

## TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

AGENCE DE NICE

Porte de l'Arénas - Bât. C - 455, Promenade des Anglais - 06200 Nice - FRANCE

tél. +33 4 93 18 85 17 - fax +33 4 93 18 84 87

engineering-fr@tractebel.engie.com

tractebel-engie.fr

## NOTE DE CALCULS



Intertek

Nos réf. : **P.003560 RP12**

Entité : Hydraulique France Afrique du Nord (HFAN)

Imputation : P.003560

Client : Ville de Toulon

Projet : **Dardennes - Réhabilitation**

Objet : **Note de calcul – Galeries**

Commentaires : Cette note présente les vérifications menées pour la vérification des sections de béton armé des galeries du projet (galerie technique et galerie de pied du barrage).

01	24/02/2017	1 <sup>ère</sup> émission	Final	S. Delmas	B. Dernaika	O. Hatet
REV.	JJ/MM/AA	OBJET DE LA REVISION	STAT.	REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION



BARRAGE DE DARDENNES  
**Note de calcul – Galeries**

## TABLE DES MATIERES

1. CONTEXTE.....	7
2. HYPOTHESES DE CALCUL .....	8
2.1. Régléments de calcul.....	8
2.2. Béton.....	8
2.3. Aciers.....	8
2.4. Contraintes limites .....	8
3. METHODE DE CALCUL .....	9
4. GALERIE TECHNIQUE.....	9
4.1. Description.....	9
4.2. Description du modèle.....	9
4.2.1. Géométrie .....	9
4.2.2. Conditions aux limites.....	10
4.2.3. Cas de charge .....	11
4.2.4. Combinaison.....	12
4.3. Résultats et vérifications .....	13
4.3.1. Déplacements et déformée de la structure .....	13
4.3.2. Efforts internes.....	13
4.4. Conclusion .....	16
5. GALERIE DE PIED DU BARRAGE .....	16
5.1. Description.....	16

<b>5.2.</b>	<b>Description du modele</b> .....	<b>16</b>
5.2.1.	Géométrie.....	16
5.2.2.	Conditions aux limites.....	17
5.2.3.	Cas de charge.....	18
5.2.4.	Combinaison.....	19
<b>5.3.</b>	<b>Résultats et vérifications</b> .....	<b>19</b>
5.3.1.	Efforts internes.....	19
<b>5.4.</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>21</b>

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Vue du modèle 2D .....	10
Figure 2 : Elément 1 D (1 m x 0,30 m, béton C35/45) .....	10
Figure 3 : En rose, ressorts de sol élastiques non linéaires, travaillant en compression seule (K = 50MN/m <sup>2</sup> /m) .....	11
Figure 4 : Poids de la couverture (P <sub>couv</sub> en t/m <sup>2</sup> ) .....	12
Figure 5 : Poussée des terres (P <sub>terres</sub> en t/m <sup>2</sup> ) .....	12
Figure 6 : Déplacements des nœuds sous combinaison ELS (en mm) .....	13
Figure 7 : Déformée de la structure (en rouge) – structure initiale (en noir) .....	13
Figure 8 : Effort normal (N en t/ml) – Combinaison ELS .....	14
Figure 9 : Moment fléchissant (My en t.m/ml) – Combinaison ELS.....	14
Figure 10 : Effort tranchant (Vz en t/ml) – Combinaison ELU .....	15
Figure 11 : Contraintes (en MPa) – combinaison ELS .....	15
Figure 12 : Vue du modèle 2D .....	16
Figure 13 : Elément 1 D (1 m x 0,50 m, béton C35/45) .....	17
Figure 14 : En rose, ressorts de sol élastiques non linéaires, travaillant en compression seule (K = 50MN/m <sup>2</sup> /m).....	18
Figure 15 : Effort normal (N en t/ml) – Combinaison ELS .....	19
Figure 16 : Moment fléchissant (My en t.m/ml) – Combinaison ELS.....	20
Figure 17 : Effort tranchant (Vz en t/ml) – Combinaison ELS.....	21



# 1. CONTEXTE

La présente note vise à vérifier les sections de béton armé des galeries suivantes :

- La galerie de pied du barrage,
- la galerie technique qui permet d'accéder à la galerie de pied du barrage depuis la chambre des vannes.

Ces ouvrages se situent sous la recharge en enrochements et reposent sur un remblai compacté.

## 2. HYPOTHESES DE CALCUL

### 2.1. Réglements de calcul

Les règles des Eurocodes ont été appliquées.

