

# ÉTUDE DE SOL

## MISSION GÉOTECHNIQUE G2 PRO

Restructuration et extension de l'Institut de  
Cancérologie de Bretagne Sud (ICBS)

Hôpital du Scorff  
LORIENT (56)



**CLIENT**

<b>NOM</b>	Groupe Hospitalier Bretagne Sud
<b>ADRESSE</b>	Direction Services Techniques 5 avenue de Choiseul – BP 12233 56 100 LORIENT CEDEX
<b>INTERLOCUTEUR</b>	Mme MARGOTTAT Perrine – Directeur des Services Techniques

**ECR ENVIRONNEMENT**

<b>ADRESSE</b>	2 rue André Ampère – 56 260 LARMOR-PLAGE
<b>TELEPHONE / MAIL</b>	02 97 87 42 32 / <a href="mailto:lorient@ecr-environnement.com">lorient@ecr-environnement.com</a>
<b>CHARGE D'AFFAIRES</b>	Thierry LE LOHER
<b>CHARGE D'ETUDES</b>	José David VIVAS ABRIL

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
12/2024	01	Mission G2 AVP – Edition initiale	J. VIVAS	T. LE LOHER
05/2025	02	Mission G2 PRO – Edition initiale	C. AMAUGER	T. LE LOHER
05/2025	03	MàJ rotation libre en tête de pieux, raideur en translation	C. AMAUGER	T. LE LOHER
06/2025	04	Agressivité chimique de l'eau sur le béton	C. AMAUGER	T. LE LOHER

Rédacteur	Contrôle interne
Charlie AMAUGER Chargé d'affaires	Thierry LE LOHER Chargé d'affaires

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE .....</b>	<b>1</b>
1.1.	PRESENTATION DU PROJET .....	1
1.2.	MISSION .....	2
1.3.	PROGRAMME .....	3
<b>2.</b>	<b>DONNEES DU SITE.....</b>	<b>3</b>
2.1.	ANALYSE HISTORIQUE .....	3
2.2.	CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	4
2.3.	POTENTIEL RADON .....	5
2.4.	RISQUE DE RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES .....	5
2.5.	RISQUE DE REMONTEES DE NAPPE .....	5
2.6.	RISQUE DE SUBMERSION MARINE .....	5
2.7.	DISPOSITIONS PARASISMIQUES .....	6
<b>3.</b>	<b>RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS .....</b>	<b>7</b>
3.1.	NIVELLEMENT .....	7
3.2.	SYNTHESE GEOMECHANIQUE .....	7
3.3.	HYDROGEOLOGIE .....	9
3.4.	CLASSIFICATION D'EXPOSITION EN FONCTION DES ACTIONS DUES A L'ENVIRONNEMENT.....	10
3.4.1.	<i>Agressivité de l'eau vis-à-vis du béton .....</i>	<i>10</i>
3.4.2.	<i>Agressivité des sols vis-à-vis du béton .....</i>	<i>11</i>
3.4.3.	<i>Propriétés du béton .....</i>	<i>11</i>
3.5.	SYNTHESE .....	12
<b>4.</b>	<b>APPLICATION AU PROJET .....</b>	<b>13</b>
4.1.	SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS .....	13
4.1.1.	<i>Classes de sols selon l'EC8.....</i>	<i>13</i>
4.1.2.	<i>Liquéfaction des sols.....</i>	<i>15</i>
4.2.	POSSIBILITES DE FONDATION DE L'EXTENSION.....	15
4.2.1.	<i>Préconisations de fondations profondes par pieux.....</i>	<i>15</i>
4.2.2.	<i>Cas de charges et fondations.....</i>	<i>15</i>
4.2.3.	<i>Modèle géotechnique .....</i>	<i>18</i>
4.3.	PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT VIS-A-VIS DE LA PORTANCE.....	19
4.3.1.	<i>Béton .....</i>	<i>19</i>
4.3.2.	<i>Vérification vis-à-vis de la portance en compression.....</i>	<i>20</i>
4.3.3.	<i>Vérification vis-à-vis de la résistance en traction.....</i>	<i>23</i>
4.4.	PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT VIS-A-VIS DES SOLlicitATIONS LATERALES SISMiques .....	23
4.4.1.	<i>Caractéristiques des pieux .....</i>	<i>23</i>
4.4.2.	<i>Effets inertiels et/ou cinématiques .....</i>	<i>24</i>
4.4.3.	<i>Justification vis-à-vis des effets inertiels et cinématiques.....</i>	<i>29</i>
4.5.	EXECUTION DES PIEUX .....	30
4.6.	NIVEAU BAS.....	31
4.6.1.	<i>Extension.....</i>	<i>31</i>
4.6.2.	<i>Bunker.....</i>	<i>31</i>
4.7.	PRECAUTIONS PARTICULIERES DE CONCEPTION ET D'EXECUTION .....	32
4.7.1.	<i>Terrassement .....</i>	<i>32</i>
4.7.2.	<i>Stabilité des terrains en déblais et talutage.....</i>	<i>33</i>
4.7.3.	<i>Mitoyenneté .....</i>	<i>34</i>
4.7.4.	<i>Drainage .....</i>	<i>35</i>

## ANNEXES

- Annexe 1 : Implantation des sondages (1 page)  
 Annexe 2 : Résultats des investigations in-situ (5 pages)  
 Annexe 3 : Résultats des analyses en laboratoire (3 pages)  
 Annexe 4 : Feuilles de calculs Foxta (70 pages)  
 Annexe 5 : Classification des missions géotechniques (1 pages)



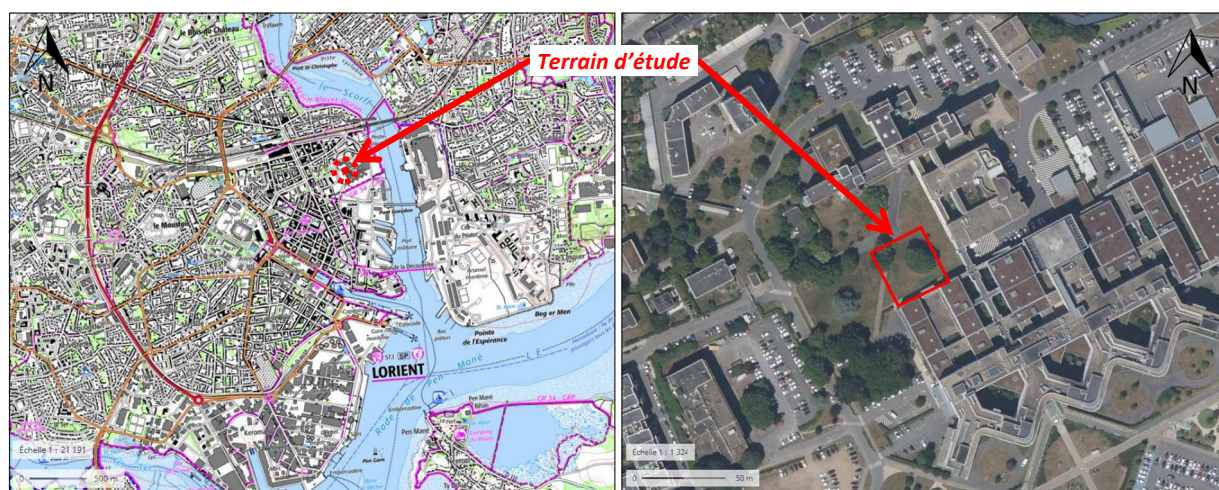
La présente reconnaissance de sol a été effectuée par la société ECR ENVIRONNEMENT – 2, rue André Ampère – 56 260 LARMOR-PLAGE à la demande et pour le compte de :

**Groupe Hospitalier Bretagne Sud**  
**Direction Services Techniques**  
**5 avenue de Choiseul – BP 12233**  
**56 100 LORIENT CEDEX**

## 1. CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE

### 1.1. Présentation du projet

Le projet concerne la restructuration et l'extension de l'Institut de Cancérologie de Bretagne Sud à LORIENT (56), sur la parcelle cadastrée BP n°136, sise rampe de l'Hôpital des Armées.



*Situation de la zone d'étude – Géoportail*

Lors de notre intervention de fin novembre 2024, la zone d'étude correspond à une section des espaces verts situés au Nord-Ouest de l'Hôpital du Scorff et de l'institut de cancérologie existant. Le terrain est recouvert de pelouse, avec la présence de quelques arbres dans sa partie centrale. Il présente une déclivité orientée vers le Sud-Est, avec un dénivelé d'environ  $\pm 1.00$  m. Des réseaux sont présents dans l'emprise du projet.

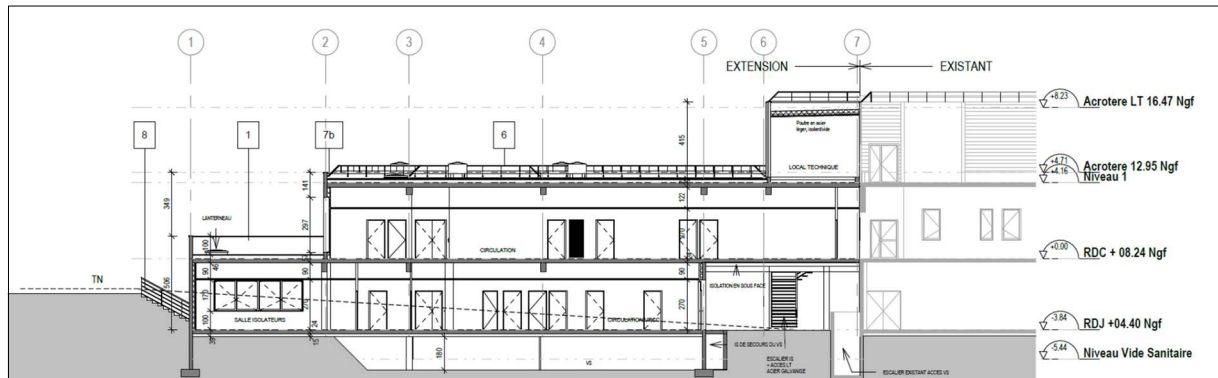


*Photographies du site, novembre 2024*



Les caractéristiques du projet sont les suivantes :

- Construction d'une extension en continuité avec l'hôpital du Scorff, fondé sur pieux :
  - o Emprise au sol =  $\pm 1\ 100\text{ m}^2$  ;
  - o Bâtiment type R+2+VS :
    - Niveau 1 = 12.4 m NGF ;
    - RDC = 8.24 m NGF ;
    - RDJ = 4.40 m NGF ;
    - Niveau vide sanitaire = 2.80 m NGF et cheminement = 2.20 m NGF.



*Coupe de la façade ouest – AIA Architectes*

Les documents mis à notre disposition sont les suivants :

Document	Référence	Emetteur	Date	Echelle
Mission G2 AVP				
Etude de faisabilité géotechnique	G0 + G12 /3407 et 3709	ECR Environnement	Mai 2007	/
Plan de masse	0980a24/GHBS/APS	AIA Architectes	Octobre 2024	1 :200
Plan VS				
Plan RDJ				
Plan RDC				
Plan de toiture				
Plans de coupes et de façades				
Cahier des charges				0980a24
Plan topographique	024-168	/	5 septembre 2024	1 :250
Plan de détection des réseaux	LT20243323O	QUARTA	13 novembre 2024	1 :200
Mission G2 PRO				
Notice sismique & descente de charges	0980a24/GHBS/PRO /570	AIA Architectes / OTI	02 mai 2025	-
Extension - Fondations / PH VS	STR 500		Avril 2025	1 :50

## 1.2. Mission

Par référence à la classification des « Missions Géotechniques Normalisées » (Norme N FP 94-500), la présente reconnaissance est de type **G2 PRO** et voit de ce fait l'étendue de sa mission limitée aux prestations correspondantes.

### 1.3. Programme

Le programme d'intervention a consisté à réaliser les opérations suivantes :

- ⇒ **3 sondages destructifs (notés SP1, SP2 et SD1)**, réalisés en rotopercussion jusqu'à des profondeurs comprises entre 20.44 et 25.25 m/TA, avec enregistrement des paramètres de forage (vitesse d'avancement, pression de poussée, pression d'injection et couple de rotation) ;  
+ **18 essais pressiométriques**, à raison de 9 essais par sondage SP, permettant de déterminer les caractéristiques  $E_M$  et  $PI^*$  des sols ;
- ⇒ **1 piézomètre (noté Pz1)**, équipé sur le sondage SP1 jusque 6.00 m/TA ;
- ⇒ **1 analyse d'agressivité du sol sur le béton**, sur des échantillons prélevés en SP1.

Nous prendrons également en considération les sondages réalisés en bordure Sud du projet en juillet 2006 pour la construction de l'hôpital du Scorff (affaire ECR n°3407) :

- ⇒ **2 sondages destructifs (notés SB4 et SH5)**, réalisés en rotopercussion avec enregistrement des paramètres de forage jusqu'à 25.00 m/TA ;  
+ **16 essais pressiométriques**, à raison de 8 essais par sondage.

## 2. DONNEES DU SITE

### 2.1. Analyse historique

D'après les anciennes photographies aériennes (remonterletemps.ign.fr et Google Earth) :

- Au 18<sup>e</sup> siècle, le site se trouve sur les berges du Scorff, vraisemblablement dans une zone de marnage ;
- D'après la carte de l'état-major de 1820-1866 et la carte historique de 1950, la zone d'étude a été remblayée ;
- Au début des années 2000, la parcelle correspond à un espace vert ;
- Vers 2005, les travaux de construction du GHBS débutent. La parcelle fait alors l'objet de remaniements de sols en surface liés aux travaux et restera un espace vert jusqu'à aujourd'hui.



Carte de l'état-major (1820-1866) – Géoportail

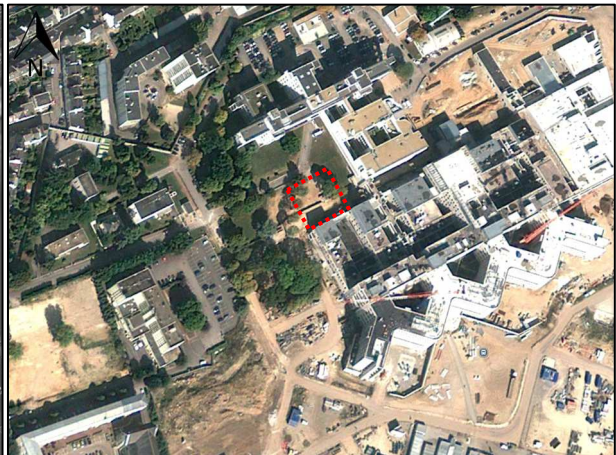


Carte historique 1950 – Géoportail





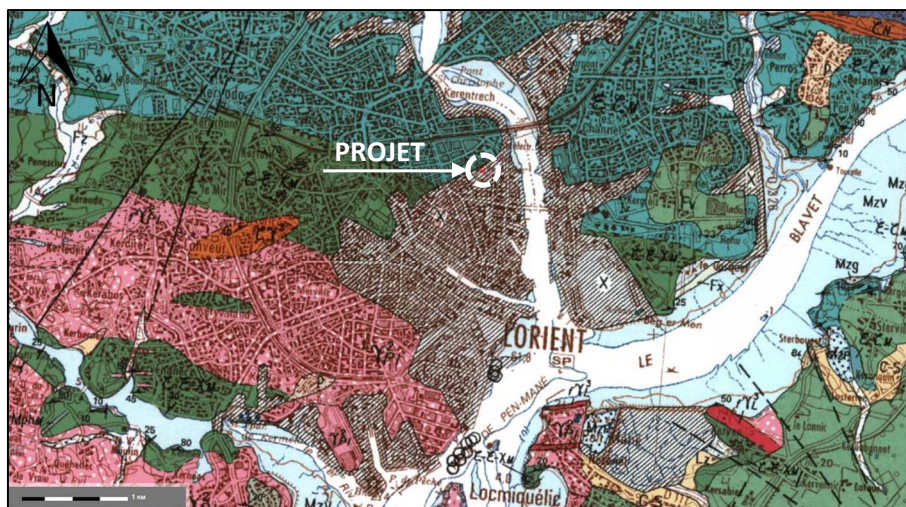
Photographie aérienne du 20 juillet 1982 – Géoportail



Photographie aérienne du 27 octobre 2010 – Google Earth

## 2.2. Contexte géologique

D'après le site InfoTerre du B.R.G.M, la zone d'étude se situe sur des dépôts anthropiques issus des aménagements généraux des bords du Scorff recouvrant la formation métamorphique de Brigneau (**micaschistes** et paragneiss micacés).



Extrait de la carte géologique de LORIENT imprimée au 1 :50 000<sup>e</sup> – BRGM

Au droit de la zone d'étude, les horizons que l'on doit normalement rencontrer sont :

- Des horizons de recouvrement ainsi que des remblais d'aménagements ;
- Potentiellement des horizons de dépôts limono-argileux ;
- Des altérites provenant de l'altération de la roche sous-jacente ;
- Le substratum micaschisteux.



## 2.3. Potentiel radon

D'après l'IRSN, le potentiel radon de la commune de LORIENT (56) est classé en **catégorie 3**. Il est recommandé, sans obligations, de prévoir des systèmes constructifs, de ventilations et de chauffages adaptés (étanchéité sol/bâtiment, vide sanitaire ventilé...).

## 2.4. Risque de retrait gonflement des argiles

D'après la carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles ([www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr)), le projet se situe dans une zone d'**aléa à priori nul** vis-à-vis de ce phénomène.

## 2.5. Risque de remontées de nappe

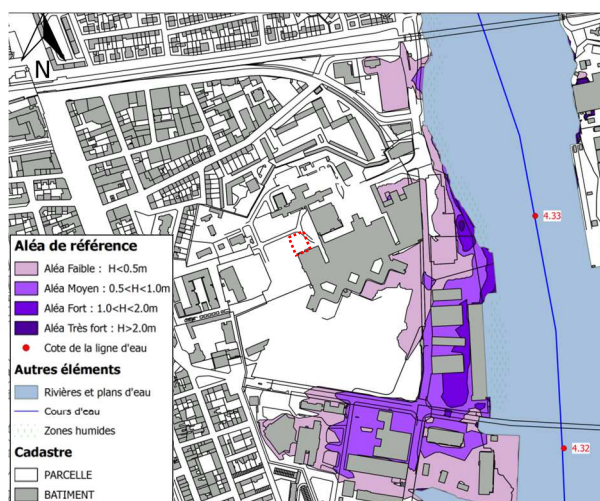
D'après la carte de sensibilité vis-à-vis des remontées de nappe ([www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr)), le projet se situe dans une **zone potentiellement sujette aux débordements de nappe**.

Notons également l'influence probable des marées.

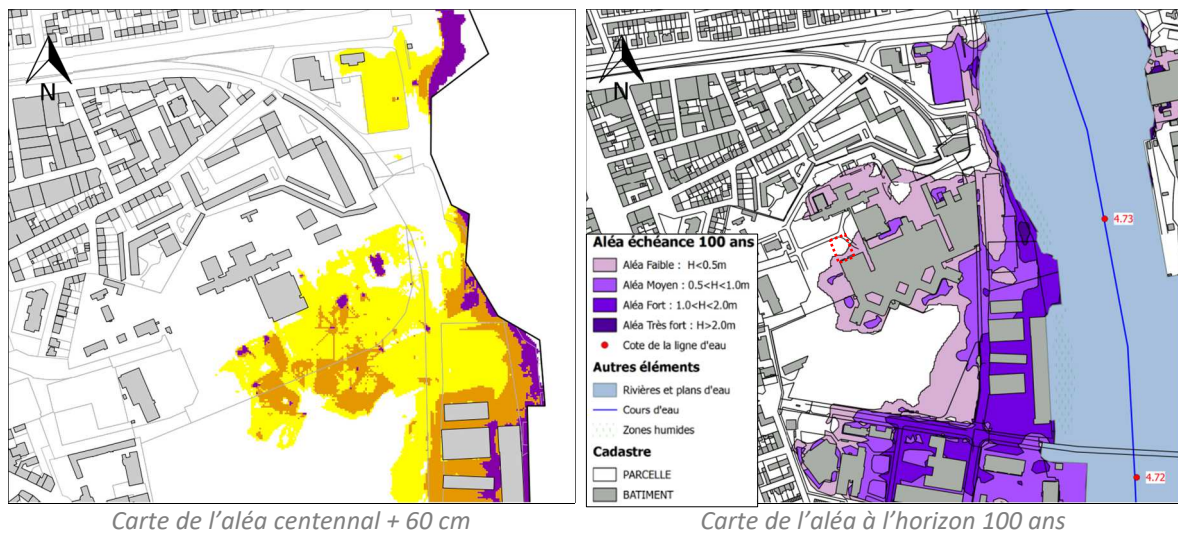
## 2.6. Risque de submersion marine

Un plan de prévention des risques littoraux (PPRL) a été prescrit sur la commune de Lorient par arrêté préfectoral le 23 avril 2019 (prorogé a minima jusqu'au 24 octobre 2023).

D'après ce dernier dont des extraits des cartes de l'aléa sont présentés ci-contre, le projet se situe dans une zone d'aléa faible ( $H < 0.5m$ ) vis-à-vis de l'aléa à échéance 100 ans.



Carte de l'aléa de référence



Carte de l'aléa centennial + 60 cm

Carte de l'aléa à l'horizon 100 ans

Selon l'arrêté préfectoral du 24 avril 2019 portant prescription du PPRL de Lorient et l'annexe N du PLU (Cartes des zones basses de submersion marine) :

- L'aléa de référence à court terme correspond au niveau marin de l'évènement d'ordre centennial « NMC » (ou évènement historique le plus fort si celui-ci est supérieur) réhaussé de 20 cm + 25 cm (marge forfaitaire liée aux incertitudes de calculs).
- L'aléa de référence à moyen terme (scénario N2100) correspond au niveau marin de l'évènement d'ordre centennial (ou évènement historique le plus fort si celui-ci est supérieur) réhaussé de 60 cm + 25 cm (marge forfaitaire liée aux incertitudes de calculs).

Le niveau centennial à considérer sur la commune de Lorient est 3.70 m NGF (cf. document "Niveaux extrêmes pour la commune de Lorient").

Dans ce contexte à l'horizon 2100, le niveau des plus hautes eaux NPHE à retenir dans le secteur d'étude est **4.55 m NGF** (NMC + 60 cm + 25 cm).

## 2.7. Dispositions parasismiques

### ➤ Catégorie de bâtiments

Les bâtiments à risque normal sont classés en 4 catégories d'importance croissante, de la catégorie I à faible enjeu, à la catégorie IV qui regroupe les structures stratégiques et indispensables à la gestion de crise.

L'ouvrage concerné par la présente étude est à priori classé dans le **groupe IV** (établissement hospitaliers).

### ➤ Exigence sur le bâti neuf

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité. Le nouveau zonage sismique de la France (décret d'octobre 2010 entré en vigueur le 1<sup>er</sup> mai 2011) classe la commune de LORIENT (56) en zone d'**aléa sismique 2** (aléa faible).

Concernant la présente étude (ouvrage de catégorie IV situé en zone d'aléa sismique 2), l'application des prescriptions parasismiques particulières de **l'Eurocode 8 est obligatoire**.

### 3. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

Nous avons présenté en Annexe les documents suivants :

- Le plan d'implantation des investigations ;
- Les coupes des sondages géologiques, avec les valeurs des essais pressiométriques ;
- Les résultats des analyses de laboratoire.

#### 3.1. Nivellement

Les points de sondage ont été nivelés par nos soins en prenant comme référence le seuil d'une porte située sur la façade Nord du bâtiment en limite sud de la zone d'étude, cotée à 4.35 m NGF sur le plan topographique fourni.

Les altitudes des points de sondage sont les suivantes :

	Référence	Sondages		
Points	R.N.1	SP1	SP2	SD1
Altitude (m NGF)	4.35	6.53	5.93	5.48

L'emplacement des points de sondage est reporté en Annexes sur le *Plan d'implantation des investigations*.

#### 3.2. Synthèse géomécanique

Les sondages géologiques ont été réalisés à l'aide de sondeuses ECOFORE CE 302 GL, en rotoperçussion et à la tarière hélicoïdale de diamètre 63 mm jusqu'à une profondeur de 25,25 m/TA ou jusqu'au refus, localement obtenu à 20,44 m/TA, lors de nos reconnaissances les 27 et 28 novembre 2024.

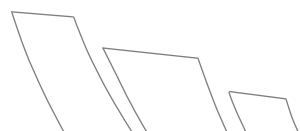
Les essais pressiométriques ont été réalisés conformément à la norme NF EN ISO 22476-4 avec une sonde nue de diamètre 60 mm équipée d'une gaine toilée. Ils ont permis de mesurer les caractéristiques suivantes :

- module pressiométrique :  $E_M$  (MPa)
- pression limite :  $PI^*$  (MPa).

Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au terrain actuel (T.A.) tel qu'il était le jour de l'intervention. L'ensemble des coupes de sondages est joint en annexe.

Au droit des sondages, la coupe géologique synthétique est la suivante :

- **Horizon de recouvrement** composé de :
  - **Remblais**, observés en tête de tous les sondages sur une épaisseur de 1.00 à 4.50 m ;
- **Horizon alluvionnaire** composé de :
  - **Alluvions à tendance argileuse, ±vasarde**, identifiée dans tous les sondages, jusqu'à des profondeurs comprises entre 8.50 et 11.00 m/TA ;





- **Horizons d'altération hétérogène du substratum micaschisteux/gneissique** composés de :
  - **Altérite tendre** identifiée en SD1 jusqu'à 12.00 m/TA ;
  - **Altérite peu compacte**, identifiée jusqu'à 12.00 m/TA SP1 et à 13.00 m/TA en SD1 :
 
$$9.1 < E_M < 10.1 \text{ MPa}$$

$$1.05 < PI^* < 1.29 \text{ MPa} \quad (2 \text{ essais})$$
  - **Altérite moyennement compacte**, reconnue en SP2 et SD1 jusqu'à une profondeur respective de 14.00 et 16.00 m/TA :
 
$$11.9 < E_M < 16.2 \text{ MPa}$$

$$1.61 < PI^* < 1.62 \text{ MPa} \quad (2 \text{ essais})$$
  - **Altérite compacte**, rencontrée en SP1 jusqu'à des profondeurs de 14.00 m/TA :
 
$$18.6 < E_M < 21.2 \text{ MPa}$$

$$2.17 < PI^* < 2.37 \text{ MPa} \quad (2 \text{ essais})$$
  - **Micaschiste  $\pm$  altéré à sain**, identifié jusqu'à la base de tous les sondages :
 
$$28.0 < E_M < 151.3 \text{ MPa}$$

$$2.83 < PI^* < 5.0 \text{ MPa} \quad (12 \text{ essais})$$

Les profondeurs d'interface entre les alluvions argileuses et les arènes argileuses sont difficiles à définir, ayant globalement la même « dureté » au forage.

Au droit des sondages de l'affaire n°3407 (2006), la coupe géologique synthétique est la suivante :

- **Horizons de recouvrements et alluvionnaires** composés de :
  - **Remblais**, observés en tête des sondages sur une épaisseur de 3.60 à 3.70 m ;
 
$$7.1 < E_M < 22.9 \text{ MPa}$$

$$0.71 < PI < 1.20 \text{ MPa} \quad (2 \text{ essais})$$
  - **Alluvions argilo-vasardes**, identifiées jusqu'à  $\pm$  12.50 m/TA ;
 
$$2.2 < E_M < 25.4 \text{ MPa}$$

$$0.48 < PI^* < 1.11 \text{ MPa} \quad (6 \text{ essais})$$
- **Horizons d'altération hétérogène du substratum micaschisteux/gneissique** composés de :
  - **Altérite tendre**, argileuse identifiée jusqu'à des profondeurs de 16.50 et 17.40 m/TA :
 
$$0.7 < E_M < 2.6 \text{ MPa}$$

$$0.09 < PI^* < 0.41 \text{ MPa} \quad (3 \text{ essais})$$
  - **Altérite compacte**, argileuse, rencontrée en SB4 jusqu'à 18.50 m/TA :
 
$$E_M = 28.5 \text{ MPa}$$

$$PI^* = 1.89 \text{ MPa} \quad (1 \text{ essai})$$



- **Micaschiste**  $\pm$  altéré, reconnu jusqu'à la base des sondages :  
 $27.7 < E_M < 79.5 \text{ MPa}$   
 $3.21 < PI^* > 4.34 \text{ MPa}$  (4 essais)

**Tableau récapitulatif des successions lithologiques et de leurs épaisseurs approximatives :**

	Affaire 5614781			Affaire 3407 (2006)	
Sondages	SP1	SP2	SD1	SB4	SH5
Cote au TA (m NGF)	6.53	5.93	5.48	5.00	5.04
Formation lithologique	Profondeur de la base (m/TA) (Cote NGF correspondante)				
Remblais et alluvion argileuse	<b>8.50</b> (-1.97)	<b>11.00</b> (-5.07)	<b>11.00</b> (-5.52)	<b>12.50</b> (-7.50)	<b>12.40</b> (-7.36)
Altérite tendre	–	–	–	<b>16.50</b> (-11.50)	<b>17.40</b> (-12.36)
Altérite peu compacte	<b>12.00</b> (-5.47)	–	<b>13.00</b> (-7.52)	–	–
Altérite moyennement compacte	–	<b>14.00</b> (-8.07)	<b>16.00</b> (-10.52)	–	–
Altérite compacte	<b>14.00</b> (-7.47)	–	–	<b>18.50</b> (-13.50)	–
Micaschiste $\pm$ altéré à sain	<b>&gt; 20.44</b> (-13.91)	<b>&gt; 25.25</b> (-19.32)	<b>&gt; 25.25</b> (-19.78)	<b>25.10</b> (-20.10)	<b>&gt; 25.00</b> (-19.96)
Arrêt Volontaire [V] / Refus [R]	[R]	[V]	[V]	[R]	[V]

En l'absence de valeurs mécaniques couplées aux différents horizons lithologiques, les indications de compacité renseignées ne sont données qu'à titre indicatif et ne correspondent qu'au ressenti de l'opération, ou sont déduites de l'interprétation des enregistrements des paramètres de forage le cas échéant.

