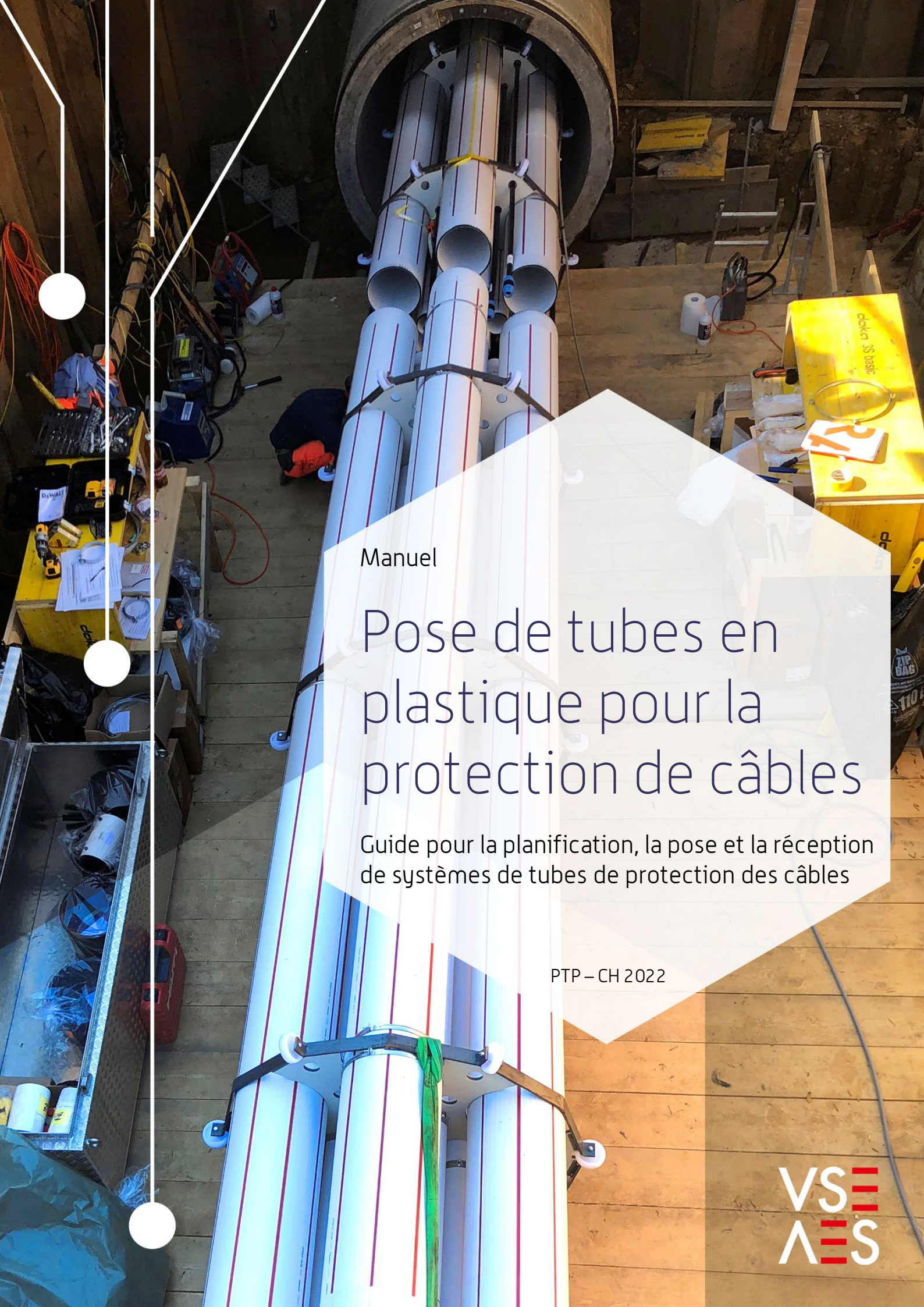




Manuel

Pose de tubes en plastique pour la protection de câbles

Guide pour la planification, la pose et la réception
de systèmes de tubes de protection des câbles

PTP – CH 2022

Impressum et contact

Éditeur

Association des entreprises électriques suisses AES
Hintere Bahnhofstrasse 10
CH-5000 Aarau
Téléphone +41 62 825 25 26
info@electricite.ch
www.electricite.ch

Auteurs de la première édition (2010)

Peter Stauffer	Association tubes et raccords en matières plastiques VKR	Membre GT
Mathias Leisinger	Association tubes et raccords en matières plastiques VKR	Membre GT
	HakaGerodur AG	Membre GT
Christian Binder	Association tubes et raccords en matières plastiques VKR, SYMA-LIT AG	Membre GT
Walter Scherrer	BKW FMB Énergie AG	Membre GT
Toni Nussbaum	Sankt Galler Stadtwerke, sgsw	Membre GT
Harry Ringeisen	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG SAK	Membre GT
Hansjörg Born	Swisscom (Suisse) AG	Membre GT
Markus Feuz	Swisscom (Suisse) AG	Membre GT
Andreas Meier	Brugg Kabel AG	Membre GT
Beat Kurmann	Inspection fédérale des installations à courant fort ESTI	Membre GT
Christoph Maurer	Association des entreprises électriques suisses AES	Responsable GT

Auteurs de la première révision (édition 2022)

Christian Binder	MCAM Symalit AG	Responsable GT
Tim Grandchamp	MCAM Symalit AG	Membre GT
Michael Gressmann	Association tubes et raccords en matières plastiques VKR	Membre GT
Andreas Jeker	Primeo Energie AG	Membre GT
Andreas Hasler	AEW Energie AG	Membre GT
Marc Suter	Axpo Grid AG	Membre GT
Marc Weber	Services Industriels Genève SIG	Membre GT
Marco Hutz	Bouygues SA	Membre GT
Mario Kropf	Bouygues SA	Membre GT
René Luppi	SBB CFF FFS	Membre GT
Robert Hediger	Nexans Suisse SA	Membre GT
Thomas Rakun	Gruner Böhlinger AG	Membre GT
Walter Hallauer	Inspection fédérale des installations à courant fort ESTI	Membre GT
Martin Meili	Swisscom (Suisse) AG	Membre GT
Patrick Bader	Association des entreprises électriques suisses AES	Membre GT

Responsabilité de la Commission

La Commission Technique des réseaux & exploitation de l'AES est désignée responsable de la tenue à jour et de l'actualisation du document.



Chronologie

Date	"Brève description"
2010	Publication de la première édition
Sept. 2020 – Dec. 2021	Révision de la première édition
7 mars – 15 avril 2022	Consultation de la branche au sujet de la 1 ^{ère} révision
2 mai 2022	Approbation par la Direction de l'AES

Ce document a été élaboré avec l'implication et le soutien de l'AES et de représentants de la branche.

L'AES approuve ce document à la date du 02.05.2022.

Imprimé n°1103f, édition 2022

Copyright

© Association des entreprises électriques suisses AES

Tous droits réservés. L'utilisation des documents pour un usage professionnel n'est permise qu'avec l'autorisation de l'AES et contre dédommagement. Sauf pour usage personnel, toute copie, distribution ou autre usage de ces documents que celui prévu pour le destinataire est interdit. Les auteurs déclinent toute responsabilité en cas d'erreur dans ce document et se réservent le droit de le modifier en tout temps sans préavis.

Égalité linguistique entre femmes et hommes

Dans le souci de faciliter la lecture, seule la forme masculine est utilisée dans le présent document. Toutes les fonctions et les désignations de personnes s'appliquent toutefois tant aux femmes qu'aux hommes. Merci de votre compréhension.



Sommaire

Abréviations, concepts et définitions.....	7
Avant-propos	8
1. Introduction	9
1.1 But et objet.....	9
1.2 Fondements.....	9
1.3 Domaine d'application	10
2. Bases de planification	11
2.1 Matériel et propriétés.....	11
2.1.1 Durée de vie.....	11
2.1.2 Réaction au feu	11
2.1.3 Résistance aux intempéries.....	11
2.1.4 Allongement (dilatation) des tubes	12
2.2 Tubes et dimensionnement	13
2.2.1 Diamètres nominaux standards des tubes	13
2.2.2 Dimensionnement des tubes	14
2.2.3 Conditions-cadre pour le tirage des câbles	14
2.3 Technique de raccordement.....	14
2.4 Appel d'offres.....	15
3. Réalisation	16
3.1 Protection de la santé et sécurité au travail.....	16
3.1.1 Dangers liés à l'utilisation du PE.....	16
3.1.2 Règles de sécurité au travail sur le chantier.....	16
3.2 Installation du chantier et technique de travail efficace.....	16
3.3 Transport et entreposage	16
3.3.1 Transport.....	16
3.3.2 Entreposage.....	17
3.4 Pose à l'air libre	18
3.4.1 Exécution du lit de pose et du remblai dans les fouilles.....	18
3.4.1.1 Fouille.....	18
3.4.1.2 Mise en place des tubes	20
3.4.1.3 Pose de tubes de protection de câbles en rouleaux.....	21
3.4.2 Zones de travaux et mesures techniques.....	21
3.4.2.1 Routes et places	21
3.4.2.2 Terrains cultivés et prairies	21
3.4.2.3 Tubes sur terrains en pente	22
3.4.2.4 Montage de tubes sur des ouvrages d'art.....	22
3.4.2.5 Pose en zone de protection des eaux.....	23
3.4.2.6 Pose dans des tunnels.....	24
3.5 Méthodes de pose sans fouille	24
3.5.1 Vue d'ensemble des méthodes de pose sans fouille	24
3.6 Technique de raccordement.....	25
3.6.1 Coupe et chanfreinage du tube sur site.....	25
3.6.2 Préparation des tubes	25
3.6.3 Raccordements avec manchons.....	27
3.6.4 Raccordements par soudure.....	30



3.6.4.1	Soudage bout à bout.....	31
3.6.4.2	Soudage électrique.....	32
3.7	Changements de direction.....	33
3.7.1	Coudes	33
3.7.2	Tubes cintrés à froid sur le chantier	34
3.8	Regards (chambres de tirage).....	34
3.9	Entrées de câbles	35
3.10	Entrées murales.....	36
4.	Réception	37
4.1	Relevé de la position des tubes.....	37
4.2	Contrôle de réception	37
4.3	Calibrage	38
4.3.1	Dimensions de calibrage	38
4.3.2	Enregistrement des forces d'étalonnage	39
4.3.3	Inspection par caméra.....	40
4.4	Documentation et procès-verbaux.....	41
5.	Élimination et écologie	42
Annexe 1:	Méthodes de pose sans fouille	43
1.1	Pose par charrue à câble et trancheuse à roue.....	43
1.1.1	Pose de conduites par charrue à câble.....	43
1.1.1	Pose de conduites par trancheuse à roue.....	44
1.2	Fusée pneumatique	46
1.3	Fonçage hydraulique.....	47
1.3.1	Fonçage: généralités	47
1.3.2	Fonçage avec forage pilote	48
1.3.3	Fonçage sans forage pilote / commande	48
1.3.4	Fonçage avec dispositif de commande des tubes	49
1.4	Forage horizontal dirigé.....	50
1.5	Fonçage par battage	51
1.6	Microtunnelier	52
1.7	E-Power Pipe.....	54
Annexe 2:	Manchons doubles sans nervures	55
Annexe 3:	Soudage électrique	56
Annexe 4:	Exemple de calcul de tirage de câble.....	57
1.8	Sens de pose.....	57
1.9	Formules.....	57
1.10	Coefficients de frottement.....	58
1.11	Facteur de changement de direction.....	58
1.12	Exemple de calcul avec directions de tirage différentes et sans dénivelé	59
1.13	Exemple de calcul avec direction de tirage identique et dénivelé	62
Annexe 5:	Exemple de procès-verbal de réception avec liste de contrôle	63
Annexe 6:	Exemple de procès-verbal de calibrage	66



Liste des figures

Figure 1: Structure de la documentation	8
Figure 2: Hauteur d'empilement des tubes de protection de câbles	17
Figure 3: Détermination de la largeur de fouille recommandée pour les blocs de tubes	18
Figure 4: Blocs de tubes superposés	19
Figure 5: Bloc de tubes simple	19
Figure 6: Bloc de tubes dans une fouille non étayée	19
Figure 7: Mise en place d'une seule couche	20
Figure 8: Mise en place de plusieurs couches	20
Figure 9: Exemple de bloc de tubes en plusieurs couches avec entretoises	21
Figure 10: Exemple de mise en place en plusieurs couches avec entretoises	21
Figure 11: Pose sur terrain en pente	22
Figure 12: Éléments des mesures d'organisation du territoire relatives aux eaux souterraines	23
Figure 13: Exemple de bloc de tubes dans le tunnel du Vispéral	24
Figure 14: Chanfreinage avec râpe	25
Figure 15: Coupe avec disque à chanfreiner	25
Figure 16: Étanchéité du tube de protection de câble au niveau du manchon	26
Figure 17: Manchons doubles sans nervures	30
Figure 18: Chauffage	31
Figure 19: Assemblage	31
Figure 20: Marche à suivre pour le soudage électrique	32
Figure 21: Exemple de coude flexible	33
Figure 22: Exemple de coude fixe	33
Figure 23: Chambre en plastique ouverte	35
Figure 24: Regard préfabriqué	35
Figure 25: Regard en béton sur mesure fabriqué sur place	35
Figure 26: Anneaux de serrage pour étanchéité des câbles	36
Figure 27: Entrée de tube pour coffrages béton	36
Figure 28: Exemple de dégradation causée par une barre de fer de béton armé ayant transpercé le tube	38
Figure 29: Exemple de dégradation causée par une fissure transversale à l'axe du tube	38
Figure 30: Dimensions du calibre	38
Figure 31: Exemple d'enregistrement des forces d'étalonnage	40
Figure 32: Exemple de clichés réalisés lors d'une inspection par caméra	40
Figure 33: Valorisation thermique et recyclage des tubes de plastique	42
Figure 34: Pose par charrue à câble par force de traction / câble de traction	43
Figure 35: Charrue vibrante	44
Figure 36: Exemple de pose par trancheuse à roue 1	45
Figure 37: Exemple de pose par trancheuse à roue 2	45
Figure 38: Exemple de roue	45
Figure 39: Exemple de pose par fusée pneumatique depuis un bâtiment	46
Figure 40: Fonctionnement du fonçage hydraulique	47
Figure 41: Fonçage avec tir pilote	48
Figure 42: Fonçage avec système d'alésage et tubes de fonçage	48
Figure 43: Presse de forage sans forage pilote / commande	49
Figure 44: Fonçage avec dispositif de commande des tubes	49
Figure 45: Fonctionnement du forage dirigé	50
Figure 46: Fonçage par battage	51

Figure 47: Microtunnelier	52
Figure 48: Insertion des tubes à fluides dans le microtunnel	53
Figure 49: Principe de fonctionnement de l'E-Power Pipe	54
Figure 50: Exemple d'installation de regard par E-Power Pipe	54
Figure 51: Sens de pose du haut vers le bas	57
Figure 52: Obstacles au début du tirage	57
Figure 53: Facteur de changement de direction pour différents rayons de courbure et coefficients de frottement	59
Figure 54: Segments du trajet et rayons de courbure de l'exemple de calcul	60
Figure 55: Forces de traction avec directions de tirage différentes et sans dénivelé	61
Figure 56: Comparaison des efforts de traction sans et avec dénivelé	62

Liste des tableaux

Tableau 1: Dimensions standard des tubes de protection de câbles pour l'approvisionnement en électricité	13
Tableau 2: Dimensions standard des tubes de protection de câbles pour la communication de données	13
Tableau 3: Choix de la technique de raccordement	14
Tableau 4: Instructions pour procéder au raccordement de tubes avec manchon préformé, enfiché ou soudé et joint en caoutchouc	28
Tableau 5: Instructions pour le raccordement de tubes avec manchon double et joint en caoutchouc	29
Tableau 6: Grandeurs applicables au tubes cintrés à froid (tenir compte de l'allongement, cf. section 2.1.4)	34
Tableau 7: Dimensions du calibre recommandées en fonction des différents diamètres de tube	39
Tableau 8: Coefficients de frottement selon le type de pose	58

Abréviations, concepts et définitions

Pour les abréviations, concepts et définitions, nous renvoyons au glossaire de l'AES ([Link](#)).



Avant-propos

Le présent document est un document de la branche publié par l'AES. Il fait partie d'une large réglementation relative à l'approvisionnement en électricité sur le marché ouvert de l'électricité. Les documents de la branche contiennent des directives et des recommandations reconnues à l'échelle de la branche concernant l'exploitation des marchés de l'électricité et l'organisation du négoce de l'énergie, répondant ainsi à la prescription donnée aux entreprises d'approvisionnement en électricité (EAE) par la Loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEI) et par l'Ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEI).

Les documents de la branche sont élaborés par des spécialistes de la branche selon le principe de subsidiarité; ils sont régulièrement mis à jour et complétés. Les dispositions qui ont valeur de directives au sens de l'OApEI sont des normes d'autorégulation.

