



FORAGES GUIDÉS

Pour canalisations de gaz dont la pression de service est inférieure ou égale à 15 bar

1. Domaine d'application

La présente recommandation s'applique aux forages guidés réalisés pour les réseaux de distribution de gaz dont la pression de service est inférieure ou égale à 15 bar et dont le diamètre nominal de la canalisation est supérieur ou égal à DN 100 (tubes acier) ou DN 63 (tubes PE) et inférieur ou égal à DN 300 (tubes acier) ou DN 315 (tubes PE), pour lesquels il est possible d'établir des méthodes de calcul simplifiées ne nécessitant pas de calcul et d'études complémentaires (voir tableau 1 - cat.II).

Des études supplémentaires sont indispensables pour les forages guidés qui n'appartiennent pas à ce domaine d'application (voir tableau 1 – catégorie I), ou dans le cas où l'on souhaite forer plus profondément que la profondeur reprise dans la présente directive tant pour une canalisation acier que pour une canalisation PE.

Cette recommandation ne s'applique pas :

- aux canalisations de diamètres supérieurs à DN 300 (acier) ou DN 315 (PE) et/ou aux longueurs de forage supérieures à 200 m, qui nécessitent une étude complémentaire (par exemple par un bureau d'étude) (voir tableau 1 – catégorie I) ;
- aux canalisations de diamètre $\leq$ DN 100 (tubes en acier) ou DN 63 (tubes en PE) (p. ex. les branchements), de longueurs inférieures à 100 m, ces travaux ayant un impact négligeable sur l'environnement (voir tableau 1 – catégorie III) et entraînant des efforts mécaniques largement inférieurs aux maxima tolérés ;
- aux forages guidés pour un ensemble de canalisations
- à la pose de canalisations acier dans des caniveaux.

Le tableau 1 ci-après résume le domaine d'application du présent cahier des charges.

TABLEAU 1

CATÉGORIES DE FORAGES GUIDÉS			
	Pression maximum de service du réseau (MOP) (bar)	Diamètre nominal canalisation (DN)	Longueur forage (m)
CATÉGORIE I			
Travaux importants nécessitant une étude complémentaire Acier PE	> 15 bar		
	$\leq$ 15 bar	DN > 300 DN > 315	
CATÉGORIE II			
Domaine d'application du cahier des charges Acier PE	$\leq$ 15 bar	$100 \leq \text{DN} \leq 300$ $63 \leq \text{DN} \leq 315$	≤ 200
CATÉGORIE III			
Travaux dont l'impact sur l'environnement est négligeable Acier PE	$\leq$ 15 bar	DN < 100 DN < 63	< 100

2. Étude du projet

2.1. Étude préalable

Avant d'entamer les travaux, il convient de préciser les points suivants :

- effectuer une enquête de voiries afin de situer les différents impétrants (câbles, canalisations...) et de tenir compte d'éventuels projets (travaux en synergie, nouvelle route, égouts...) ;
- l'emprise totale des travaux, tant à l'entrée qu'à la sortie du forage (l_1, l_2, l, l_3, l_4 : voir figure 1) ;
- le profil de la rampe de lancement, y compris la position des appuis et l'espacement des engins de levage (R_1 : voir figure 1) ;
- le profil théorique du forage (R, R_4, h : voir figure 1) ;
- l'analyse du sol dans la zone définie pour le profil théorique (voir § 2.4) ;
- la valeur de la force de traction sur la canalisation en début, en cours et en fin de forage, ainsi que la vitesse d'avancement (voir § 2.2).

L'état initial des lieux doit être relevé sur l'ensemble des terrains choisis pour l'exécution du forage, la construction et la mise en place de la canalisation.

