



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Mode d'emploi

Programme d'aide au choix des conduites
Dimensionnement statique

Schaller Marc
Joliat Renaud

05. juin 2020

1 Table des matières

2	Nomenclature	1
3	Introduction	3
4	Conditions d'utilisation	3
4.1	Limitations	3
5	Programme	4
5.1	Hypothèses du programme	4
5.2	Page d'accueil	7
5.3	Explications	7
5.4	Données	8
5.5	Aide	13
5.6	Raccourcis	14
5.7	Impression	14
5.8	Résultats détaillés	18
6	Bases de données	24
7	Exemples	26
7.1	Tuyau en béton	26
7.2	Tuyau en grès vitrifié	27
7.3	Tuyau en fonte	28
7.4	Tuyau en PP-SN12	29
7.5	Tuyau en PVC-SN4	30
7.6	Tuyau en PE	31
7.7	Tuyau en GF-UP	32
8	Bibliographie	33
9	Annexes	34
9.1	Dimensions des tuyaux	34

2 Nomenclature

Tuyau			
Diamètre extérieur	d_a	Coefficient de pression du terrain (théorie du silo)	K_1
Diamètre intérieur	d_i		
Diamètre nominal	DN	Coefficient de pose (tuyaux rigides)	ZE
Rayon moyen	r_m		
Rayon extérieur	r_a	Facteur d'appui (tuyaux souples)	k
Rayon intérieur	r_i	Angle de frottement de la paroi	δ
Épaisseur de la paroi	e	Coefficient de flexion au tassement	C_2
Épaisseur du lit d'enrobage inférieur	a	Coefficient de décharge	C_3
Épaisseur du lit d'enrobage supérieur	c	Indice de décharge	C_1
Section de la paroi du tuyau	A	Hauteur de couverture	H
Longueur du tuyau (=1m)	L	Largeur de fouille	B
Module de flexion de la paroi du tuyau	W	Angle de talus à partir de l'horizontale	β
Module d'élasticité à court terme	$E_{R,court}$	Niveau d'eau souterraine	h_w
Module d'élasticité à long terme	$E_{R,long}$	Actions	
Effet de courbure	α_k	Poids propre du tuyau	g
Coefficient de poisson	ν	Charge de trafic	p_v
Poids spécifique du matériau	γ_R	Charge de roue	p_{roue}
Rigidité du système à court terme	SF_{court}	Charge de trafic-charge de roue	Δp
Rigidité du système à long terme	SF_{long}	Facteurs de charges de trafic	α
Classe de résistance	FK	Coefficient dynamique de trafic	Ψ
Terrain			
Poids volumique apparent humide	γ	Charges surfaciques (fondation)	q_s
Poids volumique déjaugé	γ'	Largeur de la charge surfacique	B
Angle de frottement interne	ϕ	Longueur de la charge surfacique	L
Module de déformation verticale du sol	E_B	Position du centre en x de la charge, par rapport au tuyau	x
Module de déformation horizontale du sol	E_{Bh}	Position du centre en y de la charge, par rapport au tuyau	y
Module de déformation horizontale du sol au-dessus du tuyau	E_1	Profondeur de la charge surfacique, par rapport au terrain	t
Densité de Proctor	D_{Pr}	Charges permanentes au sommet	q_{s1}
Coefficient de pression du terrain (tuyaux rigides)	K	Charges variables au sommet	q_{s2}
Coefficient de pression d'appui	K_{St}	Coefficient d'augmentation de charge sur le tuyau	λ_{max}
		Coefficient de réduction de charge sur le tuyau	λ_{min}

		Matériaux	
Facteur de majoration de charge	f	Béton	B
Charges effectives au sommet	q_{ser}	Grès	STZ
Charges de dimensionnement au sommet	q_{ds}	Fonte ductile	GGG
Charge linéaire de dimensionnement au sommet	q^*_{ds}	Polyester insaturé, renforcé de fibres de verre	GF-UP
Charge de terrain ou enrobage	q_h	Polypropylène	PP
Charge linéaire de rupture au sommet	q_{Br}	Polychlorure de vinyle non plast.	PVC
Résistance au voilement	q_{BL}	Polyéthylène à haute densité	PE-HD
Pression critique de voilement	p_{cr}		
Pression hydrostatique de dimensionnement	$p_{w,d}$		
Pression d'eau à l'intérieur	p_{EI}		
Poussée d'Archimède	F_A		

Vérifications

Déformation verticale du tuyau	x
Moment au niveau caractéristique	M_k
Effort normal au niveau caractéristique	N_k
Profil d'enrobage 1	U1/V1
Profil d'enrobage 2	U2/V2
Profil d'enrobage 2A	U2A/V2A
Profil d'enrobage 3	U3/V3
Profil d'enrobage 4	U4/V4
Contrainte annulaire de flexion	σ
Contrainte de tension annulaire	σ_{Rbz}
Contrainte admissible de tension annulaire	$\sigma_{Rbz,adm}$

3 Introduction

L'objectif de ce logiciel est de réaliser un dimensionnement statique de canalisation complet. Afin que le choix de l'utilisateur ne soit pas déjà fixé sur un fournisseur depuis le début, plusieurs matériaux doivent être comparés en même temps. Les données du terrain sont les informations principales à introduire. Le programme vérifie par après la capacité portante des conduites en section transversale, les efforts internes et les contraintes dans la paroi du tuyau. Tous les calculs et vérifications se basent sur la norme SIA190 :2017 [4] et la documentation technique « Rohrstatik » [5]. Les résultats obtenus après les calculs permettent ensuite la comparaison de différentes possibilités remplissant toutes les conditions. Les méthodes statiquement réalisables sont alors directement visibles. Si l'utilisateur souhaite de voir les calculs détaillés, c'est aussi possible.

4 Conditions d'utilisation

Le programme est seulement destiné pour le dimensionnement statique des conduites. Le calcul hydraulique n'est pas considéré.

Sauf mentionner différemment, les délimitations de la norme SIA190 :2017 s'appliquent.

Le créateur de ce programme n'assume aucune responsabilité sur les résultats obtenus.

4.1 Limitations

Les limitations du programme sont les suivantes :

- Les matériaux traités sont : Béton (**B**), Grès (**STZ**), Fonte ductile (**GGG**), Polypropylène (**PP**), Polychlorure de vinyle (**PVC**), Polyéthylène à haute densité (**PE**) et Polyester insaturé (**GF-UP**).
- Le matériau non traité est : Béton armé (**STB**).
- Le programme calcule que les **tuyaux circulaires**.
- Le logiciel ne vérifie pas le comportement des tuyaux dans le sens longitudinal.
- Le logiciel ne vérifie pas la capacité portante et les tassements du sol.
- Le logiciel ne vérifie pas la stabilité des pentes pour les fouilles.
- Le logiciel ne considère **pas la phase de chantier**, qui peut aussi être déterminante.
- Le logiciel travaille avec les formules du document technique « Rohrstatik ».
- L'épaisseur du tuyau fictif pour les tuyaux souples posé dans le profil d'enrobage 4 est limitée de 150mm à 500mm. Les itérations dans ce logiciel sont fait part pas de 5mm.
- Les tuyaux en béton (B) et grès (STZ) peuvent être posés dans tous les profils d'enrobage, par contre les tuyaux en plastique ne peuvent qu'être posés dans les profils d'enrobage 1 et 4.
- Les tuyaux en fonte ductile (GGG) peuvent être que poser dans le profil d'enrobage 1, avec un angle d'appui $\alpha_u = 30^\circ$.

- Afin d'éviter que les tuyaux en plastique et GF-UP présentent un comportement rigide (vérification par calcul plus valable -> essais de rupture), il faut poser les tuyaux dans des sols non cohésifs ou faiblement cohésifs (voir tableau 1 de la norme SIA190 :2017).
- Les calculs dépendent des tuyaux existants. Si on introduit un diamètre intérieur, le logiciel calcule avec ce diamètre, ou il prend le prochain (plus grand).
- La hauteur de couverture minimale pour le cas du trafic routier est de 1m et pour le trafic ferroviaire de 2m (depuis le sommet des rails).
- Le coefficient de réduction de charge sur le tuyau λ_{\min} n'est **pas applicable** quand le tuyau se trouve sous une route ou une voie ferrée.

5 Programme

5.1 Hypothèses du programme

Plusieurs hypothèses ont été faites pour la réalisation du programme.

- Les caractéristiques des matériaux de la norme SIA190 :2017 ont été appliquées.

Caractéristiques des matériaux pour tuyaux circulaires homogènes					
Matériaux	Module d'élasticité (valeur de calcul)		Coefficient de Poisson ν	Poids volumique γ_R	Contrainte admissible de tension annulaire $\sigma_{Rbz, long, adm}$
	$E_{R, court}$	$E_{R, long}$			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]			
B	30000	30000	0.2	24	4
STZ	50000		0.25	22	6
GGG	170000		0.3	70.5	330
PVC-U	3000	1500	0.38	14	20
PP	1250	300	0.4	9	8
PE	1000	250	0.4	9.5	14

Tableau 1: (Tableau 2 de la norme SIA190:2017)

Caractéristiques des matériaux pour tuyaux circulaires homogènes					
Matériaux	Tension annulaire (valeur de calcul)		Coefficient de Poisson ν	Poids volumique γ_R	Déformation relative (valeur de calcul) $\Delta d_{long}/d_m$
	$S_{0,court}$	$S_{0,long}$			
	[N/m ²]	[N/m ²]			
GF-UP SN2500	2500	1250	0.35	17	7.5
GF-UP SN5000	50000	2500	0.35	17	6
GF-UP SN10000	10000	5000	0.35	17	4.5
GF-UP SN15000	15000	7500	0.35	17	4
GF-UP SN16000	16000	8000	0.35	17	3.9
GF-UP SN20000	20000	10000	0.35	17	3.6

Tableau 2: (Tableau 3 de la norme SIA190:2017)

- Les dimensions des tuyaux ont été comparées avec divers fournisseurs. Les dimensions qui se trouvent dans l'annexe 9.1 de ce mode d'emploi ont été programmées.
- Malgré l'article 2.4.6 de la norme SIA190 :2017 dit que le diamètre nominal minimal (DN) pour un système séparatif est de 250mm et 300mm pour un système unitaire, le programme traite les tuyaux avec un diamètre nominal de **200mm à 1500mm** (avec message d'avertissement).
- Les types de béton d'enrobage considéré sont :

C16/20	C20/25	C25/30	C30/37
--------	--------	--------	--------
- Le module d'élasticité du béton d'enrobage à été programmé à **20'000N/mm²**.
- L'épaisseur minimale de l'enrobage est fixée à 150mm et doit être capable de reprendre la force de traction pour les tuyaux rigides.
- Le modèle de charges pour le trafic routier est le modèle de charge 1 selon la SIA261 :2014 [2] articles (10.2.2).
- Le modèle de charges pour le trafic ferroviaire est le modèle de charge 1 de la norme SIA261 :2014 (article 11.2.1).
- Pour la charge des voies étroites, le logiciel calcule avec la simplification proposée dans la norme SIA190 :2017 (article 4.2.3.11) et réduit de 50% la charge du modèle 1.
- Les coefficients de charge α pour le trafic sont à introduire manuellement, sauf pour les routes d'importances secondaires (0.65) et les voies étroites (1.0). Dans ces deux cas, le coefficient est déjà programmé.
- Les charges de trafic sont calculées d'après les tableaux dans l'annexe C.2, C.3 et C.4 de la norme SIA190 :2017. Les charges sont interpolées linéairement pour les hauteurs qui ne sont pas indiquées dans ces annexes.