### 2.2. Béton

Les caractéristiques du béton sont les suivantes :

- Classe de résistante : C35/45
- $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
- $f_{ck,cube} = 45 \text{ MPa}$ ,
- $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$ ,
- $f_{ctk,0,05} = 2,2 \text{ MPa}$ ,
- $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$ ,

### 2.3. Aciers

On considère des barres d'armatures en acier haute adhérence :

- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

L'épaisseur d'enrobage est prise égale à 5 cm.

### 2.4. Contraintes limites

Les éléments en béton armé sont calculés en considérant une ouverture des fissures  $w_{max} = 0,2 \text{ mm}$ .

Ainsi, à l'ELS :

- Béton :  $\sigma_c \leq 0,60 f_{ck} = 21 \text{ MPa}$
- Aciers :  $\sigma_s = 1000 \times w_{max} = 200 \text{ MPa}$  (application de la méthode simplifiée dispensant du calcul des ouvertures de fissures selon l'annexe nationale de l'EC2 – Partie 2 – Ponts).



## 3. METHODE DE CALCUL

La méthode de calcul consiste à réaliser un modèle 2D de la galerie à l'aide du logiciel SCIA Engineer.

Le modèle est défini par 4 barres représentant la dalle de couverture, le radier et les voiles.

Le modèle est appuyé au niveau de la barre représentant le radier avec des appuis élastiques non linéaires travaillant en compression seule.

Les cas de charges (poids propre, poids de la couverture et poussée des terres) sont appliqués au modèle. Une combinaison ELS est ensuite créée.

Les efforts internes et les contraintes correspondant à la combinaison ELS sont calculés par le logiciel.

A partir de ces résultats, une vérification des sections de béton armé est réalisée.

## 4. GALERIE TECHNIQUE

### 4.1. Description

La galerie longe la conduite de prise. Elle est en béton armé et présente les caractéristiques suivantes :

- hauteur : 2.00 m,
- largeur : 3.00 m,
- longueur : 19 m.

Les voiles ont une épaisseur de 30 cm. Ils sont parfaitement étanches. Les parties extérieures enterrées sont recouvertes d'un produit bitumineux d'étanchéité sur les faces en contact avec le confortement avant remblaiement.

Le radier est constitué d'une dalle en béton armé de 30 cm d'épaisseur.

La dalle de couverture est en béton armé. Son épaisseur est de 30 cm.

### 4.2. Description du modèle

#### 4.2.1. Géométrie

L'ouvrage est modélisé en 2D, c'est-à-dire que l'on modélise un mètre linéaire de galerie. Pour se faire, on utilise des éléments 1D d'épaisseur 30 cm.