### 3.3. Hydrogéologie

Le mode de forage à l'eau ne nous permet pas de relever de niveau dans les sondages.

Rappelons qu'un piézomètre (Pz1) a été installé en SP1 jusque 6.00 m/TA, permettant le suivi du niveau des eaux jusqu'aux travaux (suivi non compris).

Globalement, sur le site de l'hôpital, les niveaux d'eaux souterraines se situent entre 1.00 m et 3.00 m NGF.

D'un point de vue général, il est rappelé que le régime hydrogéologique peut varier en fonction de la saison et de la pluviosité. Les horizons de recouvrement et les arènes sont des aquifères potentiels, susceptibles de se recharger par infiltration pluviale.

Des circulations d'eau localisées et anarchiques au sein des terrains de surface ou éventuellement plus en profondeur dans les passages altérés ou fracturés du substratum micaschisteux restent possibles même si elles n'ont pas été observées.



### 3.4. Classification d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement

#### 3.4.1. Agressivité de l'eau vis-à-vis du béton

Sur un échantillon d'eau prélevé dans le piézomètre PZ1 installé en SP1, une analyse de son agressivité sur le béton a été réalisée. Les résultats sont repris ci-dessous :

		PZ1			PZ1
<b>Analyses Physico-chimiques</b>			<b>Autres analyses</b>		
Conductivité électrique à 20 °C (Laboratoire)	μS/cm	2760	Dureté Carbonatée	mg/l CaO	420
Conductivité à 25°C (Lab)	μS/cm	3080	Dureté totale	mg/l CaO	810
pH (Lab.)		<b>7.0</b>	Indice permanganate (mg O2/L)	mg/l	14
Température	°C	20.3	Dureté totale	°dH	81.0
Sulfures solubles	mg/l	<0.1	Dureté totale	mmole/l	14.5
Titre alcalimétrique complet (pH 4,3)	mmole/l	15	Couleur		79
Chlorures (Cl)	mg/l	650	Oxydabilité au KMnO4	mg/l	54
Sulfates (SO4)	mg/l	<b>380</b>	Turbidité	NTU	150
<b>Métaux</b>			TAC après dissolution de marbre	mmole/l	13
Calcium (Ca)	mg/l	450	Ammonium (NH4)	mg/l	<b>8.1</b>
Magnésium (Mg)	mg/l	<b>79</b>	Nitrates	mg/l	<0.50
			acide carbonique agressif	mg/l	<b>&lt;1.0</b>
			Dureté Carbonatée	°dH	41.9
			Odeur (Lab)		nauséabonde

Selon la norme NF EN 206+A2/ CN, lorsque le béton est soumis à une attaque chimique par les eaux, les classes d'exposition doivent être définies selon le tableau ci-dessous :

Agent agressif	XA1	XA2	XA3
pH	$5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$	$4,5 \leq \text{pH} < 5,5$	$4,0 \leq \text{pH} < 4,5$
Sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ mg/l	$200 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 600$	$600 < \text{SO}_4^{2-} \leq 3000$	$3\ 000 < \text{SO}_4^{2-} \leq 6\ 000$
Ammonium $\text{NH}_4^+$ mg/l	$15 \leq \text{NH}_4^+ \leq 30$	$30 < \text{NH}_4^+ \leq 60$	$60 < \text{NH}_4^+ \leq 100$
Magnésium $\text{Mg}^{2+}$ mg/l	$300 \leq \text{Mg}^{2+} \leq 1\ 000$	$1\ 000 \leq \text{Mg}^{2+} \leq 3\ 000$	$3\ 000 < \text{Mg}^{2+} \leq \text{saturation}$
$\text{CO}_2$ agressif mg/l	$15 \leq \text{CO}_2 \leq 40$	$40 < \text{CO}_2 \leq 100$	$100 < \text{CO}_2 \leq \text{saturation}$

Ainsi, l'échantillon prélevé est classé en **XA1**, soit en milieu d'agressivité chimique faible.



### 3.4.2. Agressivité des sols vis-à-vis du béton

Une analyse de l'agressivité des sols sur le béton a été réalisée sur un échantillon de sol prélevé dans le sondage SP1 entre 3.0 et 4.0 m de profondeur (remblais). Les résultats sont les suivants :

		SP1
<b>Prétraitement des échantillons</b>		
Matière sèche	%	85,6
<b>Analyses Physico-chimiques</b>		
Sulfures solubles	mg/kg Ms	<0,20
Chlorures	mg/kg MS	<20
Sulfates (SO <sub>4</sub> )	mg/kg MS	<b>6986</b>
Acidité selon Baumann-Gully	ml/kg MS	<b>25,1</b>

Selon la norme NF EN 206+A2/ CN, lorsque le béton est soumis à une attaque chimique par les sols, les classes d'exposition doivent être définies selon le tableau ci-dessous :

Agent agressif		XA1	XA2	XA3
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/kg	> 2000 et < 3000	<b>&gt; 3000 et &lt; 12000</b>	> 12000 et < 24000
Degré d'acidité	ml/kg	> 200	n'est pas rencontré dans la pratique	

Ainsi, l'échantillon de sol prélevé en SP1 est classé en **XA2**, soit en milieu d'agressivité chimique modéré envers le béton. Les résultats complets des analyses sont présentés en *Annexe*.

### 3.4.3. Propriétés du béton

Selon la norme NF EN 206+A2/ CN, il sera alors mis en place :

- Un béton **XA2** pour les éléments de la construction en contact avec le sol ;
- Un béton **XA1** pour les éléments de la construction en contact avec l'eau souterraine.

La composition et les propriétés du béton devront néanmoins respecter les recommandations relatives aux autres classes d'exposition :

Classe d'exposition			
Corrosion	Par carbonatation		XC
	Par les chlorures	Eau de mer	XS
		autres	XD
Attaque par le gel-dégel			XF
Environnements chimiques agressifs			XA
Aucun risque de corrosion ni d'attaque			X0

Selon le DTU 13.1 et en l'absence d'éléments corrosifs ou agressifs, la classe de résistance minimale du béton de fondation est C25/30.

La classe de résistance minimale du gros béton est C12/15 (X0).

### 3.5. Synthèse

De ce qui précède, on retiendra les éléments suivants :

- Synthèse des risques :

Risque	Aléa / sensibilité
Potentiel radon	Catégorie 3
Retrait gonflement des argiles	Aléa à priori nul
Remontées de nappes	Zone potentiellement aux débordements de nappe
Risques littoraux	Zone concernée par un PPRL
Sismicité	Zone 2, bâtiment de catégorie IV
Agressivité du sol	XA2
Agressivité de l'eau	XA1

- Les sondages révèlent des horizons remblayés et alluvionnaires sur des épaisseurs de  $\pm 8.50$  à  $\pm 11.00$  m/TA, recouvrant des horizons d'altération du substratum en arènes peu compactes à compactes, puis le toit rocheux plus ou moins altéré, identifié à partir de  $\pm 14.0$  et  $\pm 16.0$  m/TA ( $-8.0$  à  $-10.0$  m NGF) ;
- Les caractéristiques mécaniques des alluvions sont médiocres, celles des arènes sont faibles à satisfaisantes et celles du substratum sont bonnes à très bonnes ;
- Globalement, sur le site de l'hôpital, les niveaux d'eaux souterraines se situent entre 1.00 m et 3.00 m NGF.

## 4. APPLICATION AU PROJET

### 4.1. Sismicité et liquéfaction des sols

#### 4.1.1. Classes de sols selon l'EC8

L'extension projetée est classée en catégorie d'importance IV et est située en zone d'aléa sismique 2, l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 est obligatoire.

L'Eurocode 8 distingue 7 catégories principales de sols (de la classe A à la classe S2) pour lesquelles est défini un coefficient de sol  $S$ . Le paramètre  $S$  permet de traduire l'amplification de la sollicitation sismique exercée par certains sols. La nature locale du sol influence fortement la sollicitation ressentie au niveau des bâtiments.

La classe de sol peut être estimée par corrélation entre les modules pressiométriques obtenus lors des investigations géotechniques et les vitesses des ondes sismiques de cisaillement dans les 30 premiers mètres du terrain.

Le tableau ci-après récapitule les différentes classes de sol en fonction du profil stratigraphique :

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres						
		$v_{s,30}$ (m/s)	N <sub>SPT</sub> (coups/30 cm)	$c_u$ (kPa)	Type de sol	Pressiomètre		CPT $q_c$ (Mpa)
						$p_l$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	>800				> 5	> 100	
B	Dépôts raides de sables, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des caractéristiques mécaniques avec la profondeur	360-800	>50	>250	sols granulaires	> 2	> 20	> 15
					sols cohérents	> 2	> 25	> 3,5
C	Dépôts profonds de sables de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres.	180-360	15-50	70-250	sols granulaires	> 1	> 8	> 5
					sols cohérents	> 0,5	> 5	> 1,5
D	Dépôts de sols sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant en majorité des sols cohérents mous à fermes.	< 180	< 15	<70	sols granulaires	< 1	< 8 MPa	< 5
					sols cohérents	< 0,5	< 5 Mpa	< 1,5
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de $v_s$ de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s.							
S <sub>1</sub>	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ( $IP > 40$ ) et une teneur en eau importante.	< 100						
S <sub>2</sub>	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes 1 à E ou S <sub>1</sub> .							

Classes de sol – Extrait de l'Eurocode 8

Par ailleurs, selon le Cahier Technique n°38 de l'Association Française du Génie Parasismique de mars 2017, en dehors des classes S1 et S2, il est nécessaire de préciser les critères de classification lorsque le substratum sismique ( $V_s > 800$  m/s) se trouve à une profondeur inférieure à 30 m.





Pour le classement de ces sols, il est proposé de prendre en compte le tableau suivant :

H = profondeur du substratum	Valeur de $V_s$ en m/s	Classe de sol
< 5 m		A
5 < H < 20	$V_{s,H} \leq 360$	E*
	$V_{s,H} > 360$	B
H > 20 m	$100 < V_{s,30} \leq 180$	D
	$180 < V_{s,30} \leq 360$	C
	$360 < V_{s,30} \leq 800$	B

Classes de sol pour un substratum à une profondeur  $H < 30$  m – AFPS CT n°38

\*Commentaire : Pour appartenir à la classe de sol E, le profil de sol doit comprendre une couche d'alluvions ( $V_s < 360$  m/s) reposant sur un matériau plus raide ( $V_s > 800$  m/s) se situant au moins à environ 5 m et au maximum à 20 m de profondeur.

Avec :

$V_{s,H}$  : moyenne harmonique des  $V_s$  sur la hauteur H ;

$V_{s,30}$  : moyenne harmonique sur 30 m intégrant les valeurs du substratum si  $20 \text{ m} \leq H \leq 30 \text{ m}$ .

En référence aux sondages réalisés au droit du projet, le toit du substratum sismique ( $V_s > 800$  m/s ≠ substratum géotechnique) étant situé entre 15 et 20 m/TA sur lequel les caractéristiques des terrains sus-jacents permettent d'évaluer une  $V_{s,H} \leq 360$  m/s, la **classe de sol E** est à retenir.

Suivant la nature du sol, les paramètres S (coefficient de sol), TB (limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante), TC (limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante) et TD (valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant) à prendre en compte sont données dans le tableau suivant :

Classe de sol	S	TB (s)	TC (s)	TD (s)
A	1.00	0.03	0.20	2.50
B	1.35	0.05	0.25	2.50
C	1.50	0.06	0.40	2.00
D	1.60	0.10	0.60	1.50
<b>E</b>	<b>1.80</b>	<b>0.08</b>	<b>0.45</b>	<b>1.25</b>

Spectre de réponse élastique de type 2 (zones 1 à 4)

Les paramètres à considérer pour le projet sont les suivants : S = 1.80, TB = 0,08 s, TC = 0,45 s, TD = 1.25 s.

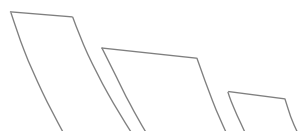
En fonction de la catégorie d'importance du projet, on retiendra ici les paramètres suivants :

Catégorie d'importance	Coefficient d'importance $\gamma_I$
I	0.8
II	1.0
III	1.2
<b>IV</b>	<b>1.4</b>

Zone de sismicité	Accélération max. de référence au rocher $a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1 (très faible)	0.4
<b>2 (faible)</b>	<b>0.7</b>
3 (modérée)	1.1
4 (moyenne)	1.6
5 (forte)	3.0

Ainsi, la valeur de calcul de l'accélération du sol  $a_g$  donne :

$$a_g = a_{gR} \times \gamma_I \times S = 1.764 \text{ m/s}^2$$



#### 4.1.2. Liquéfaction des sols

D'après le Code de l'Environnement, article R563-4 modifié par arrêté le 17 juin 2022, en zone de sismicité 1 et 2 (sismicité très faible à faible), l'analyse de liquéfaction n'est pas requise.

## 4.2. Possibilités de fondation de l'extension

### 4.2.1. Préconisations de fondations profondes par pieux

Le mode de fondations des ouvrages devra tenir compte de l'importance et de la géométrie des charges apportées et de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et de compacité correcte.

Etant donnée la présence de remblais et d'alluvions argileuses sur de fortes épaisseurs, le recours à des fondations profondes sollicitant le substratum au moyen de pieux est recommandé pour les fondations des futurs ouvrages.

La justification des fondations présentée dans ce chapitre, est réalisée selon l'Eurocode 7 et sa norme d'application nationale NF P94-262 de juillet 2012 « Fondations profondes » dans le cadre de la procédure « Modèle de terrain ».

A titre indicatif, nous avons présenté ci-après des exemples de calcul de contrainte admissible, pour des pieux à la tarière creuse.

Solution de pieux *Tarière creuse avec dispositif d'enregistrement* FTC, FTCD – classe 2, catégorie 6  
Exemple de diamètres : 420 à 620 mm

Il reviendra à l'entreprise de choisir la méthode de mise en œuvre des pieux la plus appropriée afin d'atteindre les ancrages nécessaires suivant les descentes de charges définitives à reprendre.

D'autres type de fondations profondes sont envisageables suivant leur compatibilité avec les modèles géotechnique et hydrogéologique identifiés, des emprises disponibles, *et du moment que l'entreprise fournisse les notes de calculs appropriées pour l'ensemble des états limites pertinents.*

### 4.2.2. Cas de charges et fondations

Le plan de fondations et la notice sismique transmis par les BET *AIA Ingénierie* et *OTI* retiennent la réalisation de 49 appuis, dont 9 repris par des doubles pieux, soit un total de 58 pieux.

L'arase supérieure des casques de pieux est définie à -4.25 m/0.00 (soit 3.99 NGF) ou -6.05 m/0.00 (soit 2.19 NGF).

D'après les éléments transmis nous étudierons en particulier les appuis n°14, 20, 33, 37, 44 et 46 :

	ELS	ELU F	ELU S
▪ Charge descendante min :	37	37	-
▪ Charge descendante max :	20 ; 44 ; 60	20 ; 44 ; 60	20
▪ Soulèvement :	-	-	14 ; 33
▪ Effort horizontaux max :	46	46	33 ; 46

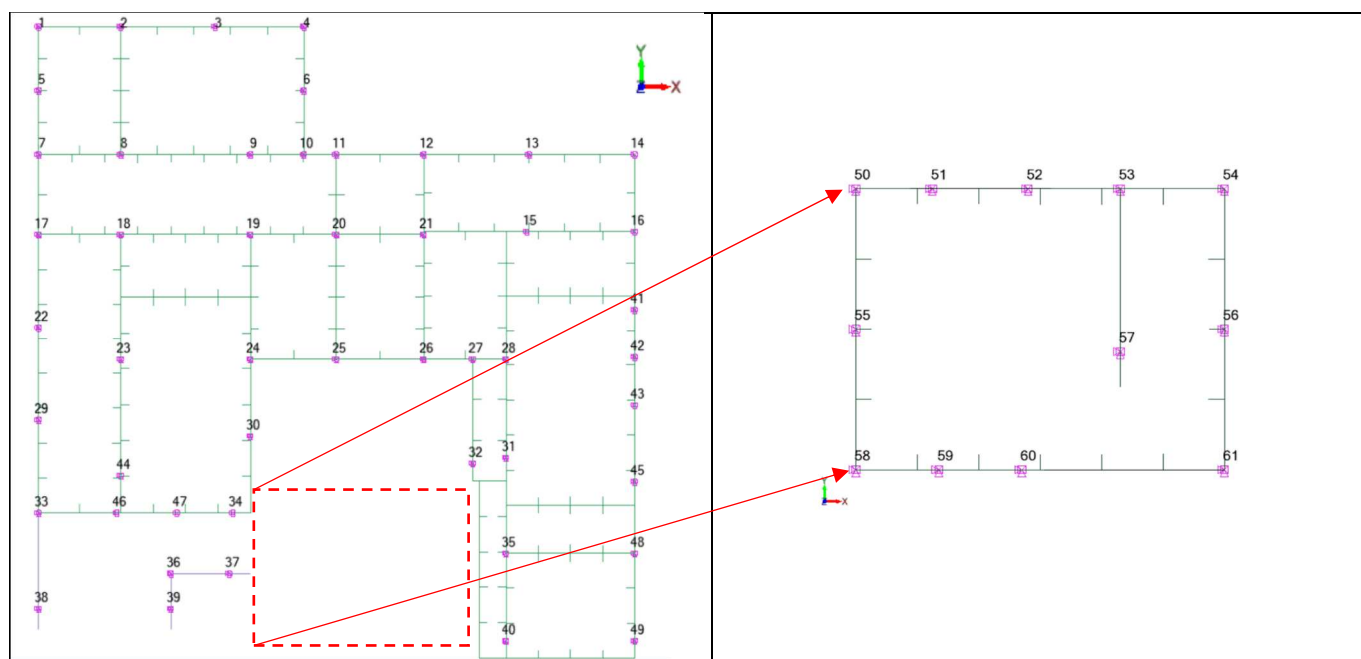
N° pieu	Efforts verticaux (T)					Efforts horizontaux (T)				
	G <sup>-</sup>	G <sup>+</sup>	Q	Ex	Ey	G	Tx	Q	Ex	Ey
14	28,5	39,8	6,9	±35,2	±30,2	0,5	0,00	0,14	21,30	18,25
20	73,1	83	26,4	±11,9	±32,5	0,32	0,00	0,10	17,11	18,66
33	28,5	51,8	12,1	±19,7	±27,4	4,23	5	1,17	29,52	20,54
37	22,4	27,7	5	±16,2	±2,8	0,3	0,00	0,10	1,10	0,81
44	55,4	85	27,7	±3,1	±8	3,14	8,8	1,84	15,05	15,32
46	14,5	43,9	10,9	±13,7	±14,8	10,40	7,8	10,40	22,88	15,07
60	-	134,7	19,8	±2,4	±45	0,14	-	0,10	42,04	38,47

En l'absence d'informations transmises par le BET structure, nous retiendrons les combinaisons d'actions suivantes pour les appuis considérés (en considérant un bâtiment de catégorie C, avec  $\Psi_0(Q)=0,7$  ;  $\Psi_2(Q)=0,6$ ) :

Appui	Etat limite	Combinaison	Charge verticale	Charge transversale
			(kN)	
14	ELS QP	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]$	326,4	5,8
	ELS C	$1x[G^+]+1x[Tx]+1x[Q]$	354,0	6,4
	ELU F1	$1,35x[G^+]+1,35x[Tx]+1,5x[Q]$	640,8	8,9
	ELU F2	$0,9x[G^-]+0,9x[Tx]$	256,5	4,5
	ELU S1	$1x[G^-]+1x[Tx]+[Ex]+0,3x[Ey]$	-157,6	272,7
	ELU S2	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]+[Ex]+0,3x[Ey]$	882,0	273,6
20	ELS QP	$1x[G^+]+0,6x[Q]$	988,4	3,8
	ELS C	$1x[G^+]+1x[Q]$	1094,0	4,2
	ELU F	$1,35x[G^+]+1,5x[Q]$	1516,5	5,8
	ELU S	$1x[G^+]+0,6x[Q]+0,3x[Ex]+1x[Ey]$	1349,1	241,7
33	ELS QP	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]$	590,6	99,3
	ELS C	$1x[G^+]+1x[Tx]+1x[Q]$	639,0	104,0
	ELU F1	$1,35x[G^+]+1,35x[Tx]+1,5x[Q]$	880,8	142,2
	ELU F2	$0,9x[G^-]+0,9x[Tx]$	256,5	83,1
	ELU S1	$1x[G^-]+1x[Tx]+[Ex]+0,3x[Ey]$	-48,1	201,7
	ELU S2	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]+0,3x[Ex]+1x[Ey]$	923,7	393,2
	ELU S3	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]+1x[Ex]+0,3x[Ey]$	869,8	456,1
37	ELS QP	$1x[G]+0,6x[Q]$	307,0	3,6
	ELS C	$1x[G]+1x[Q]$	327,0	4,0
	ELU F1	$1,35x[G]+1,5x[Q]$	449,0	5,6
	ELU S	$1x[G]+0,6x[Q]+1x[EX]-0,3x[EY]$	477,4	14,4
44	ELS QP	$1x[G^+]+0,6x[Q]$	1016,2	130,4
	ELU C	$1x[G^+]+1x[Q]$	1127,0	137,7
	ELU F	$1,35x[G^+]+1,35x[Tx]+1,5x[Q]$	1563,0	188,8
	ELU S	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]+0,3x[Ex]+1x[Ey]$	1105,5	328,8
46	ELS QP	$1x[G^+]+0,6x[Q]$	504,4	244,4
	ELU C	$1x[G^+]+1x[Q]$	548,0	286,0
	ELU F	$1,35x[G^+]+1,35x[Tx]+1,5x[Q]$	756,2	401,7
	ELU S	$1x[G^+]+1x[Tx]+0,6x[Q]+0,3x[Ex]+1x[Ey]$	693,5	518,4
60	ELS QP	$1x[G]+0,6x[Q]$	1465,80	2,00
	ELU C	$1x[G]+1x[Q]$	1545,00	2,40
	ELU F	$1,35x[G]+1,5x[Q]$	2115,5	3,4
	ELU S	$1x[G]+0,6x[Q]+1x[EX]+0,3x[EY]$	1503,30	537,8







Repérage des appuis zone Extension – AIA Ingénierie / OTI

Repérage des appuis zone Bunker – AIA Ingénierie / OTI

#### 4.2.3. Modèle géotechnique

Le modèle géotechnique retenu pour le prédimensionnement des fondations profondes, sur la base des investigations réalisées est le suivant :

Formation			Base couche (m/TA – [NGF])	Courbe $f_{sol}$	$E_M$	$PI^*$	$Pf^*$	$\alpha$	$f_{sol}$	$\alpha_{pieu-sol}$	$q_s$	$kp_{max}$
			SD1		(MPa)				(kPa)		(kPa)	
[0]	Mort terrain	Remblais	3.00 [2.48]	Q1 - sol intermédiaire, tendance argileuse	7	0.8	0.5	1/2	39.8	1.5	— <sup>(1)</sup>	—
[1]		Argile vasarde	11.00 [-5.52]	Q1 - argile, limon	5	0.4	0.2	2/3	31.0		— <sup>(1)</sup>	—
[2.1]	Altérite tendre		12.00 [-6.52]	Q1 - sol intermédiaire, tendance argileuse	1	0.1	0.05		11.9		17.9	—
[2.2]	Altérite peu compacte		13.00 [-7.52]		9	1.0	0.6	1/2	41.7		62.6	—
[2.3]	Altérite moyennement compacte		16.00 [-10.52]		12	1.6	1.0		44.6		67.0	1.30
[2.4]	Altérite compacte		—		20	1.9	1.2		45.6		68.5	
[3.1]	Micaschiste altéré		Au-delà	Q5 - roche altérée/fragmentée	35	3.0	2.0	2/3	110.0	1.6	176.0	2.00
[3.2]	Micaschiste sain		—		100	4.8	3.0	1/2	128.0		200.0	

<sup>(1)</sup> Neutralisation du frottement latéral unitaire sur la hauteur des terrains de recouvrement et des remblais

Ce modèle géotechnique doit être considéré comme un modèle moyen. Au regard des sondages SB4 et SH5 respectivement réalisés à ±13 et 28 m au Sud et Sud-Est du projet en 2006, il sera possible de retrouver des horizons aux médiocres caractéristiques mécaniques jusqu'à une cote d'environ -12.00 NGF. Dans tous les cas, la profondeur des pieux sera adaptée à la hauteur des couches rencontrées.



Pour les calculs de prédimensionnement des pieux au regard des descentes de charge transmises, nous avons considéré en première approche les hypothèses suivantes :

- type de pieux : « foré tarière continue » (FTC, FTCD – classe 2, catégorie 6) sur toute hauteur ;
- diamètre des pieux : 420 à 620 mm ;
- ancrage des pieux : au minimum 3 diamètres dans l'altérite micaschisteuse compacte ou le micaschiste ±altéré ;
- les pieux seront dimensionnés en portance selon les combinaisons de charges aux ELS et ELU ;

*D'autres types de fondations profondes sont envisageables du moment que l'entreprise justifie leur compatibilité avec le contexte géotechnique et hydrogéologique identifiés et qu'elle fournisse les notes de calculs appropriées pour l'ensemble des états limites pertinents.*

### 4.3. Paramètres de dimensionnement vis-à-vis de la portance

#### 4.3.1. Béton

D'après le plan de fondation transmis, il est prévu l'emploi d'un béton XS3 C35/45.

La valeur moyenne de la contrainte de compression du béton à l'ELS caractéristiques est donnée dans le tableau suivant, avec les paramètres associés ci-après :

Paramètres		Formule	Unité	Valeur		
				Ø420	Ø520	Ø620
Résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours	$f_{ck}$	-	MPa	35		
Valeur maximale de la résistance à la compression du béton	$C_{max}$	-	MPa	30		
Coefficient tenant compte du mode de mise en place et des variations possibles de section selon la technique utilisée	$k_1$	-	-	1,35		
Coefficient tenant compte des difficultés de bétonnage liées à la géométrie de la fondation	$k_2$	$1,05$ si $B/L < 0,05$ $1,3-B/2$ si $B < 0,6m$ $1,35-B/2$ si $B < 0,6m$ et $B/L < 0,05$ $1$ sinon	-	1,14	1,09	1,05
Coefficient empirique tenant compte des contrôles d'intégrité effectués	$k_3$	$1,2$ si contrôle renforcé $1,0$ sinon	-	1,0*		
Valeur caractéristique de la résistance à la compression du béton	$f_{ck}^*$	$\max \left[ \frac{\inf(f_{ck}(t); C_{max}; f_{ck})}{k_1 \cdot k_2}; 18,33 \right]$	MPa	19,49	20,39	21,16
La valeur de calcul de la résistance à la compression simple du béton, coulis ou mortier d'une fondation profonde	$f_{cd}$	$\min \left[ (k_3 \cdot f_{ck}^*; f_{ck}(t); C_{max}) \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \right]$	MPa	Var.		
Coefficient d'armature	$\alpha_{cc}$	$0,8$ pour un pieu non armé $1,0$ pour un pieu armé	-	1,0		
Coefficient partiel relatif aux matériaux	$\gamma_c$	$1,5$ à l'ELU durable et transitoire $1,2$ à l'ELU accidentel $1,3$ à l'ELU sismique	-	-	-	-
Valeur moyenne de la contrainte de compression du béton à l'ELS Car.	$\sigma_{cmoy}$	$0,3 \cdot k_3 \cdot f_{ck}^*$	MPa	5,85	6,12	6,35
Charge admissible maxi à l'ELS Caractéristique			kN	810,20	1298,91	1916,87

\*Aucune procédure de contrôle renforcé n'est prise en compte dans nos prédimensionnements. Le cas échéant, des essais de contrôle d'intégrité selon la norme NF P 94-262 (transparence sonique et/ou Impédance) devront être réalisés lors des travaux.



#### 4.3.2. Vérification vis-à-vis de la portance en compression

À titre d'exemple, le tableau suivant récapitule la capacité portante en compression pour des pieux FTC Ø420, 520 et 620 mm, avec une fiche permettant la reprise des efforts verticaux descendants selon le modèle géotechnique précédent (§4.2.3) :

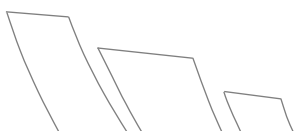
N° pieu	PFT	Charge de compression à reprendre	Ø pieu	Ancrage				Charges admissibles			
				Fiche		Couche d'ancrage	Ancrage	Rc;cr;d <sup>(2)</sup> (kN)		Rc ;d <sup>(3)</sup> (kN)	
				calculée	retenue			ELS QP	ELS CAR	ELU F/S	ELU A
	(NGF)	(kN)	(mm)	(m/PFT)			(m)				
14	4.04	ELS QP 326,4 ELS C 354,0 ELU F1 640,8 ELU S2 882,0	420	14.70	15.06	[3.1]	0.50	543,8	664,6	947,5	1042,3
20		ELS QP 988,4 ELS C 1094,0 ELU F 1516,5 ELU S 1349,1	520	16.65		[3.1]	2.09	991,3	1211,5	1677,7	1845,5
33		ELS QP 590,6 ELS C 639,0 ELU F1 880,8 ELU S2 923,7	420	15.50		[3.1]	0.94	595,2	727,4	1020,9	1123,0
37		ELS QP 307,0 ELS C 327,0 ELU F 449,0 ELU S 477,4	420	14.60	15.06	[3.1]	0.50	543,8	664,6	947,5	1042,3
44	2.19	ELS QP 1016,2 ELS C 1127,0 ELU F 1563,0 ELU S 1105,5	520	15.00		[3.1]	2.29	1020,2	1246,9	1719,0	1890,9
46		ELS QP 504,4 ELS C 548,0 ELU F 756,2 ELU S 693,5	420	12.90	13.21	[3.1]	0.50	543,8	664,6	947,5	1042,3
60	4.51	ELS QP 1465,8 ELS C 1545,0 ELU F 2115,5 ELU S 1503,3	620	18.20		[3.1]	3.17	1473,1	1800,4	2476,4	2724,0

La longueur de fiche retenue considère une longueur d'au moins 50 cm dans la dernière couche d'ancrage.