- La poussée d'Archimède est calculée par rapport au plus haut niveau d'eau souterraine. Le logiciel ne vérifie pas la poussée lors de la phase de bétonnage.
- Les conventions pour l'application des formules sont comme mentionnées dans le document technique « Rohrstatik ». L'image ci-dessous montre la convention pour l'angle φ en degré et le tableau ci-dessous montre la convention des signes pour les efforts internes.

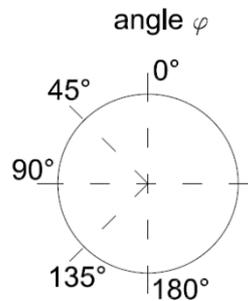


Figure 1: convention de φ

Efforts internes		Contraintes
Signe	Effort normal	Moment de flexion
Positif +	Compression	Traction à l'intérieur
Négatif -	Traction	Traction à l'extérieur

Tableau 3: Conventions des signes

- Le facteur de pression d'appui K_{St} pour les tuyaux rigides posés dans le profil d'enrobage U4/V4 est malgré l'article 4.2.9.3 de la norme SIA190 :2017 programmé à 0.8. Ceci, car le profil 4 est plus favorable que le profil 3.
- Facteur de voilement k est considéré égale à 1 pour les tuyaux souples.
- Le Coefficient de décharge C_3 est considéré égal à 1.0 pour le profil d'enrobage 4 des tuyaux souples (plastiques et GF-UP).
- Que 5% de la charge de dimensionnement est reprise par les tuyaux souples lorsqu'ils sont complètement enrobés de béton. Le reste est repris par le tuyau en béton « fictif ».
- Lors que le tuyau souple dans le profil d'enrobage 4 est soumis à l'action de l'eau souterraine, une déformation initiale x/d de 0.02 est admise.

5.2 Page d'accueil

La page d'accueil (pas modifiable) est destinée à l'utilisateur de noter les informations générales du projet, qui vont apparaître à l'en-tête des feuilles de résultats. Il est possible d'accéder par le bouton « **Explications** » à la feuille, qui explique le domaine d'application et les limites du programme. En plus il est possible de changer la langue (français ou allemand). Pour faire ceci, il faut choisir la langue dans la liste déroulante et cliquer sur le bouton « **Changement de langue** ».

Pour débiter le programme, il faut cliquer sur le bouton « **Commencer** ».

Données à introduire qui apparaissent à la fin à l'en-tête de la feuille de résultat.

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES
CALCULS ET DIMENSIONNEMENT STATIQUES
calculs selon la base normative SIA 190:2017

Projet: Travail de Bachelor
N°: 001
Date: 03.06.2020
Lieu: Boulevard de Pérolles 80
1700 Fribourg

Ingénieur/e: Schaller Marc
Responsable: Joliat Renaud
Maître d'ouvrage: HEIA-FR
Remarques: Présentation bachelor 2019

Langue: Français

Changement de langue

Explications Commencer

Ouvrir les explications du programme (Limitations)

Ouvrir la page de Données

Figure 2: page d'accueil

5.3 Explications

À la page d'accueil, comme à la page d'impression il est possible d'accéder par le bouton « **Explications** » aux conditions d'utilisation, les limitations du logiciel et les hypothèses faites pour les calculs. Cette page se présente comme suit :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Conditions d'utilisation

Le programme est seulement destiné pour le **dimensionnement statique** des conduites. Le calcul hydraulique n'est pas considéré.
Sauf mentionner différemment, les délimitations de la norme **SIA190 :2017** s'appliquent.
Le créateur de ce programme n'assume aucune responsabilité sur les résultats obtenus.

Limitations du logiciel

Les matériaux traités sont : Béton (**B**), Polypropylène (**PP**) et Polychlorure de vinyle (**PVC**).
Les matériaux non traités sont : Fonte (**GGG**), Béton armé (**STB**), Grès (**STZ**), Polyester insaturé (**GF-UP**) et le Polyéthylène insaturé (**PE**).
Le programme calcule que les **tuyaux circulaires**.
Le logiciel ne vérifie pas le comportement des tuyaux dans le sens longitudinal.
Le logiciel ne vérifie pas la capacité portante et les tassements du sol.
Le logiciel ne vérifie pas la stabilité des pentes pour les fouilles.
Le logiciel ne considère **pas la phase de chantier**, qui peut aussi être déterminant.
L'épaisseur du tuyau fictif pour les tuyaux souples posé dans le profil d'enrobage 4 est limitée de 150mm à 500mm.
Les itérations dans ce logiciel sont faites part pas de 5mm.
Les tuyaux en béton peuvent être posés dans tous les profils d'enrobage, par contre les tuyaux en plastique ne peuvent qu'être posés dans les profils d'enrobage 1 et 4.
Le logiciel travaille avec les formules du document technique « Rohrstatik ».
Les formules pour la sécurité structurale et la vérification de la déformation ne sont plus valables pour les tuyaux en plastique rigide ($SF_{court} > 0.1$).

Retour

Figure 3: Explications

5.4 Données

Il existe qu'une page de données. Dans cet onglet, il est donc nécessaire d'introduire toutes les données. Les remarques générales qui sont valables pour toute la feuille sont citées ci-dessous :

- Les liens hypertextes ([textes en bleu](#)) amènent directement vers le sujet traité dans l'onglet aide.
- Si le programme à une variable fixée pour un cas particulier, ceci est indiqué avec une phrase en **rouge**. (La valeur de α est par exemple fixé à 0.65 pour les routes d'importances secondaires.)
- Une image explicative est visible. Cela visualise les dimensions à introduire pour la fouille et l'eau souterraine.
- Les cellules limitées indiquent leur limite, si on clique dessus.

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Tuyau: [1. Diamètre intérieur](#) d_i 250 [mm]

Actions: [2. Charge surfacique](#) [3. Trafic routier/ferroviare](#)

Facteur de charge routier α_{routier} 0.9 [-] *Pour les routes d'importances secondaires, une valeur de 0.65 est programmé*

Coefficient dynamique pour trafic routier ψ Avec [-]

Terrain: [4. Qualité du sol](#) [5. Poids volumique apparent humide](#) γ 20 [kN/m³]

[6. Poids volumique déjaugé](#) γ' 11 [kN/m³]

[7. Angle de frottement interne](#) φ 30 [°]

[8. Module de déformation vertical du sol](#) E_B 5 [N/mm²]

[9. Coefficient de pression du terrain](#) K 0.5 [-]

[10. Coefficient de flexion au tassement](#) C_2 0.5 [-]

[11. Facteur de réduction de charges](#) λ_{min} OUI

Théorie du silo (K_1 et δ) K_1 0

[12. Type de béton d'enrobage](#) C30/37

Liste déroulante

Informations, dès que quelque chose est programmé

Hypertexte vers la feuille d'aide

Image d'explicative pour les données du terrain

Figure 4: Page de Données

Tuyau : Le **diamètre intérieur** nécessaire est à introduire en mm. Le logiciel calcule directement avec des conduites qui sont programmées (voir annexe 9.1). C'est-à-dire qu'il calcule avec la valeur introduite, si cette dimension existe. Sinon il calcule avec le tuyau de dimensions immédiatement supérieur. Il est nécessaire de vérifier sur la feuille de résultats, que le diamètre intérieur utilisé par le logiciel satisfait toujours l'aspect hydraulique. Dès qu'il n'existe plus de diamètre supérieur, le calcul est réaliser avec le diamètre maximal.

Actions :

1. Charge surfacique : Les charges surfaciques sont considérées comme des charges permanentes dans ce logiciel. Dans la liste déroulante il est possible de choisir soit « **Pas de charge** » ou bien « **Charge surfacique** ». Lorsque le cas de charge surfacique est choisi, il est nécessaire d'introduire les dimensions selon l'annexe C.5 de la norme SIA190 :2017. Si le cas sans charge est choisi, les dimensions peuvent

rester, car le logiciel calcule directement sans charge et met l'influence à 0. Le logiciel permet aussi de considérer une charge à différente hauteur.

$t = 0 \rightarrow$ charge se trouve au niveau du terrain

$t > 0 \rightarrow$ charge se trouve en dessous du terrain

$t < 0 \rightarrow$ charge se trouve au-dessus du terrain

2. Trafic routier/ferroviaire : Les charges de trafic sont considérées comme des charges de courte durée (variables). Comme à l'action précédente, il faut faire un choix dans la liste déroulante pour l'action du trafic. La diffusion de ces charges en profondeur est réalisée comme indiqué dans la norme SIA190 :2017. Les cas possibles à introduire sont :

- **Pas de trafic :** Tuyau se trouve à l'extérieur d'un espace routier ou ferroviaire.
- **Trafic routier :** Tuyau se trouve au milieu de la chaussée, à l'axe d'une roue.
- **Bord de route :** Tuyau se trouve au bord de la chaussée (environ 83% de la charge du trafic routier)
- **Route d'importance secondaire :** Tuyau se trouve aussi au milieu de la chaussée, mais le trafic est moins important.
- **Voie unique :** Tuyau se situe sous une voie unique.
- **Voies multiples :** Tuyau se situe sous plusieurs voies.
- **Voie étroite :** Tuyau se situe sous une voie étroite, voie de tramways ou voie de trafic d'agglomération.

Les coefficients à choisir pour le trafic routier sont :

Coefficient	Trafic routier	Bord de route	Route d'importance secondaire
α	Généralement 0.9	Généralement 0.9	0.65 (<i>programmer</i>)
Ψ	Avec ou sans	Avec ou sans	Avec ou sans

Tableau 4: Coefficient trafic routier

Le facteur de charge α est pour le trafic routier **généralement 0.9**, mais il est possible de descendre **jusqu'à 0.65** pour des routes d'importances secondaires avec une largeur de chaussée inférieure à 6m (4.2.3.9 ; SIA190 :2017). Dans ce cas, il faut choisir « route d'importance secondaire ».

Le coefficient dynamique Ψ doit seulement être appliqué au **voisinage de seuils ou d'obstacles similaires**. Il est calculé en analogie au coefficient dynamique du trafic ferroviaire est diminuée en profondeur jusqu'à une valeur de 1.

$$\psi = 1.25 - 0.1 * (H - 0.5) \geq 1 \text{ [6]}$$

Les coefficients à choisir pour le trafic ferroviaire sont :

Coefficient	Voie unique	Voies multiples	Voie étroite
α	Généralement 1.33	Généralement 1.33	1.0 (<i>programmer</i>)
Ψ	<i>Programmer</i>	<i>Programmer</i>	<i>Programmer</i>

Tableau 5: Coefficient trafic ferroviaire

Le facteur de charge α est pour le trafic ferroviaire **généralement 1.33**, mais il est possible de descendre **jusqu'à 1.0** (4.2.3.13 ; SIA190 :2017).

Le coefficient dynamique Ψ est appliqué dans **tous les cas** pour le trafic ferroviaire et n'est donc pas à choix (4.2.3.12 ; SIA190 :2017).

$$\psi = 1.4 - 0.1 * (H - 0.5) \geq 1$$

Terrain:

1. Qualité du sol : La liste déroulante permet de choisir entre un sol stable et de la roche/sol à consistance ferme. Ce choix influence l'épaisseur du lit de pose selon l'article 5.3.2.3 de la norme SIA190 :2017.