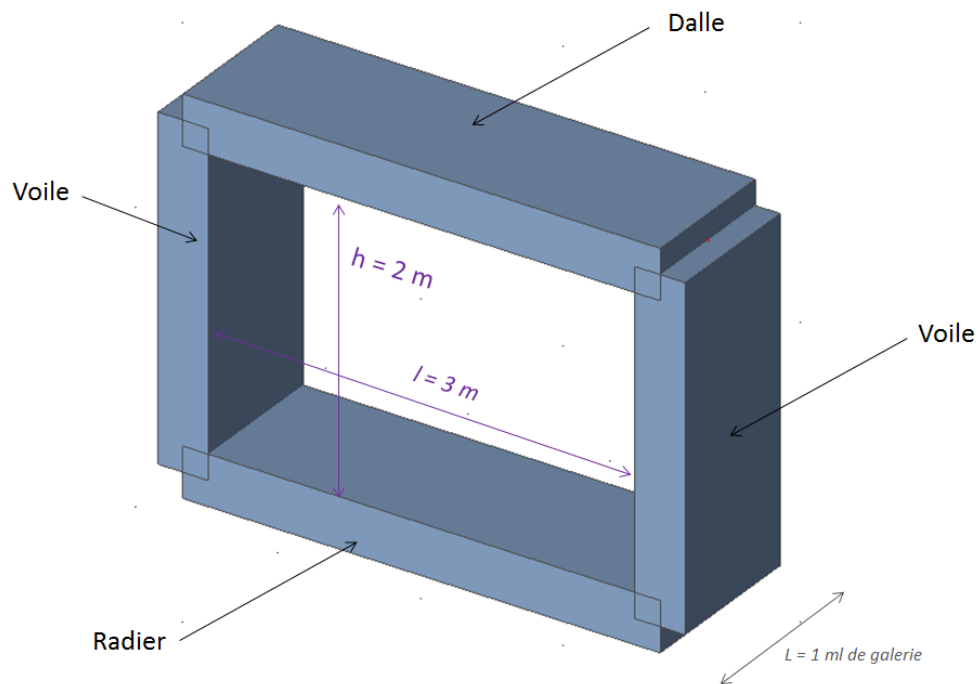


Figure 1 : Vue du modèle 2D

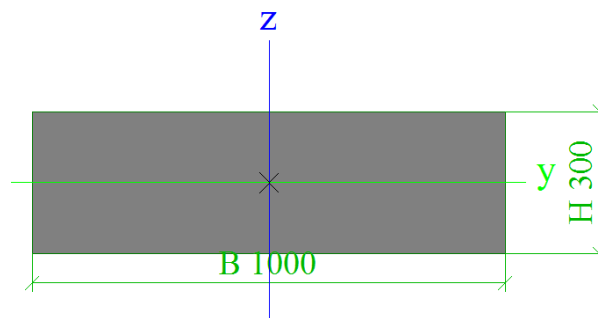


Figure 2 : Elément 1 D (1 m x 0,30 m, béton C35/45)

#### 4.2.2. Conditions aux limites

L'interaction sol-structure au niveau du radier de la galerie est modélisée par des ressorts de sol élastiques non linéaires travaillent en compression seule.

L'ouvrage repose sur environ 1,5 m à 2 m de remblai compacté. On considère qu'il s'agit d'un sol de densité moyenne. La raideur des ressorts est prise égale à  $50 \text{ MN/m}^3$ . **Lors des travaux, l'Entreprise devra s'assurer que la raideur de sol est supérieure ou égale à cette valeur.**

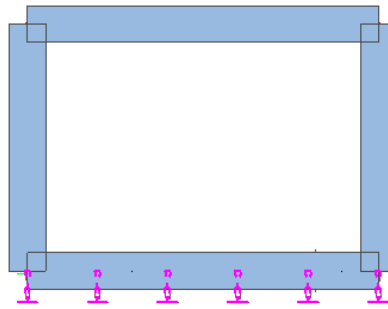


Figure 3 : En rose, ressorts de sol élastiques non linéaires, travaillant en compression seule ( $K = 50\text{MN/m}^2/\text{m}$ )

### 4.2.3. Cas de charge

Les cas de charge considérés correspondent à des charges permanentes.

#### 4.2.3.1. POIDS PROPRE (PP)

Le poids propre est calculé automatiquement par le logiciel à partir des caractéristiques géométriques des barres et du poids volumique du béton pris égal à  $2,5 \text{ t/m}^3$ .

#### 4.2.3.2. POIDS DE LA COUVERTURE (PCOUV)

L'ouvrage se situe sous une recharge en enrochements, dont la hauteur varie le long de l'ouvrage.

De manière conservatrice, on considère le profil le plus défavorable où la hauteur du remblai au-dessus de la galerie est de 9 m environ. Ce profil se situe à proximité du raccordement avec la galerie de pied du barrage.

Le poids volumique des matériaux de la recharge est pris égal à  $\gamma_r = 2,1 \text{ t/m}^3$ .

On en déduit la charge de la couverture ( $P_{\text{COUV}}$ ) qui s'applique sur la dalle de la galerie :

$$P_{\text{COUV}} = \gamma_r \cdot H_{\text{COUV}} \text{ avec } H_{\text{COUV}} = \text{hauteur de la couverture.}$$

$$P_{\text{COUV}} = 2,1 \times 9 = 18,9 \text{ t/m}^2.$$

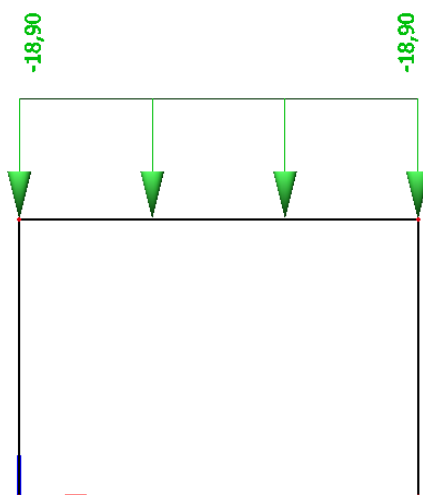


Figure 4 : Poids de la couverture ( $P_{\text{couv}}$  en  $\text{t/m}^2$ )

#### 4.2.3.3. POUSSEE DES TERRES (PTERRES)

La poussée des terres est calculée avec les paramètres suivants :

- Masse volumique des remblais :  $\gamma_r = 2,1 \text{ t/m}^3$  ;
- Coefficient de poussée :  $K = 0,33$ .

