE)
- Polypropylène (PP)
- Chlorure de polyvinyle (PVC)

Diamètre des tubes

Les variations de longueur des câbles par échauffement doivent avoir lieu dans le tube; c'est pourquoi des brides d'amarrage sont placées dans les chambres. Le diamètre intérieur du tube devrait correspondre aux mesures suivantes:

- 1.4 à 2.0 x diamètre du câble pour 1 câble par tube
- 2.6 à 3.5 x diamètre du câble pour 3 câbles par tube

Jonction des tubes

Il faut veiller à une pose et un montage propre de l'équipement de tubes. Les tubes sont livrés de façon standard en tiges de 5 m ou 10 m et doivent être joints d'une façon étanche. En raison du coefficient linéaire de dilatation relativement haut des matières thermoplastiques, il faut prêter attention, durant la phase de pose, aux écarts de longueurs dus aux grandes variations de température.

Une différence de température de 10 °C produit sur 10 m les dilatations suivantes:

- pour PE environ 20 mm
- pour PP environ 15 mm
- pour PVC environ 8 mm



Chambre de jonction avec tubes plastiques.

Si les tubes ne sont pas posés à une profondeur suffisante, l'on court le risque de voir ces tubes se retirer, sous l'effet des différentes températures, de la chambre de jonction. Les tubes ne doivent pas être salis de ciment.

Pose de tubes en terre

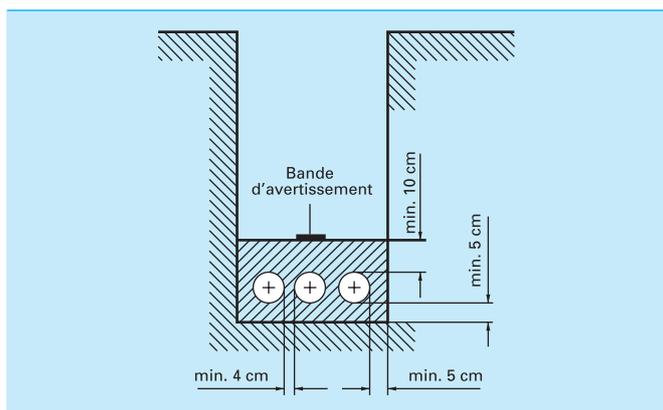
Ceci n'est valable que pour les tubes protecteurs plastique en PE. Les tubes sont normalement noyés dans le sable. Il faut bien contrôler que le matériel de remplissage entoure bien et complètement les tubes. A proximité du tube, il faut tasser le matériel de remplissage à la main. Si plusieurs tubes reposent parallèlement, la distance entre deux tubes devrait être d'au moins 5 cm. S'il apparaît un grand risque de compression lors de passages sous des routes ou lors de courbes, du béton léger devrait fixer le tube.

Pause de tubes bétonnés

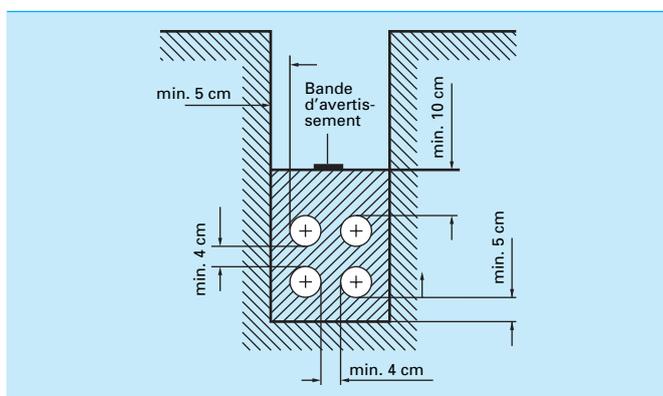
Ceci est valable pour les tubes protecteurs plastiques en PE, PP et PVC. Les tubes en PVC dur ou en PP sont à bétonner dans tous les cas. Lors de la pose, on coule d'abord une fine couche de béton au fond de la tranchée, puis on place une première couche de tubes que l'on bétonne, puis vient une deuxième couche de tubes et ainsi de suite. On doit, lors du bétonnage, placer des sécurités de distances entre les tubes. La couverture finale minimale de béton ne devrait pas passer en dessous de la limite de 10 cm. La couche de béton devrait être d'au moins 5 cm de côté, et d'au moins 4 cm entre les couches. On conseille du béton de qualité PC 150 ou PC 200.