Les documents sont répartis en quatre catégories hiérarchisées:

Document principal: Modèle de marché pour l'énergie électrique – Suisse (MMEE – CH)

Documents clés

Documents d'application

Outils / Logiciels

Le présent document «Pose de tubes en plastique pour la protection de câbles PTP-CH» est un outil / logiciel.

Structure des documents

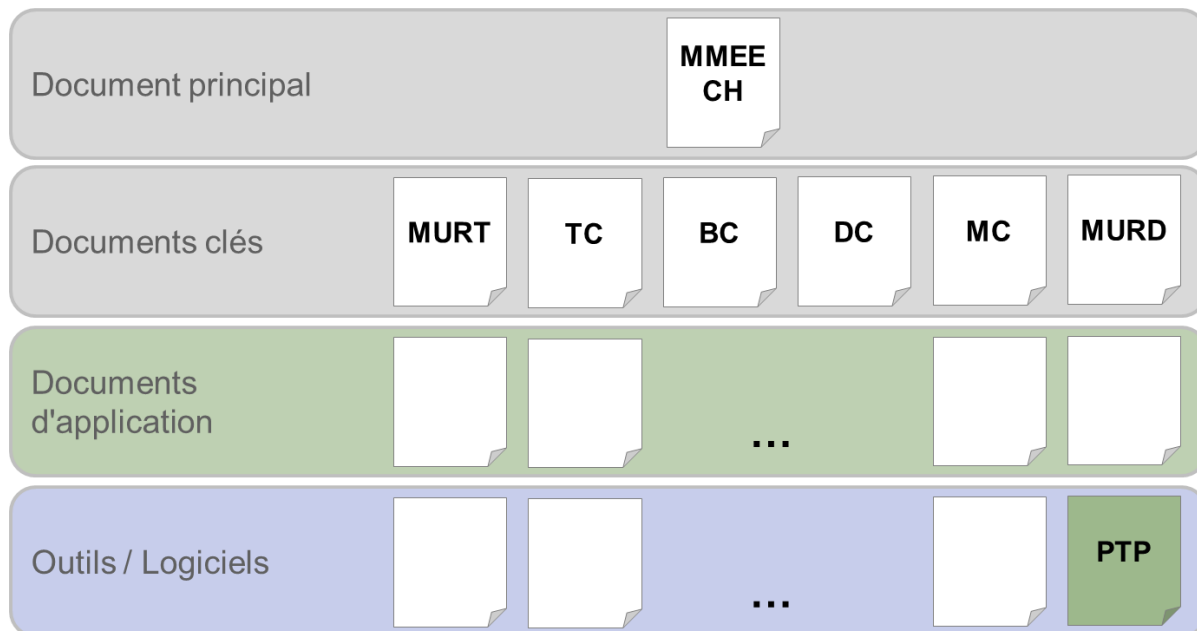


Figure 1: Structure de la documentation

1. Introduction

1.1 But et objet

- (1) La présente directive a été élaborée par un groupe de travail de l'Association des entreprises électriques suisses AES. Sa fonction est de guider les personnes responsables de la construction de conduites de câbles pour leur permettre de réaliser la planification, la pose et la réception de tubes en plastique pour la protection de câbles. Elle fournit des lignes directrices pour l'élimination des déchets de chantier et pour la valorisation des conduites à l'issue de leur durée d'utilisation. La directive contient en outre des annexes pratiques destinées aux gestionnaires du réseau de distribution (GRD), aux responsables de la planification et aux entreprises de construction. Elles peuvent par ailleurs être utilisées comme modèle pour l'établissement de prescriptions internes.

1.2 Fondements

- (1) Registre des textes législatifs officiels de la Confédération et des cantons, notamment:
- Loi fédérale du 24 juin 1902 (état au 1^{er} janvier 2021) concernant les installations électriques à faible et à fort courant (Loi sur les installations électriques, LIE), RS 734.0
 - Ordonnance du 30 mars 1994 (état au 20 avril 2016) sur les installations électriques à courant faible (Ordonnance sur le courant faible), RS 734.1
 - Ordonnance du 30 mars 1994 (état au 1^{er} juin 2019) sur les installations électriques à courant fort (Ordonnance sur le courant fort), RS 734.2
 - Ordonnance du 7 décembre 1992 (état au 1^{er} juin 2019) sur l'Inspection fédérale des installations à courant fort, RS 734.24
 - Instructions, directives et recommandations de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI), à consulter sous: www.esti.admin.ch.
 - Ordonnance du 30 mars 1994 (état au 1^{er} juillet 2021) sur les lignes électriques (Ordonnance sur les lignes électriques, OLEI), RS 734.31
 - Ordonnance du 19 décembre 1983 (état le 1^{er} juillet 2007) sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (Ordonnance sur la prévention des accidents, OPA), RS 832.30
 - Ordonnance du 18 juin 2021 (état au 1^{er} janvier 2022) sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (Ordonnance sur les travaux de construction, OTConst), RS 832.311.141
 - Loi fédérale du 24 janvier 1991 (état au 1^{er} janvier 2022) sur la protection des eaux (Loi sur la protection des eaux, LEaux), RS 814.20
 - Recommandation «Schutz der Gewässer bei Erstellung und Betrieb von elektrischen Anlagen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten» (Protection des eaux lors de la construction et de l'exploitation d'installations électriques renfermant des liquides pouvant polluer les eaux), à consulter (en allemand) sous: www.electricite.ch.
 - Loi fédérale du 4 octobre 1963 (état au 1^{er} janvier 2021) sur les installations de transport par conduites de combustibles ou carburants liquides ou gazeux (Loi sur les installations de transport par conduite, ITC), RS 746.1
 - Ordonnance du 26 juin 2019 (état au 1^{er} juillet 2021) sur les installations de transport par conduites (OITC), RS 746.11
 - Normes de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), consultable sur: www.sia.ch.
 - SIA 118 Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction



- SIA 190 Canalisations
- SIA 205 Pose de conduites et de câbles souterrains – coordination des implantations et bases techniques
- SIA 405 GEO405: Informations géographiques des conduites souterraines
- Prescriptions de protection incendie de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI)
- Catalogue des articles normés (CAN, groupe de chapitres 150: Conduites souterraines) du Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction CRB, à consulter sous: www.crb.ch.
- Norme SN 640 535 C, travaux de fouilles, consultable sur: www.snv.ch.
- Directive de l'Office fédéral de l'environnement OFEV pour la valorisation de déchets de chantier minéraux, matériaux bitumineux et non bitumineux de démolition des routes, béton de démolition, matériaux non triés, consultable sur: www.bafu.admin.ch.
- Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED) du 4 décembre 2015 (état au 1^{er} janvier 2022), RS 814.600
- Exigences de qualité RL01-22 Tubes de protection de câbles en polyéthylène de l'Association tubes et raccords en matières plastiques (VKR), consultable sur: www.vkr.ch.
- Prescriptions existantes des GRD, Swisscom (Suisse) SA et des CFF (3003.05 Protection des câbles - Projet et construction)

- (2) La présente liste n'est pas exhaustive et ne libère pas l'entrepreneur de se conformer à d'autres directives, ordonnances ou lois déterminantes pour les travaux.

1.3 Domaine d'application

- (1) La présente directive s'applique à la planification et à la pose de systèmes de tubes de protection de câbles et d'accessoires en polyéthylène (PE) prévus pour la protection de câbles d'alimentation électrique (haute et basse tension) et de communication de données. La pose de tubes de protection de câbles en surface (p. ex. montage sur des ouvrages d'art / ponts) n'est que marginalement décrite dans cette directive. Dans ce cas, une coopération entre toutes les parties prenantes dans le projet est indispensable.
- (2) La directive s'applique à la pose de tubes traditionnelle, c-à-d. dans des fouilles ouvertes, ainsi qu'à des méthodes de pose sans fouille.
- (3) Pour la pose de tubes de protection de câbles dans des zones de protection des eaux, il convient de consulter préalablement les autorités compétentes.



2. Bases de planification

2.1 Matériel et propriétés

- (1) Les tubes de protection de câbles C+S sont composés de polyéthylène (PE).
- (2) Les tubes de protection de câbles présentent les propriétés de matériaux conformes aux exigences de qualité <c+s> RL01-22 (cf. VKR).

2.1.1 Durée de vie

- (1) Les systèmes de tubes en plastique pour la protection des câbles se sont montrés fiables pendant plus de 50 années d'utilisation quotidienne.
- (2) En s'appuyant sur les résultats observés, on peut s'appuyer sur les durées d'utilisation suivantes:
 - PE LD matériau recyclé > 50 ans
 - PE HD matériau recyclé > 60 ans
 - Matériau neuf (PE 80, PE 100) > 70 ans
- (3) Le plastique est un matériau doté d'une longue durée de vie.

2.1.2 Réaction au feu

- (1) Le matériau PE est inflammable et susceptible de produire des fumées.
- (2) Son indice d'incendie selon l'AEAI est égal à 4.3.
- (3) En cas d'incendie, le PE ne dégage aucun gaz toxique. Le comportement en cas d'incendie est comparable à celui du bois ou de la cire:
 - La combustion génère du CO, du CO₂, de la vapeur et des hydrocarbures, comme la cire de bougie.
 - Peut provoquer de sévères brûlures de la peau par formation de gouttelettes en cas de combustion.
 - Extinction possible avec n'importe quel extincteur usuel.
- (4) Des tubes en plastique spéciaux ignifuges sont également disponibles.
- (5) Pour des informations plus détaillées sur la protection incendie, contacter le fabricant.

2.1.3 Résistance aux intempéries

- (1) Les tubes en plastique sont peu sensibles aux intempéries. Des colorations peuvent éventuellement apparaître en raison de l'effet photomécanique du rayonnement solaire.
- (2) Il est possible que les tubes exposés au soleil plus de deux ans se décolorent progressivement, sans que cela n'ait d'incidence qualitative. Les tubes de protection de câbles posés en surface doivent être protégés des rayonnements solaires directs.



2.1.4 Allongement (dilatation) des tubes

- (1) Compte tenu du coefficient important de dilatation linéaire des matières thermoplastiques, on tiendra compte de la variation de longueur en cas de fluctuations importantes de la température pendant la phase de pose.
- (2) Si les tubes ne sont pas emboîtés suffisamment profondément, il y a un risque de désemboîtement hors du manchon.
- (3) Formule de calcul et exemple:

Formule: $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \text{ [m]}$

$\Delta l = \text{Variation de longueur du tube en plastique [m]}$

$\alpha = \text{Coefficient d'allongement des tubes en PE: } 0.00018 \left[\frac{1}{K} \right] \text{ ou: } 18 \cdot 10^{-5} \left[\frac{1}{K} \right]$

$l_0 = \text{Longueur du tube en plastique avant variation de température [m]}$

$\Delta T = \text{Variation de la température ambiante [K]}$

(K est le symbole du kelvin et correspond à la variation de température en °C.

K est employé dans la désignation correcte de la formule)

Source: manuel technique «Rohrleitungssysteme aus PE/PP», Akatherm FIP GmbH

Voir également: <https://www.krv.de/artikel/laengenausdehnungskoeffizient> (en allemand)

Exemple:

Des tubes de protection de câbles en PE d'une longueur de 10 m sont posés par un après-midi d'automne ensoleillé. Sous l'effet de la chaleur solaire, la température des tubes atteint 40 °C. Le lendemain matin, la température des tubes n'est plus que de 5 °C. À combien s'élève le changement de longueur en mètres?

Solution:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \text{ [m]} = 0.00018 \cdot 10 \cdot 35 = \underline{0.063 \text{ m}}$$

→ Ainsi, un tube se raccourcit de 63 mm.

Conclusion: poser les tubes autant que possible en début de matinée!



2.2 Tubes et dimensionnement

2.2.1 Diamètres nominaux standards des tubes

- (1) Le diamètre extérieur des tubes de protection de câbles est généralement standardisé conformément aux exigences de qualité <c+s> RL01-22 Güteanforderung auf den Aussendurchmesser (Exigence de qualité sur le diamètre extérieur).
- (2) Dans le domaine de l'approvisionnement en électricité, les dimensions standards suivantes sont disponibles sur le marché suisse:

Diamètre extérieur nominal [mm]	Diamètre intérieur [mm]**
DN/OD	DN/ID
72	60
92	80
112	100
132	120
163	148
214	195
250*	234
315*	295

Tableau 1: Dimensions standard des tubes de protection de câbles pour l'approvisionnement en électricité

* Les tubes SN2 sont généralement associés à un enrobage en béton.

** Pour les marges de tolérance, voir exigences de qualité <c+s> RL01-22.

- (3) Si d'autres dimensions de tubes sont nécessaires, elles peuvent être définies par l'ingénierie et/ou le GRD en concertation avec le fabricant.
- (4) Dans le domaine de la communication de données, les dimensions suivantes sont disponibles sur le marché:

Diamètre extérieur nominal [mm]	Diamètre intérieur [mm]
DN/OD	DN/ID
32	28
40	34
50	44
50	40
63	55

Tableau 2: Dimensions standard des tubes de protection de câbles pour la communication de données



2.2.2 Dimensionnement des tubes

- (1) La charge électrique provoque un échauffement et une dilatation des câbles. Cette dilatation doit être supportée par le tube de protection des câbles.
- (2) Les critères ci-après doivent être pris en considération lors de la sélection du diamètre du tube.

Il convient de veiller au fait que les facteurs des conducteurs en cuivre et de ceux en aluminium sont différents. L'éventuel calcul de la chaleur et la dilatation des câbles sont également à prendre en compte. Les facteurs des fabricants de câbles doivent être pris en compte.

- Si un seul câble est tiré dans chaque tube, le diamètre intérieur minimal de ce dernier doit être au moins 1,4 fois supérieur au diamètre du câble.
- Si trois câbles sont tirés dans chaque tube, le diamètre intérieur minimal de ce dernier doit être au moins 2,6 fois supérieur au diamètre du câble le plus gros.

Les facteurs indiqués se rapportent à des câbles en cuivre.

2.2.3 Conditions-cadre pour le tirage des câbles

- (1) Les conditions-cadre suivantes doivent être prises en compte lors de la conception ou du tirage des câbles.
 - Le tirage des câbles doit s'effectuer, dans la mesure du possible, du point le plus haut vers le point le plus bas, afin de réduire les efforts de traction.
 - Si possible, les obstacles (coudes, etc.) doivent toujours être positionnés au début du tirage des câbles.
 - Les chambres de tirage doivent être dimensionnées de sorte à pouvoir respecter les rayons de courbure minimum de tous les câbles à installer.

2.3 Technique de raccordement

- (1) Il convient de tenir compte des caractéristiques locales lors du choix de la technique de raccordement.

Technique de raccordement	Propriétés	Applications
Manchon enfichable	Technique de raccordement standard économe	Applications standard en fouille ouverte
Soudage bout à bout ou soudage électrique	Technique de raccordement plus onéreuse (machines à souder nécessaires). Meilleures performances en termes d'étanchéité et de résistance aux contraintes axiales	Acheminement de câbles le long de ponts et de tunnels ou micro-tunnels

Tableau 3: Choix de la technique de raccordement



2.4 Appel d'offres

- (1) Les tubes et les pièces préformées doivent faire l'objet d'un appel d'offres conformément au catalogue des articles normés (CAN, groupe de chapitres 150: Conduites souterraines). Pour ce faire, il convient de respecter les prescriptions techniques des gestionnaires de réseau de distribution (GRD).



3. Réalisation

3.1 Protection de la santé et sécurité au travail

3.1.1 Dangers liés à l'utilisation du PE

- (1) Les tubes de protection de câbles sont généralement composés de polyéthylène (PE), *un thermo-plastique semi-cristallin aux propriétés suivantes*:
- Il est inodore, insipide et sans risque physiologique.
 - Il ne dégage aucune vapeur nocive lorsqu'il atteint les températures de soudage usuelle.
 - Il fond à 125-140 °C.

3.1.2 Règles de sécurité au travail sur le chantier

- (1) Il convient de respecter les règles applicables de la sécurité au travail et de la protection de la santé, ainsi que celles du mandant (p. ex. chemins de fer), en particulier:
- Ordonnance sur les travaux de construction, OTConst (art. 4 Organisation de la sécurité au travail et de la protection de la santé)
 - Neuf règles vitales pour le génie civil et les travaux publics (cf. www.suva.ch/regles)

3.2 Installation du chantier et technique de travail efficace

- (1) Le chantier doit garantir des conditions optimales pour l'installation de systèmes de conduites:
- Stockage adapté du matériel (environnement sec, sol ferme et régulier) pour les tubes, les pièces préformées et les outils.
 - Installation du stock de tubes sur un sol ferme et régulier, ainsi que sur un dispositif de transport de matériel simple et sécurisé. Mise en place d'une plateforme si nécessaire.
 - Préservation de la propreté des surfaces de soudure et d'étanchéité (vêtements de travail propres)
 - Le cas échéant, utilisation de pièces préformées spéciales fabriquées sur mesure, de tubes cou-dés ou contre-coudés et d'entretoises (rondelles pour microtunnels) pour l'installation dans la fouille

3.3 Transport et entreposage

- (1) Les tubes sont normalement livrés en barres (conditionnement avec et sans manchon, en vrac, en botte ou sur cadre-palette) ou en rouleaux (voir également Exigences de qualité VKR RL01-22).