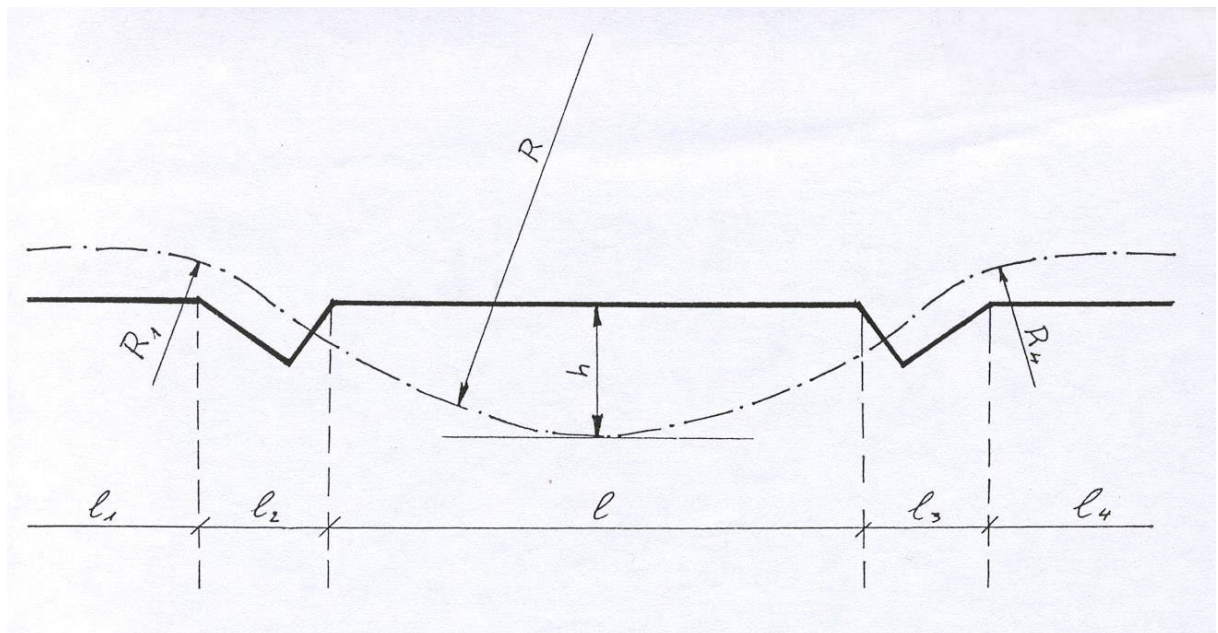


Figure 1

Il est important d'évaluer au préalable la situation sur place afin d'éviter des problèmes lors de l'exécution du forage guidé :

- contrôler si la canalisation (ou les canalisations) peut être placée dans son entièreté ;
- contrôler s'il y a suffisamment de place pour poser l'installation de forage ;
- évaluer s'il y a des points problématiques qui pourraient compliquer l'exécution d'un forage guidé (p. ex. une canalisation devant une allée, des obstacles sous la chaussée, des racines d'arbres à la hauteur du niveau de l'entrée et de la sortie du forage...)
- etc.

2.2. Conception du projet

2.2.1 Généralités

Dans les calculs suivants, on a considéré :

- un sol de composition moyenne (c'est-à-dire sable, argile, limon sans tourbe, sans gravier, ni couches dures) dont le poids spécifique est de 19 kN/m^3 ,
- un terrain où le poids propre réduit des terres n'est pas considéré. Il est supposé que l'effet de voûte est inexistant ;
- une charge de trafic de maximum 20 t/essieu.
- les contraintes dues au trafic sont déterminées selon le modèle I de la charge sur les essieux de la norme NVN-ENV 1991-3 : 1995 « Eurocode 1 : Principes de conception et charges dans la construction – partie 3 : charges de trafic des ponts ».

Ces paramètres fixent le rayon de courbure minimum et la force de traction maximale que peut supporter le tube. Si l'on choisit d'autres paramètres et/ou d'autres qualités de matériau pour le tube que ceux cités aux § 2.2.2 et 2.2.3 ci-après, il y a lieu de recalculer ces valeurs.

2.2.2 Canalisations acier

Dans les calculs des forages guidé pour canalisation acier, il a été tenu compte d'une qualité d'acier L235GA ; dont la limite d'élasticité est de 235 N/mm^2 .

Pour le niveau de la nappe phréatique, une profondeur de -0,75 m par rapport au niveau du sol a été adopté.

Les contraintes présentes dans un tube en acier lors d'un forage guidé dépendent entre autres du rayon de courbure, ainsi que de la profondeur du forage guidé.