Informations générales

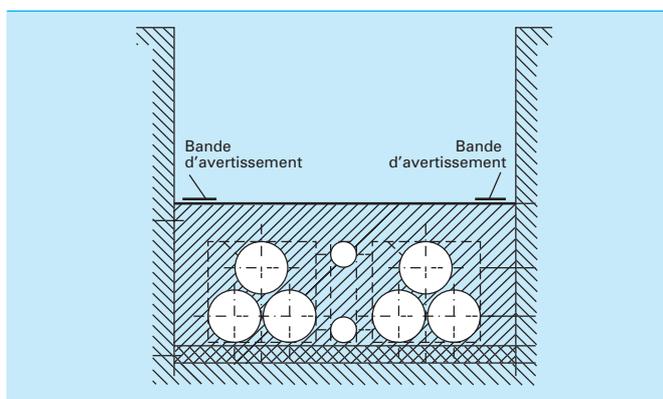
Installation de tubes bétonnée:



Une couche



Deux couches



Double batterie en triangle

Changements de directions

Pour des changements de directions, on utilise des courbes préformées ou flexibles ou alors les tubes sont pliés à froid sur le chantier. Les rayons de courbure minimaux suivants sont valables pour les tubes pliés à froid:

Rayon de courbure minimal pour tubes PE, PP et PVC à 20 °C					
Diamètre du tube en mm	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Rayon minimal en m (PE)	2.0	3.0	4.5	7.5	18.0
Rayon minimal en m (PP)		5.5	9.0	13.5	
Rayon minimal en m (PVC)	3.5	6.0	10.0	15.0	20.0

Installations de tubes en pente

Les installations de tubes en pente sont à équiper de retenues de béton, afin d'éviter un glissement de fines parties du matériel de remplissage.

Calibrage

Toutes les installations de tubes doivent être calibrées peu après leurs poses et munies d'une ficelle de tirage. Le calibre a un diamètre prescrit qui admet une déformation maximale du tube de 10%.

Mesures du calibre

Diamètre du tube en mm	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Diamètre du calibre en mm	72	90	108	133	175
Longueur du calibre en mm	160	200	240	300	400

On peut trouver des détails supplémentaires dans «Lignes directrices pour la pose de tubes de protection en plastique» du VSE.

Equipements de tubes avec tubes de ciment

Dans des installations de tubes plus anciennes, on trouve en partie des sections avec tubes en ciment où les changements de directions étaient généralement construits en tranchées ouvertes. Lorsque l'on sort un ancien câble pour une nouvelle introduction, il faut tenir compte du coefficient de frottement plus important.

Echelles à câbles

On utilise généralement les échelles à câbles galvanisées dans les galeries de câbles. Lors de la pose sur échelles à câbles, il faut tenir compte de la dilatation. Les câbles unipolaires sont à fixer à intervalles appropriés aux forces de courts-circuits.

Système Briport

Le système Briport est conçu pour des galeries et des caniveaux horizontaux et inclinés. On calcule les distances entre points de suspension selon le poids des câbles et selon les forces maximales de court-circuit. Le système Briport rend possible une pose rationnelle et économique. Les câbles peuvent être tirés directement à travers les guides de câbles. Le tirage ultérieur de câbles supplémentaires est assuré grâce à l'ouverture des guides de câbles. Le poids et l'échauffement des câbles crée une flèche naturelle qui absorbe la dilatation de ceux-ci.

Câbles aériens

La flèche des câbles aériens est généralement réglée à 5% du tracé. Il faut choisir le câble et son montage par rapport au profil du terrain de telle façon qu'une garde au sol suffisante soit assurée. Pour des questions de tension, les câbles doivent être munis aux pylônes d'ancrage d'éléments de traction supportant le poids du câble ainsi que des charges supplémentaires telles que neige et vent.

Informations générales



Systeme Briport.

Pose dans l'eau

Le profil du tracé et sa structure doivent être déterminés aux premiers stades du projet, afin de pouvoir définir les paramètres de câblages et de pose. Les types suivants de poses sont possibles, selon la profondeur et la vitesse de courant de l'eau:

- sur le fond de la zone sous l'eau
- dans le fond de la zone sous l'eau
- dans des tubes

Le tracé prévu est marqué avant la pose avec des balises. Un matériel spécifique est nécessaire pour la pose de câbles dans les fleuves ou les lacs.