3.3.1 Transport

- (1) Les tubes doivent être chargés et déchargés avec précaution. Pendant le transport, les tuyaux doivent être soutenus sur toute leur longueur et être maintenus latéralement de manière appropriée afin d'éviter toute déformation durable.



3.3.2 Entreposage

- (1) Les tubes sont à entreposer de sorte qu'ils ne subissent aucune déformation ni dégradation. En particulier, les tubes doivent être protégés contre le rayonnement solaire.
- (2) Les paquets de tubes doivent être gerbés de manière à ce que les cadres en bois reposent les uns sur les autres. Les tubes cylindriques doivent être entreposés horizontalement.
- (3) Il convient d'éviter de traîner les tubes et les pièces préformées au sol sur de longues distances ou des surfaces dures.
- (4) La hauteur d'empilement h_s ne doit pas dépasser 1,0 m pour les tubes de protection de câbles en PE.

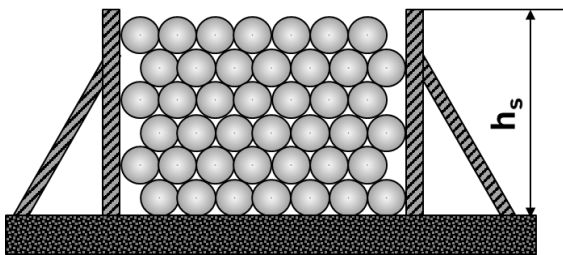


Figure 2: Hauteur d'empilement des tubes de protection de câbles

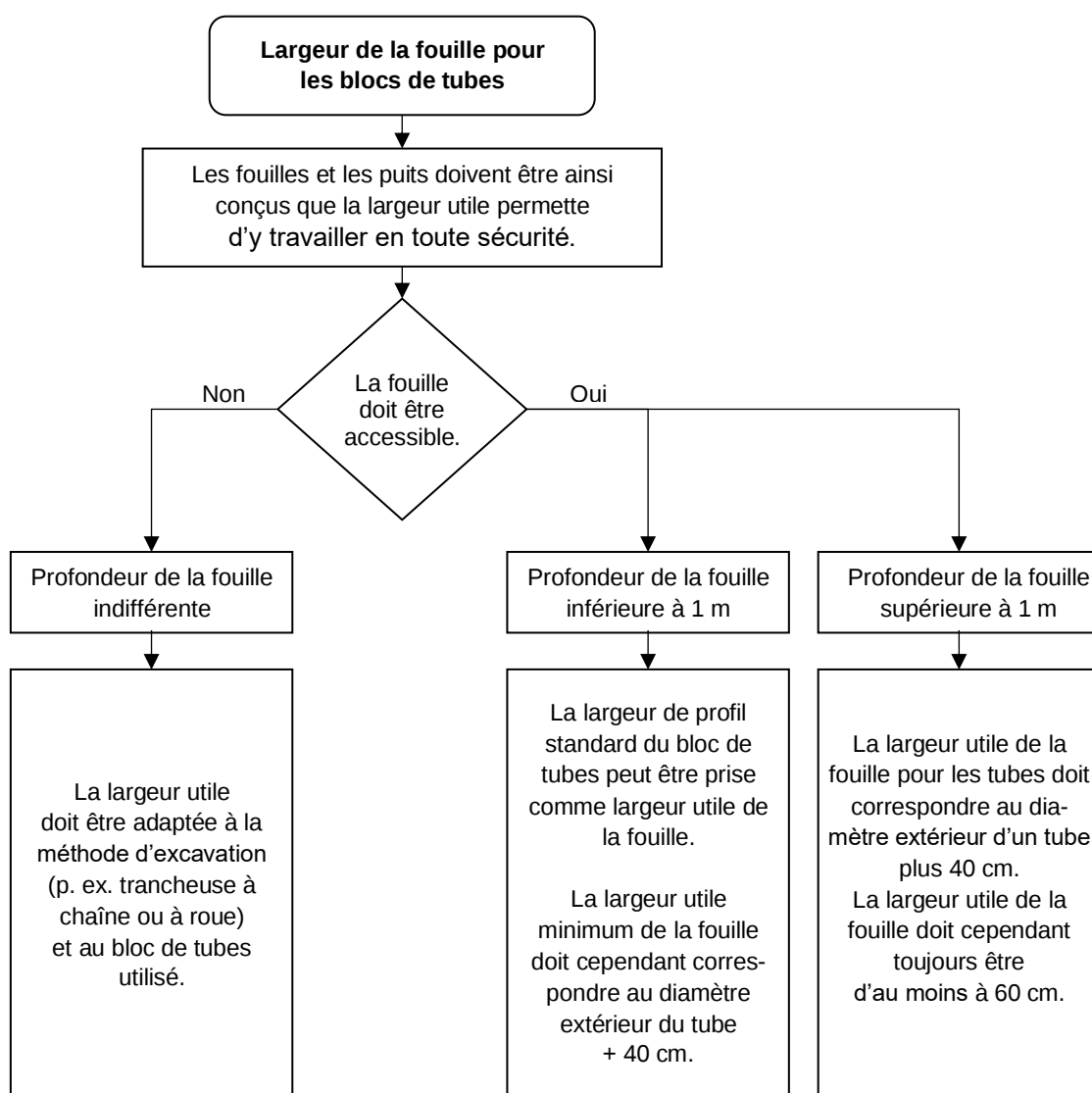
- (5) Compte tenu du risque d'accident, l'entreposage en vrac sans coffrage bois est interdit.

3.4 Pose à l'air libre

3.4.1 Exécution du lit de pose et du remblai dans les fouilles

3.4.1.1 Fouille

- (1) La largeur utile de la fouille doit être dimensionnée conformément aux exigences de l'Ordonnance sur les travaux de construction (OTConst, chapitre 5 Fouilles, puits et terrassements).
- (2) Pour les blocs de tubes, on peut s'inspirer des exemples suivants:



Pour la largeur utile, voir section 3.4.1.2 «Mise en place des tubes»

Figure 3: Détermination de la largeur de fouille recommandée pour les blocs de tubes



(3) Les photos suivantes présentent des exemples de poses de blocs de tubes:



Figure 4: Blocs de tubes superposés



Figure 5: Bloc de tubes simple

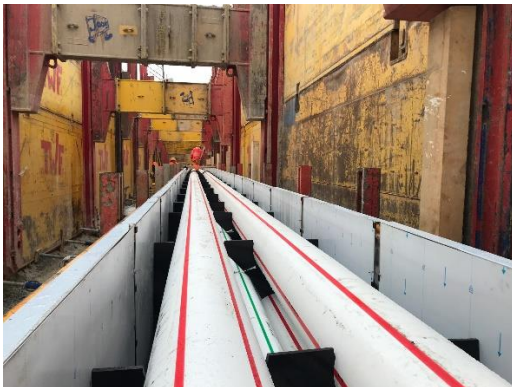


Figure 6: Bloc de tubes dans une fouille non étayée

3.4.1.2 Mise en place des tubes

(1) Lors de la mise en place des tubes, il convient de veiller aux points suivants:

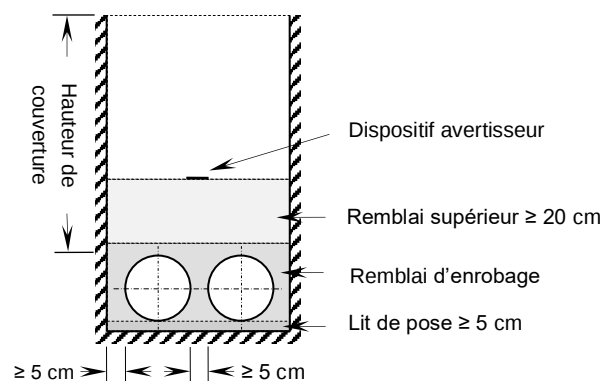


Figure 7: Mise en place d'une seule couche

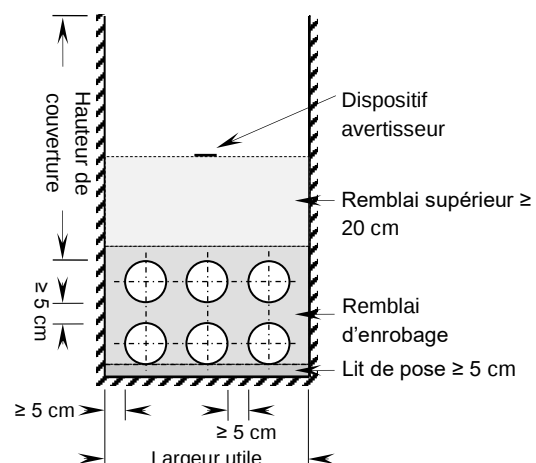


Figure 8: Mise en place de plusieurs couches

Les illustrations se rapportent à des profondeurs de fouille de moins de 1 m.

- Pour des raisons de sécurité et pour le marquage du tracé, le dispositif avertisseur doit être installé sur le remblai supérieur (cf. Figure 7 et Figure 8).
- Pour le lit de pose, le remblai d'enrobage et le remblai supérieur, il convient d'utiliser un matériau approprié de granulométrie fine (matériau d'excavation, sable, béton, etc.), en fonction des contraintes subies par les tubes de protection de câbles. Il faut veiller à ce que le matériau utilisé pour l'enrobage des tubes ne soit pas endommagé et qu'il ne puisse pas entraîner de creusements.
- Les éléments d'espacement susceptibles de gonfler (p. ex. bois) ne sont pas autorisés.
- Il convient d'utiliser des entretoises en plastique standard ou sur mesure.
- Pour les blocs de tubes en plusieurs couches, l'écart entre les couches doit au moins être de 5 cm (cf. Figure 8).



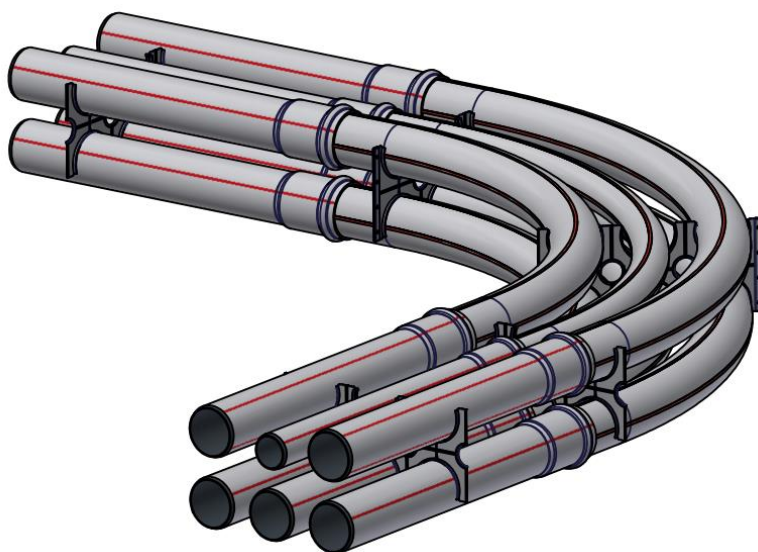


Figure 9: Exemple de bloc de tubes en plusieurs couches avec entretoises

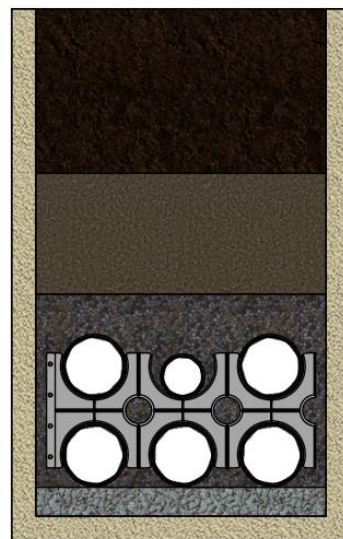


Figure 10: Exemple de mise en place en plusieurs couches avec entretoises

3.4.1.3 Pose de tubes de protection de câbles en rouleaux

- (1) Dans certains cas, les tubes posés dans les fouilles ouvertes se présentent sous forme de rouleaux ou de bobines.
- (2) Avant de poser le tube dans la fouille, le dérouler et le laisser quelque temps reposer sur le sol. Cela permet au matériau de retrouver sa forme originale.
- (3) Pour éviter les torsions, ne pas tirer les tubes hors du rouleau.
- (4) L'utilisation sécurisée et adaptée de ces tuyaux enroulés doit faire l'objet d'une consultation auprès du fabricant.

3.4.2 Zones de travaux et mesures techniques

3.4.2.1 Routes et places

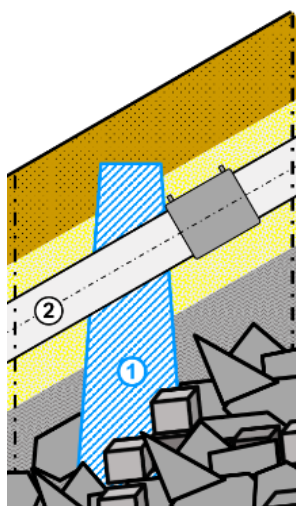
- (1) La hauteur de couverture minimale des tubes est fonction des prescriptions de l'autorité administrative compétente. Si une hauteur de couverture moindre est tolérée, il convient de prendre des mesures de protection appropriées (béton ou similaire). Les mouvements de terrain et les travaux de voirie peuvent faire varier la hauteur de couverture minimale des tubes en place.
- (2) Il convient d'observer les dispositions des normes et directives applicables des autorités administratives compétentes pour le comblement et le compactage de la fouille.

3.4.2.2 Terrains cultivés et prairies

- (1) Les conduites doivent être posées à une profondeur suffisante (sous-solage). Attention aux couches aquifères: la fouille ne doit ni drainer ni retenir les eaux. Utiliser si nécessaire des raccords soudés.

3.4.2.3 Tubes sur terrains en pente

- (1) Les tubes posés sur des terrains en pente escarpée (dénivelé) doivent être maintenus dans le sens longitudinal ou transversal (p. ex. au moyen de murets de soutènement en béton) afin de prévenir tout glissement. Utiliser si nécessaire des raccords soudés (cf. Figure 11).



1 Muret de soutènement en béton
2 Tube de protection des câbles

Figure 11: Pose sur terrain en pente

3.4.2.4 Montage de tubes sur des ouvrages d'art

- (1) La pose à l'air libre des tubes de protection de câbles (p. ex. montage sur la partie inférieure ou latérale d'un pont) doit faire l'objet d'une concertation entre l'ingénierie, l'entreprise, le gestionnaire de réseau de distribution (GRD) et le fournisseur. Outre l'aspect esthétique, il convient de tenir compte des critères techniques comme la dilatation, la résistance aux UV, aux intempéries et à la température ainsi que le montage (statique des ouvrages d'art).
- (2) **Protection contre les incendies**

Dans les bâtiments, il convient de tenir compte des mesures obligatoires de protection contre les incendies. Les tubes de protection de câbles standard ne répondent pas aux exigences élevées en la matière, mais des tubes spéciaux ignifugés destinés à cet usage sont disponibles sur le marché (cf. section 2.1.2).



(4) 凡在 1990 年 12 月 31 日以前, 已在本行或本行所属的分支机构, 以及本行所属的分支机构所属的分支机构, 从事过本行所规定的业务, 且符合本行规定的条件的, 均可申请成为本行的会员。

- (1) Toute pose en zone de protection des eaux requiert l'autorisation des autorités cantonales ou communales compétentes.
- (2) Les installations sont soumises à autorisation conformément à l'art. 19, al. 2 de la Loi fédérale sur la protection des eaux.
- (3) S1: toute installation interdite
- (4) S2: installations en principe interdites, exceptions possibles pour des raisons importantes et en l'absence de tout risque de pollution des eaux souterraines
- (5) S3: installations diminuant la capacité d'emmagasinement ou la section d'écoulement des aquifères interdites
- (6) Au: installations au-dessous du niveau piézométrique moyen des nappes d'eaux souterraines interdites

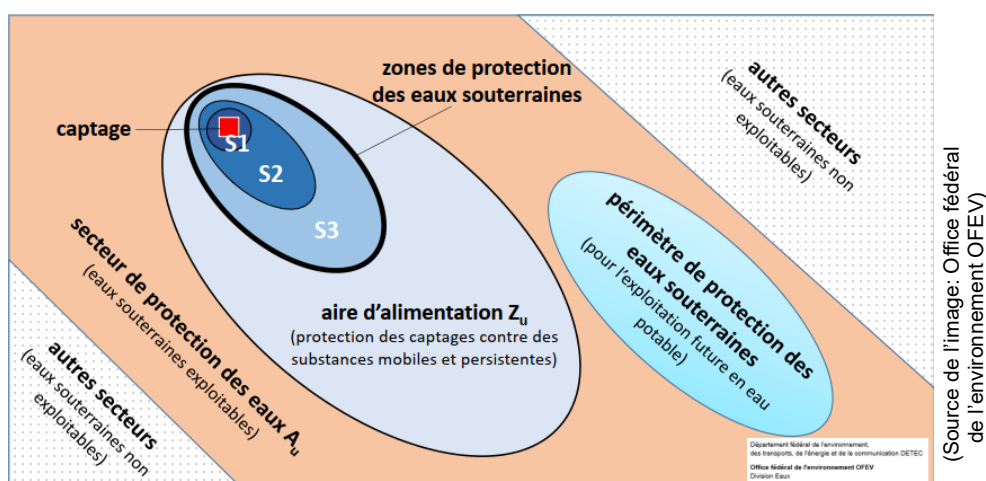


Figure 12: Éléments des mesures d'organisation du territoire relatives aux eaux souterraines

3.4.2.6 Pose dans des tunnels

- (1) Lors de la pose dans des tunnels, il convient de respecter les directives des autorités compétentes.
- (2) Les fiches techniques suivantes doivent notamment être observées:
«Batteries de tubes et chambres de tirage 24 001-10405» de l'Office fédéral des routes (OFROU).

