

**DIAGNOSTIC MUR DE SOUTÈNEMENT**

**IUT DU PUY**

**8 RUE JEAN-BAPTISTE FABRE**

**LE PUY-EN-VELAY**



**Diagnostic géotechnique**

**Rapport**

**Alpha BTP**  
Parc d'activités du Cheix  
12, rue Enrico-Fermi  
63540 ROMAGNAT  
Tél. 04 73 26 86 63 - Fax 04 73 28 06 47  
Mail : [contact@alphabtp.fr](mailto:contact@alphabtp.fr)

ALPHA BTP NORD  
RCS CLERMONT-FERRAND B 420 094 625  
SIREN : 420 094 625 - SIRET : 420 094 625 00043  
Code APE : 7112 B - N°TVA intracommunautaire : FR38 420 094 625

**A23.13.557.a/I**

**MAITRE D'OUVRAGE :**

**UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE  
49 BOULEVARD FRANCOIS MITTERAND  
CS 60032  
63001 CLERMONT-FERRAND CEDEX 1**

**BET STRUCTURE :**

**ITC  
9 RUE LOUIS ROSIER  
63000 CLERMONT-FERRAND**

# Diagnostic géotechnique

Le présent dossier, qui constitue un ensemble indissociable, comporte :

- le rapport d'étude géotechnique
- un cahier d'annexes de 25 pages comprenant :
  - l'enchaînement et la classification des missions géotechniques types (NFP 94-500 novembre 2013)
  - les coupes des sondages à la pelle/perfo/tarière à mains
  - les résultats du sondage pressiométrique
  - les résultats des sondages pénétrométriques
  - les résultats des essais de laboratoire
  - le plan d'implantation des sondages
  - les résultats des modélisations de stabilité réalisées grâce au logiciel Géomur®

Affaire : DIAGNOSTIC MUR DE SOUTÈNEMENT IUT DU PUY-EN-VELAY 8 RUE JEAN-BAPTISTE FABRE LE PUY-EN-VELAY	Date : 16/01/24	
N° dossier : A23.13.557	Indice : a	
Agence de ROMAGNAT, la chargée d'étude	A. IGONIN	
Contrôle interne	L. SANZELLE	

# Sommaire

<b>1 – CADRE DE L'ETUDE.....</b>	<b>6</b>
1.1 - GENERALITES .....	6
1.2 - MISSION G5.....	6
1.3 - DOCUMENTS FOURNIS .....	7
1.4 - NORMES ET REGLES DE PRE-DIMENSIONNEMENT UTILISEES .....	8
<b>2 – CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES, DESORDRES, CONTEXTE .....</b>	<b>8</b>
2.1 - DESCRIPTION DES OUVRAGES .....	8
2.2 - DESORDRES .....	10
2.3 - DESCRIPTION DU SITE .....	11
2.4 - GEOLOGIE LOCALE .....	12
2.5 - SITUATION DE LA PARCELLE VIS-A-VIS DES RISQUES NATURELS.....	14
2.6 - AVOISINANTS .....	15
<b>3 – PROGRAMME D'INVESTIGATIONS.....</b>	<b>15</b>
3.1 - RECONNAISSANCES IN SITU .....	15
3.2 - ESSAIS EN LABORATOIRE.....	16
<b>4 – RESULTATS DES INVESTIGATIONS.....</b>	<b>17</b>
4.1 - GENERALITES .....	17
4.2 - SONDAGES ET ESSAIS IN SITU.....	17
4.3 - ESSAIS DE LABORATOIRE.....	20
4.4 - HYDROGEOLOGIE .....	22
4.5 - CONDITIONS DE FONDATIONS ET GEOMETRIE DES OUVRAGES .....	22
4.6 - CONDITIONS DE FERRAILLAGE DU MUR BETON ARME N°1/ RESULTATS DES INVESTIGATIONS RADAR + PERFORATEUR .....	27
<b>5 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT LE MUR N°1 EN BETON ARME .....</b>	<b>30</b>
5.1 - VIS A VIS DE LA « CONSOLIDATION DES SOLS SOUS CHARGES » ET/OU DES « MAUVAISES CONDITIONS DE FONDATIONS DE L'OUVRAGE VIS-A-VIS DU CONTEXTE GEOTECHNIQUE » ET/OU DE LA « STABILITE GEOMETRIQUE » DE L'OUVRAGE .....	30
5.2 - VIS A VIS DE LA DESSICCATION/SENSIBILITE A L'EAU DES SOLS .....	33
5.3 - VIS A VIS D'AUTRES FACTEURS DE DESORDRES .....	34
<b>6 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT L'EMMARCHEMENT .....</b>	<b>35</b>
6.1 - VIS A VIS DE LA « CONSOLIDATION DES SOLS SOUS CHARGES » ET/OU DES « MAUVAISES CONDITIONS DE FONDATIONS DE L'OUVRAGE VIS-A-VIS DU CONTEXTE GEOTECHNIQUE ».....	35
6.2 - VIS A VIS DE LA DESSICCATION/SENSIBILITE A L'EAU DES SOLS .....	36
6.3 - VIS A VIS D'AUTRES FACTEURS DE DESORDRES .....	38
<b>7 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT LE MUR N°2 EN MACONNERIE DE PIERRES... 38</b>	
7.1 - VIS A VIS DE LA « CONSOLIDATION DES SOLS SOUS CHARGES » ET/OU DES « MAUVAISES CONDITIONS DE FONDATIONS DE L'OUVRAGE VIS-A-VIS DU CONTEXTE GEOTECHNIQUE » ET/OU DE LA « STABILITE GEOMETRIQUE » DE L'OUVRAGE .....	38
7.2 - VIS A VIS DE LA DESSICCATION/SENSIBILITE A L'EAU DES SOLS .....	41
7.3 - VIS A VIS D'AUTRES FACTEURS DE DESORDRES .....	42
<b>8 – ORIGINE ET FACTEURS ACTIFS SUR LES DESORDRES .....</b>	<b>42</b>
8.1 - GENERALITES .....	42
8.2 - FACTEURS ACTIFS SUR LES DESORDRES .....	43
<b>9 – POTENTIEL D'EVOLUTION DES DESORDRES .....</b>	<b>46</b>

<b>10 – PREMIERES APPROCHES DES REMEDES ENVISAGEABLES.....</b>	<b>47</b>
10.1 - CONTEXTE ALEAS RETRAIT/GONFLEMENT DES SOLS ARGILEUX .....	47
10.2 - GENERALITES.....	48
10.3 - PREMIERES APPROCHES DES REMEDES ENVISAGEABLES (A VALIDER/CONCEVOIR/PRE-DIMENSIONNER DANS LE CADRE D'UNE MISSION D'ETUDE DE PROJET G2 AVP).....	48
<b>11 – OBSERVATIONS GENERALES.....</b>	<b>50</b>



# 1 – CADRE DE L'ETUDE

## 1.1 - Généralités

La présente étude est réalisée dans le cadre d'un diagnostic effectué sur un mur de soutènement en béton, un emmarchement et sur un mur maçonné en pierre situés sur le site de l'IUT du PUY-EN-VELAY.

Elle est réalisée à la demande du bureau ITC représenté par M. MARQUEZ et pour le compte de l'UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE représentée par M. BRUN.

Elle fait suite à notre devis du 21/07/2023 et à la commande du 24/10/2023.

## 1.2 - Mission G5

Conformément à la demande du BET structure, l'étude a été menée dans les objectifs suivants :

- définir la constitution du sous-sol (niveau et nature des différents horizons) au droit des zones investiguées ;
- reconnaître les conditions de fondations des soutènements/emmarchements/mur en maçonnerie → zones exemptes de réseaux et accessibles ;
- reconnaître les conditions de ferrailage du mur en béton sur sa face aval ;
- vérifier la stabilité externe des soutènements sous Géomur® ou équivalent ;
- déterminer l'origine géotechnique des désordres ;
- déterminer le potentiel d'évolution des désordres ;
- déterminer, le cas échéant, une première approche des remèdes envisageables pour stabiliser/conforter les ouvrages ;
- indiquer les hypothèses à prendre en compte vis-à-vis des conditions sismiques du site.

A partir des définitions proposées par l'Union Syndicale Géotechnique (Norme NFP 94.500) cette étude peut être classée dans les missions du type G5 limitée au diagnostic du mur de soutènement béton, de l'emmarchement et du mur en maçonnerie de pierres.

Notons que certains aspects non prévus d'être étudiés dans le cadre de cette étude pourront l'être à l'occasion d'une étude complémentaire. Il s'agit notamment :

- du diagnostic géotechnique des ouvrages en présence dans la zone d'influence géotechnique,
- de la conception et du prédimensionnement des éventuels travaux de confortement/stabilisation des ouvrages nécessaires (à étudier dans le cadre d'une mission G2 AVP + G2 PRO),
- des missions G3 et G4.

### **Rappel de la norme NF P 94.500 :**

#### **10 Diagnostic géotechnique (G5)**

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative et dans le cadre défini par le client, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique réalisable à tous les stades d'avancement d'un projet ou pour un ouvrage existant avec ou sans désordre, précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

Cette mission ne concerne strictement que l'ouvrage ou la partie d'ouvrage géotechnique spécifiée sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

Les études de conception G2 AVP + G2 PRO du projet de confortement/stabilisation de l'ouvrage ainsi que le suivi géotechnique G3 et la supervision géotechnique G4 devront être impérativement réalisés conformément à la norme.

Notons également que certains aspects du sinistre liés notamment à des problèmes éventuels de structure ne font l'objet que de remarques partielles et nécessiteront, le cas échéant, l'intervention d'un BET.

#### **1.3 - Documents fournis**

- Plans des différents niveaux (plan des différentes salles)
- Extraits de plans DCE de janvier 2003 au 1/50<sup>ème</sup> (photographies des plans réalisées sur place lors de notre intervention)
- Photographies des zones/éléments concernés par la mission

Aucun autre document ne nous a été communiqué dans le cadre de la présente étude.

#### **1.4 - Normes et règles de pré-dimensionnement utilisées**

- Guide Sécheresse
- Norme NFP 94.500 de novembre 2013 : Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications
- D.T.U. 13.3 dallages
- Eurocode 7 – Calcul Géotechnique – Norme NFP 94.251-1
- D.T.U. 13.2 fondations profondes et Eurocode 7 – Norme NFP 94.262
- D.T.U. 13.12 fondations superficielles et Eurocode 7 – Norme NFP 94.261
- Normes AFNOR concernant les différents essais de reconnaissance et en laboratoire (essais pressiométriques NFP 94-110-1 ; sondages au pénétromètre dynamique type B NFP 94-115)

## **2 – CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES, DESORDRES, CONTEXTE**

### **2.1 - Description des ouvrages**

Les ouvrages étudiés correspondent à :

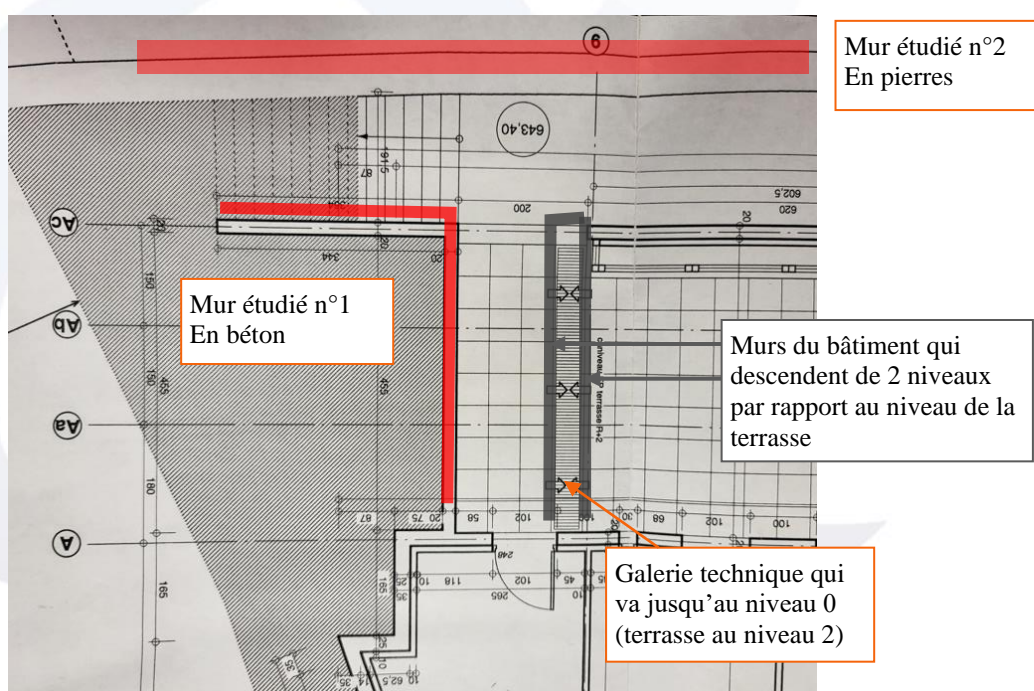
- un mur de soutènement en béton armé d'environ 3.5 m de hauteur totale pour 2.3 m de hauteur soutenue situé le long de la rue Lashermes. Ce mur présente une forme en « L » avec un retour au Nord,
- un mur en maçonnerie de pierres ancien situé le long de la limite de propriété Nord du site d'environ 1.8 m de hauteur côté IUT,
- un emmarchement en béton situé entre le bâtiment de l'IUT et le mur en pierres maçonné étudié.



Le mur béton et l'emmarchement datent a priori de 2004 (extension IUT) et le mur en pierres maçonnées de plus de 80 ans.



Notons que le bâtiment de l'IUT adjacent aux ouvrages étudiés comporte 2 niveaux enterrés par rapport au niveau de la terrasse située en pied du mur béton armé (n°1) → opérations de déblais/remblais dans la zone d'influence des ouvrages étudiés lors de la construction des bâtiments de l'IUT.



*Extrait d'un plan DCE de la zone étudiée*

## 2.2 - Désordres

Les désordres se caractérisent à ce jour principalement sous la forme :

- Pour le mur n°1 en béton armé :
  - d'un basculement d'environ 4.5 cm vers l'arrière et légèrement vers le Nord,
  - d'une fissuration et d'une ouverture importante à la jonction avec le bâtiment adjacent. Notons que l'ouverture est maximale en tête du mur et que la fissure est quasi-nulle en pied de mur ;
- Pour le mur n°2 en maçonnerie de pierres :
  - d'un basculement très important du mur en direction du Nord (de plus de 10°),
  - de fissurations importantes ;
- Pour l'emmarchement :
  - de fissurations notables,
  - d'affaissements.

D'après les informations fournies sur place, les premiers désordres seraient apparus il y a 2/3 ans et auraient été constatés à la rentrée suivant les vacances d'été.

Une aggravation progressive serait observée depuis.

Nota : seules la nature et la situation des désordres actuels peuvent être confirmées par ALPHA BTP. Les dates d'apparition de ces désordres et leur caractère évolutif sont donnés à titre indicatif à partir des déclarations des propriétaires ou des occupants ou des observations.

2.3 - Description du site



On notera :

Végétation hygrophile à faible distance des constructions	Arbre de moyenne tige à l’amont du mur en béton armé, arbres et haie sur la propriété voisine au Nord contre le mur en pierres
Abords des constructions	Amont du mur en béton armé, zone Est de l’emmarchement et zone au Nord du mur en pierres non revêtues (végétalisées)
Revêtements étanches en périphérie des ouvrages	Aucun hormis bâtiments de l’IUT adjacents
Topographie	Pente naturelle du site de l’ordre de 15 % en direction de l’Est
Ouvrages établis en déblai/remblai	<b>Opérations de déblais/remblais probables dans la zone d’influence des ouvrages étudiés lors de la construction des bâtiments de l’IUT</b>

Eléments drainants en périphérie des ouvrages (drains éventuels, tranchées de réseaux, fosse septique, ...)	Système de drainage a priori à l'arrière du mur en béton armé, système de drainage très probable également le long des voiles périphériques enterrés aux bâtiments de l'IUT → dans la zone d'influence des ouvrages diagnostiqués Tranchées de réseaux possible également
Urbanisation importante	Oui
Indices d'instabilité du site (végétation, basculement murs, ...)	Aucun hormis ceux concernant les ouvrages concernés par la mission
Possible/probable mauvaise récupération et évacuation des EP et EU	=> diagnostic exhaustif des réseaux à réaliser dans le cadre de l'expertise et avant tous travaux

## 2.4 - Géologie locale

Au droit de la parcelle et en référence à la carte géologique au 1/50000è du secteur, le substratum est constitué de marnes oligocènes. Il est surmonté par des altérations de même origine, par des colluvions argileuses, par de possibles alluvions et par de probables remblais liés à la construction des différents ouvrages du site.



Notons les risques spécifiques liés :

- à la **sensibilité hydrique des sols argileux** superficiels potentiellement présents,
- à la **présence de remblais anthropiques liés au contexte « urbain » de l'ouvrage et aux opérations de terrassement qui ont dû être nécessaires/réalisées lors de la construction des bâtiments de l'IUT voisins/adjacents**,
- à la possible hétérogénéité lithologique du site compte tenu du contexte colluvial et alluvial présumé,
- aux risques d'instabilité de pente associés à la topographie marquée du secteur et à la nature colluviale des formations superficielles  $\Rightarrow$  phénomènes de solifluxion/reptation notamment,
- à la présence possible de fouilles/tranchées remblayées de façon précaire et pouvant générer des risques de tassements différentiels sous dallage et de risques d'approfondissement/disparition des niveaux porteurs,
- à la présence possible de zones ayant fait l'objet de **fouilles archéologiques**. Ces fouilles correspondent à des zones non répertoriées pouvant présenter des **surépaisseurs de formations remaniées/remblayées** de faibles caractéristiques mécaniques  $\Rightarrow$  le cas échéant un plan détaillé de localisation des fouilles archéologiques devra être fourni pour une meilleure appréhension des risques liés aux excavations (surprofondeurs de fondations, éboulement, ...),
- à la présence éventuelle de polluants naturels ou anthropiques dans les sols et/ou dans la nappe  $\Rightarrow$  diagnostic hors mission à prévoir le cas échéant,
- ...




## 2.5 - Situation de la parcelle vis-à-vis des risques naturels



Argiles - sismique - inondation - radon - cavités - mouvements de terrain

Ci-dessous un tableau synthétique des risques naturels recensés au niveau de la parcelle des ouvrages étudiés (informations disponibles sur [georisque.gouv.fr](http://georisque.gouv.fr)) :

Type de risque	Niveau de risque
 Retrait/gonflement des sols argileux	Aléas <b>fort</b> Nombre d'arrêtés cat-nat « sécheresse » pris sur la commune : <b>5</b> <b>Risques élevés</b>
 Séismes	Zone 2 – Aléa faible Classification du sol : « <b>B</b> » Paramètre S : <b>1.35</b> (à valider/préciser en G2 AVP) Catégorie des ouvrages : <b>II à I</b> Coefficient d'importance : <b>1.0 à 0.8</b> Accélération du sol : <b>agr = 0.7 m/s²</b>
 Inondation	Concerné Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) : <b>oui</b> Plan de prévention du risque inondation (PPRn) : <b>oui</b> Parcelle hors zone de prescription => cf. services préfectoraux
 Radon	Potentiel de cat 1 Potentiel <b>faible</b> <b>Cf. annexe Recommandations DGS et CSTB</b>
 Cavités souterraines	En zone de risque Plan de prévention : <b>oui</b> Présence de cavité dans un rayon de 500 m : oui (carrière au Nord)
 Mouvements de terrain	<b>En zone de risque</b> Plan de prévention : <b>oui</b> Présence de mouvements de terrain dans un rayon de 500 m : <b>non</b>

## 2.6 - Avoisinants

Les avoisinants suivants ont été recensés :

- Bâtiments : **Bâtiments de l'IUT adjacents aux ouvrages étudiés ou à proximité immédiate en zone d'influence géotechnique ;**
- Voirie : Rue Lasherme à l'Ouest, proche du mur de soutènement béton, **en zone d'influence géotechnique ;**
- Réseaux : Associés aux existants et aux voiries **en zone d'influence géotechnique ;**
- Ouvrages de soutènement : Murs étudiés, murs des bâtiments de l'IUT travaillant en soutènement en zone d'influence géotechnique.

## 3 – PROGRAMME D'INVESTIGATIONS

Les investigations suivantes ont été effectuées (15/11/2023) :

### 3.1 - Reconnaissances in situ

- 1 sondage pressiométrique à la tarière (SP1) pour :
  - l'identification des formations en profondeur,
  - la réalisation d'essais in situ (détermination des pressions limites et modules pressiométriques),
  - l'étalonnage des sondages pénétrométriques,
  - **l'installation d'un piézomètre,**
  - le prélèvement d'échantillons pour l'établissement d'un profil de teneur en eau.

Nota : Ce forage a été réalisé avec enregistrement des paramètres de foration (vitesse d'avancement, couple, pression sur l'outil, ...).

- 5 sondages au pénétromètre dynamique (P1, P1 bis, P1 ter et P2, P2bis) pour :
  - l'évaluation des caractéristiques mécaniques relatives des différents horizons,
  - la vérification de l'homogénéité du site,
  - la détermination des dimensions de la semelle arrière du mur de soutènement en béton armé (sondages P1 à P1 ter réalisés progressivement de plus en plus loin de l'arrière du mur).
  
- 3 sondages de reconnaissance de fondation à la pelle + tarière à mains (PU1 et PU2) ou au perforateur (Perfo3/PU3) pour :
  - l'identification des formations superficielles,
  - la recherche de la géométrie des fondations existantes,
  - le prélèvement d'échantillons pour essais de laboratoire.
  
- L'auscultation RADAR du mur béton sur sa face aval pour :
  - La détermination de la position et de l'enrobage des armatures,
  - L'implantation des micro-sondages au perforateur.
  
- La réalisation de micro-sondages au perforateur pour :
  - La confirmation de la position des armatures détectées au RADAR,
  - La détermination du diamètre et de la nature des armatures détectées au RADAR,
  - L'étalonnage des appareils de mesure,
  - La détermination de l'épaisseur de certains éléments.