La poussée des terres s'exprime de la manière suivante :

- En tête du cadre :  $P_{\text{terres}} = K \cdot \gamma_r \cdot H_{\text{couv}} = 6,24 \text{ t/m}^2$
- Au pied du cadre :  $P_{\text{terres}} = K \cdot \gamma_r \cdot (H_{\text{couv}} + h_{\text{cadre}}) = 7,83 \text{ t/m}^2$



Figure 5 : Poussée des terres ( $P_{\text{terres}}$  en  $\text{t/m}^2$ )

#### 4.2.4. Combinaison

On considère la combinaison ELS suivante :  $1 \times \text{PP} + 1 \times P_{\text{couv}} + 1 \times P_{\text{terres}}$

## 4.3. Résultats et vérifications

### 4.3.1. Déplacements et déformée de la structure

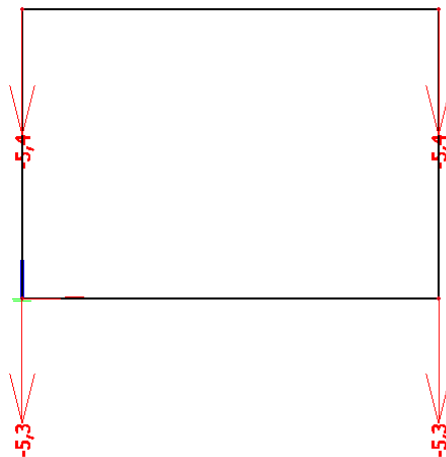


Figure 6 : Déplacements des nœuds sous combinaison ELS (en mm)

Le déplacement maximal sous combinaison ELS correspond à 5,4 mm. Cette valeur est acceptable.

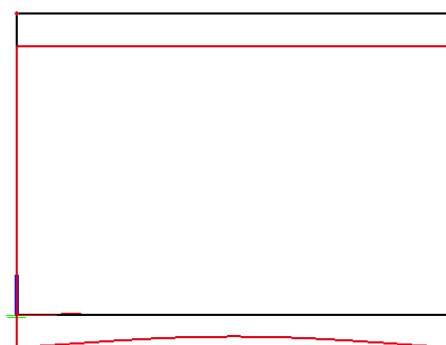


Figure 7 : Déformée de la structure (en rouge) – structure initiale (en noir)

### 4.3.2. Efforts internes

Les figures ci-dessous présentent les résultats en termes d'efforts internes dans les barres (effort normal  $N$ , moment fléchissant  $M_y$  et effort tranchant  $V_z$ ) pour la combinaison ELS.

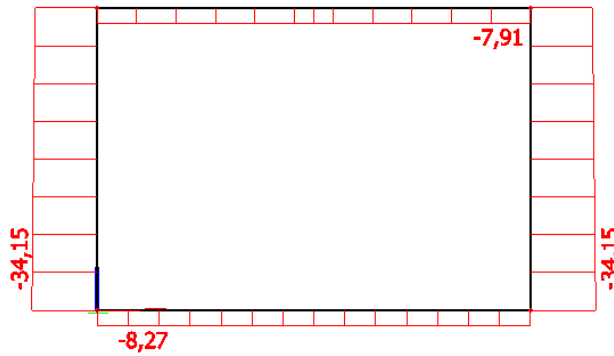


Figure 8 : Effort normal (N en t/ml) – Combinaison ELS

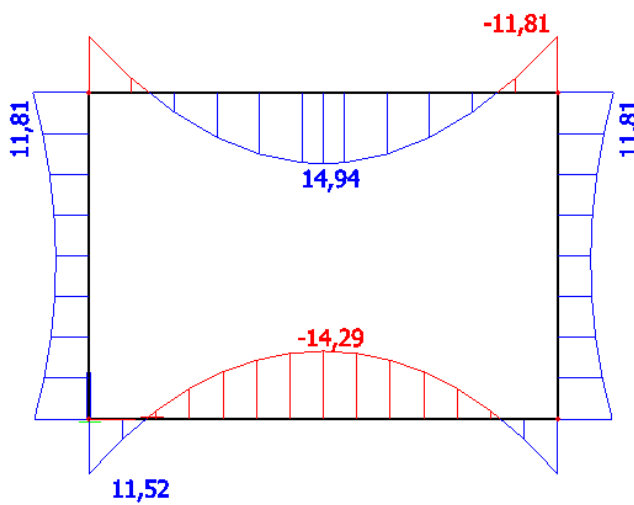


Figure 9 : Moment fléchissant (My en t.m/ml) – Combinaison ELS

Le moment fléchissant maximal est de l'ordre de 15 t.m/ml. Les sections d'armatures minimales à mettre en œuvre sont de l'ordre de 38 cm<sup>2</sup>/ml.