Le tableau ci-dessous reprend le rayon minimum de courbure, en fonction de la profondeur du forage guidé.

TABLEAU 2

Diamètre nominal DN	Diamètre extérieur du tube d_e mm	Épaisseur du tube T mm	Rayon minimum de courbure R_{min} M	Profondeur maximum du forage h au rayon de courbure spécifié m	Force maximum de traction sur le tube N
100	114,3	3,6	100 m	10 m	255
150	168,3	4,0	150 m	9 m	554
			200 m	10 m	
200	219,1	4,5	250 m	9 m	692
			300 m	10 m	
250	273,0	5,0	300 m	6 m	960

			350 m	8 m	
			400 m	9 m	
			450 m	10 m	
300	323,9	5,6	350 m	5 m	1277
			400 m	6 m	
			500 m	8 m	

(*) Source : DVGW - Technische Regel Arbeitsblatt GW 321 / Oktober 2003

Pour les calculs repris dans le tableau 2 seul le poids propre réduit des terres à été pris en compte.

S'il est nécessaire de forer à de plus grandes profondeurs ou avec un rayon de courbure plus petit alors il est possible que le poids propre réduit des terres doive être pris en considération.. Afin d'établir cette possibilité, il est nécessaire d'effectuer une analyse du sol (par moyen de sondage ou de forage).

2.2.3 Canalisations PE

Dans les calculs qui suivent et dont les résultats sont résumés dans les tableaux 3 et 4, il a été tenu compte :

- Diamètres des canalisations, D_e
 - DN110
 - DN160
 - DN200
 - DN315
- Épaisseur de tube exprimé en classe SDR, diamètre tube/épaisseur, D_e / d_n
 - SDR11
 - SDR17, 6
- Caractéristiques du matériau HDPE100 :
 - Force de traction courte durée: 10 N/mm²
 - Force de traction longue durée: 8 N/mm²
 - Module d'élasticité courte durée: 1200 N/mm²
 - Module d'élasticité longue durée: 300 N/mm²
 - Facteur Poisson: 0,4
 - Masse volumique: 9,54 kN/m³
- Pressions de service :
 - Pression de service maximale: 5 bar (= 5 N/mm²)
 - Pression d'essai: 7,5 bar (=7,5 N/mm²)

2.2.3.1. Rayon minimal de courbure

Pour ce qui concerne le rayon minimal de courbure, il peut être considéré égale à :

$$R_{\min} = 20 d_e$$

Toutefois, il faut tenir compte de la réalisation pratique du rayon minimal de courbure, qui dépend également des perceuses (type de matériaux : acier ou aluminium) dont on se sert lors du forage pilote. De ce fait, il a été tenu compte dans les calculs d'un rayon de courbure minimal de 50 m.

TABLEAU 3

PE - SDR11

Diamètre nominal DN	Diamètre extérieur du tube d_e mm	Épaisseur du tube T mm	Rayon minimum de courbure R_{min} m	Profondeur maximum du forage h	Force maximum de traction sur le tube kN (*)
110	110	10	50 m	12 m	31 (22)
160	160	14,6	50 m	12 m	66 (47)
200	200	18,2	50 m	12 m	104 (73)
315	315	28,63	50 m	12 m	258 (180)

TABLEAU 4

PE - SDR17,6

Diamètre nominal DN	Diamètre extérieur du tube d_e mm	Épaisseur du tube T mm	Rayon minimum de courbure R_{min} M	Profondeur maximum du forage h	Force maximum de traction sur le tube kN (*)
110	110	10	50 m	5 m	20 (14)
160	160	14,6	50 m	5 m	43 (30)
200	200	18,2	50 m	5 m	67 (47)
315	315	28,63	50 m	5 m	167 (117)

(*) Force de traction admissible en kN pour un tube PE-100 à une température maximale de la paroi du tube de 20 °C. La valeur entre parenthèses est la force maximale de traction autorisée à 40 °C.

Source : DVGW - Technische Regel Arbeitsblatt GW 321 / Oktober 2003

2.2.3.2. Profondeur maximum de forage

Pour la détermination de la profondeur maximum du forage, il a été tenu compte des éléments suivants :

- d'un poids propre neutre des terres (PAS de poids propre réduit des terres) ;
- le niveau de la nappe phréatique en dessous du point le plus bas du forage.