### **3.2 - Essais en laboratoire**

- Mesures de teneur en eau des échantillons remaniés prélevés (notamment pour l'établissement d'un profil hydrique) ;
- 2 identifications pour la détermination de la sensibilité à l'eau des formations.



## 4 – RESULTATS DES INVESTIGATIONS

### 4.1 - Généralités

On trouvera en annexe les résultats des investigations réalisées, soit :

- Sondage pressiométrique :
  - Coupe du forage
  - Pression limite nette (Pl\*) en MPa
  - Pression de fluage nette (Pf\*) en MPa
  - Module pressiométrique (Ep) en MPa
- Sondages au pénétromètre dynamique :
  - Résistance de pointe dynamique calculée selon la formule des hollandais qd en MPa en fonction de la profondeur (calcul hors norme)
- Sondages à la pelle/tarière à mains et sondages destructifs sur fondations :
  - Coupes des sondages/schéma de synthèse de la géométrie des ouvrages
- Les résultats des essais de laboratoire avec :
  - Les teneurs en eau données sous forme d'un profil hydrique et de valeurs seules
  - Les résultats des essais au bleu de méthylène : valeurs au bleu et passants à 80 µm

### 4.2 - Sondages et essais in situ

#### 4.2.1- Synthèse géotechnique

L'examen de l'ensemble des résultats nous permet de dresser la coupe schématique suivante :

- *Formation « 1 » - Remblais divers (formations graveleuses drainantes, ...), argiles plus ou moins marneuses remaniées et autres formations argilo-marneuses **peu fermes à molles***
- *Formation « 2 » - Argiles marneuses beige ou beige-vert a priori en place, moyennement fermes*
- *Formation « 3 » - Marnes argileuses beiges fermes*
- *Formation « 4 » - Marnes compactes à raides*

Le niveau du toit des formations relevé au droit des principaux sondages est repris ci-après :

Sondages		SP1/P1/P1bis	P1ter	P2/P2 bis
Altitudes des sondages NI (*)		102.3	102.3	98.4
Formation N°2	Prof/TN	4.0	≈ 3.0	≈ 3.9
	NI	98.3	≈ 99.3	≈ 94.5
Formation N°3	Prof/TN	9.0	≈ 9.6	≈ 8.7
	NI	93.3	92.7	≈ 89.7
Formation N°4	Prof/TN	13.8	> 9.8	> 8.8
	NI	88.5	< 92.5	< 89.6

(\*) Les altitudes des sondages ont été repérées en altimétrie par rapport à une cote 100.00 NI correspondant au seuil d'une porte d'entrée (vitrée) située au niveau de la terrasse en pied du mur béton, au niveau 2 du bâtiment de l'IUT.

#### 4.2.2 - Synthèse géomécanique

L'interprétation des différentes valeurs mesurées sur le site nous permet de dresser le tableau de synthèse ci-dessous :

Couche	Limite inférieure de la couche (m)	Résistance de pointe dynamique qd (MPa)	Pression limite (MPa)	Module pressiométrique (MPa)	Coefficient Rhéologique $\alpha$
Formation « 1 »	≈ 3.0/4.0	1 à 8	0.36 à 0.57	4.1 à 8.3	2/3
Formation « 2 »	≈ 8.7/9.6	2 à 20	0.90 à 1.82	12.4 à 30.3	2/3
Formation « 3 »	13.8	Non mesurée	3.13 à > 3.50	49.0 à 82.4	2/3
Formation « 4 »	> 15.0	Non mesurée	> 3.50 (*)	285.9	2/3

(\*) Une seule valeur potentiellement non représentative de l'ensemble.

On note :

- Une bonne homogénéité spatiale des formations en nature et caractéristiques mécaniques ;
- **La présence de formations remaniées/remblayées peu fermes jusqu'à 3.0/4.0 m de profondeur c'est-à-dire plus bas que le niveau d'ancrage des ouvrages étudiés → Mur 1 et emmarchement fondés dans des formations remaniées/remblayées ;**
- Les caractéristiques géotechniques moyennes des argiles marneuses en place sous-jacentes (formation « 2 ») ;
- La présence du substratum marneux altéré mais ferme à partir de 8.7/9.6 m/Terrain actuel (formation « 3 ») puis du substratum compact à raide au-delà de 13.8 m/Terrain actuel (formation « 4 »).

Rappelons que les sondages destructifs en tarière ne permettent qu'une précision approximative d'environ 0.5/1.0 m sur les coupes fournies liée au délai de remontée des cuttings en surface.

Par ailleurs, les sondages sont des relevés ponctuels et de ce fait, des variations latérales de lithologie sont possibles (anomalie localisée non décelée). Seule la multiplication des points d'investigation pourrait permettre de limiter ce risque sans pouvoir l'annihiler totalement.

ALPHA BTP se tient à disposition pour réaliser cette prestation complémentaire.

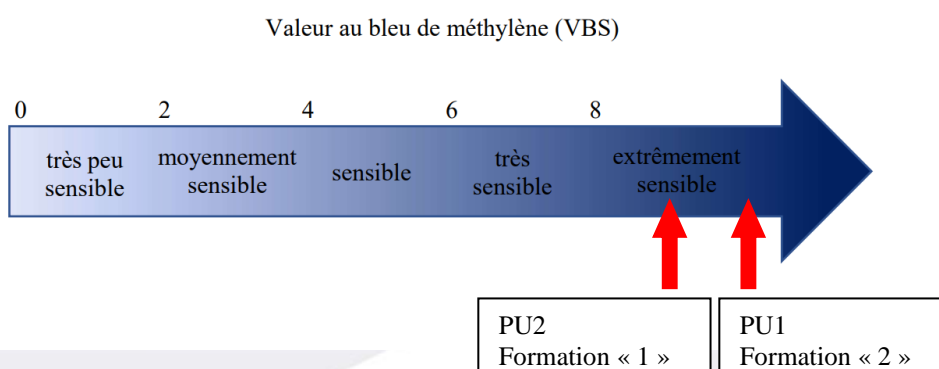
### 4.3 - Essais de laboratoire

#### Sensibilité à l'eau :

Deux identifications simplifiées ont été menées sur les formations superficielles présentes sous fondation en PU1 et PU2 (formation « 1 » et « 2 »). Les résultats sont repris dans le tableau ci-dessous :

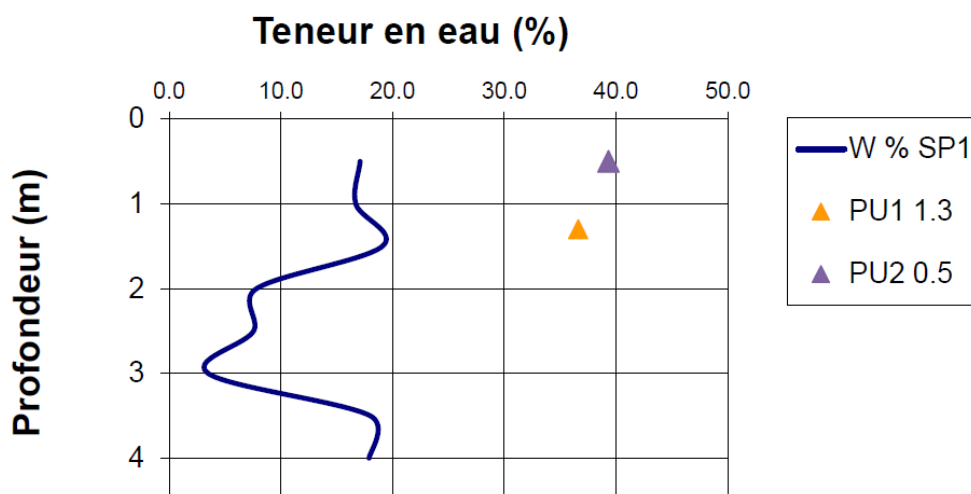
Sondage	PU1 (mur en pierres)	PU2 (emmarchement)
Prof/TN	Sous fondation à 1.3 m	Sous « fondation » à 0.5 m
Nature	Argiles marneuses en place (formation « 2 »)	Argiles marneuses probablement remaniées (formation « 1 »)
Teneur en eau	36.6 %	39.3 %
Passant à 80 µm (fines)	92 %	83 %
Valeur au bleu (VBS)	<b>11.3</b>	<b>9.3</b>

Les **valeurs au bleu de méthylène de 11.3 et 9.3** et les **pourcentages de passant à 80 µm de 92 % et 83 %** sont caractéristiques **de sols très argileux extrêmement sensibles** (selon classification du Guide Sécheresse et selon le Guide technique IFSTTAR). Ils présentent par conséquent des risques très importants de variations volumétriques sous déséquilibres hydriques => phénomène de retrait et/ou de gonflement d'amplitude importante.



**Profil hydrique :** le profil de teneur en eau réalisé à partir des prélèvements du sondage SP1 ainsi que les teneurs en eau mesurées en PU1 sous les fondations du mur en pierres et en PU2 sous fondation de l’emmarchement mettent en évidence :

- Des teneurs en eau sous fondations en PU1 et PU2 élevées, cohérentes avec la nature argileuse des sols ;
- Un profil en SP1 avec des teneurs en eau nettement plus faibles que celles mesurées en PU1 et PU2 et contrastées selon la profondeur → assèchement généralisé possible ;
- Des teneurs en eau de l’ordre de 15/20 % dans les remblais argileux ;
- Des teneurs en eau faibles, d’environ 8 % dans les graviers drainants à l’arrière du mur béton ;
- Des teneurs faibles à très faibles au niveau des remblais (a priori argileux) présents à 2.5/3.0 m/Terrain actuel c’est-à-dire au niveau d’ancrage du mur béton → assèchement en pied de mur ?



En résumé, les variations de teneur en eau enregistrées semblent mettre en évidence un assèchement « général » en SP1 ainsi qu'un possible assèchement au niveau des formations d'ancrage du mur béton n°1.

#### 4.4 - Hydrogéologie

Aucune venue d'eau n'a été relevée jusqu'aux profondeurs reconnues.

Notons que des circulations d'eau sont cependant possibles, notamment en période de précipitations.

Seul un suivi piézométrique sur une période minimum de 1 an permettrait de déterminer la présence d'une éventuelle nappe et l'amplitude de ses variations → un piézomètre a été installé à cet effet au sein du forage du sondage SP1.

#### 4.5 - Conditions de fondations et géométrie des ouvrages

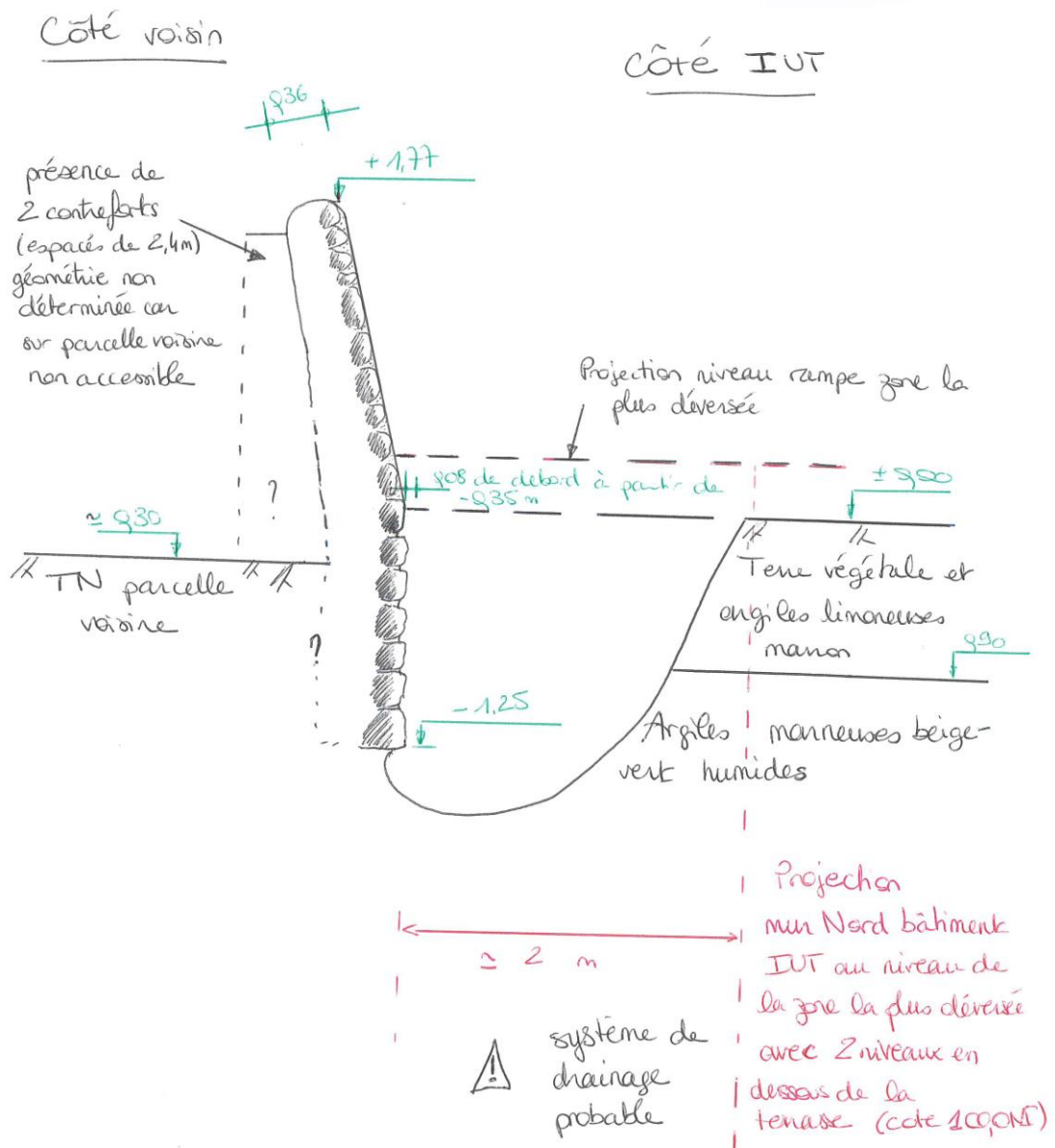
Les résultats des sondages à la pelle/perforateur/pénétromètre permettent de dresser les profils schématiques suivants :

##### SONDAGE PU1 – Mur n°2 en pierres maçonnées

- ✚ Hauteur : 1.8 m environ par rapport au côté sud/IUT, 2.1 m environ côté Nord, soit une hauteur soutenue d'environ 0.3 m
- ✚ Epaisseur : 0.36 m en tête
- ✚ Type de fondation : absence de fondation au sens strict, le mur maçonné fait fondation
- ✚ Soubassement : maçonnerie de pierres
- ✚ Encastrement fondations/Terrain côté Sud. : -1.25 m (97.35 NI) => garde au gel assurée
- ✚ Débord fondations : 0.08 m à partir de 0.35 m de profondeur soit une largeur d'environ 0.5 m en base
- ✚ Formation d'ancrage : Argiles marneuses beige-vert humides de la formation « 2 »

Observations :

- Présence de deux contreforts visiblement anciens espacés de 2.4 m sur la face Nord du Mur, côté voisin. La géométrie de ces contreforts n'a pas pu être déterminée en l'absence d'accès à la parcelle voisine.
- L'un des bâtiments de l'IUT se situe à environ 2 m seulement au Sud du mur en pierres et comporte 2 niveaux enterrés. Le bas du bâtiment (et donc des déblais effectués pour sa construction) se situe donc à une altitude a priori  $\leq 95.0$  NI pour une base de fondation du mur en pierres à 97.3 NI ➔ **angle d'interaction entre fondations de  $60^\circ$  soit plus de  $2B/3H$  entre les fondations de ces ouvrages.**



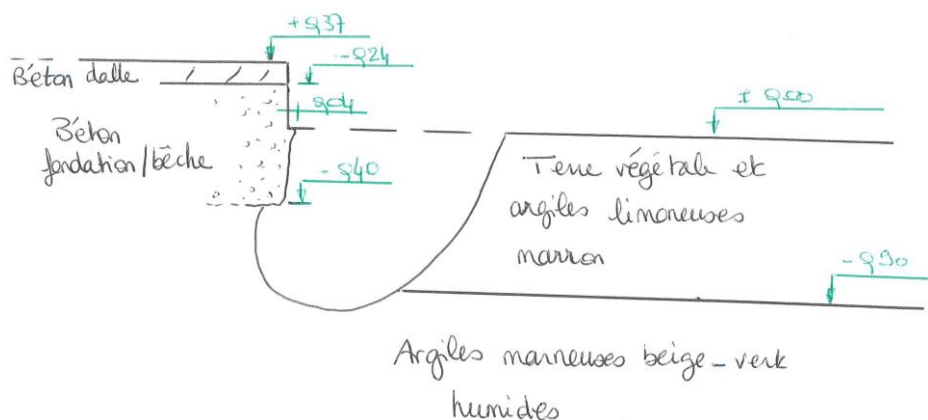




Photographies des sondages de reconnaissance de fondation PU1 et PU2 effectués au niveau du mur n°2 en maçonnerie de pierres et au niveau de l'emmarchement

### SONDAGE PU2 - Emmarchement

- ✚ Description : dalle béton sur terre-plein d'environ 13 cm d'épaisseur
- ✚ Type de fondation : sorte de bêche en bout/nez d'emmarchement (côté Est)
- ✚ Encastrement « fondations »/TN ext. : **-0.40 m (98.2 NI) => garde au gel non assurée**
- ✚ Epaisseur fondations : 0.40 m
- ✚ Débord fondations : néant en base
- ✚ Formation d'ancrage : Terre végétale et argiles limoneuses marron **remaniées peu fermes** (formation « 1 »)





## SONDAGES PU3/Perfo et SP1/P1/P1bis/P1ter – Mur n°1 en béton armé

- ✚ Hauteur totale : 3.5 m environ par rapport à la terrasse du niveau 2
- ✚ Hauteur soutenue : **environ 2.3 m**
- ✚ Epaisseur : **0.25/0.26 m** sur toute sa hauteur
- ✚ Type de fondation : fondation a priori filante en béton armé
- ✚ Encastrement fondations/Terrain aval (terrasse). : -0.7/0.8 m soit **99.2 NI** => garde au gel assurée
- ✚ Débord fondation arrière (d'après résultats sondages pénétrométriques réalisés à plusieurs distances du voile du mur) : entre 1.0 m et 1.3 m ➔ **1.15 m considéré ensuite en hypothèse**
- ✚ Débord semelle avant : terrasse béton du niveau 2 du bâtiment de l'IUT et reste du bâtiment construit dans la continuité du pied du mur visiblement
- ✚ Formation d'ancrage : **Remblais argileux de la formation « 1 »**
- ✚ Observations :
  - Une partie du bâtiment de l'IUT se situe à  $\approx 1.3$  m seulement à l'Est du pied du mur de soutènement, avec 2 niveaux enterrés par rapport au niveau de la terrasse/au pied du mur. La base de fondation du mur de soutènement se situe (d'après les résultats des sondages effectués) à environ 99.2 NI alors que le bas du niveau 0 du bâtiment de l'IUT se situe à une altitude  $\leq 95.0$  NI ➔ bâtiment directement dans la zone d'influence du mur.
  - La terrasse béton présente en pied du mur (et correspondant au plancher haut du Niveau 1 du bâtiment de l'IUT) semble construite en continuité du mur ➔ le bâtiment enterré et la terrasse constituent une butée importante en pied de mur.

Remarque : La vérification des caractéristiques de la dalle de la terrasse située en pied du mur (épaisseur, continuité, liaison avec le mur...) nécessiterait la réalisation de sondages complémentaires. Ces sondages impliqueraient toutefois de détériorer l'étanchéité de la terrasse et nécessiteraient donc une reprise par une entreprise spécialisée par la suite.

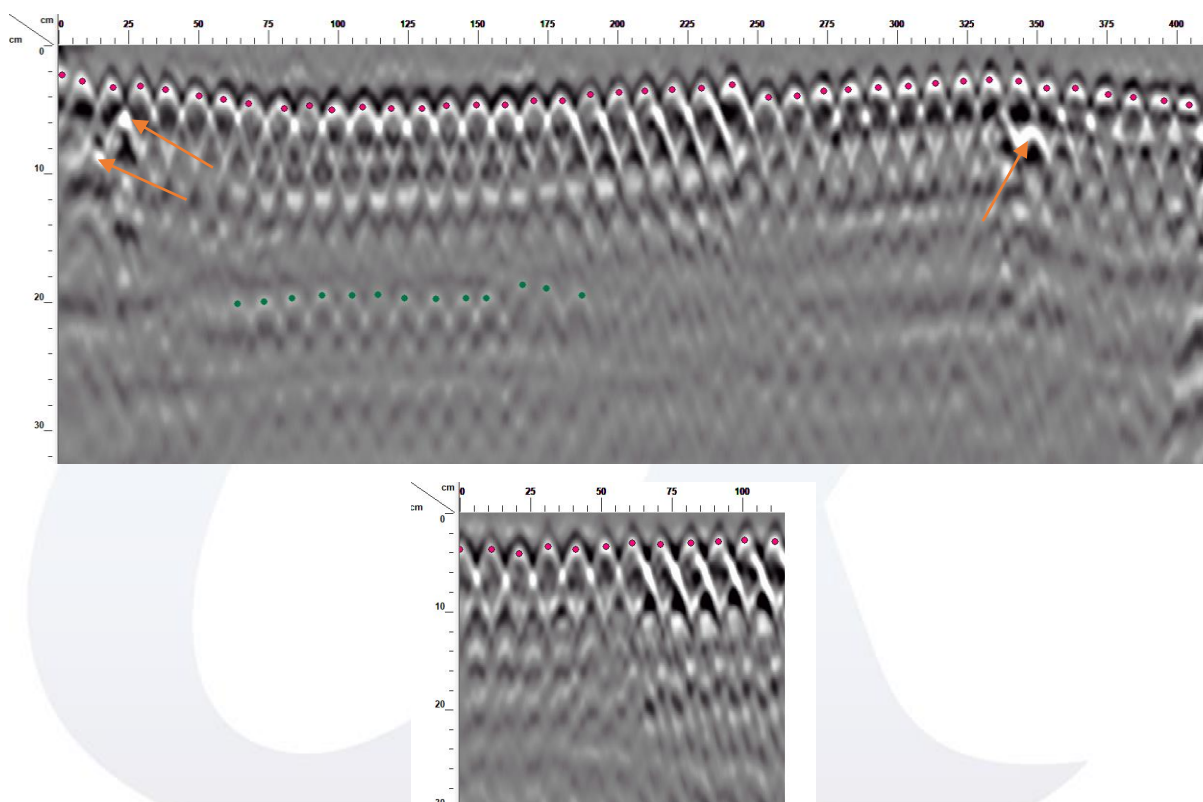
Il pourra être nécessaire de réaliser d'autres sondages dans d'autres zones pour confirmer ou non les conditions de fondations mises en évidence.