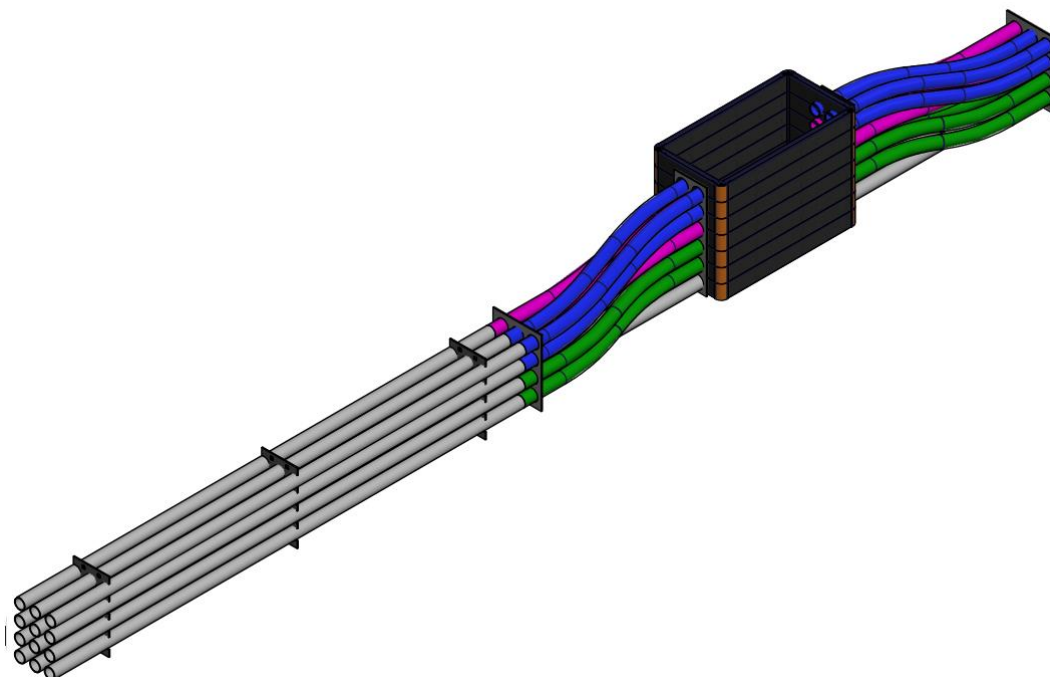


Figure 13: Exemple de bloc de tubes dans le tunnel du Vispताल

Lors de la pose de tubes de protection de câbles dans des tunnels ferroviaires, il convient de respecter les instructions de l'exploitant concerné.

3.5 Méthodes de pose sans fouille

3.5.1 Vue d'ensemble des méthodes de pose sans fouille

- (1) À l'annexe 1 sont décrites et illustrées les méthodes de pose sans tranchée suivantes:
 - Charrue à câble
 - Trancheuse à roue
 - Fusée pneumatique
 - Fonçage hydraulique
 - Forage horizontal dirigé
 - Fonçage par battage
 - Microtunnelier
 - E-Power Pipe

- (2) Les types de pose décrits sont des travaux de construction très spécialisés. La planification et la réalisation de ces travaux requièrent de l'expérience et une étude de sol adéquate au cas par cas. Il convient de respecter systématiquement les spécifications techniques.

3.6 Technique de raccordement

3.6.1 Coupe et chanfreinage du tube sur site

- (1) Les tubes doivent être coupés de telle manière que les chutes puissent être également utilisées avec des manchons doubles:
- Marquer la dimension et couper le tube à angle droit avec un outil de coupe adapté ou une scie à denture fine
 - Chanfreiner le tube avec un outil à chanfreiner, une disqueuse à chanfrein ou une râpe (choisir un angle aussi proche que possible que celui du chanfrein original du tube)



Figure 14: Chanfreinage avec râpe



Figure 15: Coupe avec disque à chanfreiner

3.6.2 Préparation des tubes

- (1) Déposer le nombre de tubes requis sur le fond de fouille.
- (2) Préparer comme suit les manchons et les extrémités mâles:
- Nettoyer l'extrémité mâle avec un chiffon
 - Bien nettoyer l'extérieur de l'extrémité mâle et l'intérieur du manchon
 - Pour les raccordements avec joint d'étanchéité en caoutchouc, appliquer un lubrifiant sur l'extrémité mâle (y compris sur la surface chanfreinée)



- (3) Les tubes de protection de câbles doivent être posés avec les joints correspondants afin de ne pas altérer le fonctionnement et la durée de vie du système de protection de câbles (observer les instructions de pose des GRD).

Remarque: Les joints sont mis en place en atelier par le fabricant / fournisseur des tubes et font donc partie de la livraison. Le point de couleur sur la bague en caoutchouc est toujours orienté vers l'ouverture du tube dans laquelle doit être introduite l'extrémité mâle de l'autre tube (cf. Figure 16).

Attention: Lorsque les joints sont remplacés après avoir été retirés pour nettoyage, il convient de veiller à ce qu'ils soient positionnés correctement et au bon emplacement avant la pose des tubes.

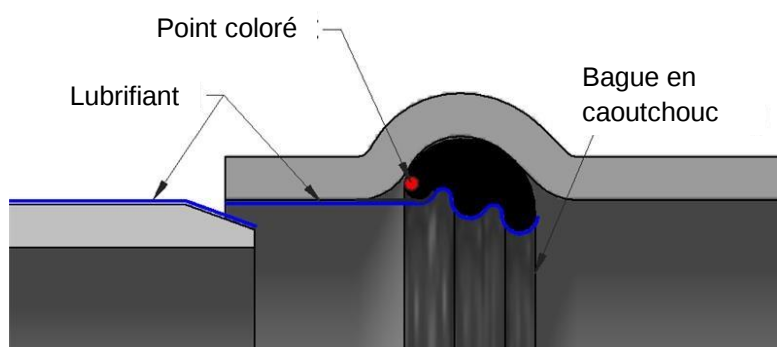


Figure 16: Étanchéité du tube de protection de câble au niveau du manchon

3.6.3 Raccordements avec manchons

- (1) Après la préparation des tubes telle que décrite à la section 3.6.2, il convient de procéder au raccordement des tubes comme suit:

a) Raccordement de tubes avec manchon préformé, enfiché ou soudé et joint en caoutchouc:

Étape	Opération et illustration
1	Enduire l'extrémité mâle et le joint de lubrifiant
The four photographs illustrate the application of lubricant. Top-left: A hand applies white lubricant from a tube labeled 'Lith Stecker' into the male end of a grey pipe. Top-right: A hand inserts a black rubber joint into the male end of the pipe. Bottom-left: A hand applies white lubricant to the outer surface of the male end of the pipe. Bottom-right: The completed assembly with the joint inserted into the pipe.	
2	Positionner le tube équipé du manchon dans l'axe de l'extrémité mâle portant le marquage
The two photographs show the alignment of the pipe. Left: A hand guides a grey pipe with a red stripe into the male end of a pipe that already has a joint inserted. Right: The grey pipe is fully inserted, aligned with the red stripe on the existing pipe.	



Étape	Opération et illustration
-------	---------------------------

3	Introduire l'extrémité mâle dans le manchon
---	---



4	Soulever l'extrémité du tube et pousser ce dernier jusqu'au marquage avec un mouvement rotatif
---	--



5	Pour les tubes de grand diamètre, il convient d'utiliser des outils appropriés pour procéder à l'insertion du tube dans le manchon sans en endommager l'extrémité.
---	--



Tableau 4: Instructions pour procéder au raccordement de tubes avec manchon préformé, enfiché ou soudé et joint en caoutchouc

b) Raccordement de tubes avec manchon double et joint en caoutchouc:

Étape	Opération	Illustration
1	Enduire les extrémités des tubes de lubrifiant et effectuer si nécessaire un marquage pour délimiter la profondeur d'insertion	
2	Positionner le tube dans l'axe, le soulever et l'insérer dans le manchon double	
3	Soulever l'extrémité du tube et pousser ce dernier jusqu'au marquage avec un mouvement rotatif	
4	Pour les tubes de grande dimension, il est possible d'utiliser des outils appropriés.	
Lors de toute interruption des opérations, il convient d'obturer les tubes et les manchons avec des bouchons.		

Tableau 5: Instructions pour le raccordement de tubes avec manchon double et joint en caoutchouc

c) Manchons doubles sans nervures

Les manchons doubles sans nervures peuvent être installés dans les galeries ou les tunnels (cf. Figure 17). Pour leur installation, se référer aux instructions du tableau à l'annexe 2.



Figure 17: Manchons doubles sans nervures

3.6.4 Raccordements par soudure

- (1) Il convient de procéder à des raccordements par soudure dans les zones susceptibles de présenter de l'eau de ruissellement ou des nappes souterraines proches de la surface.
- (2) En principe, seuls les tubes de protection de câbles en PE-HD (PE80 et PE100) **vierge** garantissent une soudabilité optimale.
- (3) La soudabilité des autres matériaux (PE-LD) et des matériaux recyclés n'est pas systématiquement garantie et doit faire l'objet d'une concertation entre le mandant et le fabricant dans ces cas de figure exceptionnels.
- (4) Pour les tracés de tubes de grand diamètre nominal (d_n 214 mm, d_n 250 mm et d_n 315 mm), les changements de direction (coudes sur mesure) doivent être réalisés à l'aide de raccordements par soudure.
- (5) Les raccordements de tubes de protection de câbles posés en surface (ponts) doivent être réalisés par soudure en raison de la dilatation.
- (6) Pour le soudage de tubes de protection de câbles en PE-HD, on différencie en principe le soudage bout à bout et le soudage électrique.



- (7) Il relève de la responsabilité de l'entreprise chargée des travaux de faire appel uniquement à du personnel possédant les qualifications et la formation requises pour procéder au soudage des tubes de protection de câbles. La VRK et l'ASS proposent à cet égard des formations conduisant à la délivrance de certificats.

3.6.4.1 Soudage bout à bout

- (1) Lors du soudage bout à bout, le procédé conduit à la formation d'un bourrelet également sur la face interne du raccordement (voir 3). Ce bourrelet intérieur provoque un rétrécissement de la section du tube et peut engendrer des difficultés au moment du calibrage. Il peut être éliminé à l'aide d'un araseur spécialement prévu à cet effet. Cette étape d'arasage du bourrelet interne doit faire l'objet d'un appel d'offres par l'ingénierie.
- (2) Les embouts des tubes ou des pièces préformées à raccorder sont chauffés à l'aide d'une plaque chauffante (miroir à souder), puis assemblés par pression.
- (3) Le soudage bout à bout permet d'assembler uniquement des tubes ou des pièces préformées dont le diamètre et l'épaisseur de paroi sont identiques.

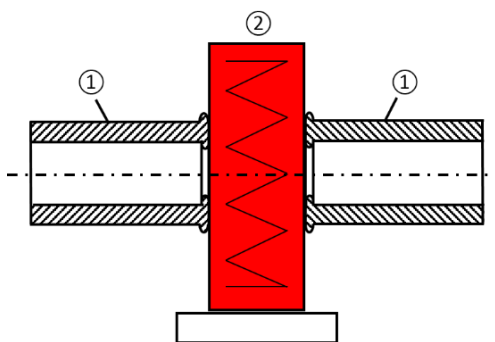


Figure 18: Chauffage

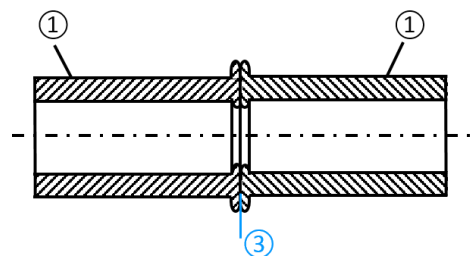


Figure 19: Assemblage

① Tube ② Plaque chauffante ③ Zone de raccordement

- (4) Les phases suivantes du processus de soudage et les conditions, ainsi que les étapes détaillées sont décrites in extenso dans la norme DVS 2207-1.
- Rabotage
 - Ajustement
 - Chauffage
 - Déplacement / assemblage
 - Refroidissement
- (5) Les exigences relatives à la machine à souder et à ses accessoires (tels que les séparateurs et les supports à rouleaux), ainsi que l'intervalle de maintenance d'au moins 1x par an sont définis dans la norme DVS 2208-1.
- (6) Il convient de se renseigner auprès du fabricant des tubes pour connaître les paramètres de soudage.

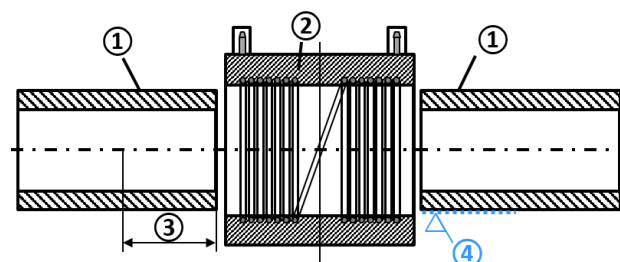


3.6.4.2 Soudage électrique

- (1) Dans le cas du soudage par résistance chauffante ou soudage électrique, les surfaces à raccorder se superposent (surface externe du tube et face interne du raccord): elles sont chauffées par énergie électrique à l'aide de fils de résistance (serpentin chauffant) positionnés dans le raccord et sont ainsi soudées. La Figure 20 ci-dessous illustre ce procédé.

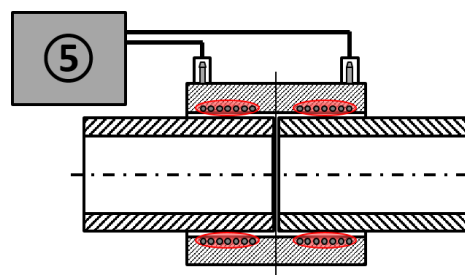
Tubes et pièce préformée non soudés

- ① Tube
- ② Raccord
- ③ Profondeur d'emboîtement
- ④ Surface traitée à la raboteuse



Soudage

- ⑤ Poste à souder



Raccordement fini

- ⑥ Zone de raccordement

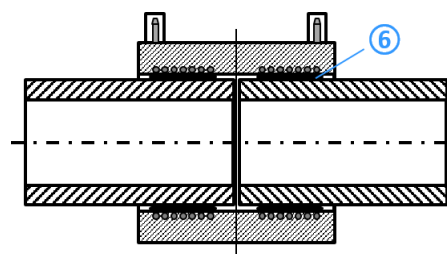


Figure 20: Marche à suivre pour le soudage électrique

- (2) Les pièces préformées destinées au soudage électrique permettent de raccorder des tubes dont l'épaisseur de la paroi diffère et le diamètre nominal est identique. Il convient de consulter le fabricant pour déterminer l'applicabilité (compatibilité).
- (3) Le processus de soudage comprend les étapes suivantes:
- Rabotage du tube (utiliser la raboteuse)
 - Nettoyage du tube et du raccord destiné au soudage électrique (seulement la zone rabotée)
 - Marquage de la profondeur d'emboîtement / de la position du raccord (veiller à la mise hors tension lors du montage)
 - Soudage
 - Refroidissement

Pour plus de détails, se reporter à l'annexe 3.

- (4) Les conditions et les étapes détaillées sont décrites in extenso dans le norme DVS 2207-1.



- (5) Lors du soudage électrique, les données du soudage sont automatiquement scannées dans le poste à souder à l'aide d'un code-barres.
- (6) Le poste à souder doit faire l'objet d'une maintenance au moins 1x par an, conformément à la norme DVS 2208-1.