Dans ce cas de contraintes, l'entièreté du sol au-dessus de la canalisation a été prise en compte comme une charge supplémentaire.

Grâce à l'équation « épaisseur de la paroi/diamètre » dans la classe SDR, les composantes des tensions résultantes des contraintes intérieures et extérieures restent identiques. Dès lors, la profondeur maximale reste la même pour une classe SDR définie, indépendamment du diamètre du tube PE.

La profondeur maximale est déterminée d'une telle façon que la tension présente dans le tube PE ne dépasse pas la force de traction de longue durée d'une valeur de 8 N/mm².

Toutefois, dans le cas où l'on veut forer plus profondément que la profondeur maximale proposée dans les tableaux 3 et 4, il est autorisé de le faire si l'on peut adopter un poids propre réduit du sol. Dans ce dernier cas, il est absolument nécessaire d'effectuer une analyse du sol (sondage ou forage).

2.2.3.3. Point d'implosion d'un tube PE

Comme mentionné au point 2.2.3.2, il est possible de forer plus profondément que la profondeur maximum proposée dans les tableaux 3 et 4 à condition d'effectuer les analyses nécessaires du sol et que ces dernières confirment qu'il est justifié de tenir compte d'un poids propre réduit des terres.

Toutefois, même si le poids propre réduit des terres est d'application, il existe pour certaines classes SDR une profondeur maximale qui ne peut être dépassée dans aucun cas c'est-à-dire le point d'implosion. Cette dernière est la profondeur à laquelle le tube PE va imploser sous l'effet de la colonne d'eau.

Indépendamment du diamètre du tube PE, le point d'implosion est :

- pour SDR11 : 23,8 m colonne d'eau
- pour SDR17,6 : 5,3 m colonne d'eau

Cela signifie que, même en tenant compte d'un poids propre réduit des terres, dès que le tube PE est soumis à une colonne d'eau de cette hauteur, ce dernier implosera.

2.3. Diamètre de forage

Le diamètre minimal du trou de forage (après alésage) est de 1,5 fois le diamètre extérieur du tuyau choisi ($1,5 \times d_e$), sauf pour des circonstances locales préalablement approuvées et justifiées. Le diamètre du forage est fixé préalablement aux travaux.

2.4. Caractéristiques du sol

Avant forage il y a lieu de disposer de toutes les informations utiles relatives aux caractéristiques du sol, afin de tenir compte des écarts possibles lors du forage.

Il est indiqué de tenir compte notamment d'informations disponibles sur les cartes géologiques. Si nécessaire, l'étude est complétée par une analyse du sol.

2.5. Profondeur de forage

La profondeur minimale de forage est choisie de manière à ne pas causer de dégât ou de gêne significative à l'environnement.

2.6. Boue de forage

Il est déterminé pour chaque chantier :

- la qualité de la boue de forage (formée d'argile, d'eau...) à utiliser (p. ex. la bentonite),
- la quantité théorique de boue de forage,
- les limites minimales et maximales de la pression de boue de forage, en fonction de la nature du sol et de la profondeur de forage.

La composition de la boue de forage doit répondre aux exigences relatives à l'environnement et à la réglementation en vigueur, également pour son évacuation après travaux.

3. Opérations préliminaires au forage

Avant forage il y a lieu de :

- fixer l'emprise et les points de départ et d'arrivée du forage et les délimiter par des piquets ;
- pour l'acier :
 - préparer la longueur à poser en effectuant tous les assemblages par soudage bout à bout, contrôlés par radiographie,
 - choisir des tubes en acier recouverts d'une protection PE triple couche,
 - recouvrir les assemblages soudés des tubes acier à l'aide d'un revêtement spécial renforcé ayant au moins la même épaisseur que le revêtement PE du tube et conçu pour ne pas être arraché durant la phase de tirage, compte tenu du sens de la traction,
 - vérifier le revêtement du tronçon à poser, sur toute sa longueur, à l'aide d'un balai électrique réglé à 10 kV minimum ;
- pour le PE :
 - préparer la longueur à poser en effectuant de préférence tous les assemblages soudés par soudage bout à bout (pour DN > 90) et en limitant au maximum le nombre d'assemblages ;

Le tronçon de canalisation doit être placé sur des supports rouleaux permettant son déplacement lors de l'opération de traction. Ces appuis doivent être conçus de façon à ne pas endommager le revêtement du tube.