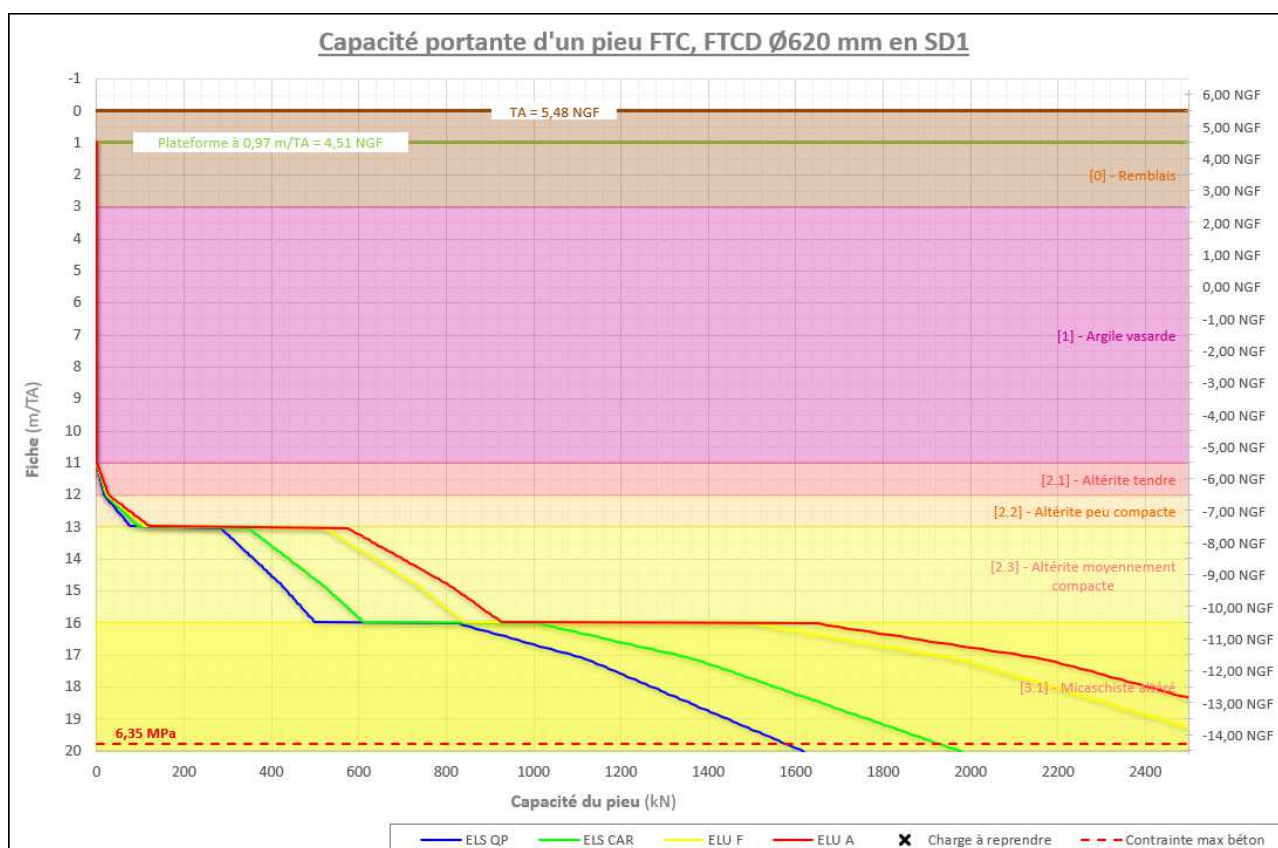
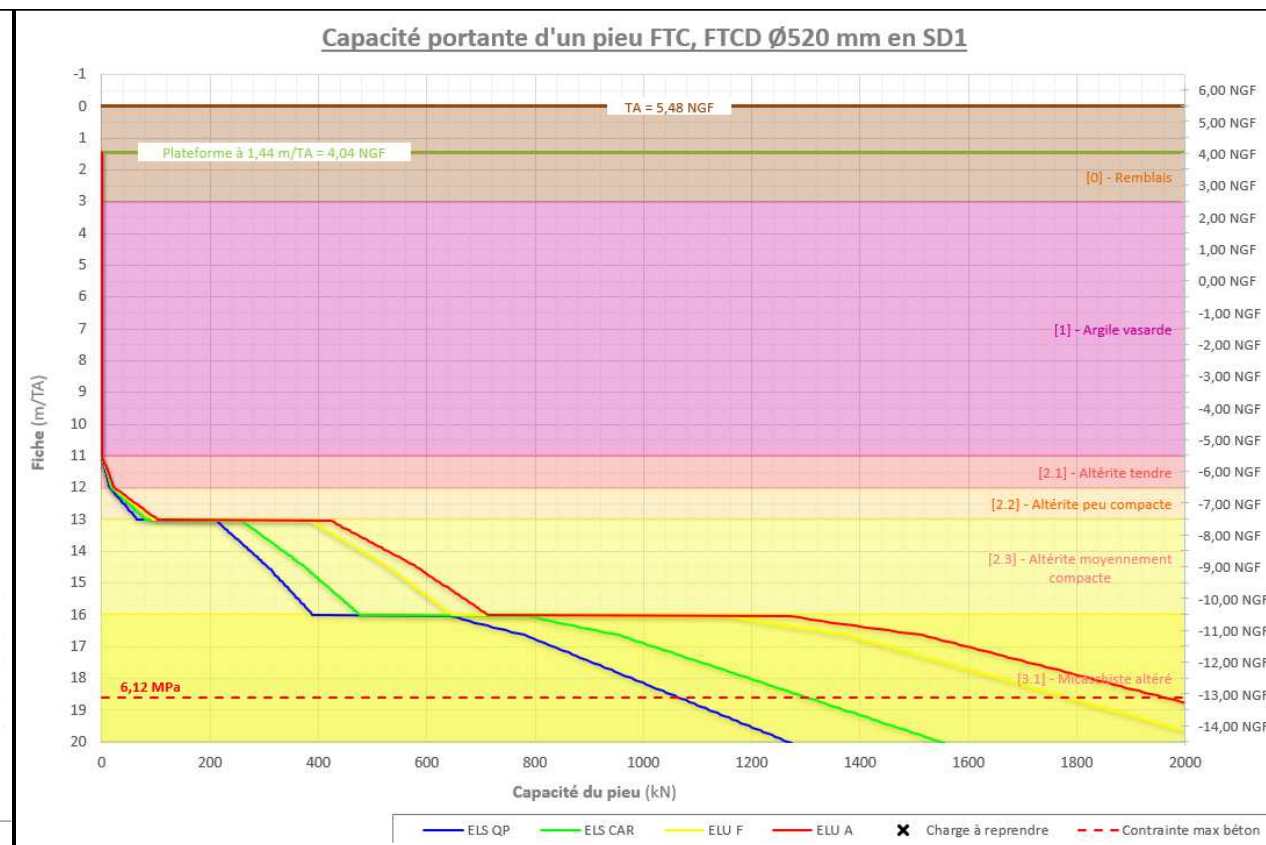
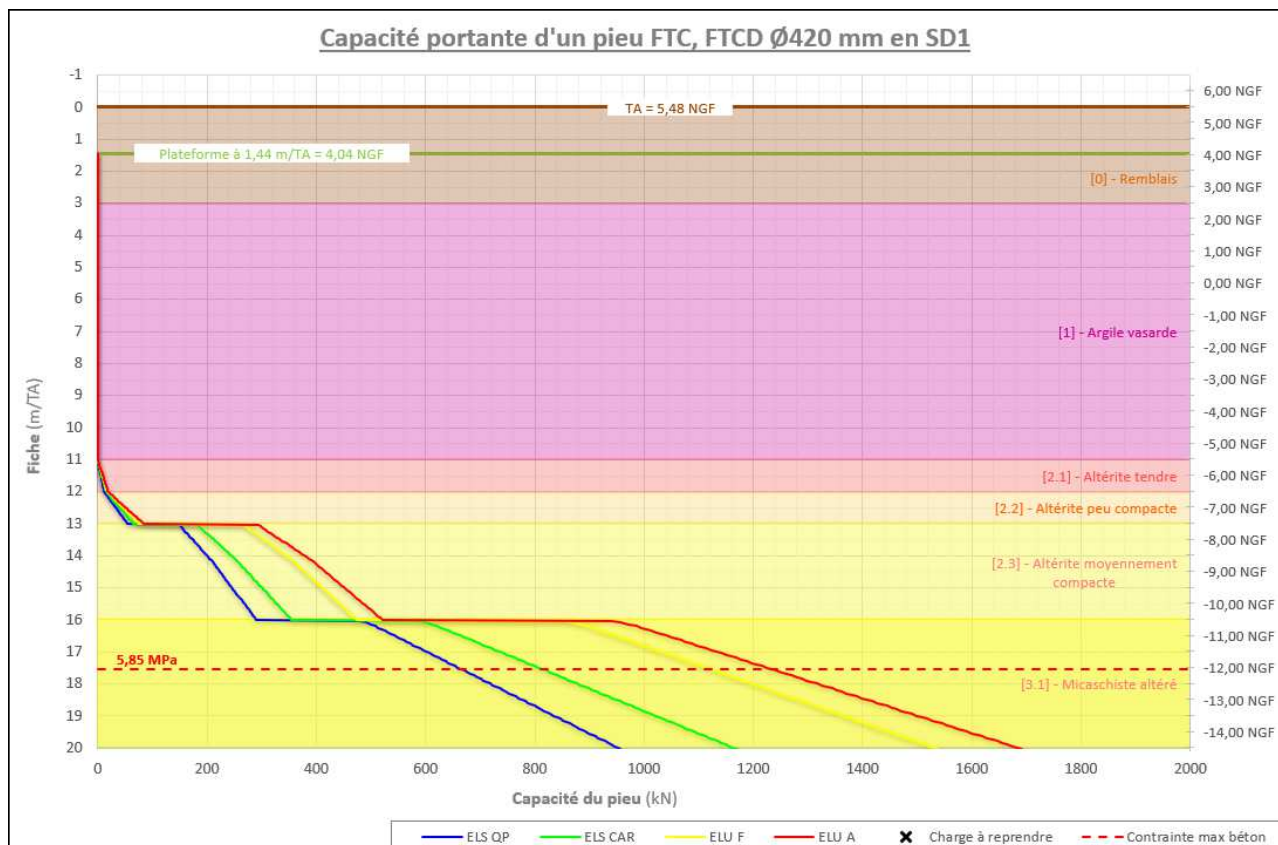
La résistance des pieux calculée ci-dessus tient compte :

- De charges verticales descendantes centrées en tête ;
- D'une absence d'effets de groupe ;
- D'une neutralisation *du frottement latéral sur toute la hauteur des terrains de recouvrement/remblais existants et de l'argile vasarde* (« mort-terrain »).

Les capacités portantes en compression, pour des pieux FTC Ø420 à 620 mm, selon le modèle géotechnique retenu, sont présentées en page suivante.







#### 4.3.3. Vérification vis-à-vis de la résistance en traction

À titre d'exemple, le tableau suivant récapitule la capacité de résistance en traction pour les pieux FTC Ø420 n°14 et 33, avec la longueur de fiche déterminée ci-avant, permettant la reprise des efforts verticaux ascendants selon le modèle géotechnique retenu (§4.2.3) :

N° pieu	PFT (NGF)	Charge de traction à reprendre (kN)	Ø pieu (mm)	Ancrage			Charges admissibles			
				Fiche (m/PFT)	Couche d'ancrage	Ancrage (m)	Rt;cr;d <sup>(1)</sup> (kN)		Rt;d <sup>(2)</sup> (kN)	
							ELS QP	ELS CAR	ELU F/S	ELU A
14	4.04	ELU S1 <b>157,6</b>	420	15.06	[3.1]	0.50	147,6	201,3	<b>275,1</b>	301,3
33	4.04	ELU S1 <b>48,1</b>	420	15.50	[3.1]	0.94	178,6	243,5	<b>332,8</b>	364,5

<sup>(1)</sup> Charge de fluage de traction

<sup>(2)</sup> Valeur de calcul de la résistance de traction

#### 4.4. Paramètres de dimensionnement vis-à-vis des sollicitations latérales sismiques

Les actions sismiques, c'est-à-dire des sollicitations de courte durée, vont engendrer des efforts transversaux qu'il convient de prendre en compte pour le dimensionnement des pieux.

Ces paramètres ont été exploités à l'aide du module Piecoef+ du logiciel Foxta pour obtenir des ordres de grandeurs des raideurs horizontales des pieux. Leurs valeurs obtenues sont présentées en Annexes.

Une modélisation a été réalisée pour les pieux précédents selon le modèle géotechnique défavorable, les pieux étant considérés comme libres en tête :

N° pieu	Diamètre (mm)	Effort horizontal V <sub>Ed</sub> (kN)
14	420	ELU S2 273,6
33		ELU S3 456,1
37		ELU S 14,4
46		ELU S 518,4
20	520	ELU S 241,7
44		ELU S 328,8
60	620	ELU S 537,8

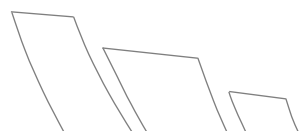
##### 4.4.1. Caractéristiques des pieux

La rigidité de flexion des pieux est calculée sur la seule section du béton, en négligeant la rigidité des aciers. Le produit d'inertie EI des fondations profondes est égal à :

$$EI = E \cdot \frac{\pi B^4}{64}$$

A l'ELU sismique, pour des sollicitations de très courte durée, le module d'élasticité du béton E = 30 000 MPa, d'où :

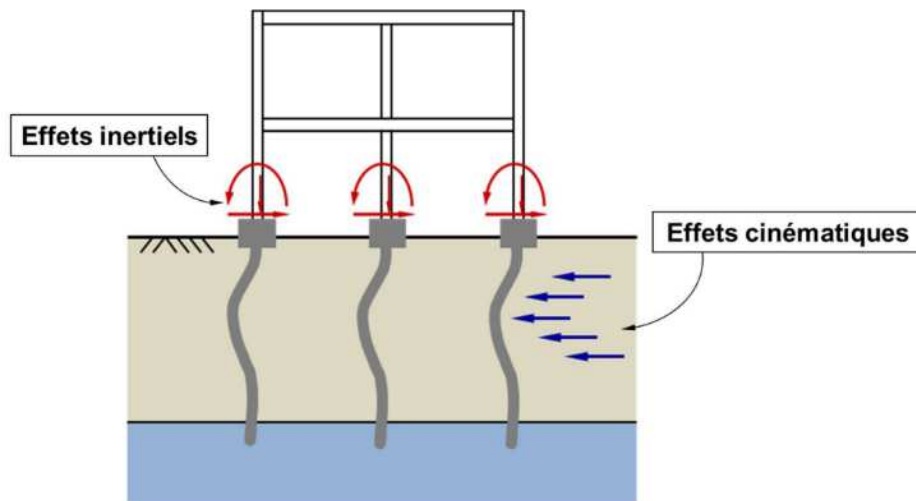
Ø Pieux (mm)	420	520	620
EI <sub>ELU S</sub> (kN.m²)	45 824	107 672	217 600



#### 4.4.2. Effets inertiels et/ou cinématiques

Pour l'estimation des déformées sous chargement sismique, on distingue deux types d'actions :

- Des effets inertiels (forces d'entraînement ou d'inertie exercées par la superstructure sur le système de fondations) ;
- Des effets cinématiques (déformations du sol ou déplacement horizontal du sol en champs libre).



Concept d'effets inertiels et cinématiques sous séisme – Notice technique TERRASOL

Ces effets doivent être pris en compte en fonction de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment.

D'après la notice sismique, il est retenu une condition de « rotation libre » en tête de fondation avec une raideur en translation estimée à  $K = 30\,000 \text{ kN/m}$ . Cette raideur devra être confirmée lors des études d'exécution.

Selon le « Cahier technique n° 38 » publié en mars 2017, applicable aux bâtiments dit « à risque normal », pour un bâtiment de catégorie d'importance IV situé en zone d'aléa sismique 2 et en considérant une classe de sol type E selon l'EC8, les fondations doivent être dimensionnées vis-à-vis des effets inertiels **et** cinématiques :

Tableau n° 20 : Extrait du guide AFPS/CFMS [1], prise en compte des effets inertiels et cinématiques, à appliquer en DCL et DCM

Zone 2				Zone 3 à 5				
	I et II	III	IV		I	II	III	IV
A		I	I	A		I	I	I
B		I	I	B		I	I	I
C		I	I	C		I	I	I
D		C+I	C+I	D		I	C+I	C+I
E		C+I	C+I	E		I	C+I	C+I
S1		C+I	C+I	S1		I	C+I	C+I
S2		C+I	C+I	S2		I	C+I	C+I

Légende : « I » pour inertiel, « C+I » pour le cumul des effets cinématiques et inertiels.

#### 4.4.2.1. Calcul du déplacement vis-à-vis des efforts horizontaux (effets inertiels)

La loi de mobilisation de la réaction frontale  $r$  en fonction du déplacement  $\delta$  d'un pieu est définie par un segment de droite de pente  $K_f$  avec un palier  $r_f$  :

$$r = p \cdot B = K_f \cdot y$$

avec :

- $p$  : Pression latérale du sol
- $B$  : Diamètre du pieu
- $K_f$  : Module linéique de mobilisation de la pression frontale
- $Y$  : Déplacement latéral du pieu

Les coefficients de réaction horizontale des sols  $k_f$  ont été estimés par la méthode proposée par Ménard, en tenant compte des caractéristiques pressiométriques pour chacune des couches reconnues et en considérant les sollicitations à **très court terme**.

Ils sont donnés par les formules suivantes :

$$K_f = \frac{12 \cdot E_M}{\frac{4}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \left( 2,65 \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \alpha}, \text{ pour } B < B_0 \quad K_f = \frac{12 \cdot E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65)^\alpha + \alpha}, \text{ pour } B \leq B_0$$

avec :

- $E_M$  : Module pressiométrique de la couche concernée
- $B$  : Diamètre du pieu
- $B_0$  : terme fixe égale à 0,6 m
- $\alpha$  : Coefficient rhéologique de la couche concernée

Sous actions sismiques, la loi de mobilisation de la réaction frontale en fonction du déplacement du pieu est définie en considérant un seul palier identifié «  $r_2$  » correspondant au seuil de plastification limite de résistance horizontale du sol égal à  $B \cdot PI^*$  avec  $PI^*$  = pression limite nette.

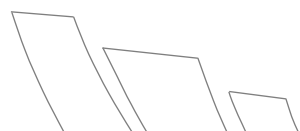
Les valeurs des modules  $K_{f,i} (=K_{f \text{ sism}})$  peuvent être plus élevées que celles définies pour les courtes durées de sollicitations statiques. Un coefficient multiplicateur «  $\eta$  » s'applique tel que :

$$\eta = \text{Min} (3 ; \eta_1 \eta_2 \eta_3)$$

$\eta$  est pris égal à 3.0 dans notre cas.

Les différentes valeurs de coefficients de réaction horizontales des sols  $k_f = (K_f / B)$  avec  $K_{f \text{ sism}} = 3 \times K_f$  pour des **sollicitations de courte durée sismiques** sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Couche	Param. Pressio.		Pieu Ø420 mm			Pieu Ø520 mm			Pieu Ø620 mm		
	$E_M$ (MPa)	$\alpha$	$K_{f \text{ sism}}$ (kPa)	$k_f$ (kPa/ml)	$r_2$ (MPa)	$K_{f \text{ sism}}$ (kPa)	$k_f$ (kPa/ml)	$r_2$ (kPa)	$K_{f \text{ sism}}$ (kPa)	$k_f$ (kPa/ml)	$r_2$ (kPa)
[1] Argile vararde	5	2/3	55901,1	133097,9	168	55901,1	107502,1	208	56387,2	90947,0	248
[2.1] Altérite tendre	1		11180,2	26619,6	42	11180,2	21500,4	52	11277,4	18189,4	62
[2.2] Altérite peu compacte	9	1/2	121325,2	288869,4	420	121325,2	233317,6	520	122950,2	198306,7	620
[2.3] Altérite moyennement compacte	12		161766,9	385159,3	672	161766,9	311090,2	832	163933,5	264408,9	992
[2.4] Altérite compacte	20		269611,5	641932,1	8400	269611,5	518483,6	10400	273222,6	440681,6	1178
[3.1] Micaschiste altéré	35	2/3	391307,8	931685,3	1260	391307,8	752515,0	1560	394710,1	636 629,3	1860
[3.2] Micaschiste sain	100	1/2	1348057,4	3209660,5	42000	1348057,4	2592418,1	52000	1366112,8	2203407,8	2976





Etant donné l'épaisseur variable de remblais au droit de nos sondages et les cotes de terrassement projetées, impliquant localement la constitution de plateformes dans l'horizon d'argile vasarde [1], le modèle géotechnique retenu pour le dimensionnement sous charge transversale, ne tient pas compte de la présence potentielle de remblais.

D'après le chapitre I.1.6 de l'Annexe I de la norme NF P94-262, sous sollicitations statiques, le module linéique du sol  $K_f$  et la valeur de palier  $r_f$  doivent être minorés pour les zones proches de la surface. Il est nécessaire d'appliquer un coefficient  $\gamma$  sur les paliers selon l'axe  $\delta$  et la direction  $r$  :

$$\gamma = 0.5 \times \left[ 1 + \frac{z}{z_c} \right]$$

Avec :  $z_c$  la profondeur depuis le niveau fini sur laquelle s'applique la minoration qui vaut 4B pour un sol frottant ou 2B pour un sol cohérent.

D'après le cahier technique n°38, sous sollicitations sismiques, un abattement  $\beta = 0.7$  doit être appliqué sur le module linéique  $K_f$  (sur une hauteur de  $2\phi$  pour les sols cohérent). Aucun abattement n'est appliqué sur le palier  $r_f$ .

Nous prenons ici  $z_c = 2B$ , soit une minoration de  $K_f$  jusqu'à 0.84 à 1.24 m/PF pour des pieux  $\phi 420$  à 620.

#### 4.4.2.2. Calcul du déplacement horizontal du sol en champs libre (effets cinématiques)

Sous actions sismiques, le sol se déplace horizontalement. En absence de fondations profondes, ce déplacement latéral «  $g(z)$  », fonction de la profondeur «  $z$  », est appelé « déplacement du sol en champ libre ».

En conséquence pour définir les effets cinématiques sur une fondation profonde, il faut définir :

- La déformation du sol en champ libre «  $g(z)$  » ;
- Les valeurs du coefficient de réaction surfacique «  $k_c$  » ;
- Les conditions en tête de pieu limitées aux deux cas suivants : rotulées ou encastrées dans les mêmes conditions que pour le calcul inertiel.

La valeur du module de réaction linéique «  $K_c$  » est obtenue à partir du module de cisaillement dynamique «  $G$  » du sol selon les lois de dégradations. Elle peut être déterminée de la façon suivante (Gazetas G., 1993) :

- $K_c = k_c.B$  ;
- $K_c = 1,2.E_{SISM} [MPa]$  ;
- $E_{SISM} = 2.(1+\nu).G$



Les paramètres de calculs retenus sont les suivants (sondage de référence SD1) :

													Pieu Ø420	Pieu Ø520	Pieu Ø620	
Formation	Base couche	E <sub>M</sub>	PI*	Pf*	ρ	G <sub>max</sub>	G <sub>SISM</sub> <sup>(1)</sup>	V <sub>Smax</sub>	V <sub>s</sub> <sup>(1)</sup>	E <sub>SISM</sub>	K <sub>c</sub>	k <sub>c</sub>			p <sub>max</sub>	
	(m/TA - [m NGF])											(MPa)		(t/m³)		(kPa)
[1] Argile vasarde	11.00 [-5.52]	5	0.4	0.2	1,84	35000	22400	138	109	64960	77952	185600	149908	125729	0.4	
[2.1] Altérite tendre	12.00 [-6.52]	1	0.1	0.05	1,84	7000	4480	62	49	12992	15590	37120	29982	25146	0.1	
[2.2] Altérite peu compacte	13.00 [-7.52]	9	1.0	0.6	1,84	63000	40320	185	146	116928	140314	334080	269834	226312	1.0	
[2.3] Altérite moyennement compacte	16.00 [-10.52]	12	1.6	1.0	1,94	84000	53760	208	164	155904	187085	445440	359778	301750	1.6	
[2.4] Altérite compacte	–	20	1.9	1.2	2,04	140000	89600	262	207	259840	311808	742400	599631	502916	1.9	
[3.1] Micaschiste altéré	Au-delà	35	3.0	2.0	2,14	245000	156800	338	267	454720	545664	1299200	1049354	880103	3.0	
[3.2] Micaschiste sain	–	>100	5.0	3.0	2,24	700000	448000	>800 <sup>(2)</sup>		1299200	1559040	3712000	2998154	2514581	4.8	

<sup>(1)</sup> Paramètres définis à ce stade suivant une approche forfaitaire en référence au cahier technique n°38 de l'AFPS en absence d'essais in-situ

<sup>(2)</sup> On rappelle que le substratum sismique correspond à un sol dont les « Vs » de cisaillement doivent être supérieures à 800 m/s. Des investigations complémentaires pourront être réalisées dans le cadre de la **mission G3** (sondages pressiométriques profonds, essais cross-hole ou autres) afin d'affiner le modèle géotechnique et notamment la cote du toit et les caractéristiques du substratum sismique.



Avec,  $\alpha_s$ , le rapport d'accélération de sol = **0,18** g ;

$$V_{s_{\max}} = \sqrt{\frac{G_{\max}}{\rho}} ;$$

$G_{\max}$ , le module de cisaillement moyen = 6 à 8  $E_M$  pour les déformations de l'ordre de  $10^{-6}$ m.  $G_{\max} = 7E_M$  dans notre cas ;

$V_s/V_{s_{\max}}$  défini suivant approche forfaitaire AFPS = **0.79** ;

$G/G_{\max}$  suivant approche forfaitaire AFPS = **0.64** ;

$V_s$ , vitesse des ondes de cisaillement dans le sol ;

$G_{SISM}$ , module de cisaillement déterminé au niveau de déformation attendu pour l'action cinématique sismique de calcul ;

$\nu$ , coefficient de poisson du sol = **0.45** (sous nappe) ;

Sauf étude particulière, l'EC8 propose un calcul du déplacement au niveau du sol «  $d_{\max}$  » qui correspond à la déformée en champ libre maximale qui va du substratum sismique jusqu'à la surface, déterminée par la relation suivante pour un multicouche sur substratum sismique :

$$d_{\max} = \frac{T^2 \cdot a_{\max}}{4 \cdot \pi^2}$$

Avec,  $a_{\max}$  : accélération de calcul définie par  $a_g = a_{gr} \cdot \gamma_1 \cdot S$

$a_{gr}$  : accélération pour un sol rocheux (classe A)

$\gamma_1$  : coefficient d'importance du bâtiment

$S$  : paramètre de sol

$T$  : période équivalente du premier mode de vibration du profil de sol multicouche

La période équivalente  $T$  peut être calculée suivant la méthode de Madera consistant à déterminer la période équivalente du premier mode de vibration du profil multicouche pour apprécier le déplacement relatif au niveau du sol, et à évaluer la forme de la déformée du profil correspondant à ce mode fondamental.

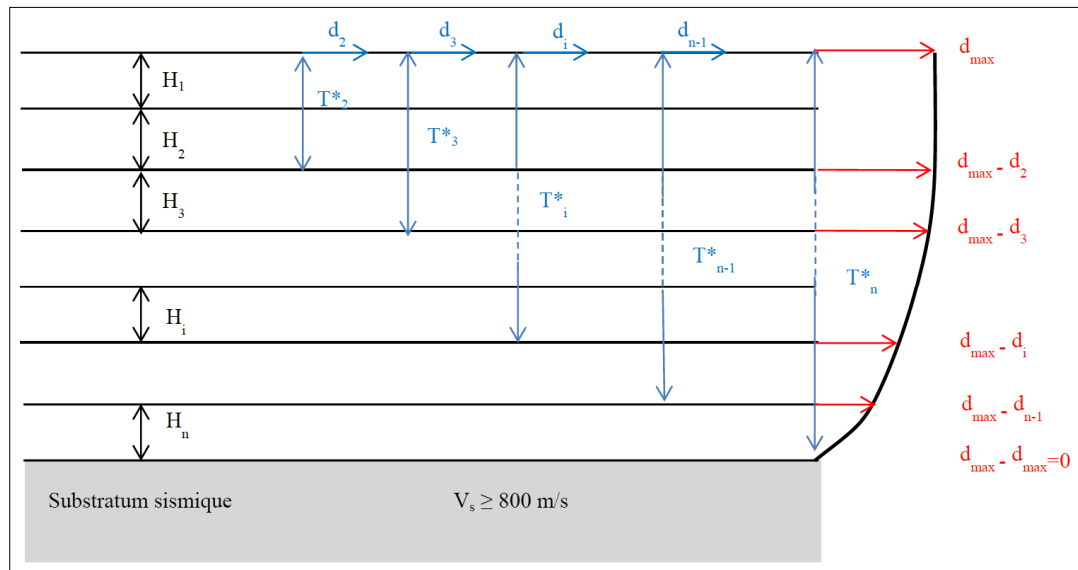
Elle est ainsi obtenue par résolution de l'équation :

$$\frac{\rho_n \cdot H_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \rho_i \cdot H_i} \cdot \frac{T_{n-1}^*}{T_n} = \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_{n-1}^*}{T}\right) \times \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_n}{T}\right)$$

Avec  $T_i^*$  désignant la période équivalente des  $i$  premières couches.