Ces valeurs sont compatibles avec les épaisseurs de béton armé de la galerie (30 cm).

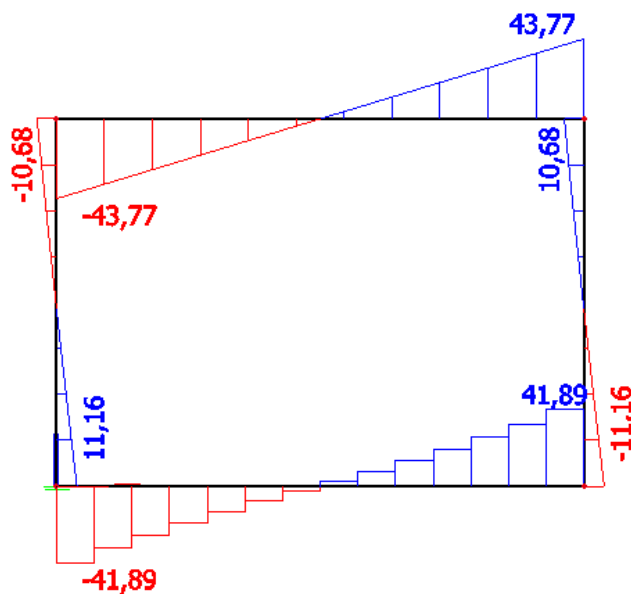


Figure 10 : Effort tranchant ( $V_z$  en t/ml) – Combinaison ELU

On en déduit que l'effort tranchant maximal à l'ELU est de l'ordre de 43,8 t/ml. La contrainte tangente  $\tau_u$  est égale à 1,8 MPa. Cette contrainte est acceptable vis-à-vis du cisaillement limite du béton de la dalle.

La figure ci-après présente les résultats obtenus en termes de contraintes.

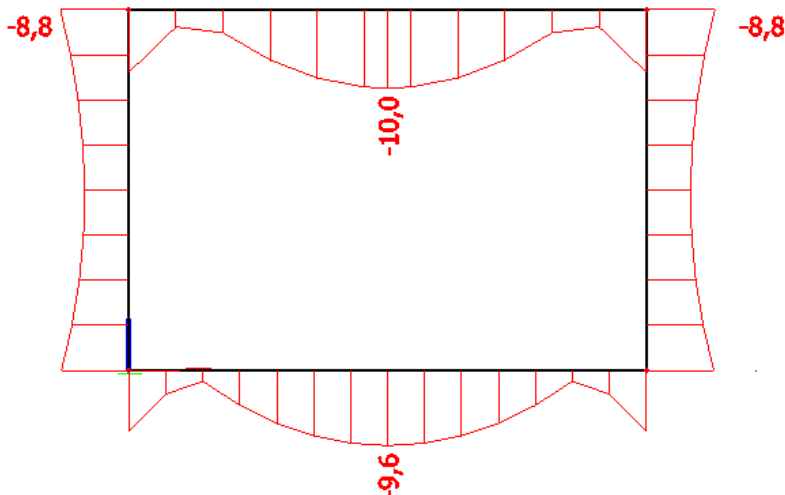


Figure 11 : Contraintes (en MPa) – combinaison ELS

Les contraintes maximales sont de l'ordre de 10 MPa, inférieures à la contrainte limite du béton.

## 4.4. Conclusion

Les sections de béton armé de la galerie sont vérifiées.

# 5. GALERIE DE PIED DU BARRAGE

## 5.1. Description

La galerie aura une dimension utile de 2,0 m x 2,5 m.

La longueur totale de la galerie sous remblai est d'environ 50 mètres. Elle se situe à la cote 95,54 NGF.

La dalle de couverture, le radier et le voile côté recharge sont en béton armé, l'épaisseur des éléments est de 50 cm.

La galerie repose sur la recharge et est butée en pied et en tête par le barrage en maçonnerie.

## 5.2. Description du modele

### 5.2.1. Géométrie

L'ouvrage est modélisé en 2D, c'est-à-dire que l'on modélise un mètre linéaire de galerie. Pour se faire, on utilise des éléments 1D d'épaisseur 50 cm.