Dimension	Sols stables	Roche
a [mm]	=100mm +1/10*DN	=100mm+1/5*DN

Tableau 6: Qualité de sol

2. Caractéristiques du terrain : Si les caractéristiques du terrain sur place sont connues, ces valeurs sont à introduire. Pour le cas où les valeurs ne sont pas connues, il est recommandé d'introduire les valeurs du tableau 1 de la norme SIA190 :2017.

Type de sol (classification USCS selon SN 670008)	Poids spécifique		Angle de frottement interne φ	Module de déformation E_B en N/mm ² pour un degré de compactage D_{Pr} de			
	terre humide kN/m ³	sol déjaugé kN/m ³		85 % N/mm ²	90 % N/mm ²	92 % N/mm ²	95 % N/mm ²
Sols non cohésifs (GW, GP, SW, SP)	20	11	35°	2,0	6,0	9,0	16,0
Sols faiblement cohésifs (GM, GC, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC)	20	11	30°	1,2	3,0	4,0	8,0
Sols cohésifs (SM, SC, SC-SM, ML, CL-ML)	20	10	25°	0,8	2,0	3,0	5,0

Figure 5: Tableau 1 de la norme SIA190

Si on admet un degré de compactage D_{Pr} **supérieur à 90%** pour le dimensionnement statique, les modules de déformations verticales du sol E_B doivent être **contrôlés** sur le chantier.

3. Coefficient de pression du terrain : Le coefficient de pression du terrain K est nécessaire pour calculer la pression du terrain pour les tuyaux rigides. La valeur est à introduire en fonction du degré de compactage D_{Pr} (4.2.9.3 ; SIA190 :2017).

Coeff. pression terrain	$D_{Pr} \geq 92\%$	$D_{Pr} \leq 92\%$
K	0.5	0.25

Tableau 7: Coefficient de pression du terrain selon SIA190:2017

4. Coefficient de flexion au tassement : Pour pouvoir calculer l'augmentation des charges permanentes λ_{max} pour les tuyaux rigides, il est nécessaire d'introduire le coefficient C_2 . Ce coefficient dépend du type de sol.

Coeff. de flexion au tassement	Sol ferme	Sol ordinaire	Sol meuble
C_2	1	0.5-0.8	0-0.5

Tableau 8: Coefficient de flexion au tassement selon la SIA190:2017

5. Facteur de réduction de charges : Les tuyaux souples peuvent éventuellement profiter d'une réduction de charges. Cette réduction peut qu'être appliquer lors que le tuyau se trouve pas sous une route ou une voie ferrée. Généralement on ne considère donc pas cette réduction de charge et il faut choisir « **NON** ». Dans ce cas le logiciel calcule avec une valeur de 1 pour λ_{min} .

Pour qu'on puisse choisir « OUI » dans le logiciel pour λ_{min} , il faut que plusieurs conditions soient garanties, selon la SIA190 :2017 (4.2.6.2.2):

- Le degré de compactage du remblai D_{Pr} doit être supérieur à **90%**.
- Il faut une couverture minérale suffisante sur le tuyau.
- Le module de déformation horizontale du sol au-dessus du tuyau doit être plus petit que le module de déformation horizontale du sol au voisinage du tuyau.
 $E_1 \leq E_{Bh}$
- Le transfert de cisaillement doit être garanti durablement sur les côtés et au-dessus du tuyau. (Attention, des vibrations occasionnelles peuvent détruire le transfert de cisaillement)

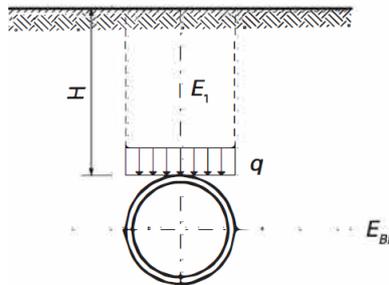


Figure 6: Figure 4 de la norme SIA190:2017

Si « OUI » est choisi, il faut également faire un choix dans la liste déroulante et introduire une valeur pour le coefficient de pression du terrain K_1 . La valeur de l'angle de frottement δ de la paroi est programmée en fonction du compactage choisi.

Théorie du silo	Coefficient de pression du terrain K_1
Compactage par couches contre le terrain naturel, sans vérification	0,5
Bon compactage par couches contre le terrain naturel, avec vérification	0,5
Compactage faible ou inexistant, resp. étayage retiré a posteriori	effet de silo
	0 - 0,5

Figure 7: Tableau 8 de la norme SIA190:2017

6. Type de béton : Le dernier point sous le chapitre « Terrain » à choisir est le type de béton. La liste déroulante permet de choisir les différentes sortes :

	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	
σ_{adm}	-0.30	-0.35	-0.40	-0.45	N/mm ²

Tableau 9: Types de béton

Le choix du type de béton influence deux calculs. Premièrement l'épaisseur nécessaire du béton d'enrobage (a et c) pour reprendre la contrainte de traction et deuxièmement l'épaisseur du tuyau fictif pour les tuyaux souples (profil d'enrobage 4).

Fouille:

1. Hauteur de couverture H : La hauteur de couverture est la distance entre le niveau du terrain et le sommet du tuyau en mètres (à l'extérieur de la paroi). Selon l'article 2.4.3 de la norme SIA190 :2017 [4], la hauteur minimale de couverture est généralement 1m, mais à proximité des voies ferrées 2m.

2. La Largeur de fouille B : Dimension en mètres est à introduire si on prend en considération la réduction de charge λ_{\min} .

3. Type de fouille : La liste déroulante laisse le choix entre une fouille verticale (U) ou talutée (V). Le type de fouille a seulement une influence si on considère la réduction de charge λ_{\min} . Si la fouille talutée est choisie, il faut introduire un angle β du talus par rapport à l'horizontale.

Les dimensions expliquées sous le chapitre « Fouille » sont visualisées dans la figure ci-dessous.

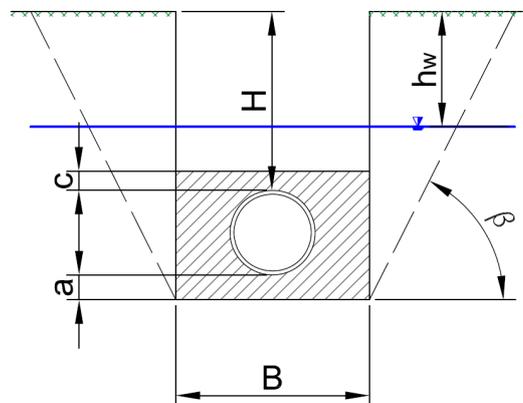


Figure 8: Dimensions de fouille

Eau :

1. Eau souterraine : Plusieurs cas sont possibles par rapport à la situation de l'eau souterraine. Si le tuyau n'est pas soumis à l'eau souterraine, il faut choisir « Sans eau souterraine ». Le calcul est automatiquement réalisé sans eau. Si l'eau souterraine est présente, il faut choisir « Avec eau souterraine ». La dimension h_w est la distance entre le niveau du terrain et le niveau de l'eau. Les cas suivants sont traités dans ce logiciel :

$h_w > H + d_a \rightarrow$ Influence de l'eau souterraine est mise à 0.

$h_w < 0 \rightarrow$ Niveau d'eau est plus haut que le niveau du terrain.

$0 \leq h_w \leq H + d_a \rightarrow$ Cas entre-deux.

2. Eau à l'intérieur du tuyau : Il est possible d'introduire une surpression d'eau dans la conduite. Trois cas sont donc possible :

Tuyau vide

Tuyau plein \rightarrow Poussée d'Archimède annulée, si présence d'eau à l'extérieur.

Tuyau sous pression \rightarrow Pression à introduire en kN/m^2 .

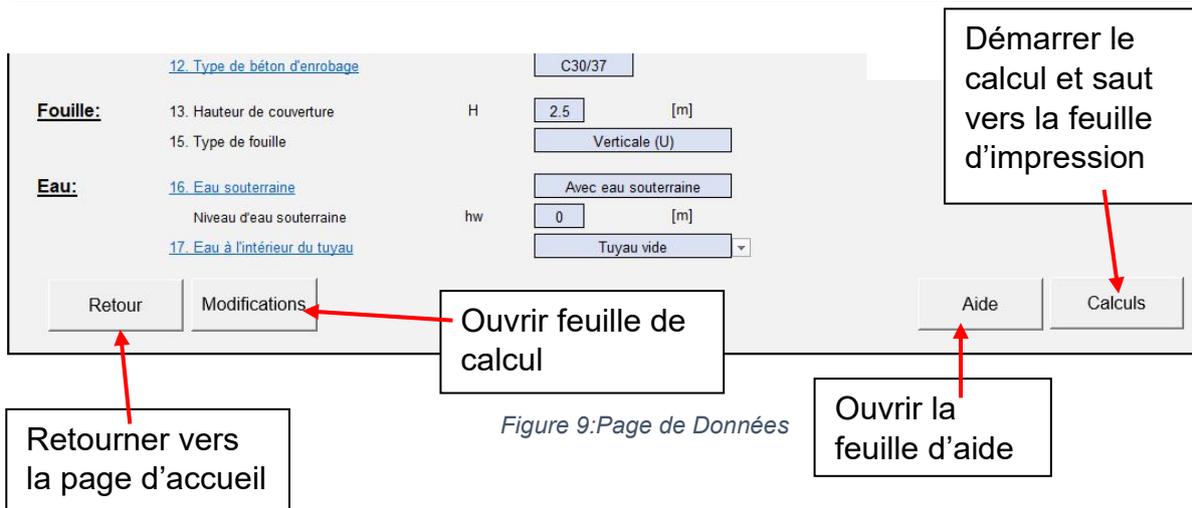


Figure 9: Page de Données

Le bouton « **Modifications** » permet d'accéder à la feuille de calcul et de faire des modifications (voir chapitre 6). Le bouton « **Calculs** » permet de lancer les calculs pour tous les matériaux programmer. Lorsqu'on introduit un diamètre plus petit que les diamètres prescrites par la norme, le message suivant s'affiche :

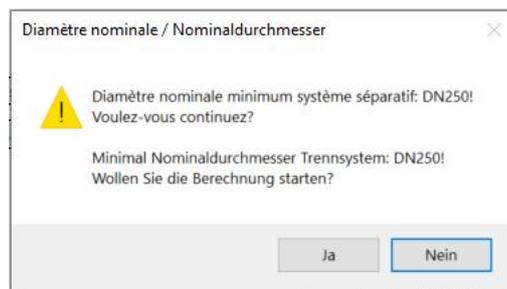


Figure 10: Message petit diamètre

5.5 Aide

La page d'aide est accessible soit par le bouton « **Aide** » sur la page de données ou bien par les liens hypertexte sur la page de données. Grand avantage de ces liens est qu'ils amènent directement vers le chapitre qui nous intéresse.



Figure 11: Page d'aide

5.6 Raccourcis

Plusieurs raccourcis ont été programmé, afin de faciliter la manipulation avec le programme. L'icône **i** sur la page d'accueil permet de montrer les raccourcis.

Raccourci	Explication
Ctrl + a	Accéder à la page d'accueil
Ctrl + d	Accéder à la page de données
Ctrl + h	Accéder à la page d'aide
Ctrl + r	Démarrer les calculs

Tableau 10: Raccourcis programme

5.7 Impression

Dès que les calculs sont réalisés, on arrive directement sur la page d'impression des résultats. Cette feuille est destinée à résumer toutes les vérifications et d'indiquer par un **OK** les cas qui sont réalisables.