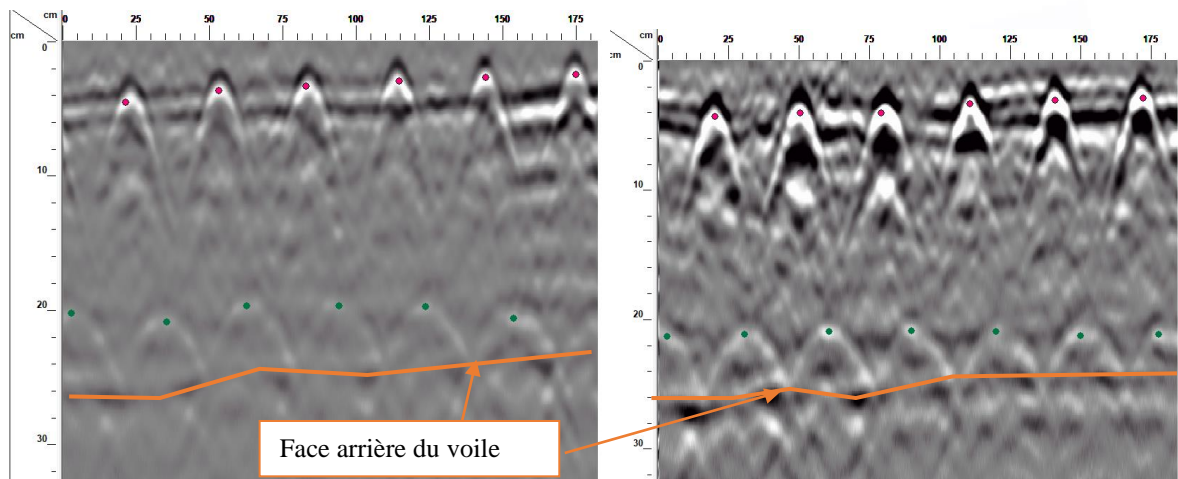
#### 4.6 - Conditions de ferrailage du mur béton armé n°1/ résultats des investigations RADAR + perforateur

Une auscultation RADAR du voile béton du mur a été réalisée selon sa face aval. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Profils réalisés horizontalement → recherche de signaux correspondant aux armatures verticales :
  - Armatures espacées régulièrement, tous les 10 cm avec des enrobages de l'ordre de 2.5/6.0 cm/Face aval (points roses) ;
  - Deuxième lit d'armature probable avec une maille similaire de 10 cm et des enrobages de l'ordre de 18/20 cm/face aval (points verts) → signaux difficilement discernables compte tenu de la densité d'armatures du premier lit ;
  - Autres armatures a priori présentes ponctuellement (renforts ?), pointées en orange.



- Profils réalisés verticalement → recherche de signaux correspondant aux armatures horizontales
  - Deux lits d'armatures détectés, l'un avec des enrobages de l'ordre de 1.5/4.0 cm/face avant et le second avec des enrobages d'environ 19/21 cm/Face aval ;
  - Armatures espacées régulièrement tous les 30 cm avec des enrobages sur les deux lits d'armatures.



Nota : Des résultats similaires ont été obtenus au niveau du retour Nord du Mur, le long de l'escalier.

Un sondage au perforateur a ensuite été réalisé au niveau d'une intersection d'armatures et a permis de relever les informations suivantes :





Remarques :

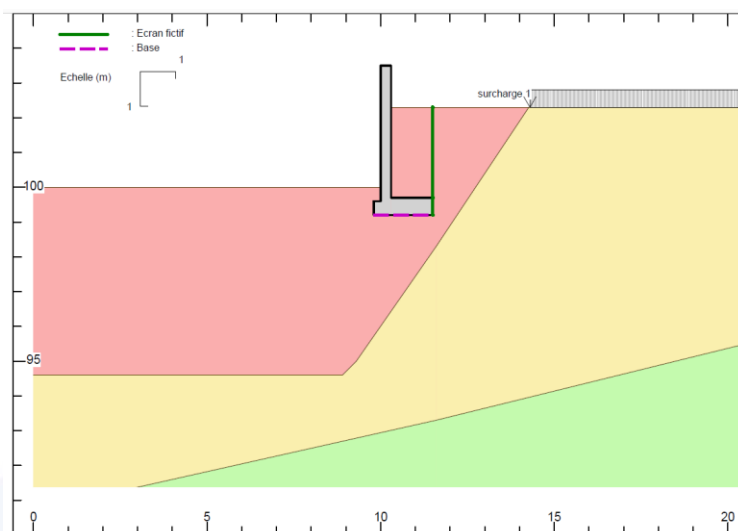
- *La cohésion entre les granulats et la pate de ciment du béton semble médiocre au niveau de la jonction entre le mur et le bâtiment de l'IUT adjacent au Sud, au niveau de la fissure.*
- *Les armatures horizontales ont été cisaillées à la jonction Sud du mur de soutènement avec le bâtiment de l'IUT.*



## 5 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT LE MUR N°1 EN BETON ARME

### 5.1 - Vis à vis de la « consolidation des sols sous charges » et/ou des « mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique » et/ou de la « stabilité géométrique » de l'ouvrage

Une modélisation du mur de soutènement actuel a été réalisée grâce au logiciel Géomur® afin de vérifier ses conditions de stabilité. Pour ce faire, il a été considéré une coupe type au droit des sondages PU3/P1/P1bis/P1ter/SP1 (altitudes des différentes formations données au paragraphe 4.1) et avec la géométrie décrite au paragraphe 4.5.



Les hypothèses de sols considérées sont les suivantes :

Formation	Cohésion $C'$ (kPa)	Angle de frottement $\varphi'$ (°)	Poids spécifique $\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
« 1 » Remblais peu fermes	0	22	18
« 2 » Argiles marneuses moyennement fermes	3	22	18
« 3 » Marnes argileuses	10	25	18

*Nota : Formation « 4 » trop profonde pour intervenir dans la stabilité du mur.*

Par ailleurs :

- La circulation/le stationnement à l'arrière du mur de soutènement a été modélisée par une surcharge de 10 kPa, éloignée d'environ 3/4 m de l'arrière du mur ;
- Aucun niveau d'eau n'a été pris en compte => absence de poussée hydrostatique.

#### Résultats :

La modélisation a été menée en deux temps.

En première approche le mur a été modélisé « seul », sans prendre en compte l'influence du bâtiment de l'IUT situé en pied du mur, directement dans sa zone d'influence.

#### **Les facteurs de sécurité partiels ont été fixés à 1.**

L'équilibre est atteint lors que  $F_s = 1$  et la stabilité à long terme est assurée si  $F_s > 1.5$  au glissement et au renversement et  $F_s > 3.0$  vis-à-vis du poinçonnement.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Facteurs de sécurité			Stabilité externe
Glissement	Renversement	Poinçonnement	
1.33	2.93	2.45	Non assurée au poinçonnement et au glissement

Avec cette approche, la modélisation montre que la stabilité du mur n'est pas assurée au poinçonnement et au glissement.

Néanmoins, ces résultats ne sont pas cohérents avec le fonctionnement réel global du mur. En effet, compte tenu de la présence du bâtiment de l'IUT enterré de 2 niveaux et de la terrasse associée le reliant au pied du mur de soutènement, il paraît judicieux de considérer que tout glissement du mur est impossible. Le mur est bloqué en pied par la terrasse et le bâtiment de l'IUT qui agissent comme une butée de pied « infinie ».

De ce fait, une seconde modélisation du mur a été réalisée en considérant une butée très élevée en pied du mur (horizontale et orientée vers l'amont) afin d'approcher du fonctionnement réel de l'ensemble.

Avec cette configuration la répartition des efforts est modifiée et la stabilité du mur est assurée au glissement, au renversement et au poinçonnement avec des coefficients unitaires. Si l'on considère les règles de calculs et coefficients des Eurocodes, seule la stabilité au poinçonnement n'est pas assurée, avec un poinçonnement de la partie arrière de la semelle du mur.

Ces résultats semblent cohérents avec les désordres observés. En effet, le mur a basculé vers l'amont (avec 4.5 cm de recul en tête) et il n'y a quasiment pas eu de mouvement en base (quasiment pas de fissure en pied au niveau de la jonction avec le bâtiment). Par ailleurs, le mur étant ancré dans des formations remaniées lors de la construction du bâtiment aval de l'IUT, **un poinçonnement ou un sous-dimensionnement vis-à-vis des caractéristiques géomécanique des sols d'ancrage paraît probable/cohérent.**

En somme, bien qu'il serait nécessaire d'affiner l'analyse de la stabilité du mur après que le BET ait fourni une estimation de la valeur de la butée pouvant être considérée, **les résultats de l'analyse semblent indiquer que la stabilité géométrique du mur est assurée, hormis éventuellement au poinçonnement en partie arrière de la semelle du mur aux Eurocodes.**

Dans un tel contexte, les facteurs « **consolidation des sols sous charges** » et/ou « **mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique** » et/ou « **précarité du système de fondation** » / « **sous-dimensionnement vis-à-vis de la stabilité géométrique** » peuvent être retenus comme facteurs **actifs** sur une fragilisation initiale de l'ouvrage et/ou sur les dommages actuels.

Compte tenu du caractère récent et de la période très spécifique d'apparition et d'évolution des désordres (apparition des désordres ces 2/3 dernières années durant la période estivale), **ces facteurs ne sont probablement pas les facteurs déterminants sur les désordres actuels.**



## 5.2 - Vis à vis de la dessiccation/sensibilité à l'eau des sols

Les essais en laboratoire ont permis de confirmer le caractère **très argileux extrêmement sensible** (VBS = 9.3 et 11.3) des sols d'assise de fondations. Le retrait des formations, dans le cas d'un potentiel déficit de teneur en eau (a priori mis en évidence à l'arrière du mur en sondage), **a vraisemblablement pu conduire à des tassements d'amplitude importante des sols d'ancrage des fondations.**

Dans ce cadre, le **facteur sensibilité à l'eau des sols** peut être retenu comme **facteur actif voire déterminant** ayant probablement participé aux dommages récents affectant l'ouvrage et aux éventuelles évolutions.

Dans le cas **d'une réelle concordance entre l'apparition de tout ou partie des désordres et/ou leur évolution** et les différents épisodes de sécheresse, le déficit en eau des sols lié à la sécheresse peut être considéré comme un des facteurs actifs sur les tassements différentiels ayant conduit à **l'apparition des désordres au niveau du mur et/ou à son évolution.** Ce déficit peut intéresser les couches superficielles (évaporation, action de la végétation, ...) et éventuellement plus profondes (des circulations anciennes dans des interfaces plus perméables se seraient interrompues à la faveur des épisodes de sécheresse, conduisant, directement ou indirectement, à des dessiccations complémentaires).

Concernant la dessiccation et plus généralement les effets liés à la sensibilité à l'eau des sols, il faut également évoquer les **facteurs autres que ceux directement liés à la sécheresse** exceptionnelle, à savoir :

- **végétation hygrophile importante à proximité de l'ouvrage sinistré → arbre de moyenne tige directement à l'arrière du mur,**
- **éléments drainants** proches de la construction et des fondations favorisant et accélérant les **variations de teneur en eau → système de drainage du mur et système de drainage des niveaux enterrés des bâtiments de l'IUT adjacents ou directement voisins => dessiccation importante des sols**
- absence de protection à l'amont de l'ouvrage vis-à-vis de l'évaporation ,
- éventuelles fuites des réseaux EU et EP implantés le long des fondations de l'ouvrage ⇒ repérage et vérification de l'état des réseaux impératif avant tous travaux et dans le cadre du diagnostic
- urbanisation de tout le secteur, favorisant notamment le déficit d'infiltration,

- terrain en pente, favorisant le drainage gravitaire aval et les suralimentations épisodiques amont,
- **anomalies éventuelles** à la construction du type :
  - **mauvais traitement des fonds de fouilles** (éboulements, ...),
  - **saturation des fonds de fouilles due à des épisodes pluvieux entre terrassements et bétonnages** (formations en état de gonflement),
  - **saturation locale des fonds de fouille due à une mauvaise collecte des EP,**
  - **dessiccation des fonds de fouille avant bétonnage, ...**

### **5.3 - Vis à vis d'autres facteurs de désordres**

D'autres facteurs peuvent être considérés comme actifs sur les désordres observés :

- **absence apparent de joint de dilatation entre le mur et le bâtiment,**
- affaiblissement de la structure dû aux mouvements induits par la **consolidation initiale** (voir 5.1),
- manque de **rigidité** éventuel de la construction, **mouvements** intrinsèques éventuels de **structure** → cf. BET Structure.

## 6 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT L'EMMARCHEMENT

### 6.1 - Vis à vis de la « consolidation des sols sous charges » et/ou des « mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique »

#### Analyse des conditions de fondations de l'ouvrage :

Au droit du sondage PU2, les fondations sont ancrées dans des argiles limoneuses marron **remaniées/remblayées** de la formation N° 1 à une profondeur **de 0.4 m /Terrain actuel seulement ➔ hors gel vis-à-vis de la réglementation non assuré.**

De plus compte tenu de la présence du bâtiment adjacent de l'IUT comportant 2 niveaux enterrés par rapport au niveau de l'emmarchement, ce dernier repose vraisemblablement sur une épaisseur hétérogène et très importante côté Sud de formations remaniées/remblayées, plus ou moins mis en œuvre.

**Compte tenu des très mauvaises conditions de fondation/dallage de l'emmarchement (absence de mise hors gel, encastrement dans des formations remaniées et hétérogènes, ...), les tassements absolus et différentiels de consolidation ont pu atteindre localement des valeurs de l'ordre du centimètre ou davantage.** Ces tassements seraient cohérents vis à vis des désordres observés.

Compte tenu de l'ancienneté de la construction et du caractère très argileux des sols d'assise, le degré de consolidation sous charge n'a probablement pas encore atteint 100 %.

#### Synthèse

Les investigations réalisées ont permis de mettre en évidence un site au contexte géotechnique **relativement défavorable** vis-à-vis de l'ouvrage sinistré.

**Le système de fondation mis en œuvre, de type dallage sur terre-plein + bêche/fondation très superficielle en nez était particulièrement précaire et inadapté au contexte remanié du site.** Il a dû conduire à des tassements incompatibles avec la bonne tenue de l'ouvrage, y compris en l'absence de tout phénomène extérieur.

Cette solution de dallage sur terre-plein + bêche/fondation très superficielle en nez était **également particulièrement inadaptée au contexte argileux ➔** mouvements de retrait/gonflement.

Dans un tel contexte, les facteurs « **consolidation des sols sous charges** » et/ou « **mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique** » et/ou « **précarité du système de fondation** » peuvent être retenus comme facteurs actifs et **déterminants sur :**

- la fragilisation initiale de l'ouvrage,
- les dommages actuels.

## **6.2 - Vis à vis de la dessiccation/sensibilité à l'eau des sols**

Les essais en laboratoire ont permis de confirmer le caractère **très argileux extrêmement sensible** (VBS = 9.3 et 11.3) des sols d'assise de fondations et des dallages. Le retrait des formations, dans le cas d'un potentiel déficit de teneur en eau (non clairement mis en évidence au niveau de l'emmarchement), a vraisemblablement pu conduire à des tassements d'amplitude importante des sols d'ancrage des fondations et éventuellement des dallages.

Dans ce cadre, le **facteur sensibilité à l'eau des sols** peut être retenu comme **facteur actif** ayant éventuellement participé aux dommages récents affectant l'ouvrage et aux éventuelles évolutions.

Dans le cas **d'une réelle concordance entre l'apparition de tout ou partie des désordres et/ou leur évolution** et les différents épisodes de sécheresse, le déficit en eau des sols lié à la sécheresse peut être considéré comme un des facteurs actifs sur les tassements différentiels ayant conduit à **la fissuration de la structure et/ou à son évolution**. Ce déficit peut intéresser les couches superficielles (évaporation, action de la végétation, ...) et éventuellement plus profondes (des circulations anciennes dans des interfaces plus perméables se seraient interrompues à la faveur des épisodes de sécheresse, conduisant, directement ou indirectement, à des dessiccations complémentaires).

Concernant la dessiccation et plus généralement les effets liés à la sensibilité à l'eau des sols, il faut également évoquer les **facteurs autres que ceux directement liés à la sécheresse** exceptionnelle, à savoir :

- **dallage sur terre-plein « posé » sur les formations argileuses sensibles aux variations hydriques saisonnières normales ou exceptionnelles,**
- **très/trop faible encastrement des fondations par rapport aux sols extérieurs ne permettant pas une mise à l'abri vis-à-vis des variations hydriques saisonnières normales ou exceptionnelles,**
- **éléments drainants probables sous l'emmarchement** (système de drainage probablement mis en œuvre contre le voile Nord du bâtiment de l'IUT, sous l'emmarchement) **favorisant et accélérant les variations de teneur en eau,**
- absence de protection en périphérie de l'ouvrage vis-à-vis de l'évaporation → partie Est non revêtue,
- éventuelles fuites des réseaux EU et EP implantés le long des fondations de l'ouvrage ⇒ repérage et vérification de l'état des réseaux impératif avant tous travaux et dans le cadre de l'expertise,
- urbanisation de tout le secteur, favorisant notamment le déficit d'infiltration,
- terrain en pente, favorisant le drainage gravitaire aval et les suralimentations épisodiques amont,
- **anomalies éventuelles à la construction du type :**
  - **mauvais traitement des fonds de fouilles (éboulements, ...),**
  - **saturation des fonds de fouilles due à des épisodes pluvieux entre terrassements et bétonnages (formations en état de gonflement),**
  - **saturation locale des fonds de fouille due à une mauvaise collecte des EP,**
  - **dessiccation des fonds de fouille avant bétonnage**
  - ...

### 6.3 - Vis à vis d'autres facteurs de désordres

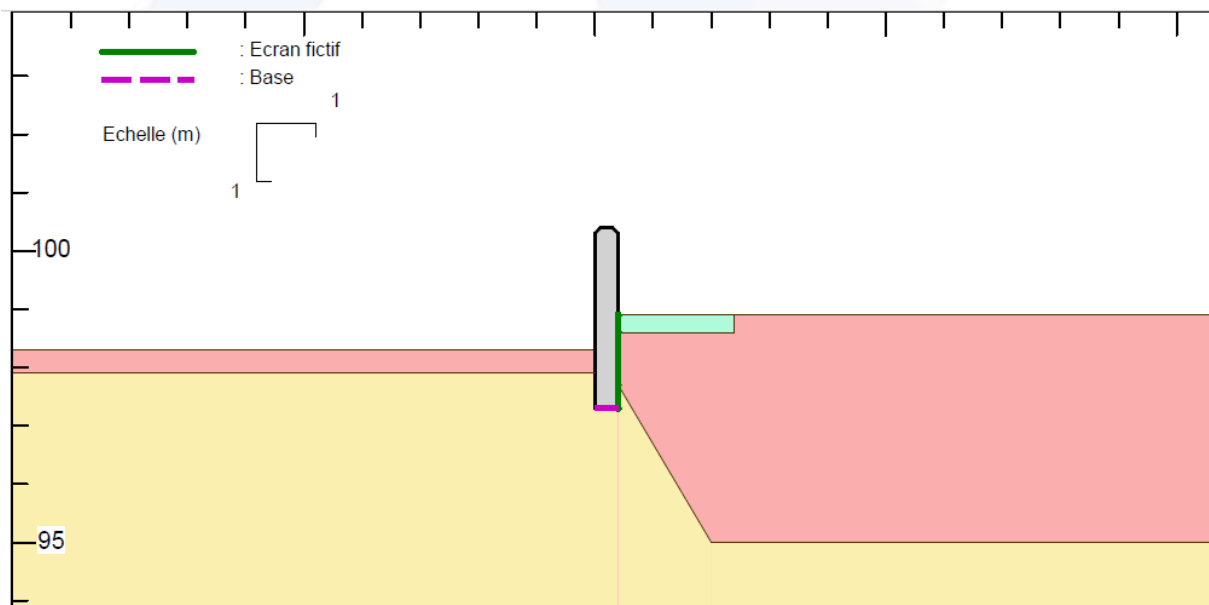
D'autres facteurs peuvent être considérés comme actifs sur les désordres observés :

- **précarité** du système de **fondations**,
- affaiblissement de la structure dû aux mouvements induits par la **consolidation initiale** (voir 5.1),
- manque de **rigidité** éventuel de la construction,
- **mouvements** intrinsèques éventuels de **structure** → cf. BET Structure.

## 7 – ANALYSE DES RESULTATS CONCERNANT LE MUR N°2 EN MACONNERIE DE PIERRES

### 7.1 - Vis à vis de la « consolidation des sols sous charges » et/ou des « mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique » et/ou de la « stabilité géométrique » de l'ouvrage

Une modélisation du mur de soutènement actuel a été réalisée grâce au logiciel Géomur® afin de vérifier ses conditions de stabilité. Pour ce faire, il a été considéré une coupe type au droit des sondages PU1/P2/P2bis (altitudes des différentes formations données au paragraphe 4.1) et avec la géométrie décrite au paragraphe 4.5.



Les hypothèses de sols considérées sont les suivantes :

Formation	Cohésion $C'$ (kPa)	Angle de frottement $\varphi'$ (°)	Poids spécifique $\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
« 1 » Remblais peu fermes	0	22	18
« 2 » Argiles marneuses moyennement fermes	3	22	18
« 3 » Marnes argileuses	10	25	18

*Nota : Formation « 4 » trop profonde pour intervenir dans la stabilité du mur.*

Par ailleurs :

- La dalle béton de l'emmarchement située contre le mur étudié a été modélisée par un élément présentant un poids spécifique de 23 kN/m<sup>3</sup> et des caractéristiques intrinsèques élevées ( $C' = 40$  kPa et  $\varphi' = 35^\circ$ ) ;
- Aucun niveau d'eau n'a été pris en compte => absence de poussée hydrostatique ;
- Il a été considéré que le bâtiment de l'IUT se situe à environ 2 m au Sud du mur étudié et que les terrassements liés à ce dernier sont descendus à mini 95.0 NI afin définir la géométrie de la base de la formation « 1 » remaniée.