4. Opérations pendant et après forage

4.1. Le forage pilote

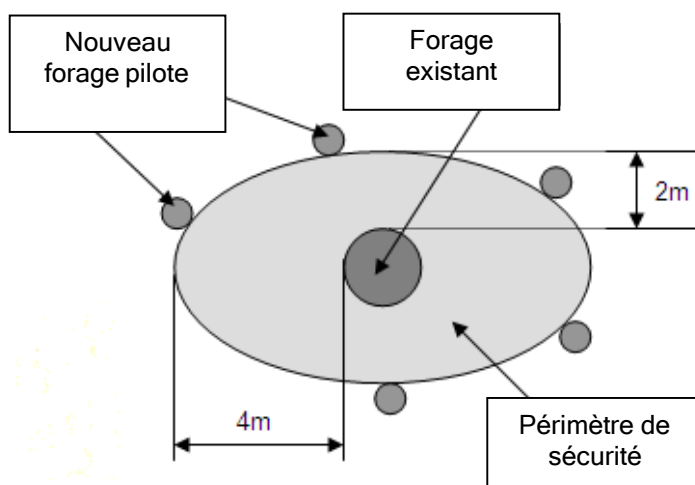
Le forage pilote doit suivre le profil prédéterminé. L'écart toléré doit être inférieur à 2 m latéralement et à 1 m verticalement. Le profil du forage guidé doit être accepté par le gestionnaire de réseau de gaz naturel avant de procéder au forage.

Si un forage pilote doit être exécuté dans la proximité immédiate d'une canalisation déjà présente qui a été posée par forage guidé, il faut tenir compte d'un périmètre de sécurité vis-à-vis de cette canalisation.

Périmètre de sécurité

Horizontal : 4 m
Vertical : 2 m

Aucun forage pilote ne peut être effectué dans le périmètre de sécurité d'un forage existant.



4.2. Durant la pose du tube dans le trou de forage :

- toutes les précautions doivent être prises pour éviter de répandre de la boue de forage sur la zone de travail,
- l'effort de traction doit être enregistré en permanence, pendant l'opération et un dispositif réglable est installé de manière à empêcher tout dépassement de la valeur limite précalculée,
- la pression de la boue de forage doit être contrôlée et enregistrée en permanence,
 - la canalisation doit être obturée à ses extrémités, jusqu'au moment de son raccordement,
 - le revêtement des tubes en acier est contrôlé sur toute sa longueur à l'entrée du forage, à l'aide d'un balai électrique réglé à 10 kV minimum.

4.3. Après la pose :

- l'isolation du tronçon des tubes en acier posé doit être contrôlée à l'aide d'un essai d'isolation ($R > 15.000 \Omega/m^2$),
- l'aspect extérieur du tube sortant du forage est vérifié visuellement,
- la mise sous pression pour vérifier la résistance mécanique et l'étanchéité du tube est effectuée suivant la réglementation en vigueur,
- le site est remis en état. En particulier, la boue de forage excédentaire doit être retirée avant la remise en état du site et doit être évacuée vers une décharge agréée.

5. Dossier « AS BUILD »

Un dossier de fin de travaux doit être établi. Il précise notamment :

- l'implantation exacte (x, y, z) de l'ouvrage,
- la valeur des rayons de courbure de la canalisation,
- les mesures effectuées pendant le forage (pression et quantité de la boue, force de traction, etc.)
- un bilan de la boue de forage injectée, avec la mention des éventuels produits d'adjonction utilisés,
- la valeur mesurée de l'isolation électrique du revêtement des tubes acier.

6. Responsabilité de l'entrepreneur

L'entrepreneur utilisera un appareillage adapté aux travaux prévus, qui sera soumis à l'approbation du maître d'ouvrage avant le début des travaux.

7. Garantie

cf. Conditions générales du cahier des charges particulier des entreprises gazières.