La méthode de calculs de la déformée  $g(z)$  à partir des déformées  $d_i$  de chaque couche ( $d_i = (T_i^2 \cdot a_{max}) / (4\pi^2)$ ) est représentée sur la figure suivante :



Principe de calcul de  $g(z)$  pour un multicouche - CT n°38 AFPS

La déformée maximale en surface  $d_{max}$  est égale à **0.025 m** dans notre cas.

#### 4.4.3. Justification vis-à-vis des effets inertiels et cinématiques

En l'absence de donnée sur la période propre fondamentale de la structure de la future extension, le cumul des effets cinématiques et inertiels s'exprime par la solution suivante :

$$\Sigma = |I(z)| + |C(z)|$$

Les valeurs de déplacements des pieux sous sollicitations sismiques latérales inertielle et cinématique ainsi que les moments maximaux attendus sont les suivants :

Appui	$\varnothing$ (mm)	EI (kN.m <sup>2</sup> )	H <sub>Ed</sub> ELU <sub>SISM</sub> (kN)	Inertiel « I »			Cinématique « C »			I + C
				M <sub>max</sub> (kN.m)	Flèche <sup>(1)</sup> (cm)	Rs <sup>(2)</sup> (kPa)	M <sub>max</sub> (kN.m)	Flèche <sup>(1)</sup> (cm)	Rs <sup>(2)</sup> (kPa)	M <sub>max</sub> <sup>(3)</sup> (kN.m)
14	420	45 824	273.6	68.94	0.46	400	97.84	2.41	711.48	166.78
20	520	107 672	241.7	83.51	0.36	270.06	159.03	2.38	615.77	242.54
33	420	45 824	456.1	122.08	0.85	423.19	97.13	2.41	707.79	219.21
37	420	45 824	14.4	3.62	0.02	22.31	97.84	2.41	711.40	101.46
44	520	107 672	328.8	113.60	0.49	367.37	167.50	2.36	674.88	281.10
46	420	45 824	518.4	138.71	1.01	400	106.24	2.39	770.38	244.95
60	620	217 600	537.8	240.53	0.73	400	251.22	2.35	566.31	491.75

(1) Déplacement max de fondations ;

(2) Réaction latérale du sol (doit être  $< r_2/B$ ) ;

(3) Moments max théoriques calculés.



Ces résultats sont détaillés en Annexes à partir des modélisations effectuées sous le logiciel FOXTA V4 module Piecoef+.

Le BET structures devra se prononcer sur l'admissibilité des déplacements théoriques calculés et des moments développés avec les tolérances de déformations des ouvrages. Dans le cas où ceux-ci s'avèrent trop importants, une adaptation des caractéristiques des pieux devra être recherchée lors des études d'exécution (mission G3 à la charge de l'entreprise).

#### 4.5. Exécution des pieux

**Il conviendra de vérifier la stabilité des pieux à la compression (et à la traction la cas échéant) pour les combinaisons ELS quasi-permanentes, ELS caractéristiques, ELU durable et transitoire et à l'ELU accidentelle en fonction des sollicitations définitives attendues.**

Dans le cas de réalisation de fondations profondes, les tassements théoriques sont inférieurs au centimètre.

Il est rappelé que les résultats fournis précédemment ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'une note de calcul détaillée devra être établie au stade du projet en fonction de ce dernier et des caractéristiques réelles des pieux retenus.

Les pieux seront réalisés selon les Règles de l'art par une entreprise spécialisée, mettant en œuvre le matériel le plus adapté, sans provoquer le moindre désordre aux avoisinants.

Afin d'atteindre l'ancrage nécessaire, l'entreprise devra mettre en œuvre le matériel adapté (tubage, trépanage dans le substratum) en choisissant le type de pieux le mieux adapté.

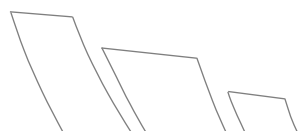
La réalisation des pieux devra tenir compte des dispositions constructives suivantes :

- la contrainte dans le béton sera limitée conformément aux règles de l'Eurocode 2 ;
- dans la conception de la structure, la liaison structure/pieux sera étudiée avec précision ;
- de la boulance des terrains ;
- de la présence d'eau dans les terrains ;
- l'agressivité du milieu (eau et terrains) vis-à-vis des fondations devra être contrôlée afin de choisir le type de béton et l'épaisseur d'armature appropriés ;
- les pieux seront armés toute hauteur et conformément aux recommandations du PS92 ou de l'Eurocode 8 ;
- le nombre et la nature des essais de contrôle à réaliser sur les pieux seront conformes aux dispositions de la norme NF P94-262.

Les armatures devront être munies de centreurs en nombre suffisant pour assurer le bon centrage et un enrobage suffisant des armatures.

Lors de la réalisation des pieux, il conviendra de respecter les dispositions suivantes :

- veiller à une implantation précise et à une bonne verticalité des pieux ;
- vérifier soigneusement les matériaux extraits lors des forages afin de s'assurer du bon ancrage dans le micaschiste altéré à sain ;



- enregistrer les paramètres de forage afin s'assurer de la fiche réelle des pieux et du bon ancrage dans l'horizon prédéfini ;
- faire attention aux pertes d'injection *au sein des terrains de recouvrement remblayés, du substratum altéré/fracturé* et également vis-à-vis des mitoyens.

## 4.6. Niveau bas

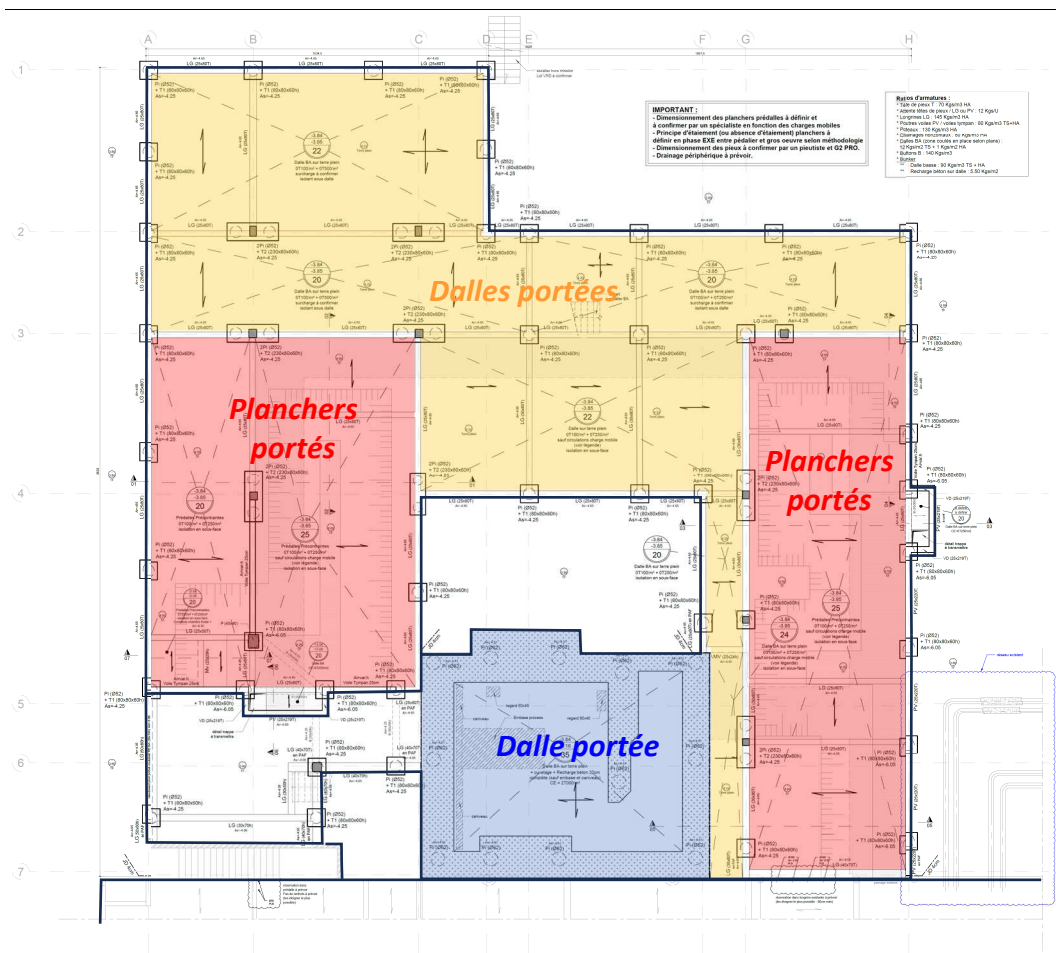
### 4.6.1. Extension

Il est prévu la réalisation de :

- dalles portées, avec une cote de plateforme à  $\pm 4.05$  NGF ;
- planchers portés sur vide sanitaire visitable, avec des cotes de plateformes à  $\pm 3.40$  NGF (PF haute) et  $\pm 2.20$  NGF (PF basse).

### 4.6.2. Bunker

Il est prévu la réalisation de voiles reposant sur les pieux et d'une dalle portée par les voiles.



Repérage des niveaux bas

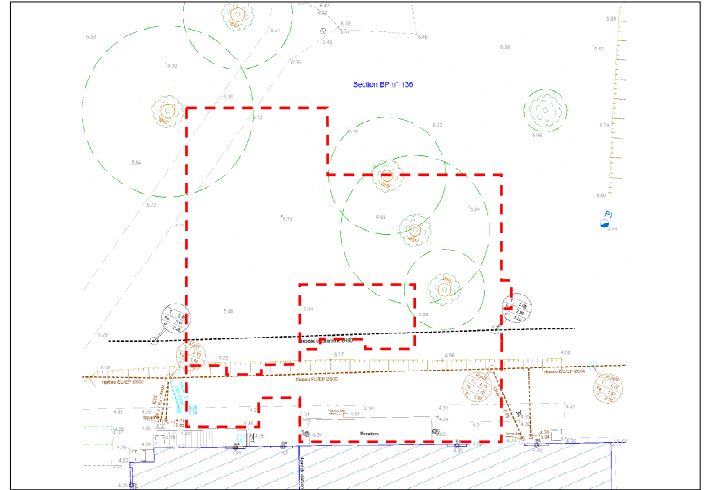
## 4.7. Précautions particulières de conception et d'exécution

### 4.7.1. Terrassement

Un dessouchage soigné des arbres arrachés devra être effectué sous le projet et les trous soigneusement comblés et compactés.

Les réseaux sur l'emprise du projet devront être déviés.

Notons qu'après démolition des ouvrages existants sur le site, le terrain sera remanié et que des vestiges de fondations, de dalles et de blocs béton sont susceptibles d'être présents dans le sol. Un curage soigné de ces éléments est à prévoir.



Les terrassements pourront être réalisés sans difficultés particulières au moyen d'engins mécaniques courants dans les horizons de recouvrement remblayés et alluvionnaires.

Ils devront être réalisés en assurant la stabilité des ouvrages mitoyens (soutènements provisoires, talutage, terrassements par passes...). On veillera à adapter la puissance des engins utilisés, à la présence des différents bâtiments existants. On veillera à garantir l'intégrité des constructions avoisinantes durant tout le chantier et en phase définitive.

Toute poche décomprimée, de matériau évolutif ou de moindre consistance et/ou tous points durs rencontrés en fond de forme sera purgée. Pour le rattrapage des éventuels hors profils après purge, on prévoira la réalisation d'une couche de forme en classe D2 selon le GTR, comportant moins de 5 % de fines.

Nous attirons l'attention sur le fait que les terrains renferment une proportion importante de sols fins qui sont sensibles à l'eau d'où des difficultés de circulation des engins en période pluvieuse. Une réalisation de la plate-forme en période favorable non pluvieuse est vivement recommandée.

Le sol décapé est sensible à l'eau et sa portance peut diminuer rapidement sous l'action de l'eau de ruissellement ou des engins de terrassements. Des précautions de terrassements doivent donc être prises sous peines de purges complémentaires.

Lors des travaux, nous attirons l'attention sur la nécessité de préserver au mieux la qualité du sol d'assise du bâtiment projeté.

On proscrira, autant que faire se peut, de faire manœuvrer des engins sur la plate-forme décapée et l'on privilégiera un remblaiement instantané de la première couche à l'avancement.

Après mise à niveau du fond de forme, ce dernier sera compacté. Son compactage sera adapté aux conditions climatiques au moment des travaux.

**NOTA :** Si les travaux ont lieu en période défavorable ou si le fond de forme présentait une teneur en eau trop importante, le cloutage du fond de forme et la pose d'un géotextile pourront s'avérer nécessaires.



En fonction de l'état hydrique des sols et des niveaux d'eau au moment des travaux, les terrassements dans des matériaux saturés peuvent entraîner des éboulements. Il conviendra alors de prendre les dispositions nécessaires afin d'éviter de tels désordres (busage ou blindage continu par exemple) ainsi que l'utilisation d'un dispositif de pompage ou de rabattement de nappe.

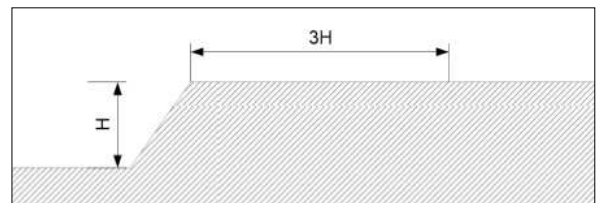
Il conviendra de protéger le fond de fouille en cas d'intempéries et les surfaces devront être réglées et fermées avant l'arrivée des intempéries. En cas de venue d'eau, aucune stagnation ne sera tolérée et la mise en place d'un dispositif de drainage et évacuation gravitaire ou d'un système de pompage si nécessaire sera à prévoir.

#### 4.7.2. Stabilité des terrains en déblais et talutage

À toutes fins utiles, on rappellera la règle couramment admise des « 3H », pour laquelle dans le cas d'un déblai de hauteur H, la zone d'influence a pour longueur 3H horizontalement en amont de la crête du talus en déblai :

Pour une vérification de la stabilité au glissement, le coefficient de sécurité devra atteindre une valeur minimale de :

- $F_s = 1.5$  pour un talus définitif ;
- $F_s = 1.3$  pour un talus provisoire.



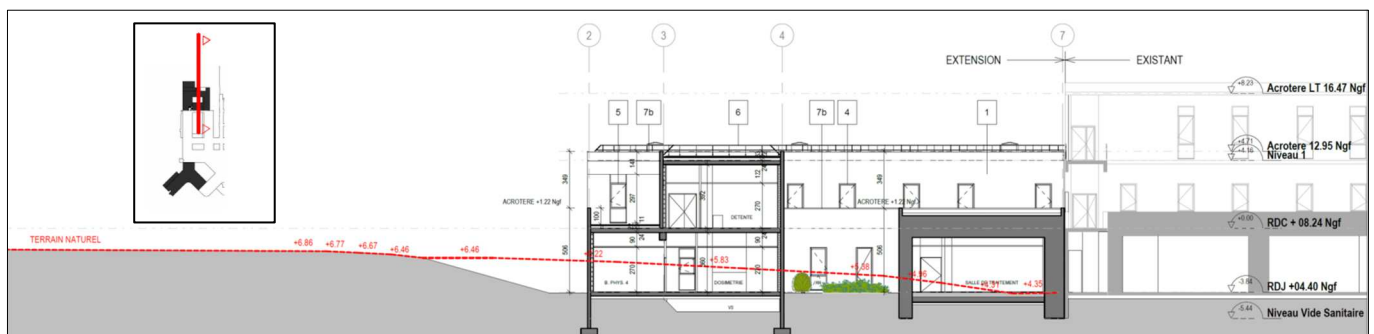
La réalisation des terrassements devra permettre d'assurer la stabilité des talus, des voiries et du bâtiment existant :

- Les sollicitations extérieures défavorables seront limitées (surcharges en tête, vibrations, ...) ;
- Les talus seront soigneusement protégés des eaux de ruissellement, infiltration, ... ;
- Les pentes de talus devront être adoucies suivant tout signe d'instabilité.

Les conditions de stabilité des talus seront fonction de différents facteurs :

- La géométrie des talus ;
- La résistance au cisaillement des sols ;
- La boulance des terrains ;
- Les pressions de l'eau interstitielle, en particulier si des circulations existent en pied de talus ;
- Les sollicitations extérieures (climatiques ou anthropiques).

En considérant une cote de plateforme VS à  $\pm 2.20$  NGF, sa constitution entrainera la réalisation d'une fosse d'environ 2.00 à 3.50 m de hauteur.



Coupe Ouest – AIA Architectes

D'une manière générale, il conviendra d'assurer la stabilité des talus en phase travaux et en phase définitive, par l'intermédiaire d'ouvrages de soutènement ou de talutage si les contraintes d'emprise le permettent.

Si tel est le cas, et sous réserve d'une protection contre l'érosion par ruissellement, les talus en phase provisoire et définitive pourront être réglés à **2H/1V** au sein des terrains de recouvrement.

L'emprise de terrassement disponible devrait permettre la réalisation de voiles banchés ou de prémurs.

En revanche, en absence de recul, les travaux seront conduits à l'abri de soutènements provisoires ou définitifs permettant :

- la tenue des parois de la fouille,
- de limiter les venues d'eau,
- de limiter les déplacements, notamment en tête, afin d'assurer la stabilité des mitoyens et avoisinants (voiries, réseaux existants par exemple).

On s'assurera que la stabilité des ouvrages et des sols avoisinants le projet est assurée pendant et après la réalisation de ce dernier, et que toutes les précautions (limiter les vibrations, travaux par passe, soutènement) seront prises pour éviter tout dommage tant en phase provisoire que définitive.

Les murs enterrés seront dimensionnés pour reprendre la poussée des terres et les pressions interstitielles, ils seront soigneusement imperméabilisés.

---

#### 4.7.3. Mitoyenneté

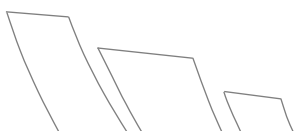
La méthodologie de mise en œuvre des fondations devra préserver la stabilité des ouvrages mitoyens (attention aux affouillements, déchaussements de fondations, vibrations, tassements en cas de fondations à des niveaux différents).

L'Hôpital du Scorff a été fondé au moyen de pieux de type Starsol, avec contrôle renforcé, à partir d'une cote de PF chantier vers 2.50 m NGF.

Le projet ne devra pas venir surcharger les ouvrages mitoyens et avoisinants et leurs fondations, et il sera nécessaire de prévoir un joint de dilatation au niveau des mitoyennetés.

Dans tous les cas, les dispositions ci-dessous seront à respecter :

- Un diagnostic structure de l'existant devra être réalisé pour adapter la construction des nouvelles fondations à celles existantes et devra définir les seuils de déformation acceptables par les structures existantes et leur adéquation avec les déformations inhérentes à l'acte de construire ;
- Il ne faudra en aucun cas venir démolir les fondations existantes et/ou les surcharger sans un diagnostic structure associé au diagnostic géotechnique ;
- Il sera nécessaire de prévoir un joint de rupture au niveau des mitoyennetés ;
- Les fondations nouvelles devront tenir compte du débord, de la géométrie et de la nature des semelles existantes ;
- Les terrassements pour les fondations en mitoyenneté devront être effectués par plots alternés afin d'éviter tout risque de déstabilisation des ouvrages existants avec coulage du béton le jour de l'ouverture. L'intégrité des avoisinants devra être conservée en phase provisoire comme en phase définitive.





#### 4.7.4. Drainage

Globalement, sur le site de l'hôpital, les niveaux d'eaux souterraines se situent entre 1.00 m et 3.00 m NGF.

Le niveau NPHE à retenir en cas de crue exceptionnelle à l'horizon 2100 est calé à 4.55 m NGF d'après le règlement du PPRL de Lorient (cf. §2.6).

En l'absence de suivi piézométrique et au regard de la présence d'un vide sanitaire drainé sous l'existant à 2.80 m NGF (cheminement gravillonné à 2.15 m NGF), les niveaux caractéristiques pourraient être les suivants :

- niveau EB  $\pm$  2.50 m NGF.
- niveau EH  $\pm$  3.80 m NGF.
- niveau EE  $\pm$  4.55 m NGF.

Suivant la période des travaux, des venues d'eau sont susceptibles d'affleurer voire recouper les terrassements en déblai, ce qui nécessitera un rabattement de nappe préalable. Pour travailler dans de bonnes conditions, le niveau de la nappe doit se situer au moins 0,5 m plus bas que le fond de fouille.

➤ *Phase provisoire :*

Nous recommandons de réaliser plusieurs relevés piézométriques dans les mois précédant le commencement des travaux, voire la réalisation de fouilles test, afin de vérifier l'absence ou non de venues d'eau susceptibles d'intercepter le projet.

En cas de venue d'eau, aucune stagnation ne sera tolérée. Un drainage de la plateforme (évacuation gravitaire, voire un pompage des eaux) seront nécessaires en cours de terrassement afin d'évacuer les eaux souterraines, de ruissellement et d'accumulation dans les remblais et les alluvions argilo-vasardes.

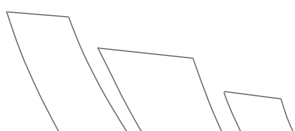
Les eaux de ruissellement seront récoltées en tête et en pied de talus.

Un pompage adapté à la nature des sols pourra être nécessaire afin d'épuiser les venues d'eau et **d'assécher la fouille de terrassement généraux**. Il reviendra à la Maîtrise d'Ouvrage / Maîtrise d'Œuvre de s'assurer des autorisations de rejet des éventuelles eaux de pompage, eaux drainées vers un réseau, exutoire adapté (en phases provisoire/définitive). Nous recommandons à la Maîtrise d'Ouvrage de se rapprocher dans les meilleurs délais des autorités idoines (Mairie, etc.).

Dans tous les cas, la définition du dispositif à adopter et son dimensionnement devra faire l'objet d'une étude spécifique par un BET spécialisé afin d'estimer les exhaures et matériels de pompage adaptés.

Quoi qu'il en soit, des précautions d'usage seront à respecter pour conserver le fond de terrassement de nature sablo limoneuse à argileuse, sensible à l'eau :

- Réaliser les travaux en période sèche, non pluvieuse, et à l'avancement ;
- Régler le fond de terrassement de manière à permettre une évacuation gravitaire des eaux ;
- Protection du fond de fouille en cas d'intempéries, les surfaces devront être réglées et fermées avant l'arrivée des intempéries ;
- Protection des talus provisoire par un polyane. Une cunette de réception des eaux de ruissellement devra être réalisée en pied de talus et reliée à un exutoire (évacuations des eaux en dehors de l'emprise du chantier) afin de sauvegarder les caractéristiques de la plate-forme de travail.



➤ *Phase définitive :*

Toute infiltration d'eau au niveau des fondations sera proscrite. Il sera nécessaire de protéger les ouvrages contre les infiltrations d'eau au moyen d'un dispositif drainant. Un drainage périphérique pourra être mis en place en respectant le DTU 20.1. Les eaux de ruissellement et de toiture seront soigneusement collectées (drainage amont, gouttières, contre-pente...) et évacuées vers un exutoire dimensionné de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

On veillera également à prendre en compte les précautions suivantes :

- Les abords immédiats des ouvrages devront être aménagés pour diriger les eaux vers l'extérieur en dehors de l'emprise des ouvrages : forme de pente au niveau de l'aménagement du projet, voire mise en place d'une margelle en béton imperméable, permettant de ne pas amener de l'eau à proximité des futures fondations ;
- Pas de rejet des eaux pluviales à proximité des fondations ;
- Les eaux collectées devront être évacuées en dehors de l'emprise des ouvrages vers un réseau existant ou un exutoire prévu à cet effet ;
- Pour les vides sanitaires, on mettra en œuvre tout dispositif approprié (forme de pente, drain, puisard, etc...) pour la collecte et l'évacuation des eaux d'infiltration afin que celles-ci ne soient pas piégées dans l'ouvrage ;
- Le *Bunker* sera cuvelé.

Dans tous les cas, la définition du dispositif à adopter et son dimensionnement devront faire l'objet d'une étude spécifique par un BET spécialisé.

\*  
\* \*

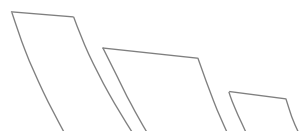
Nous rappelons que cette étude a été menée dans le cadre d'une étude de conception de niveau projet (G2 PRO) et que, conformément à la norme NF P94-500 de novembre 2013, des études géotechniques de réalisation (G3 et G4, distinctes et simultanées) doivent être envisagées.

ECR environnement peut prendre en charge la maîtrise d'œuvre dans le domaine de la géotechnique, au stade du projet.

**Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes en annexe.**

**Rédacteur :** AMAUGER Charlie  
Chargé d'affaires

**Contrôle qualité :** LE LOHER Thierry  
Chargé d'affaires



## **CONDITIONS PARTICULIERES**

.....

Le présent rapport ou Procès-verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à E.C.R. ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du Rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'E.C.R. ENVIRONNEMENT.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les-dites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre-Expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

.....