### Résultats :

La modélisation a été menée selon deux cas :

- **Sans considérer les contreforts présents** → cas qui correspond a priori à la situation initiale du mur, bien avant la construction de l'IUT étant donné l'aspect ancien des contreforts.
- **En considérant un contrefort** ancré au toit de la formation « 2 » (en place) de 40 cm de largeur → cas qui correspond mieux à la situation actuelle.

Notons que cette modélisation nécessiterait d'être affinée après relevé de la géométrie réelle des contreforts (largeur + profondeur d'ancrage des fondations des contreforts) après autorisation d'accès et de sondage sur la propriété voisine au Nord.

### **Les facteurs de sécurité partiels ont été fixés à 1.**

L'équilibre est atteint lors que  $F_s = 1$  et la stabilité à long terme est assurée si  $F_s > 1.5$  au glissement et au renversement et  $F_s > 3.0$  vis-à-vis du poinçonnement.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Cas	Facteurs de sécurité			Stabilité « générale »
	Glissement	Renversement	Poinçonnement	
Sans contrefort	0.84	0.81	0.0*	Non assurée * le facteur de sécurité est de 0 au poinçonnement car la résultante passe à côté de la base du mur → cisaillement de l'ouvrage
Avec contrefort	1.23	0.48	0.0*	

Les modélisations montrent que **la stabilité du mur n'est pas du tout assurée que ce soit avec ou sans considération d'un contrefort** (bien que la modélisation avec contrefort serait à reprendre une fois la géométrie de ce dernier relevée). On remarque notamment que la résultante des efforts passe en dehors de la base de fondation du mur → effet de cisaillement de la structure du mur, à confirmer par le BET structure.

Ces résultats semblent cohérents avec les désordres observés. En effet, le mur bascule vers le Nord avec une cassure sur la hauteur de sa structure.

**D'après ces résultats et étant donné l'état actuel du mur nous tenons à alerter les différents intervenants concernant risque d'effondrement/ruine du mur en pierres à court ou moyen terme avec les risques associés vis-à-vis des personnes et des biens.**

En somme, bien qu'il serait nécessaire d'affiner l'analyse de la stabilité du mur après détermination de la géométrie précise des contreforts (largeur + profondeur d'ancrage), **les résultats de l'analyse semblent indiquer que la stabilité géométrique du mur n'est pas assurée**. Les efforts résultants semblent conduire à un cisaillement interne du mur → à confirmer par le BET structure.

Notons que les sondages ont montré que le mur ne semble pas avoir été déchaussé lors de la construction de l'extension de l'IUT et la présence de contreforts d'aspect ancien + les résultats de la modélisation sans contrefort semblent indiquer que la stabilité du mur n'était probablement pas non plus assurée avant la construction de l'IUT. Seule une étude du mur avec connaissance des niveaux des terrains initiaux permettrait de confirmer cette théorie.

Dans un tel contexte, les facteurs « **consolidation des sols sous charges** » et/ou « **mauvaises conditions de fondations de l'ouvrage vis-à-vis du contexte géotechnique** » et/ou « **précarité du système de fondation** » / « **sous-dimensionnement vis-à-vis de la stabilité géométrique** » peuvent être retenus comme facteurs **actifs** sur une fragilisation initiale de l'ouvrage et/ou sur les dommages actuels.



Compte tenu du caractère récent et de la période très spécifique d'apparition et d'évolution des désordres (apparition des désordres ces 2/3 dernières années durant la période estivale), **ces facteurs ne sont potentiellement pas les seuls facteurs déterminants sur les désordres.**

## **7.2 - Vis à vis de la dessiccation/sensibilité à l'eau des sols**

Les essais en laboratoire ont permis de confirmer le caractère **très argileux extrêmement sensible** (VBS = 9.3 et 11.3) des sols d'assise de fondations. Le retrait des formations, dans le cas d'un potentiel déficit de teneur en eau (non mis en évidence dans cette zone), a vraisemblablement pu conduire à des tassements d'amplitude importante des sols d'ancrage des fondations.

Dans ce cadre, le **facteur sensibilité à l'eau des sols** peut être retenu comme **facteur déterminant** ayant éventuellement participé aux dommages récents affectant l'ouvrage et des éventuelles évolutions.

Dans le cas **d'une réelle concordance entre l'apparition de tout ou partie des désordres et/ou leur évolution** et les différents épisodes de sécheresse, le déficit en eau des sols lié à la sécheresse peut être considéré comme un des facteurs actifs sur les tassements différentiels ayant conduit à **l'apparition des désordres au niveau du mur et/ou à son évolution**. Ce déficit peut intéresser les couches superficielles (évaporation, action de la végétation, ...) et éventuellement plus profondes (des circulations anciennes dans des interfaces plus perméables se seraient interrompues à la faveur des épisodes de sécheresse, conduisant, directement ou indirectement, à des dessiccations complémentaires).

Concernant la dessiccation et plus généralement les effets liés à la sensibilité à l'eau des sols, il faut également évoquer les **facteurs autres que ceux directement liés à la sécheresse** exceptionnelle, à savoir :

- **végétation hygrophile importante à proximité de l'ouvrage sinistré → arbre à proximité du mur au Nord et haie contre la face nord,**
- **éléments drainants** proches de la construction et des fondations favorisant et accélérant les **variations de teneur en eau → système de drainage probable contre le voile Nord de l'extension de l'IUT c'est-à-dire à proximité immédiate des fondations du mur,**
- **absence de protection à l'amont de l'ouvrage vis-à-vis de l'évaporation,**

- éventuelles fuites des réseaux EU et EP implantés le long des fondations de l'ouvrage ⇒ repérage et vérification de l'état des réseaux impératif avant tous travaux et dans le cadre du diagnostic,
- urbanisation de tout le secteur, favorisant notamment le déficit d'infiltration,
- terrain en pente, favorisant le drainage gravitaire aval et les suralimentations épisodiques amont, ...

### 7.3 - Vis à vis d'autres facteurs de désordres

D'autres facteurs peuvent être considérés comme actifs sur les désordres observés :

- affaiblissement de la structure dû aux mouvements induits par la **consolidation initiale** (voir 5.1),
- manque de **rigidité** éventuel de la construction, **mouvements** intrinsèques éventuels de **structure**, **vieillissement de l'ouvrage**, **instabilité interne** → cf. BET Structure.

## 8 – ORIGINE ET FACTEURS ACTIFS SUR LES DESORDRES

### 8.1 - Généralités

Les désordres, dans leur grande majorité, peuvent être attribués à des mouvements différentiels entre les différentes parties des ouvrages.

Une autre partie des désordres peut avoir pour origine des mouvements intrinsèques de structure (insuffisance structurelle, vieillissement des maçonneries, ...) => cf. BET structure pour avis.

## 8.2 - Facteurs actifs sur les désordres

Les facteurs pouvant être considérés comme actifs sur l'apparition et/ou l'évolution de désordres sont les suivants :

### Mur n°1 en béton armé :

- **Facteurs actifs sur d'éventuels désordres anciens et/ou sur la fragilisation des ouvrages :**
  - *sous-dimensionnement/instabilité vis-à-vis du poinçonnement ayant pu conduire à des mouvements à l'arrière de la semelle et à un basculement du mur vers l'arrière → à confirmer après détermination de la butée pouvant être considérée en pied de mur (et correspondant à la terrasse + à l'extension de l'IUT à l'aval du mur).*
- **Facteurs actifs sur les désordres récents :**
  - *sensibilité hydrique des sols d'assise des fondations ayant pu conduire à des tassements/mouvements +/- importants des sols d'assise sous l'ensemble des facteurs décrits en 5.2,*
  - *absence visuelle de joint de fractionnement entre le mur et le bâtiment de l'IUT adjacent ne permettant aucun mouvement différentiel sans désordres.*
- **Facteurs secondaires potentiellement actifs :**
  - *présence d'éléments accentuant la dessiccation des sols à proximité du mur de soutènement → arbre de moyenne tige directement à l'arrière du mur à l'aplomb de la fondation, systèmes de drainage liés à l'extension de l'IUT probablement et associé au mur, ...,*
  - *défauts/dysfonctionnements éventuels des réseaux EU/EP accentuant les variations hydriques devant les fondations => plastification/chute de portance des sols d'assise des fondations, remobilisation du potentiel de retrait,*
  - *hétérogénéité/manque de rigidité éventuel de la structure de l'ouvrage,*
  - *absence de protection vis-à-vis des infiltrations et de l'évaporation à l'amont du mur,*
  - ...

- **Facteurs actifs sur d'éventuels désordres anciens et/ou sur la fragilisation de l'ouvrage :**
  - *mauvaise adaptation au sol de l'ouvrage/précarité de « fondation » ayant pu conduire à des tassements/mouvements +/- importants et différentiels des sols d'assise des « fondations » et du dallage sous l'ensemble des facteurs décrits en 5.1.*
- **Facteurs actifs sur les désordres récents :**
  - *sensibilité hydrique des sols d'assise des fondations et du dallage ayant pu conduire à des tassements/mouvements +/- importants des sols d'assise sous l'ensemble des facteurs décrits en 5.2,*
  - *mauvaise adaptation au sol de l'ouvrage/précarité de « fondation » ayant pu conduire à des tassements/mouvements +/- importants et différentiels des sols d'assise des fondations et du dallage sous l'ensemble des facteurs décrits en 5.1.*
- **Facteurs secondaires potentiellement actifs :**
  - *encastrement insuffisant des « fondations » et dallage sur terre-plein inadapté au contexte argileux et remanié/remblayé du site,*
  - *hétérogénéité/manque de rigidité éventuel de la structure de l'ouvrage,*
  - *défauts/dysfonctionnements éventuels des réseaux EU/EP accentuant les variations hydriques devant les fondations => plastification/chute de portance des sols d'assise des fondations, remobilisation du potentiel de retrait,*
  - *absence de la protection de la périphérie de l'ouvrage côté Est vis-à-vis des infiltrations et de l'évaporation,*
  - ...

- **Facteurs actifs sur d'éventuels désordres anciens et/ou sur la fragilisation de l'ouvrage :**
  - *sous dimensionnement/instabilité probable selon la géométrie/topographie initiale → nécessiterait de connaître la situation avant construction de l'IUT pour être confirmé.*
- **Facteurs actifs sur les désordres récents :**
  - *sensibilité hydrique des sols d'assise des fondations et du dallage ayant pu conduire à des tassements/mouvements +/- importants des sols d'assise sous l'ensemble des facteurs décrits en 5.2,*
  - *sous-dimensionnement de l'ouvrage notamment vis-à-vis des modifications apportées par l'extension de l'IUT ayant pu conduire au cisaillement de ce dernier et basculement de sa partie haute,*
  - *hétérogénéité/manque de rigidité probable de la structure de l'ouvrage, vieillissement structurel → cf. BET Structure.*
- **Facteurs secondaires potentiellement actifs :**
  - *présence d'éléments accentuant la dessiccation des sols à proximité de l'ouvrage → végétation hygrophile sur la parcelle voisine, système de drainage de l'extension de l'IUT à proximité immédiate des fondations de l'ouvrage, ...,*
  - *défauts/dysfonctionnements éventuels des réseaux EU/EP accentuant les variations hydriques à proximité de l'ouvrage => plastification/chute de portance des sols d'assise des fondations,*
  - *absence de la protection de la périphérie de l'ouvrage vis-à-vis des infiltrations et de l'évaporation notamment au Nord, ...*

## 9 – POTENTIEL D'EVOLUTION DES DESORDRES

Les formations d'assise des fondations des différents ouvrages sont extrêmement sensibles aux variations de teneur en eau.

Concernant l'emmarchement et le mur n°2 en pierres, leurs conditions de fondations/géométrie ne permettent pas d'assurer leur stabilité (mur en pierres instable et emmarchement fondé de manière précaire et non adaptée au contexte).

Les facteurs environnementaux actifs sur les variations hydriques des sols sont également nombreux à proximité de l'ouvrage.

Une évolution des désordres affectant le mur en pierres et l'emmarchement est donc à prévoir, aussi bien dans le cas d'une réhydratation que de nouvelles périodes de sécheresse ou dessiccation intense ➔ **risque d'effondrement/ruine du mur en pierres à court ou moyen terme avec un risque vis-à-vis des personnes et des biens.**

Concernant le mur n°1 en béton, sa stabilité géométrique semble assurée hormis potentiellement vis-à-vis du poinçonnement selon les Eurocodes (à confirmer selon valeur de butée correspondant au bâtiment + terrasse aval pouvant être considérée). Compte tenu de son ancienneté (20 ans environ), l'évolution des désordres liée à des tassements de consolidation de la semelle arrière devrait par ailleurs être relativement limitée.

Néanmoins, les sols supports de fondations de cet ouvrage sont extrêmement sensibles et plusieurs facteurs actifs sur les variations de teneurs en eau sont présents à proximité immédiate de l'ouvrage (végétation et système de drainage associé à l'extension de l'IUT notamment). Un assèchement au niveau de la fondation du mur semble mis en évidence malgré la profondeur notable des fondations et semble possible notamment lors de périodes de dessiccation marquées ou exceptionnelles compte tenu des facteurs aggravants ➔ phénomène qui semble s'être produit ces dernières années pendant la période estivale.

De ce fait une évolution des désordres affectant le mur semble possible, aussi bien dans le cas d'une réhydratation que de nouvelles périodes de sécheresse ou dessiccation intense.



*Remarque : Les mouvements/désordres affectant le mur en béton correspondent à un basculement vers l'arrière avec un pied de mur bloqué par la terrasse et le bâtiment aval de l'IUT. Bien que ces mouvements impliquent des désordres esthétiques (avec notamment une fissuration importante au niveau de la jonction avec le bâtiment de l'IUT), ces mouvements ne représentent a priori pas de risque géotechnique spécifique vis-à-vis des usagers et des biens. Un diagnostic de la stabilité interne du mur devra toutefois être réalisé afin de vérifier l'absence d'instabilité structurelle. De même il conviendrait que le BET structure définisse la butée admissible en pied de mur afin d'affiner la modélisation réalisée.*

## 10 – PREMIERES APPROCHES DES REMEDES ENVISAGEABLES

### 10.1 - Contexte aléas retrait/gonflement des sols argileux

Les solutions de confortement/stabilisation des fondations/traitement des niveaux bas proposées dans le présent diagnostic ont été établies sur la base des connaissances scientifiques actuelles vis-à-vis du risque « sécheresse » notamment.

Toutefois, compte tenu de l'évolution exponentielle des variations climatiques et sur la base des 30 dernières années (généralisation des périodes de sécheresses extrêmes/exceptionnelles, intensité de la pluviométrie, ...) la seule solution pérenne de confortement/stabilisation des fondations d'un ouvrage consiste à reporter les efforts sur un niveau non soumis aux variations climatiques. **Il s'agit de fondations semi-profondes à profondes associées à des planchers sur vide technique.**

Les mesures de confortement/traitement ci-après sont proposées dans le but d'une stabilisation **pérenne à long terme** de l'ouvrage.

Les éléments/structures sur lesquels une intervention est préconisée peuvent être actuellement peu ou pas sinistrés mais être vulnérables vis-à-vis du contexte géotechnique local et des risques identifiés d'évolution ou d'apparition de désordres. C'est la raison pour laquelle une reprise globale est prescrite.

ALPHABTP ne pourra pas être tenu responsable de la survenance de nouveaux dommages ou d'aggravation de désordres existants en cas de non mise en œuvre de l'intégralité des mesures préconisées et/ou en cas de nouveaux aléas climatiques non connus à ce jour et/ou augmentation de leur intensité.

## 10.2 - Généralités

Les mesures de stabilisation évoquées ci-après ne s'appliquent qu'au traitement des désordres actuels, elles n'ont pas pour but de mettre à l'abri les constructions des effets de nouveaux facteurs de désordres éventuels... (si tel devait être le cas, des mesures complémentaires devraient être prises).

L'action sera portée sur les facteurs actifs ayant conduit aux désordres, tout en restituant aux constructions une rigidité au minimum équivalente à celle d'origine. Ces dispositions n'hypothèqueront en rien l'avenir et permettront de mettre en œuvre, si nécessaire, des mesures complémentaires de stabilisation (notamment dans le cas où à l'issue d'une période de suivi d'une durée « représentative », on assisterait à une évolution significative des désordres).

### 10.3 - Premières approches des remèdes envisageables (à valider/concevoir/pré-dimensionner dans le cadre d'une mission d'étude de projet G2 AVP)

#### 10.3.1 - Mur n°1 en béton armé (à valider en G2 AVP)

D'après l'analyse des résultats des investigations, dans l'état actuel, le mur de soutènement ne présente a priori pas de risques vis-à-vis des biens et des personnes (mouvements a priori limités à un basculement vers l'amont). L'évolution des désordres devrait se limiter à des aspects esthétiques et à une accentuation éventuelle du basculement du mur ➔ à confirmer après analyse de la stabilité interne par le BET Structure.

Compte tenu de ces éléments, **en première approche** les solutions suivantes devraient pouvoir être envisagées :

- **Instrumentation** du mur (inclinomètres) et mise en place d'un suivi objectif sur une période minimum de 2 à 3 années avec relevé tous les 2/3 mois ;
- Création d'un **joint de fractionnement** entre le mur et le bâtiment de l'IUT adjacent au sud ➔ cf. BET Structure ;
- **Injection de coulis au niveau des sols d'assise des fondations du mur** afin d'augmenter leur capacité portante (amélioration de la stabilité vis-à-vis du poinçonnement) et de réduire leur sensibilité à l'eau au sens du Guide sécheresse en particulier ;
- **Suppression de la végétation** à l'amont du mur (y compris dessouchage) ;
- **Mise en place d'un revêtement étanche sur les sols à l'amont du mur.**

A l'issue de la période de suivi et dans le cas où les mesures détaillées ci-avant n'auraient pas permis une stabilisation de l'ouvrage il pourrait être envisagé une reprise en sous-œuvre voire une reconstruction de l'ouvrage, potentiellement par fondation profondes. Notons que cette solution nécessiterait la réalisation de terrassements importants (afin d'atteindre le niveau de fondation de l'ouvrage) avec probablement la nécessité d'une neutralisation de la circulation et du stationnement au niveau de la rue Lasherme ➔ travaux de grande ampleur.

### **10.3.2 - Emmarchement et mur de soutènement en pierres (à valider en G2 AVP)**

Compte tenu de l'amplitude des désordres affectant ces ouvrages (mur de soutènement visuellement très précaire/sinistré pour être repris/conforté) et des risques à court terme d'effondrement/ruine du mur de soutènement avec conséquences associés sur les personnes et les biens, **une solution de démolition reconstruction des ouvrages semble la plus adaptée.**

En première approche, les solutions de suivantes devraient pouvoir être envisagées :

- Démolition des ouvrages ;
  - Puis Solution 1 :
    - Reconstruction du mur sur fondation profondes de type micropieux,
    - Reconstruction de l'emmarchement sur vide sanitaire/technique avec appuis sur micropieux (côté Nord accroche sur le nouveau mur et côté Sud sur micropieux dédiés) ;
  - Ou Solution 2 :
    - Reconstruction du mur sur fondations semi-profondes à mini 3.0 m/TF,
    - Reconstruction de l'emmarchement sur vide sanitaire/technique préférentiellement en structure souple de type structure métallique et accroche/liaisonnement de ce dernier sur le nouveau mur d'un côté et sur le bâtiment de l'IUT de l'autre.
- Cette solution nécessitera d'être validée par le BET structure notamment vis-à-vis de l'accroche du nouvel emmarchement sur le bâtiment de l'IUT.

### **Remarques importantes :**

- **En envisageant un emmarchement sur vide technique, le niveau des terrains de part et d'autre du mur situé en limite de propriété pourrait être établi à une altitude similaire et par conséquent permettre que le mur ne travaille pas en soutènement (et limiter ainsi l'emprise des fondations et des terrassements nécessaires dans le cadre de la solution 2 notamment) ;**
- La reconstruction de l'emmarchement en structure non sensible aux déformations de type structure routière pourrait également être une solution envisageable, sous réserve d'accepter les déformations liées à la sensibilité à l'eau des sols superficiels.

## **11 – OBSERVATIONS GENERALES**

Cette étude a été établie dans le cadre d'une mission de diagnostic géotechnique G5. Cette dernière, conformément à la norme NF P 94.500, est strictement limitative et ne concerne que l'ouvrage ou la partie d'ouvrage géotechnique spécifiée sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.

Le diagnostic conduit à la réalisation de travaux sur l'ouvrage existant et dans ce cadre, conformément à la norme NF P 94.500, des études géotechniques de conception (G2 AVP + PRO) et d'exécution (G3) ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques (G4) devront être réalisés ultérieurement (enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique).

Les travaux d'embellissement (rebouchage complémentaire des fissures, enduits, ...) devront être réalisés à l'issue d'une période de stabilisation après travaux de reprise éventuels (1 à 2 cycles saisonniers sont souhaitables).

L'étanchéité des réseaux devra impérativement être vérifiée dans le cadre du diagnostic et avant tous travaux.

Un suivi objectif de la stabilité des ouvrages avec instrumentation devra être effectué sur une période mini de 1 à 3 ans. A l'issue de ce suivi seront définies et/ou précisées les dispositions de stabilisation complémentaires éventuelles.

ALPHA BTP se tient à la disposition des différents intervenants pour réaliser la mission G2 AVP nécessaire à l'étude et au pré-dimensionnement des solutions de stabilisation/renforcement.

De même, ALPHA BTP, se tient à la disposition des différents intervenants pour la réalisation des études spécifiques et/ou complémentaires définies dans la norme dont copie est jointe, soit :

- Etude géotechnique de conception - phase Projet (G2 PRO) ;
- Etude géotechnique de conception - phase DCE/ACT (G2 DCE/ACT) ;
- Etude et suivi d'exécution (G3) ;
- Supervision géotechnique d'exécution (G4).

Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve de la définition et de la classification des missions géotechniques (Norme NFP 94.500) et des conditions générales d'utilisation des rapports géotechniques.

Rapport réalisé à ROMAGNAT, le 16 janvier 2024

L'Ingénieur chargé d'étude,	L'ingénieur en charge du contrôle interne,
Anaïs IGONIN	Loïc SANZELLE

## ANNEXES

---





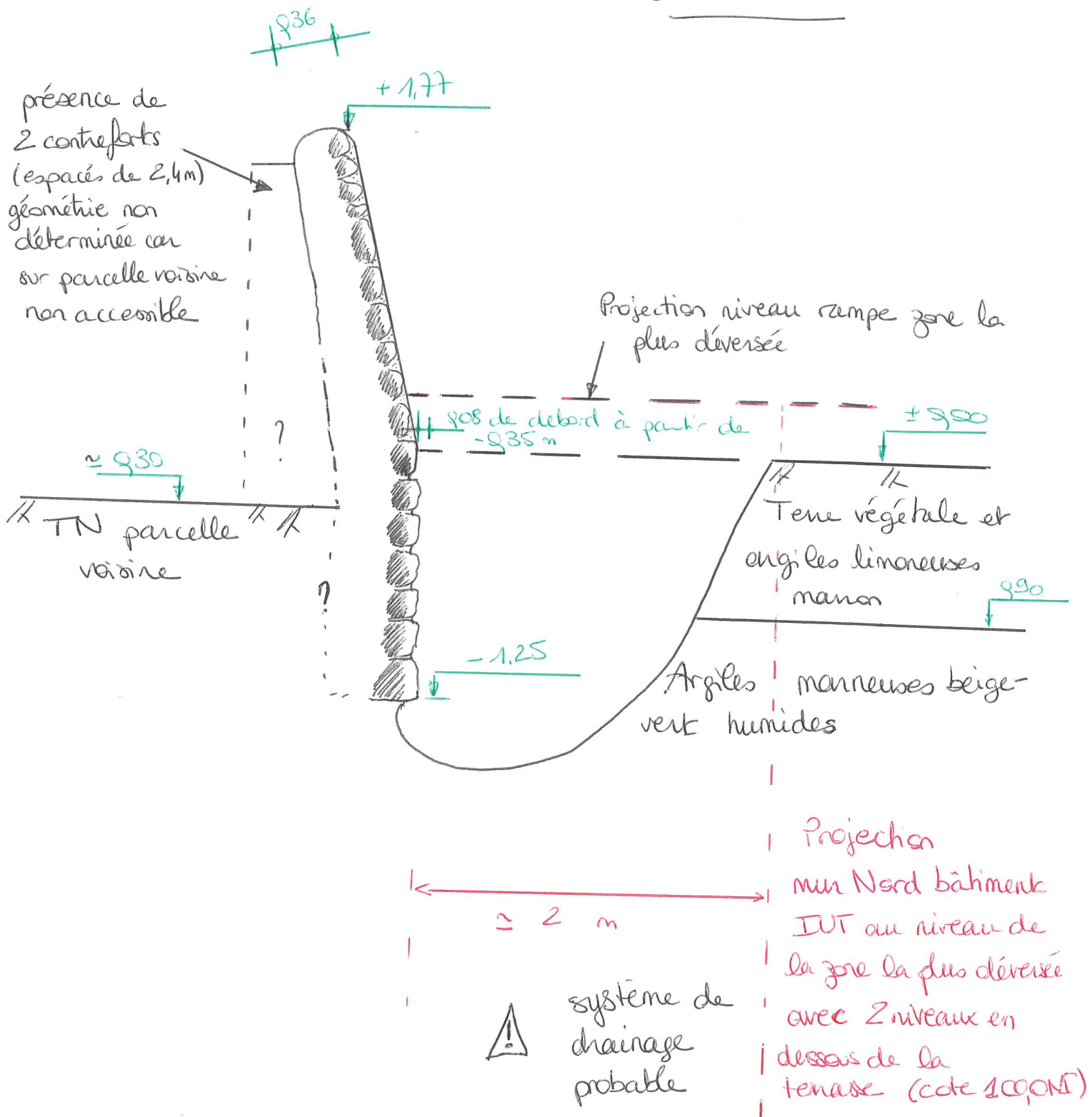
# RESULTATS DES INVESTIGATIONS

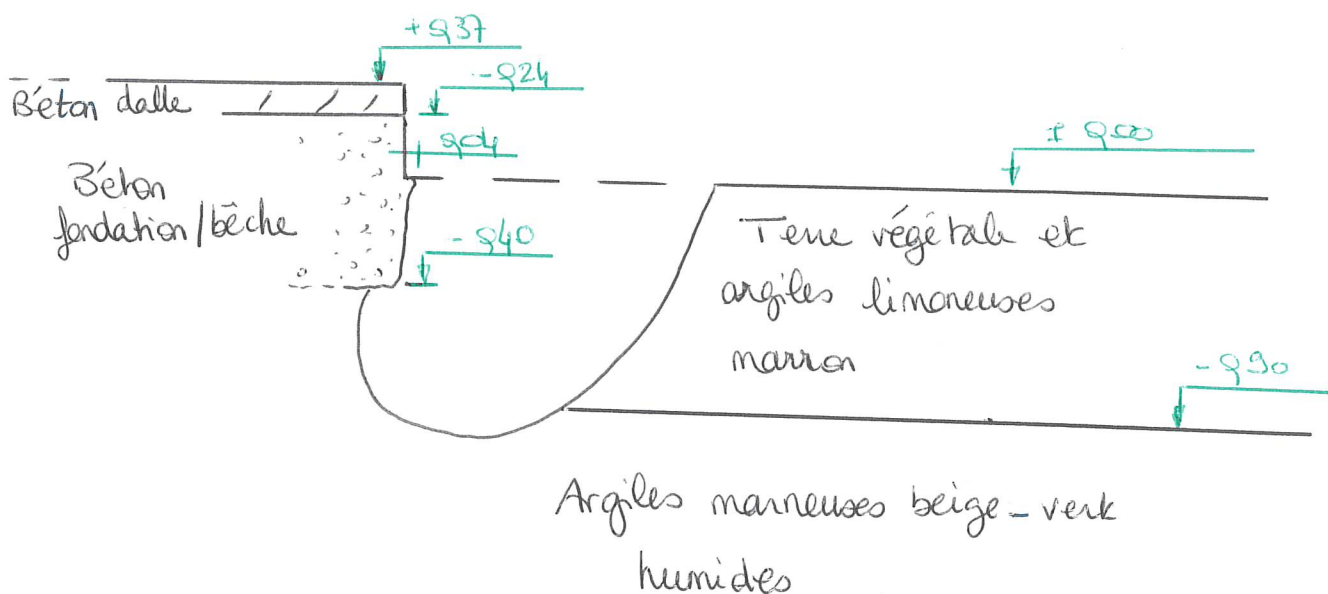
NOVEMBRE 2023



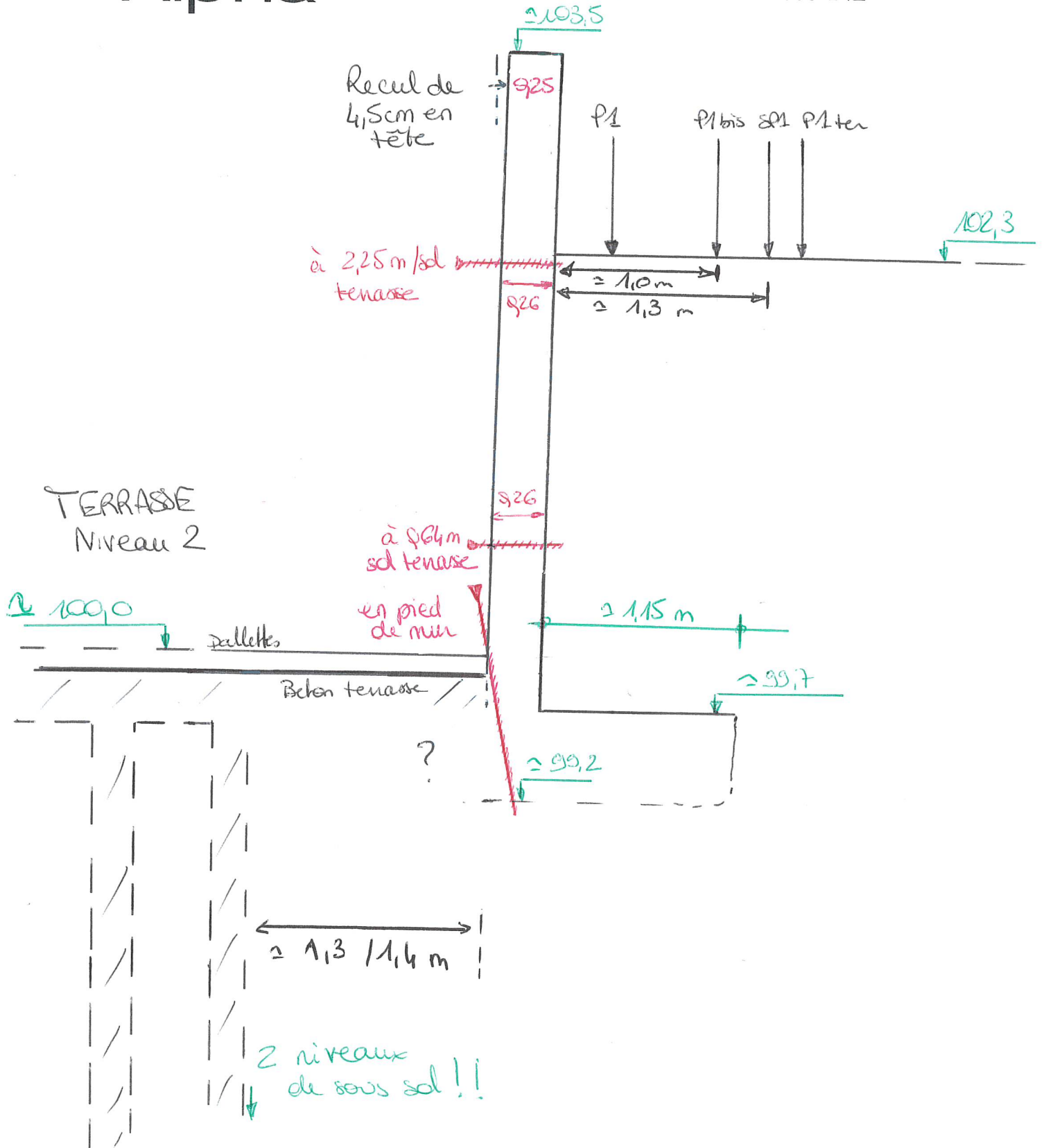
Côté voisin

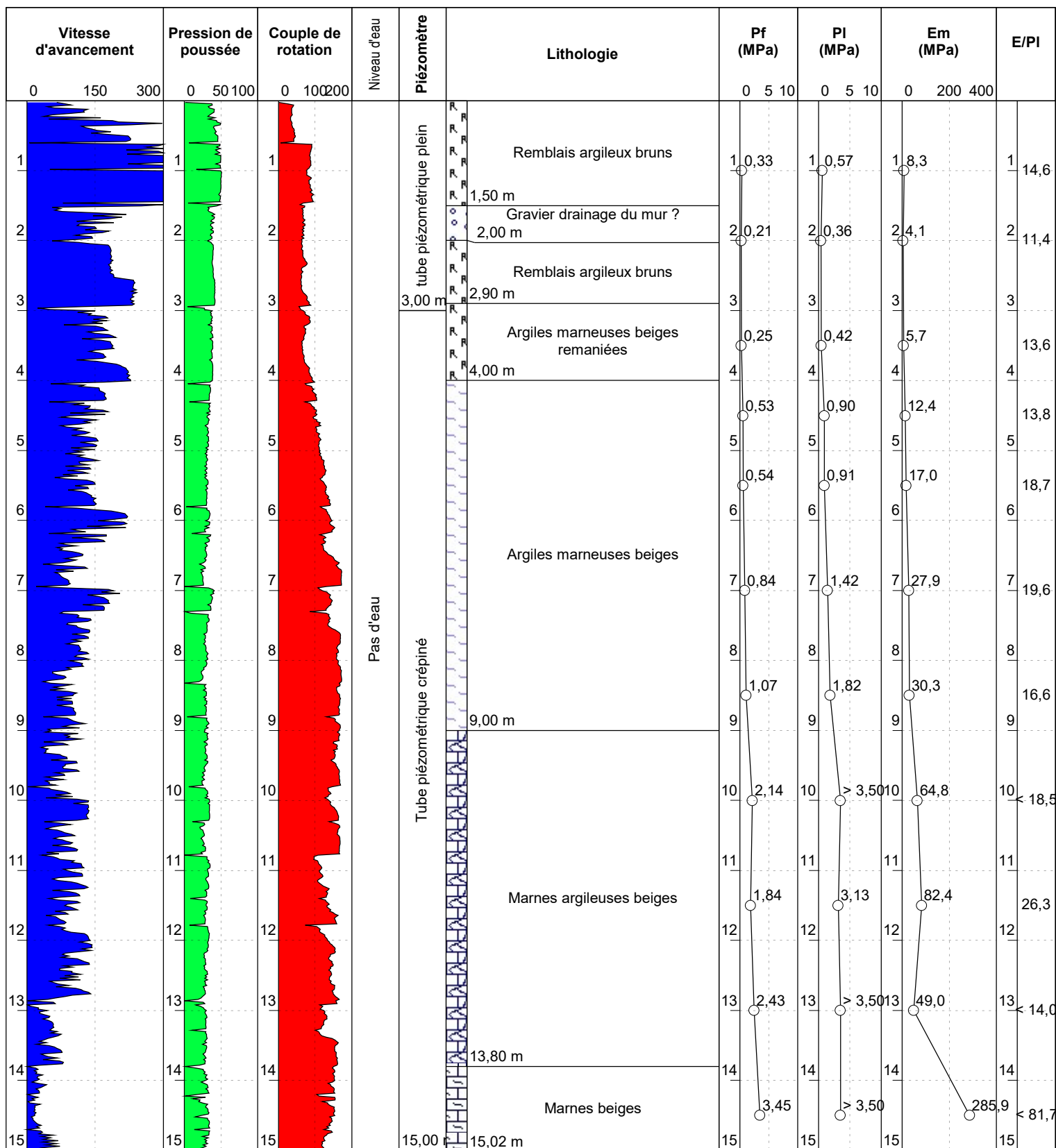
Côté IUT




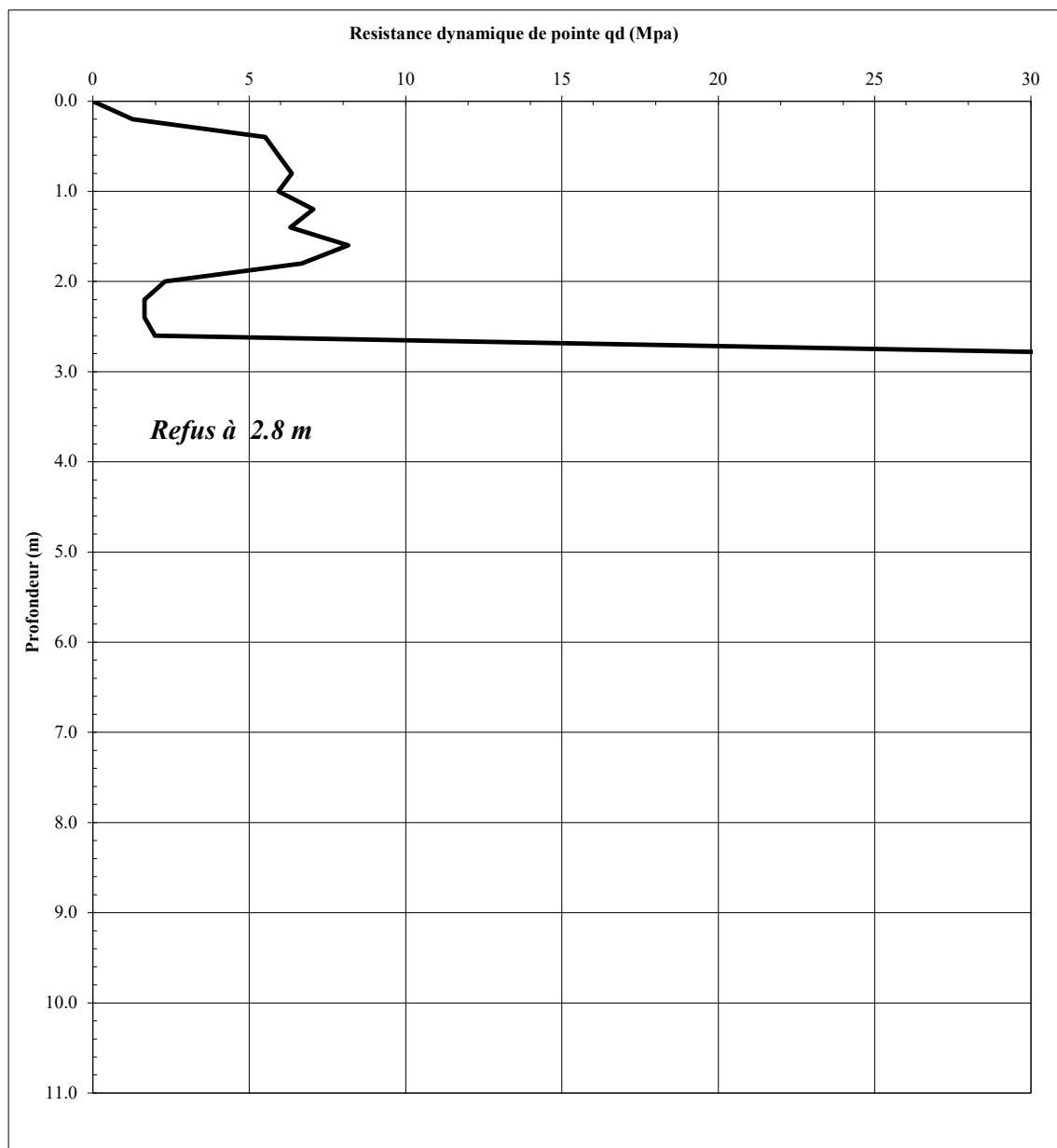


**Perfo/PU3 cote 100.0 NI**






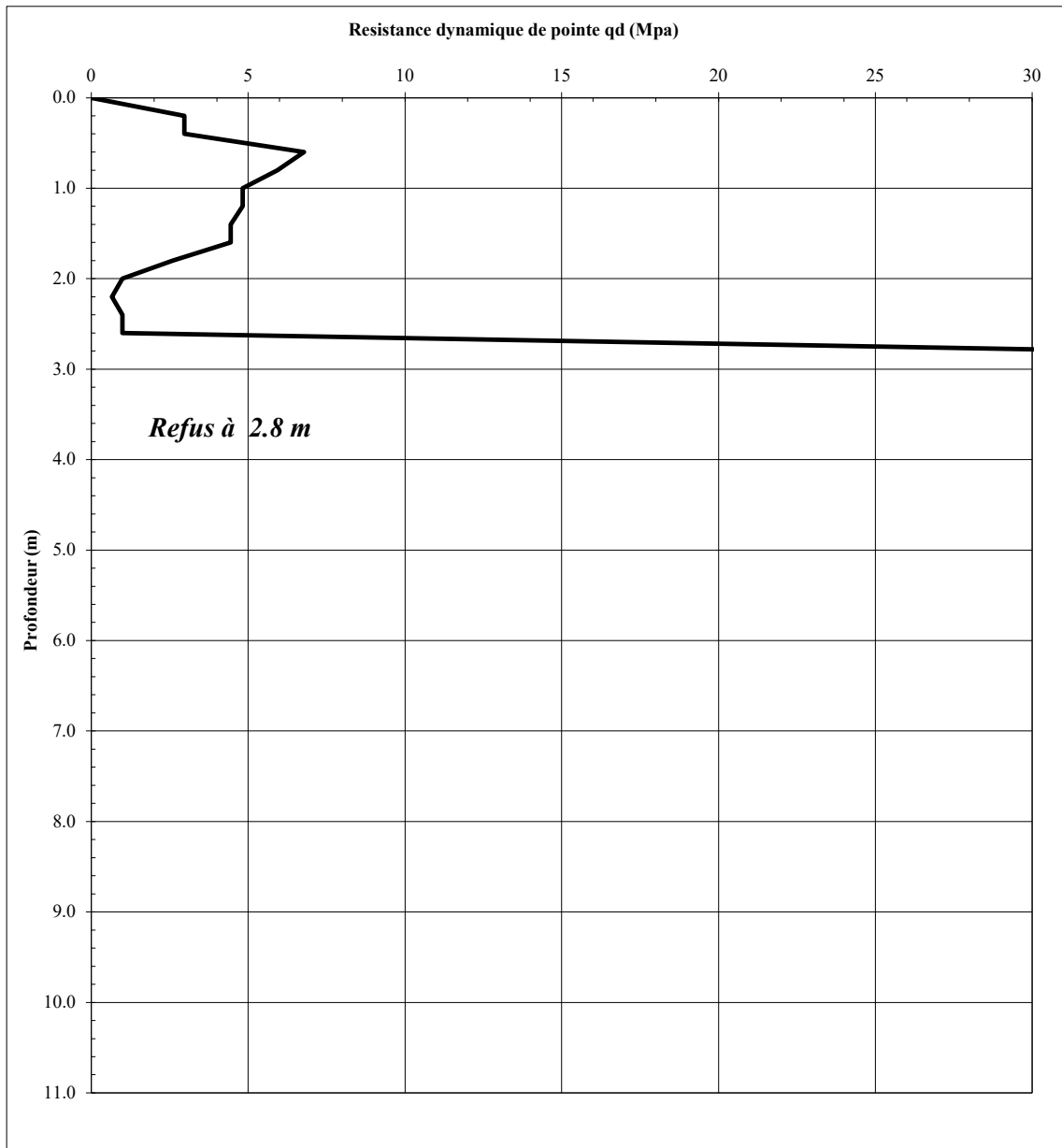
	<b>Essai de pénétration dynamique</b>		<b>N° P1</b>
	<u>Date :</u> 15/11/2023	<u>Niveau d'eau</u>	<u>N° de dossier</u> A23.13.557.a-I
<u>Affaire :</u> <b>Diagnostic mur de soutènement</b> <b>8 Rue Jean-Baptiste Fabre au PUY EN VELAY</b>			<u>Altitude :</u> 102.3