ANNEXE 1

NOTE DE CALCUL

1. Introduction

1.1. Description succincte de la méthodologie

Une canalisation, à poser suivant la technique du forage guidé horizontal, est généralement rectiligne et sans contraintes avant son installation. Pendant et après l'installation, la canalisation est courbée dans les limites élastiques, suivant un parcours prédéterminé sous l'obstacle.

Après la mise en œuvre définitive (canalisation en service), différentes forces agissent sur la canalisation, notamment :

- la pression gaz interne,
- le poids propre des terres,
- la charge du trafic,
- l'effet de courbure,
- (autres).

Les contraintes et les résultantes des contraintes induites par ces forces doivent rester inférieures aux contraintes admissibles. Le critère retenu est de ne pas induire des déformations permanentes c'est-à-dire que toutes les contraintes doivent rester inférieures à la limite d'élasticité, tout en respectant une marge de sécurité.

En fixant au préalable un certain nombre de paramètres (profil longitudinal, pression interne, poids propre des terres/trafic...), il est possible de déterminer le rayon de courbure de la canalisation, de sorte que les contraintes restent admissibles. Ce rayon de courbure est le rayon de courbure minimum de la canalisation installée.

2. Méthodologie

2.1. Lors de la pose d'une canalisation suivant la technique du forage guidé horizontal, il y a lieu d'examiner principalement trois situations :

- au début de l'opération de traction : la canalisation est placée sur des supports permettant son déplacement lors de l'opération de traction (la canalisation n'est pas soumise à une pression interne). Du côté de la tête de forage, la canalisation est courbée (rayon de courbure = R_{rol}), afin d'être tirée dans la galerie de forage (phase I) ;

- pendant l'opération de traction : la canalisation est tirée dans la galerie de forage remplie de bentonite. La canalisation est par nature rectiligne et, suite au contact avec la paroi de la galerie de forage, elle est obligée à suivre celle-ci (rayon de courbure R). Les forces agissant sur la canalisation résultent des éléments suivants:

- la force de traction sur la canalisation,
- la friction entre le sol et la canalisation,
- la friction entre la bentonite et la canalisation,
- la friction de roulement (pour la partie de la canalisation reposant sur les supports).

La canalisation n'est toujours pas soumise à une pression interne (phase II) ;

- dans la phase finale (phase III), la canalisation se trouve à sa place et il est supposé que les pressions du sol initiales se rétablissent autour de la canalisation. La canalisation est soumise à une pression interne.

Les forces agissant sur cette canalisation sont :

- la pression (gaz) interne,
- le poids propre des terres sur la canalisation,
- la charge de trafic (éventuelle),
- les réactions de courbure (suite au profil longitudinal courbé),
- (éventuellement) autres.

Dans toutes ces situations de charge, les contraintes induites dans la canalisation doivent être inférieures aux contraintes admissibles.

2.2. Dans la présente note, il a été fixé, pour des diamètres de canalisation et des épaisseurs de paroi bien déterminées, des paramètres relatifs au profil longitudinal, aux caractéristiques du sol, à la qualité de l'acier, à la pression interne, à la charge du trafic, qui déterminent le rayon de courbure minimum pour lequel les contraintes restent dans les limites admissibles.

2.3. Le présent document est entre autres basé sur 2 études effectuées par SORESMA. Les numéros d'identification de ces deux études sont comme suit :

- 15380309/jme : « Calculs de simulation d'un forage guidé horizontal » (HDD) - Rapport
- 2217783001/jme : « Calculs de simulation d'un forage guidé horizontal (canalisations HDPE) » - Rapport

Les calculs (itérations) dans ses études ont été faits avec M-drill 5.1 conformément à la norme néerlandaise NEN3650/3651. M-drill 5.1 est un logiciel de calcul géotechnique avancé pour canalisations suivant la technique de forage guidé horizontal développé par Deltares (précédemment Geodelft).

