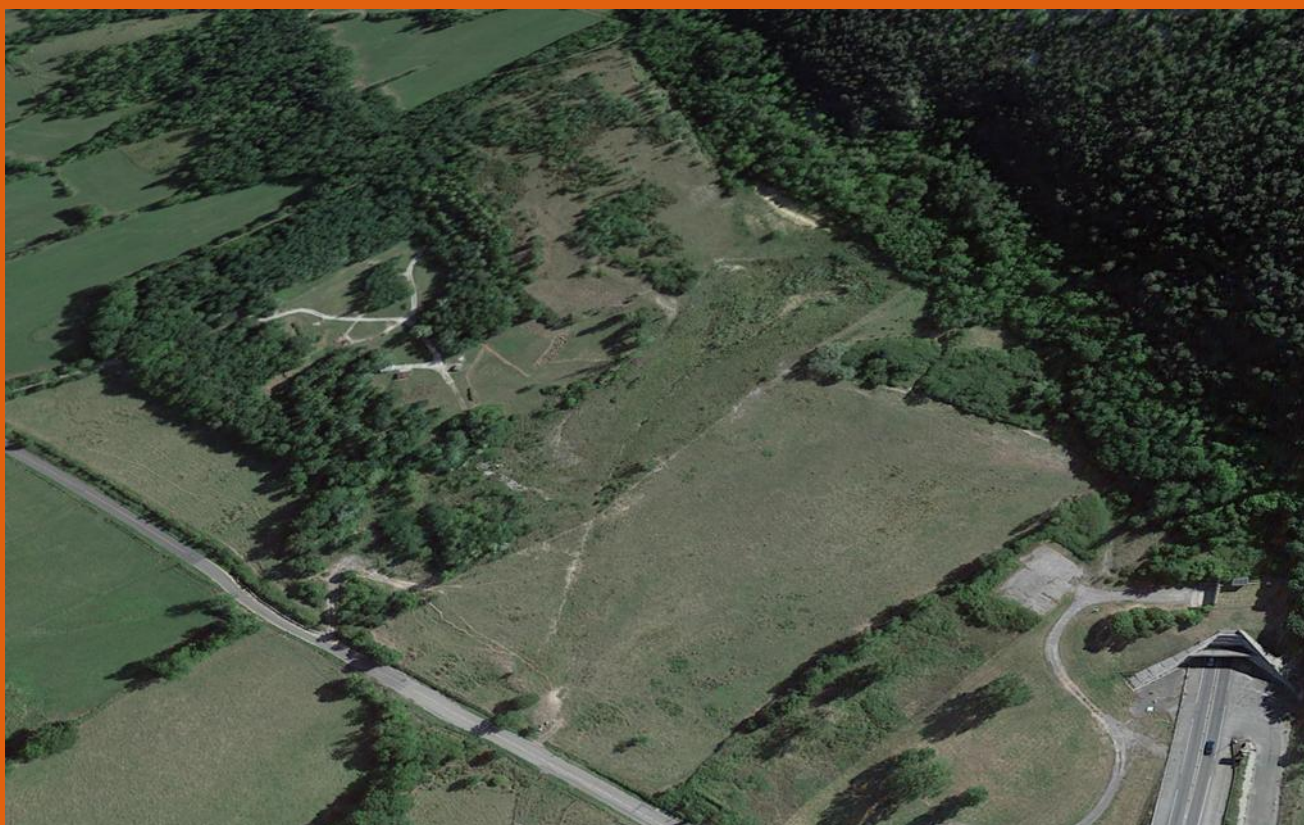


DIR SUD-OUEST

RD 1 - GLISSEMENT D'ARABAU
MAITRISE D'OEUVRE

PRO DU CONFORTEMENT

Note générale d'hypothèses



Emetteur ARCADIS
Agence de Toulouse
5 Avenue Pierre-Georges Latécoère
31676 Labège Cedex
31520 Ramonville Saint-Agne
Tél. : +33 (0)5 62 24 53 53
toulouse@arcadis.com

Réf affaire Emetteur 30168253
Chef de Projet Luc Moscone
Auteur principal Olivier Givet
Nombre total de pages 24

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A	03/04/2026	Première diffusion	OG	LMO	LMO
B	30/07/2026	Reprise pour publication dans DCE	OG	LMO	LMO

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».
Document protégé, propriété exclusive d'ARCADIS ESG.
Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

TABLE DES MATIERES

1 OBJET	5
2 DOCUMENTS DE REFERENCE	5
2.1 Documents PRO du confortement	5
2.2 Documents AVP	5
2.3 Documents Diagnostic et Etude préliminaire	6
2.4 Rapport de reconnaissances géotechniques	6
2.5 Réglementation	6
2.6 Normes, guides	6
2.7 Règles professionnelles, Guides de conception	6
2.8 Articles	7
3 CARACTERISTIQUES GENERALES DU PROJET	7
3.1 Rappel du Contexte	7
3.2 Principe	7
3.3 Conception générale	7
3.4 Calepinage des pieux et ancrages	8
4 CATEGORIE GEOTECHNIQUE ET DUREE D'UTILISATION DE PROJET	9
5 HYPOTHESES GEOTECHNIQUES	9
5.1 Résistance $c'-\varphi'$ des colluvions (glissées ou en place)	9
5.2 Profil et caractéristiques géotechniques de calcul	9
6 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	11
6.1 Béton et armatures pour béton	11
6.1.1 Pieux	11
6.1.2 Poutre de couronnement	11
6.2 Enrobages	11
6.3 Acier pour ancrages	12
7 ACTIONS	12
7.1 Actions permanentes	12
7.1.1 Poids propre des structures	12
7.1.2 Poussée des terres	12
7.1.3 Retrait et dilatation thermique	13

7.2 Actions variables	13
7.2.1 Charges en surface	13
7.2.2 Actions en cours de construction	13
7.3 Actions accidentelles	13
7.4 Action sismique	13
8 SITUATIONS DE CALCUL ET ETATS LIMITES	14
8.1 Situation finale hors séisme	14
8.1.1 Etat limite de service	14
8.1.2 Etat limite ultime	14
8.2 Situation accidentelle de rupture d'un ancrage	14
8.3 Situation sismique	14
9 METHODES ET MODELES DE CALCUL	14
9.1 Calculs d'interaction sol-pieux-ancrages	14
9.2 Pieux	15
9.3 Ancrages	15
9.4 Poutre de couronnement	15
9.5 Plateforme de travaux	15
9.6 Talus amont de la RD1	16
9.6.1 $H < 2$ m	16
9.6.2 $H > 2$ m : mur en enrochement	16
Annexe 1 Etat de stabilité de référence	17
Annexe 2 Corrosion des ancrages	23

1 OBJET

Cette note est émise dans le cadre de la mission de Maîtrise d'œuvre complète de sécurisation du talus de la RD1 sur le territoire de la commune d'Arabaux (09) confiée par la DIR Sud-Ouest à ARCADIS.

Elle a pour objet de présenter les hypothèses générales de calcul sur lesquelles sont basés la conception et le dimensionnement du système de stabilisation du talus amont de la RD1, en phase d'étude G2 PRO.

2 DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents « Marché » et les données d'entrée de la mission de Maîtrise d'œuvre sont listées dans les documents ARCADIS ci-après.

2.1 Documents PRO du confortement

- [1] DIR ACS PRO CFT NOT 40 - Note descriptive
- [2] DIR ACS PRO CFT NOT 41 - Note générale d'hypothèses (cette note)
- [3] DIR ACS PRO CFT NOT 42 - Note de synthèse géotechnique
- [4] DIR ACS PRO CFT NOT 43 - Note de calculs
- [5] DIR ACS PRO CFT NOT 44 - Planning
- [6] DIR ACS PRO CFT PLA 50 - Plan de situation
- [7] DIR ACS PRO CFT PLA 51 - Plan d'ensemble
- [8] DIR ACS PRO CFT PLA 52 - Plan des emprises de chantier
- [9] DIR ACS PRO CFT PLA 53 - Plan plateforme et accès
- [10] DIR ACS PRO CFT PLA 54 - Plan de coffrage des structures
- [11] DIR ACS PRO CFT PLA 55 - Plan de remodelage et enrochements
- [12] DIR ACS PRO CFT PLA 56 - Profils en travers
- [13] DIR ACS PRO CFT PLA 57 - Plan d'implantation des sondages

2.2 Documents AVP

- [14] DIR-ACS-AVP-GEN-NOT-11-A_Note descriptive
- [15] DIR-ACS-AVP-GEN-NOT-12-A_Note générale d'hypothèses (cette note)
- [16] DIR-ACS-AVP-GEN-NOT-13-A_Mémoire de synthèse géotechnique
- [17] DIR-ACS-AVP-GEN-NOT-14-A_Note de calculs
- [18] DIR-ACS-AVP-GEN-NOT-15-A_Planning des travaux
- [19] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-20-A_Plan des installations de chantier
- [20] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-21-A_Plan plateforme et accès
- [21] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-22-A_Plan de coffrage structure
- [22] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-23-A_Plan de la situation finale
- [23] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-24-A_Cahier de profils en travers
- [24] DIR-ACS-AVP-GEN-PLA-25-A_Plan d'implantation des sondages