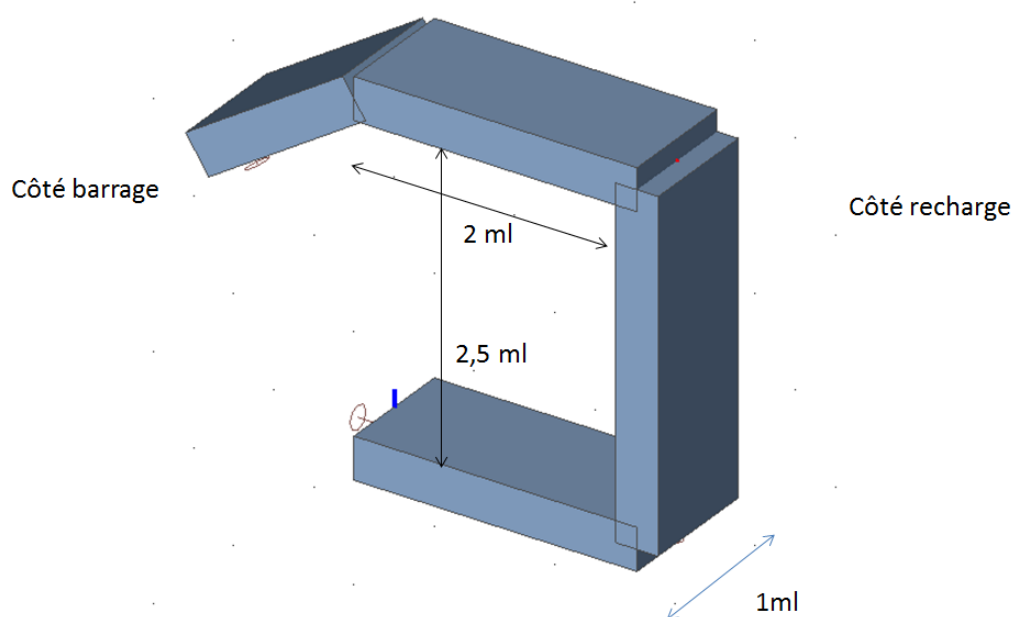


Figure 12 : Vue du modèle 2D



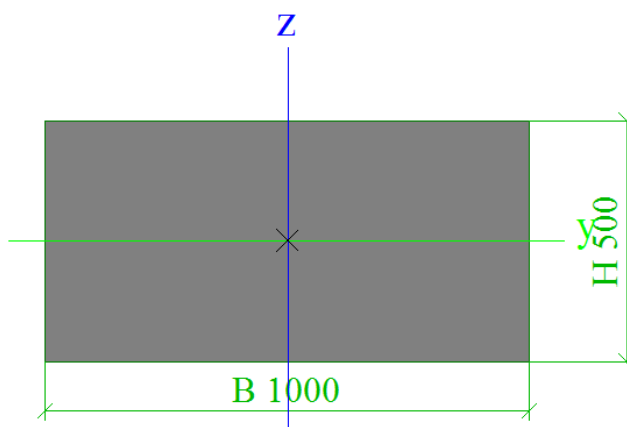


Figure 13 : Elément 1 D (1 m x 0,50 m, béton C35/45)

## 5.2.2. Conditions aux limites

L'interaction sol-structure au niveau du radier de la galerie est modélisée par des ressorts de sol élastiques non linéaires travaillent en compression seule.

L'ouvrage repose sur plusieurs mètres de remblai compacté. On considère qu'il s'agit d'un sol de densité moyenne. La raideur des ressorts est prise égale à  $50 \text{ MN/m}^3$ .  
**Lors des travaux, l'Entreprise devra s'assurer que la raideur de sol est supérieure ou égale à cette valeur.**

Par ailleurs, l'ouvrage est buté en pied et en tête par le barrage. Des appuis rigides ont été mis en place à l'extrémité des barres concernées par ce blocage. En tête, la galerie exerce un effort sur le barrage. On suppose qu'un frottement est généré le long du contact (pris égal à 20% de l'effort). Pour en tenir compte, on ajoute un ressort de rigidité  $3,5 \text{ MN/m}^3$  dans cette direction.