Projet : Travail de Bachelor
N°: Exemple 4
Lieu: Boulevard de Pérolles 80
 1700 Fribourg

Ingénieur: Schaller Marc
Responsable: Joliat Renaud
Maître-d'ouvrage: HEIA-FR

Information introduite à la page d'accueil

Résultats

Remarque Présentation bachelor 2019
Profil d'enrobage:

Figure 12: Titre feuille de résultats

L'en-tête de cette feuille d'impression se présente comme illustré ci-dessus. Par le petit logo d'imprimante à gauche de la page on peut facilement imprimer les résultats.

Au début, quelques informations sont illustrées. Ceci permet de faire une petite vérification si les données introduites sont correctes. Si la variante est réalisable avec un certain tuyau et un certain profil d'enrobage, ceci est indiqué par un **OK**, sinon c'est indiqué par - .

Informations			
Hauteur de couverture	1		m
Type de fouille	Verticale (U)		-
Niveau d'eau souterraine	2		m
Charge surfacique	-		kN/m ²
Trafic	Pas de trafic		-

Légende	
-	Pas faisable
OK	faisable

Figure 13: Informations impression

1. Tuyaux en béton : Les tuyaux en béton sont vérifiés avec tous les profils d'enrobages (1 à 4). L'épaisseur du profil d'enrobage nécessaire est indiquée dans le tableau à côté des vérifications. Le profil d'enrobage 1 n'a pas de béton. Les profils 2-3 n'ont pas de béton par-dessus le tuyau, pour cela il n'y a pas de valeurs. L'épaisseur minimale est fixée à **150mm** comme le « Wissenstransfer : statische Bemessungen 1 » de Creabéton [7] le propose.

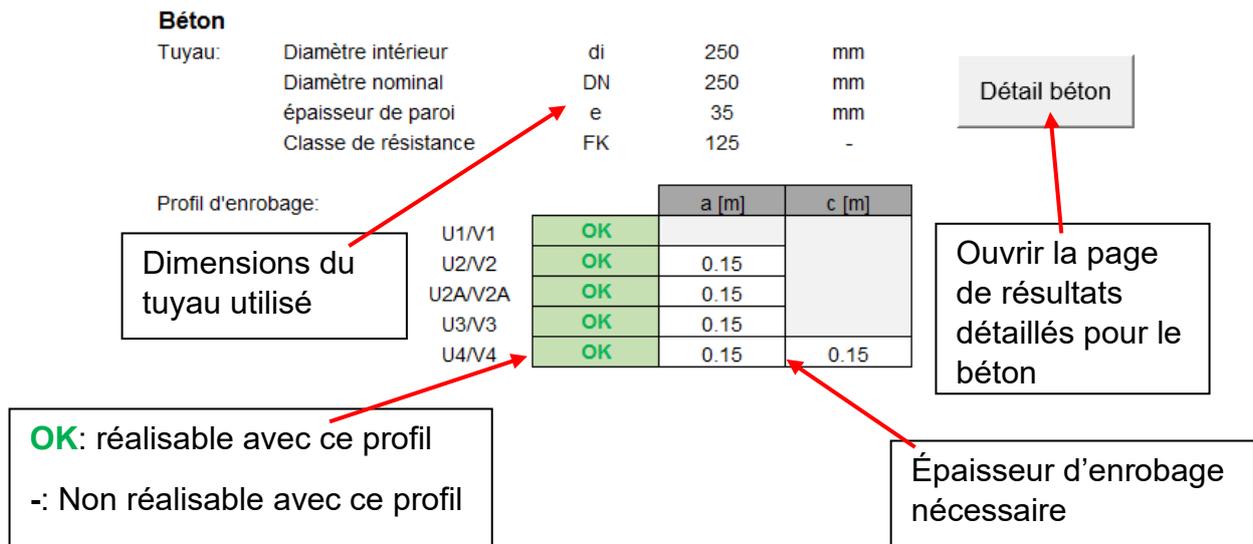


Figure 14: béton feuille de résultat

2. Tuyaux en grès : Les tuyaux en grès sont, comme les tuyaux en béton, toujours rigide et les mêmes explications s'appliquent pour ces tuyaux. À relever qu'il y a deux type de tuyaux en grès qui sont programmer. 1. Charge normale et 2. Charge supérieure.

3. Tuyaux en fonte : Les tuyaux en fonte ductile peuvent qu'être poser dans le profil d'enrobage 1.

4. Tuyaux en plastique lisse : Ci-dessous il y a que les tuyaux en PP-SN4 qui sont indiqués, mais ceci s'applique pour tous les tuyaux en plastique programmé (PP, PVC et PE). A rendre une attention particulière à l'épaisseur du tuyau fictif en béton, car cela détermine l'épaisseur d'enrobage. Pour des raisons d'optimisation de calcul et de réalisation, la limite supérieure de cette épaisseur est choisie à 500mm. Pour le profil d'enrobage 1, la limite de validité des calculs pour la déformation et capacité portante est fixé à $S_{Fcourt} < 0.1$.

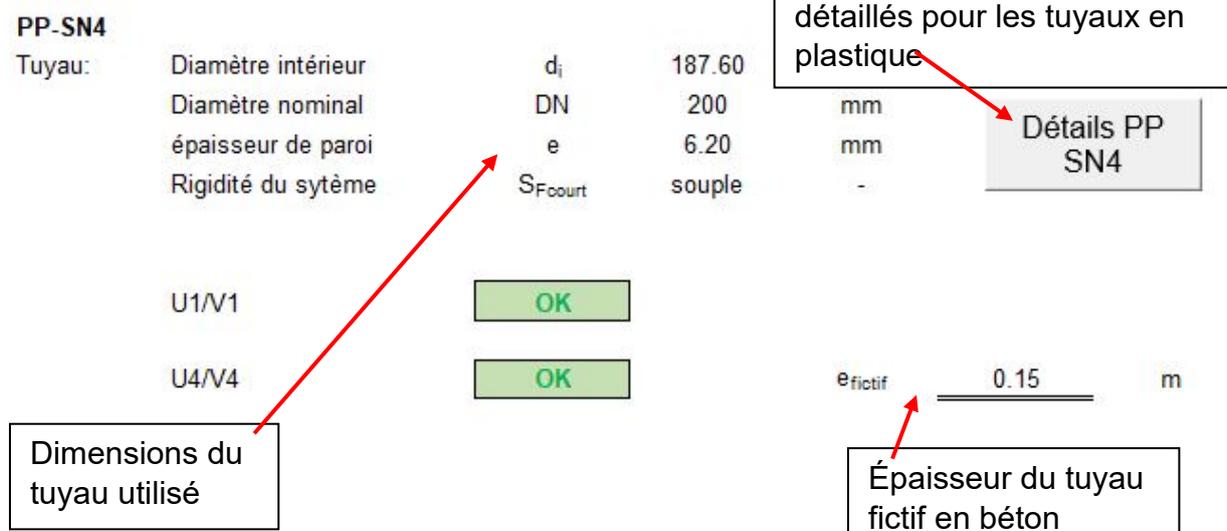


Figure 15: Plastique feuille de résultat

5. Tuyaux en GF-UP : 6 différents tuyau en polyester insaturé (GF-UP) ont été programmé. Ils se diffèrent par la rigidité annulaire S_0 .

Selon l'article 2.3.4 du document « Rohrstatik » [5] les tuyaux souple, poser dans le profil d'enrobage 4 (plastique lisse et GF-UP), les vérifications sont réaliser comme pour un tuyau rigide. Ceci car un tuyau fictif en béton est définie autour du tuyau souple qui reprend en grande partie la charge. Le tuyau fictif se présente de cette manière :

Profil d'enrobage U4/V4

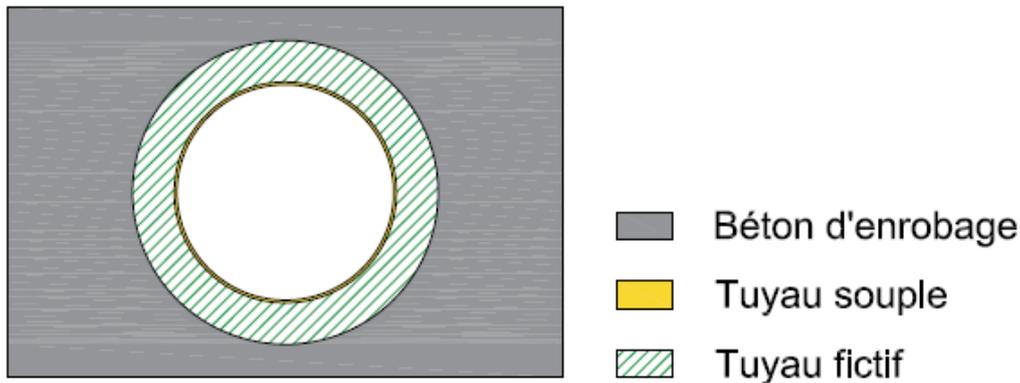


Figure 16: Tuyau fictif en béton

L'épaisseur de l'enrobage tout autour du tuyau doit être égale ou plus grande que l'épaisseur du tuyau fictif.

Dans **tous les cas** il est nécessaire de **vérifier si le diamètre intérieur** du tuyau « réel » correspond à notre choix au début et si il y a des différences, il faut faire une vérification du calcul hydraulique avec le diamètre intérieur final.

5.7.1 Message d'erreur

Plusieurs messages d'erreur peuvent apparaître sur la page d'impression.

1. $D_i \max < d_i$ introduit : Le diamètre interne maximal programmé est plus petit que le diamètre interne introduit. Le calcul statique est quand même réaliser avec le diamètre maximal programmé, mais le message suivant s'affiche :

PP-SN8

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	465.80	mm	Détails PP SN8
	Diamètre nominal	DN	500	mm	
	épaisseur de paroi	e	17.10	mm	
	Rigidité du système	S_{F00rt}	souple	-	

$d_i \max < d_i$ introduit!

U1/V1 OK

U4/V4 - e_{fictif} m

Figure 17: Message d'erreur 1

2. H trop faible : Si la hauteur de couverture minimale selon la norme SIA190 :2017 [4] n'est pas respecter, le message suivant s'affiche :

PP-SN4

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	375.40	mm	Détails PP SN4
	Diamètre nominal	DN	400	mm	
	épaisseur de paroi	e	12.30	mm	
	Rigidité du système	S_{Fcourt}	souple	-	
	U1/V1		-	H trop faible!	
	U4/V4		-	H trop faible!	e_{fictif} <u> </u> m

Figure 18: Message d'erreur 2

Dans ce cas, les résultats s'affichent **toujours pas faisable** [-].

3. Charge de rupture : Les tuyaux en plastique et GF-UP peuvent avoir un comportement rigide dans le profil d'enrobage 1. Dans ce cas les formules pour la déformation et capacité portante ne sont plus valable et donc plus réalisable. Ce cas ne s'applique pas pour le profil d'enrobage 4, ou le calcul est fait avec le tuyau fictif en béton. Pour obtenir un résultat pour le profil 1, il faut vérifier les données. Une attention particulière est à attribuer au module de déformation vertical du sol.

PP-SN12

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	461.80	mm	Détails PP SN12
	Diamètre nominal	DN	500	mm	
	épaisseur de paroi	e	19.10	mm	
	Rigidité du système	S_{Fcourt}	rigide	-	
	U1/V1		-	Tuyua rigide: Vérification avec des charges de rupture n'existe pas pour le profil 1	
	U4/V4		OK		e_{fictif} <u>0.245</u> m

Figure 19: Message d'erreur 3

5.8 Résultats détaillés

Dans ce chapitre les pages des résultats détaillés sont expliquer.