## ANNEXES

## Annexe 1

---


### Implantation des sondages






## Légende :

 SP : Sondage pressiométrique (2)  
+ Pz : Piézomètre (1)

 SD : Sondage destructif (1)

## Légende - Affaire n°3407 (2007) :

 SP : Sondage pressiométrique (2)



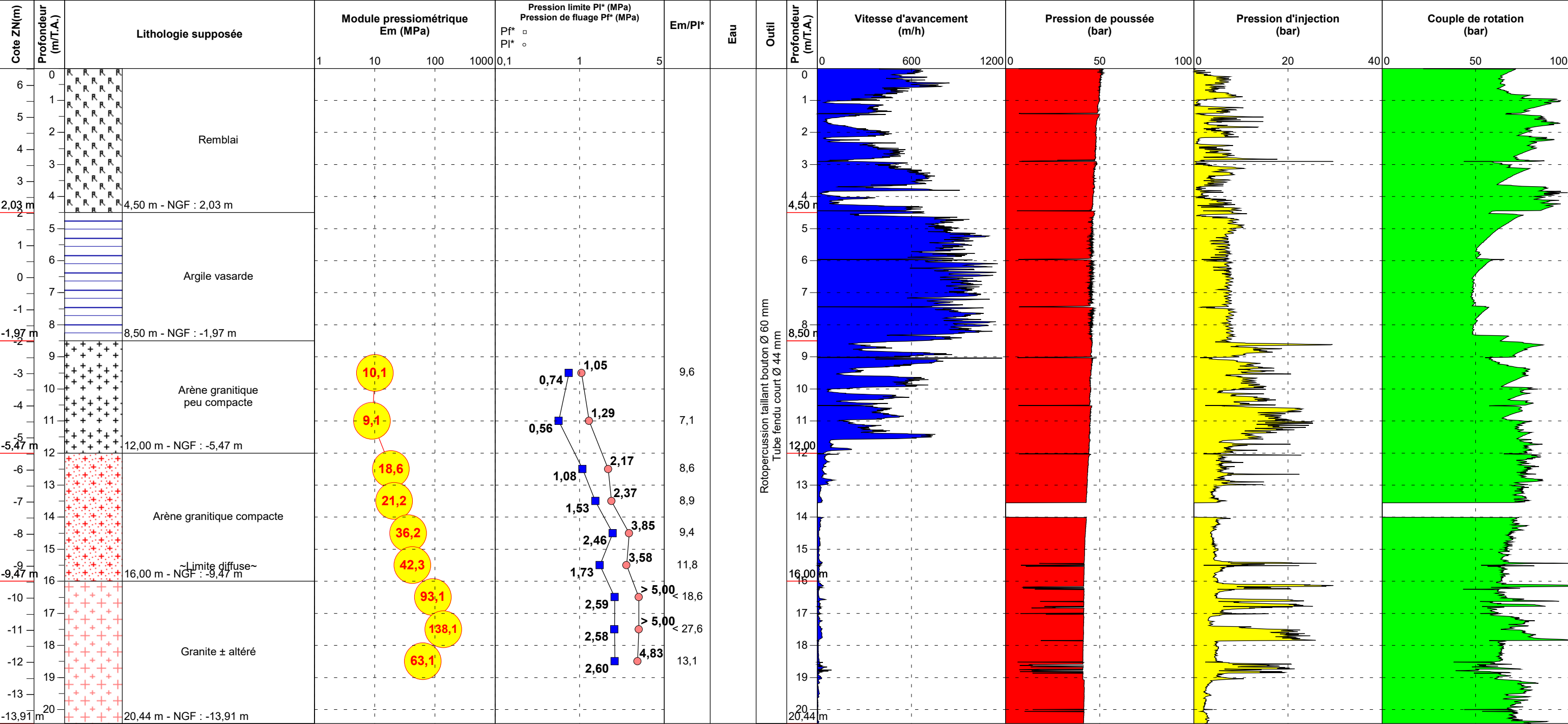
## **Annexe 2**

---

### **Résultats des investigations in situ**



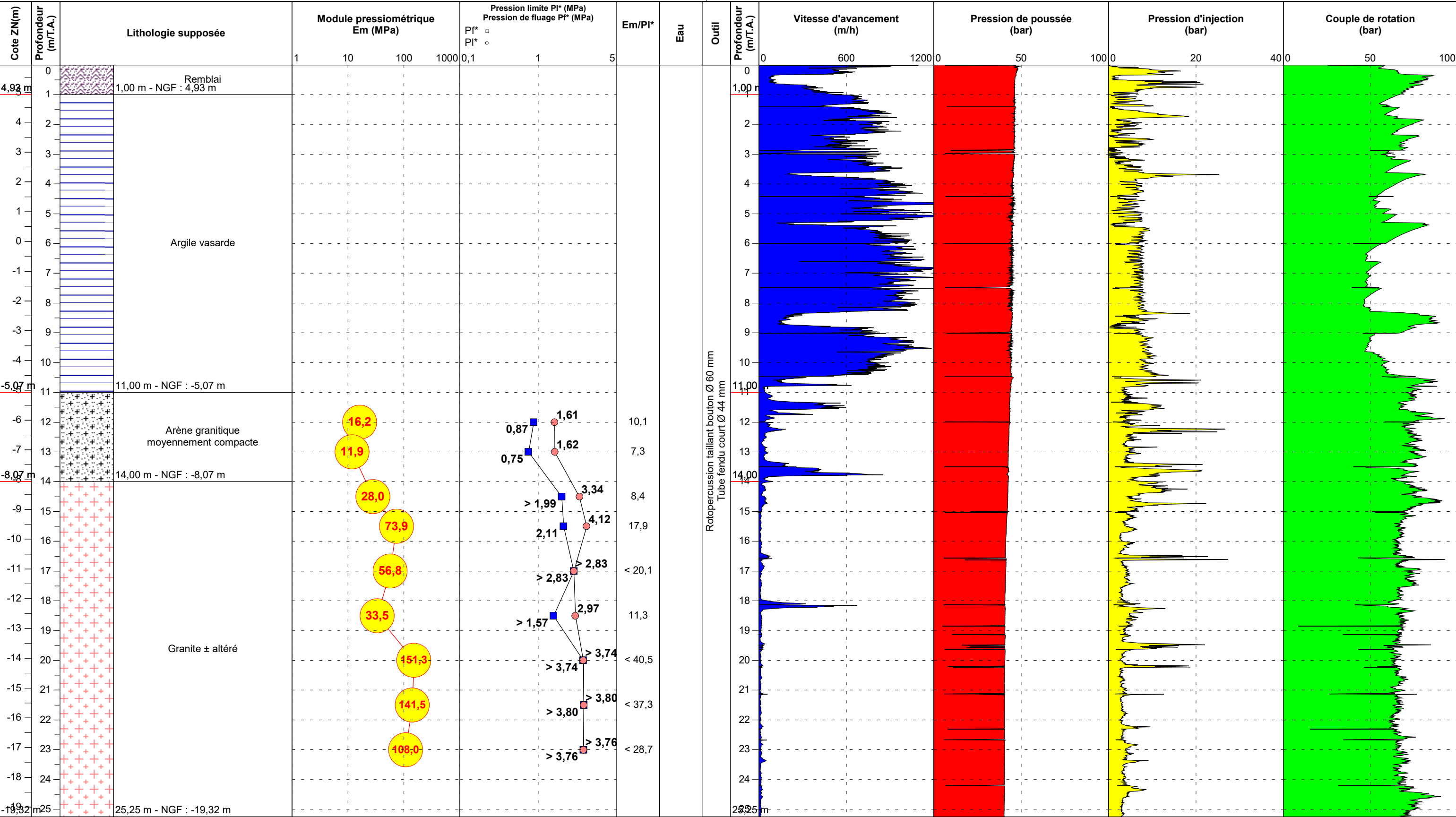
Echelle : 1/120



Forage : **SP2**

Cote z : 5.93 m NGF  
Niveau d'eau (m/TA) : néant

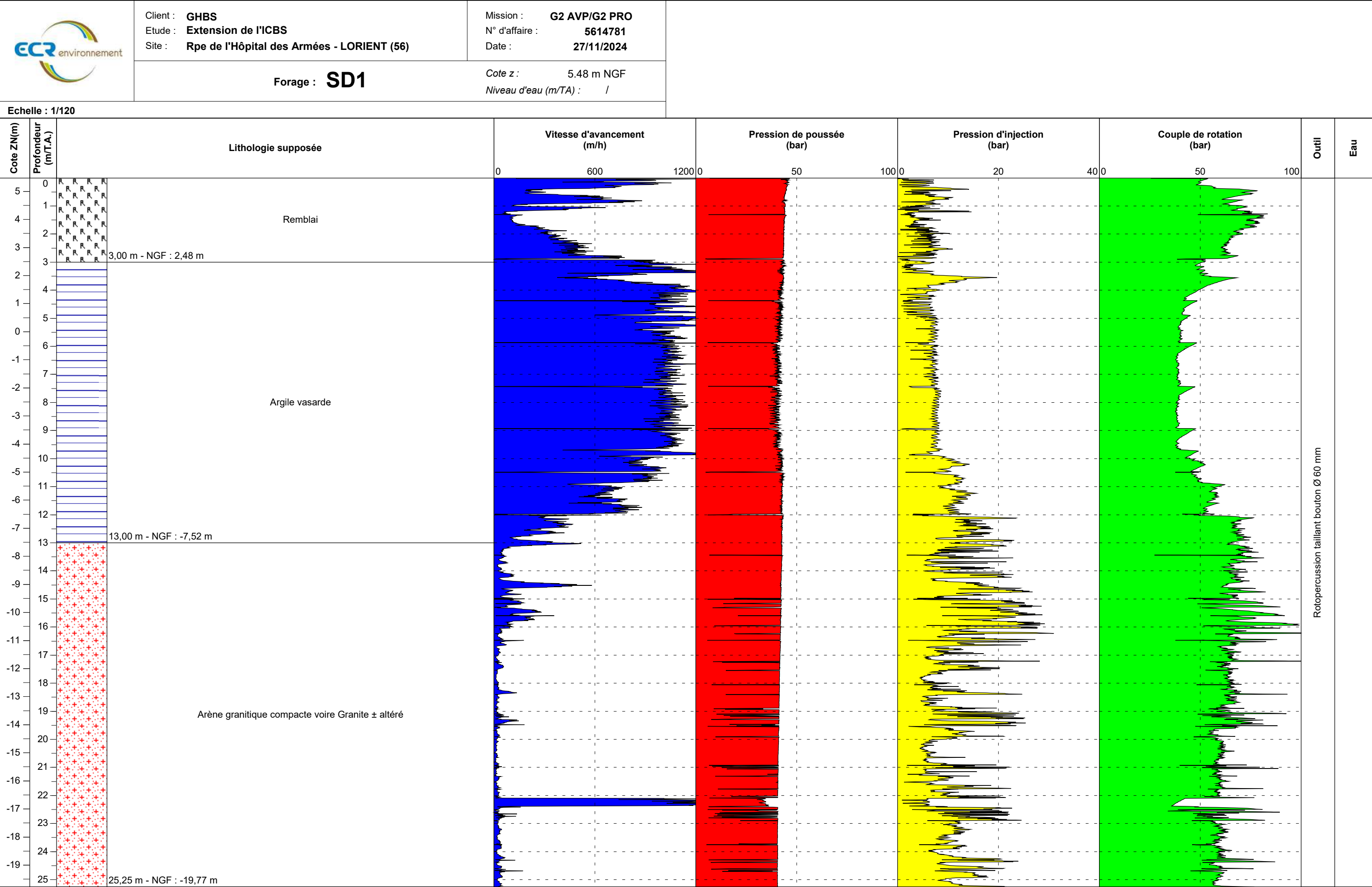
**Echelle : 1/120**



Logiciel JEAN LUTZ S.A - [www.jeanlutzsa.fr](http://www.jeanlutzsa.fr)

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR







## Forage : SB4

Client : Centre Hospitalier de Bretagne Sud

Type : Pressiométrique

Etude : Construction du nouveau centre  
hospitalier Calmette

Z: 5 m

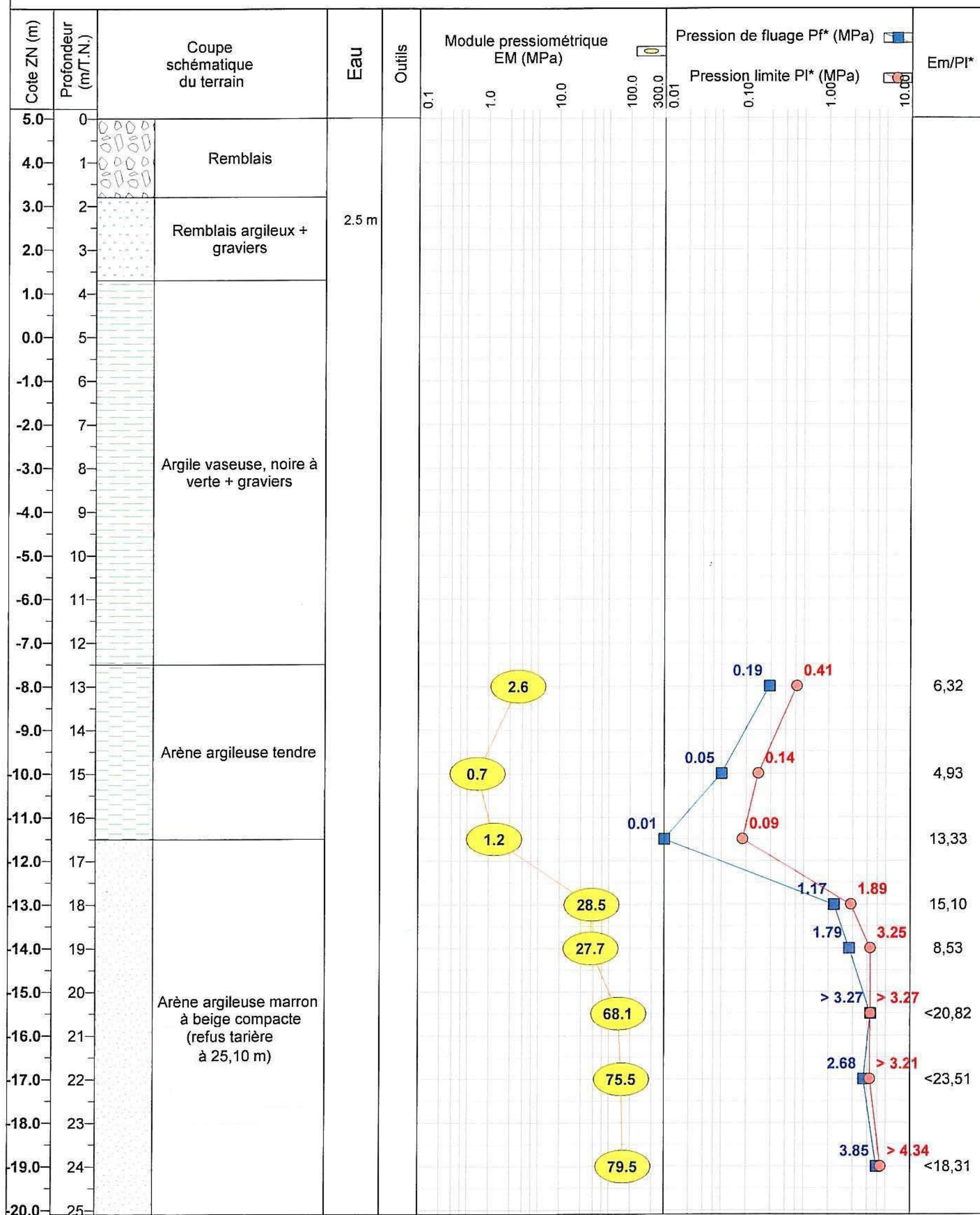
Date : 21/07/06

X:

Y:

Niveau d'eau: 2,5 m

Echelle : 1 / 125





## Forage : SH5

Client : Centre Hospitalier de Bretagne Sud

Type : Pressiométrique

Etude : Construction du nouveau centre hospitalier Calmette

Z: 5,04 m

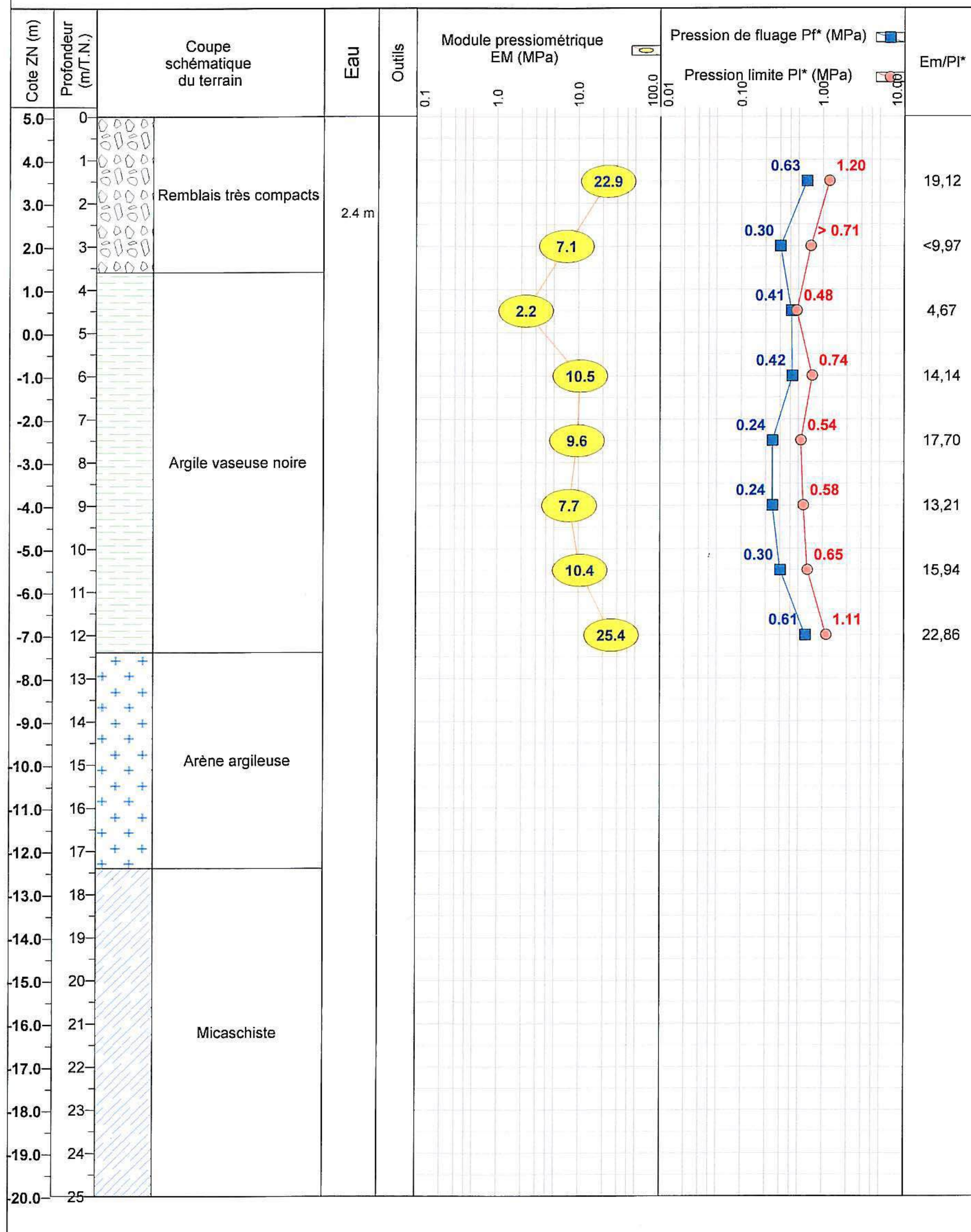
Date : 24/07/06

X:

Y:

Niveau d'eau: 2,4 m

Echelle : 1 / 125



## **Annexe 3**

---

# **Résultats des analyses en laboratoire**



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

ECR Environnement OUEST (56)  
2 Rue André Ampère  
ZA Kerhoas II  
56260 LARMOR-PLAGE  
FRANCE

Date 09.12.2024  
N° Client 35008905

## RAPPORT D'ANALYSES

Cde 1491910 5614781\_LORIENT\_GHBS\_Sol\_T1\_3.00-4.00\_BC=5609739  
N° échant. 520751 Solide / Eluat  
Date de validation 03.12.2024  
Prélèvement Sans objet  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons T1  
Profondeur de 3  
Profondeur jusqu'à 4

Unité Résultat Limite Quant. Incert. Résultat % Méthode

### Prétraitement des échantillons

Broyeur à mâchoires		°				méthode interne
Matière sèche	%	°	85,6	0,01	+/- 1	NEN-EN 15934
Prétraitement de l'échantillon		°				Conforme à NEN-EN 16179

### Analyses Physico-chimiques

Sulfures solubles	*)	mg/kg Ms	<0,20	0,2		DIN 4030
Acidité selon Baumann-Gully	*)	ml/kg Ms	25,1	1		EN 16502
Chlorures	*)	mg/kg Ms	<20	20		DIN 4030
Sulfates - extraction acide (SO4)	*)	mg/kg Ms	6986	300	+/- 50	EN 196-2

### Agressivité chimique sur béton

Grade d'agressivité sur béton	*)		XA2			EN 206+A2/CN
-------------------------------	----	--	-----	--	--	--------------

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

Le calcul de l'incertitude de mesure analytique combinée et élargie mentionné dans le présent rapport est basé sur le GUM (Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure, BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA et OIML, 2008) et Nordtest Report (Manuel pour le calcul de l'incertitude de mesure dans les laboratoires d'analyse de l'environnement (TR 537 (ed. 4) 2017). Le facteur d'élargissement utilisé est 2 pour un niveau de probabilité de 95% (intervalle de confiance).

Les analyses réalisées sur solide sont calculées sur la matière sèche. Les analyses marquées ° sont quantifiées par rapport à l'échantillon original.

Date de prise en charge: 03.12.2024

Fin des analyses: 09.12.2024

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'essai ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée.

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole "°".

Kamer van Koophandel  
Nr. 08110898  
VAT/BTW-ID-Nr.:  
NL 811132559 B01

Directeur  
ppa. Marc van Gelder  
Dr. Paul Wimmer

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



**AGROLAB** GROUP

Your labs. Your service.

ECR Environnement OUEST (56)  
2 Rue André Ampère  
ZA Kerhoas II  
56260 LARMOR-PLAGE  
FRANCE

Date 05.06.2025  
N° Client 35008905

## RAPPORT D'ANALYSES

Cde 1564644 5614781\_LORIENT-GHBS\_PZeau\_Bc=5610196  
N° échant. 115168 Eau  
Date de validation 03.06.2025  
Prélèvement Sans objet  
Prélèvement par: Client  
Spécification des échantillons PZ1

Unité Résultat Méthode

### Analyses sur site

Profondeur du prélèvement	m	5.00			
---------------------------	---	------	--	--	--

### Analyses Physico-chimiques

Conductivité électrique à 20 °C (Laboratoire)	µS/cm	2760			Conforme à ISO 7888
Conductivité à 25°C (Lab)	µS/cm	3080			Conforme à ISO 7888
pH (Lab.)		7,0			Conforme à ISO 10523
Température	°C	20,3			Conforme à ISO 10523
Sulfures solubles *)	mg/l	<0,1			NEN 6608
Titre alcalimétrique complet (pH 4,3)	mmole/l	15			Conforme NEN-EN-ISO 9963-1
Chlorures (Cl)	mg/l	650			Conforme à ISO 15923-1
Sulfates (SO4)	mg/l	380			Conforme à ISO 15923-1

### Métaux

Calcium (Ca)	mg/l	450			Conforme à EN-ISO17294-2
Magnésium (Mg)	mg/l	79			Conforme à EN-ISO17294-2

### Autres analyses

Dureté Carbonatée *)	mg/l CaO	420			Conforme NEN-EN-ISO 9963-1
Dureté (non issu des carbonates) *)	°dH	39			calculée à partir de analyse conform NEN-EN-ISO 17294-2
Dureté (non issu des carbonates) *)	mg/l CaO	390			calculée à partir de analyse conform NEN-EN-ISO 17294-2
Dureté totale *)	mg/l CaO	810			calculée à partir de analyse conform NEN-EN-ISO 17294-2
Indice permanganate (mg O2/L)	mg/l	14			Conforme à EN-ISO 8467
Dureté totale *)	°dH	81,0			calculée à partir de analyse conform NEN-EN-ISO 17294-2
Dureté totale *)	mmole/l	14,5			calculée à partir de analyse conform NEN-EN-ISO 17294-2
Couleur		79			NF EN-ISO 7887-C (410 nm)
Oxydabilité au KMnO4	mg/l	54			Conforme à EN-ISO 8467
Turbidité *)	NTU	150			Méthode interne
TAC après dissolution de marbre *)	mmole/l	13			Conforme NEN-EN-ISO 9963-1
Ammonium (NH4)	mg/l	8,1			Conforme à ISO 15923-1
Nitrates	mg/l	<0,50			Conforme à ISO 15923-1

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole "\*)".

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

page 1 de 2





# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Date 05.06.2025

N° Client 35008905

## RAPPORT D'ANALYSES

Cde 1564644 5614781\_LORIENT-GHBS\_PZeau\_Bc=5610196

N° échant. 115168 Eau

	Unité	Résultat	Méthode
acide carbonique agressif	*) mg/l	<1,0	DIN 4030
Dureté Carbonatée	*) °dH	41,9	Méthode interne
Odeur (Lab)	*)	nauséabonde	DEV B1/2

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

### Note d'information:

Au dessus d'une valeur de 50 mg/l en chlorures, l'acier d'armature risque d'être corrodé si l'armature n'est pas suffisamment recouverte par du béton, selon la DIN 1045 concernant les bétons armés le taux en chlorure se situe dans une plage qui exige une couverture de béton suffisante de l'armature. Le béton armé selon la norme DIN 1045 répond cette exigence.

### Note d'information:

A partir d'une valeur de 50 mg/l pour la teneur en chlorure, l'acier d'armature risque de se corroder si l'enrobage est trop faible, ainsi la teneur en chlorure est dans une gamme d'un béton suffisant. L'expérience montre cependant que même avec des procédés très complexes, l'identification des substances organiques à l'origine de l'oxydabilité élevée n'est possible que dans une certaine mesure. Il est donc recommandé de prévoir une protection contre une faible attaque du béton. Des contaminations localement très limitées ne sont pas à exclure. Si la protection contre l'attaque du béton faible est d'une plus grande importance, il est conseillé d'effectuer un échantillonnage de contrôle. Pour les points de mesure de la nappe phréatique, il est éventuellement recommandé de pomper le point de mesure plus longtemps.

Analyse des nitrates: une teneur en chlorure supérieure à 100 mg / l peut avoir un effet négatif sur la teneur en nitrates.

Date de prise en charge: 03.06.2025

Fin des analyses: 05.06.2025

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'essai ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée. En cas de déclaration de conformité, l'approche discrète est utilisée comme règle de décision. Cela signifie que l'incertitude de mesure n'est pas prise en compte pour l'établissement de la déclaration de conformité à une spécification ou à une norme.

AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132  
Chargée relation clientèle

Kamer van Koophandel  
Nr. 08110898  
VAT/BTW-ID-Nr.:  
NL 811132559 B01

Directeur  
ppa. Marc van Gelder  
Dr. Paul Wimmer

page 2 de 2

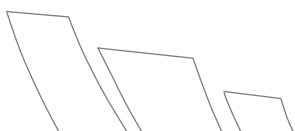


---

## Annexe 4

### Feuilles de calculs Foxta

*Module Picoef – Calcul des pieux sous sollicitations sismiques latérales  
(effets inertiel et cinématique) (70 pages)*



# Données

Titre du projet : ICBS

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - Cinématique (Cas 2)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	87
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:10:21  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 2/15)  
Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	4,04	0,0247
Argile vasarde minorée	3,87	0,0247
Argile vasarde minorée	3,70	0,0247
Argile vasarde minorée	3,54	0,0247
Argile vasarde minorée	3,37	0,0246
Argile vasarde minorée	3,20	0,0246
Argile vasarde	3,00	0,0246
Argile vasarde	2,80	0,0245
Argile vasarde	2,61	0,0244
Argile vasarde	2,41	0,0244
Argile vasarde	2,21	0,0243
Argile vasarde	2,01	0,0242
Argile vasarde	1,81	0,0241
Argile vasarde	1,61	0,0240
Argile vasarde	1,42	0,0239
Argile vasarde	1,22	0,0237
Argile vasarde	1,02	0,0236
Argile vasarde	0,82	0,0234
Argile vasarde	0,62	0,0233
Argile vasarde	0,43	0,0231
Argile vasarde	0,23	0,0229
Argile vasarde	0,03	0,0228
Argile vasarde	-0,17	0,0226
Argile vasarde	-0,37	0,0224
Argile vasarde	-0,57	0,0221
Argile vasarde	-0,76	0,0219
Argile vasarde	-0,96	0,0217
Argile vasarde	-1,16	0,0215
Argile vasarde	-1,36	0,0212
Argile vasarde	-1,56	0,0210
Argile vasarde	-1,75	0,0207
Argile vasarde	-1,95	0,0204
Argile vasarde	-2,15	0,0201
Argile vasarde	-2,35	0,0199
Argile vasarde	-2,55	0,0196
Argile vasarde	-2,75	0,0193
Argile vasarde	-2,94	0,0190
Argile vasarde	-3,14	0,0186

Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-3,34	0,0183
Argile vasarde	-3,54	0,0180
Argile vasarde	-3,74	0,0177
Argile vasarde	-3,93	0,0173
Argile vasarde	-4,13	0,0170
Argile vasarde	-4,33	0,0166
Argile vasarde	-4,53	0,0162
Argile vasarde	-4,73	0,0159
Argile vasarde	-4,93	0,0155
Argile vasarde	-5,12	0,0151
Argile vasarde	-5,32	0,0147
Argile vasarde	-5,52	0,0143
Altérite tendre	-5,69	0,0126
Altérite tendre	-5,85	0,0109
Altérite tendre	-6,02	0,0092
Altérite tendre	-6,19	0,0075
Altérite tendre	-6,35	0,0058
Altérite tendre	-6,52	0,0040
Altérite peu compacte	-6,69	0,0038
Altérite peu compacte	-6,85	0,0036
Altérite peu compacte	-7,02	0,0034
Altérite peu compacte	-7,19	0,0032
Altérite peu compacte	-7,35	0,0031
Altérite peu compacte	-7,52	0,0029
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0027
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0025
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0024
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0022
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0020
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0019
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0013
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0012
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0010
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0008
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0007
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0005



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:10:21  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 2/15)  
Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - Cinématique

# Données

Définition de  $g(z)$  (3/3)

Couche	z	g(z)
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0003
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0002
Micaschiste altéré	-10,69	0,0001
Micaschiste altéré	-10,85	0,0001
Micaschiste altéré	-11,02	0,0000

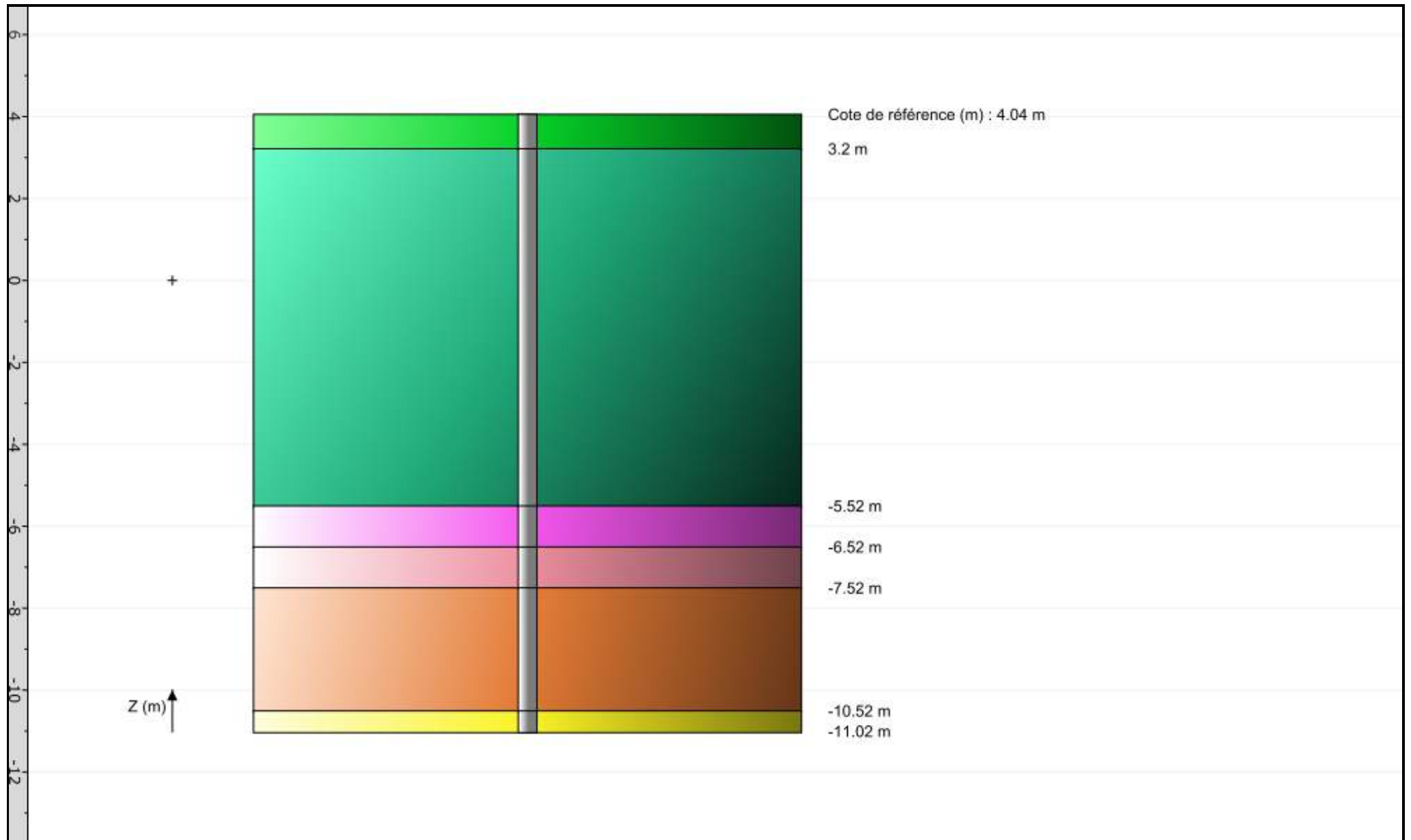


FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:10:21  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