Masse du mouton (kg): 20.2	Masse enclume+guidage mouton (kg) :	2.6
hauteur de chute (m) : 0.53	Masse d'une tige (kg) :	3.8
Section pointe (cm2) : 9.6		

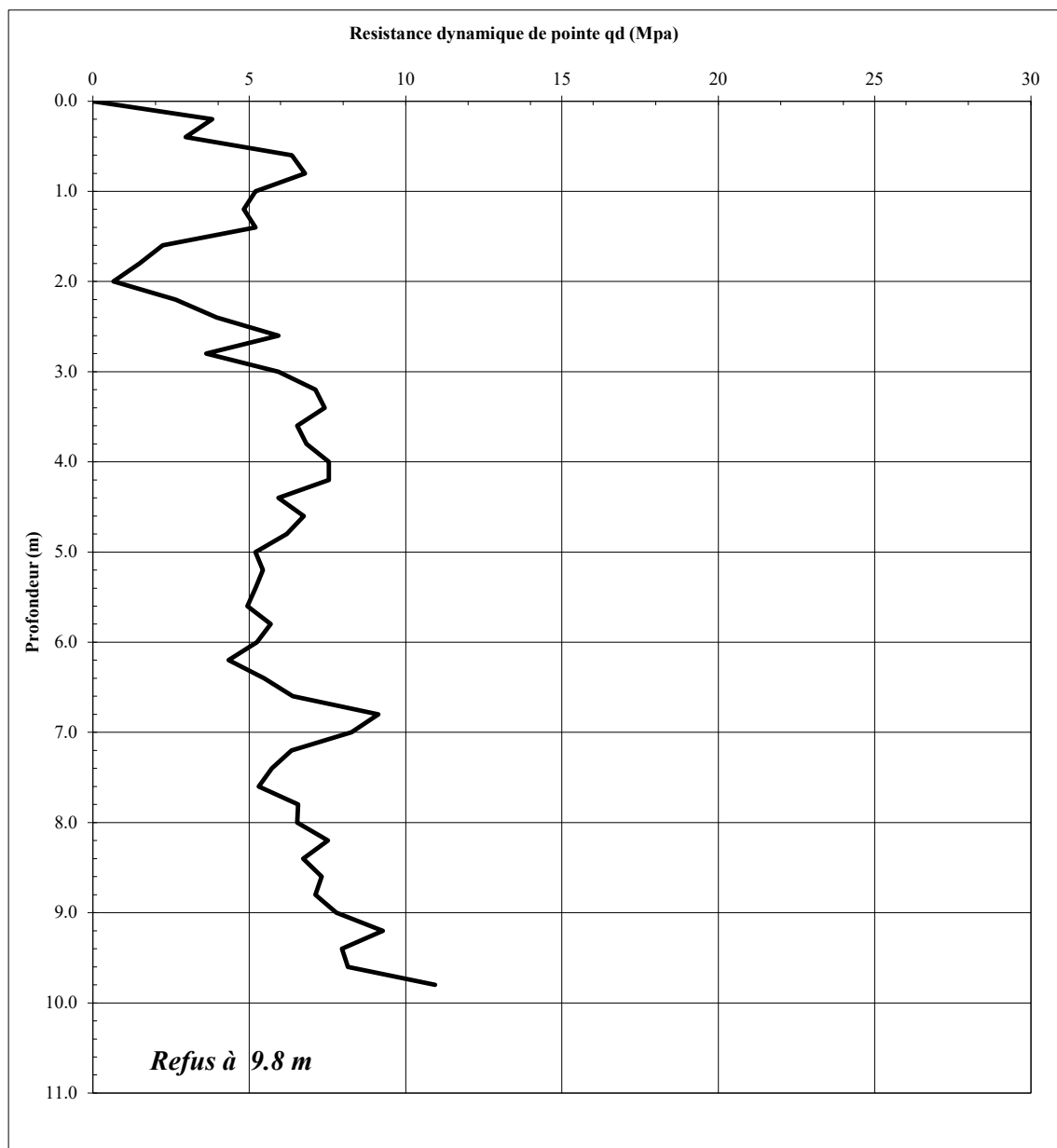


	<b>Essai de pénétration dynamique</b>		<b>N° P1 bis</b>
	<u>Date :</u> 15/11/2023	<u>Niveau d'eau</u>	<u>N° de dossier</u> A23.13.557.a-I
<u>Affaire :</u> <b>Diagnostic mur de soutènement</b> <b>8 Rue Jean-Baptiste Fabre au PUY EN VELAY</b>			<u>Altitude :</u> 102.3




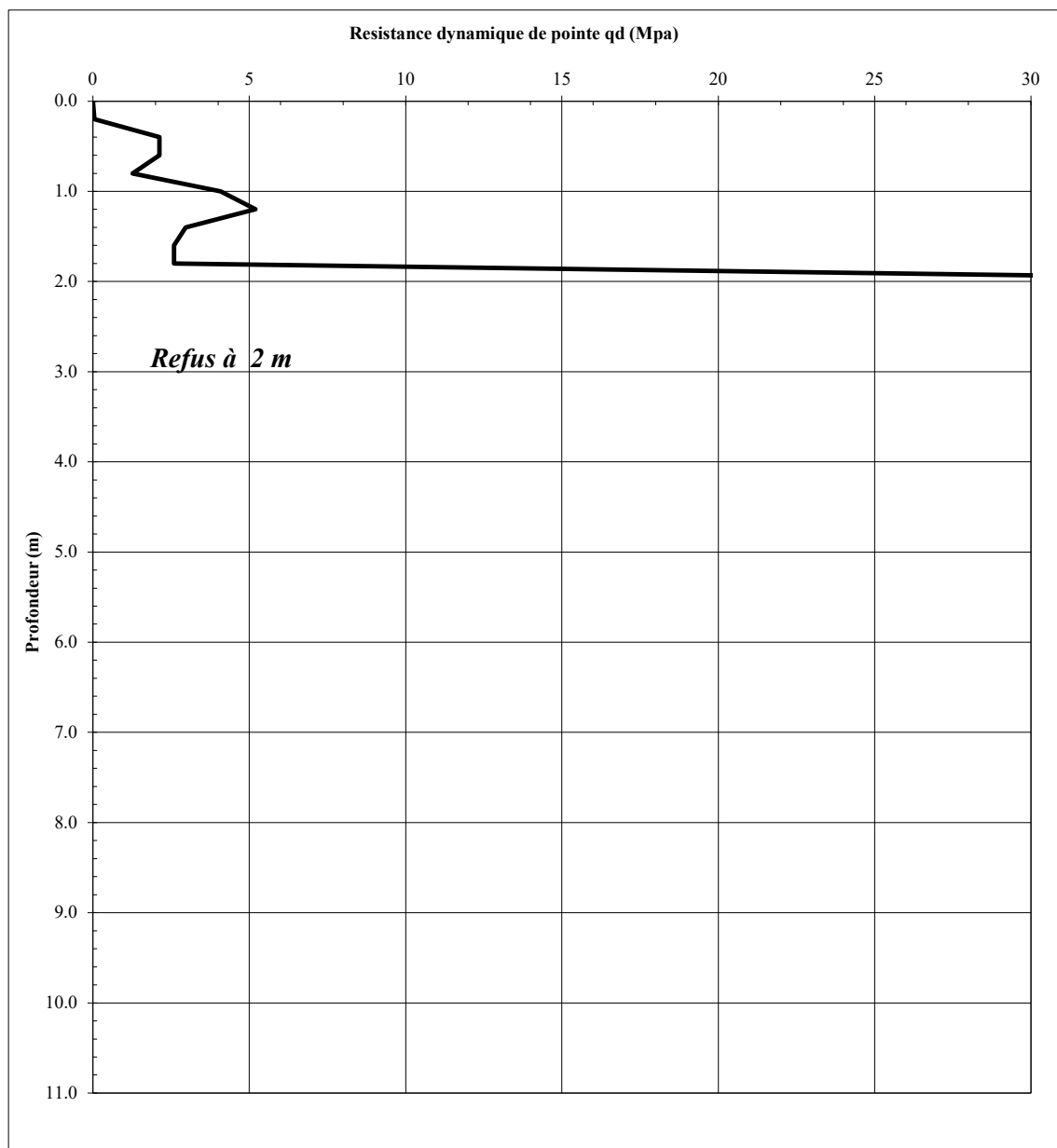
Masse du mouton (kg): 20.2	Masse enclume+guidage mouton (kg) :	2.6
hauteur de chute (m) : 0.53	Masse d'une tige (kg) :	3.8
Section pointe (cm2) : 9.6		

	<b>Essai de pénétration dynamique</b>		<b>N° P1 ter</b>
	<u>Date :</u> 15/11/2023	<u>Niveau d'eau</u>	<u>N° de dossier</u> A23.13.557.a-I
<b>Affaire :</b> <b>Diagnostic mur de soutènement</b> <b>8 Rue Jean-Baptiste Fabre au PUY EN VELAY</b>			<u>Altitude :</u> 102.3




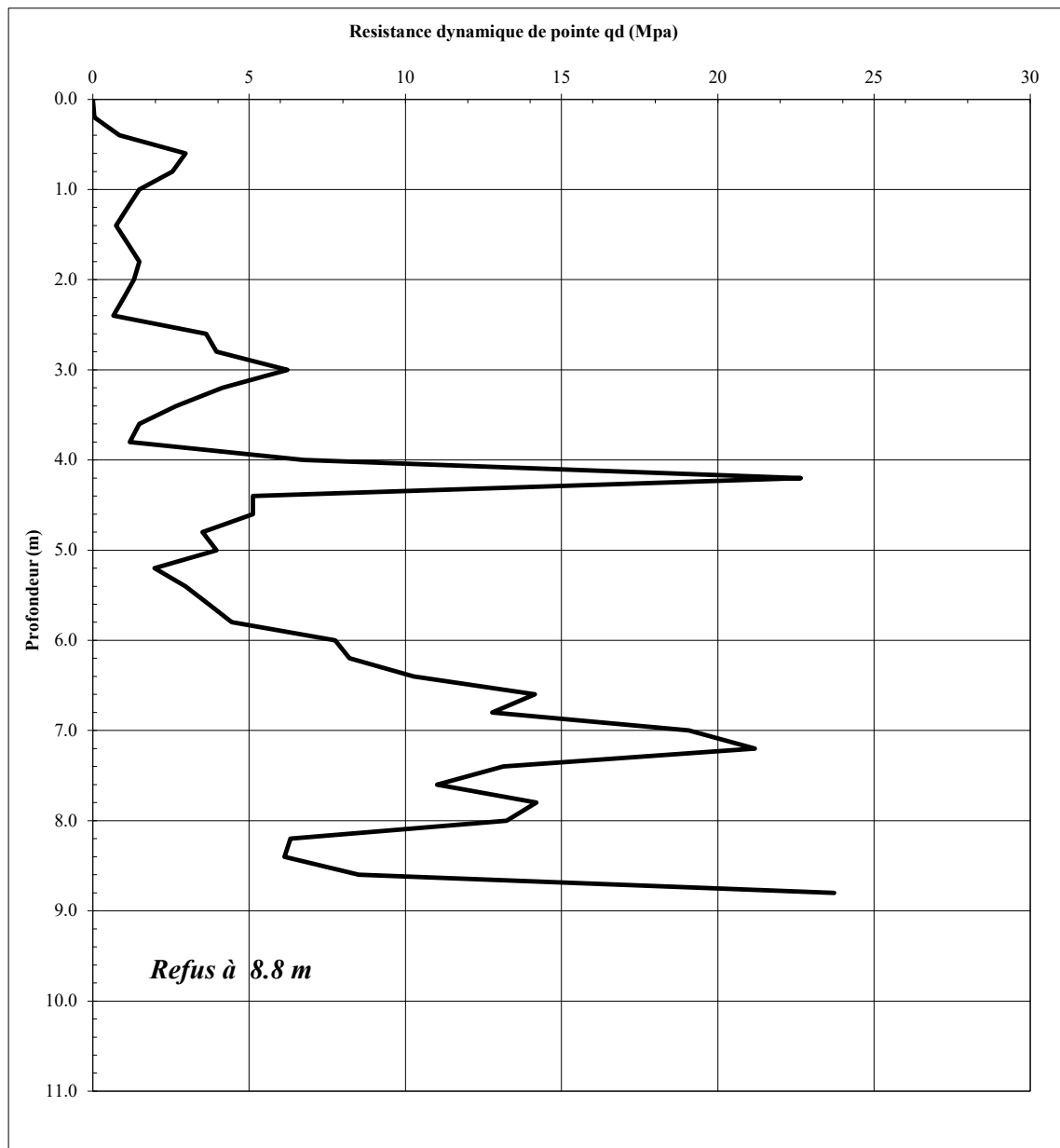
Masse du mouton (kg): 20.2	Masse enclume+guidage mouton (kg) :	2.6
hauteur de chute (m) : 0.53	Masse d'une tige (kg) :	3.8
Section pointe (cm2) : 9.6		

	<b>Essai de pénétration dynamique</b>		<b>N° P2</b>
	<u>Date :</u> 15/11/2023	<u>Niveau d'eau</u>	<u>N° de dossier</u> A23.13.557.a-I
<u>Affaire :</u> <b>Diagnostic mur de soutènement</b> <b>8 Rue Jean-Baptiste Fabre au PUY EN VELAY</b>			<u>Altitude :</u> 98.4



Masse du mouton (kg): 20.2	Masse enclume+guidage mouton (kg) :	2.6
hauteur de chute (m) : 0.53	Masse d'une tige (kg) :	3.8
Section pointe (cm2) : 9.6		

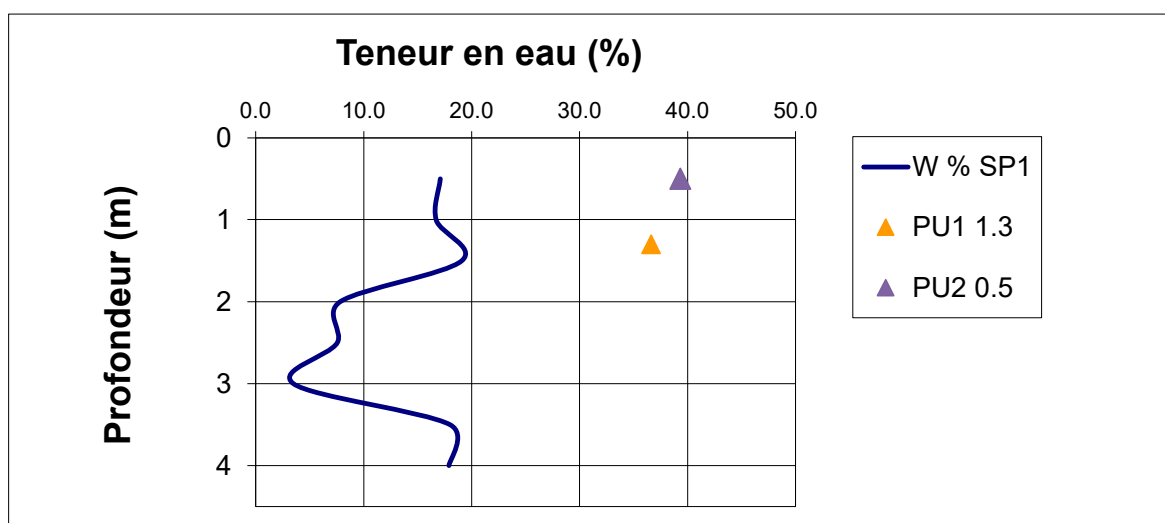
	<b>Essai de pénétration dynamique</b>		<b>N° P2 bis</b>
	<u>Date :</u> 15/11/2023	<u>Niveau d'eau</u>	<u>N° de dossier</u> A23.13.557.a-I
<b>Affaire :</b> <b>Diagnostic mur de soutènement</b> <b>8 Rue Jean-Baptiste Fabre au PUY EN VELAY</b>			<u>Altitude :</u> 98.4



Masse du mouton (kg): 20.2 hauteur de chute (m) : 0.53 Section pointe (cm2) : 9.6	Masse enclume+guidage mouton (kg) : 2.6 Masse d'une tige (kg) : 3.8
---	--

**PROFILS HYDRIQUES**

Profondeur	W % SP1
0.5	17.1
1	16.7
1.5	19.1
2	7.8
2.5	7.6
3	3.5
3.5	18.0
4	17.9



**ESSAIS DE LABORATOIRE**

Repère échantillon	Profondeur	W%	Densité humide	Densité sèche	Degré de saturation	Inf. 80 microns	VB	Observations
PU1	1.3	36.6				92%	11.3	
PU2	0.5	39.3				83%	9.3	

## Schéma d'implantation des sondages

**Diagnostic mur de soutènement**  
**IUT 8 rue Jean Baptiste Fabre**  
**LE PUY EN VELAY**

**A23.13.557./I**



Sondage pressiométrique (SP)



Sondage au pénétromètre dynamique (P)

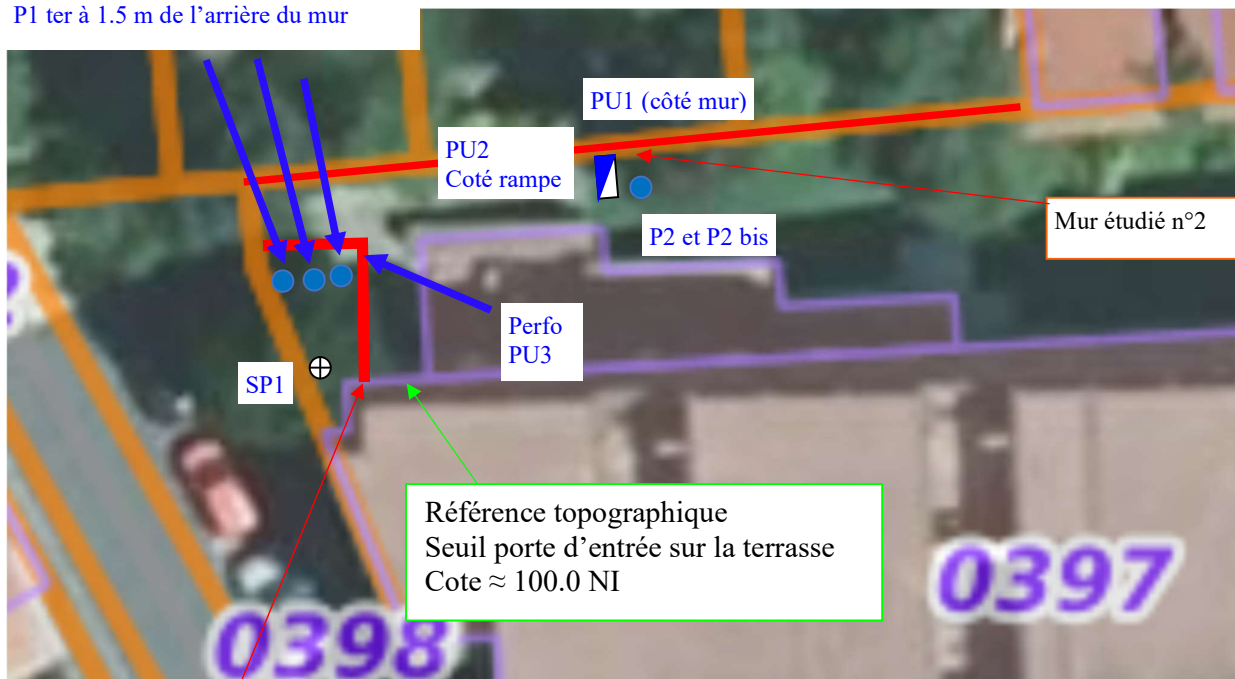


Reconnaissance de fondations (PU)

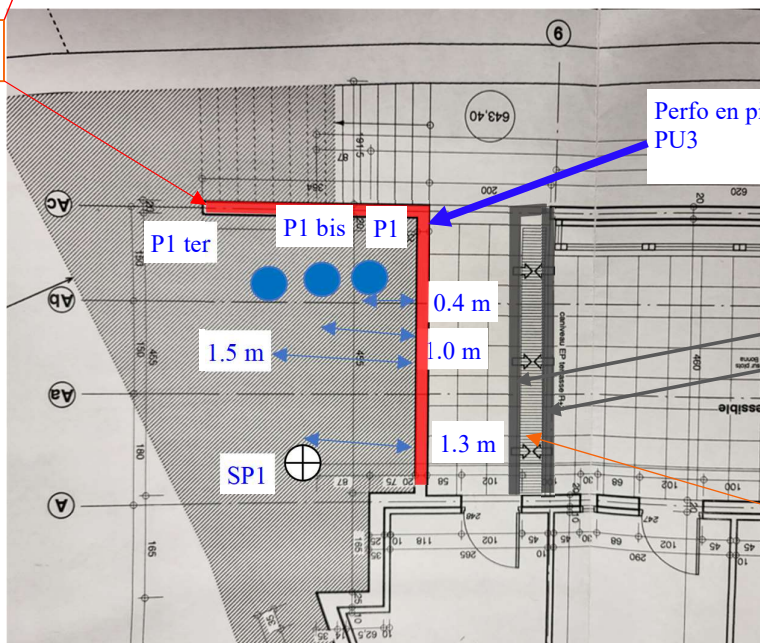
Novembre 2023

Échelle : sans

P1 à 0.4 m de l'arrière du mur  
P1bis à 1.0 m de l'arrière du mur  
P1 ter à 1.5 m de l'arrière du mur