3.7 Changements de direction

3.7.1 Coudes

- (1) Pour les changements de direction, il convient d'utiliser et de bétonner des coudes préformés rigides (45° et 90°) ou des coudes rigides sur mesure. L'installation de raccordements avec manchons dans la zone du coude n'est pas recommandée. (Les manchons fixés par soudage électrique sont une solution courante).
- (2) L'angle standard des coudes rigides correspond au diamètre interne multiplié par 10. Plus l'angle du coude est grand, plus le tirage du câble est simple.
- (3) L'utilisation de coudes flexibles doit faire l'objet d'une concertation avec le GRD. Une utilisation non conforme des coudes flexibles peut occasionner des difficultés lors du tirage du fil. Les coudes flexibles risquent en outre d'être endommagés lorsqu'il faudra à nouveau accéder aux tubes.



Figure 21: Exemple de coude flexible



Figure 22: Exemple de coude fixe

3.7.2 Tubes cintrés à froid sur le chantier

- (1) Pour les changements de direction à l'aide de tubes coudés à froid, respecter les rayons de courbure minimum du tableau 1.
- (2) L'ovalisation engendrée par le formage à froid du tube ne doit pas gêner le calibrage consécutif.

DN/OD	DN/ID	Rayon de pose minimum toléré [m]		Profondeur d'emboîtement minimale [mm]
		≥ 10°C	0°C	
Tubes de protection de câbles pour l'approvisionnement en électricité				
72	60	2,70	3,60	100*
92	80	3,60	4,80	105*
112	100	5,00	7,50	130*
132	120	8,40	12,00	150*
163	148	10,50	15,00	190*
214	195	14,00	20,00	250*
250	234	Cintrage à froid non toléré!		
315	295	Cintrage à froid non toléré!		
Tubes de protection de câbles pour la communication de données				
32	K 28	1,26	1,68	-
40	K 34	1,53	2,04	-
50	K 40/44	1,80	2,40	120
63	K 55	2,75	4,13	130

Tableau 6: Grandeurs applicables aux tubes cintrés à froid (tenir compte de l'allongement, cf. section 2.1.4)

* Conformément à la directive VKR 01-10 (Association tubes et raccords en matières plastiques)

- (3) Toutes ces indications se réfèrent à des tubes entiers.
- (4) Si les angles formés sont inférieurs aux valeurs tolérées (même brièvement), les tubes sont exposés à un risque de pliage.
- (5) Il convient d'interroger le fabricant pour connaître les spécificités à observer en cas de pose et de cintrage (rayons de pose minimum) de tubes et de coudes lors de températures inférieures à 0 °C.

3.8 Regards (chambres de tirage)

- (1) Les regards doivent être dimensionnés de sorte à pouvoir respecter les rayons de courbure minimum de tous les câbles (cuivre / aluminium) à installer.
- (2) La distance entre les regards dépend de la topographie, du poids des câbles ainsi que du nombre et de la géométrie des changements de direction. Il convient d'effectuer des calculs de tirage de câbles. Consulter les fabricants de câbles pour obtenir davantage d'informations.

Exemple de calcul de tirage de câble à l'annexe 4.



(3) Différents matériaux sont disponibles pour les regards:

- Plastique préformé (p. ex. PE-HD renforcé de fibre de verre)
- Béton et béton-polymère préformé
- Regards sur mesure fabriqués sur le chantier

Les illustrations suivantes présentent des exemples de réalisations:



Figure 23: Chambre en plastique ouverte



Figure 24: Regard préfabriqué



Figure 25: Regard en béton sur mesure fabriqué sur place

3.9 Entrées de câbles

- (1) Les entrées de câbles doivent être exécutées de sorte à résister à la traction et, si possible, à assurer l'étanchéité.
- (2) Les entrées de câbles sont exécutées à l'aide de manchons terminaux.

3.10 Entrées murales

- (1) Les entrées murales doivent être exécutées de sorte à résister à la traction et à assurer l'étanchéité à l'eau et au gaz. Elles doivent en outre répondre aux Prescriptions de protection incendie de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI) et aux exigences du GRD.
- (2) Les entrées murales sont généralement exécutées à l'aide de dispositifs d'étanchéité pour câbles (anneaux de serrage) ou de passe-fils spéciaux.

Exemples d'entrées:



Figure 26: Anneaux de serrage pour étanchéité des câbles



Figure 27: Entrée de tube pour coffrages béton

4. Réception

4.1 Relevé de la position des tubes

- (1) Lors de la pose de nouveaux tubes de protection de câbles ou de la modification d'un système existant, il convient de mesurer au préalable le positionnement et la hauteur de couverture ou la hauteur des tubes, puis de reporter ces mesures sur un plan d'exécution ou dans un système numérique (GIS).

4.2 Contrôle de réception

- (1) Pour toutes les nouvelles installations de tubes, il est expressément recommandé d'effectuer la réception selon les art. 157ss de la norme SIA 118 après l'achèvement des travaux. Toute partie de l'ouvrage fermée et achevée (p. ex. éléments structurels ou liaisons de regard à regard qui ne sont plus accessibles) peut faire l'objet d'un contrôle et être remise aux gestionnaire de réseau de distribution (GRD). Les délais de réclamation et de prescription courent pour l'entreprise à compter de la réception de l'ouvrage. Sauf accord contraire, ce sont les délais et les autres dispositions de la norme SIA 118 qui s'appliquent.
- (2) La réception vérifie et garantit la pose conforme des tubes, en prenant notamment en considération les points suivants:
 - L'installation de tubes a été réalisée conformément aux plans d'exécution,
 - La déformation maximale admissible des tubes n'est pas dépassée (calibrage),
 - Aucun élément n'a été endommagé (contrôle par inspection par caméra),
 - L'installation de tubes est exempte de saletés (sable, gravier, corps étrangers).
- (3) Le calibrage et l'inspection par caméra sont effectués sur un bloc de tubes exécuté en conformité avec les prescriptions. Le contrôle final du bloc de tubes (batterie) n'exclut pas un contrôle continu au cours de la construction de l'installation de tubes, par le GRD ou sa représentation.
- (4) **Étanchéité**
Les joints à lèvre installés servent uniquement à prévenir la pénétration de matériaux non liquides (terre, sable, béton, etc.). Lorsqu'une meilleure étanchéité du système de tubes de protection des câbles est nécessaire, il convient généralement d'opter pour un assemblage par soudage. Pour des informations plus détaillées sur la marche à suivre, consulter le fabricant.





Figure 28: Exemple de dégradation causée par une barre de fer de béton armé ayant transpercé le tube



Figure 29: Exemple de dégradation causée par une fissure transversale à l'axe du tube

4.3 Calibrage

4.3.1 Dimensions de calibrage

- (1) Le calibre est confectionné dans un matériau souple adapté, comme le plastique ou le bois dur (hêtre), de forme cylindrique et chanfreiné en forme de cône, et ce, pour les raisons suivantes:

- Prévention de l'endommagement du tube
- Détection d'irrégularités ou de corps étrangers tranchants dans le tube

Suggestion: il est recommandé d'entourer toute la surface du calibre d'une bande adhésive claire. L'état peut être consigné par une photo avant d'introduire le calibre dans la conduite (état vierge de la bande adhésive). Ensuite, vous pouvez consigner dans le procès-verbal de calibrage les éraflures relevées sur la bande adhésive. Puis le calibre peut être enduit de lubrifiant et la bande adhésive, remplacée si elle est éraflée ou endommagée.

- (2) Le calibre a un diamètre imposé permettant une déformation maximale du diamètre intérieur du tube de 10%. Le GRD peut définir des tolérances différentes. Les dimensions du calibre sont décrites dans la Figure 30 et le Tableau 6 ci-dessous.

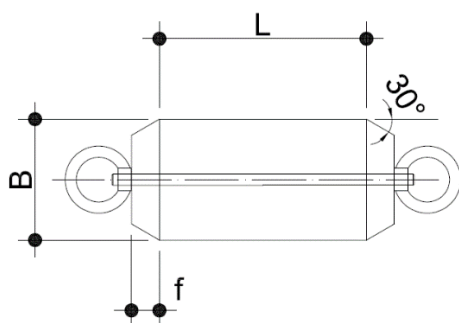


Figure 30: Dimensions du calibre

- (3) Le tableau suivant indique les dimensions du calibre en fonction des différents diamètres de tube.

Diamètre externe du tube DN/OD	Diamètre in- terne du tube DN/ID	Dimensions de calibre [mm]		
		Diamètre B	Longueur L	Chanfrein f
Tubes de protection de câbles pour l'approvisionnement en électricité				
72	60	54	118	10
92	80	72	118	15
112	100	90	185	20
132	120	108	185	25
163	148	133	185	30
214	195	175	280	35
250	234	210	330	40
315	295	265	410	55
Tubes de protection de câbles pour la communication de données				
32	K 28	24	55	5
40	K 34	30	65	5
50	K 40	36	80	7,5
63	K 55	49	95	15

Tableau 7: Dimensions du calibre recommandées en fonction des différents diamètres de tube

- (4) Si nécessaire, pour faciliter et optimiser le contrôle destiné à détecter les irrégularités ou les corps étrangers tranchants à l'intérieur du tube de protection de câble, il est possible de positionner sur le calibre deux bandes adhésives d'environ 100 mm de largeur l'une à côté de l'autre. Ces bandes adhésives doivent être enduites de lubrifiant. Il est recommandé de photographier les bandes adhésives avant l'insertion. Les éventuelles éraflures relevées sur les bandes adhésives doivent être consignées dans le procès-verbal de calibrage. Remplacez ensuite les bandes adhésives si elles sont éraflées ou endommagées.

4.3.2 Enregistrement des forces d'étalonnage

- (1) La force de traction nécessaire pour tirer le calibre compte parmi les autres critères de réception susceptibles d'être mesurés dans le cadre du calibrage. Elle dépend de la longueur et des changements de direction du tracé.
- (2) Il est recommandé de ne pas dépasser les forces de traction suivantes: de 100 à 300 daN (décanewton; correspond à 1...3 kN) selon le diamètre et la longueur.



- (3) Il est en outre recommandé d'enregistrer les forces de traction lors du calibrage. Il faut veiller à adapter la vitesse de calibrage aux installations et de ne pas sélectionner une vitesse trop élevée (valeurs pratiques 20-80 m/min). La Figure 31 qui suit présente un exemple d'enregistrement des forces d'éta- lonnage.

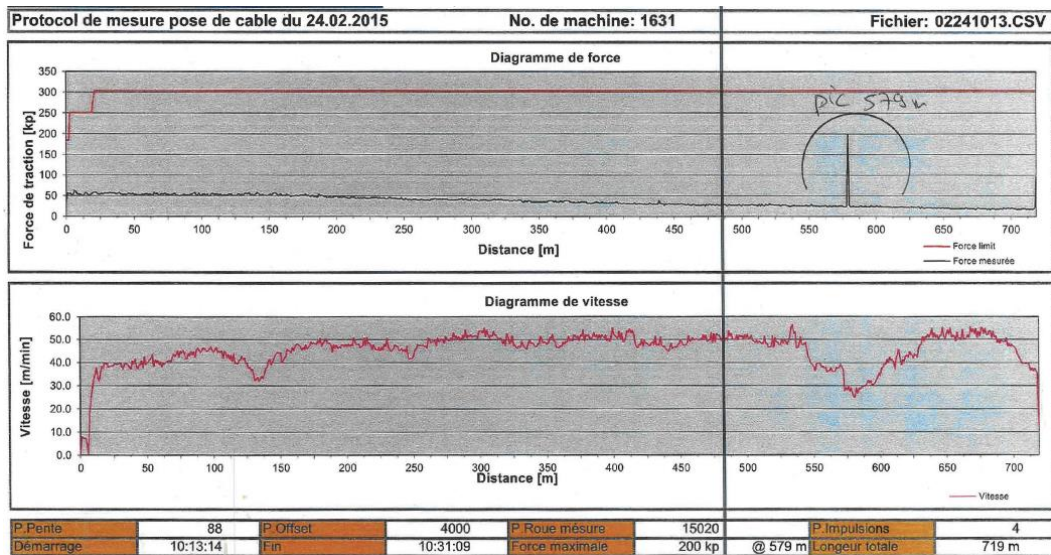


Figure 31: Exemple d'enregistrement des forces d'éta- lonnage

4.3.3 Inspection par caméra

- (1) Le passage d'une caméra ou d'une caméra de calibrage permet d'inspecter visuellement l'état de l'installation de tubes avant le tirage du câble. Les illustrations suivantes présentent des exemples d'inspection par caméra.

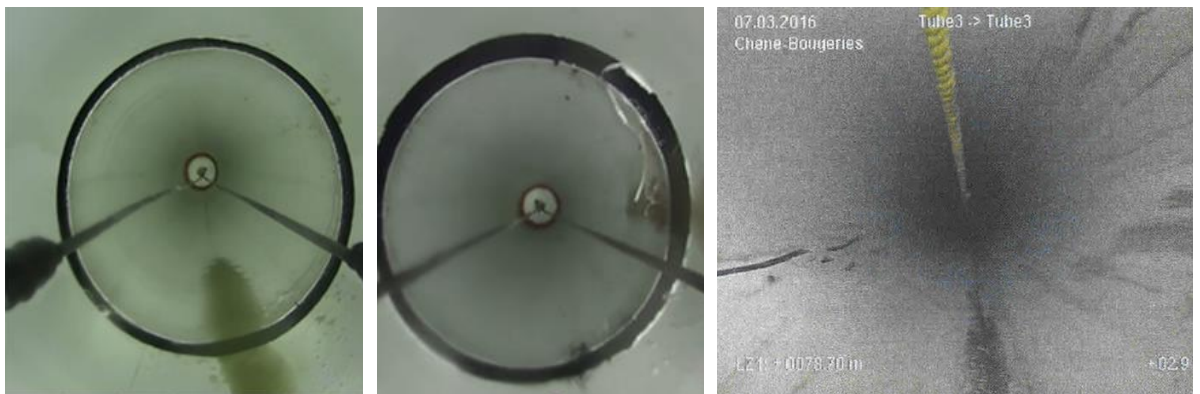


Figure 32: Exemple de clichés réalisés lors d'une inspection par caméra

4.4 Documentation et procès-verbaux

- (1) La réception de l'ouvrage doit faire l'objet d'un procès-verbal, qui doit être signé par toutes les parties. En l'absence de défauts ou de défauts majeurs, l'ouvrage est considéré comme réceptionné et la période de garantie (délai de réclamation) commence à courir. Si des défauts majeurs empêchant l'utilisation conforme de l'ouvrage sont constatés, ils doivent être corrigés dans un délai raisonnable avant une nouvelle réception.
- (2) La réception doit généralement s'accompagner des documents suivants:
 - Procès-verbal de réception
 - Plan de l'ouvrage exécuté
 - Procès-verbal de calibrage
 - Prises de vue de l'inspection par caméra

Les annexes 5 et 6 proposent des exemples de procès-verbaux de réception et de calibrage.



5. Élimination et écologie

- (1) Les déchets de chantier doivent être éliminés en conformité avec les principes de l'Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED).
- (2) Aux termes de l'art. 17, let. d OTD, les déchets de chantier provenant des tubes de protection de câbles sont classés dans la catégorie: «les autres matériaux pouvant faire l'objet d'une valorisation matière, tels que le verre, les métaux, le bois, et les matières plastiques, lesquels doivent être collectés autant que possible séparément».
- (3) Pour des raisons écologiques et économiques, on visera une réutilisation des chutes de tubes. Les déchets doivent être traités de la façon suivante:
 - a) Réutilisation
 - b) Valorisation
 - c) Incinération dans une usine d'incinération des ordures ménagères

Le graphique suivant illustre le processus de valorisation:

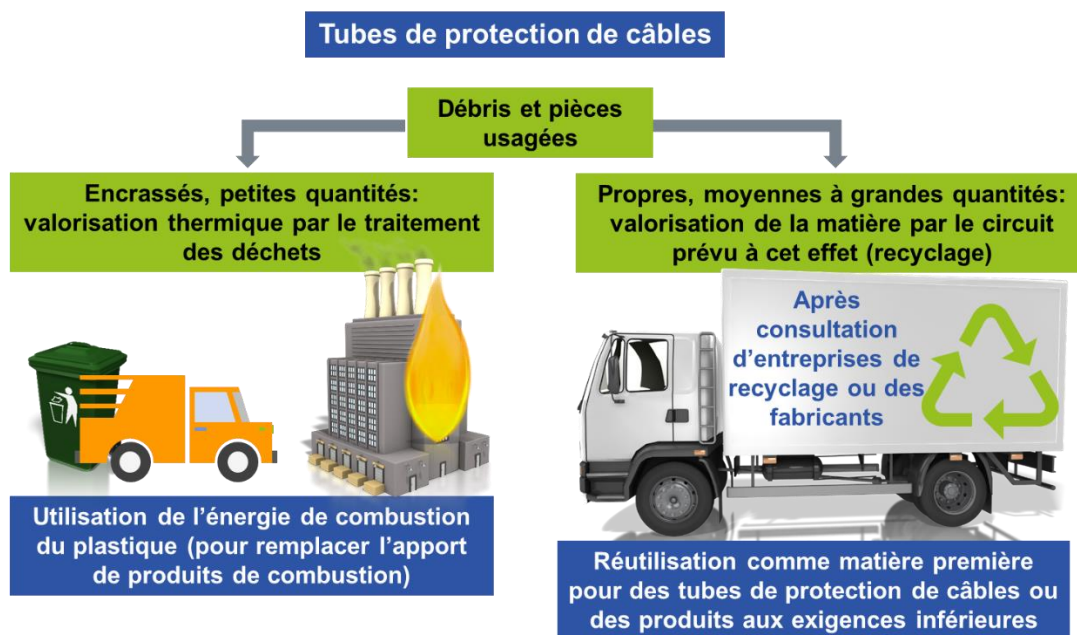


Figure 33: Valorisation thermique et recyclage des tubes de plastique

Annexe 1: Méthodes de pose sans fouille

4.1 Pose par charrue à câble et trancheuse à roue

4.1.1 Pose de conduites par charrue à câble

- (1) Le procédé de pose par charrue à câble permet d'enfouir des câbles et des tubes jusqu'à 315 mm de diamètre. Il compte parmi les méthodes de pose sans fouille. La charrue à câble araignée est tractée à l'aide d'un véhicule de traction tout-terrain équipé d'un treuil. Le dispositif de pose est installé dans une excavation de départ au début du tracé. Grâce à la force de traction du treuil, le dispositif de pose chasse la terre et crée ainsi une cavité dans laquelle est déposée la conduite sans tension. Il est indispensable de procéder au sondage préalable des conduites existantes. Le procédé de pose par charrue est idéalement adapté aux terrains agricoles (aucune canalisation existante).
- (2) Les charrues vibrantes sont principalement utilisées pour l'enfouissement de câbles et de tubes de protection de câbles. Elles sont également parfaitement adaptées pour la pose le long des routes et des chemins. La vibration permet d'ameublir le sol et le recours à un véhicule de traction à treuil supplémentaire n'est pas nécessaire car la charrue est dotée d'une motorisation autonome.
- (3) Une ou plusieurs conduites peuvent ainsi être enfouies jusqu'à une profondeur de 1,40 m.

