

## **Principe de calcul des efforts de traction d'un train de tuyaux en forage dirigé**

Les formules de calcul qui suivent donnent une estimation approximative des efforts de traction exercés sur un train de tuyaux en fonte ductile PAM.

Les efforts calculés sont les efforts maximaux atteints à la fin du forage dirigé, lorsque tout le train de tuyaux est à l'intérieur du trou de forage. Cela sous-entend que les efforts de frottements exercés sur le train de tuyaux en dehors du trou de forage sont inférieurs à ceux exercés sur le train de tuyaux dans le trou de forage. Ce point est à vérifier par le bureau d'étude en charge du projet. Cela signifie également que les efforts calculés ne sont pas égaux aux efforts de traction à exercer par la machine de traction durant le forage. En effet, ceux-ci doivent inclure également les efforts de traction des barres de traction ainsi que les efforts d'alésage du trou de forage.

### **1 Estimation des efforts de traction du train de tuyaux**

#### **Données d'entrée**

Gamme de tuyau : à choisir dans les gammes de tuyaux de SG PAM dédiées au forage dirigé

Diamètre nominal DN : à choisir parmi les DN disponibles dans la gamme de tuyaux choisie (entre DN100 et DN1000)

Longueur du train de tuyau L : cette valeur ne doit pas dépasser la longueur maximale définie.

Densité de la bentonite  $\rho$  : cette valeur peut être ajustée en fonction des possibilités du foreur (valeur par défaut 1.1, variation entre 0 et 1.5)

Coefficient de frottement entre le tuyau et la bentonite  $\mu_{be}$ : valeur à choisir en fonction de la bentonite utilisée (valeur par défaut de 0.2, variation entre 0.1 et 0.5)

Coefficient de frottement statique entre le tuyau et le trou de forage  $\mu_{HBo}$  : valeur à choisir en fonction des conditions de mise en œuvre (valeur par défaut de 1, variation entre 0.1 et 2)

Coefficient de frottement dynamique entre le tuyau et le trou de forage  $\mu_{GB0}$  : valeur à choisir en fonction des conditions de mise en œuvre (valeur par défaut de 0.4, variation entre 0.1 et 1)

#### **Données de SG PAM utiles pour le calcul**

Diamètre extérieur des tuyaux sur le revêtement :  $OD_{tt}$

Diamètre extérieur de l'emboîture des tuyaux avec les accessoires de protection :  $OD_{emb}$

Poids des tuyaux par mètre linéaire :  $P_{ds}$

Force de traction admissible par le joint :  $F_{perm}$

## Formules de calcul utilisées

Volume extérieur du tuyau par mètre linéaire :  $V = \pi \cdot \left(\frac{OD_{tt}}{2}\right)^2$

Poussée d'Archimède par mètre linéaire :  $F = V \cdot \rho$

Résultante verticale du trou sur les tuyaux par mètre linéaire :  $F_{up} = F - P_{ds}$

Résultante verticale du trou sur le train de tuyaux :  $F_{res.up} = L \cdot F_{up}$

Surface extérieure des tuyaux par mètre linéaire :  $A = \pi \cdot OD_{tt}$

Force de frottement entre tuyau et bentonite :  $F_{RBe} = A \cdot L \cdot \mu_{be}$

Force de frottement statique entre le tuyau et le trou de forage :  $F_{HR} = F_{res.up} \cdot \mu_{HBo}$

Force de frottement statique totale sur le tuyau :  $F_{HRges} = F_{HR} + F_{RBe}$

Force de frottement dynamique entre le tuyau et le trou de forage :  $F_{GR} = F_{res.up} \cdot \mu_{GBo}$

Force de frottement dynamique totale sur le tuyau :  $F_{GRges} = F_{GR} + F_{RBe}$

Force de traction nécessaire :  $F_{rq} = F_{HRges} = \max ( F_{HRges} , F_{GRges} )$

Diamètre minimal du trou de forage :  $D_{bo} = 1,3 \cdot OD_{emb}$

Volume de terre à enlever :  $V_{earth} = \pi \cdot \left(\frac{OD_{emb}}{2}\right)^2 \cdot L$

Dans le cas où la force de traction nécessaire  $F_{rq}$  est supérieure à la force de traction admissible par le joint  $F_{perm}$ , il est nécessaire d'envisager des solutions pour diminuer les efforts de traction sur le train de tuyaux lors du forage dirigé.

Dans ce cas, plusieurs solutions sont envisageables, dont celles qui consistent à effectuer un ballastage du train de canalisation.