Mur étudié n°1



Perfo en pied de mur  
PU3

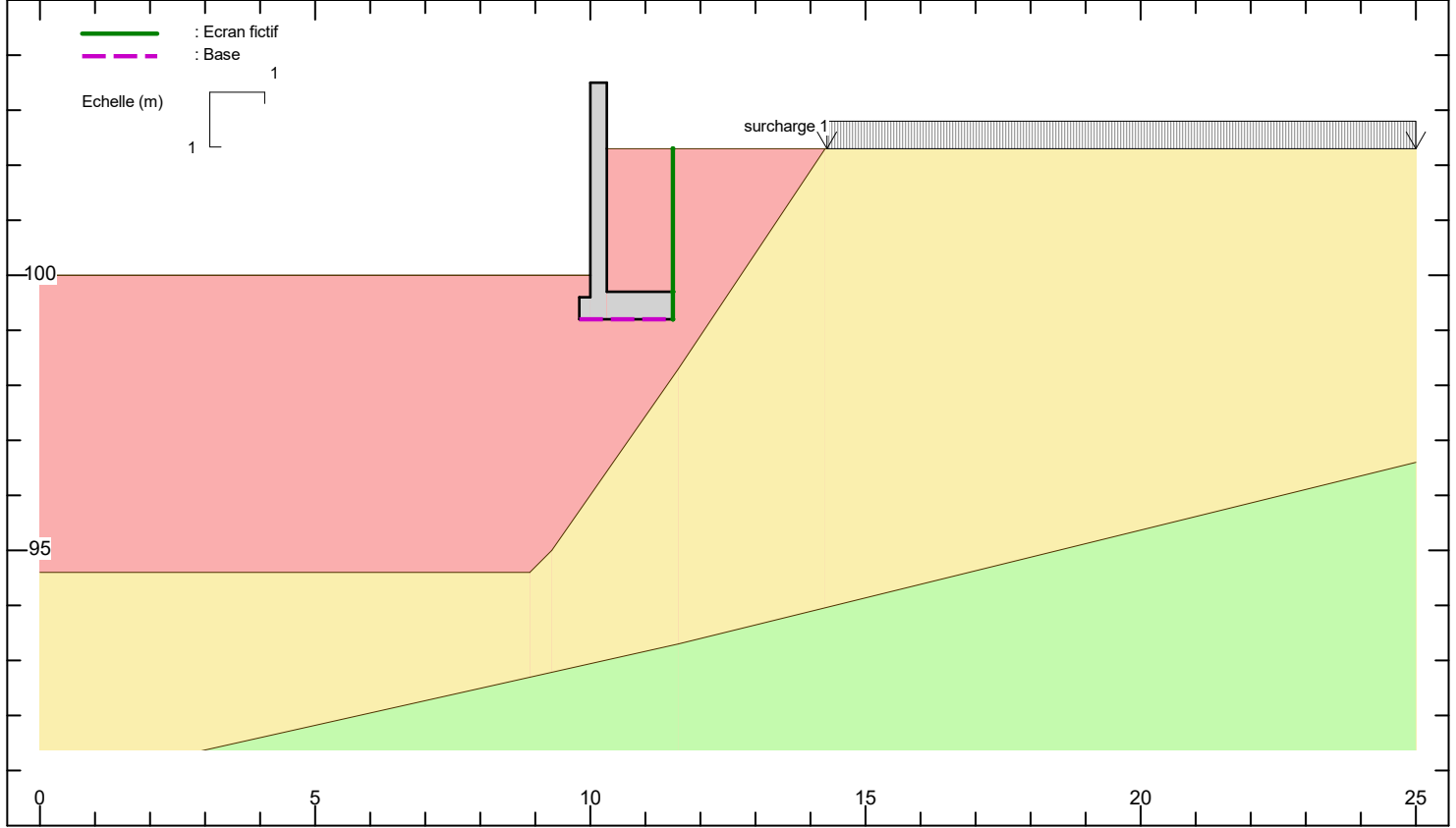
Murs du bâtiment qui descendent de 2 niveaux par rapport au niveau de la terrasse

Galerie technique qui va jusqu'au niveau 0 (terrasse au niveau 2)



RESULTATS DES MODELISATIONS  
DE STABILITE  
Sous Géomur®





GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS  
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2  
Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

	SOLS	$\gamma$	c	$\varphi$	$\delta$	Ca
<div></div>	1	18.00	0.00	22.00	14.70	0.00
<div></div>	2	18.00	3.00	22.00	14.70	0.00
<div></div>	3	18.00	10.00	25.00	16.80	0.00

MUR	$\gamma$	BASE	C	$\phi$	q0	qu	Type sol
<div></div>	23.00		0.00	22.00	0.00	350.00	cohérent

SURCHARGES	Xg	Xd	Qg	Qd	$\alpha$	
1	14.30	25.00	10.00	10.00	0.00	permanente

Fichier : MUR N°1 EN BETON.gmr

Unités : kN, m

Méthode de CULMANN

Surfaces brisées précalculées

Xi incliné à delta

Prise en compte de la cohésion pour le calcul des poussées :  
Intégration de la partie positive du diagramme des contraintes, calculé avec la cohésion.

A23.13.557 22/12/2023 - 11:19 Mur de soutènement béton (n°1)

FIGURE  
1/4



Facteurs de sécurité partiels					Critère	Statique		Sismique						
								Pesant		Allégeant				
Sol	Eau	Charges	Poussée	Méthode		Fs cal	Fs min	Fs cal	Fs min	Fs cal	Fs min			
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	<b>CLASSIQUE</b>  Glissement ()  Renversement () Excentricité = 0.244 m doit être < 0.283 m  Poinçonnement ()	1.333  2.936  2.457	> 1.500 > 1.500 > 3.000	- - -	- - -	- - -	- - -			
<b>Actions - ELU</b> permanentes défavorables γg = 1.35 variables défavorables γq = 1.5  permanentes favorables γg = 1 variables favorables γq = 0  Eau favorable γw;inf = 1 Eau défavorable γw;sup = 1.35  <b>Résistances</b> portance (ELU) γR;v = 1.4 portance (ELS) γR;v = 2.3 glissement γR;h = 1.1 butée γR;e = 1.4  <b>Méthode</b> glissement γR;d;h = 0.9 portance γR;d;v = 1					<b>Eurocodes 7 : NF P 94-281</b>									
					Approche 2 - ELU									
					Glissement (ELU Article 9.3.1) Poussée défavorable-Poids favorable		Rh;d = 46.897 kN/m Rp;d = 0 kN/m Hd = 45.753 kN/m Hd <= Rh;d + Rp;d							
					Renversement (ELU Article 9.2.2) Poussée défavorable-Poids favorable		e = 0.321 m e < 7/15 * B = 0.793 m							
					Poinçonnement (ELU Article 9.2.1) Poussée défavorable-Poids favorable		R0=0 kN; iδβ=0.383 Rv;d = 101.45 kN/m Vd = 114.91 kN/m Vd > Rv;d + R0							
					Approche 2 - ELS									
Renversement (ELS Article 12.3)		e = 0.244 m e < 1/4 * B = 0.425 m												
Poinçonnement (ELS Article 12.2)		R0=0 kN; iδβ=0.492 Rv;d = 90.78 kN/m Vd = 111.8 kN/m Vd > Rv;d + R0												

RESULTATS DE CALCULS INTERMEDIAIRES (METHODE CLASSIQUE)		
<b>SOL À PREDOMINANCE COHERENTE</b>		
<b>Statique</b>		
Excentricité = 0.244	iδβ = 0.660	
δ=16.86 °	β=0.00 °, d=0.00 m	
qmin = 9.171 kPa	qmax = 122.360 kPa	
qref = 94.063 kPa	Vol. mur = 1.970 m²	

GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2 Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Tél : 04 50 95 38 14 Fax : 04 50 95 99 36
---	---	--

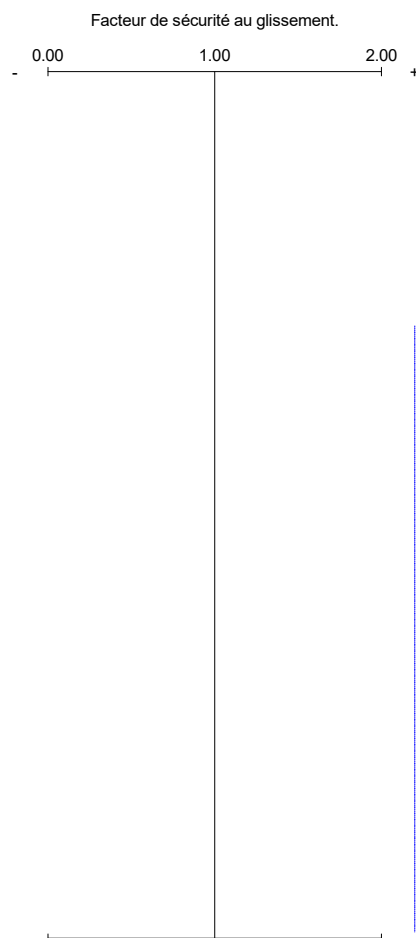
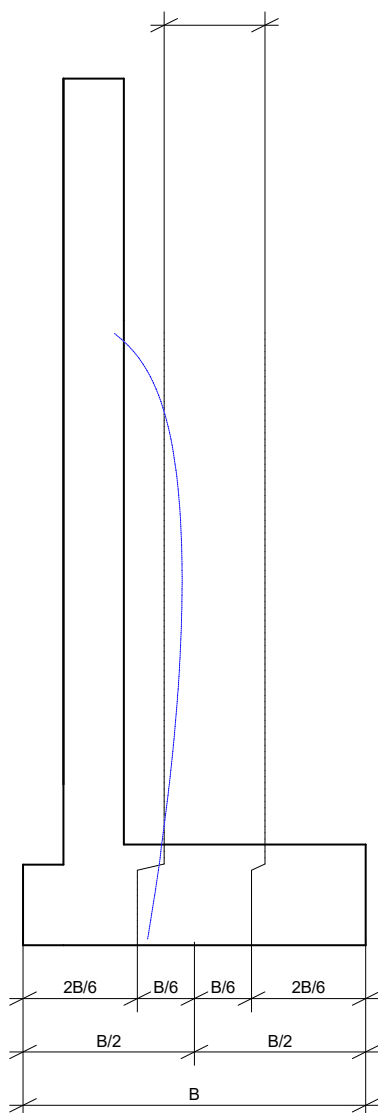
A23.13.557	22/12/2023 - 11:19	Mur de soutènement béton (n°1)	FIGURE 2/4



## STABILITE INTERNE

mur en maçonnerie :

La résultante doit passer dans le tiers central.



Caractéristiques internes du mur (Methode classique):

$C$   $\phi$   
40.00 50.00

Conditions vérifiées :

Résultante :

en statique -> NON

Glissement :

; OUI

Légende :

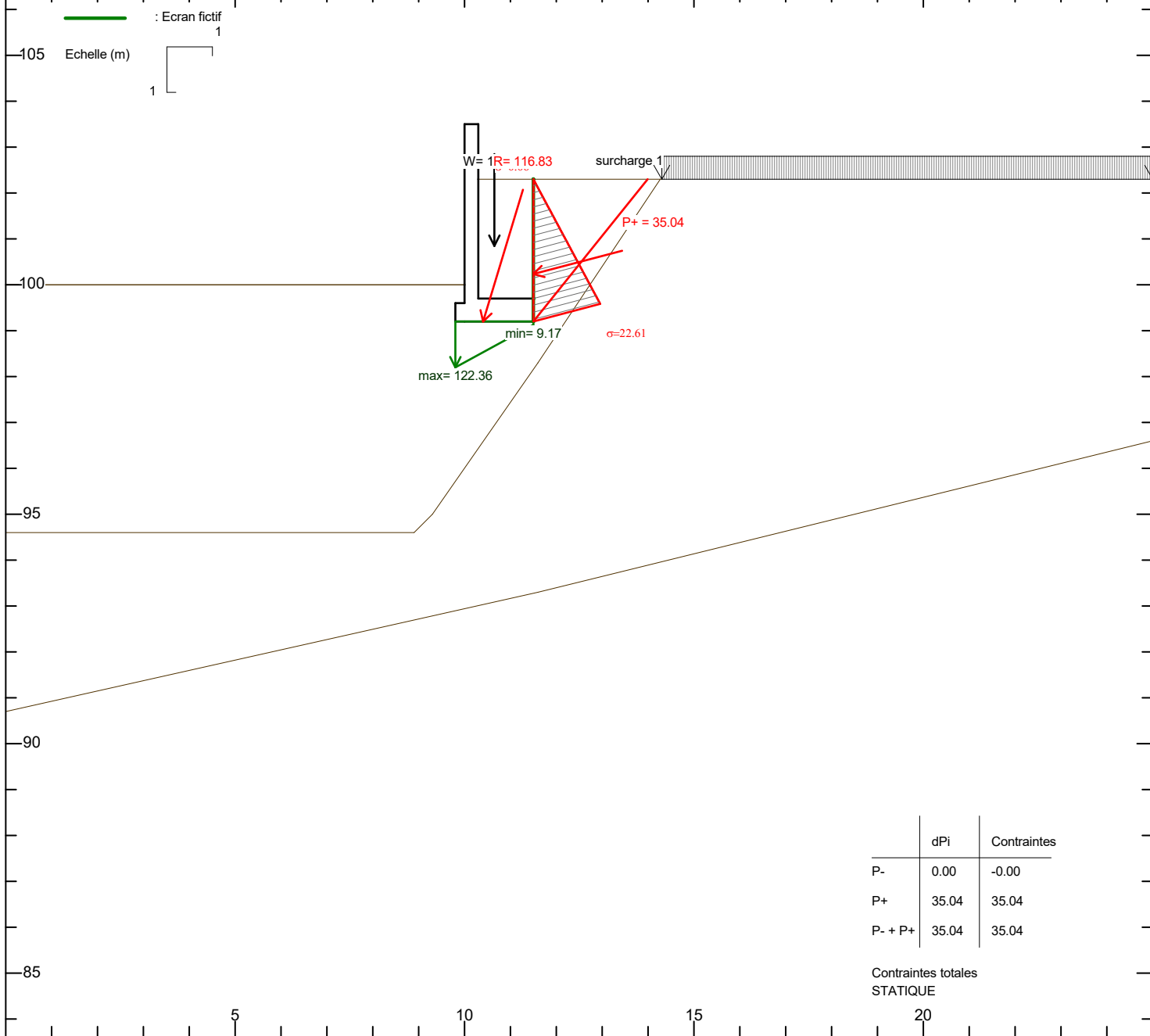
— : statique

GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS  
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2  
Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

A23.13.557	22/12/2023 - 11:19	Mur de soutènement béton (n°1)	FIGURE 3/4



	dPi	Contraintes
P-	0.00	-0.00
P+	35.04	35.04
P- + P+	35.04	35.04

Contraintes totales  
STATIQUE

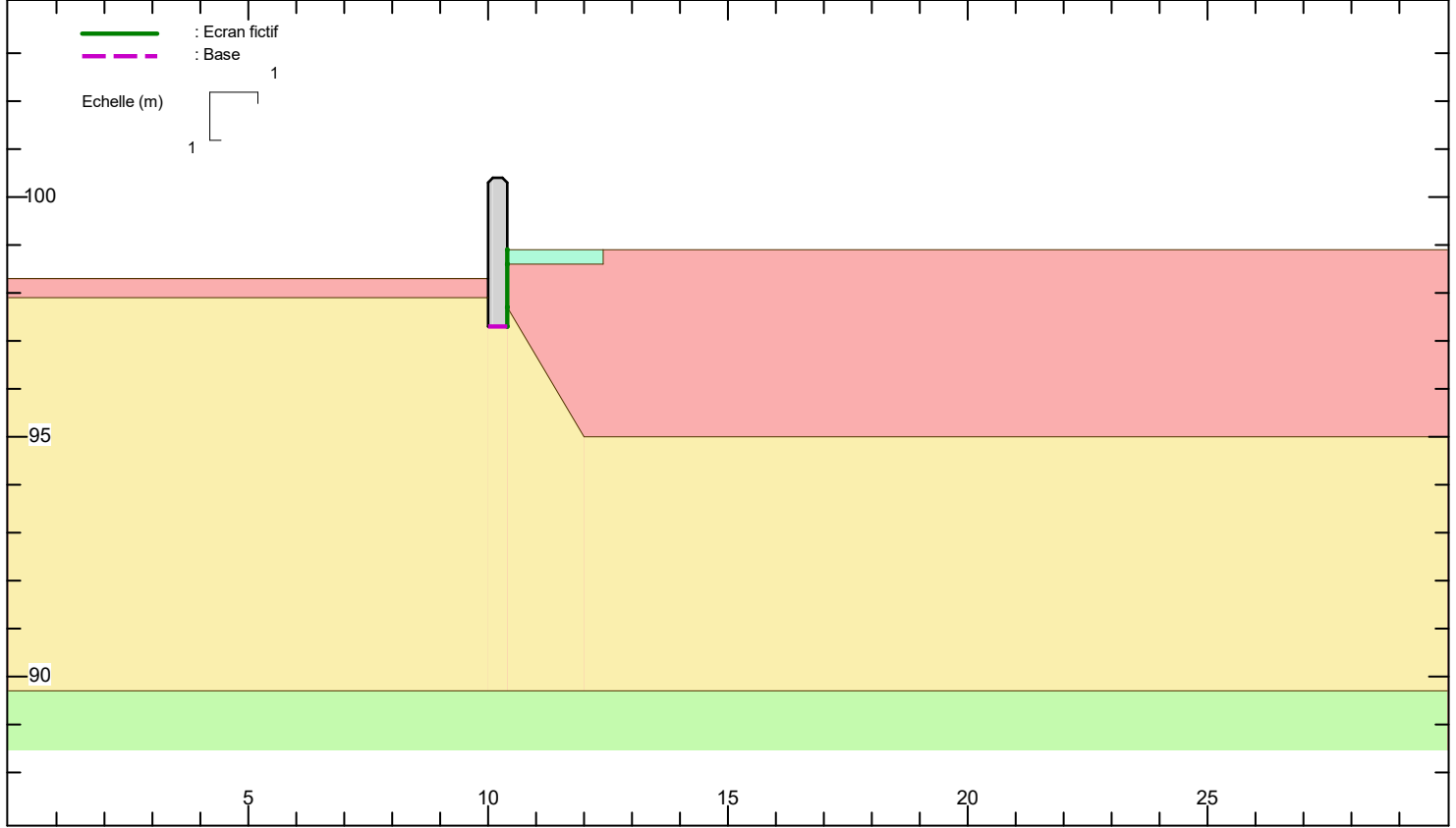
POIDS DU MUR	W= 102.91 kN	W sol/semelle= 56.16 kN	W sol/patin = 1.44 kN	Xg= 10.65 m	Yg= 100.85 m
dont : W mur= 45.31 kN	W charges= 0.00 kN			W sol sous semelle= 0.00 kN	W eau= 0.00 kN

POUSSEE TOTALE	P= 35.04 kN	$\tau = 14.70^\circ$	Pv = 8.89 kN	Ph = 33.89 kN	X = 11.50 m	Y = 100.23 m
Poussée due au sol	P= 35.04 kN	$\tau = 14.70^\circ$	Pv = 8.89 kN	Ph = 33.89 kN	X = 11.50 m	Y = 100.23 m
Poussée due aux charges	P= 0.00 kN	$\tau = 0.00^\circ$	Pv = 0.00 kN	Ph = 0.00 kN	X = 0.00 m	Y = 0.00 m

RESULTANTE	R= 116.83 kN	$\tau = 73.14^\circ$	Rv= 111.80 kN	Rh= 33.89 kN	X = 10.41 m	Y = 99.20 m
------------	--------------	----------------------	---------------	--------------	-------------	-------------

GEOMUR® 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2	Tél : 04 50 95 38 14
site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Fax : 04 50 95 99 36

A23.13.557	22/12/2023 - 11:19	Mur de soutènement béton (n°1)	FIGURE 4/4



GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS      GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2      Tél : 04 50 95 38 14  
 site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)      Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS      Fax : 04 50 95 99 36

SOLS	$\gamma$	c	$\varphi$	$\delta$	Ca
1	18.00	0.00	22.00	14.70	0.00
2	18.00	3.00	22.00	14.70	0.00
3	18.00	10.00	25.00	16.80	0.00
4	23.00	40.00	50.00	35.00	0.00

MUR	$\gamma$	BASE	C	$\phi$	q0	qu	Type sol
	20.00		3.00	22.00	0.00	700.00	cohérent

Fichier : Mur n° 2 en pierres au Nord.gmr  
 Unités : kN, m  
 Méthode de CULMANN  
 Surfaces brisées précalculées  
 Xi incliné à delta

Prise en compte de la cohésion pour le calcul des poussées :  
 Intégration de la partie positive du diagramme des contraintes, calculé avec la cohésion.