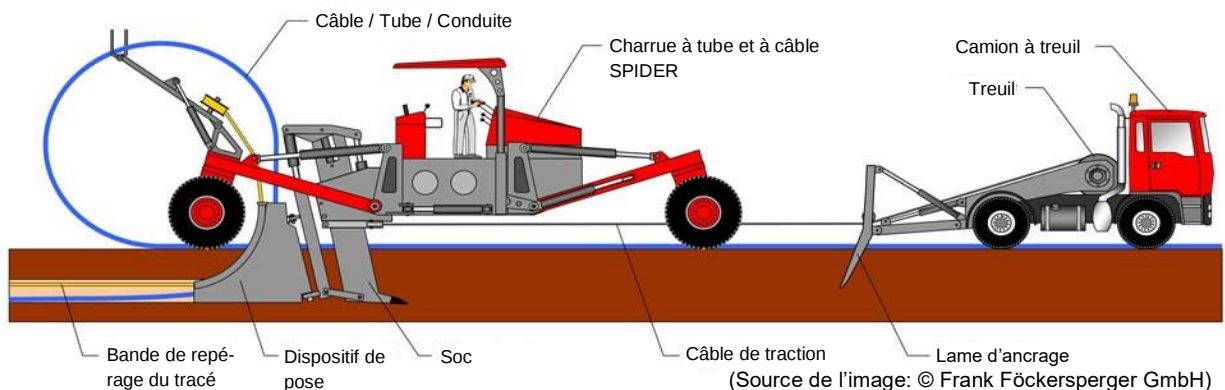


Figure 34: Pose par charrue à câble par force de traction / câble de traction



Figure 35: Charrue vibrante

(Source de l'image: © Frank Föckersperger GmbH)

4.1.1 Pose de conduites par trancheuse à roue

- (1) Les conduites peuvent être posées par trancheuse à roue. Ce procédé compte aussi parmi les méthodes de pose sans fouille, qui nécessitent une excavation de départ, une excavation intermédiaire et une excavation d'arrivée. Les trancheuses à roue permettent de réaliser des excavations mesurant jusqu'à 0,25 m de largeur et 1,50 m de profondeur, quelle que soit la nature du sol. Le tube vide est alors posé dans l'excavation obtenue. Après la pose, l'excavation peut être comblée à l'aide du fraiseur. Il est indispensable de procéder au sondage préalable des conduites existantes. Le procédé de pose par trancheuse à roue est idéalement adapté aux terrains rocheux. Si les directives des autorités interdisent le mélange des types / couches de sol, le fraisage ne peut être envisagé.
- (2) Une ou plusieurs conduites peuvent ainsi être enfouies jusqu'à une profondeur de 1,50 m et un DN 214. Les différents tronçons peuvent mesurer jusqu'à 100 m de longueur et jusqu'à 300 m peuvent être réalisés par semaine.





Figure 36: Exemple de pose par trancheuse à roue 1



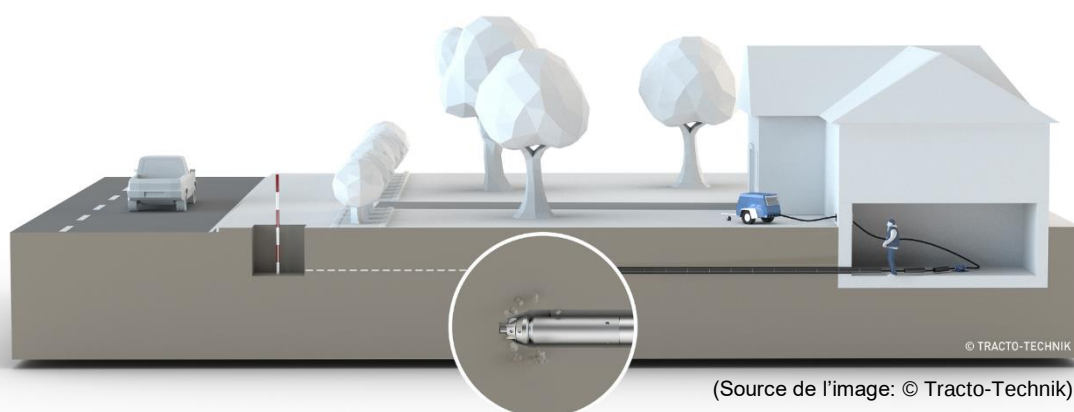
Figure 37: Exemple de pose par trancheuse à roue 2



Figure 38: Exemple de roue

4.2 Fusée pneumatique

- (1) La fusée pneumatique permet de poser des conduites souterraines. Le marteau propulsé par un dispositif pneumatique ressemble à une fusée, ce qui lui vaut son nom. La pose par fusée pneumatique compte parmi les méthodes sans fouille et non dirigeables, nécessitant un puits d'entrée et un puits de sortie. L'orientation de la fusée est assurée à l'aide d'un système optique dans le puits d'entrée et d'une jauge dans le puits de sortie (cf. Figure 39). La fusée est ensuite déposée dans un affût, qui peut être orienté verticalement et latéralement. Si des élévations de terrain doivent être évitées, la profondeur de forage doit correspondre au minimum à 10 fois le diamètre de la fusée.
- (2) La propulsion de la fusée permet de tirer directement un long tube de plastique jusqu'à un DN 160. Grâce à la fusée pneumatique, il est possible de poser des conduites souterraines d'une longueur allant jusqu'à 25 m. La vitesse de propulsion peut atteindre jusqu'à 15 m/h. La condition à l'utilisation de la fusée pneumatique est la présence d'un sol suffisamment meuble (étude géologique préalable).



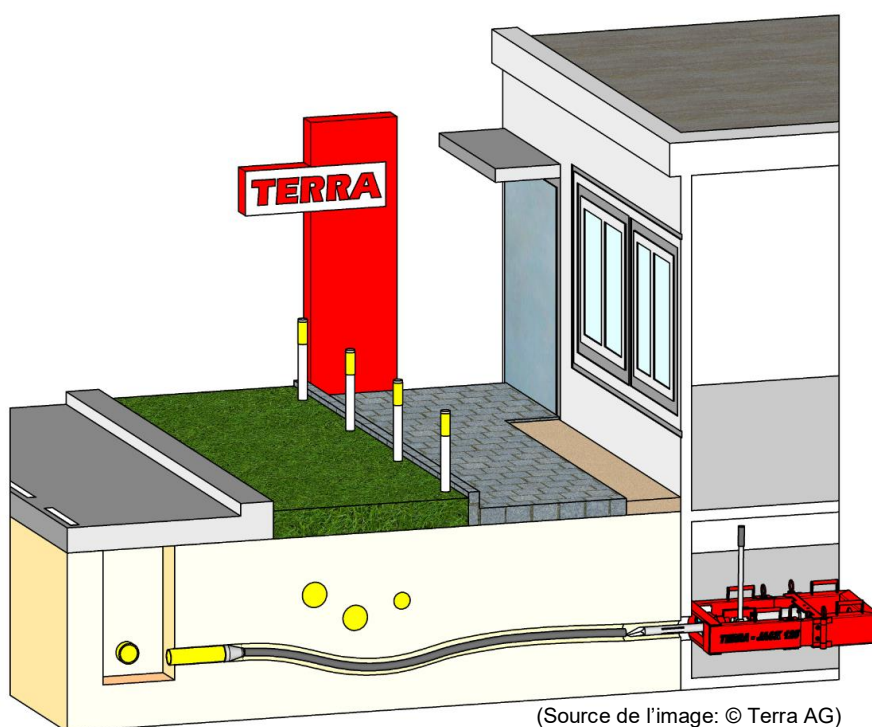
(Source de l'image: © Tracto-Technik)

Figure 39: Exemple de pose par fusée pneumatique depuis un bâtiment



4.3 Fonçage hydraulique

- (1) Le fonçage hydraulique permet de poser des conduites souterraines. Ce procédé compte parmi les méthodes sans fouille nécessitant un puits d'entrée et un puits de sortie. Il consiste à pousser dans la terre des tubes d'acier équipés d'une tête de forage et d'une sonde. Grâce à la tête d'expansion, il est possible de tirer des conduites jusqu'à 110 mm de diamètre.
- (2) Le procédé de forage est dirigeable, les différents tronçons peuvent mesurer jusqu'à 30 m et les rayons de courbure se montent à 30 m minimum. Les valeurs recommandées sont à déterminer en fonction du diamètre de forage choisi et de la nature du sol. Le fonçage hydraulique est avant tout utilisé pour les raccordements domestiques (cf. Figure 40).



(Source de l'image: © Terra AG)

Figure 40: Fonctionnement du fonçage hydraulique

4.3.1 Fonçage: généralités

- (1) Le fonçage permet de pousser un tube d'acier dans le sol par propulsion hydraulique. La tête du tube est équipée d'une tête de forage qui assure l'excavation et achemine les déblais vers l'arrière à l'intérieur du tube. Il existe différents types de têtes de forage. Il conviendra de sélectionner la tête adaptée en fonction de la nature du sol. Pour les sols rocheux, on ajoute un marteau fond-de-trou. Les tubes en acier peuvent ainsi être installés sous des obstacles tels que des voies ferrées ou des routes très fréquentées, afin de pouvoir tirer ultérieurement des tuyaux à fluides, des conduites d'approvisionnement ou des lignes de télécommunication (gaz, électricité, eau, télévision par câble, téléphone). Seuls deux puits sont nécessaires: un puits d'entrée et un puits de sortie. Leur profondeur doit tout juste permettre de positionner le dispositif de forage sur l'axe souhaité.



4.3.2 Fonçage avec forage pilote

- (1) Dans un premier temps, un tir pilote est effectué pour réaliser une première excavation. Une fenêtre optique dans les tubes pilotes, une tête de commande équipée de biseaux de commande et le système de navigation électronique optique permettent de commander de façon précise et ciblée le tir pilote.

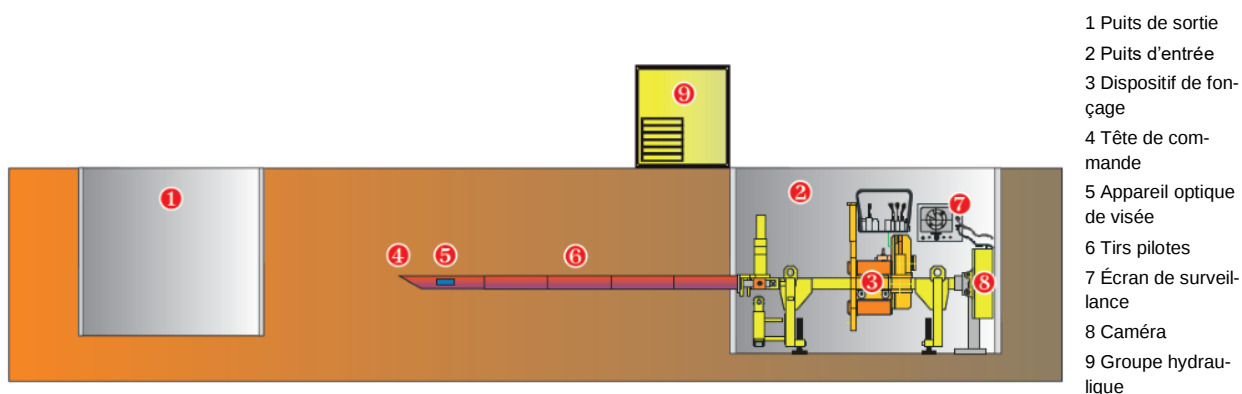


Figure 41: Fonçage avec tir pilote

- (2) Une fois le tube pilote installé, un système d'alésage adapté aux conditions géologiques et des tubes de fonçage équipés de convoyeurs à vis internes sont ajoutés au dispositif.

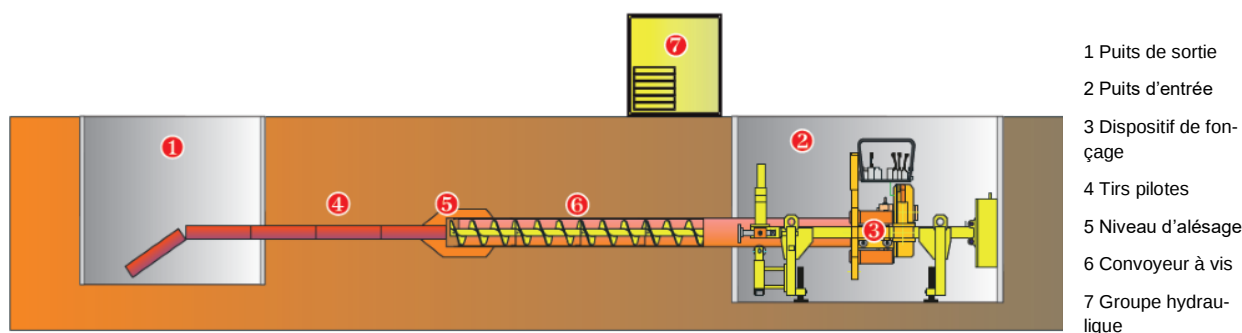


Figure 42: Fonçage avec système d'alésage et tubes de fonçage

4.3.3 Fonçage sans forage pilote / commande

- (1) Pour les forages de courte longueur, les tubes en acier d'un diamètre de 150 à 180 mm peuvent être installés en une seule étape, sans forage pilote et sans commande des tubes, que la roche soit meuble ou dure. L'installation de forage est préalablement ajustée selon l'axe et la hauteur de forage souhaités.



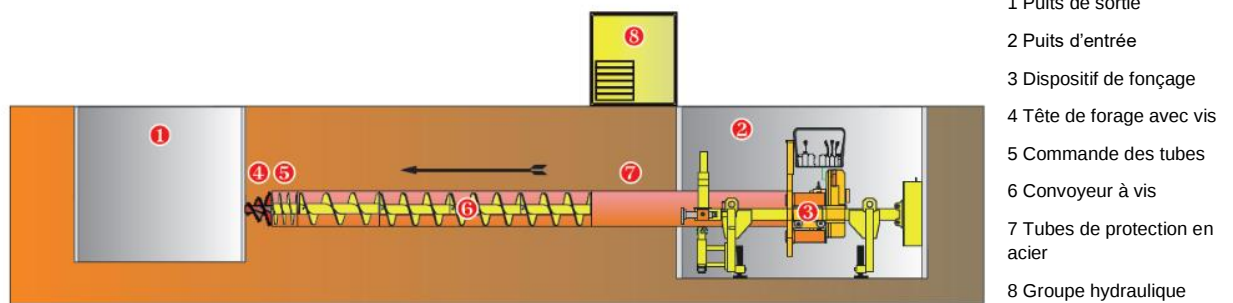


Figure 43: Presse de forage sans forage pilote / commande

4.3.4 Fonçage avec dispositif de commande des tubes

- (1) Les dispositifs de commande des tubes permettent d'installer des tubes en acier d'un diamètre de 508 à 1220 mm en une seule étape, que la roche soit meuble ou dure. Le système de navigation électronique optique ainsi que les capteurs de pente et d'angle permettent de commander la tête de forage sur le plan horizontal et vertical.