2.3 Documents Diagnostic et Etude préliminaire

- [25] DIR-ACS-DIA-GEN-NOT-01-B_Diagnostic géotechnique
- [26] DIR-ACS-DIA-GEN-NOT-02-B_Etude préliminaire
- [27] DIR-ACS-DIA-GEN-PLA-03-A_Vue en plan du contexte
- [28] DIR-ACS-DIA-GEN-PLA-04-A-Vue en plan - Solution Pieux
- [29] DIR-ACS-DIA-GEN-PLA-05-A-Vue en plan & PT - Solution Pieux

2.4 Rapport de reconnaissances géotechniques

- [30] Rapport n° PR.31GT.24.0127 – 001 – ind. A du 22/11/2024 – Compte-rendu d'investigations géotechniques FONDASOL
- [31] Rapport n° PR.31GT.24.0127 – 001 – ind. A du 22/11/2024 – Compte-rendu d'investigations géotechniques FONDASOL

2.5 Réglementation

- [32] Décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français
- [33] l'Arrêté du 26/10/2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal »

2.6 Normes, guides

Le référentiel normatif est constitué des normes Eurocode et des normes françaises d'accompagnement. En particulier :

- [34] Eurocode 0 Bases de calcul des structures
- [35] Eurocode 2 Calcul des structures en béton
- [36] Eurocode 7 Calcul des structures géotechniques
- [37] Eurocode 8 Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
- [38] NF P 94-270 Remblais renforcés et massifs en sol cloué
- [39] NF P 94-262 Fondations profondes

2.7 Règles professionnelles, Guides de conception

- [40] Règles TA 2000 pour les tirants d'ancrage.
- [41] Norme NF P 94-270 Calculs géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué.
- [42] Clouterre 2002. Additif aux recommandations Clouterre 1991 pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols. Presses des ponts.
- [43] Prévention et stabilisation des glissements de terrain : Conception, mise en oeuvre et maintenance des dispositifs. Guide technique LCPC. Décembre 2010
- [44] Guide technique SETRA/LCPC. Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicules I & II. Juillet 2000
- [45] Rockery design and construction guidelines. Publication FHWA-CFL/TD-06-006. Novembre 2006.

2.8 Articles

- [46] J.-P. Magnan, D. Batista. Retours d'expériences et réflexions sur la stabilisation de grands glissements de terrain. JNGG Lyon 2020
- [47] G. Teulade. Confortement par pieux d'un remblai autoroutier. Revue Travaux n° 890 juillet/septembre 2012
- [48] N. N. Ambraseys, J. M. Menu. Earthquake induced ground displacements. Earthquake engineering and structural dynamics Vol. 16 (1988).

3 CARACTERISTIQUES GENERALES DU PROJET

3.1 Rappel du Contexte

Le versant situé en amont de la RD1, constitué d'un substratum de marnes noires de l'Albien recouvert de colluvions glissées et d'alluvions fluvio-glaciaires du Riss, a été utilisé comme zone de dépôt des produits d'excavation du tunnel de Foix en 1996-97.

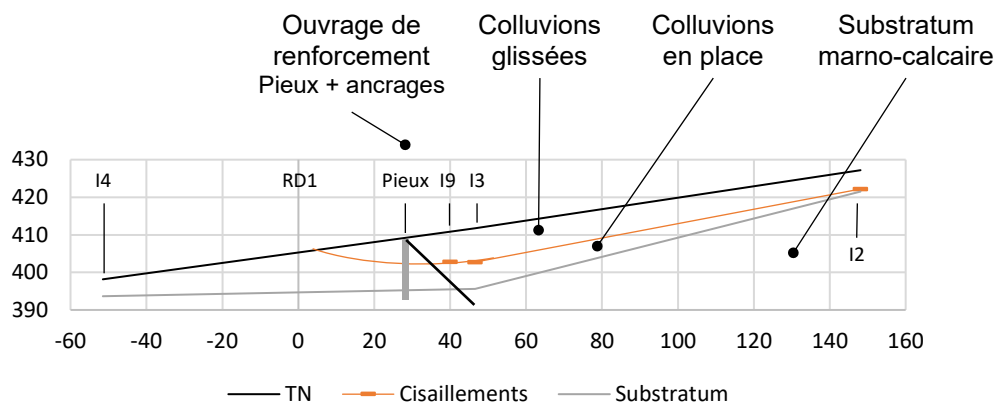
La zone a donné lieu à plusieurs phénomènes d'instabilité dès le début de la mise en dépôt. En 2014, à la suite d'importants cumuls pluviométriques, un glissement de grande ampleur s'est produit, affectant la RD1 sur une centaine de mètres. Ce glissement est aujourd'hui bloqué par son bourrelet de pied. Le rétablissement du gabarit routier nécessite l'enlèvement du bourrelet, donc la stabilisation préalable du glissement objet du présent PRO.

3.2 Principe

L'ouvrage de renforcement est conçu pour s'opposer aux forces motrices du glissement si un épisode pluvieux intense devait à nouveau le déclencher.

Il consiste en une ligne de pieux verticaux maintenus en tête par des ancrages, immédiatement à l'amont de la RD1 sur un linéaire d'environ 110 m correspondant à la longueur de route affectée.

NB : L'ouvrage ne garantit pas que des instabilités ne puissent apparaître dans la partie supérieure de la zone glissée en 2014 mais elle met la RD1 à l'abri de mouvements futurs.



3.3 Conception générale

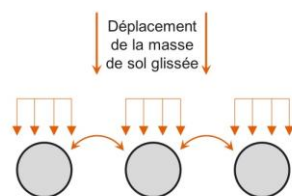
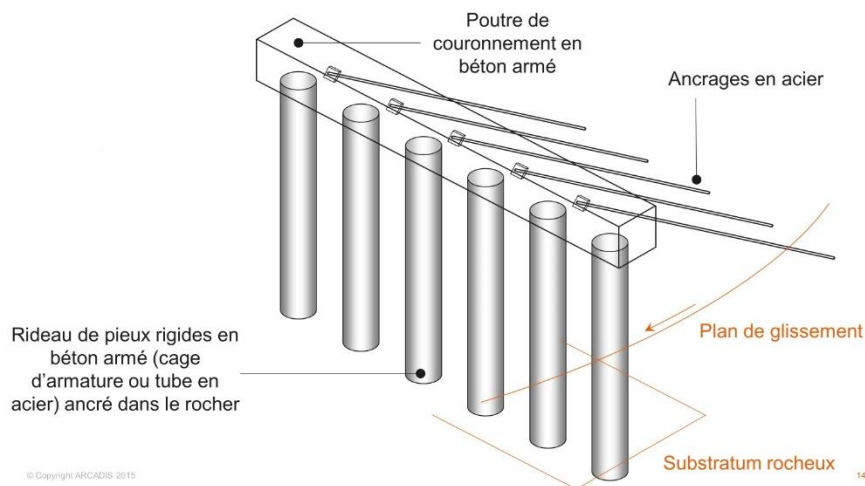
Le plan de glissement se situant sensiblement au-dessus du toit du substratum, la résistance apportée par des pieux travaillant en console, même descendus de plusieurs mètres dans le rocher, est limitée. Il est donc nécessaire de leur adjoindre en tête des ancrages inclinés et scellés dans le substratum pour mobiliser la résistance globale requise qui est d'environ 0,5 MN/m de rideau. La mobilisation de la réaction frontale dans le substratum est permise par un ancrage des pieux de l'ordre de 3 m.

Des solutions variantes ont été écartées après analyse :

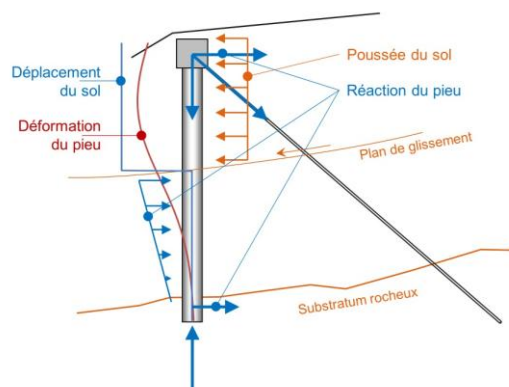
- la solution par double rideau de pieux encastrés en tête dans une dalle BA reste beaucoup trop souple ;
- la solution avec micropieux inclinés vers l'aval travaillant en compression en lieu et place des ancrages en traction conduit à mobiliser de la traction dans les pieux donc à en approfondir l'ancrage.

Les schémas ci-dessous illustrent le fonctionnement de la solution proposée.