A23.13.557	22/12/2023 - 16:16	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 1/4



Facteurs de sécurité partiels					Critère	Statique		Sismique						
								Pesant		Allégeant				
Sol	Eau	Charges	Poussée	Méthode		Fs cal	Fs min	Fs cal	Fs min	Fs cal	Fs min			
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	CLASSIQUE Glissement () Renversement () Excentricité = 0.254 m doit être < 0.067 m Poinçonnement ()	0.837 0.808 0.000	> 1.500 > 1.500 > 3.000	- - -	- - -	- - -				
<b>Actions - ELU</b> permanentes défavorables γg = 1.35 variables défavorables γq = 1.5  permanentes favorables γg = 1 variables favorables γq = 0  Eau favorable γw;inf = 1 Eau défavorable γw;sup= 1.35  <b>Résistances</b> portance (ELU) γR;v = 1.4 portance (ELS) γR;v = 2.3 glissement γR;h = 1.1 butée γR;e = 1.4  <b>Methode</b> glissement γR;d;h = 0.9 portance γR;d;v = 1					Eurocodes 7 : NF P 94-281									
					Approche 2 - ELU									
					Glissement (ELU Article 9.3.1) Poussée défavorable-Poids favorable		Rh;d = 12.241 kN/m Rp;d = 0 kN/m Hd = 20.564 kN/m Hd > Rh;d + Rp;d		e = 0.327 m e > 7/15 * B = 0.187 m					
					Renversement (ELU Article 9.2.2) Poussée défavorable-Poids favorable		R0=0 kN; iδβ=0.372 Rv;d = 0 kN/m Vd = 29.995 kN/m Vd > Rv;d + R0							
					Poinçonnement (ELU Article 9.2.1) Poussée défavorable-Poids favorable									
Approche 2 - ELS														
Renversement (ELS Article 12.3)		e = 0.254 m e > 1/4 * B = 0.1 m		R0=0 kN; iδβ=0.465 Rv;d = 0 kN/m Vd = 28.596 kN/m Vd > Rv;d + R0										
Poinçonnement (ELS Article 12.2)														

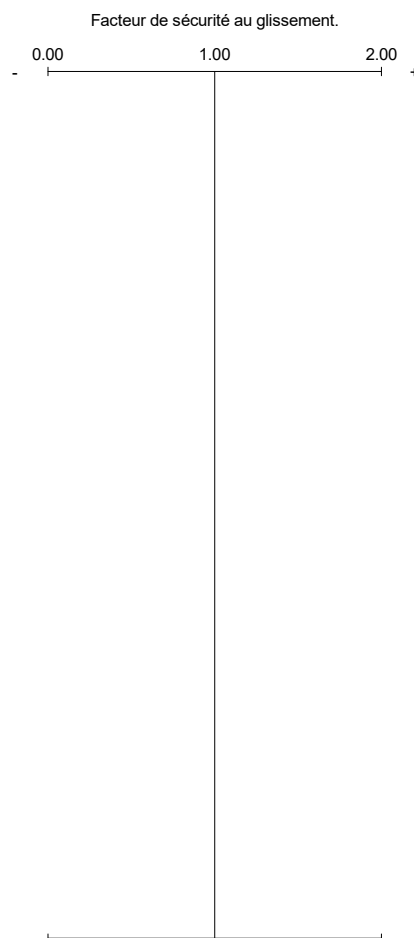
<b>RESULTATS DE CALCULS INTERMEDIAIRES (METHODE CLASSIQUE)</b>		
<b>SOL À PREDOMINANCE COHERENTE</b>		
<b>Statique</b>		
Excentricité = 0.254	iδβ = 0.474	
δ=28.04 °	β=0.00 °, d=0.00 m	
qmin = 0.000 kPa	qmax = 0.000 kPa	
qref non calculée	Vol. mur = 1.230 m²	

GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2 Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Tél : 04 50 95 38 14 Fax : 04 50 95 99 36
---	---	--

A23.13.557	22/12/2023 - 16:16	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 2/4



La résultante doit passer dans le tiers central.



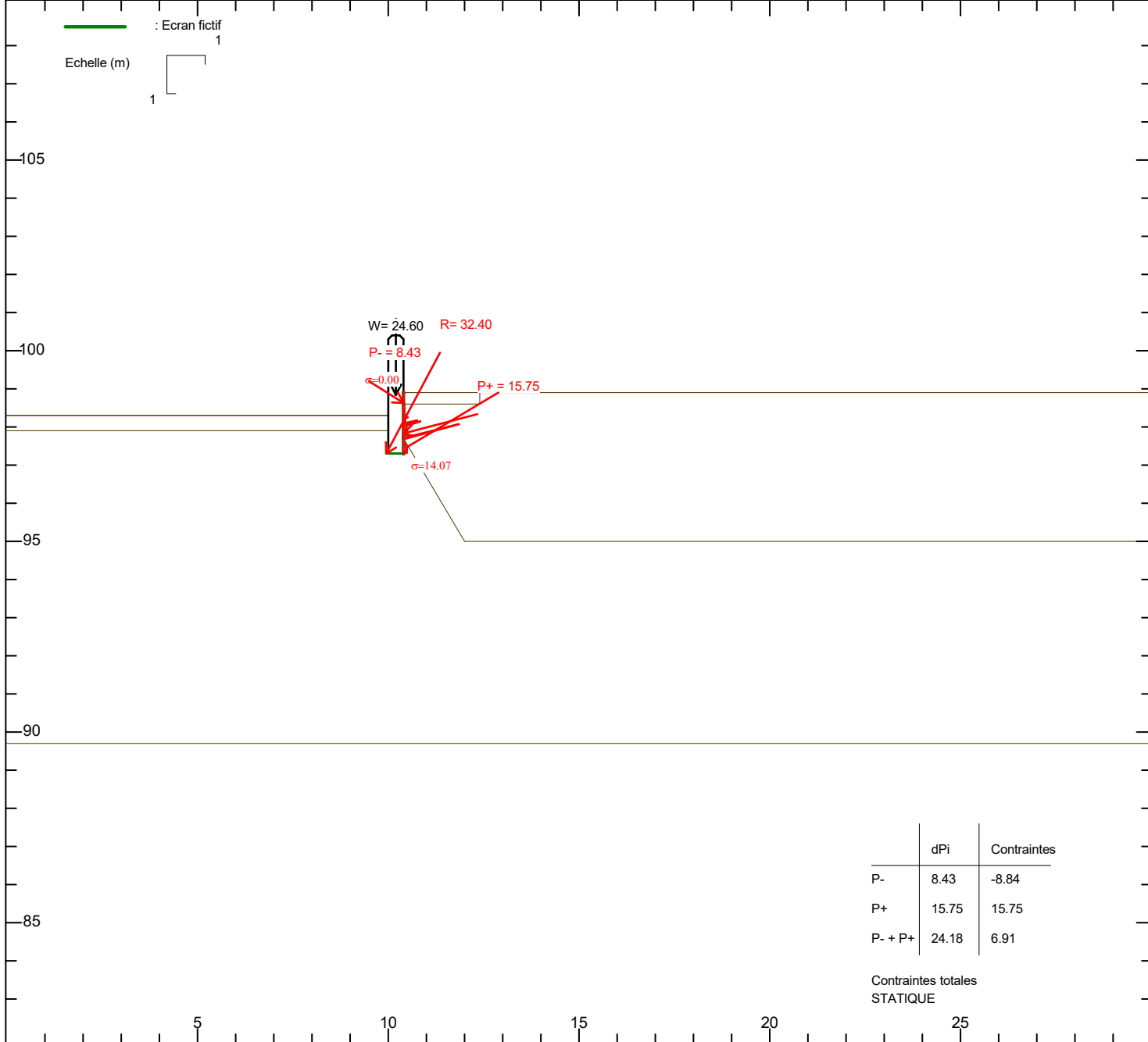
C	$\phi$
40.00	40.00

; OUI

..... : statique

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

ALPHA BTP NORD - 1896299033



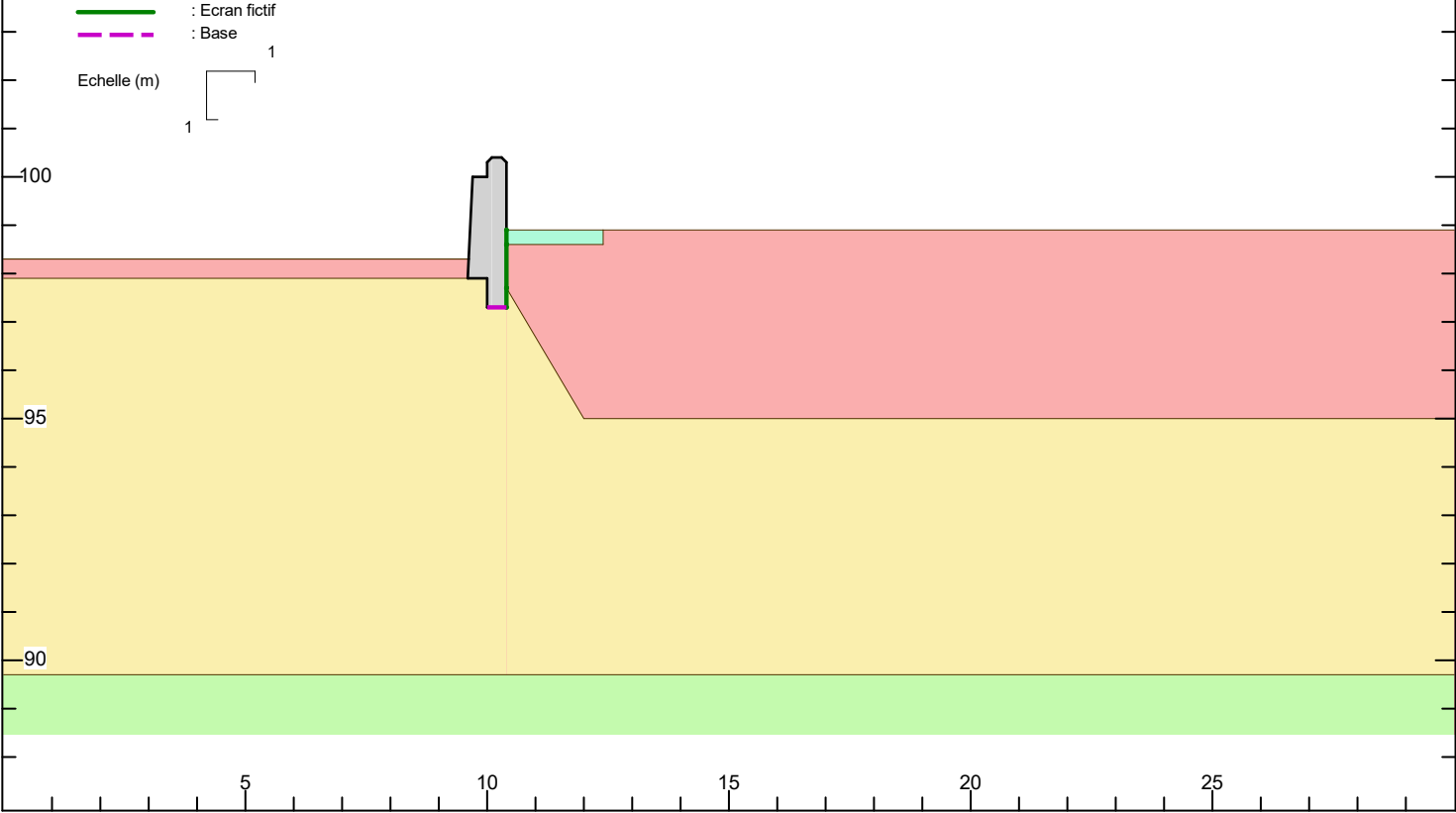
POIDS DU MUR	W= 24.60 kN	W sol/semelle= 0.00 kN	W sol/patin = 0.00 kN	Xg= 10.20 m	Yg= 98.84 m
dont : W mur= 24.60 kN	W charges= 0.00 kN			W sol sous semelle= 0.00 kN	W eau= 0.00 kN

POUSSEE TOTALE	P= 15.75 kN	τ= 14.70 °	Pv = 4.00 kN	Ph = 15.23 kN	X = 10.40 m	Y = 97.83 m
Poussée due au sol	P= 15.75 kN	τ= 14.70 °	Pv = 4.00 kN	Ph = 15.23 kN	X = 10.40 m	Y = 97.83 m

RESULTANTE	R= 32.40 kN	τ= 61.96 °	Rv= 28.60 kN	Rh= 15.23 kN	X = 9.95 m	Y = 97.30 m
------------	-------------	------------	--------------	--------------	------------	-------------

GEOMUR® 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2	Tél : 04 50 95 38 14
site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Fax : 04 50 95 99 36

A23.13.557	22/12/2023 - 16:16	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 4/4



GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS  
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2  
Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

SOLS	$\gamma$	c	$\varphi$	$\delta$	Ca
<div></div> 1	18.00	0.00	22.00	14.70	0.00
<div></div> 2	18.00	3.00	22.00	14.70	0.00
<div></div> 3	18.00	10.00	25.00	16.80	0.00
<div></div> 4	23.00	40.00	50.00	35.00	0.00

MUR	$\gamma$	BASE	C	$\phi$	q0	qu	Type sol
<div></div>	20.00		3.00	22.00	0.00	700.00	cohérent

Fichier : Mur n° 2 en pierres au Nord avec contrefort.gmr  
Unités : kN, m  
Méthode de CULMANN  
Surfaces brisées précalculées  
Xi incliné à delta

Prise en compte de la cohésion pour le calcul des poussées :  
Intégration de la partie positive du diagramme des contraintes, calculé avec la cohésion.

A23.13.557	22/12/2023 - 16:18	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 1/4



Facteurs de sécurité partiels					Critère	Statique		Sismique				
Sol	Eau	Charges	Poussée	Méthode		Fs cal	Fs min	Pesant		Allégeant		
								Fs cal	Fs min	Fs cal	Fs min	
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	CLASSIQUE Glissement () Renversement () Excentricité = 0.296 m doit être < 0.067 m Poinçonnement ()	1.229 0.484 0.000	> 1.500 > 1.500 > 3.000	- - -	- - -	- - -	- - -	
<b>Actions - ELU</b> permanentes défavorables γg = 1.35 variables défavorables γq = 1.5  permanentes favorables γg = 1 variables favorables γq = 0  Eau favorable γw;inf = 1 Eau défavorable γw;sup= 1.35  <b>Résistances</b> portance (ELU) γR;v = 1.4 portance (ELS) γR;v = 2.3 glissement γR;h = 1.1 butée γR;e = 1.4  <b>Méthode</b> glissement γR;d;h = 0.9 portance γR;d;v = 1					Eurocodes 7 : NF P 94-281							
					Approche 2 - ELU							
					Glissement (ELU Article 9.3.1) Poussée défavorable-Poids favorable		Rh;d = 18.268 kN/m Rp;d = 0 kN/m Hd = 20.564 kN/m Hd > Rh;d + Rp;d		e = 0.344 m e > 7/15 * B = 0.187 m			
					Renversement (ELU Article 9.2.2) Poussée défavorable-Poids favorable		R0=0 kN; iδβ=0.518 Rv;d = 0 kN/m Vd = 44.763 kN/m Vd > Rv;d + R0					
					Poinçonnement (ELU Article 9.2.1) Poussée défavorable-Poids favorable		R0=0 kN; iδβ=0.608 Rv;d = 0 kN/m Vd = 43.365 kN/m Vd > Rv;d + R0					
Approche 2 - ELS												
Renversement (ELS Article 12.3)												
Poinçonnement (ELS Article 12.2)												

<b>RESULTATS DE CALCULS INTERMEDIAIRES (METHODE CLASSIQUE)</b>		
<b>SOL À PREDOMINANCE COHERENTE</b>		
<b>Statique</b>		
Excentricité = 0.296	iδβ = 0.616	
δ=19.35 °	β=0.00 °, d=0.00 m	
qmin = 0.000 kPa	qmax = 0.000 kPa	
qref non calculée	Vol. mur = 1.965 m²	

GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2 Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Tél : 04 50 95 38 14 Fax : 04 50 95 99 36
---	---	--

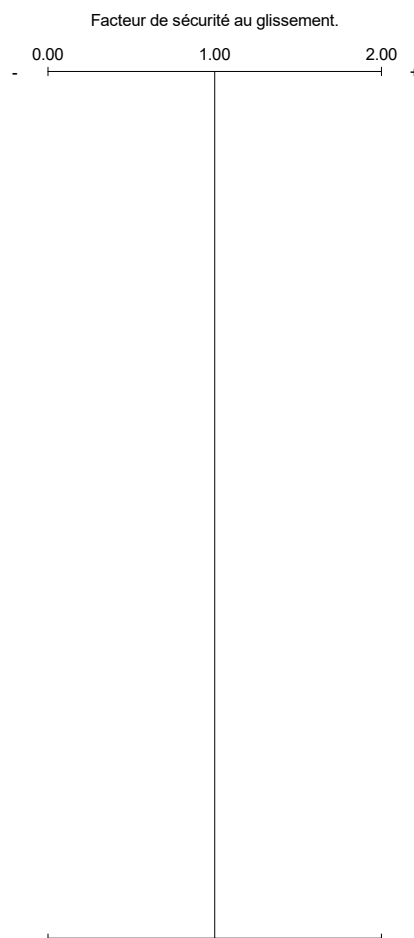
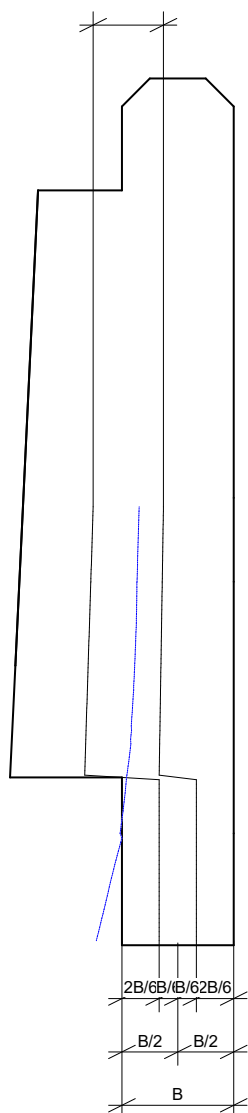
A23.13.557	22/12/2023 - 16:18	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 2/4



## STABILITE INTERNE

mur en maçonnerie :

La résultante doit passer dans le tiers central.



Caractéristiques internes du mur (Methode classique):

C  $\phi$   
40.00 40.00

Conditions vérifiées :

Résultante :

en statique -> NON

Glissement :

; OUI

Légende :

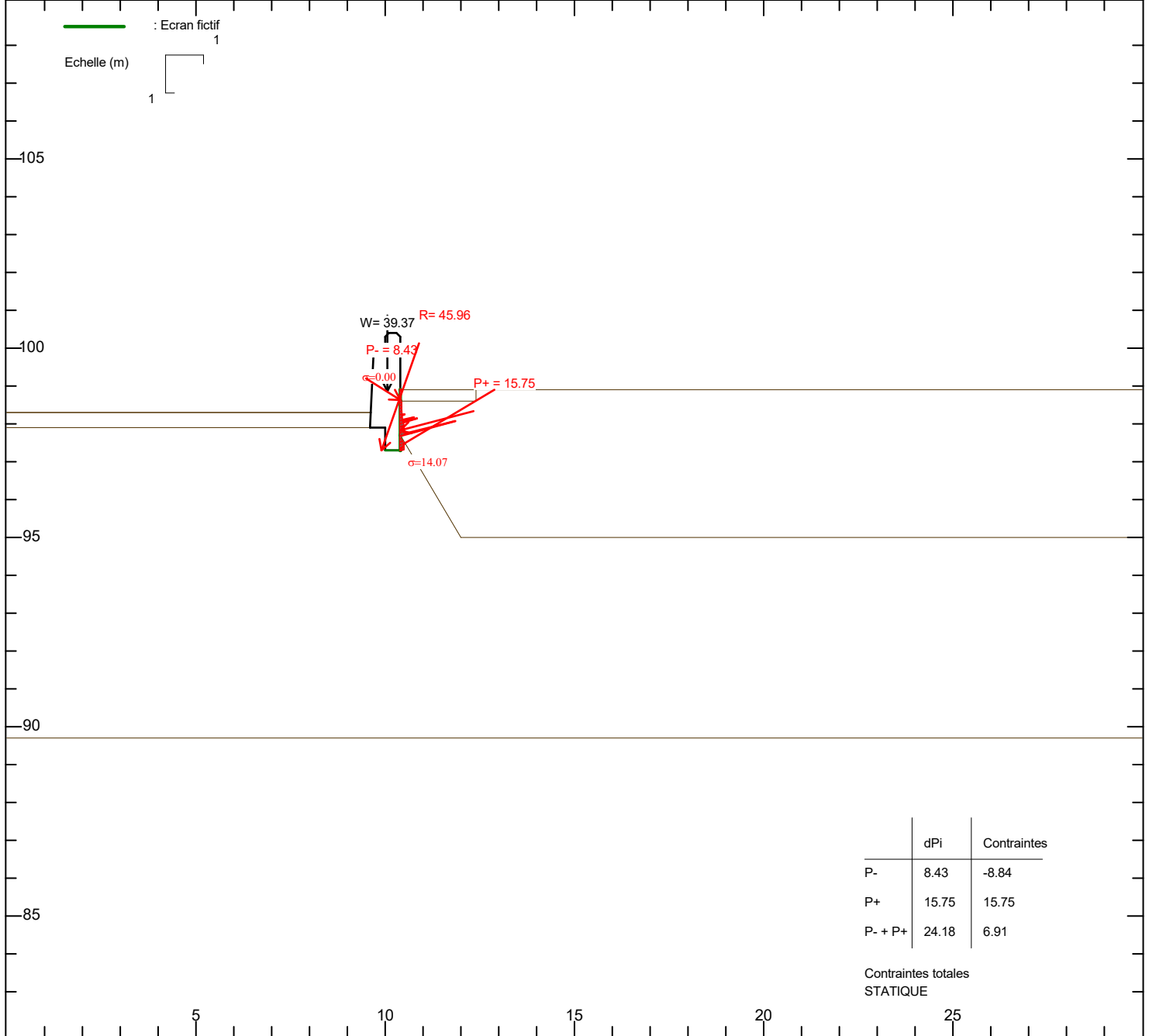
— : statique

GEOMUR© 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS  
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2  
Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

A23.13.557	22/12/2023 - 16:18	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 3/4



POIDS DU MUR	W= 39.37 kN	Xg= 10.06 m	Yg= 98.86 m
dont : W mur= 39.30 kN	W charges= 0.00 kN	W sol/patin = 0.07 kN	W sol sous semelle= 0.00 kN
	W sol/semelle= 0.00 kN	W eau= 0.00 kN	

POUSSEE TOTALE	P= 15.75 kN	$\tau= 14.70^\circ$	Pv = 4.00 kN	Ph = 15.23 kN	X = 10.40 m	Y = 97.83 m
Poussée due au sol	P= 15.75 kN	$\tau= 14.70^\circ$	Pv = 4.00 kN	Ph = 15.23 kN	X = 10.40 m	Y = 97.83 m

RESULTANTE	R= 45.96 kN	$\tau= 70.65^\circ$	Rv= 43.36 kN	Rh= 15.23 kN	X = 9.90 m	Y = 97.30 m
------------	-------------	---------------------	--------------	--------------	------------	-------------

GEOMUR® 2.20.3 du 06/07/23 développé par GEOS	GEOS Ingénieurs Conseils, 310 av. Marie Curie, Bât, Europa 2	Tél : 04 50 95 38 14
site web : <a href="http://www.geos.fr">http://www.geos.fr</a> e-mail : <a href="mailto:logiciels@geos.fr">logiciels@geos.fr</a>	Archamps Technopole, F-74160 ARCHAMPS	Fax : 04 50 95 99 36

A23.13.557	22/12/2023 - 16:18	Mur en pierre au Nord n°2	FIGURE 4/4