## Etude des possibilités de ballastage

### Ballastage avec tuyau en fonte ductile

#### Données d'entrée

Diamètre nominal DN : à choisir parmi les DN disponibles dans la gamme UNIVERSAL Ve (entre DN100 et DN1000)

### **Données de SG PAM utiles pour le calcul**

Poids des tuyaux UNIVERSAL Ve par mètre linéaire :  $P_{ds_{bal}}$

### **Formules de calcul utilisées**

Poids de l'eau dans le tuyau de ballastage par mètre linéaire :

$$P_w = \pi \cdot \left(\frac{DN}{2}\right)^2 \cdot \rho_{eau}$$

### **Ballastage sans eau**

Résultante verticale du trou sur les tuyaux par mètre linéaire :  $F_{up_{bal}} = F_{up} - P_{ds_{bal}}$

Force de traction nécessaire :  $F_{tr} = L \cdot F_{up_{bal}} \cdot \mu_{HB0} + F_{RBe}$

### **Ballastage avec eau**

Résultante verticale du trou sur les tuyaux par mètre linéaire :  $F_{up_{bal}} = F_{up} - P_{ds_{bal}} - P_w$

Force de traction nécessaire :  $F_{tr} = L \cdot F_{up_{bal}} \cdot \mu_{HB0} + F_{RBe}$

### **Ballastage avec tuyau en PEHD**

#### **Données d'entrée**

Diamètre nominal OD : à choisir parmi les tubes en HDPE disponibles dans la classe SDR 26 en PE 80 (entre OD140 et OD710)

#### **Données utiles pour le calcul**

Poids des tubes en HDPE par mètre linéaire :  $P_{ds_{bal}}$

Diamètre intérieur des tubes en HDPE: DI

#### **Formules de calcul utilisées**

### **Ballastage avec eau entre le tube HDPE et le tuyau en fonte**

Poids de l'eau par mètre linéaire :  $P_w = \pi \cdot \left(\left(\frac{DN}{2}\right)^2 - \left(\frac{OD}{2}\right)^2\right) \cdot \rho_{eau}$

Résultante verticale du trou sur les tuyaux par mètre linéaire :  $F_{\text{upbal}} = F_{\text{up}} - P_{\text{dsbal}} - P_w$

Force de traction nécessaire :  $F_{\text{tr}} = L \cdot F_{\text{upbal}} \cdot \mu_{\text{HBo}} + F_{\text{RBe}}$

### **Ballastage avec eau dans le tube HDPE**

Poids de l'eau par mètre linéaire :  $P_w = \pi \cdot \left(\frac{DI}{2}\right)^2 \cdot \rho_{\text{eau}}$

Résultante verticale du trou sur les tuyaux par mètre linéaire :  $F_{\text{upbal}} = F_{\text{up}} - P_{\text{dsbal}} - P_w$

Force de traction nécessaire :  $F_{\text{tr}} = L \cdot F_{\text{upbal}} \cdot \mu_{\text{HBo}} + F_{\text{RBe}}$

## **Principles for calculating the pulling forces in a drill string when carrying out horizontal directional drilling**

Principles for calculating the pulling forces in a drill string when carrying out horizontal directional drilling. The following equations, suggested give a rough estimate of the pulling forces exerted on a PAM ductile iron pipe string.

The calculated forces are the maximum forces reached at the end of the horizontal directional drilling run when the entire pipe string is within the borehole. This suggests that the frictional forces exerted on the pipe string outside the borehole are lower than those exerted on the pipe string in the borehole. This point needs to be checked by the engineering consultant in charge of the project. This also means that the calculated forces are not equal to the pulling forces to be exerted by the drilling machine while it is in operation. These must also include both the pulling forces of the draw bars as well as the reaming forces in the borehole.

### **1. Estimation of pulling forces in the pipe string**

#### **1.1 Pipe range input data :**

To be chosen from the PAM pipe ranges suitable for Horizontal Directional Drilling.

Nominal diameter DN : to be chosen from among the available DNs in the selected pipe range (between DN100 and DN1000).

Pipe product length L : this value must not exceed the maximum defined length. Bentonite density  $\rho$  : this value can be adjusted depending on the borer's characteristics (default value of 1.1, ranging between 0 and 1.5).

Coefficient of friction between the pipe and the bentonite  $\mu_{be}$  : value to be chosen depending on the bentonite being used (default value of 0.2, ranging between 0.1 and 0.5).

Static coefficient of friction between the pipe and the borehole  $\mu_{HBo}$  : value to be chosen according to the operating conditions (default value of 1, ranging between 0.1 and 2).