Principe du fonctionnement du rideau de pieux ancrés en tête



Principe de fonctionnement : les pieux opposent une réaction frontale au déplacement de la masse de sol glissée. Un effet d'arc-boutement du sol entre les pieux est mobilisé. Le diamètre et l'espacement des pieux sont choisis de façon que le sol ne s'écoule pas entre les pieux.



3.4 Calepinage des pieux et ancrages

En partie courante du rideau :

- Espacement des pieux : 2,50 m ;
- Espacement des ancrages : 2,50 m.

Aux extrémités du rideau :

- Espacement des pieux : 3,50 m ;
- Espacement des ancrages : 3,50 m.

Le confortement comprend au total 42 pieux et 41 ancrages répartis sur une longueur de 108 m.

4 CATEGORIE GEOTECHNIQUE ET DUREE D'UTILISATION DE PROJET

Suivant [34] :

- Classe de conséquence de la ruine ou de l'endommagement de l'ouvrage : CC2
- Catégorie géotechnique de projet : 2
- Durée indicative d'utilisation de projet : 100 ans (catégorie 5)

5 HYPOTHESES GEOTECHNIQUES

Selon la référence [3].

Le sous-sol du site comprend, du haut vers le bas :

- les colluvions glissées (pouvant comporter une fraction de déblais – blocs rocheux – du tunnel de Foix et des blocs issus de l'érosion du pech de Foix) ;
- les colluvions restées en place (pouvant également comporter des blocs résultant de l'érosion du pech de Foix) ;
- le substratum marno-calcaire, altéré en tête.

5.1 Résistance c' - ϕ' des colluvions (glissées ou en place)

	γ_h (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Sols saturés	20	10	0	25
Sols non saturés ¹	20	-	5-10	25
Sols non saturés ²	20	-	0	25

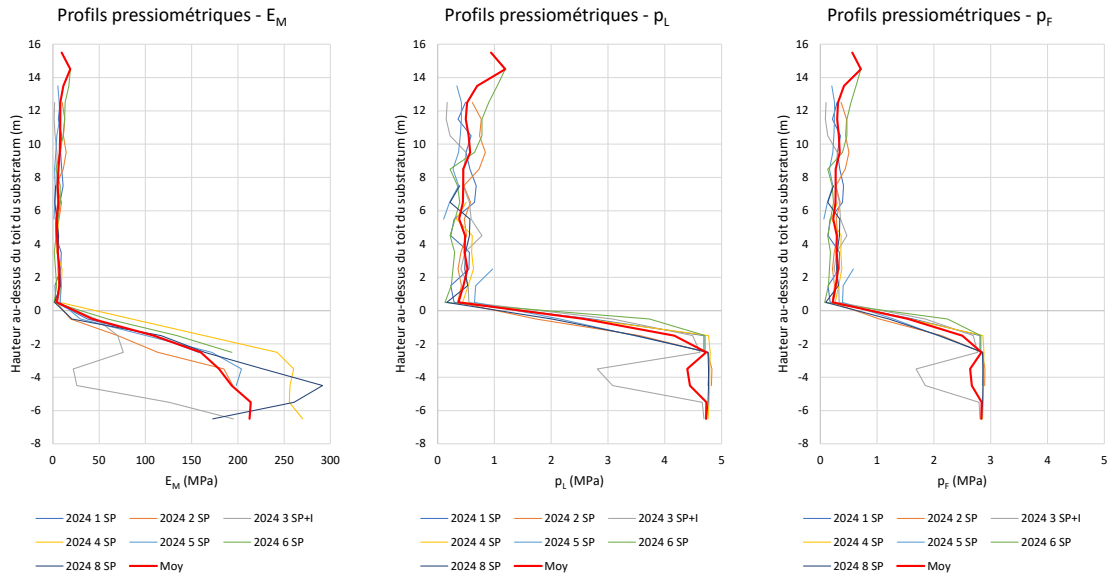
5.2 Profil et caractéristiques géotechniques de calcul

La méthode de calcul des pieux et ancrages utilise les caractéristiques pressiométriques des terrains (voir paragraphe 9 ci-dessous).

Les profils pressiométriques caractéristiques – E_m , p_L , p_F – sont déterminés comme la moyenne des 7 profils pressiométriques disponibles dans l'environnement de l'ouvrage. Chaque moyenne est calculée à une hauteur donnée au-dessus (ou en-dessous) du toit du substratum.

¹ Situations de calcul à court terme.

² Situations de calcul à long terme du mur en enrochements.



Profil pressiométrique caractéristique					
	Hauteur / toit du substratum (m)	p_L (MPa)	p_F (MPa)	E_M (MPa)	α
Colluvions	15,5	0,94	0,56	9,4	2/3
	14,5	1,19	0,71	18,9	
	13,5	0,70	0,42	11,3	
	12,5	0,52	0,31	8,0	
	11,5	0,50	0,30	8,0	
	10,5	0,55	0,33	7,8	
	9,5	0,57	0,34	7,5	
	8,5	0,45	0,27	6,1	
	7,5	0,45	0,27	5,3	
	6,5	0,44	0,27	6,0	
	5,5	0,38	0,23	4,1	
	4,5	0,49	0,29	4,6	
	3,5	0,47	0,28	5,3	
	2,5	0,52	0,31	6,9	
	1,5	0,45	0,27	7,0	
	0,5	0,37	0,22	4,3	
Substratum	-0,5	2,6	1,5	43	1/2
	-1,5	4,2	2,5	109	
	-2,5	4,7	2,8	160	
	-3,5	4,4	2,6	180	
	-4,5	4,4	2,7	193	
	-5,5	4,7	2,8	214	
	-6,5	4,7	2,8	213	

Les coefficients rhéologiques α qui interviennent dans le calcul des modèles de réaction frontale du sol contre les pieux sont les suivants :

- Colluvions : $\alpha = 2/3$;
- Substratum : $\alpha = 1/2$.

6 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

6.1 Béton et armatures pour béton

6.1.1 Pieux

Béton C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa).

Classe d'exposition : XC2 & < XA1.

Caractéristiques matériaux	Acier	Béton
	$f_{yk} = 500$ MPa	$f_{ck} = 30$ MPa $C_{MAX} =$ $k_1 =$ $k_2 =$ Selon NF P 94-262 Fondations profondes $k_3 =$ $f_{ck}^* =$
ELUF	$\gamma_s = 1,15$ $f_{yd} = 434,8$ MPa	$\alpha_{cc} = 1$ Pieux armés toute hauteur $\gamma_c = 1,5$ $f_{cd} =$ Selon NF P 94-262 Fondations profondes
ELUA	$\gamma_s = 1$ $f_{yd} = 500,0$ MPa	$\alpha_{cc} = 1$ Pieux armés toute hauteur $\gamma_c = 1,2$ $f_{cd} =$ Selon NF P 94-262 Fondations profondes
ELS	$w = 0,3$ mm (XC2) $\sigma_{st} = 300,0$ MPa $\sigma_{sc} = 400,0$ MPa	$\sigma_{cmoy} =$ Selon NF P 94-262 Fondations profondes $\sigma_{cmax} =$

6.1.2 Poutre de couronnement

Béton C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa).

Classe d'exposition : XC2 & < XA1.

Cara. Matér.	Acier	Béton
	$f_{yk} = 500$ MPa	$f_{ck} = 30$ MPa
ELUF	$\gamma_s = 1,15$ $f_{yd} = 434,8$ MPa	$\alpha_{cc} = 1$ $\gamma_c = 1,5$ $f_{cd} = 20,0$ MPa
ELUA	$\gamma_s = 1$ $f_{yd} = 500,0$ MPa	$\alpha_{cc} = 1$ $\gamma_c = 1,2$ $f_{cd} = 25,0$ MPa
ELS	$w = 0,3$ mm (XC2) $\sigma_{st} = 300,0$ MPa $\sigma_{sc} = 400,0$ MPa	$\sigma_{cmax} = 18,0$ MPa

6.2 Enrobages

Enrobage :

- Poutre de couronnement : 5 cm
- Pieux : 7 cm

6.3 Acier pour ancrages

Barres type Gewi ou Ischbeck ou équivalent $f_{0,2k}/f_{tk} = 500/550$; $550/700$; $670/800$ MPa (précisé dans la note de calculs [4]).

Les calculs de perte d'épaisseur par corrosion des armatures des ancrages figurent en Annexe 2, selon la clause 6.4.3 et l'Annexe E de la référence [40] et selon l'annexe F de la référence [41]. Les paramètres à prendre en compte sont la durée de vie de la structure (100 ans) et la classe d'agressivité du sol ($\Sigma A = 8$ soit classe III). L'épaisseur d'acier sacrifiée à la corrosion est donc de 3 mm selon [40] et 3,3 mm selon [41].