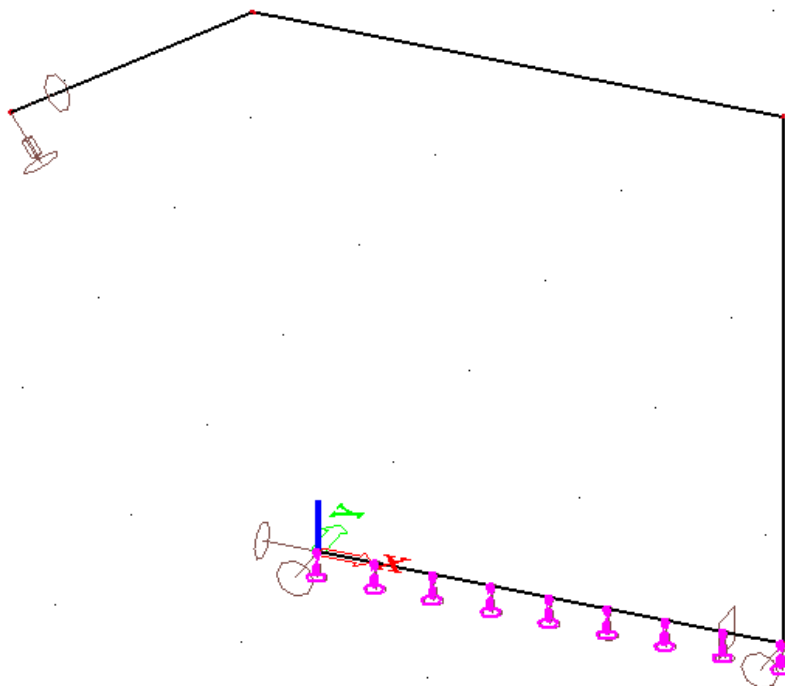


Figure 14 : En rose, ressorts de sol élastiques non linéaires, travaillant en compression seule ( $K = 50\text{MN/m}^2/\text{m}$ )

### 5.2.3. Cas de charge

Les cas de charge considérés correspondent à des charges permanentes.

#### 5.2.3.1. POIDS PROPRE (PP)

Le poids propre est calculé automatiquement par le logiciel à partir des caractéristiques géométriques des barres et du poids volumique du béton pris égal à  $2,5 \text{ t/m}^3$ .

#### 5.2.3.2. POIDS DE LA COUVERTURE (PCOUV)

L'ouvrage se situe sous une recharge en enrochements. La hauteur de la recharge au-dessus de l'ouvrage est de l'ordre de 8 m.

Le poids volumique des matériaux de la recharge est pris égal à  $\gamma_r = 2,1 \text{ t/m}^3$ .

On en déduit la charge de la couverture ( $P_{\text{COUV}}$ ) qui s'applique sur la dalle de la galerie :

$$P_{\text{COUV}} = \gamma_r \cdot H_{\text{COUV}} \text{ avec } H_{\text{COUV}} = \text{hauteur de la couverture.}$$

$$P_{\text{COUV}} = 2,1 \times 8 = 16,8 \text{ t/m}^2.$$

### 5.2.3.3. POUSSEE DES TERRES (PTERRRES)

La poussée des terres est calculée avec les paramètres suivants :

- Masse volumique des remblais :  $\gamma_r = 2,1 \text{ t/m}^3$  ;
- Coefficient de poussée :  $K = 0,33$ .

La poussée des terres s'exprime de la manière suivante :

- En tête de la galerie :  $P_{\text{terres}} = K \cdot \gamma_r \cdot H_{\text{couv}} = 5,54 \text{ t/m}^2$
- Au pied de la galerie:  $P_{\text{terres}} = K \cdot \gamma_r \cdot (H_{\text{couv}} + h_{\text{cadre}}) = 7,52 \text{ t/m}^2$

### 5.2.4. Combinaison

On considère la combinaison ELS suivante :  $1 \times PP + 1 \times P_{\text{couv}} + 1 \times P_{\text{terres}}$

## 5.3. Résultats et vérifications

### 5.3.1. Efforts internes

Les figures ci-dessous présentent les résultats en termes d'efforts internes dans les barres (effort normal  $N$ , moment fléchissant  $M_y$  et effort tranchant  $V_z$ ) pour la combinaison ELS.