5.8.1 Béton

Informations sur les charges et coefficients pour les calculs.

Tuyaux en béton

Actions

Charge surfacique		Pas de charge	
	q_s	0.00	kN/m ²
Trafic		Bord de route	
Coefficient de charge	α	0.9	
Coefficient dynamique	ψ	1	
Trafic routier et route d'importance secondaire	$p_{v\text{totale}}$	0.00	kN/m ²
	$p_{v\text{roue}}$	0.00	kN/m ²
	Δp_v	0.00	kN/m ²
Bord de route	$p_{v\text{totale}}$	19.21	kN/m ²
	$p_{v\text{roue}}$	4.90	kN/m ²
	Δp_v	14.31	kN/m ²
Trafic ferroviaire voie unique	p_{unique}	0.00	kN/m ²
Trafic ferroviaire voies multiples	$p_{\text{multiples}}$	0.00	kN/m ²
Trafic ferroviaire voie étroite	$p_{\text{étroite}}$	0.00	kN/m ²

Figure 20: Charge de trafic ou surfacique

La valeur indiquée pour la charge surfacique n'est pas la valeur introduite, mais une qui prend en considération la surface d'influence ($B \cdot L$) et la position en hauteur (t). Les charges de trafic indiquées sont les valeurs en fonction de la position du tuyau (hauteur de couverture).

De suite, les sollicitations pour chaque profil d'enrobage sont indiquées. Ceci permet de visualiser les différences de charges entre ces profils.

Sollicitations

		Sollicitations en [kN/m ²]				
		U1/V1	U2/V2	U2A/V2A	U3/V3	U4/V4
Charge perm. au sommet	q_1	57.61	55.09	51.59	46.66	46.66
Charge variable au sommet	q_2	19.41	19.41	19.41	19.41	19.41
Charge effective au sommet	q_{er}	77.02	74.50	71.01	66.07	66.07
Pression du terrain	q_t	38.51	37.25	35.50	33.04	0.00
Pression d'appui	q_{s1}	23.11	22.35	35.50	49.56	52.86
Charge de dim. au sommet	q_d	106.89	103.49	98.77	92.11	92.11

Comparaison des sollicitations entre les différents profils d'enrobages.

Vérifications

Poussée d'Archimède				
Actions stabilisant	$G + G' + G_p$	10.68	[kN/m]	
	G_B	0.75	[kN/m]	
	Somme	11.43	[kN/m]	Facteur 0.9
Actions déstabilisant	F_A	0.80	[kN/m]	Facteur 1.05
Contrôle:	$1.05 \cdot F_A$	0.84	[kN/m]	
	$0.9 \cdot \text{Somme}$	10.29	[kN/m]	OK

Vérification de la poussée d'Archimède.

Sécurité structurale

Sécurité structurale						
	U1/V1	U2/V2	U2A/V2A	U3/V3	U4/V4	
q_d	106.89	103.49	98.77	92.11	92.11	[kN/m ²]
$q_{d\text{er}}$	34.21	33.12	31.61	29.48	29.48	[kN/m]
q_{Bt}	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	[kN/m]
ZE	1.50	2.50	3.00	6.00	7.00	[-]
ZE' qBr/1.2	39.06	65.10	78.13	156.25	182.29	[kN/m]
Résultat	OK	OK	OK	OK	OK	

Vérification de la sécurité structurale.

Figure 21: Sollicitations + 1ères vérifications béton

La première vérification réalisée est celle de la **poussée d'Archimède**. Cette vérification est un état limite ultime de type 1 selon la norme SIA260 :2013 [1]. Les forces stabilisants ($G + G' + G_{Sp}$) sont comparées à la force déstabilisante (F_A). L'indication **OK** signifie que la vérification est remplie.

$$1.05 * F_A \leq 0.9 * (G + G' + G_R)$$

Par après, la **sécurité structurale** est vérifiée. C'est un état limite ultime de type 2 selon la SIA260 :2013. La vérification se fait selon la SIA190 :2017 (formule 39) :

$$q^*_{ds} \leq \frac{ZE * q_{Br}}{1.2}$$

Le prochain point de la vérification est l'aptitude au service. La vérification est effectuée avec les valeurs caractéristiques selon la norme SIA260 :2013. Les contraintes se calculent avec l'approche de la formule de flexion composée :

$$\sigma = \frac{N_k}{A} \pm \frac{M_k}{W} * \alpha_k$$

Les valeurs des efforts internes sont obtenues avec les formules de la documentation technique « Rohrstatik ». Les contraintes sont calculées à 10 points (intérieur et extérieur de la paroi). À savoir que l'angle est défini sous le chapitre hypothèse du programme. Chaque point doit être inférieur à la contrainte admissible qui est choisie par le type de béton au chapitre Terrain (6. Type de béton).

Vérification de l'aptitude au service.

Contraintes Profil d'enrobage U1/V1					
Contraintes en [N/mm ²]	0°	45°	90°	135°	180°
Due à l'effort normal	0.2531	0.3412	0.4418	0.4475	0.2978
Due au moment extérieur	1.1592	0.0837	-1.2404	-0.4339	1.8550
Due au moment intérieur	-1.3659	-0.0986	1.4617	0.5113	-2.1858
Contraintes extérieur	1.4122	0.4249	-0.7986	0.0136	2.1528
Contraintes intérieur	-1.1128	0.2425	1.9035	0.9587	-1.8880
Contraintes extérieur	OK	OK	OK	OK	OK
Contraintes intérieur	OK	OK	OK	OK	OK

Contraintes Profil d'enrobage U2/V2					
Contraintes en [N/mm ²]	0°	45°	90°	135°	180°
Due à l'effort normal	0.2628	0.3440	0.4315	0.3781	0.2559
Due au moment extérieur	0.9725	0.0251	-1.0343	-0.1025	1.1671
Due au moment intérieur	-1.1459	-0.0296	1.2188	0.1207	-1.3752
Contraintes extérieur	1.2353	0.3691	-0.6028	0.2756	1.4229
Contraintes intérieur	0.2628	0.3440	0.4315	0.3781	0.2559
Contraintes extérieur	OK	OK	OK	OK	OK
Contraintes intérieur	OK	OK	OK	OK	OK

Contraintes Profil d'enrobage U2A/V2A					
Contraintes en [N/mm ²]	0°	45°	90°	135°	180°
Due à l'effort normal	0.2664	0.3408	0.4173	0.3448	0.2684
Due au moment extérieur	0.8282	-0.0093	-0.8600	-0.0252	0.8645
Due au moment intérieur	-0.9759	0.0109	1.0134	0.0297	-1.0187
Contraintes extérieur	1.0946	0.3316	-0.4427	0.3196	1.1329
Contraintes intérieur	-0.7096	0.3518	1.4307	0.3745	-0.7502
Contraintes extérieur	OK	OK	OK	OK	OK
Contraintes intérieur	OK	OK	OK	OK	OK

Figure 22: Vérification de l'aptitude au service

Le dernier point à calculer est l'épaisseur minimale nécessaire du béton d'enrobage. La semelle « a » est la couverture « c » doivent pouvoir reprendre l'effort de traction qu'en résulte des charges.

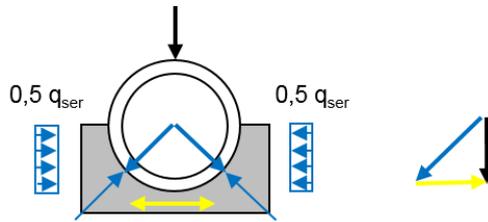


Figure 23: Force de traction (Présentation de la journée VSA [6])

La valeur minimale de cette épaisseur est fixée à 150mm.

Traction dans le béton d'enrobage

Profil d'enrobage	U1/V1	U2/V2	U2A/V2A	U3/V3	U4/V4
$a_{néc.}$ en [m]	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15

Profil d'enrobage	U4/V4
$c_{néc.}$ en [m]	0.15

Calcul de l'épaisseur d'enrobage nécessaire

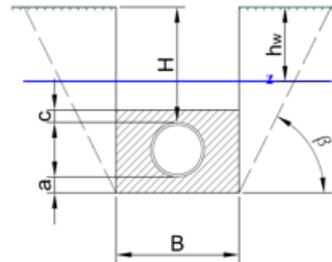


Figure 24: Épaisseur nécessaire de béton

5.8.2 Grès vitrifié

Les explications données pour les tuyaux en béton, s'appliquent aussi pour les deux type de grès programmer (charge normale et charge supérieure).

5.8.3 Fonte ductile

Les tuyaux en fonte peuvent qu'être poser dans le profil d'enrobage 1, mais se comporter de deux manière différente : souple ou rigide. Les déformations sont que nécessaire de vérifier, lors que le tuyau est souple. Toutes les autres vérifications doivent être faites pour les deux cas.

Vérifications	Rigide	Souple
Déformations	-	OUI
Poussée d'Archimède	OUI	OUI
Sécurité structurale *	OUI	OUI
Aptitude au service	OUI	OUI

Tableau 11: Différence tuyau en fonte

* La vérification de la sécurité structurale ne ce fait de la même manière. Pour les tuyaux souples, la vérification au voilement doit être fait et pour les tuyaux rigides, la vérification avec les charges de rupture.

5.8.4 Plastique lisse

Les vérifications des tuyaux en plastique sont séparées par les profils d'enrobages. Les deux profils possibles sont le 1 et le 4.

Pour le **Profil d'enrobage 1** avec un **tuyau souple**, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Vérification de déformation avec la formule IOWA (SIA190 :2017 ; 4.2.11.2.3)
- Poussée d'Archimède (même principe que tuyaux en béton)
- Sécurité structurale (SIA190 :2017 ; 4.2.11.1)
- Aptitude au service (SIA190 :2017 ; 4.2.11.2)

Pour le **Profil d'enrobage 1** avec un **tuyau rigide**, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Vérifications de **déformation** ne sont **pas applicable**.
- Poussée d'Archimède (même principe que tuyaux en béton)
- Les formules de la vérification de la **sécurité structurale** ne sont **pas applicable**.
- Aptitude au service (SIA190 :2017 ; 4.2.10.2)