Pour le projet on retient une perte d'épaisseur des armatures de :

Mise en service	0
25 ans	0,75 mm
50 ans	1,50 mm
75 ans	2,25 mm
100 ans	3 mm

7 ACTIONS

7.1 Actions permanentes

7.1.1 Poids propre des structures

- Sols : 20 kN/m³
- Béton armé : 25 kN/m³
- Acier : 78,5 kN/m³

Ces actions nettement inférieures aux actions de poussée des terres sont sans influence sur le dimensionnement et sont négligées.

7.1.2 Poussée des terres

L'étude de l'état de stabilité de référence figure en Annexe 1. Elle conduit à évaluer de façon sécuritaire la résistance basale à l'état limite de glissement ($\Gamma = 1$) à $T_B = 4615$ kN/ml, parallèlement à la RD1.

On retient en phase PRO la même valeur qu'en phase AVP soit $T_B = 4700$ kN/ml.

La recherche d'un facteur de sécurité au glissement incluant l'effet du renforcement $\Gamma_R > \Gamma = 1$ revient donc à dimensionner ce renforcement pour une résistance de $R = (\Gamma_R - \Gamma) \cdot T_B = (\Gamma_R - 1) \cdot T_B$.

L'ouvrage est dimensionné pour une poussée des terres équivalente à une augmentation du coefficient de sécurité au glissement du versant d'au moins 10 % soit :

- $\Gamma_R = 1,1$;
- et une résistance ELS de $R = (\Gamma_R - 1) \cdot T_B = 0,10 \cdot 4700 = 470$ kN/ml de rideau.

Ce valeur $\Gamma_R = 1,1$ correspond à la limite inférieure de la fourchette [1,1 ; 1,2] recommandée par le guide CEREMA/LCPC « Prévention et stabilisation des glissements de terrain » pour les renforcements par pieux (réf. [43], § R2-5, p. 128). C'est une valeur couramment adoptée (voir réf. [46] et [47]). Elle reste sécuritaire donc la mesure où l'expérience montre que les glissements ainsi confortés sont stabilisés pour un déplacement additionnel sollicitant les structures à une fraction de leur résistance de dimensionnement, correspondant à des facteurs de sécurité justes supérieurs à 1 (voir réf. [46] et [47]).

7.1.3 Retrait et dilatation thermique

L'ouvrage en situation de service est prévu enfoui ce qui le met à l'abri de fortes variations thermiques.

Des joints de retrait au droit desquels les armatures longitudinales sont discontinuées sont positionnés sur la poutre de couronnement tous les 25 m environ.

Les effets du retrait et les actions thermiques sont donc négligés.

7.2 Actions variables

7.2.1 Charges en surface

Il n'y a pas de charges de surface élevée identifiées en phase exploitation de l'ouvrage.

Les effets des charges de surface sont donc négligés.

7.2.2 Actions en cours de construction

Il s'agit de charges de stockage de matériaux (cages d'armature) et des charges dues au poids des engins de chantier (foreuse d'un poids pouvant atteindre 80 t notamment, avec des pressions de contact au sol de l'ordre de 0,15 à 0,2 MPa). Ces charges sont à prendre en compte pour la vérification de la portance et de la stabilité de la plateforme de travail mais n'ont pas d'effet sur la structure du rideau.

7.3 Actions accidentelles

Il n'y a pas d'action accidentelle identifiée.

7.4 Action sismique

L'ouvrage est situé sur le territoire de la commune d'Arabaux classé en zone de sismicité modérée (zone 3) selon le Décret 2010-1255 du 22/10/2010 sur la délimitation des zones de sismicité. Selon l'Arrêté du 26/10/2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal » l'itinéraire de la RD1 peut être classé en catégorie d'importance II conduisant à retenir une accélération horizontale de calcul au rocher $a_g = \gamma_I \cdot a_{gr} = 1 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ m/s}^2 = 0,11 \cdot g$ soit un coefficient sismique $k_{\max} = a_g/g = 0,11^{34}$.

Cette accélération relativement faible n'est pas susceptible d'occasionner un déplacement additionnel significatif du glissement⁵.

Le confortement n'est donc pas dimensionné au séisme.

³ La prise en compte de l'effet de contraste d'impédance du fait d'une certaine épaisseur de dépôts meubles sous la surface de glissement – surtout à l'aval – conduirait à augmenter légèrement le coefficient sismique. On n'en tient pas compte ici, seuls des ordres de grandeur nous intéressant.

⁴ Rappelons que c'est l'accélération susceptible d'être atteinte ou dépassée avec une probabilité de 10 % sur une période de 50 ans et que sa période de retour est de 475 ans.

⁵ Par exemple la corrélation d'Ambraseys (réf. [48]) $\log \delta = 0,90 + \log \left[\left(1 - \frac{k_y}{k_{\max}} \right)^{2,53} \left(\frac{k_y}{k_{\max}} \right)^{-1,09} \right]$ avec $k_{\max} = a_g/g = 0,11$, $k_y = 1 - \Gamma_R = 0,1$ et δ en cm fournit un déplacement infra millimétrique.

8 SITUATIONS DE CALCUL ET ETATS LIMITES

8.1 Situation finale hors séisme

8.1.1 Etat limite de service

On vise $\Gamma_R = 1,10$ soit une résistance ELS de la structure de renforcement $R = 0,470 \text{ kN/m}$.

Structure = pieux + ancrages + poutre de couronnement

8.1.2 Etat limite ultime

Il n'est pas fixé d'objectif de résistance ELU de la structure de renforcement.

8.2 Situation accidentelle de rupture d'un ancrage

On vérifie qu'en situation accidentelle de rupture d'un ancrage la contrainte dans les ancrages adjacents à l'ancrage rompu n'excède pas $0,75 f_{eg}$ (f_{eg} = limite d'élasticité garantie).

8.3 Situation sismique

La justification de l'ouvrage en situation sismique n'est pas nécessaire (voir paragraphe 7.4 plus haut).

9 METHODES ET MODELES DE CALCUL

9.1 Calculs d'interaction sol-pieux-ancrages

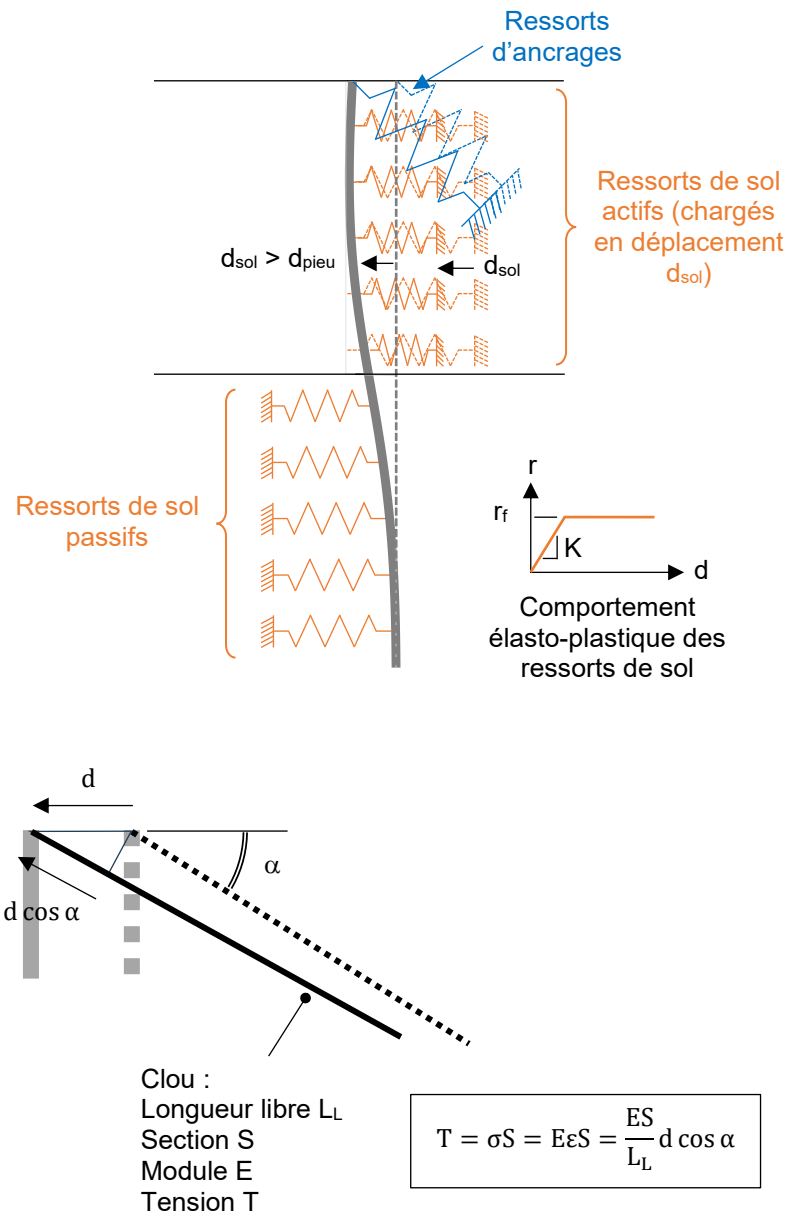
La méthode de calcul analyse le comportement et les efforts se développant dans un pieu vertical ancré dans les colluvions en place et le substratum sous-jacent, maintenu en tête par un « ressort » modélisant le système d'ancrages et chargé horizontalement en déplacement par les colluvions glissées. Ce chargement est uniforme en déplacement.