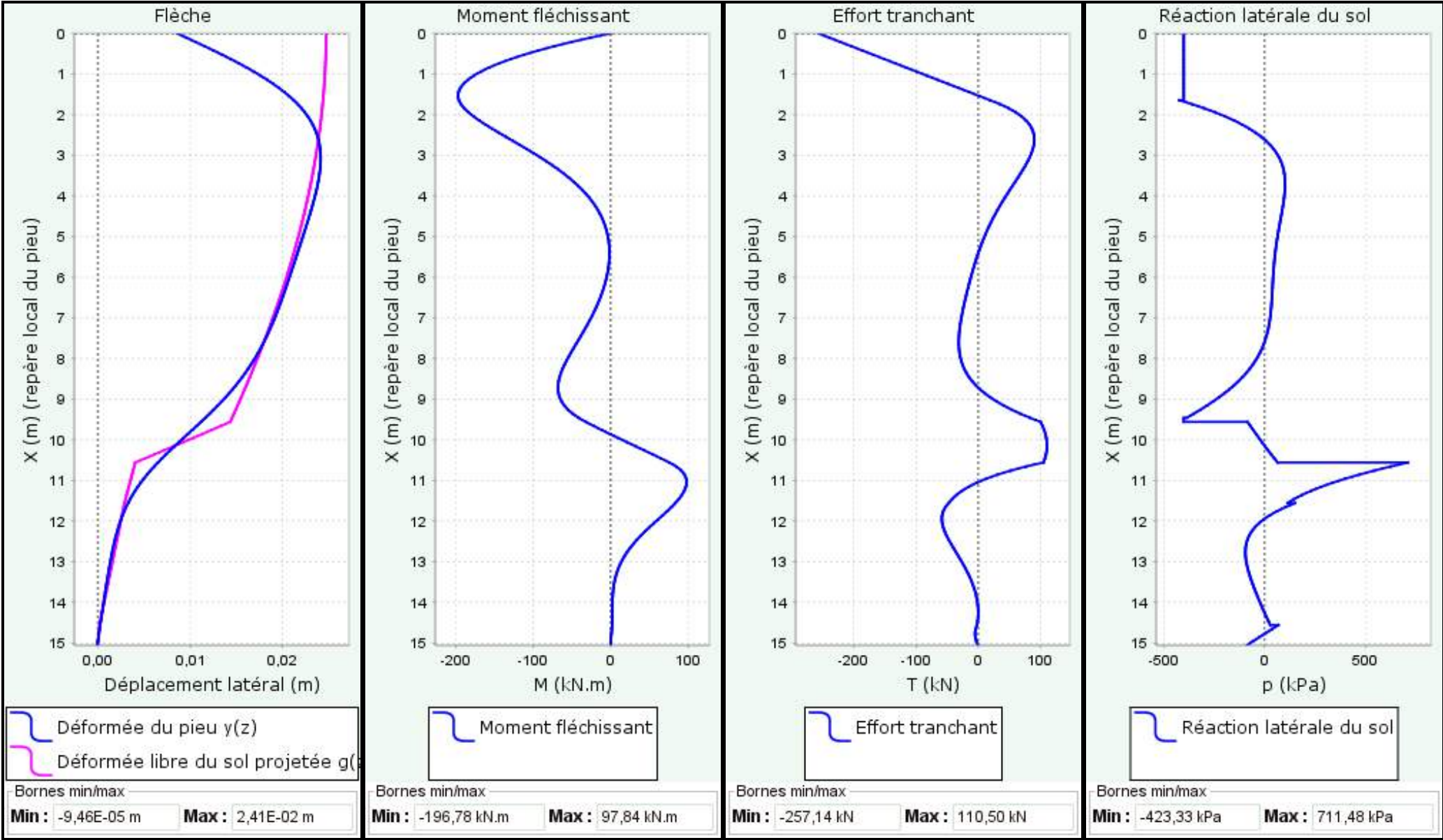
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 2/15)  
Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - Cinématique

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

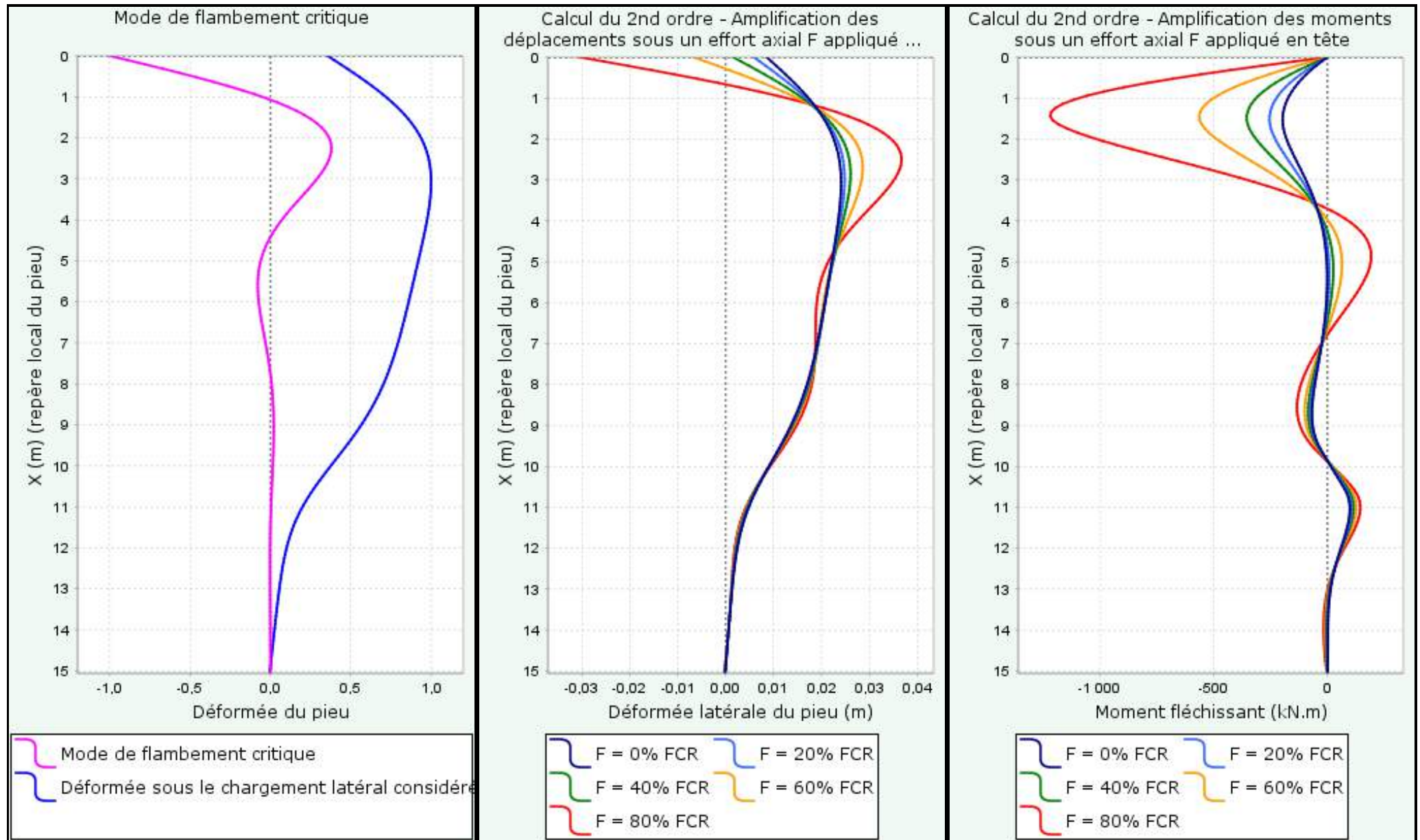




# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 60340 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - H 273.6 kN - Inertiel (Cas 1)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	87
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	273,60	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

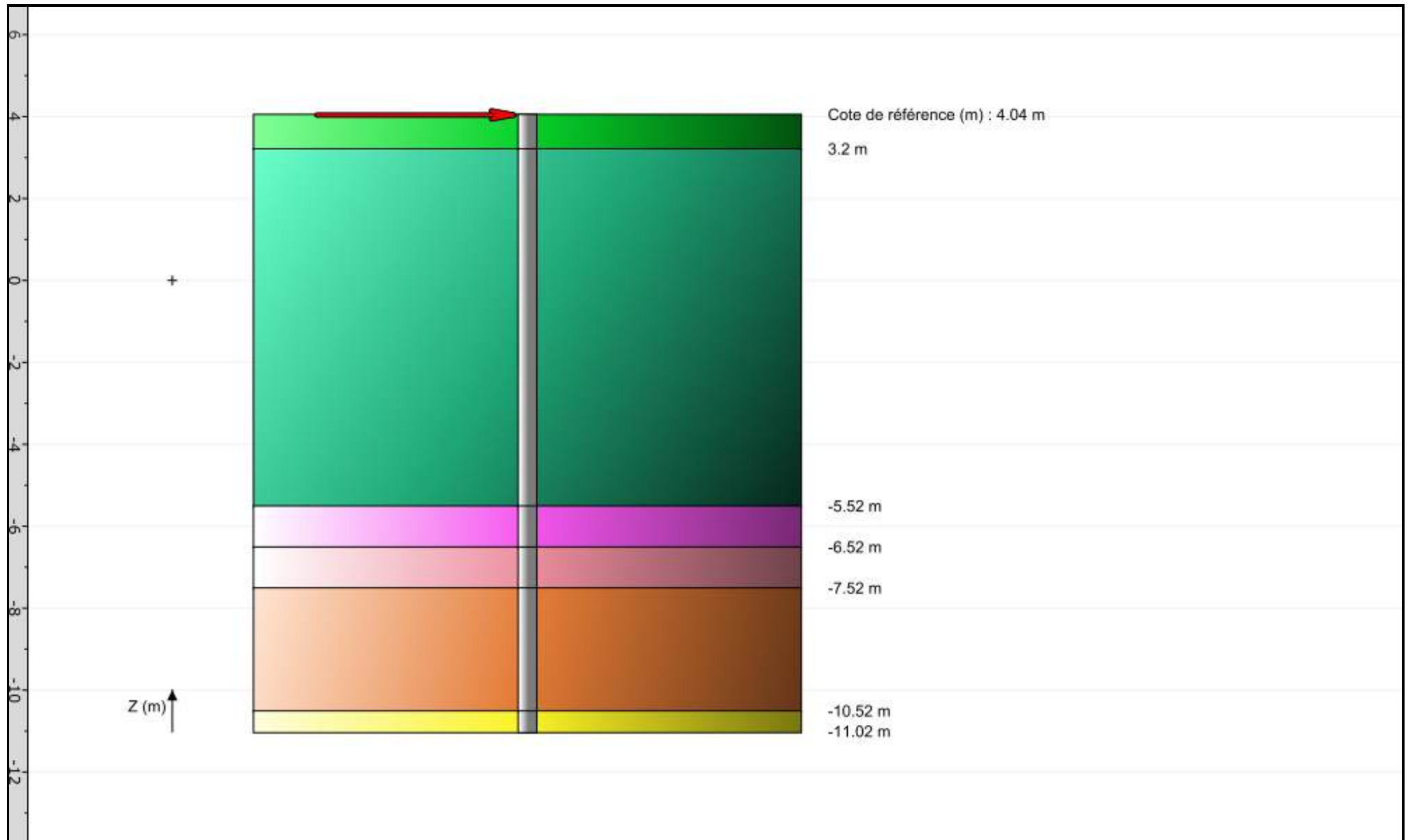


FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 05/23/2025 - 12:14:07  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

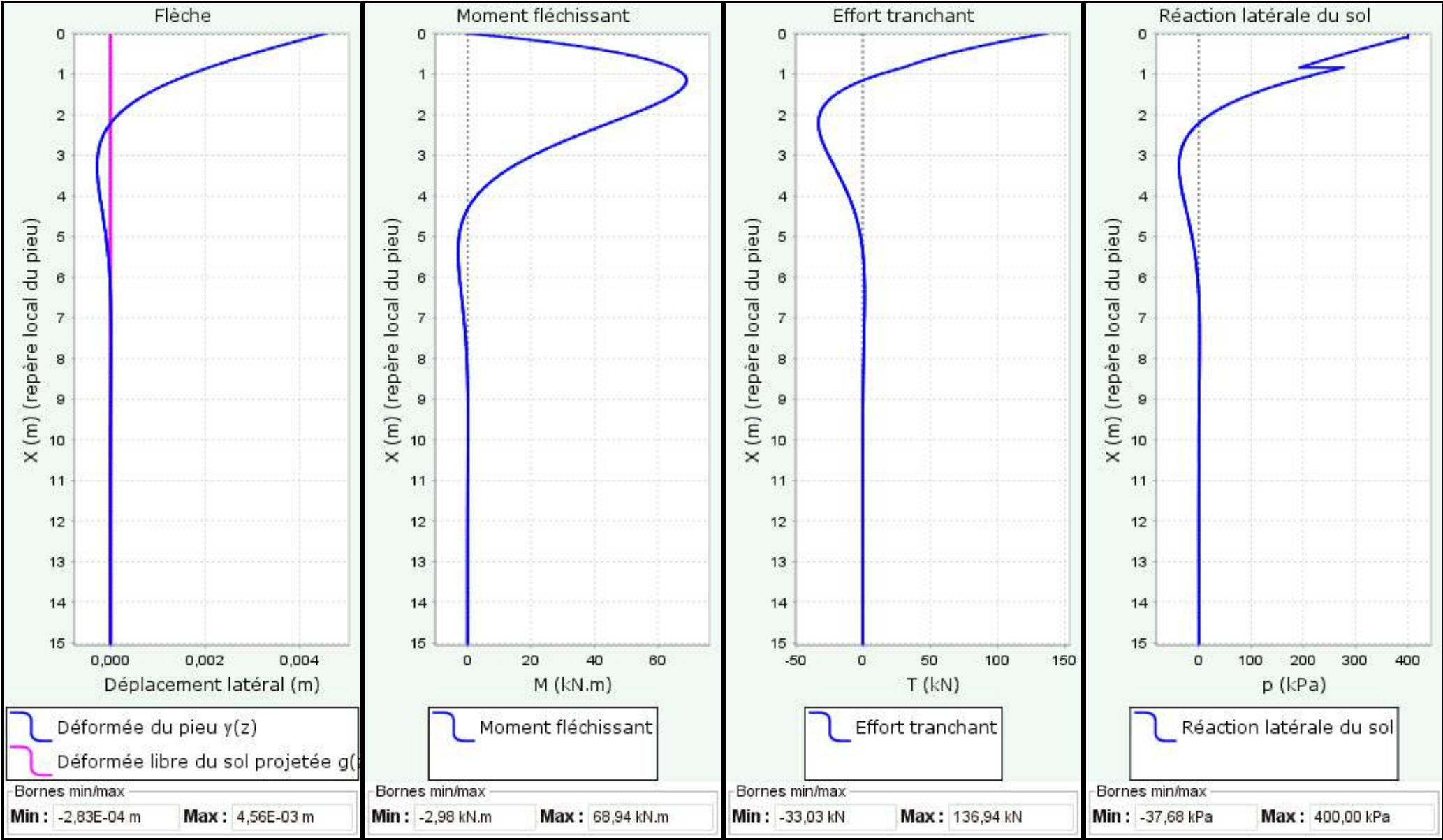
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 1/15)  
Titre du calcul : Appui 14 - FTC 420 - H 273.6 kN - Inertiel

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

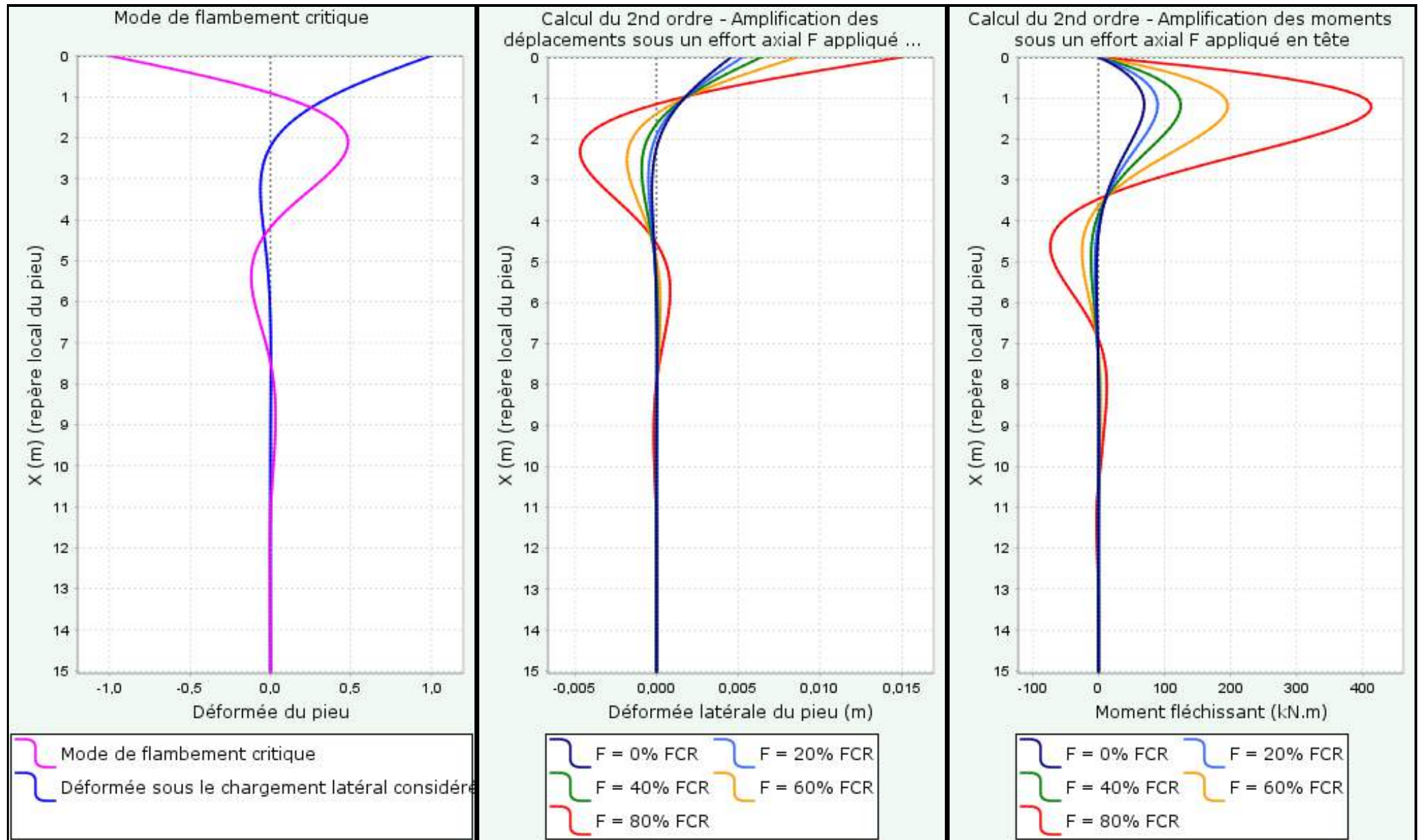




# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 67535 kN)





# Données

Titre du projet : ICBS

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Cinématique (Cas 11)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,00	7,53E04	400,00	0,52
2	Argile vasarde		-5,52	1,08E05	400,00	0,52
3	Altérite tendre		-6,52	2,15E04	100,00	0,52
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,33E05	1000,00	0,52
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,11E05	1600,00	0,52
6	Micaschiste altéré		-12,61	7,53E05	3000,00	0,52

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,04	1,08E05	10
Argile vasarde	8,52	1,08E05	96
Altérite tendre	1,00	1,08E05	10
Altérite peu compacte	1,00	1,08E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	1,08E05	30
Micaschiste altéré	2,09	1,08E05	21

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,61	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:11:25  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 11/15)  
Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Cinématique

# Données

## Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	4,04	0,0247
Argile vasarde minorée	3,87	0,0247
Argile vasarde minorée	3,69	0,0247
Argile vasarde minorée	3,52	0,0247
Argile vasarde minorée	3,35	0,0246
Argile vasarde minorée	3,17	0,0246
Argile vasarde minorée	3,00	0,0246
Argile vasarde	2,80	0,0245
Argile vasarde	2,60	0,0244
Argile vasarde	2,41	0,0244
Argile vasarde	2,21	0,0243
Argile vasarde	2,01	0,0242
Argile vasarde	1,81	0,0241
Argile vasarde	1,61	0,0240
Argile vasarde	1,41	0,0239
Argile vasarde	1,22	0,0237
Argile vasarde	1,02	0,0236
Argile vasarde	0,82	0,0235
Argile vasarde	0,62	0,0233
Argile vasarde	0,42	0,0231
Argile vasarde	0,23	0,0230
Argile vasarde	0,03	0,0228
Argile vasarde	-0,17	0,0226
Argile vasarde	-0,37	0,0224
Argile vasarde	-0,57	0,0222
Argile vasarde	-0,76	0,0220
Argile vasarde	-0,96	0,0218
Argile vasarde	-1,16	0,0215
Argile vasarde	-1,36	0,0213
Argile vasarde	-1,56	0,0210
Argile vasarde	-1,76	0,0208
Argile vasarde	-1,95	0,0205
Argile vasarde	-2,15	0,0203
Argile vasarde	-2,35	0,0200
Argile vasarde	-2,55	0,0197
Argile vasarde	-2,75	0,0194
Argile vasarde	-2,94	0,0191
Argile vasarde	-3,14	0,0188

## Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-3,34	0,0185
Argile vasarde	-3,54	0,0181
Argile vasarde	-3,74	0,0178
Argile vasarde	-3,93	0,0175
Argile vasarde	-4,13	0,0171
Argile vasarde	-4,33	0,0168
Argile vasarde	-4,53	0,0164
Argile vasarde	-4,73	0,0161
Argile vasarde	-4,93	0,0157
Argile vasarde	-5,12	0,0153
Argile vasarde	-5,32	0,0149
Argile vasarde	-5,52	0,0146
Altérite tendre	-5,69	0,0129
Altérite tendre	-5,85	0,0112
Altérite tendre	-6,02	0,0096
Altérite tendre	-6,19	0,0079
Altérite tendre	-6,35	0,0062
Altérite tendre	-6,52	0,0045
Altérite peu compacte	-6,69	0,0043
Altérite peu compacte	-6,85	0,0041
Altérite peu compacte	-7,02	0,0039
Altérite peu compacte	-7,19	0,0037
Altérite peu compacte	-7,35	0,0035
Altérite peu compacte	-7,52	0,0033
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0031
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0030
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0028
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0027
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0025
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0023
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0022
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0020
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0018
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0013
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0011
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0010



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:11:25  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 11/15)  
Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (3/3)

Couche	z	g(z)
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0008
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0006
Micaschiste altéré	-10,71	0,0006
Micaschiste altéré	-10,90	0,0005
Micaschiste altéré	-11,09	0,0005
Micaschiste altéré	-11,28	0,0004
Micaschiste altéré	-11,47	0,0004
Micaschiste altéré	-11,66	0,0003
Micaschiste altéré	-11,85	0,0002
Micaschiste altéré	-12,04	0,0002
Micaschiste altéré	-12,23	0,0001
Micaschiste altéré	-12,42	0,0001
Micaschiste altéré	-12,61	0,0000

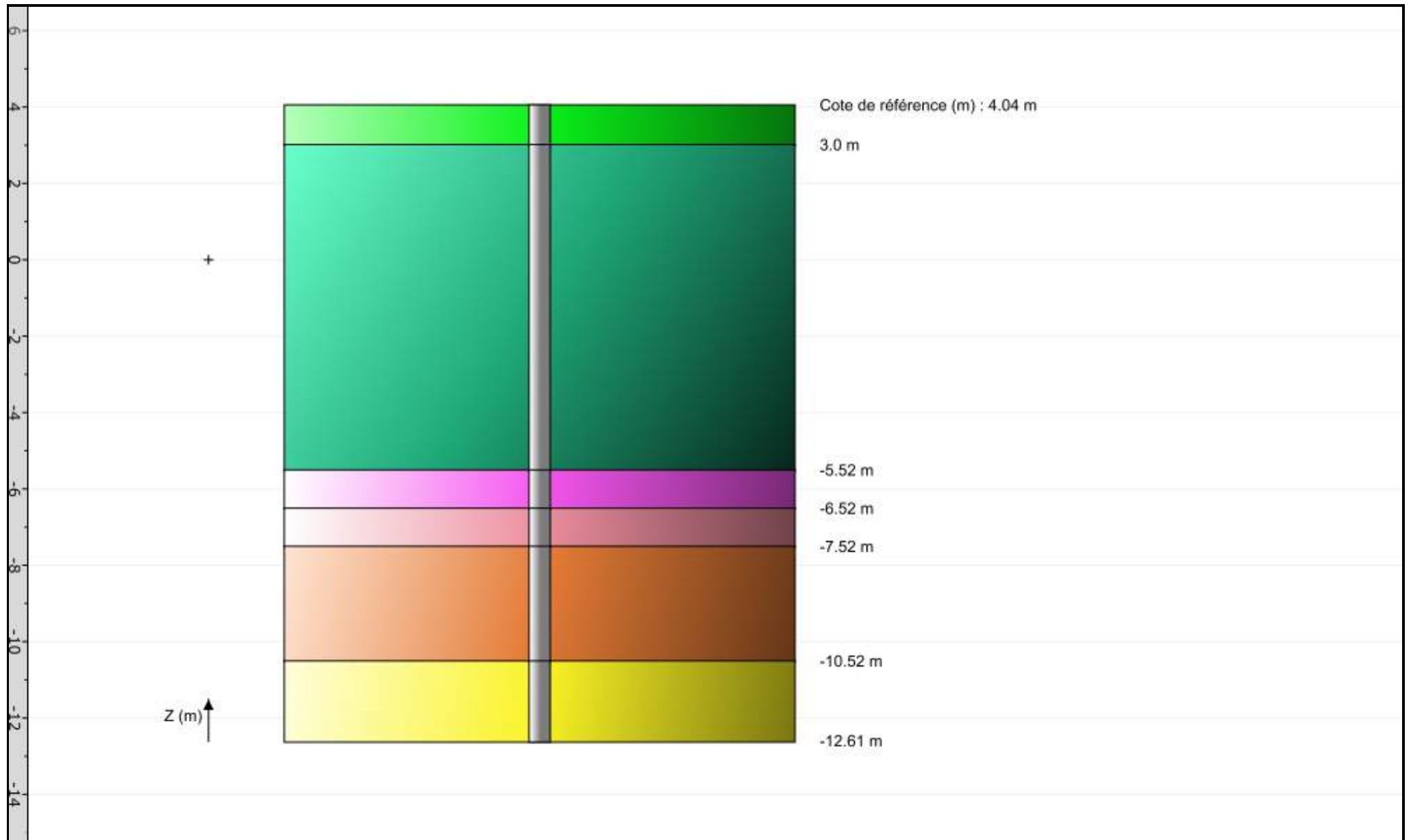


FoXta v4  
v4.1.17

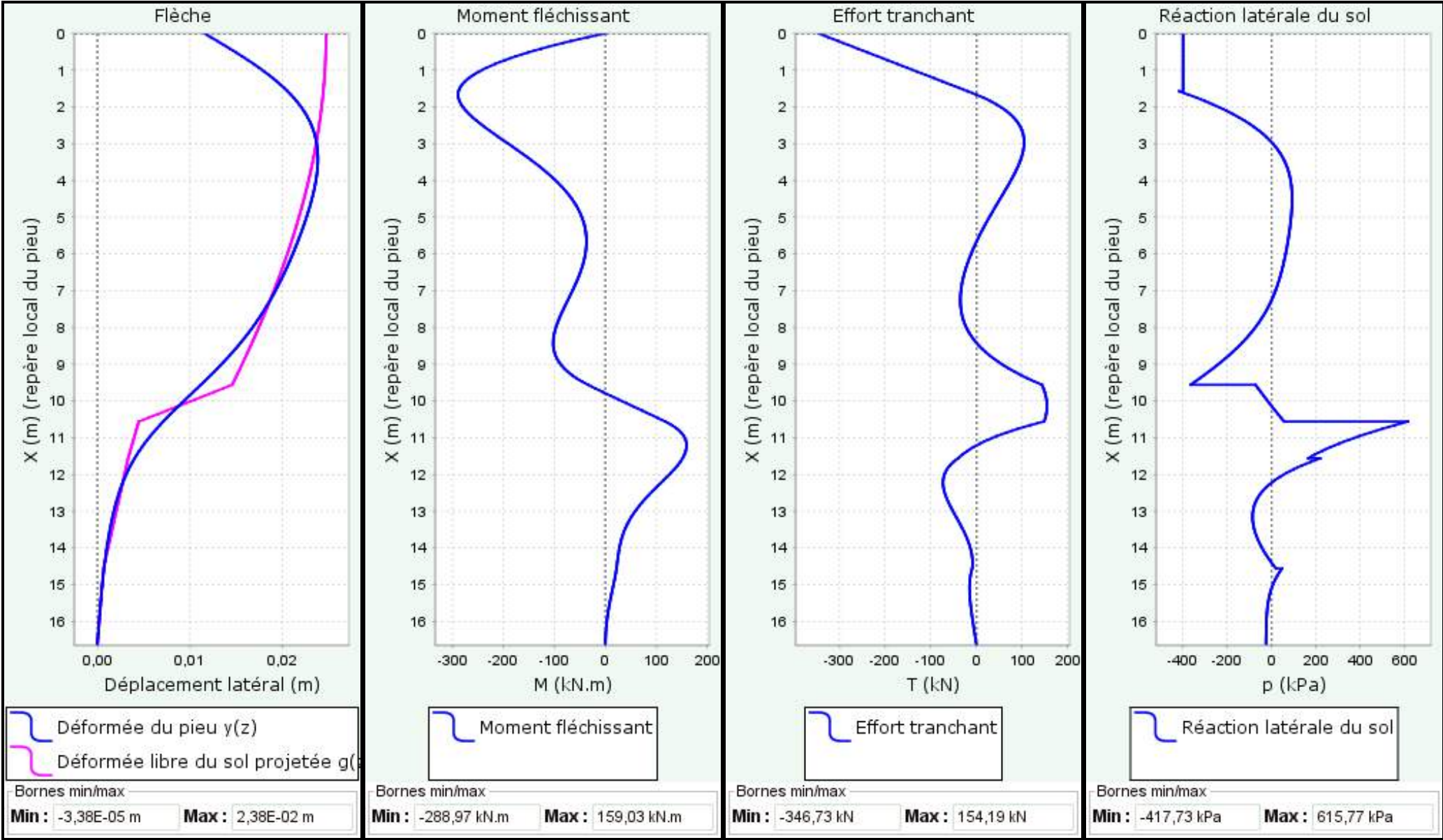
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:11:25  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 11/15)  
Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Cinématique