4. Indications importantes à propos de la pose

Les quatre enchères de la pose

1. Ne pas dépasser la force de traction autorisée.
2. Ne pas dépasser la force de traction radiale dans les courbes.
3. Ne pas passer sous la limite de rayon de courbure autorisée.
4. Ne pas passer sous la limite minimale de température de pose.

Bobines de câble

Le câble se déroule toujours du haut de la bobine. Pour la pose, il faut monter la bobine sur un véhicule de pose ou sur des vérins de telle façon qu'un système de freinage puisse être installé. Afin de diminuer la force de traction, lors de tirages difficiles, on peut placer un chien de câble proche de la bobine.

Courbes dans tranchées ouvertes

La mise en place de chaînes de roulement, lors de changements de directions du câble, doit être réalisée avec grand soin. Elles ne doivent se déplacer ni lors du tirage du câble ni lors d'interruptions de tirage. En conséquence, elles doivent être fixées horizontalement et verticalement. Le nombre de chaînes de roulement montées verticalement doit maintenir la force radiale des câbles dans des limites admissibles.

Treuil de tirage

Le treuil de tirage devrait être installé à 10 m environ de la sortie de la tranchée, ceci afin de permettre un déroulement impeccable du câble. Le câble de tirage doit être muni d'un émerillon, de sorte qu'il puisse tourner sur son axe. Il faut en permanence surveiller la force de traction. L'homme en poste auprès du treuil doit pouvoir, si nécessaire, interrompre tout de suite le processus de traction.

Chiens à câble

S'il apparaît une trop grande traction lors de la pose de câbles, des chiens à câbles peuvent réduire la force de traction sur le tracé. Ceux-ci doivent toujours être montés avant les courbes et en début de tracé.

Transmission des ordres

Lors du tirage, les travaux auprès de la bobine, le long du tracé et auprès du treuil doivent être bien coordonnés. Ainsi on emploie normalement des radios ou des installations téléphoniques. Ces installations devraient avoir un fonctionnement fiable. Leur fonctionnement est à contrôler rigoureusement avant les opérations de pose.

Direction de pose

La direction de pose doit être choisie de telle façon que les contraintes de traction soient minimales au point final de la pose. La bobine de câble doit se trouver du côté comportant les plus grosses difficultés. Autant que possible, un câble est tiré du haut vers le bas sur un tracé avec des différences de hauteurs.

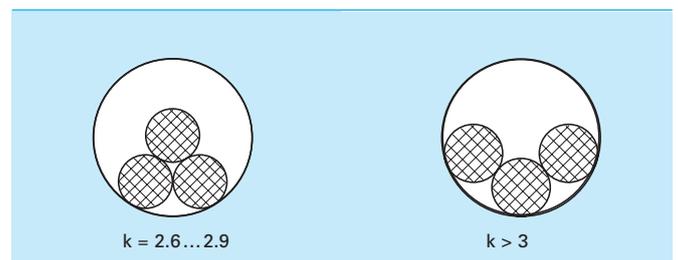
Différences de hauteurs

Le câble doit être sécurisé par des brides d'amarrage en cas de différences de hauteurs importantes, de montage de jonction et de raccordement sur poteau.

Introduction de trois câbles unipolaires

Lorsque trois câbles unipolaires sont prévus dans le même tube, ils doivent être introduits tous les trois en même temps.

Le rapport k entre le diamètre intérieur du tube et le diamètre du câble détermine la disposition des câbles dans le tube.



Si pour $k > 3$ on préfère une configuration triangulaire, les câbles doivent être liés pour l'introduction.

Informations générales

5. Forces de traction et forces radiales

Câbles non armés

(type XKDT, XKDT-YT, etc.)

Les câbles non armés sont tirés mécaniquement par l'âme. Les conducteurs sont reliés à la corde de tirage par un manchon pressé ou vissé ou par un bas de tirage.

Pour la traction sur les conducteurs, on applique pour des

câbles unipolaires en cuivre	$\sigma_{zul} = 60 \text{ N/mm}^2$
câbles unipolaires en aluminium	$\sigma_{zul} = 30 \text{ N/mm}^2$
câbles multipolaires en cuivre	$\sigma_{zul} = 40 \text{ N/mm}^2$
câbles multipolaires en aluminium	$\sigma_{zul} = 20 \text{ N/mm}^2$

Les valeurs pour les câbles multiphasés sont inférieures celles des câbles monophasés, parce que la contrainte n'est pas répartie régulièrement sur les conducteurs.