Les lois d'interaction sol-pieu sont celles de la norme NF P 94-262 Fondations profondes avec une partie « linéaire élastique » déterminée par le module pressiométrique puis un palier « plastique » déterminé par la pression de fluage pressiométrique.

Les clous sont passifs : ils ne se chargent qu'à condition d'avoir subi un déplacement.

NB : Une précontrainte permettrait mobilisation plus rapide de la résistance du rideau mais compte tenu du faible déplacement nécessaire à la mobilisation de cette résistance, cette précontrainte n'est pas jugée nécessaire.

Le modèle de calcul est schématisé ci-dessous.



9.2 Pieux

Les pieux sont justifiés conformément à la référence [39].

9.3 Ancrages

Les ancrages sont justifiés conformément à la référence [38].

9.4 Poutre de couronnement

La poutre de couronnement est justifiée conformément à la référence [35].

9.5 Plateforme de travaux

La stabilité de la plateforme de travaux sous le poids des engins de construction sera vérifiée à l'aide de calculs de stabilité de talus envisageant toutes les surfaces de glissement potentielles et la résistance $c'-\varphi'$ non saturée des colluvions.

9.6 Talus amont de la RD1

9.6.1 $H < 2$ m

Pas de vérification.

9.6.2 $H > 2$ m : mur en enrochement

Le mur en enrochements pourra être justifié selon le guide « Rockery design and construction » de la FHWA (réf. [45]) avec la résistance $c'-\phi'$ à long terme des colluvions.

--- O ---

Annexe 1 Etat de stabilité de référence

A la suite du glissement de 2014 les travaux de remodelage de la pente et de recalibrage du fossé amont ont vraisemblablement amélioré les conditions de stabilité du versant en limitant les infiltrations d'eau dans le terrain. Cette amélioration n'étant pas quantifiable, la situation de stabilité de référence est celle pour laquelle il y a initiation du glissement pour un niveau de nappe proche du terrain naturel.

Cette situation a été modélisée à l'aide du logiciel TALREN (voir pages suivantes).

Le volume de matériaux engagé dans le glissement est fonction de la géométrie du terrain naturel et de la géométrie de la surface de glissement.

Géométrie du TN

Pour caractériser le volume de matériaux engagé dans le glissement, 3 profils topographiques, issus du dernier relevé topographique de 2024, sont considérés (Figure 1 page 18 et Figure 2 page 19).

La moyenne entre ces 3 profils topographiques est ensuite calculée (Figure 3 page 20).

Surface de glissement

La géométrie de la surface de glissement est déduite des observations inclinométriques : profondeur ≈ 3 m au sommet du versant, profondeur ≈ 5 m en partie centrale, profondeur ≈ 9 m en partie basse, bourrelet au niveau de la RD1 (Figure 3 page 20).

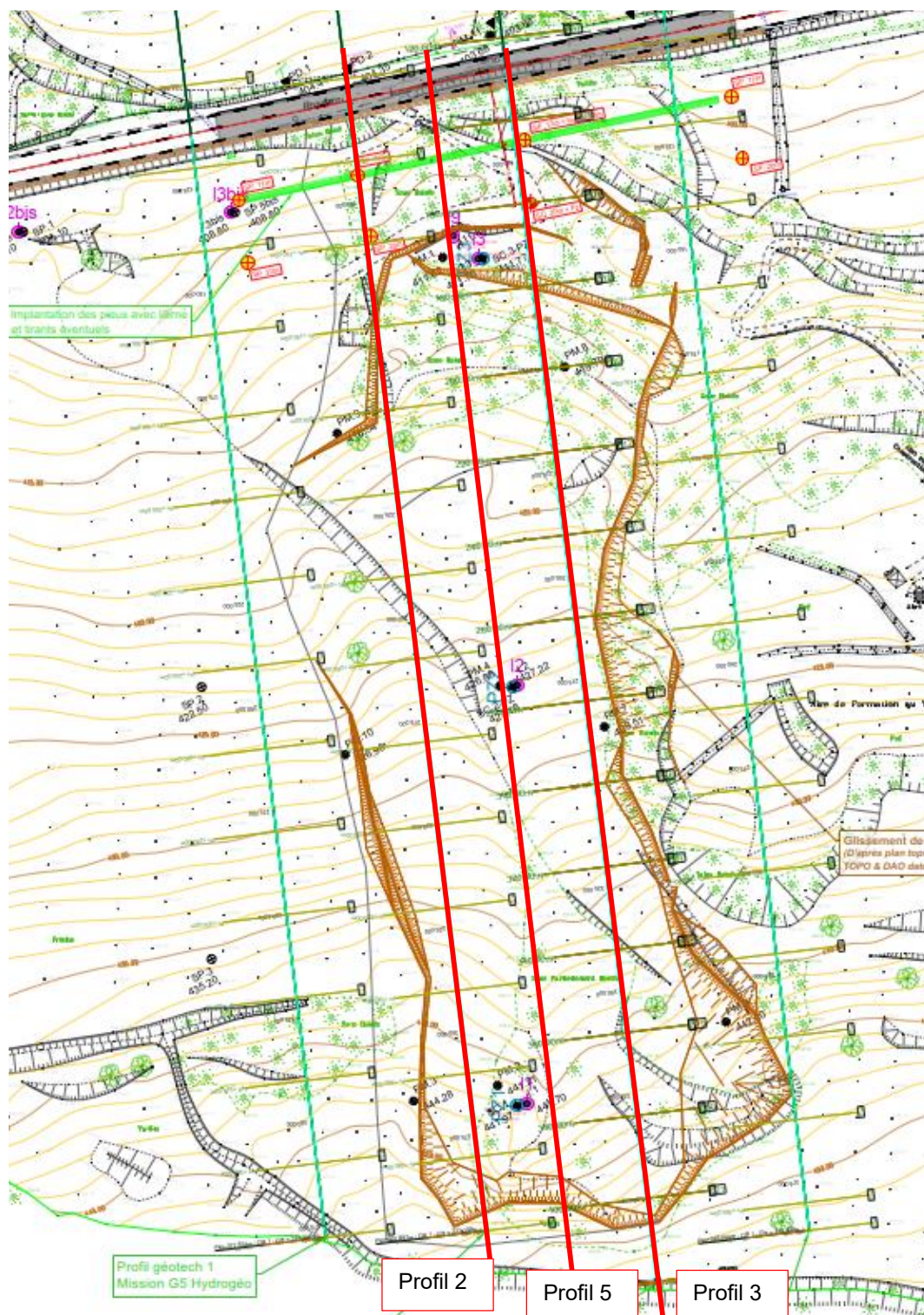
Calcul TALREN

Cette géométrie est ensuite importée dans le logiciel TALREN. Un niveau de nappe sub-affleurante est modélisé le long du profil (Figure 4 page 21).