Dynamic coefficient of friction between the pipe and the borehole  $\mu_{HBo}$  : value to be chosen according to the operating conditions (default value of 0.4, ranging between 0.1 and 1)

#### **1.2 Useful PAM data for calculation.**

External diameter of the coating on the pipes : OD<sub>tt</sub>

Outer diameter of the pipe sockets with protective accessories : OD<sub>emb</sub>

Pipe weight per metre : P<sub>ds</sub>

Allowable pulling force on the joint : F<sub>perm</sub>

#### **1.3 Equations used External pipe volume per linear metre :**

Buoyancy force per linear metre :  $V = \pi \cdot \left(\frac{OD_{tt}}{2}\right)^2$

Upthrust buoyancy per linear metre :  $F = V \cdot \rho$

Resultant vertical borehole force on the pipes per linear metre :  $F_{up} = F - Pds$

Resultant vertical borehole force on the drill string :  $F_{res.up} = L \cdot F_{up}$

Outer pipe surface per linear metre :  $A = \pi \cdot OD_{tt}$

Frictional force between pipe and bentonite :  $F_{RBe} = A \cdot L \cdot \mu_{be}$

Static frictional force between the pipe and the borehole :  $F_{HR} = F_{res.up} \cdot \mu_{HBo}$

Total static frictional force on the pipe :  $F_{HRges} = F_{HR} + F_{RBe}$

Dynamic frictional force between the pipe and the borehole :  $F_{GR} = F_{res.up} \cdot \mu_{GBo}$

Total dynamic frictional force on the pipe :  $F_{GRges} = F_{GR} + F_{RBe}$

Required pulling force :  $F_{rq} = F_{HRges} = \max ( F_{HRges} , F_{GRges} )$

Minimum borehole diameter :  $D_{bo} = 1,3 \cdot OD_{emb}$

Volume of earth to be removed :  $V_{earth} = \pi \cdot \left(\frac{OD_{emb}}{2}\right)^2 \cdot L$

In the case where  $F_{rq}$ , the pulling force needed, is greater than  $F_{perm}$ , the allowable pulling force on the joint, it is necessary to consider solutions to reduce the pulling force on the pipe string during horizontal directional drilling.

In this case several solutions are possible, including those which consist of ballasting the pipe string.

## **2. Examination of ballasting options**

### **2.1 Ballasting with ductile iron pipe**

#### **2.1.1. Nominal diameter DN input data :**

DN to be chosen from the UNIVERSAL Ve pipe range (between DN100 and DN1000)

#### **2.1.2. Useful PAM data for calculating**

Weight of UNIVERSAL Ve pipes per linear metre :  $Pds_{bal}$

#### **2.1.3. Computational formulae used**

Weight of water in the ballast tube per linear metre :  $P_w = \pi \cdot \left(\frac{DN}{2}\right)^2 \cdot \rho_{eau}$

### **2.1.3.1. Ballasting without water**

Resultant vertical borehole force on the pipes per linear metre :  $F_{upbal} = F_{up} - Pds_{bal}$

Required pulling force :  $F_{tr} = L.F_{upbal} \cdot \mu_{HBo} + F_{RBe}$

### **2.1.3.2. Ballasting with water**

Resultant vertical borehole force on the pipes per linear metre :  $F_{upbal} = F_{up} - Pds_{bal} - P_w$

Required pulling force :  $F_{tr} = L.F_{upbal} \cdot \mu_{HBo} + F_{RBe}$

## **2.2. Ballasting with HDPE pipe**

### **2.2.1. Input data**

Nominal diameter OD input data: to be chosen from PE80 class SDR 26 HDPE pipes (between OD140 and OD710)

### **2.2.2. Useful data for calculating**

The weight of HDPE pipes per linear metre :  $Pds_{bal}$

Internal diameter of HDPE pipes : DI

### **2.2.3. Computational formulae used**

#### **2.2.3.1. With ballast water between the HDPE pipe and the cast iron pipe**

Weight of water per linear metre :  $P_w = \pi \cdot \left( \left( \frac{DN}{2} \right)^2 - \left( \frac{OD}{2} \right)^2 \right) \cdot \rho_{eau}$

Resultant vertical borehole force on the pipes per linear metre :  $F_{upbal} = F_{up} - Pds_{bal} - P_w$

Required pulling force :  $F_{tr} = L.F_{upbal} \cdot \mu_{HBo} + F_{RBe}$

#### **2.2.3.2 With ballast water in the HDPE pipe**

Weight of water per linear metre :  $P_w = \pi \cdot \left( \frac{DI}{2} \right)^2 \cdot \rho_{eau}$

Resultant vertical borehole force on the pipes per linear metre :  $F_{upbal} = F_{up} - Pds_{bal} - P_w$

Required pulling force :  $F_{tr} = L.F_{upbal} \cdot \mu_{HBo} + F_{RBe}$