Forces autorisées

La force autorisée est le produit de la section A de l'élément de câble sous contrainte et de la contrainte correspondante permise s_{zul}

$$F_{zul} = A \cdot \sigma_{zul} \text{ [N]}$$

Câbles avec armure de traction

(type XKDT-F, etc.)

Pour ces câbles, on admet que l'armure absorbe la totalité de la force de traction. Les fils ronds et plats présentent une résistance à la rupture d'environ 350 N/mm². En tenant compte de la longueur de torsion des fils et d'effets secondaires comme une torsion du câble, on peut fixer une contrainte tolérable s_{zul} entre 70 et 100 N/mm². Comme le nombre de fils de traction n'est pas toujours connu, on calcule normalement avec la règle simplifiée suivante:

Câble avec armure de traction simple $K_{zul} = 300$

Câble avec armure de traction double $K_{zul} = 400$

Etant donné que la relation entre les éléments de câbles soumis aux contraintes et le diamètre du câble est environ proportionnel, on peut utiliser la règle simplifiée suivante:

$$F_{zul} = K_{zul} \cdot D_A \text{ [N]}$$

D_A = diamètre extérieur en mm

K_{zul} = constante des éléments soumis à contrainte

Forces radiales dans les courbes

Lors de la pose de câbles, des contraintes radiales sont présentes dans les courbes. La force radiale par unité de longueur dépend de la force de traction longitudinale, des changements de direction et des rayons de courbure.

En admettant que $F_A = F_E = F$:

$$Z = 2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$b = 2\pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

et ainsi Z_B = force radiale par unité de longueur

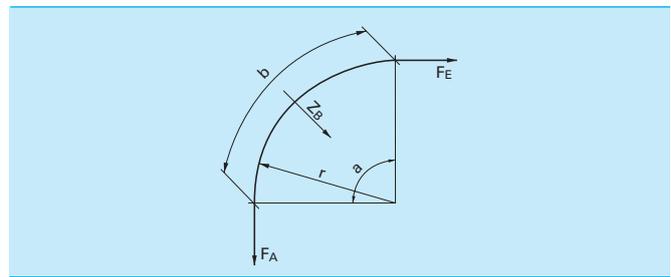
$$Z_B = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}}$$

Dans le domaine de 0° à 90°, est en vigueur approximativement

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

$$Z_B \approx \frac{F}{r} \text{ [N/m]}$$

L'erreur commise pour des variations d'angles en dessous de 90° reste en dessous des 10% avec cette formule simplifiée.



Forces radiales autorisées pour pose dans tubes en plastique:

Câbles sans armure $Z_{B\ zul} = 10\ 000 \text{ N/m}$

Câbles à armure simple $Z_{B\ zul} = 15\ 000 \text{ N/m}$

Câbles à armure double $Z_{B\ zul} = 18\ 000 \text{ N/m}$

Forces de pressions maximales permises par galet de pose dans les courbes:

Câbles sans armure $Z_{r\ zul} = 1\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure simple $Z_{r\ zul} = 2\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure double $Z_{r\ zul} = 3\ 000 \text{ N/m}$

Avec utilisation de chaînes de galets (5 galets par mètre):

Câbles sans armure $Z_{B\ zul} = 7\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure simple $Z_{B\ zul} = 12\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure double $Z_{B\ zul} = 15\ 000 \text{ N/m}$

Lors d'utilisation de galets dans les courbes (3 galets par mètre):

Câbles sans armure $Z_{B\ zul} = 4\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure simple $Z_{B\ zul} = 7\ 500 \text{ N/m}$

Câbles à armure double $Z_{B\ zul} = 9\ 000 \text{ N/m}$

6. Rayons de courbure minimaux

Il existe deux types de rayons de courbure minimaux permis à prendre en considération et à respecter. Lors de la pose, une longue partie du câble peut, dans certains cas, être plié plusieurs fois. Au cours du montage des accessoires, il s'agit en règle générale d'une contrainte unique (sans force radiale).