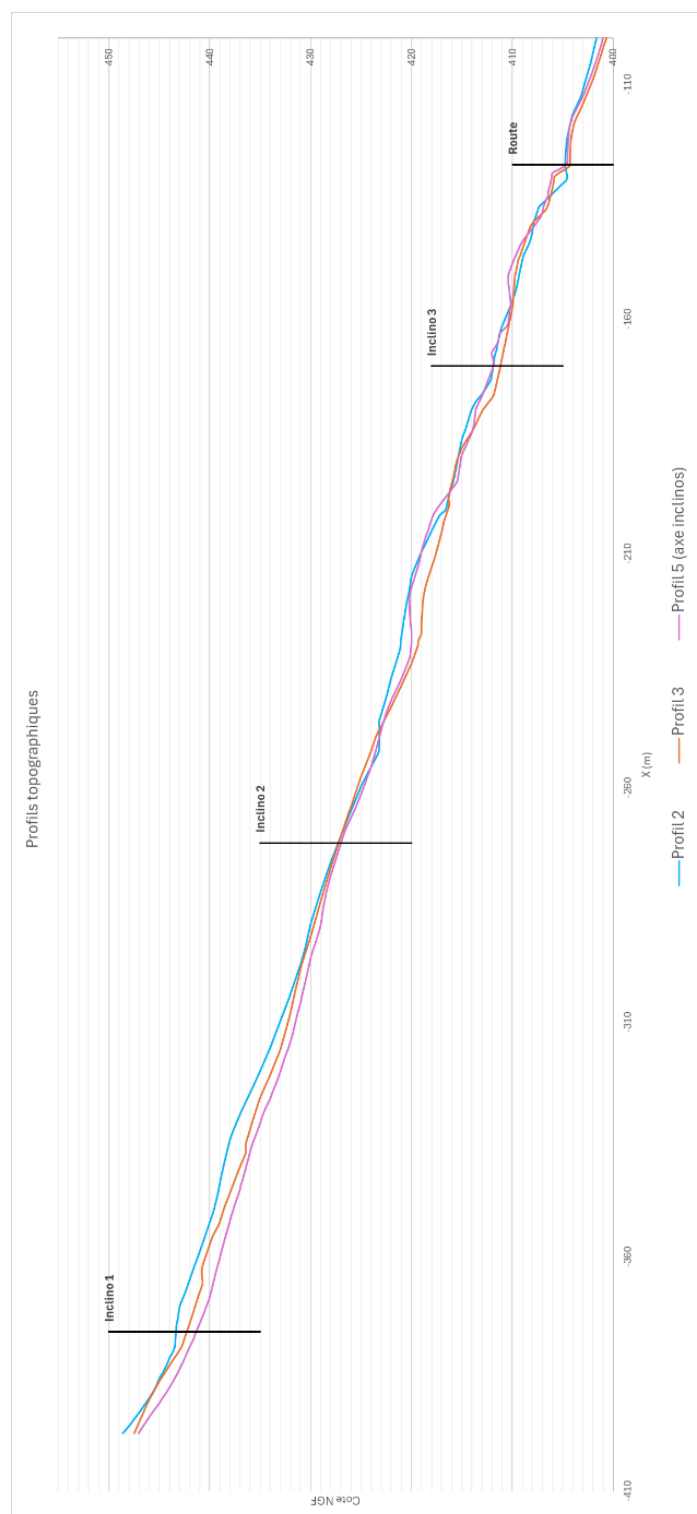
Dans ces conditions un coefficient de sécurité au glissement $\Gamma = 1$ est obtenu pour un angle de frottement effectif $\varphi' = 14^\circ$ sur la surface de glissement. Cette valeur est cohérente avec celle estimée dans l'étude G2PRO Hydrogéotechnique ($\varphi' = 14^\circ$ également). On en déduit une résistance basale de $T_B = 4615$ kN/m perpendiculairement à la RD1. Le détail du calcul est présenté en suivant (Figure 5 page 22).

On retient pour le dimensionnement de l'ouvrage de confortement une valeur sécuritaire de 4700 kN/m comme en AVP.

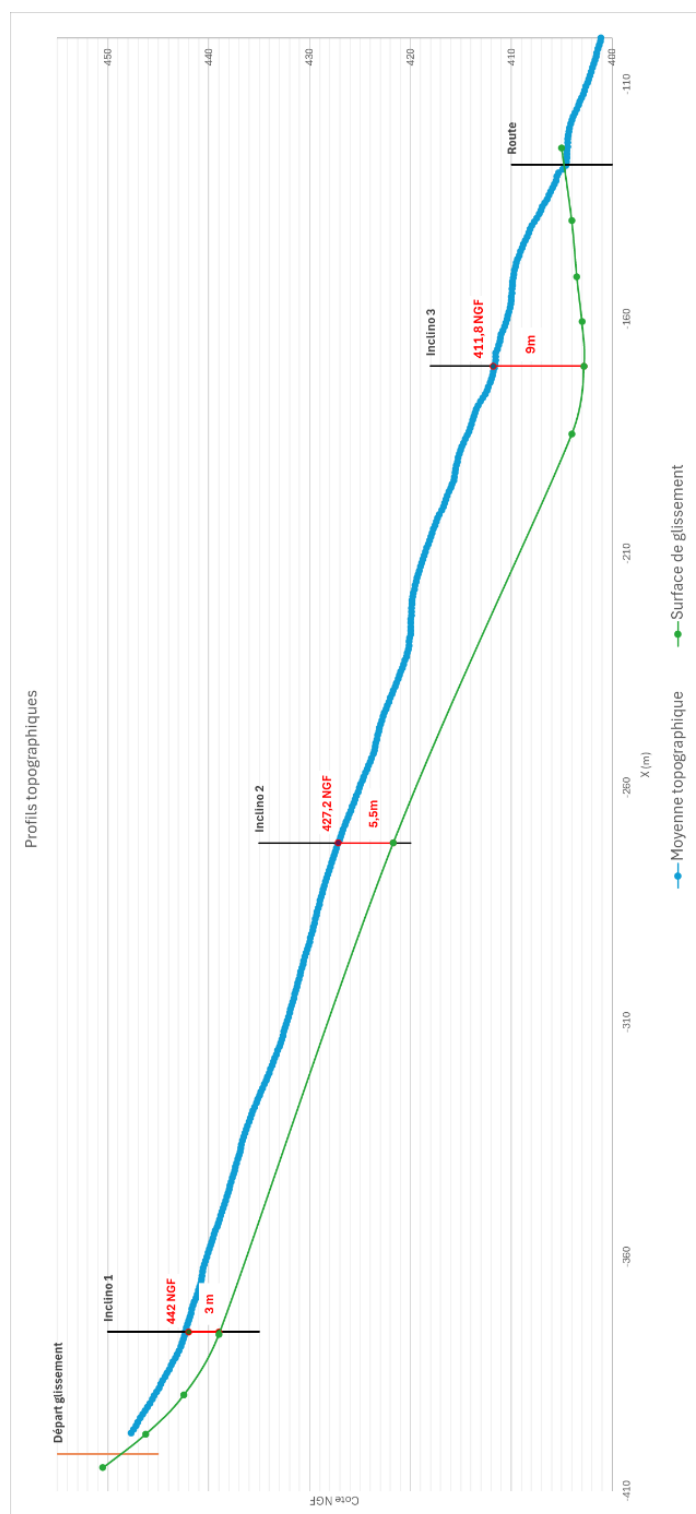
La recherche d'un facteur de sécurité au glissement incluant l'effet du renforcement $\Gamma_R > \Gamma$ revient donc à dimensionner ce renforcement pour une résistance de $(\Gamma_R - \Gamma) \cdot T_B$.



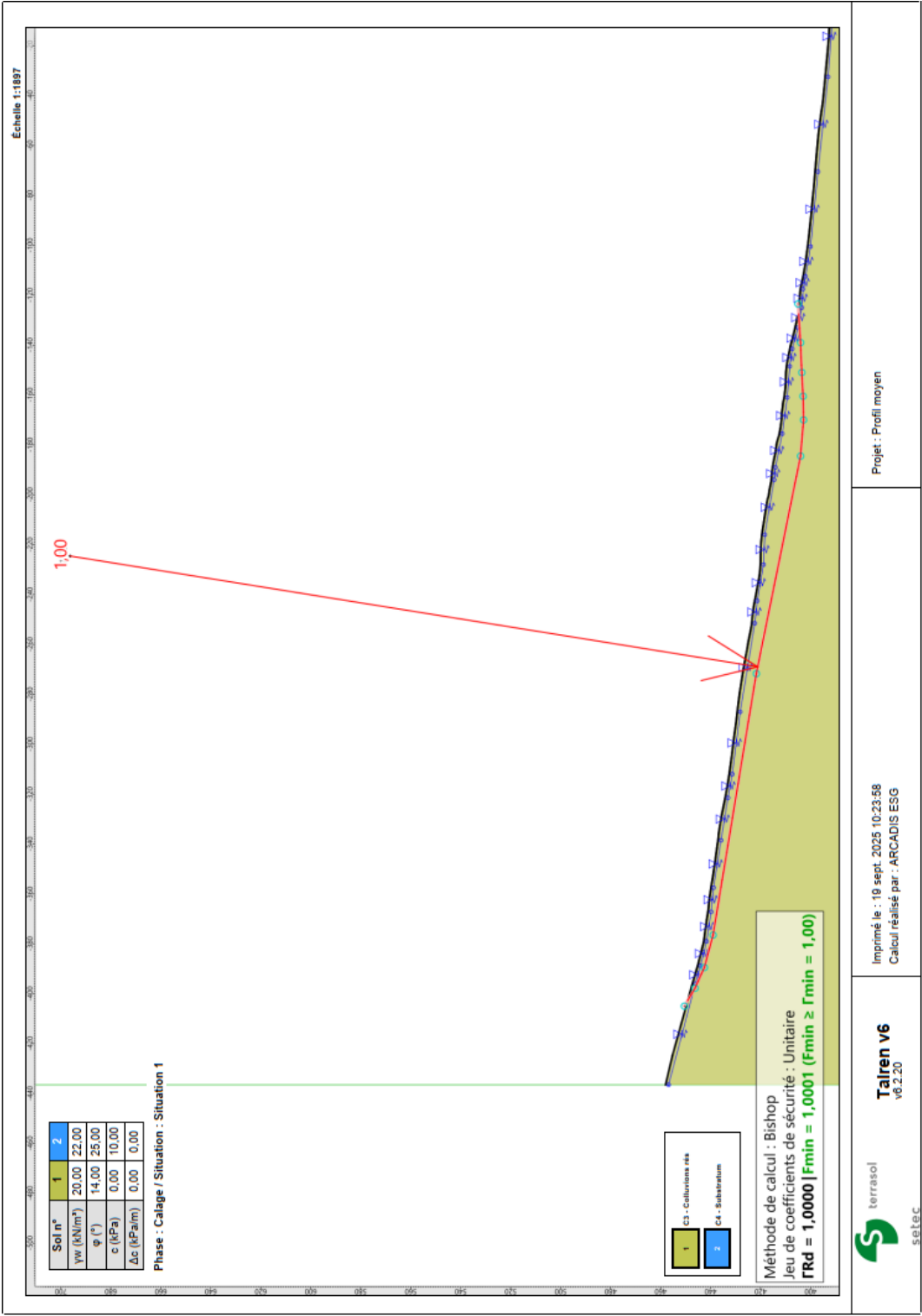
1. Les 3 profils topographiques considérés pour l'évaluation du volume impliqué par le glissement (vue en plan)



2. Les 3 profils topographiques considérés pour l'évaluation du volume impliqué par le glissement (profils)



3. Profil TN moyen issue des 3 profils topographiques considérés et surface de glissement d'après les résultats inclinométriques



4. Sortie graphique calcul TALREN (NB : La surface de glissement ne passant pas au sein du substratum, ce dernier n'est pas modélisé).