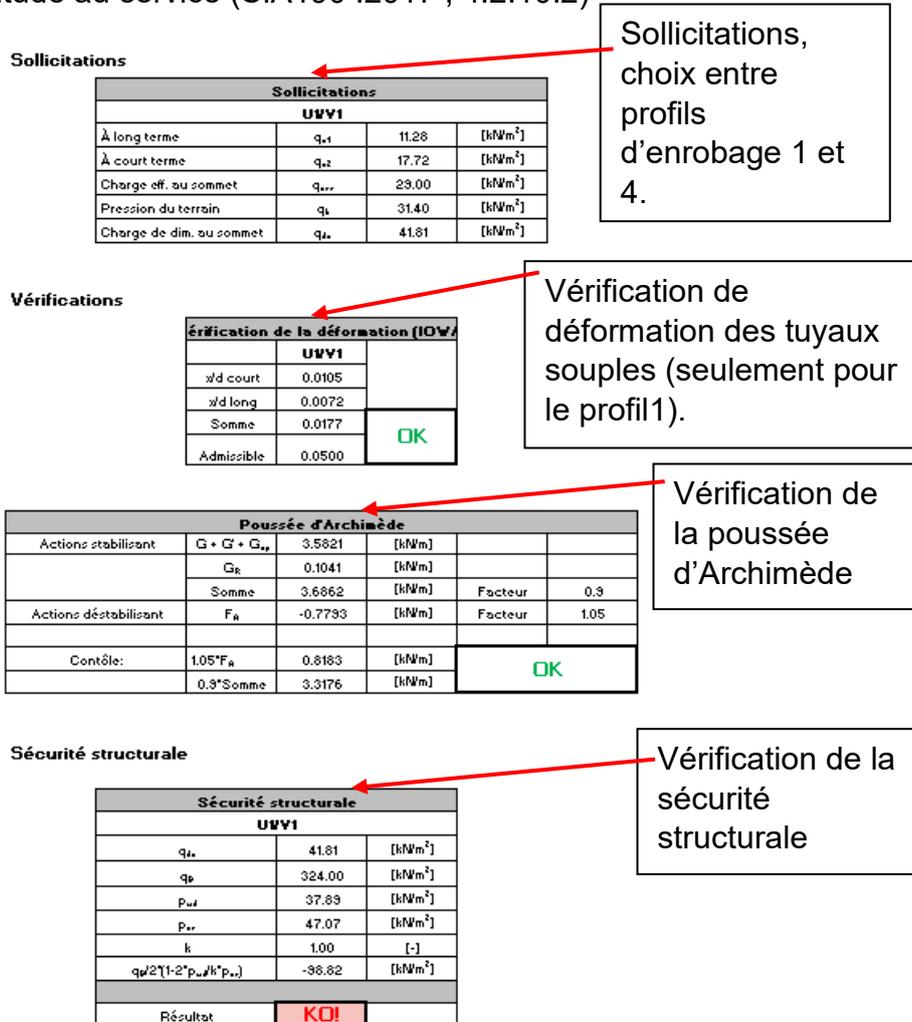


Figure 25: Sollicitations et 1ères vérifications des tuyaux en plastiques

Pour le **Profil d'enrobage 4** avec un **tuyau souple**, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Poussée d'Archimède (même principe que tuyaux en béton)
- Sécurité structurale (SIA190 :2017 ; 4.2.11.1)
- Aptitude au service (SIA190 :2017 ; 4.2.11.2.2)

Pour le **Profil d'enrobage 4** avec un **tuyau rigide**, les vérifications suivantes sont réalisées :

- Poussée d'Archimède (même principe que tuyaux en béton)
- Sécurité structurale (SIA190 :2017 ; 4.2.11.1)
- Aptitude au service (SIA190 :2017 ; 4.2.11.2.2)

Pour tous les cas d'un profil d'enrobage 4, la vérification de la sécurité structurale, ne s'applique qu'en présence d'eau souterraine.

Sollicitations

Sollicitations			
U4/Y4			
À long terme	q_{s1}	22.62	[kN/m ²]
À court terme	q_{s2}	24.53	[kN/m ²]
Charge eff. au sommet	q_{s3}	47.15	[kN/m ²]
Pression du terrain	q_t	23.57	[kN/m ²]
Charge de dim. au sommet	q_{s4}	67.33	[kN/m ²]

Vérifications

Poussée d'Archimède					
Actions stabilisant	$G + G' + G_{sp}$	7.2114	[kN/m]		
	G_R	5.3631	[kN/m]		
	Somme	12.5745	[kN/m]	Facteur	0.9
Actions déstabilisant	F_R	-2.3706	[kN/m]	Facteur	1.05
Contrôle:	$1.05 \cdot F_R$	3.1191	[kN/m]	OK	
	$0.9 \cdot \text{Somme}$	11.3171	[kN/m]		

Sécurité structurale

Hypothèse: 5% de la charge de dimensionnement et reprise par le tuyau PP et une déformation initiale de 0.02m est admis [SIA190:2017;4.2.11.2].

Sécurité structurale		
U4/Y4		
q_{s4}	3.37	[kN/m ²]
q_p	324.00	[kN/m ²]
p_{sd}	37.83	[kN/m ²]
p_{sr}	46.10	[kN/m ²]
k	1.00	[-]
$q_{s4} \cdot 2 \cdot (1 - 2 \cdot p_{sd} / k \cdot p_{sr})$	-104.29	[kN/m ²]
Résultat	KO!	

Vérification de la sécurité structurale avec l'hypothèse que le tuyau plastique reprend que 5% de la charge de dimensionnement.

Figure 26: Sollicitations et 1ères vérifications du profil d'enrobage 4

5.8.5 GF-UP

Les explications pour les tuyaux en plastique lisse, s'appliquent aussi pour les tuyaux en GF-UP. Par contre l'aptitude au service des tuyaux GF-UP est vérifié autrement. La vérification est réalisée avec les déformations et pas les contraintes admissibles. Cette vérification est faite avec la formule 50 de la SIA190 :2017 :

$$\varepsilon_{Rbz} = \frac{\sigma_{Rbz,court}}{E_{R,court}} + \frac{\sigma_{Rbz,long}}{E_{R,long}}$$

Ils est important que les contraintes à court et à long terme sont séparées pour cette vérification.

Aptitude au service

Retour

$\varepsilon_{Rbz,adm}$ 0.50 %

Convention des contraintes:

Traction négatif -

Compression positif +

Contraintes Profil d'enrobage U1/V1					
Contraintes en [N/mm ²]	0°	45°	90°	135°	180°
À long terme					
Effort normal	1.4440	1.8655	1.9285	1.8693	1.4459
Moment extérieur	10.1688	-4.2926	-1.5218	-4.3627	10.2690
Moment intérieur	-10.1688	4.2926	1.5218	4.3627	-10.2690
Contraintes extérieur	11.6129	-2.4271	0.4067	-2.4934	11.7148
Contraintes intérieur	-8.7248	6.1581	3.4504	6.2320	-8.8231
Déformations extérieures	0.2953	-0.0617	0.0103	-0.0634	0.2979
Déformations intérieures	-0.2219	0.1566	0.0877	0.1585	-0.2244
À court terme					
Effort normal	0.4574	0.6156	0.6593	0.6156	0.4574
Moment extérieur	5.5776	-1.3700	-2.8244	-1.3700	5.5776
Moment intérieur	-5.5776	1.3700	2.8244	1.3700	-5.5776
Contraintes extérieur	6.0351	-0.7545	-2.1651	-0.7545	6.0351
Contraintes intérieur	-5.1202	1.9856	3.4837	1.9856	-5.1202
Déformations extérieures	0.0767	-0.0096	-0.0275	-0.0096	0.0767
Déformations intérieures	-0.0651	0.0252	0.0443	0.0252	-0.0651
Somme déformations ext.	0.3721	-0.0713	-0.0172	-0.0730	0.3747
Somme déformations int.	-0.2870	0.1819	0.1320	0.1837	-0.2895
Déformations extérieures	OK	OK	OK	OK	OK
Déformations intérieures	OK	OK	OK	OK	OK

Figure 27: Aptitude au service GF-UP

6 Bases de données

Les informations sur les dimensions des tuyaux ou sur les caractéristiques des tuyaux sont enregistrées sur la feuille « **Calculs** ». Il est possible d'accéder à cette feuille par le bouton « **Modifications** » sur la feuille de données. Retour est possible par le bouton « **Données** » dans la feuille de calcul ou par les raccourcis défini dans le chapitre 5.6.

Caractéristiques des matériaux pour tuyaux circulaires homogènes [SIA190:Tableau 2]						
Matériau	Module d'élasticité (valeur de calcul)		Coefficient de Poisson	Poids volumique	Contrainte admissible de tension annulaire	Charge de rupture au sommet (valeur min.)
	$E_{R,comp}$	$E_{R,long}$				
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[kN/m ³]	[N/mm ²]	[kN/m]
B	30000	30000	0.2	24	4	
STZ	50000	50000	0.25	22	6	
GGG(EN-GJS)	170000	170000	0.3	70.5	330	
PVC-U	3000	1500	0.38	14	20	
PE-HD	1000	250	0.4	9.5	14	
PP	1250	300	0.4	9	8	
PP-MD	1500	375	0.35	10	8.5	
PP-HM	1700	425	0.4	9	8	
PP-QD	3000	1400	0.35	11.5	8	
Caractéristiques des matériaux pour tuyaux circulaires GF-UP [SIA190:Tableau 3]						
Matériau	Module d'élasticité (valeur de calcul)		Coefficient de Poisson	Poids	Valeur de calcul de la déformation	

Figure 28: Bouton retour feuille de données

Une fois la feuille de calcul activé, le zoom peut être mis à 10% pour donner un aperçu générale de quoi se trouve ou. **Attention il faut seulement modifier les cases en rouge !!**

Figure 29: Feuille de calcul

Comme la figure ci-dessous le montre, les tuyaux sont en ordre décroissant. Il est important de garder cet ordre, car sinon il n'est plus possible que le logiciel choisisse le bon diamètre.

1. Béton (dimensions existantes)					
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre ext-érieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]	Classe de résistance
d_i	DN	d_a	e	r_m	FK
1500	1500	1700	100	800	20
1250	1250	1450	100	675	20
1000	1000	1200	100	550	50
800	800	960	80	440	50
700	700	840	70	385	60
600	600	730	65	332.5	60
500	500	628	64	282	60
400	400	500	50	225	90
300	300	380	40	170	90
250	250	320	35	142.5	125
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Figure 30: Calcul-Béton

7 Exemples

7.1 Tuyau en béton

Données :

Tuyau:	<u>1. Diamètre intérieur</u>	d_i	<input type="text" value="500"/>	[mm]
Actions:	<u>2. Charge surfacique</u>		Charge surfacique	
	charge surfacique	q	<input type="text" value="50"/>	[kN/m ²]
	Largeur de la charge	B	<input type="text" value="10"/>	[m]
	Longueur de la charge	L	<input type="text" value="10"/>	[m]
	Distance entre point P et centre de la char:	x	<input type="text" value="2"/>	[m]
	Distance entre point P et centre de la char:	y	<input type="text" value="1"/>	[m]
	Profondeur par rapport au terrain	t	<input type="text" value="-1"/>	[m]
	<u>3. Trafic routier/ferroviare</u>		Bord de route	
	Facteur de charge routier	$q_{routier}$	<input type="text" value="0.9"/>	[-]
	Coefficient dynamique pour trafic routier	ψ	<input type="text" value="Sans"/>	[-]
Terrain:	<u>4. Qualité du sol</u>		Sol stable	
	<u>5. Poids volumique apparent humid</u>	γ	<input type="text" value="20"/>	[kN/m ³]
	6. Poids volumique déjaugé	γ'	<input type="text" value="11"/>	[kN/m ³]
	7. Angle de frottement interne	φ	<input type="text" value="30"/>	[°]
	8. Module de déformation vertical du sol	E_B	<input type="text" value="5"/>	[N/mm ²]
	<u>9. Coefficient de pression du terrain</u>	K	<input type="text" value="0.5"/>	[-]
	<u>10. Coefficient de flexion au tassement</u>	C_2	<input type="text" value="0.7"/>	[-]
	<u>11. Facteur de réduction de charges</u>	λ_{min}	<input type="text" value="NON"/>	
	<u>12. Type de béton d'enrobage</u>		<input type="text" value="C16/20"/>	
Fouille:	13. Hauteur de couverture	H	<input type="text" value="4"/>	[m]
	15. Type de fouille		<input type="text" value="Verticale (U)"/>	
Eau:	<u>16. Eau souterraine</u>		Avec eau souterraine	
	Niveau d'eau souterrai	h_w	<input type="text" value="3"/>	[m]

Pour les routes d'importances secondaires, une valeur de 0.65 est programmé

Figure 31: Exemple - béton

Page d'impression :