Informations générales

Les rayons de courbure permis, sans prise en considération de la force radiale lors de la pose, sont déterminés comme suit:

Type de câble	Diamètre extérieur du câble x coefficient = rayon de courbure minimal			
	lors de la pose		lors du montage	
Basse tension	Multipolaires	Unipolaires	Multipolaires	Unipolaires
Isolation polymère:				
-T, X	10	12	8	10
-G	10	12	6	8
Moyenne tension	Multipolaires	Unipolaires	Multipolaires	Unipolaires
Isolation polymère:				
-X	12	15	10	12
-G	12	15	8	9

7. Température minimale de pose

Les poses de câbles peuvent être réalisées jusqu'à -5 °C, aussi longtemps que les câbles sont traités soigneusement. Si l'on pose des câbles par des températures plus basses, il faut chauffer les câbles auparavant. Dans ce cas, la pose doit être accélérée, afin que le câble ne se refroidisse pas en dessous de la température limite. Les bases de calcul sont résumées dans le rapport N° 206 de la CIGRE 1964.

8. Calcul de la traction de câbles

Calcul de la force de traction sur des parcours rectilignes et plats

La force de traction (F) est donnée à la fin d'un parcours de pose par:

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot \mu$$

F = force de traction finale [N]
 m = poids du câble par m [kg]
 l = longueur du tracé [m]
 μ = coefficient de frottement
 g = 9.81 [m/s²]

Calcul de la force de traction sur des parcours rectilignes avec différences de hauteurs

La différence de hauteur, selon que l'on pose vers le haut ou vers le bas, mènera à une augmentation ou une diminution de la force de traction finale. La force de traction est ainsi donnée par:

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot (\mu \cdot \cos \beta \pm \sin \beta)$$

β = angle d'inclinaison
 + = pose vers le haut
 - = pose vers le bas

Jusqu'à un angle d'inclinaison de β = 20° (36%):

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot \mu \pm m \cdot g \cdot h$$

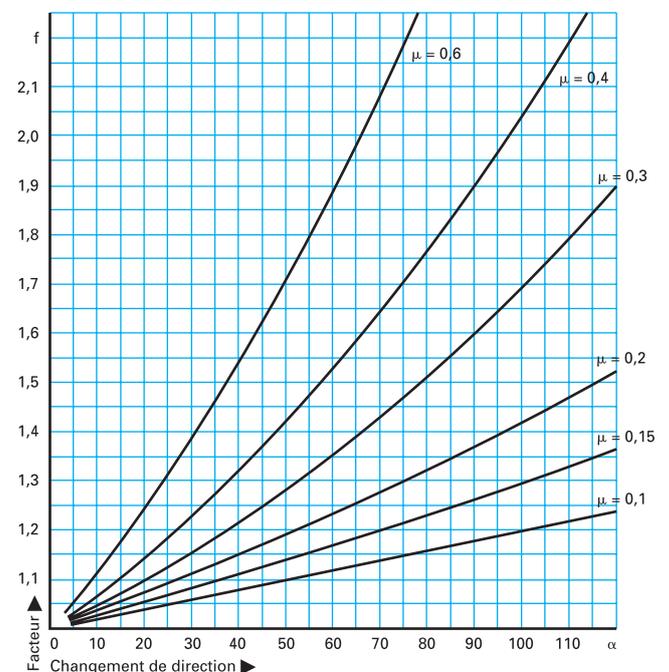
h = différence de hauteur [m]

Calcul de la force de traction avec des courbes

Lors de changements de directions, la force de traction F augmente d'un facteur f dépendant de μ et de l'angle α.

$$F_E = F_A \cdot f = F_A \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

F_E = traction à la fin de la courbe
 F_A = traction au début de la courbe
 α = angle de la courbe
 μ = coefficient de frottement



Pour le calcul de F_E, on peut trouver f = e^{μ·α} dans le graphique suivant.

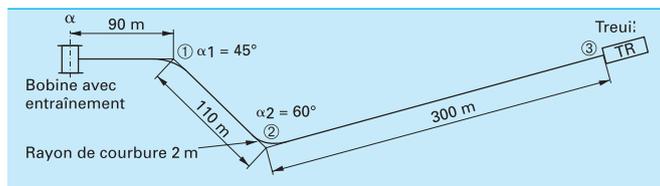
Informations générales

Coefficients de frottement

Les coefficients de frottement (μ) dépendent des deux matériaux glissant l'un sur l'autre et du lubrifiant. Les câbles avec manteau en plastique externe ne doivent jamais être tirés sans lubrifiant sur de longues distances ($l \geq 50$ m) dans des tubes en plastique. En effet, l'échauffement local par frottement, spécialement dans des courbes, peut mener à un collage.