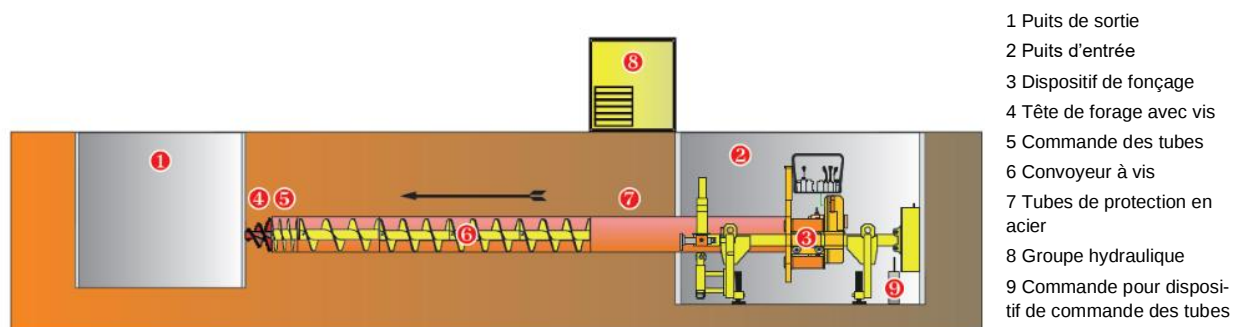


Figure 44: Fonçage avec dispositif de commande des tubes

4.4 Forage horizontal dirigé

- (1) Le forage horizontal dirigé permet de poser des conduites souterraines (cf. Figure 45). Ce procédé compte parmi les méthodes sans fouille nécessitant un puits d'entrée et un puits de sortie. La première étape consiste à réaliser un forage pilote, qui indique la direction de l'ensemble du forage. Dans un deuxième temps, l'excavation est alésée à l'aide d'une tête prévue à cet effet, puis consolidée à l'aide de bentonite et d'additifs. En fonction du diamètre de forage envisagé, on procède à un deuxième alésage ou le tube vide est directement tiré avec la tête lors du premier alésage. Pour réussir un forage horizontal dirigé, il est indispensable de connaître la nature du sol. Cela permet de réduire le risque d'effondrement de l'excavation, de perte des boues ou de solidification de la conduite. Il est par conséquent essentiel d'observer avec précision les forces de traction, ainsi que les résidus et les boues de forage tout au long du processus, éventuellement d'adapter les boues et les additifs.
- (2) Le processus de forage est dirigeable, les différents tronçons peuvent mesurer jusqu'à 500 m de longueur, 8 à 12 m de profondeur et afficher un rayon de courbure d'au moins 12 m. Les valeurs recommandées sont à déterminer en fonction du diamètre de forage choisi et de la nature du sol. Le diamètre de forage maximal s'élève à 700 mm. La force de traction étant élevée, il convient d'utiliser des tubes PE-HD.

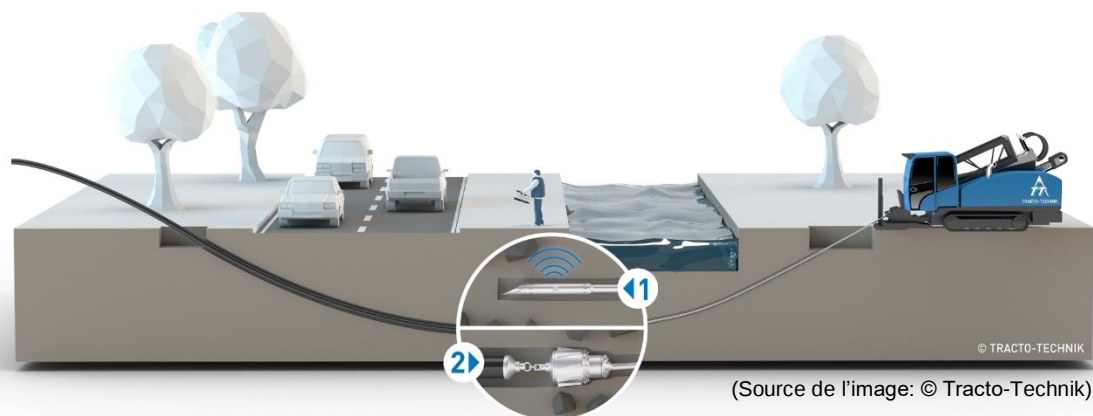
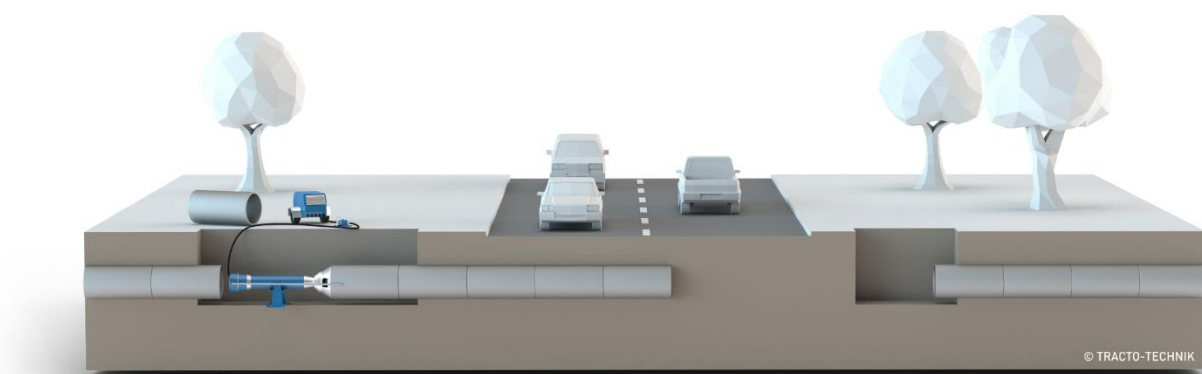


Figure 45: Fonctionnement du forage dirigé

4.5 Fonçage par battage

- (1) Le fonçage par battage permet d'effectuer des excavations sous les routes, les voies ferrées, les bâtiments et les cours d'eau jusqu'à 60 m de longueur (cf. Figure 46). Ce procédé permet de mettre en place des tubes en acier jusqu'à 4000 mm de diamètre sans butée. Cette technique est adaptée pour les tunnels horizontaux et ceux à faible pente. Dans la mesure où la terre n'est pas éliminée, elle permet également de poser des conduites proches de la surface. Les tubes en acier soudés dans la longueur ou en spirale, ou encore sans jonction, font office de protection pour l'ensemble des systèmes de conduites. La terre qui se trouve à l'intérieur du tube en acier est éliminée avec de l'eau ou de l'air comprimé, afin de nettoyer le tube.



(Source de l'image: © Tracto-Technik)

Figure 46: Fonçage par battage



4.6 Microtunnelier

- (1) Le microtunnelier permet de poser des tubes de protection de câbles grâce à la technique de la construction de tunnels. Ce procédé compte parmi les méthodes sans fouille nécessitant un puits d'entrée et un puits de sortie. Il consiste à faire progresser une tête de forage dans le sous-sol, tout en propulsant à sa suite les tubes qui constituent le tunnel à l'aide de presses hydrauliques. La commande de la tête de forage s'effectue depuis l'extérieur de la machine, dans un container situé à proximité du puits d'entrée. Le tunnelier est piloté à l'aide d'un laser et / ou d'un compas gyroscopique.
- (2) Cette méthode permet de poser des tubes d'un diamètre de 500 mm à 4000 mm environ, avec un rayon de courbure d'environ 150 mm minimum et à une vitesse pouvant atteindre jusqu'à 15 m par jour. Les valeurs recommandées sont à déterminer en fonction du diamètre de forage choisi et de la nature du sol.



Figure 47: Microtunnelier

(Source de l'image: © Herrenknecht)

- (3) Le tirage de tubes vides dans un microtunnel peut être effectué au moyen de guides. Équipés de rouleaux, les guides facilitent le tirage des tubes vides ainsi que leur fixation.





Figure 48: Insertion des tubes à fluides dans le microtunnel

- (4) Lors de la pose illustrée à la Figure 48, il convie de veiller la rigidité annulaire des tubes et à l'étanchéité des raccords.

4.7 E-Power Pipe

- (1) L'E-Power Pipe permet de poser des conduites grâce à la technique de la construction de tunnels. Ce procédé compte parmi les méthodes sans fouille nécessitant un puits d'entrée et un puits de sortie. Dans un premier temps, il consiste à effectuer un forage pilote à l'aide d'un tunnelier, tout en propulsant à la suite de la tête de forage des tubes de fonçage en acier réutilisables à l'aide de presses coulissantes actionnées par voie électrique. La commande de la tête de forage s'effectue depuis l'extérieur de la machine, dans un container situé à proximité du puits d'entrée. Le tunnelier est piloté à l'aide d'un compas gyroscopique et d'un système de localisation par champ magnétique. Après le forage pilote, la conduite est insérée à l'aide d'une tête de tirage positionnée sur les tubes de fonçage en acier. Pendant le tirage, l'espace entre la paroi de la cavité formée par le forage et la conduite est soutenu et comblé par ajout de remblai. En fonction du diamètre prévu pour la conduite, il peut être nécessaire d'installer également un dispositif d'alésage avant la conduite lors du processus de tirage.
- (2) Cette méthode de pose en deux étapes permet d'installer des tubes de protection résistant à la traction, d'un diamètre de 250 mm à 700 mm environ. Des rayons de courbure de 300 m minimum et une vitesse de fonçage allant jusqu'à 120 m par jour sont possibles. Le processus de forage est dirigeable, les différents tronçons peuvent mesurer jusqu'à 1500 m de longueur et nécessitent une hauteur de couverture minimale de 2 m. Les valeurs recommandées sont à déterminer en fonction du diamètre de forage choisi et de la nature du sol. Le diamètre de forage maximal se situe entre 505 mm et 800 mm, avec l'utilisation d'un dispositif d'alésage.

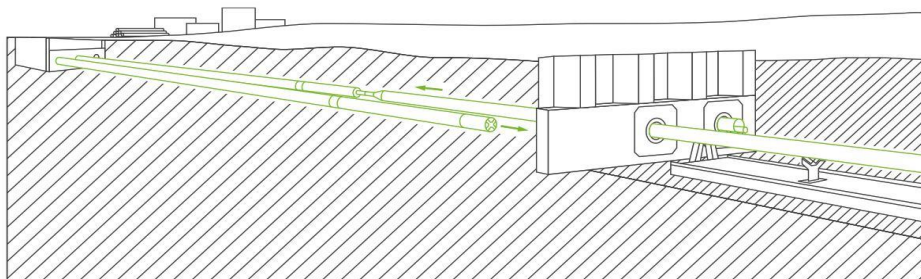


Figure 49: Principe de fonctionnement de l'E-Power Pipe

(Source de l'image:
© Herrenknecht)



Figure 50: Exemple d'installation de regard par E-Power Pipe

(Source de l'image:
© Herrenknecht)



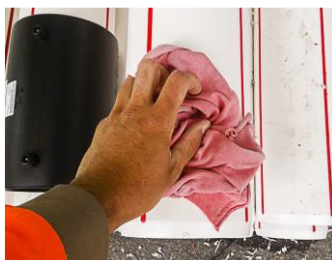
Annexe 2: Manchons doubles sans nervures

Étape	Activité	Illustration
1	Enduire les extrémités des tubes de lubrifiant et effectuer si nécessaire un marquage pour délimiter la profondeur d'insertion	
2	Positionner le tube dans l'axe, le soulever et l'insérer dans le manchon double sans nervures	
3	Soulever l'extrémité du tube et pousser ce dernier jusqu'au marquage avec un mouvement rotatif	
4	Pour les tubes de grande dimension, il est possible d'utiliser des outils appropriés.	
Lors de toute interruption des opérations, il convient d'obturer les tubes et les manchons avec des bouchons.		

Annexe 3: Soudage électrique



1. Contrôle visuel



2. Nettoyage du tube



3. Marquage de la zone à raboter



4. Rabotage de la surface du tube à la raboteuse ou à la main



5. Mesure de la longueur du manchon



6. Marquage de la profondeur d'emboîtement des deux extrémités de tubes



7. Vérification de l'état du manchon



8. Nettoyage de la surface du tube et de la zone de soudure du manchon à l'aide d'un nettoyant pour PE



9. Emboîtement du tube dans le manchon



10. Lancement et surveillance du processus de soudage



11. Observation du temps de refroidissement



Annexe 4: Exemple de calcul de tirage de câble

4.8 Sens de pose

- (1) Le sens de pose doit être choisi en fonction de la pente (du haut vers le bas).
- (2) La direction de tirage doit être choisie de sorte que les obstacles soient positionnés au début du tirage.

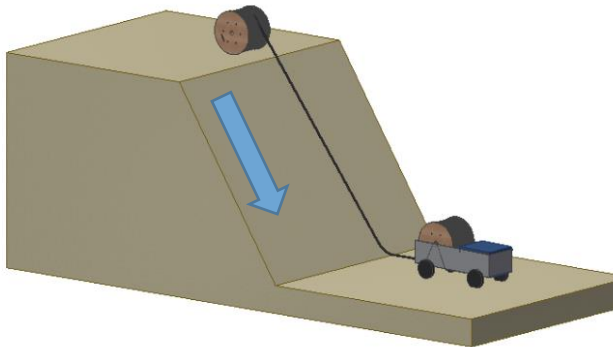


Figure 51: Sens de pose du haut vers le bas

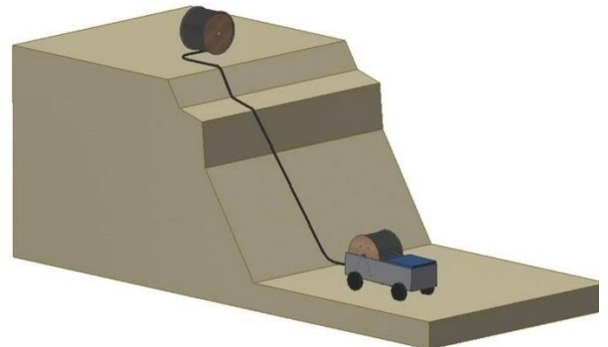


Figure 52: Obstacles au début du tirage

4.9 Formules

- (1) Les formules suivantes doivent être utilisées pour calculer la force de traction:

Trajet rectiligne	$F = G \cdot l \cdot \mu$
Trajet rectiligne avec dénivelé	$F = G \cdot l \cdot (\mu \cdot \cos\beta \pm \sin\beta)$ Pour $\beta \leq 20^\circ$ (36%) $F = G \cdot l \cdot \mu \pm G \cdot h$
Force de traction en cas de changement de direction	$F_E = F_A \cdot f = F_A \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$
Force radiale dans les courbes	$F_A = F_E = F$ $F_B = 2 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad b = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360}$ $F_B = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \mu \cdot \frac{\alpha}{360}}$

F	Force de traction	[N]	G	Poids du câble	[N/m]
F _{zu}	Force de traction maximale admissible	[N]	A	Section de câble	[mm ²]
Z _B	Force radiale	[N/m]	σ _{zul}	Sollicitation du matériau maximale admissible	[N/mm ²]
F _A	Force de traction initiale avant changement de direction	[N]	μ	Coefficient de frottement	[-]
F _E	Force de traction finale après changement de direction	[N]	f	Facteur de changement de direction	[-]
r	Rayon	[m]	h	Dénivelé	[m]
l	Longueur du segment du tracé	[m]	α	Rayon de courbure	[rad], [°]

10 N = 1 daN (correspond à une force de traction d'environ 1 kg)

4.10 Coefficients de frottement

Type de pose	μ
Tirage sur des dérouleurs	0,30
Tirage dans tube en ciment	0,40 – 0,60
Tirage dans tube en plastique avec graisse spéciale	0,10 – 0,20
Tirage dans tube en plastique avec eau	0,15 – 0,25

Tableau 8: Coefficients de frottement selon le type de pose

4.11 Facteur de changement de direction

- (1) Lors d'un tirage de câble avec des changements de direction (horizontaux et/ou verticaux), le câble est soumis à une force radiale. La force radiale par unité de longueur dépend de la force de traction dans le sens longitudinal, du changement de direction et du rayon de courbure. La formule suivante met en évidence ce rapport:

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



- (2) Le graphique suivant montre le facteur de changement de direction f pour différents coefficients de frottement et rayons de courbure.