N°	DL	X	Y	A	GH	YGS	IS	u	UNE	RDS	SIG-TOT	TAU	dRH (kN/m)
1	2,849	-401,472	448,411	0,535	7,724	448,604	1	0,000	0,000	0,000	6,730	1,678	4,78096
2	2,849	-399,020	446,960	0,535	23,171	447,539	1	0,000	0,000	0,000	20,191	5,034	14,34296
3	3,032	-396,412	445,612	0,423	35,087	446,489	1	5,555	0,000	0,000	32,107	6,619	20,06963
4	3,032	-393,647	444,367	0,423	43,294	445,466	1	10,228	0,000	0,000	40,550	7,559	22,81968
5	3,032	-390,882	443,122	0,423	52,770	444,442	1	14,824	0,000	0,000	48,941	8,505	25,78795
6	2,693	-388,200	442,150	0,263	57,025	443,576	1	17,158	0,000	0,000	54,517	9,314	25,07862
7	2,693	-385,600	441,450	0,263	58,020	442,901	1	17,743	0,000	0,000	55,487	9,410	25,33623
8	2,693	-383,000	440,750	0,263	58,410	442,210	1	18,328	0,000	0,000	55,889	9,364	25,21266
9	2,693	-380,400	440,050	0,263	59,600	441,540	1	18,914	0,000	0,000	57,041	9,505	25,59353
10	2,693	-377,800	439,350	0,263	64,055	440,951	1	20,633	0,000	0,000	61,324	10,144	27,31444
11	2,795	-375,121	438,772	0,164	68,963	440,496	1	22,331	0,000	0,000	67,120	11,166	31,21146
12	2,795	-372,363	438,317	0,164	70,224	440,073	1	22,686	0,000	0,000	68,345	11,383	31,61791
13	2,795	-369,605	437,862	0,164	71,461	439,648	1	23,040	0,000	0,000	69,547	11,594	32,40878
14	2,795	-366,847	437,407	0,164	71,848	439,203	1	23,569	0,000	0,000	69,940	11,561	32,31414
15	2,795	-364,089	436,951	0,164	75,208	438,832	1	25,279	0,000	0,000	73,234	11,956	33,41831
16	2,795	-361,332	436,496	0,164	78,047	438,447	1	26,989	0,000	0,000	76,029	12,226	34,174
17	2,795	-358,574	436,041	0,164	78,961	438,015	1	28,699	0,000	0,000	76,974	12,035	33,64117
18	2,795	-355,816	435,586	0,164	79,806	437,581	1	29,485	0,000	0,000	77,817	12,049	33,68038
19	2,795	-353,058	435,130	0,164	79,232	437,111	1	29,684	0,000	0,000	77,273	11,864	33,16322
20	2,795	-350,300	434,675	0,164	80,105	436,678	1	29,882	0,000	0,000	78,120	12,026	33,61525
21	2,795	-347,542	434,220	0,164	81,149	436,248	1	30,080	0,000	0,000	79,130	12,228	34,18124
22	2,795	-344,784	433,764	0,164	82,686	435,832	1	30,278	0,000	0,000	80,614	12,549	35,07757
23	2,795	-342,026	433,309	0,164	84,268	435,416	1	30,476	0,000	0,000	82,142	12,881	36,00401
24	2,795	-339,268	432,854	0,164	85,614	434,994	1	30,674	0,000	0,000	83,443	13,155	36,77247
25	2,795	-336,511	432,399	0,164	88,521	434,612	1	30,798	0,000	0,000	86,240	13,822	38,63485
26	2,795	-333,753	431,943	0,164	89,928	434,192	1	30,895	0,000	0,000	87,594	14,135	39,51165
27	2,795	-330,995	431,488	0,164	89,990	433,738	1	30,991	0,000	0,000	87,658	14,127	39,48883
28	2,795	-328,237	431,033	0,164	89,440	433,269	1	31,087	0,000	0,000	87,133	13,973	39,05641
29	2,795	-325,479	430,578	0,164	87,624	432,768	1	31,183	0,000	0,000	85,393	13,515	37,77686
30	2,795	-322,721	430,122	0,164	85,589	432,262	1	31,279	0,000	0,000	83,442	13,004	36,35916
31	2,795	-319,963	429,667	0,164	84,189	431,771	1	31,023	0,000	0,000	82,087	12,731	35,58468
32	2,795	-317,205	429,212	0,164	83,373	431,296	1	30,487	0,000	0,000	81,282	12,663	35,39724
33	2,795	-314,447	428,757	0,164	82,991	430,831	1	29,950	0,000	0,000	80,894	12,700	35,50061
34	2,795	-311,689	428,301	0,164	84,095	430,404	1	29,591	0,000	0,000	81,941	13,051	36,48032
35	2,795	-308,932	427,846	0,164	85,661	429,988	1	30,630	0,000	0,000	83,486	13,177	36,83268
36	2,795	-306,174	427,391	0,164	87,182	429,570	1	31,669	0,000	0,000	84,988	13,292	37,15528
37	2,795	-303,416	426,936	0,164	89,404	429,171	1	32,708	0,000	0,000	87,163	13,576	37,94684
38	2,795	-300,658	426,480	0,164	91,543	428,769	1	33,748	0,000	0,000	89,259	13,839	38,68335
39	2,795	-297,900	426,025	0,164	93,790	428,370	1	34,787	0,000	0,000	91,458	14,128	39,49181
40	2,795	-295,142	425,570	0,164	95,437	427,956	1	35,826	0,000	0,000	93,081	14,274	39,89895
41	2,795	-292,384	425,114	0,164	96,888	427,537	1	36,865	0,000	0,000	94,515	14,373	40,17435
42	2,795	-289,626	424,659	0,164	99,098	427,137	1	37,904	0,000	0,000	96,679	14,653	40,95833
43	2,795	-286,868	424,204	0,164	101,872	426,751	1	38,895	0,000	0,000	99,382	15,080	42,15112
44	2,795	-284,111	423,749	0,164	104,494	426,361	1	38,930	0,000	0,000	101,903	15,699	43,88307
45	2,795	-281,353	423,293	0,164	106,451	425,955	1	38,965	0,000	0,000	103,794	16,160	45,16939
46	2,795	-278,595	422,838	0,164	107,802	425,533	1	39,000	0,000	0,000	105,082	16,474	46,04963
47	2,795	-275,837	422,383	0,164	108,488	425,095	1	39,035	0,000	0,000	105,743	16,630	46,48966
48	2,795	-273,079	421,928	0,164	108,919	424,651	1	39,071	0,000	0,000	106,158	16,725	46,75057
49	2,781	-270,338	421,473	0,200	110,322	424,181	1	39,622	0,000	0,000	106,916	16,777	46,64906
50	2,781	-267,513	420,870	0,200	111,739	423,664	1	40,690	0,000	0,000	108,317	16,860	46,87991
51	2,781	-264,888	420,317	0,200	112,675	423,134	1	41,757	0,000	0,000	109,259	16,829	46,79302
52	2,781	-262,163	419,764	0,200	113,670	422,606	1	42,825	0,000	0,000	110,257	16,811	46,74469
53	2,781	-259,438	419,211	0,200	115,247	422,092	1	43,892	0,000	0,000	111,810	16,932	47,08071
54	2,781	-256,713	418,658	0,200	115,914	421,556	1	44,960	0,000	0,000	112,496	16,837	46,81649
55	2,781	-253,988	418,105	0,200	116,419	421,015	1	46,028	0,000	0,000	113,029	16,704	46,44567
56	2,781	-251,263	417,552	0,200	119,091	420,529	1	47,220	0,000	0,000	114,629	17,054	47,42122
57	2,781	-248,538	416,998	0,200	124,728	420,117	1	49,724	0,000	0,000	121,115	17,798	49,48909
58	2,781	-245,813	416,445	0,200	129,080	419,672	1	52,227	0,000	0,000	125,378	18,237	50,70849
59	2,781	-243,088	415,892	0,200	130,737	419,161	1	54,731	0,000	0,000	127,076	18,036	50,15031
60	2,781	-240,363	415,339	0,200	131,614	418,629	1	55,924	0,000	0,000	127,969	17,961	49,94184
61	2,781	-237,638	414,786	0,200	132,442	418,097	1	56,757	0,000	0,000	128,796	17,960	49,93823
62	2,781	-234,913	414,233	0,200	133,620	417,573	1	57,590	0,000	0,000	129,958	18,042	50,16597
63	2,781	-232,188	413,680	0,200	135,358	417,064	1	58,423	0,000	0,000	131,652	18,256	50,76332
64	2,781	-229,463	413,127	0,200	140,542	416,540	1	59,256	0,000	0,000	136,627	19,289	53,63413
65	2,781	-226,738	412,573	0,200	148,200	416,078	1	61,740	0,000	0,000	144,035	19,749	57,04913
66	2,781	-224,013	412,020	0,200	158,677	415,587	1	66,135	0,000	0,000	154,220	21,960	61,06092
67	2,781	-221,288	411,467	0,200	168,081	415,069	1	70,531	0,000	0,000	163,382	23,148	64,36503
68	2,781	-218,563	410,914	0,200	176,311	415,322	1	74,927	0,000	0,000	171,428	24,058	66,89509
69	2,781	-215,838	410,361	0,200	181,547	414,900	1	79,115	0,000	0,000	176,613	24,307	67,58891
70	2,781	-213,113	409,808	0,200	184,619	414,423	1	80,016	0,000	0,000	179,581	24,822	69,01934
71	2,781	-210,388	409,255	0,200	187,411	413,940	1	80,917	0,000	0,000	182,281	25,271	70,26642
72	2,781	-207,663	408,702	0,200	189,889	413,449	1	81,818	0,000	0,000	184,683	25,645	71,30688
73	2,781	-204,938	408,148	0,200	191,939	412,947	1	82,719	0,000	0,000	186,678	25,917	72,06486
74	2,781	-202,213	407,595	0,200	193,702	412,438	1	83,621	0,000	0,000	188,399	26,122	72,63335
75	2,781	-199,488	407,042	0,200	191,716	411,835	1	84,522	0,000	0,000	186,553	25,437	70,72876
76	2,781	-196,763	406,489	0,200	193,906	411,337	1	85,423	0,000	0,000	188,681	25,743	71,57891
77	2,781	-194,038	405,936	0,200	195,040	410,812	1	86,324	0,000	0,000	189,804	25,798	71,73254
78	2,781	-191,313	405,383	0,200	201,344	410,416	1	89,002	0,000	0,000	195,933	26,658	74,12493
79	2,781	-188,588	404,830	0,200	206,256	409,986	1	91,295	0,000	0,000	200,718	27,280	75,85309
80	2,781	-185,863	404,277	0,200	207,346	409,460	1	91,289	0,000	0,000	201,756	27,540	76,57595
81	2,910	-183,050	403,880	0,083	203,744	408,974	1	89,540	0,000	0,000			