	Câble avec manteau en plastique externe μ	Câble avec armure externe de traction μ
Tirage sur galets	0.20 – 0.30	0.15 – 0.25
Tirage dans tubes de ciment	0.40 – 0.60	0.40 – 0.50
Tirage dans tubes en plastique		
– avec graisse spéciale	0.10 – 0.20	0.10 – 0.20
– avec eau	0.15 – 0.25	0.15 – 0.25
– avec graisse et eau	0.10 – 0.15	0.10 – 0.15

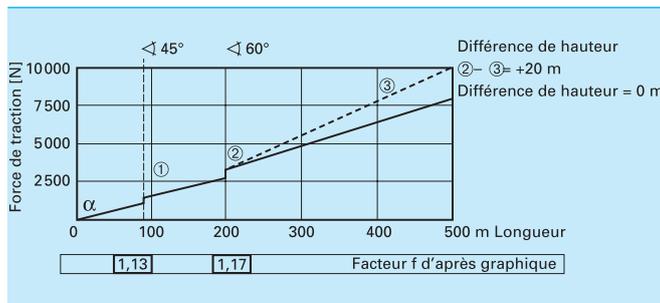
Exemple de calcul pour une pose de câble Introduction de trois conducteurs unipolaires dans des tubes $\varnothing 120$ mm



Type de câble: XKDT 1 x 240/35 mm², 20/12 kV
 Poids du câble par mètre $m = 3.36$ kg
 Diamètre du câble $D_A = 41$ mm
 Rayon de courbure min. = $15 \cdot D_A = 15 \cdot 41 = 615$ mm
 Longueur du tracé $L = 500$ m
 Différence de hauteur $h = 0$ m
 Température de pose $\vartheta = +5^\circ\text{C}$
 Lubrifiant Graisse lubrifiante

Schéma de calcul: 3 câbles $3 \times 3.36 \times 9.81 = 100$ N/m

Tracés	Longueur [m]	$F_E + \mu \cdot m \cdot g \cdot l$ [N]	Force de traction F_E après contour [N]	F [N]
0 ... 1	$L_1 = 90$	$0 + 0.15 \cdot 100 \cdot 90 = 1350$	$1350 \cdot 1.13 = 1525$	
0 ... 2	$L_2 = 110$	$1525 + 0.15 \cdot 100 \cdot 110 = 3175$	$3175 \cdot 1.17 = 3715$	
0 ... 3	$L_3 = 300$	$3715 + 0.15 \cdot 100 \cdot 300 = 8215$	Plus de courbe	8215



Vérification des quatre conditions

1. Ne pas dépasser la force de traction permise

$$F_{zul} = 3 \cdot 240 \text{ mm}^2 \cdot 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 28800 \text{ N}$$

$$8215 \text{ N} < 28800 \text{ N}$$

2. Ne pas dépasser la force radiale permise

$$Z_{Bzul} = \frac{F_E}{r} = \frac{3715 \text{ N}}{2 \text{ m}} = 1858 \text{ N/m}$$

$$1858 \text{ N/m} < 10000 \text{ N/m}$$

3. Respecter le rayon de courbure minimal

$$2 \text{ m} > 15 \cdot 41 = 615 \text{ mm}$$

4. Respecter la température de pose minimale

$$+5^\circ\text{C} > -5^\circ\text{C}$$

Les quatre conditions sont remplies.

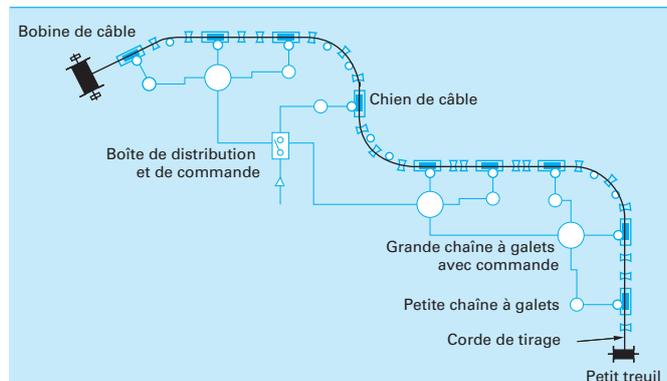
Variante avec différence de hauteur dans la partie 2...3 : $h = +20$ m

Augmentation de la force de traction:

$$m \cdot g \cdot h = 100 \text{ N} \cdot 20 = 2000 \text{ N}$$

$$F = 8215 + 2000 = 10215 \text{ N}$$

Les quatre conditions restent remplies.



Exemple de pose avec chien à câble. Utilisation dans les tranchées, galeries, canaux de câbles, Briport.