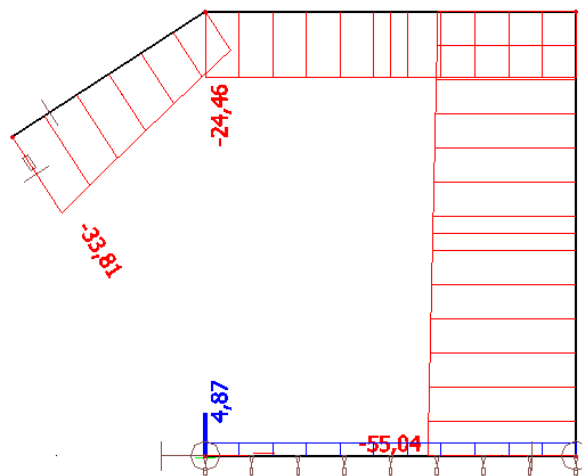


Figure 15 : Effort normal (N en t/ml) – Combinaison ELS

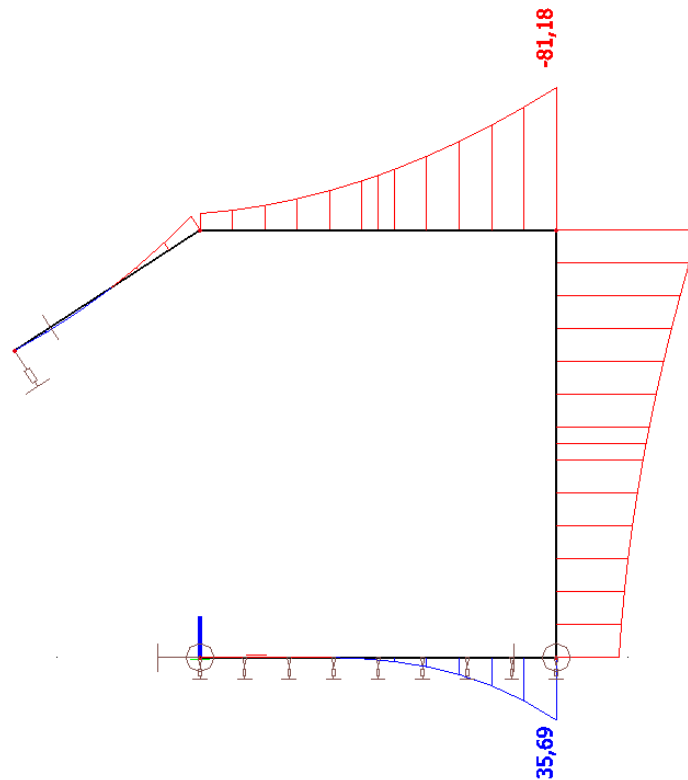


Figure 16 : Moment fléchissant ( $M_y$  en t.m/ml) – Combinaison ELS

Le moment fléchissant maximal est de l'ordre de 81,2 t.m/ml. Les sections d'armatures minimales à mettre en œuvre sont de l'ordre de 116 cm<sup>2</sup>/ml.

Ces valeurs sont compatibles avec les épaisseurs de béton armé de la galerie (50 cm). Les éléments en béton armé seront toutefois très ferrailés.

En termes de contraintes, le torseur suivant :

- $M = 81,2$  t.m/ml
- $N = 55$  t/ml

génèrent des contraintes de compression dans le béton de l'ordre de 20,15 MPa, inférieures à la contrainte admissible du béton.

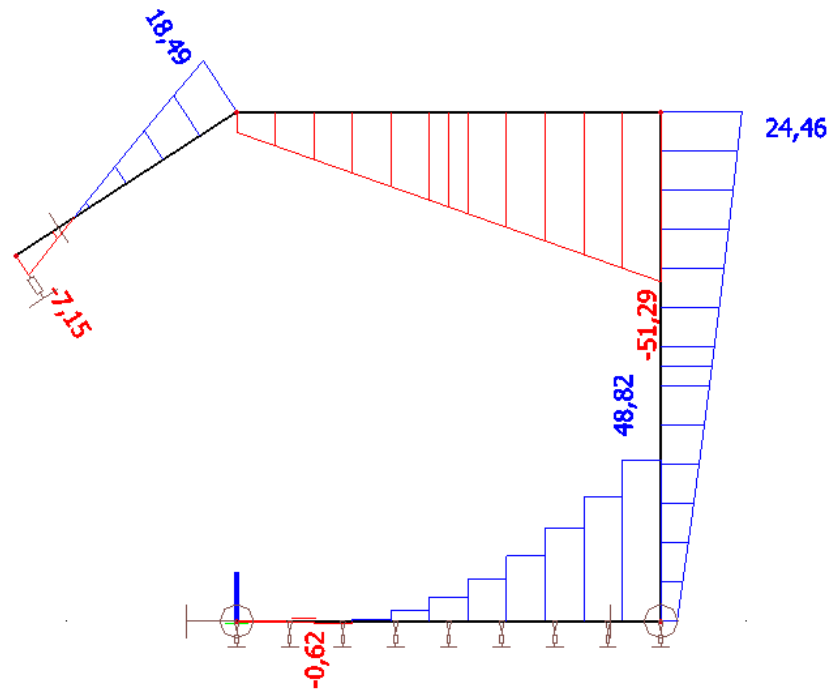


Figure 17 : Effort tranchant (Vz en t/ml) – Combinaison ELS

On en déduit que l'effort tranchant maximal à l'ELU est de l'ordre de 69,3 t/ml. La contrainte tangente  $\tau_u$  est égale à 1,6 MPa. Cette contrainte est acceptable vis-à-vis du cisaillement limite du béton de la dalle.

## 5.4. Conclusion

Les sections de béton armé de la galerie sont vérifiées.