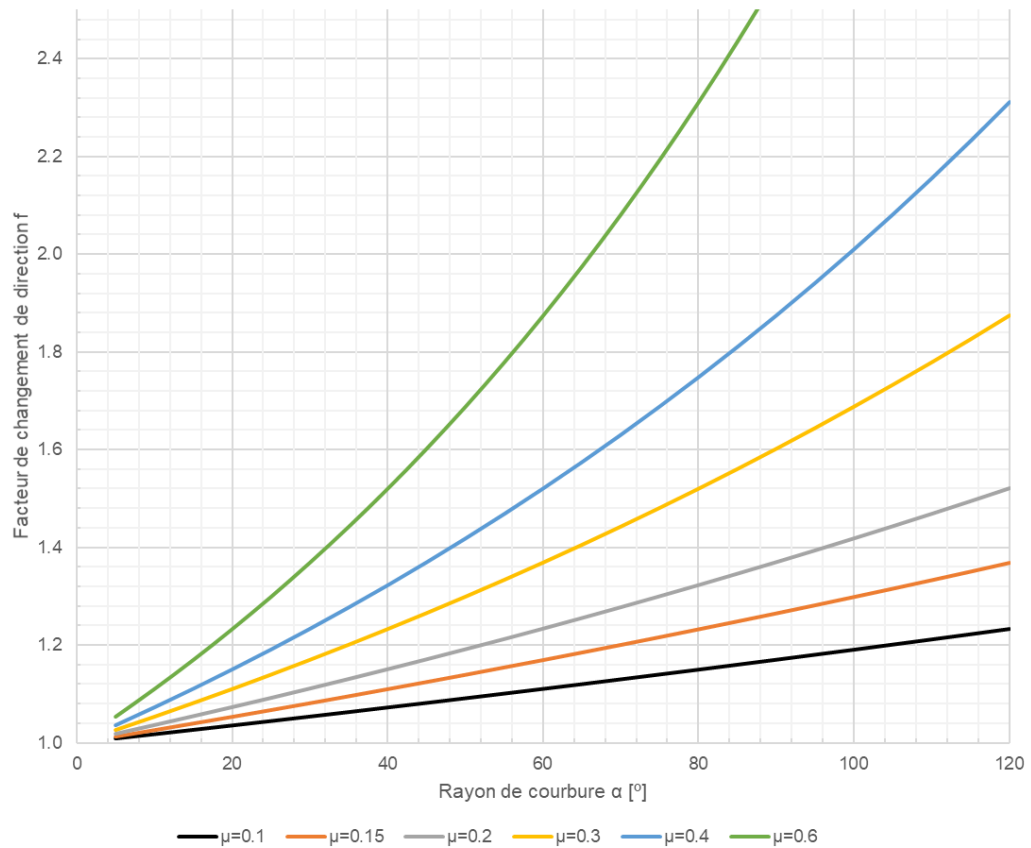


Figure 53: Facteur de changement de direction pour différents rayons de courbure et coefficients de frottement

4.12 Exemple de calcul avec directions de tirage différentes et sans dénivelé

(1) Données

Type de câble	XKDT-YT 3x1x150 Cu, max. 18 kN
Poids du câble	$G = 7,0 \text{ kg/m}$
Section du câble	$D_A = 70 \text{ mm}$
Lubrification	0,15 l de lubrifiant ou d'eau
Dénivelé	0 m



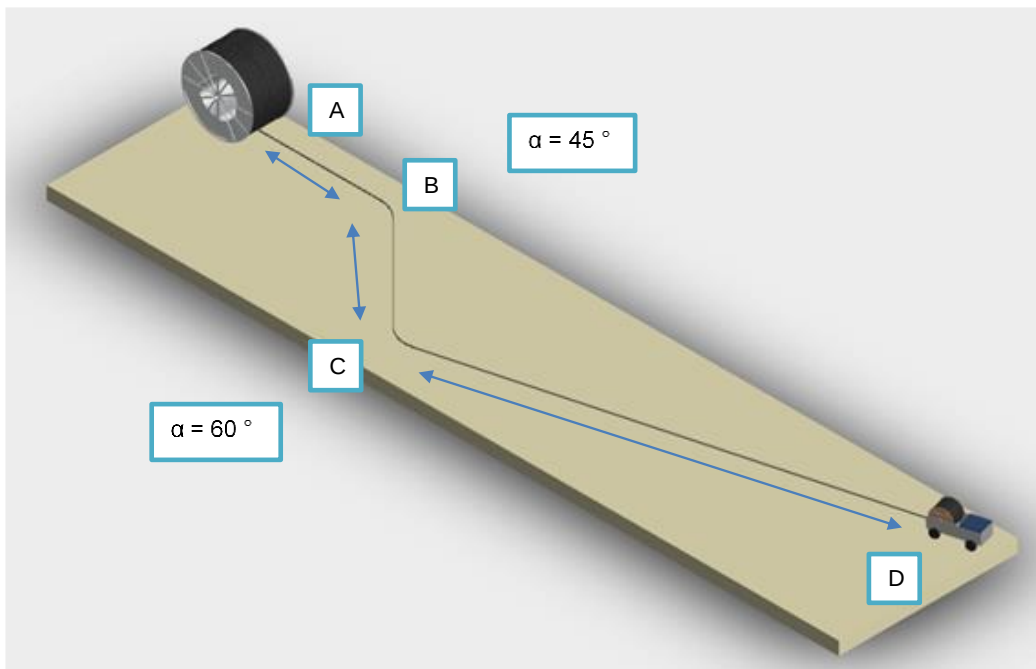


Figure 54: Segments du trajet et rayons de courbure de l'exemple de calcul

(2) Calcul de la force de traction pour la direction de tirage de A vers D sans dénivélé

Seg- ment	l	μ	Formule $F_A = F_B + \mu \cdot G \cdot l \pm G \cdot h$	α	Force de traction F_B après coude $F_B = F_A \cdot f$ $F_B = F_A \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$	F
A-B	90 m	0,15	$0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 90$ $= 945 \text{ N}$	45°	$945 \cdot 1.13$ $= 1'068 \text{ N}$	
B-C	200 m	0,15	$1068 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 200$ $= 3168 \text{ N}$	60°	$3168 \cdot 1.17$ $= 3'706 \text{ N}$	
C-D	500 m	0,15	$3'706 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 500$ $= 8'956 \text{ N}$	0°		8'956 N

(3) Calcul de la force de traction pour la direction de tirage de D vers A sans dénivélé

Segment	Longueur	μ	Formule $F_A = F_B + \mu \cdot G \cdot l \pm G \cdot h$	α	Force de traction F_B après coude $F_B = F_A \cdot f$ $F_B = F_A \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$	F
D-C	500m	0,15	$0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 500$ $= 5'250 \text{ N}$	60°	$5'250 \cdot 1.17$ $= 6'143 \text{ N}$	
C-B	200 m	0,15	$6'143 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 200$ $= 8'243 \text{ N}$	45°	$8'243 \cdot 1.13$ $= 9'314 \text{ N}$	
B-A	90 m	0,15	$9'314 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 90$ $= 10'259 \text{ N}$	0°		10'259 N

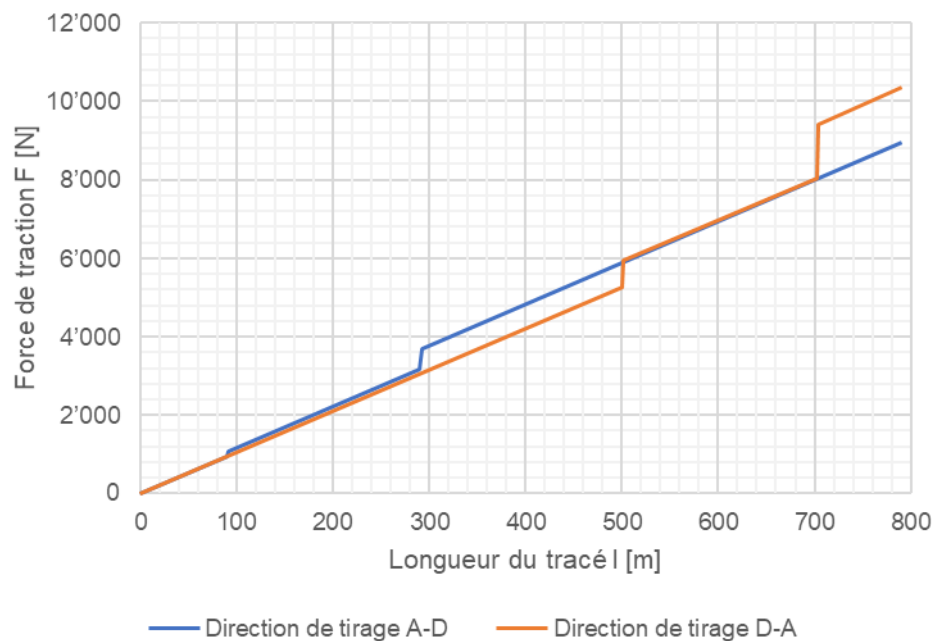


Figure 55: Forces de traction avec directions de tirage différentes et sans dénivélé

(4) Conclusion

En choisissant la bonne direction de tirage (A-D), il est possible de diminuer la force de traduction de 1303 N. La force de traction est mieux répartie dans le cas de la direction de tirage A-D et ne s'accroît pas en raison du changement de direction à la fin du tirage dans la direction D-A.



4.13 Exemple de calcul avec direction de tirage identique et dénivelé

(1) Données

Type de câble XKDT-YT 3x1x150 Cu, max. 18 kN

Poids du câble $G = 7,0 \text{ kg/m}$

Section du câble $D_A = 70 \text{ mm}$

Lubrification 0,15 l de lubrifiant ou d'eau

Dénivelé 20 m

La longueur des segments du trajet, les changements de direction et les coefficients de frottement correspondent à ceux de l'exemple précédent.

Seg- ment	h	Formule $F_A = F_B + \mu \cdot G \cdot l \pm G \cdot h$	α	Force de traction F_B après coude $F_B = F_A \cdot f$ $F_B = F_A \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$	F
A-B	0 m	$0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 90$ $= 945 \text{ N}$	45°	$945 \cdot 1.13$ $= 1'068 \text{ N}$	
B-C	0 m	$1068 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 200$ $= 3'168 \text{ N}$	60°	$3168 \cdot 1.17$ $= 3'706 \text{ N}$	
C-D	20 m	$3706 + 0.15 \cdot (7.0 \cdot 10) \cdot 500 + (7.0 \cdot 10) \cdot 20$ $= 10'356 \text{ N}$	0°		10'356 N

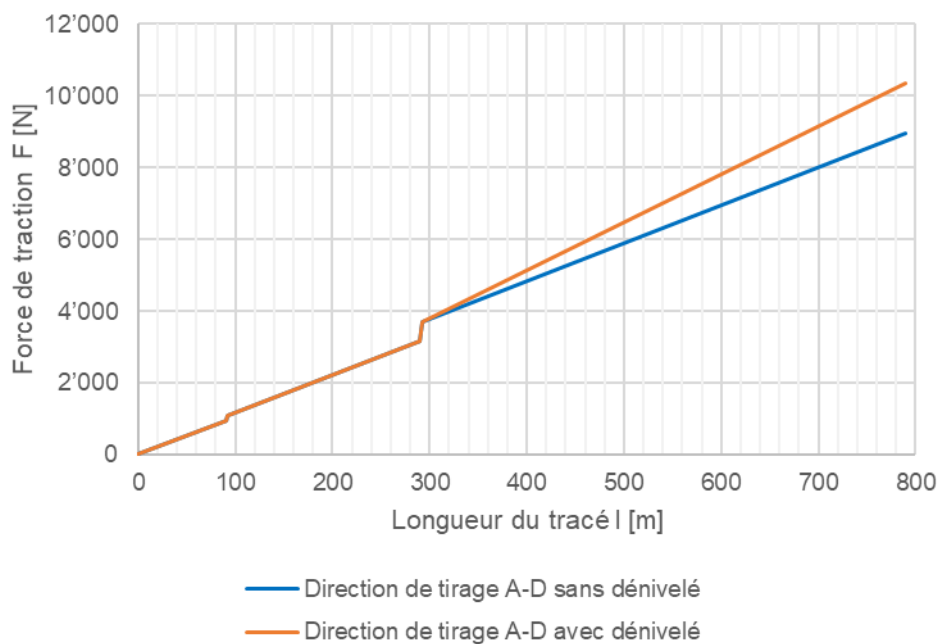


Figure 56: Comparaison des efforts de traction sans et avec dénivelé

Annexe 5: Exemple de procès-verbal de réception avec liste de contrôle

Contrôle de l'ouvrage – procès-verbal de réception

Date, heure : _____

Objet : _____

Ouvrage/partie d'ouvrage : _____

Contrat d'entreprise du : _____

Maîtrise d'ouvrage : _____

Représentée par : _____

Entreprise : _____

Représentée par : _____

Direction locale des travaux : _____

Représentée par : _____

☐ **Contrôle après achèvement conformément aux art. 157 ss de la norme SIA 118**

Résultat du contrôle conf. à ☐ l'art. 158, al. 2 (contrôle de l'ouvrage achevé) :
☐ l'art. 161, al. 3 (nouveau contrôle de l'ouvrage reporté) :

- ☐ Aucun défaut
- ☐ Défauts mineurs conformément à la liste page 2
- ☐ Défauts majeurs conformément à la liste page 2

Décision fondée sur les résultats du contrôle :

- ☐ L'ouvrage est considéré comme réceptionné (aucun défaut ou défauts mineurs, art. 159, 160).
- ☐ La réception est reportée (défauts majeurs, art. 161, al. 1).
La poursuite des travaux / la mise en service de l'ouvrage ☐ est autorisée.
☐ n'est pas autorisée.

Délai de correction des défauts : _____

☐ **Contrôle final conformément à l'art. 177 de la norme SIA 118**

Résultat du contrôle conformément à l'art. 177 :

- ☐ Aucun défaut
- ☐ Défauts conformément à la liste page 2

Délai de correction des défauts : _____



Défauts constatés (si besoin référence à des documents séparés) :

[illegible]

Délais de garantie (délais de réclamation) conformément aux art. 172 ss de la norme SIA 118.

☐ Règles spéciales éventuelles :

Signatures :

Lu : _____ Lu et approuvé : _____ Lu et approuvé : _____
Maîtrise d'ouvrage : _____ Entreprise : _____ Direction des travaux : _____

Autres personnes impliquées :

Service/usine/entreprise : Nom : Signature :

Destinataires : toutes les personnes impliquées



Liste de contrôle – réception de l’ouvrage

	Remarques
☐ Contrôle visuel des regards	
☐ Prises de vue de l'inspection par caméra disponibles	
☐ Preuve compactage, travaux sur routes et voies ferrées	
☐ Procès-verbal de calibrage disponible	
☐ Fil de tirage disponible	
☐ Remise en état des parcelles de terrain endommagées	
☐ Réfection des surfaces	
☐ Protocoles de soudage	
☐ Plan de l'ouvrage exécuté	
☐ Facture finale	
☐ Certificat de garantie (garantie bancaire) entreprise	
☐	
☐	
☐	

Autres remarques :

.....

.....



Annexe 6: Exemple de procès-verbal de calibrage

PROTOCOLE DE CALIBRAGE DES TUBES

Date du calibrage:.....

Projet: N° de projet: mode calibrage (treuil, main/compresseur, type de ficelle, etc.)..... Force de traction maximale [daN]:..... Localité: Coord. GPS: de à..... sens du calibrage et fouille Direction de:..... vers:.....		Type de tubes: Calibre selon document AES: PTP-CH 2021																												
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ø int. du tube</th> <th>Ø calibre</th> <th>Long. calibre</th> <th>Long. chanfrein</th> <th>Angle chanfrein</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Ø int. du tube	Ø calibre	Long. calibre	Long. chanfrein	Angle chanfrein																						
Ø int. du tube	Ø calibre	Long. calibre	Long. chanfrein	Angle chanfrein																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° du tube/Ø</th> <th>ok</th> <th>Rem./force traction max. [daN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>2</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>3</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>4</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>5</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>6</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>7</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>8</td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		N° du tube/Ø	ok	Rem./force traction max. [daN]	1			2			3			4			5			6			7			8			Coupe de la fouille avec n° de tube: 	
N° du tube/Ø	ok	Rem./force traction max. [daN]																												
1																														
2																														
3																														
4																														
5																														
6																														
7																														
8																														
Longueur totale calibrée [m]:..... d'ouvrage:..... Entreprise génie civil:..... Entreprise de calibrage:.....		Enrobage des tubes:..... Date:..... Date:..... Date:..... Croquis ou plan de la zone de pose des tubes et de calibrage																												
Le calibrage est obligatoire et doit être effectué par une entreprise spécialisée. L'entreprise spécialisée doit informer la maîtrise d'ouvrage/direction de projet les dates des calibrages au moins deux jours à l'avance, faute de quoi le présent protocole ne sera pas valide. Le protocole de calibrage doit être complété par l'entreprise spécialisée et présenté à la maîtrise d'ouvrage/direction de projet pour signature. Le protocole de calibrage est un document justificatif pour les demandes de garantie et doit être archivé pendant la durée de la garantie.																														

Annexes:
 Photos du calibre avant et après le calibrage
 Documents relatifs à l'inspection vidéo