Béton

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	500	mm
	Diamètre nominal	DN	500	mm
	épaisseur de paroi	e	64	mm
	Classe de résistance	FK	60	-

Détail béton

Profil d'enrobage:

		a [m]	c [m]
U1/V1	-		
U2/V2	-	-	
U2A/V2A	-	-	
U3/V3	OK	0.20	
U4/V4	OK	0.20	0.15

Figure 32: Page d'impression - béton

7.2 Tuyau en grès vitrifié

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Tuyau: 1. Diamètre intérieur d_i 500 [mm]

Actions: 2. Charge surfacique Pas de charge
3. Trafic routier/ferroviaire Pas de trafic

Terrain: 4. Qualité du sol Sol stable
5. Poids volumique apparent humide γ 20 [kN/m³]
6. Poids volumique déjaugé γ' 11 [kN/m³]
7. Angle de frottement interne φ 30 [°]
8. Module de déformation vertical du sol E_B 3 [N/mm²]
9. Coefficient de pression du terrain K 0.25 [-]
10. Coefficient de flexion au tassement C_2 0.5 [-]
11. Facteur de réduction de charges λ_{min} NON
12. Type de béton d'enrobage C30/37

Fouille: 13. Hauteur de couverture H 3 [m]
15. Type de fouille Verticale (U)

Eau: 16. Eau souterraine Sans eau souterraine
17. Eau à l'intérieur du tuyau Tuyau vide

Retour Modifications Aide Calculs

Figure 33: Exemple grès

Page d'impression :

Grès-vitrifié (charge normale)

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	597	mm
	Diamètre nominal	DN	600	mm
	épaisseur de paroi	e	45	mm
	Classe de résistance	FK	95	-

Détails grès vitrifié
(charge normale)

Profil d'enrobage

		a [m]	c [m]
U1/V1	-		
U2/V2	-		
U2A/V2A	OK	0.16	
U3/V3	OK	0.16	
U4/V4	OK	0.16	0.15

Grès-vitrifié (charge supérieure)

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	597	mm
	Diamètre nominal	DN	600	mm
	épaisseur de paroi	e	64	mm
	Classe de résistance	FK	160	-

Détails grès vitrifié
(charge supérieure)

Profil d'enrobage

		a [m]	c [m]
U1/V1	OK		
U2/V2	OK	0.16	
U2A/V2A	OK	0.16	
U3/V3	OK	0.16	
U4/V4	OK	0.16	0.15

Figure 34: Page d'impression - grès

7.3 Tuyau en fonte

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Tuyau:	1. Diamètre intérieur	d_i	<input type="text" value="320"/>	[mm]
Actions:	2. Charge surfacique		<input type="text" value="Pas de charge"/>	
	3. Trafic routier/ferroviaire		<input type="text" value="Trafic routier"/>	
	Facteur de charge routier	$\alpha_{routier}$	<input type="text" value="0.9"/>	[-] <small>sur les routes d'importances secondaires, une valeur de 0.65 est programmé</small>
	Coefficient dynamique pour trafic routier	ψ	<input type="text" value="Sans"/>	[-]
Terrain:	4. Qualité du sol		<input type="text" value="Sol stable"/>	
	5. Poids volumique apparent humide	γ	<input type="text" value="20"/>	[kN/m ³]
	6. Poids volumique déjaugé	γ'	<input type="text" value="11"/>	[kN/m ³]
	7. Angle de frottement interne	φ	<input type="text" value="30"/>	[°]
	8. Module de déformation vertical du sol	E_B	<input type="text" value="5"/>	[N/mm ²]
	9. Coefficient de pression du terrain	K	<input type="text" value="0.5"/>	[-]
	10. Coefficient de flexion au tassement	C_2	<input type="text" value="0.7"/>	[-]
	11. Facteur de réduction de charges	λ_{min}	<input type="text" value="NON"/>	
	12. Type de béton d'enrobage		<input type="text" value="C30/37"/>	
Fouille:	13. Hauteur de couverture	H	<input type="text" value="4"/>	[m]
	15. Type de fouille		<input type="text" value="Verticale (U)"/>	
Eau:	16. Eau souterraine		<input type="text" value="Avec eau souterraine"/>	
	Niveau d'eau souterraine	h_w	<input type="text" value="0.5"/>	[m]
	17. Eau à l'intérieur du tuyau		<input type="text" value="Tuyau sous pression"/>	
	Pression	p_{ei}	<input type="text" value="10"/>	[kN/m ²]

Figure 35: Exemple fonte ductile

Page d'impression :

Fonte

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	366	mm
	Diamètre nominal	DN	350	mm
	épaisseur de paroi	e	6	mm
	Rigidité du système	S_{Fcourt}	rigide	-

Détails fonte ductile

U1/V1

OK

Figure 36: Page d'impression - fonte

7.4 Tuyau en PP-SN12

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Tuyau: 1. [Diamètre intérieur](#) d_i [mm]

Actions: 2. [Charge surfacique](#)
3. [Trafic routier/ferroviare](#)
Facteur de charge ferroviare α_{fer} [-] *Pour les voies étroites une valeur de 1.0 est programmé*

Terrain: 4. [Qualité du sol](#)
5. [Poids volumique apparent humidi](#) γ [kN/m³]
6. [Poids volumique déjaugé](#) γ' [kN/m³]
7. [Angle de frottement interne](#) φ [°]
8. [Module de déformation vertical du sol](#) E_s N/mm²
9. [Coefficient de pression du terrain](#) K [-]
10. [Coefficient de flexion au tassement](#) C_2 [-]
11. [Facteur de réduction de charges](#) λ_{min}
Théorie du silo (K_1 et δ)
 K_1
12. [Type de béton d'enrobage](#)

Fouille: 13. [Hauteur de couverture](#) H [m]
14. [Largeur de fouille](#) B [m]
15. [Type de fouille](#)
Angle de talus (par rapport à l'horizontale) β [°]

Eau: 16. [Eau souterraine](#)
17. [Eau à l'intérieur du tuyau](#)

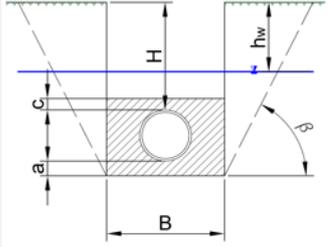


Figure 37: Données - PPSN12

Page d'impression :

PP-SN12

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	230.80	mm	Détail PP-SN12
	Diamètre nominal	DN	250	mm	
	épaisseur de paroi	e	9.60	mm	
	Rigidité du système	$S_{F\text{court}}$	rigide	-	
U1/V1	Souple:	<input type="text" value="-"/>			Vérification avec des charges de rupture n'existe plus -> Essais de rupture!!
	Rigide:	<input type="text" value="-"/>			
U4/V4		<input type="text" value="OK"/>			
			e_{fictif}	0.15	m

Figure 38: Page de résultats - PPSN12

7.5 Tuyau en PVC-SN4

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Tuyau: 1. Diamètre intérieur d_i [mm]

Actions: 2. Charge surfacique

charge surfacique q [kN/m²]
 Largeur de la charge B [m]
 Longueur de la charge L [m]
 Distance entre point P et centre de la char. x [m]
 Distance entre point P et centre de la char. y [m]
 Profondeur par rapport au terrain t [m]

3. Trafic routier/ferroviare

Terrain: 4. Qualité du sol

5. Poids volumique apparent humid γ [kN/m³]
 6. Poids volumique déjaugé γ' [kN/m³]
 7. Angle de frottement interne ψ [°]
 8. Module de déformation vertical du sol E_B N/mm²
 9. Coefficient de pression du terrain K [-]
 10. Coefficient de flexion au tassement C_2 [-]
 11. Facteur de réduction de charges λ_{min}
 12. Type de béton d'enrobage

Fouille: 13. Hauteur de couverture H [m]
 15. Type de fouille

Eau: 16. Eau souterraine

Niveau d'eau souterrai h_w [m]
 17. Eau à l'intérieur du tuyau

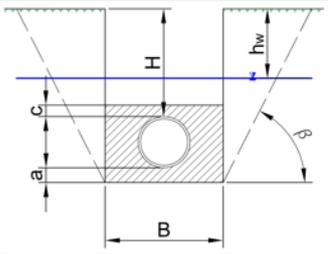


Figure 39: Données -PVCSN4

Page d'impression :

PVC-SN4

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	380.40	mm	Détail PVC-SN4	
	Diamètre nominal	DN	400	mm		
	épaisseur de paroi	e	9.80	mm		
	Rigidité du système	$S_{F_{court}}$	souple	-		
U1/V1	Souple:		-			
	Rigide:		-			
U4/V4			OK			
				e_{fictif}	0.15	m

Figure 40: Page d'impression - PVVCSN4

7.6 Tuyau en PE

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Tuyau: 1. Diamètre intérieur d_i [mm]

Actions: 2. Charge surfacique

charge surfacique q [kN/m²]
 Largeur de la charge B [m]
 Longueur de la charge L [m]
 Distance entre point P et centre de la charge x [m]
 Distance entre point P et centre de la charge y [m]
 Profondeur par rapport au terrain t [m]

3. Trafic routier/ferroviaire

Terrain: 4. Qualité du sol

5. Poids volumique apparent humide γ [kN/m³]
 6. Poids volumique déjaugé γ' [kN/m³]
 7. Angle de frottement interne φ [°]
 8. Module de déformation vertical du sol E_B [N/mm²]
 9. Coefficient de pression du terrain K [-]
 10. Coefficient de flexion au tassement C_2 [-]
 11. Facteur de réduction de charges λ_{min}
 12. Type de béton d'enrobage

Fouille: 13. Hauteur de couverture H [m]
 15. Type de fouille

Eau: 16. Eau souterraine
 Niveau d'eau souterraine h_w [m]
 17. Eau à l'intérieur du tuyau

Figure 41: Exemple PE

Page d'impression :

PE-SN2

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	333.20	mm
	Diamètre nominal	DN	355	mm
	épaisseur de paroi	e	10.90	mm
	Rigidité du système	S_{Fcourt}	souple	-

Détails PE
SN2

U1/V1

-

U4/V4

OK

e_{fictif}

0.16

m

Figure 42: Page d'impression-PE

7.7 Tuyau en GF-UP

Données :

PROGRAMME D'AIDE AU CHOIX DES CONDUITES

Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Tuyau: 1. Diamètre intérieur d_i 800 [mm]

Actions: 2. Charge surfacique Pas de charge
3. Trafic routier/ferroviaire Voies multiples (ferroviaire)
Facteur de charge ferroviaire $\alpha_{ferr.}$ 1.33 [-] *Pour les voies étroites, une valeur de 1.0 est programmée*

Terrain: 4. Qualité du sol Sol stable
5. Poids volumique apparent humide γ 20 [kN/m³]
6. Poids volumique déjaugé γ' 11 [kN/m³]
7. Angle de frottement interne φ 30 [°]
8. Module de déformation vertical du sol E_B 3 [N/mm²]
9. Coefficient de pression du terrain K 0.5 [-]
10. Coefficient de flexion au tassement C_2 1 [-]
11. Facteur de réduction de charges λ_{min} NON
12. Type de béton d'enrobage C30/37

Fouille: 13. Hauteur de couverture H 1.5 [m]
15. Type de fouille Verticale (U)

Eau: 16. Eau souterraine Sans eau souterraine
17. Eau à l'intérieur du tuyau Tuyau vide

Retour Modifications Aide Calculs

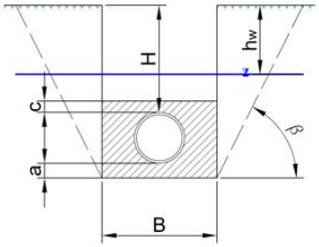


Figure 43: Exemple GF-UP

Page d'impression :

GF-UP SN2500

Tuyau:	Diamètre intérieur	d_i	834.00	mm	Détails GF-UP SN2500
	Diamètre nominal	DN	860	mm	
	épaisseur de paroi	e	13.00	mm	
	Rigidité du système	S_{Fcourt}	souple	-	
	U1/V1		-	H trop faible!	
	U4/V4		-	H trop faible!	e_{fictif} - m

Figure 44: Page d'impression - GF-UP

8 Bibliographie

- [1] SIA 260:2013 Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuse
- [2] SIA 261:2014 Actions sur les structures porteuses
- [3] SIA 267:2013 Géotechnique
- [4] SIA 190:2017 Canalisations
- [5] Francesco Valli. *Rohrstatik. (Dokumentation SIA D0263), Technische Dokumentation zur Norm SIA 190:2017*, 2018.
- [6] Francesco Valli. *Présentation de la journée VSA. Statique des canalisations – cours introductif en lien avec la nouvelle SIA190*, 2018.
- [7] CREABETON (Wissenstransfer), statische Bemessungen Teil 1, 2017.
- [8] CREABETON (Wissenstransfer), statische Bemessungen Teil 2, 2017.
- [9] CREABETON (Wissenstransfer), Produktinformationen, 2017.