3. Données de base

3.1. Données canalisation pour un tube en acier

Matériau: acier

Qualité: acier L235 GA

Limite d'élasticité: 235 N/mm²

Coefficient d'élasticité: 205.800 N/mm²

Poids spécifique matériel: 78,5 kN/m³

Diamètre nominal, diamètre extérieur, épaisseur nominale :

Diamètre nominal DN	100	150	200	250	300
Diamètre extérieur D _u (mm)	114,3	168,3	219,1	273,0	323,9
Épaisseur nominale (mm)	3,6	4,0	4,5	5,0	5,6

3.2. Données canalisation pour un tube en PE

Matériau: HDPE100

Force de traction de courte durée: 10 N/mm²

Force de traction longue durée: 8 N/mm²

Coefficient d'élasticité courte durée: 1200 N/mm²

Coefficient d'élasticité longue durée: 300 N/mm²

Facteur Poisson: 0.4

Poids spécifique matériel: 9,54 kN/m³

Épaisseur de paroi exprimée en classe SDR: SDR11 / SDR17,6

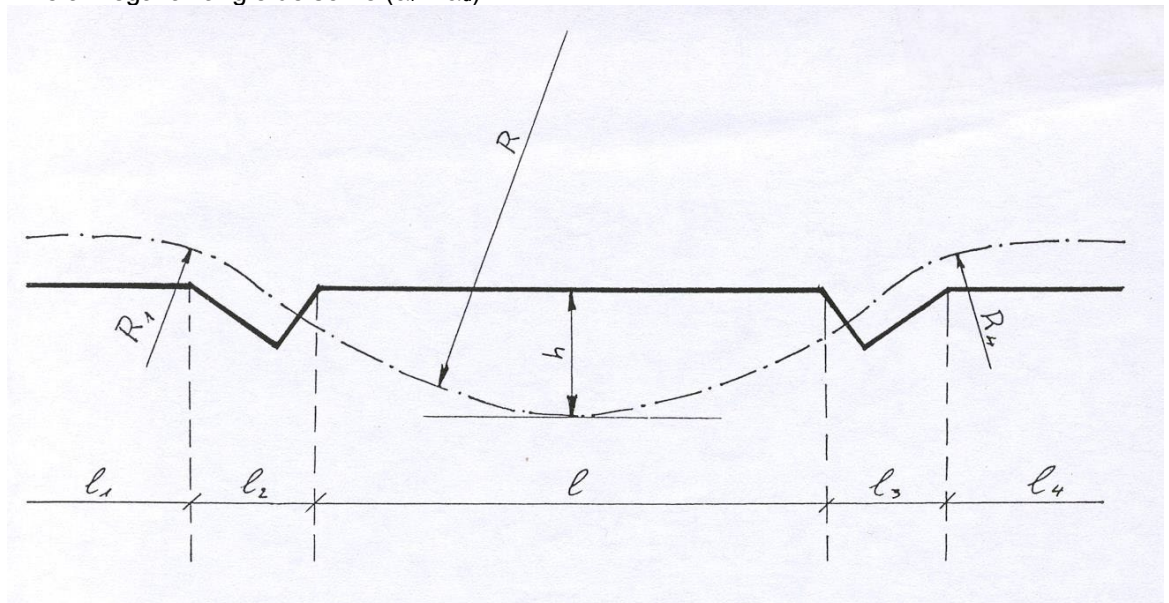
Diamètre des canalisations: DN110 / DN160 / DN200 / DN315

3.3. Charge de trafic

La charge de trafic maximale est celle du type I : charge par essieu conformément la NVN-ENV 1991-3 : 1995 « Eurocode 1 : Principes de conception et charges dans la construction – partie 3 : charges de trafic des ponts »

3.4. Profil longitudinal

Le profil longitudinal de la canalisation est un arc de cercle, l'angle d'entrée étant égal à l'angle de sortie ($\alpha_i = \alpha_u$).



R est le rayon de l'arc de cercle et l'arc de cercle est symétrique par rapport à la verticale par le centre.

La canalisation courbée passe dans la galerie de forage (canalisation sous le sol naturel à environ 1 m de profondeur).

3.5. Pression interne

La pression interne dans un tube en acier est de $p = 15 \text{ bar} = 1,5 \text{ N/mm}^2$

La pression interne dans un tube en PE est de $p = 5 \text{ bar} = 0,5 \text{ N/mm}^2$