Annexe 2 Corrosion des ancrages

Selon TA 2020 Annexe E

Agressivité	Sols	Ambiance	2 ans	5 ans	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
très élevée	I	C5I et C5M	0,5	0,5	2,0	3,25	4,5	5,75
élevée	II	C4	0,2	0,2	1,0	1,75	2,5	3,25
moyenne	III	C3	0,0	0,15	0,75	1,5	2,25	3,0
faible	IV	C1 et C2	0,0	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2

Tableau 6.7 : Perte d'épaisseur (en mm) en fonction de l'agressivité

E.2 CORROSION DES ACIERS

E.2.1 PARTIES ENTERRÉES

L'agressivité des sols s'évalue selon l'échelle donnée dans le tableau E.4 ci-après :

Caractéristiques du sol	Classe	Index ΣA
Fortement corrosif	I	13 ou plus
Corrosif	II	9 à 12
Moyennement corrosif	III	5 à 8
Peu corrosif	IV	4 ou moins

Tableau E.4 : classement de l'agressivité des sols sur les aciers

L'index se calcule selon les indications du tableau E.5 ci-après :

Critères	Caractéristiques	Poids A du critère
Nature de sol ¹⁾	Texture • lourde, plastique, collante, imperméable • argilo-sableuse • légère, perméable, sableuse, sols pulvérulents	2 1 0 8
	Tourbes et marécages	8
	Déchets industriels • Mâchefer, cendres, charbon • Déchets de construction (plâtre, briques)	8 4
	Pollutions liquides • Eaux usées, industrielles • eaux contenant des sels de déneigement	6 8
	$\rho < 1000$ $1000 < \rho < 2000$ $2000 < \rho < 5000$ $5000 < \rho$	5 3 2 0
Résistivité (Ω cm)		
Humidité	Nappe d'eau saumâtre (variable ou permanente)	8
	Nappe d'eau douce (variable ou permanente)	4
	Hors nappe - sol humide (teneur en eau < 20%)	2
	Hors nappe sol sec (teneur en eau < 20%)	0
pH	< 4	4
	4 à 5	3
	5 à 6	2
	> 6	0
	Indice Global	Somme des poids ci-dessus $\Sigma A = 8$

¹⁾ La valeur pondérale du critère "nature de sol" pourrait être la valeur maximale applicable à ce sol à partir des sous classes "texture", "tourbes", "déchets industriels", et "liquides". Le poids maximal de chaque critère est inférieur ou égal à 8.

Tableau E.5 : index d'agressivité des sols sur les aciers

Selon NF P94-270 Annexe F

Tableau F.2.1.3.1 — Catégorie de corrosion associée au sol en place

Critère	Caractéristiques	Poids A et C du critère
Nature de sol	Texture	
	— Lourde, plastique, collante, imperméable	A = 2
	— Argilo-sableuse	A = 1
	— Légère, perméable, sableuse, sols pulvérulents	A = 0
	— Tourbes	A = 8
	— Marécages	A = 8
	Déchets industriels	
	— Mâchefer, cendres, charbon	A = 8
	— Déchets de construction (plâtre, briques)	A = 4
	Pollutions liquides	
	— Eaux contenant des sels de déneigement	A = 8
	— Eaux usées, industrielles	A = 6
Résistivité (Ω.cm)	— Sans mesure	A = 5
	— $\rho < 1\,000$	A = 5
	— $1\,000 < \rho < 2\,000$	A = 3
	— $2\,000 < \rho < 5\,000$	A = 2
	— $5\,000 < \rho$	A = 0
Humidité	— Nappe d'eau saumâtre (variable ou permanente)	A = 8
	— Nappe d'eau douce (variable ou permanente)	A = 4
	— Hors nappe — sol humide (teneur en eau > 20%)	A = 2
	— Hors nappe sol sec (teneur en eau < 20%)	A = 0
pH	— Sans mesure	A = 4
	— < 4	A = 4
	— 4 à 5	A = 3
	— 5 à 6	A = 2
	— > 6	A = 0
Sensibilité ⁽¹⁾	— Structure sensible	C = 2
	— Structure courante	C = 0
Remblai artificiel	Voir chapitre F.2.1.4	
Indice Global		$\Sigma A + c = 8$
La sensibilité de la structure est définie dans l'Annexe C.6.2.2		

Tableau F.2.1.3.2 — Catégories de corrosion

Indice global $\Sigma A + C$	Catégorie de corrosion associée au sol et à l'eau	Caractéristique du sol et de l'eau
≥ 13	I	Fortement corrosif
9 à 12	II	Corrosif
5 à 8	III	Moyennement corrosif
1 à 4	IV	Peu corrosif
0	V	Très peu corrosif

Tableau F.2.1.7.1 — Épaisseur sacrifiée à la corrosion pour les aciers de construction et tubes conformes à NF EN 10025, NF EN 10210 et NF EN 10219

Catégorie de corrosion	Jusqu'à 2 ans	Pour 5 ans	Pour 25 ans	Pour 50 ans	Pour 75 ans	Pour 100 ans
Valeurs recommandées pour la perte d'épaisseur « ΔE_p » par corrosion dans les sols et l'eau						
I	0,30 mm	0,50 mm	2,00 mm	3,30 mm	4,50 mm	5,80 mm
II	0,20 mm	0,40 mm	1,60 mm	2,50 mm	3,50 mm	4,50 mm
III	0,20 mm	0,20 mm	1,10 mm	1,80 mm	2,50 mm	3,30 mm
IV	0,10 mm	0,10 mm	0,60 mm	1,10 mm	1,50 mm	2,00 mm
V	0,00 mm	0,00 mm	0,30 mm	0,60 mm	0,90 mm	1,20 mm