9 Annexes

9.1 Dimensions des tuyaux

Béton					
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]	Classe de résistance
d_i	DN	d_a	e	r_m	FK
1500	1500	1700	100	800	20
1250	1250	1450	100	675	20
1000	1000	1200	100	550	50
800	800	960	80	440	50
700	700	840	70	385	60
600	600	730	65	332.5	60
500	500	628	64	282	60
400	400	500	50	225	90
300	300	380	40	170	90
250	250	320	35	142.5	125

Tableau 12: Dimensions des tuyaux en béton

Grès vitrifié (charge normale)					
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]	Classe de résistance
d_i	DN	d_a	e	r_m	FK
597	600	687	45	321	95
496	500	581	42.5	269.25	120
398	400	486	44	221	160
348	350	417	34.5	191.25	160
300	300	355	27.5	163.75	160
250	250	299	24.5	137.25	160
200	200	242	21	110.5	160

Tableau 13: Dimensions des tuyaux en grès vitrifié (charge normale)

Grès vitrifié (charge supérieure)					
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]	Classe de résistance
d_i	DN	d_a	e	r_m	FK
792	800	932	70	431	120
694	700	832	69	381.5	120
597	600	725	64	330.5	160
496	500	609	56.5	276.25	160
398	400	492	47	222.5	200
300	300	376	38	169	240
250	250	318	34	142	240

Tableau 14: Dimensions tuyaux grès vitrifié charge supérieure

Fonte ductile				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
718.8	700	738	9.6	364.2
619.6	600	635	7.7	313.65
518	500	532	7	262.5
416.4	400	429	6.3	211.35
366	350	378	6	186
314.8	300	326	5.6	160.2
263.4	250	274	5.3	134.35
212.2	200	222	4.9	108.55

Tableau 15: Dimensions tuyaux fonte ductile

PP-SN4				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
375.4	400	400	12.3	193.85
295.6	315	315	9.7	152.65
234.6	250	250	7.7	121.15
187.6	200	200	6.2	96.9

Tableau 16: Dimensions des tuyaux PP-SN4

PP-SN8				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
465.8	500	500	17.1	241.45
372.6	400	400	13.7	193.15
293.4	315	315	10.8	152.1
232.8	250	250	8.6	120.7
186.2	200	200	6.9	96.55

Tableau 17: Dimensions des tuyaux PP-SN8

PP-SN12				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
461.8	500	500	19.1	240.45
369.4	400	400	15.3	192.35
290.8	315	315	12.1	151.45
230.8	250	250	9.6	120.2
184.6	200	200	7.7	96.15

Tableau 18: Dimensions des tuyaux PP-SN12

PP-SN16				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
454.4	500	500	22.8	238.6
363.6	400	400	18.2	190.9
286.2	315	315	14.4	150.3
227.2	250	250	11.4	119.3
181.8	200	200	9.1	95.45

Tableau 19: Dimensions des tuyaux PP-SN16

PVC-SN2				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
960.8	1000	1000	19.6	490.2
864.8	900	900	17.6	441.2
768.6	800	800	15.7	392.15
682.2	710	710	13.9	348.05
605.4	630	630	12.3	308.85
480.4	500	500	9.8	245.1
432.4	450	450	8.8	220.6
384.2	400	400	7.9	196.05
341	355	355	7	174
302.6	315	315	6.2	154.4
240.2	250	250	4.9	122.55
192.2	200	200	3.9	98.05

Tableau 20: Dimensions des tuyaux PVC-SN2

PVC-SN4				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
951	1000	1000	24.5	487.75
856	900	900	22	439
760.8	800	800	19.6	390.2
675.2	710	710	17.4	346.3
599.2	630	630	15.4	307.3
475.4	500	500	12.3	243.85
428	450	450	11	219.5
380.4	400	400	9.8	195.1
337.6	355	355	8.7	173.15
299.6	315	315	7.7	153.65
237.6	250	250	6.2	121.9
190.2	200	200	4.9	97.55

Tableau 21: Dimensions des tuyaux PVC-SN4

PVC-SN8				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
753.4	800	800	23.3	388.35
668.6	710	710	20.7	344.65
593.2	630	630	18.4	305.8
470.8	500	500	14.6	242.7
423.6	450	450	13.2	218.4
376.6	400	400	11.7	194.15
334.2	355	355	10.4	172.3
296.6	315	315	9.2	152.9
235.4	250	250	7.3	121.35
188.2	200	200	5.9	97.05

Tableau 22: Dimensions des tuyaux PVC-SN8

PE-SN2				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
591.4	630	630	19.3	305.35
469.4	500	500	15.3	242.35
422.4	450	450	13.8	218.1
375.4	400	400	12.3	193.85
333.2	355	355	10.9	172.05
295.6	315	315	9.7	152.65
234.6	250	250	7.7	121.15
187.6	200	200	6.2	96.9

Tableau 23: Dimensions des tuyaux PE-SN2

PE-SN4				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
369.4	400	400	15.3	192.35
327.8	355	355	13.6	170.7
290.8	315	315	12.1	151.45
230.8	250	250	9.6	120.2
184.6	200	200	7.7	96.15

Tableau 24: Dimensions des tuyaux PE-SN4

PE-SN8				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
361.8	400	400	19.1	190.45
321.2	355	355	16.9	169.05
285	315	315	15	150
226.2	250	250	11.9	119.05
180.8	200	200	9.6	95.2

Tableau 25: Dimensions des tuyaux PE-SN8

GF-UP SN2500				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1457	1500	1499	21	739
1392	1400	1434	21	706.5
1308	1350	1348	20	664
1242	1280	1280	19	630.5
1193	1200	1229	18	605.5
1067	1100	1099	16	541.5
996	1000	1026	15	505.5
932	960	960	14	473
896	900	924	14	455
834	860	860	13	423.5
796	800	820	12	404
730	750	752	11	370.5
696	700	718	11	353.5
630	650	650	10	320
596	600	616	10	303
532	550	550	9	270.5
514	500	530	8	261
462	450	478	8	235
411	400	427	8	209.5
362	350	376	7	184.5

Tableau 26: Dimensions tuyaux GF-UP SN2500

GF-UP SN5000				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1445	1500	1499	27	736
1382	1400	1434	26	704
1300	1350	1348	24	662
1234	1280	1280	23	628.5
1185	1200	1229	22	603.5
1059	1100	1099	20	539.5
988	1000	1026	19	503.5
924	960	960	18	471
890	900	924	17	453.5
828	860	860	16	422
790	800	820	15	402.5
724	750	752	14	369
692	700	718	13	352.5
626	650	650	12	319
592	600	616	12	302
528	550	550	11	269.5
510	500	530	10	260
460	450	478	9	234.5
409	400	427	9	209
360	350	376	8	184

Tableau 27: Dimensions des tuyaux GF-UP SN5000

GF-UP SN10000				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1433	1500	1499	33	733
1370	1400	1434	32	701
1288	1350	1348	30	659
1224	1280	1280	28	626
1175	1200	1229	27	601
1049	1100	1099	25	537
980	1000	1026	23	501.5
916	960	960	22	469
882	900	924	21	451.5
822	860	860	19	420.5
782	800	820	19	400.5
718	750	752	17	367.5
684	700	718	17	350.5
620	650	650	15	317.5
588	600	616	14	301
524	550	550	13	268.5
506	500	530	12	259
456	450	478	11	233.5
405	400	427	11	208
356	350	376	10	183
306	300	324	9	157.5
256	250	272	8	132
206	200	220	7	106.5

Tableau 28: Dimensions des tuyaux GF-UP SN10000

GF-UP SN15000				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1425	1500	1499	37	731
1362	1400	1434	36	699
1280	1350	1348	34	657
1216	1280	1280	32	624
1167	1200	1229	31	599
1043	1100	1099	28	535.5
974	1000	1026	26	500
912	960	960	24	468
878	900	924	23	450.5
816	860	860	22	419
778	800	820	21	399.5
714	750	752	19	366.5
680	700	718	19	349.5
616	650	650	17	316.5
584	600	616	16	300
520	550	550	15	267.5
502	500	530	14	258
452	450	478	13	232.5
401	400	427	13	207
354	350	376	11	182.5
304	300	324	10	157
254	250	272	9	131.5
206	200	220	7	106.5

Tableau 29: Dimensions des tuyaux GF-UP SN15000

GF-UP SN16000				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1423	1500	1499	38	730.5
1362	1400	1434	36	699
1280	1350	1348	34	657
1214	1280	1280	33	623.5
1167	1200	1229	31	599
1043	1100	1099	28	535.5
974	1000	1026	26	500
910	960	960	25	467.5
876	900	924	24	450
816	860	860	22	419
778	800	820	21	399.5
712	750	752	20	366
680	700	718	19	349.5
616	650	650	17	316.5
582	600	616	17	299.5
520	550	550	15	267.5
502	500	530	14	258
452	450	478	13	232.5
401	400	427	13	207
352	350	376	12	182
304	300	324	10	157
254	250	272	9	131.5
206	200	220	7	106.5

Tableau 30: Dimensions des tuyaux GF-UP SN16000

GF-UP SN20000				
Diamètre intérieur [mm]	Diamètre nominal [mm]	Diamètre extérieur [mm]	épaisseur de paroi [mm]	rayon moyen [mm]
d_i	DN	d_a	e	r_m
1417	1500	1499	41	729
1356	1400	1434	39	697.5
1274	1350	1348	37	655.5
1210	1280	1280	35	622.5
1161	1200	1229	34	597.5
1039	1100	1099	30	534.5
970	1000	1026	28	499
906	960	960	27	466.5
872	900	924	26	449
812	860	860	24	418
774	800	820	23	398.5
710	750	752	21	365.5
678	700	718	20	349
612	650	650	19	315.5
580	600	616	18	299
518	550	550	16	267
500	500	530	15	257.5
450	450	478	14	232
399	400	427	14	206.5
352	350	376	12	182
302	300	324	11	156.5
254	250	272	9	131.5
204	200	220	8	106

Tableau 31: Dimensions des tuyaux GF-UP SN20000