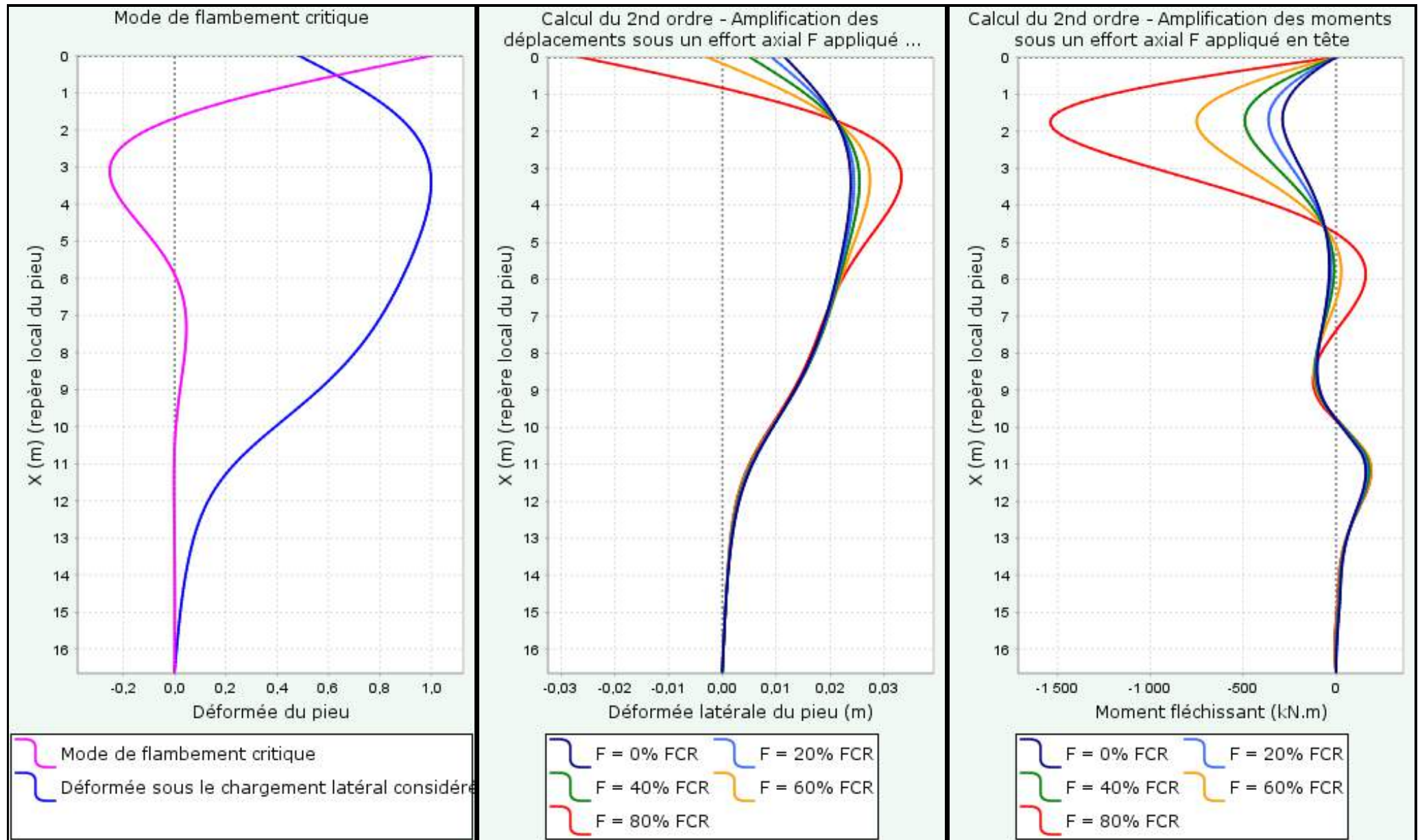
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 84349 kN)





# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Hsis 241.7 kN - Inertiel (Cas 10)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,00	7,53E04	400,00	0,52
2	Argile vasarde		-5,52	1,08E05	400,00	0,52
3	Altérite tendre		-6,52	2,15E04	100,00	0,52
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,33E05	1000,00	0,52
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,11E05	1600,00	0,52
6	Micaschiste altéré		-12,61	7,53E05	3000,00	0,52

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,04	1,08E05	10
Argile vasarde	8,52	1,08E05	96
Altérite tendre	1,00	1,08E05	10
Altérite peu compacte	1,00	1,08E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	1,08E05	30
Micaschiste altéré	2,09	1,08E05	21

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	241,70	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,61	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

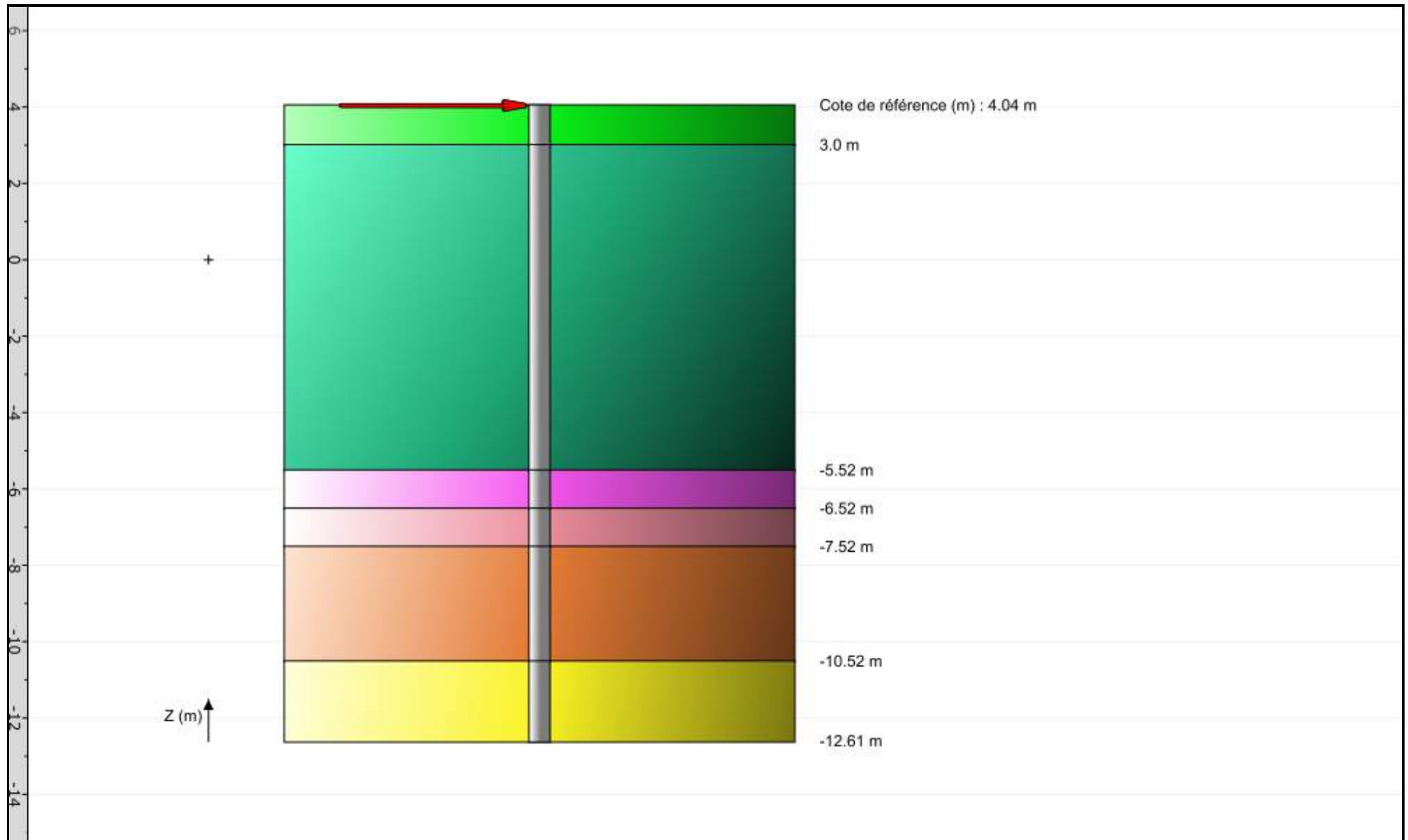


FoXta v4  
v4.1.17

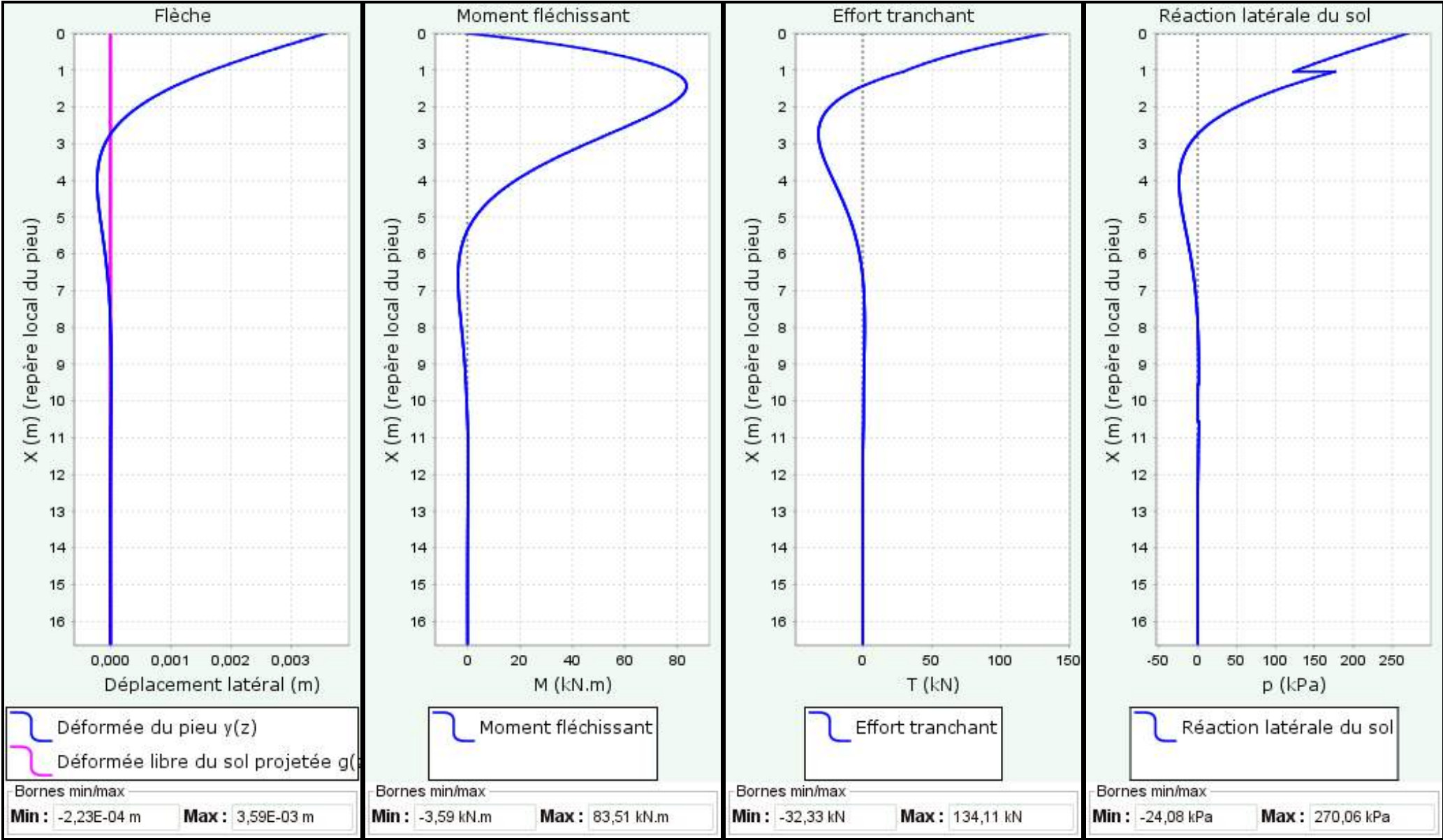
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:12:04  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 10/15)  
Titre du calcul : Appui 20 - FTC 520 - Hsis 241.7 kN - Inertiel

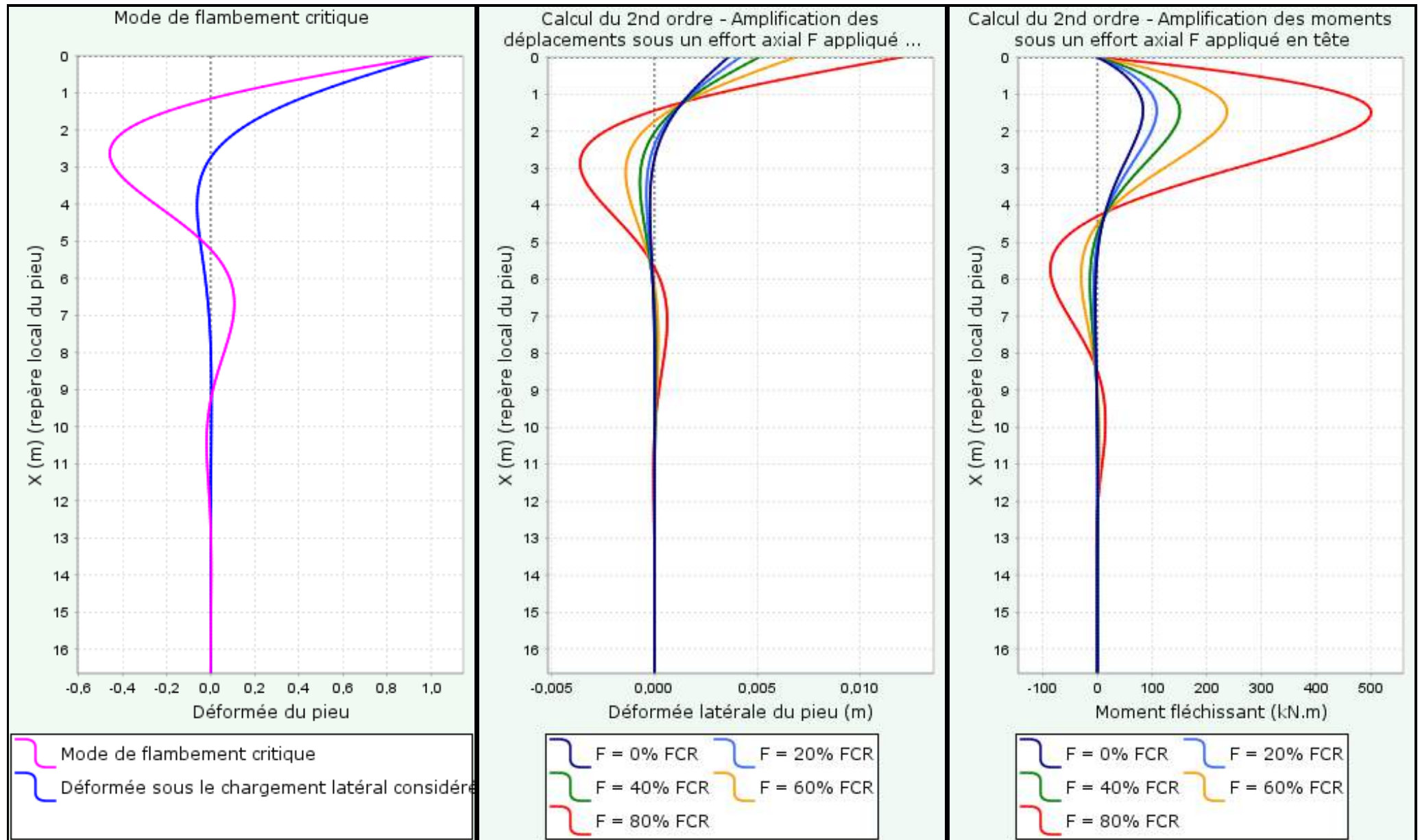
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 101606 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - Cinématique (Cas 4)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,46	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	96
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,94	4,58E04	10

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,46	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:12:52  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 4/15)  
Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - Cinématique

# Données

## Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	4,04	0,0247
Argile vasarde minorée	3,87	0,0247
Argile vasarde minorée	3,70	0,0247
Argile vasarde minorée	3,54	0,0247
Argile vasarde minorée	3,37	0,0246
Argile vasarde minorée	3,20	0,0246
Argile vasarde	3,00	0,0246
Argile vasarde	2,80	0,0245
Argile vasarde	2,61	0,0244
Argile vasarde	2,41	0,0244
Argile vasarde	2,21	0,0243
Argile vasarde	2,01	0,0242
Argile vasarde	1,81	0,0241
Argile vasarde	1,61	0,0240
Argile vasarde	1,42	0,0239
Argile vasarde	1,22	0,0237
Argile vasarde	1,02	0,0236
Argile vasarde	0,82	0,0234
Argile vasarde	0,62	0,0233
Argile vasarde	0,43	0,0231
Argile vasarde	0,23	0,0229
Argile vasarde	0,03	0,0228
Argile vasarde	-0,17	0,0226
Argile vasarde	-0,37	0,0224
Argile vasarde	-0,57	0,0222
Argile vasarde	-0,76	0,0219
Argile vasarde	-0,96	0,0217
Argile vasarde	-1,16	0,0215
Argile vasarde	-1,36	0,0212
Argile vasarde	-1,56	0,0210
Argile vasarde	-1,75	0,0207
Argile vasarde	-1,95	0,0205
Argile vasarde	-2,15	0,0202
Argile vasarde	-2,35	0,0199
Argile vasarde	-2,55	0,0196
Argile vasarde	-2,75	0,0193
Argile vasarde	-2,94	0,0190
Argile vasarde	-3,14	0,0187

## Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-3,34	0,0184
Argile vasarde	-3,54	0,0180
Argile vasarde	-3,74	0,0177
Argile vasarde	-3,93	0,0174
Argile vasarde	-4,13	0,0170
Argile vasarde	-4,33	0,0166
Argile vasarde	-4,53	0,0163
Argile vasarde	-4,73	0,0159
Argile vasarde	-4,93	0,0155
Argile vasarde	-5,12	0,0152
Argile vasarde	-5,32	0,0148
Argile vasarde	-5,52	0,0144
Altérite tendre	-5,69	0,0127
Altérite tendre	-5,85	0,0110
Altérite tendre	-6,02	0,0093
Altérite tendre	-6,19	0,0076
Altérite tendre	-6,35	0,0059
Altérite tendre	-6,52	0,0041
Altérite peu compacte	-6,69	0,0040
Altérite peu compacte	-6,85	0,0038
Altérite peu compacte	-7,02	0,0036
Altérite peu compacte	-7,19	0,0034
Altérite peu compacte	-7,35	0,0032
Altérite peu compacte	-7,52	0,0030
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0028
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0026
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0025
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0023
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0021
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0020
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0018
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0016
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0013
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0011
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0010
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0008
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0006



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:12:52  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 4/15)  
Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - Cinématique



# Données

Définition de  $g(z)$  (3/3)

Couche	z	g(z)
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0005
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0003
Micaschiste altéré	-10,71	0,0002
Micaschiste altéré	-10,90	0,0002
Micaschiste altéré	-11,08	0,0001
Micaschiste altéré	-11,27	0,0001
Micaschiste altéré	-11,46	0,0000

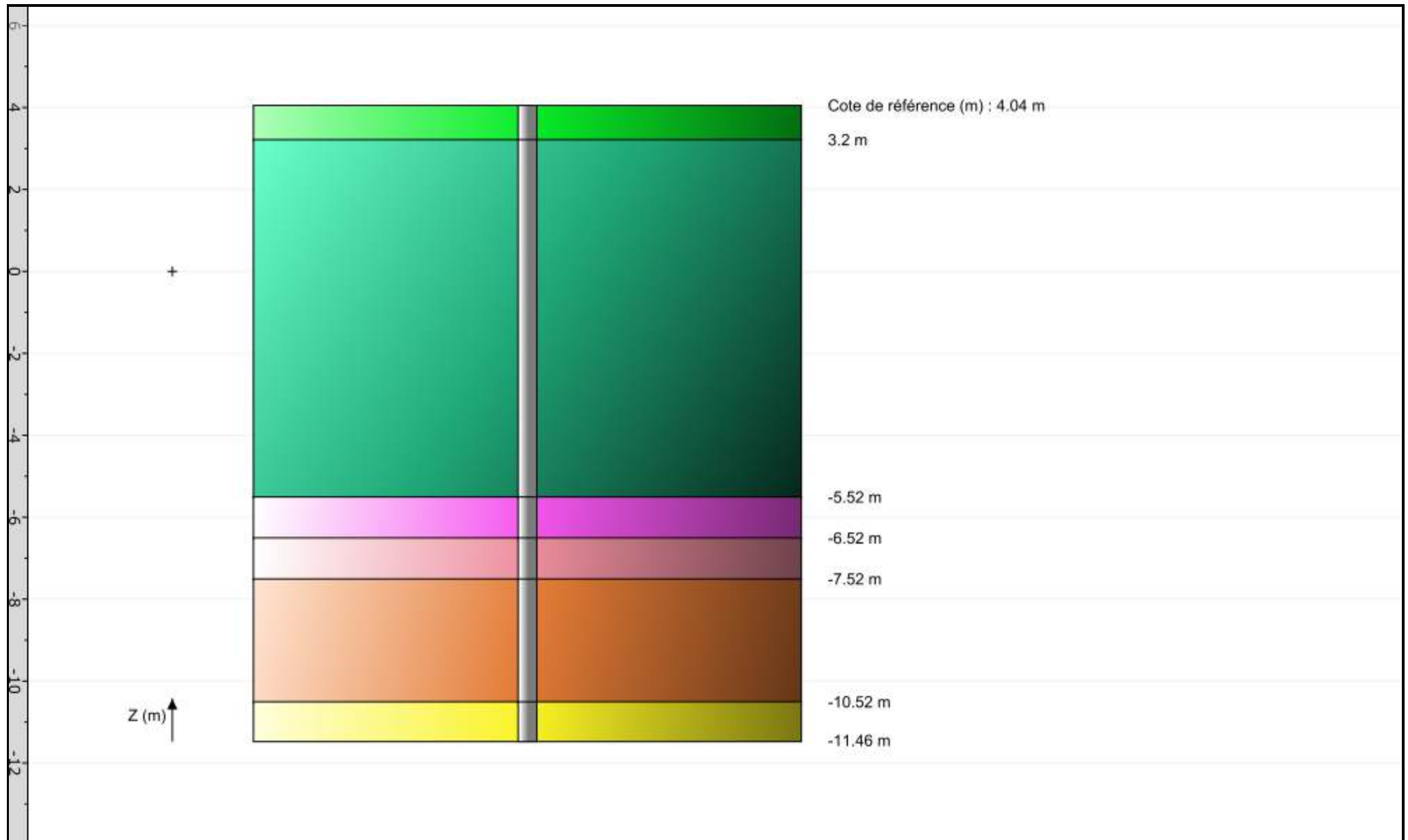


FoXta v4  
v4.1.17

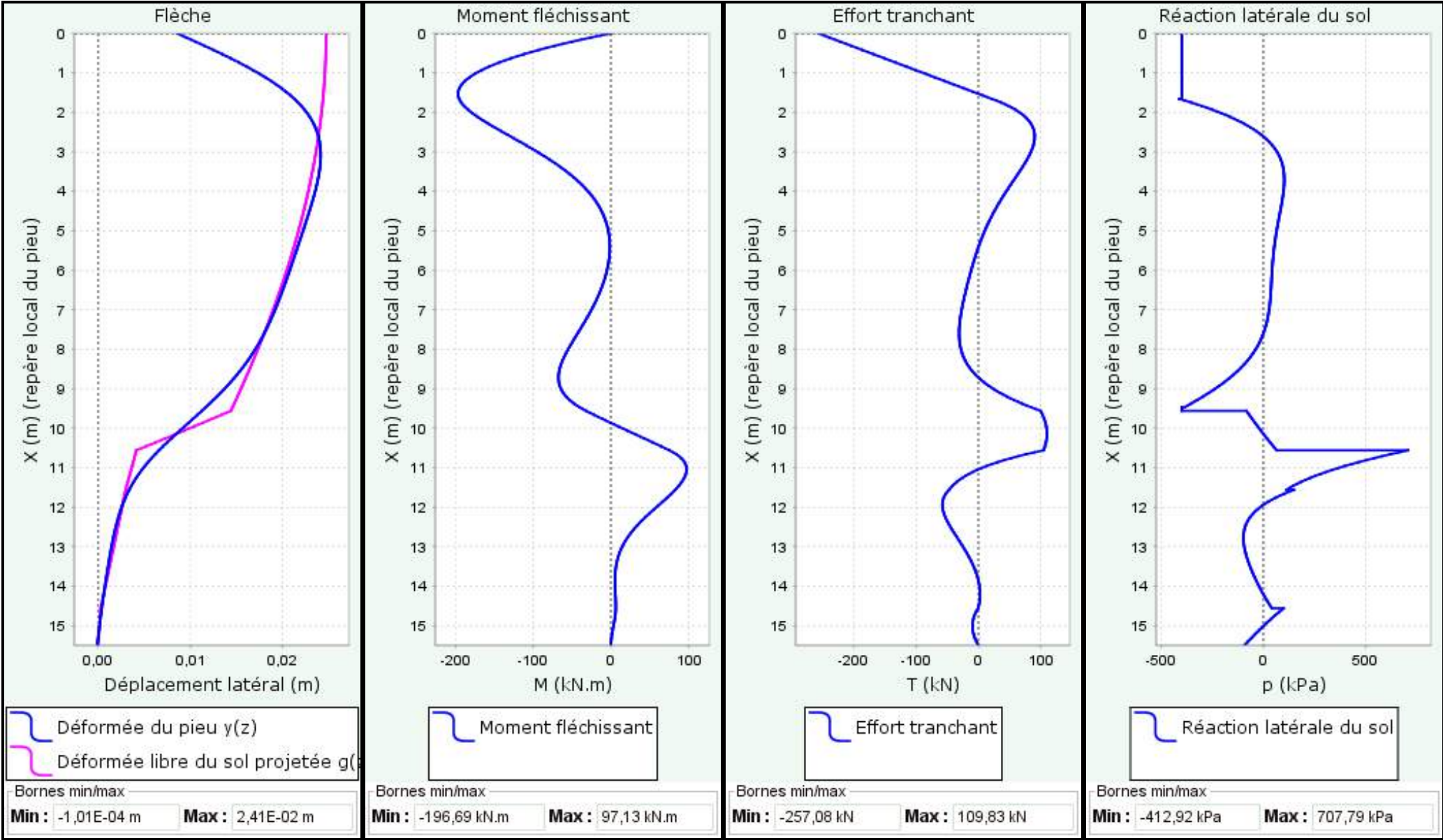
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:12:53  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 4/15)  
Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - Cinématique

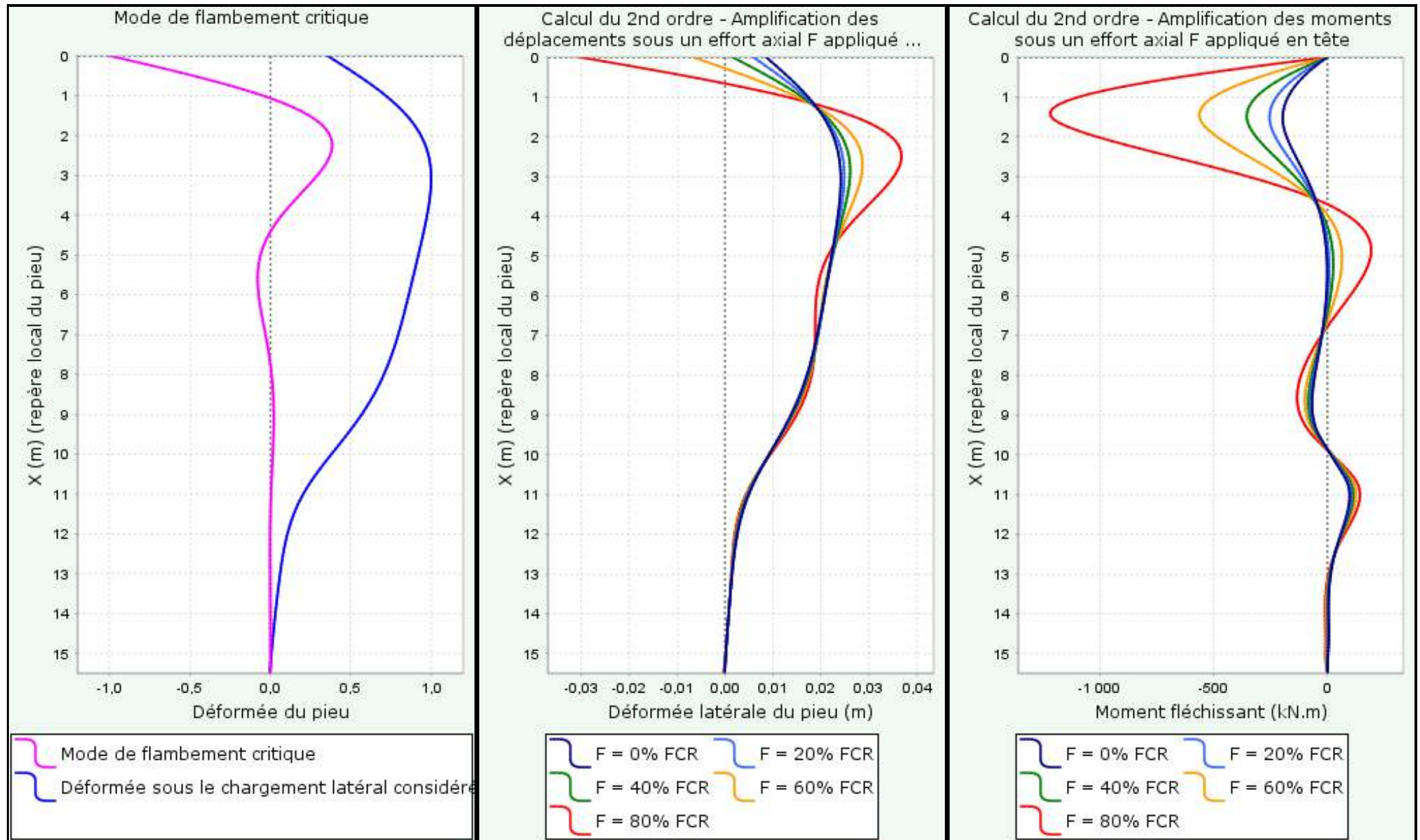
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 60278 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - H 456.1 kN - Inertiel (Cas 3)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,46	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	96
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,94	4,58E04	10

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	456,10	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,46	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

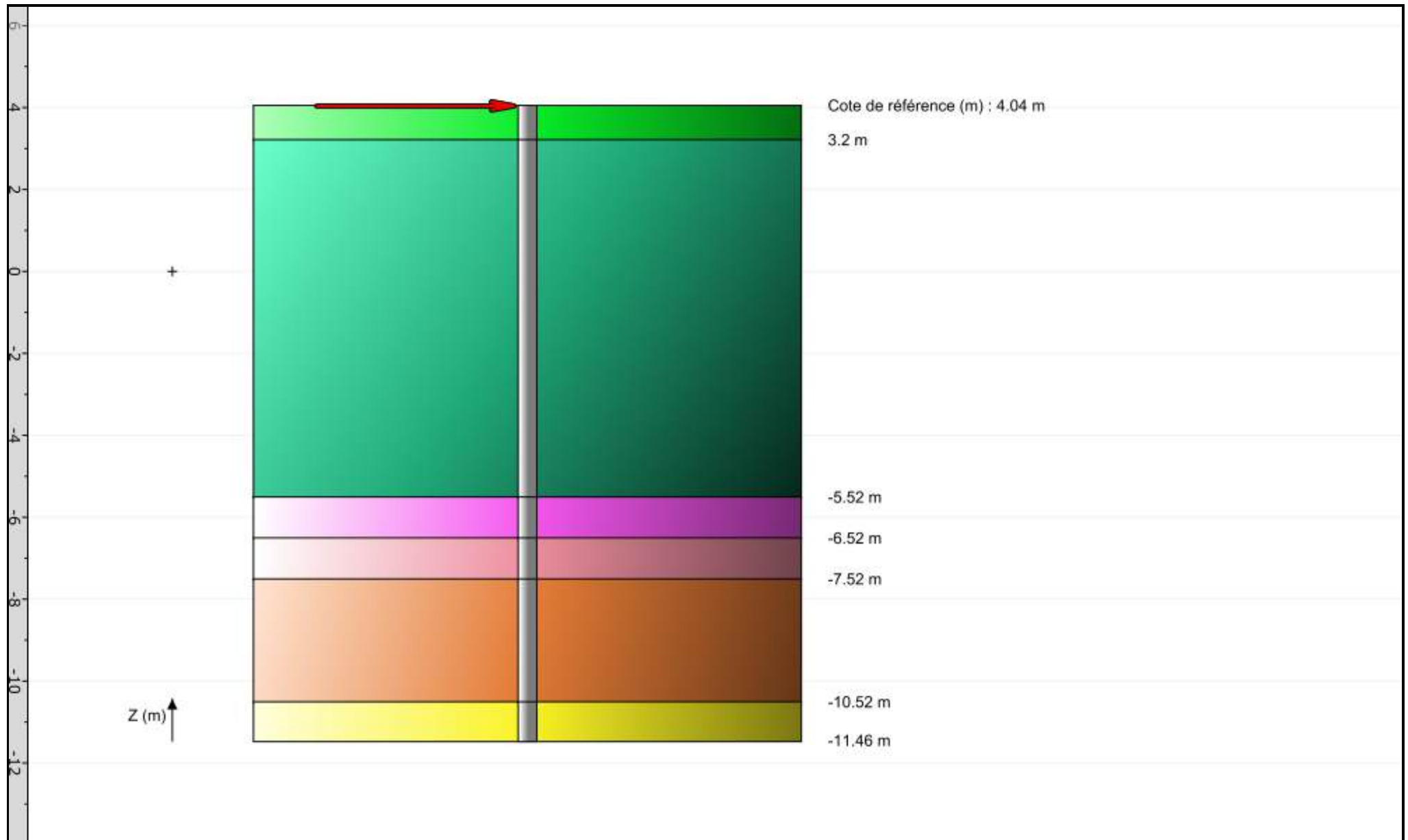


FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:13:33  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

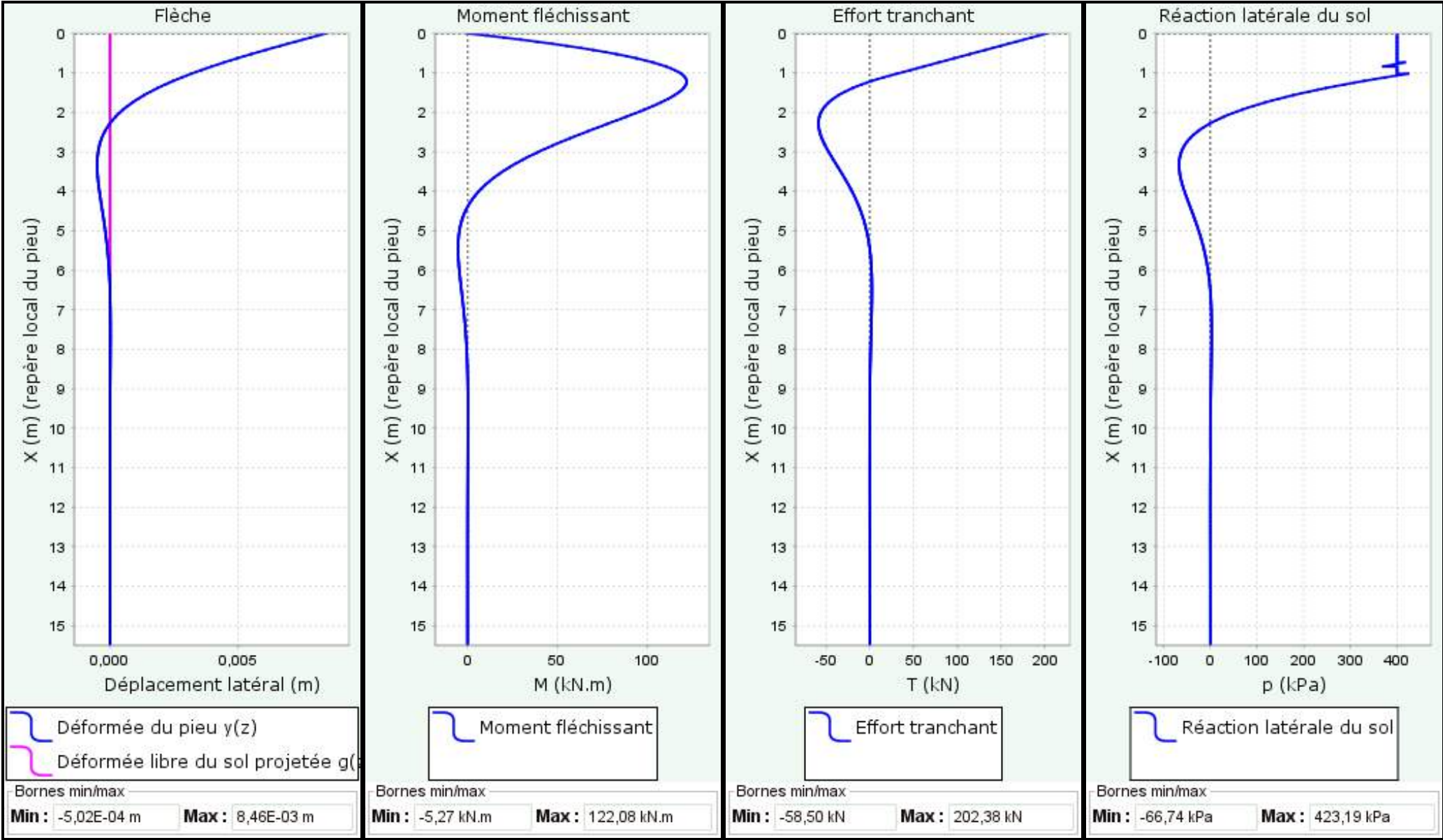
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 3/15)  
Titre du calcul : Appui 33 - FTC 420 - H 456.1 kN - Inertiel

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

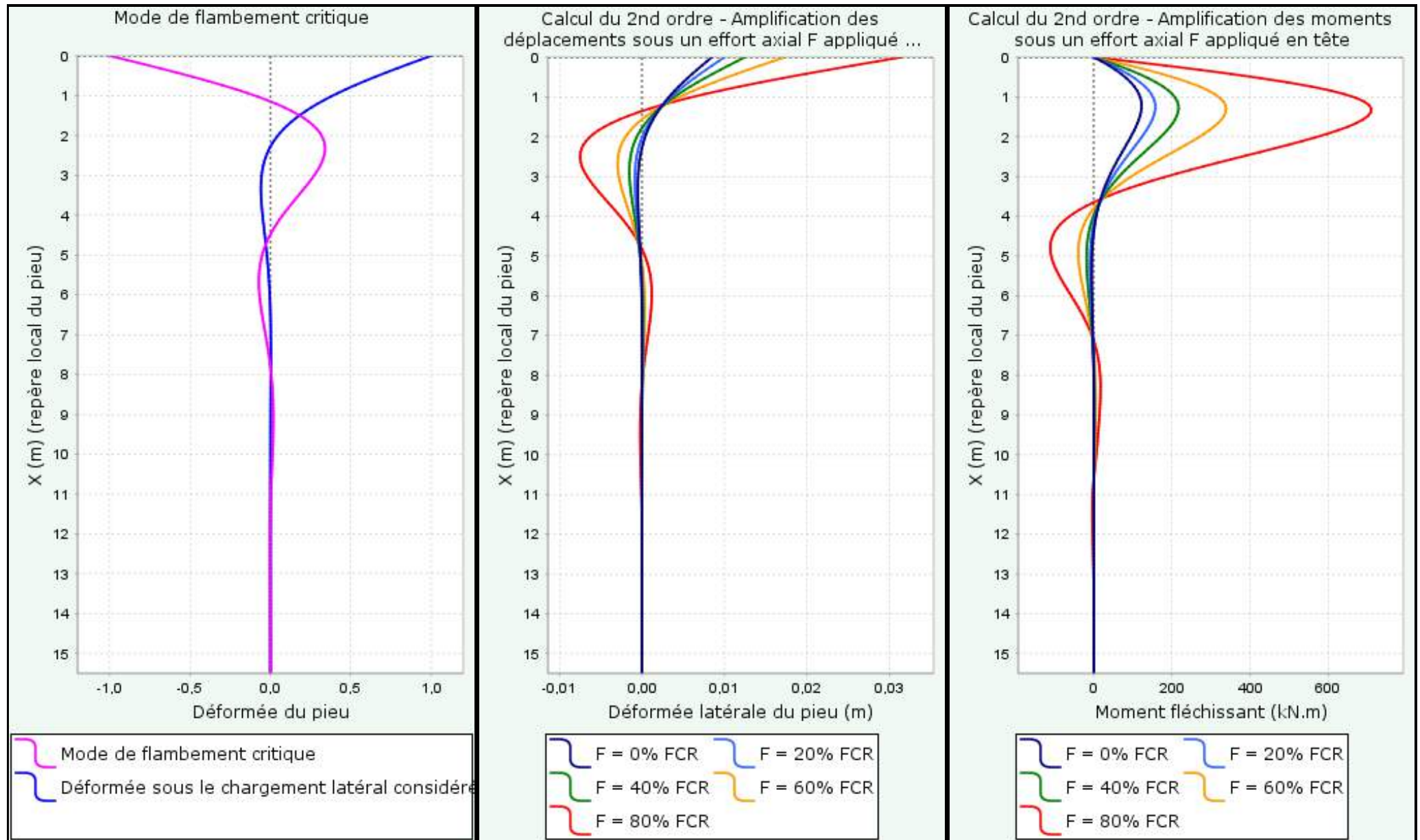




# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 61231 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - Cinématique (Cas 6)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	96
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:14:09  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 6/15)  
Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	4,04	0,0247
Argile vasarde minorée	3,87	0,0247
Argile vasarde minorée	3,70	0,0247
Argile vasarde minorée	3,54	0,0247
Argile vasarde minorée	3,37	0,0246
Argile vasarde minorée	3,20	0,0246
Argile vasarde	3,00	0,0246
Argile vasarde	2,80	0,0245
Argile vasarde	2,61	0,0244
Argile vasarde	2,41	0,0244
Argile vasarde	2,21	0,0243
Argile vasarde	2,01	0,0242
Argile vasarde	1,81	0,0241
Argile vasarde	1,61	0,0240
Argile vasarde	1,42	0,0239
Argile vasarde	1,22	0,0237
Argile vasarde	1,02	0,0236
Argile vasarde	0,82	0,0234
Argile vasarde	0,62	0,0233
Argile vasarde	0,43	0,0231
Argile vasarde	0,23	0,0229
Argile vasarde	0,03	0,0228
Argile vasarde	-0,17	0,0226
Argile vasarde	-0,37	0,0224
Argile vasarde	-0,57	0,0221
Argile vasarde	-0,76	0,0219
Argile vasarde	-0,96	0,0217
Argile vasarde	-1,16	0,0215
Argile vasarde	-1,36	0,0212
Argile vasarde	-1,56	0,0210
Argile vasarde	-1,75	0,0207
Argile vasarde	-1,95	0,0204
Argile vasarde	-2,15	0,0201
Argile vasarde	-2,35	0,0199
Argile vasarde	-2,55	0,0196
Argile vasarde	-2,75	0,0193
Argile vasarde	-2,94	0,0190
Argile vasarde	-3,14	0,0186

Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-3,34	0,0183
Argile vasarde	-3,54	0,0180
Argile vasarde	-3,74	0,0177
Argile vasarde	-3,93	0,0173
Argile vasarde	-4,13	0,0170
Argile vasarde	-4,33	0,0166
Argile vasarde	-4,53	0,0162
Argile vasarde	-4,73	0,0159
Argile vasarde	-4,93	0,0155
Argile vasarde	-5,12	0,0151
Argile vasarde	-5,32	0,0147
Argile vasarde	-5,52	0,0143
Altérite tendre	-5,69	0,0126
Altérite tendre	-5,85	0,0109
Altérite tendre	-6,02	0,0092
Altérite tendre	-6,19	0,0075
Altérite tendre	-6,35	0,0058
Altérite tendre	-6,52	0,0040
Altérite peu compacte	-6,69	0,0038
Altérite peu compacte	-6,85	0,0036
Altérite peu compacte	-7,02	0,0034
Altérite peu compacte	-7,19	0,0032
Altérite peu compacte	-7,35	0,0031
Altérite peu compacte	-7,52	0,0029
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0027
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0025
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0024
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0022
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0020
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0019
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0013
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0012
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0010
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0008
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0007
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0005



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:14:10  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 6/15)  
Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (3/3)

Couche	z	g(z)
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0003
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0002
Micaschiste altéré	-10,69	0,0001
Micaschiste altéré	-10,85	0,0001
Micaschiste altéré	-11,02	0,0000

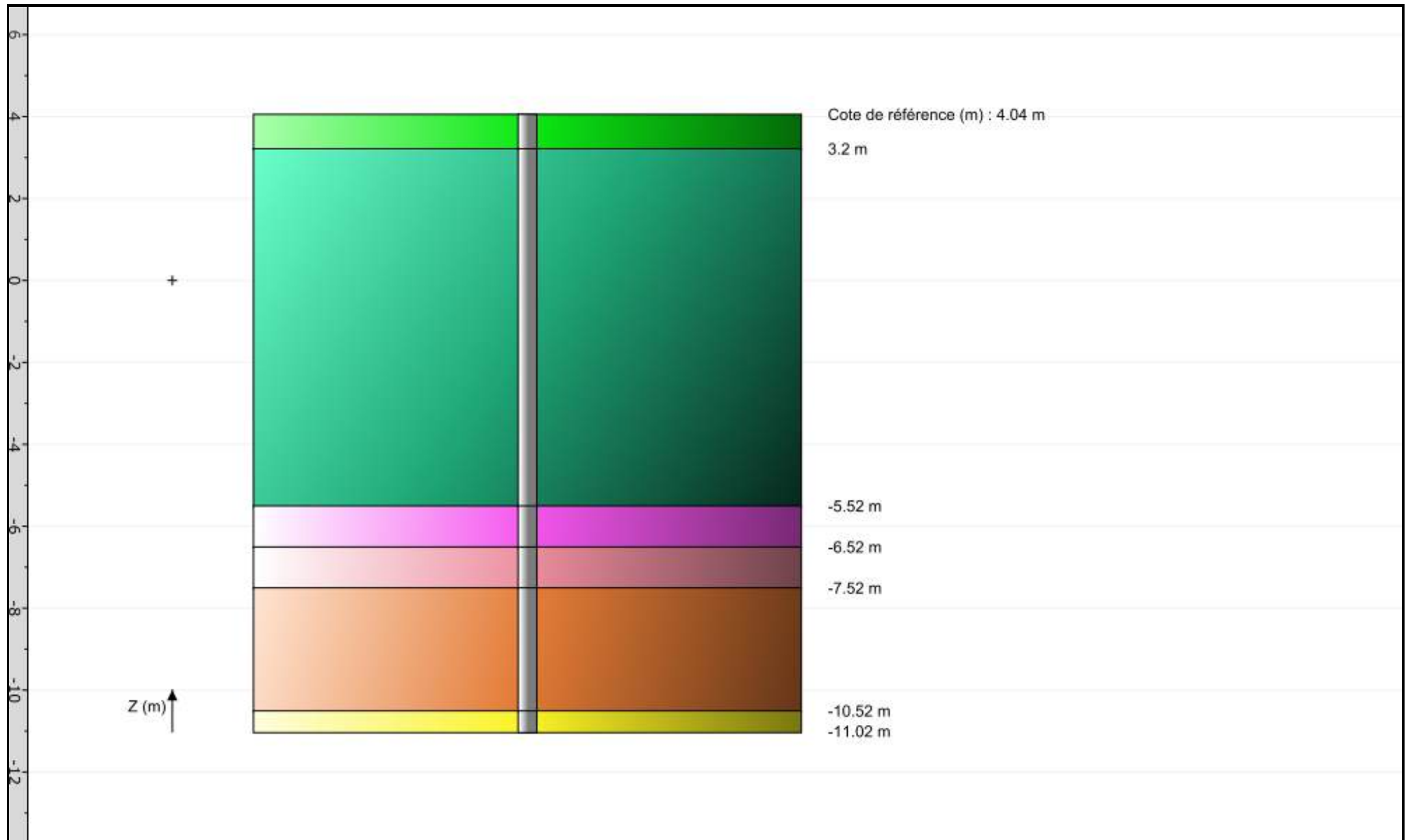


FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:14:10  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

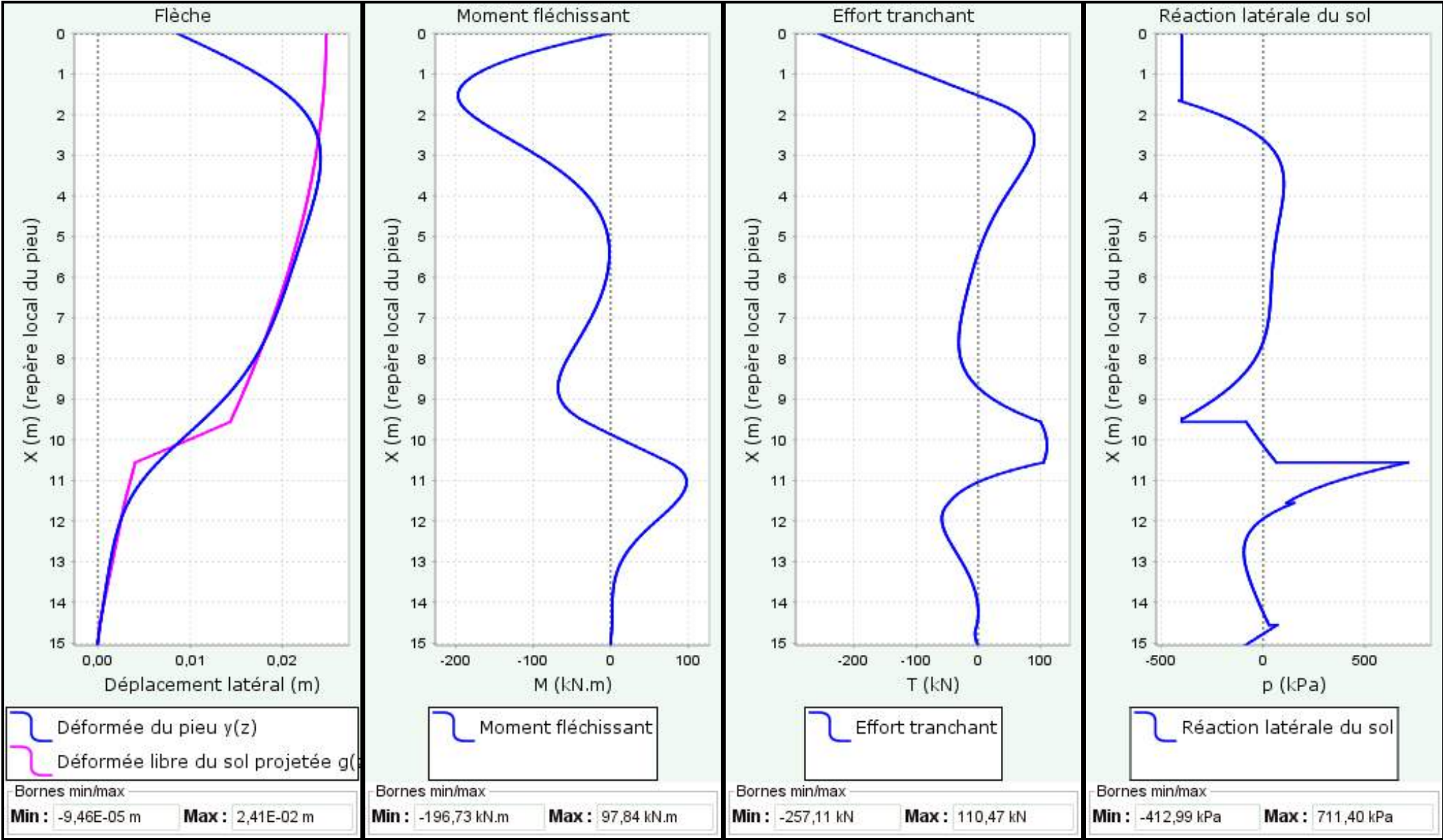
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 6/15)  
Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - Cinématique

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

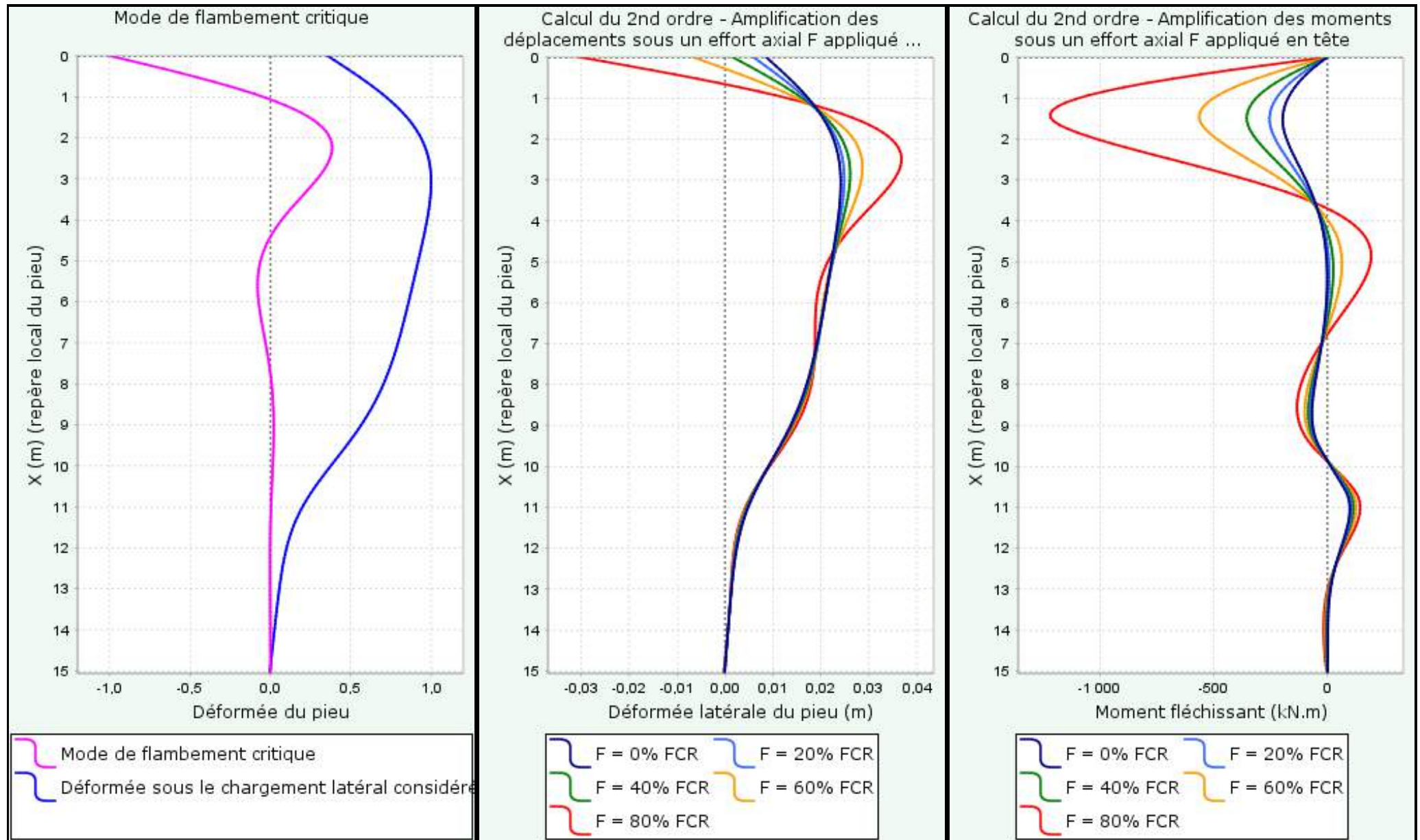




# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 60278 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - H 14.4 kN - Inertiel (Cas 5)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 4,04

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		3,20	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	8,72	4,58E04	96
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	4,04	14,40	0,00	3,00E04	0,00E00
1	3,20	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

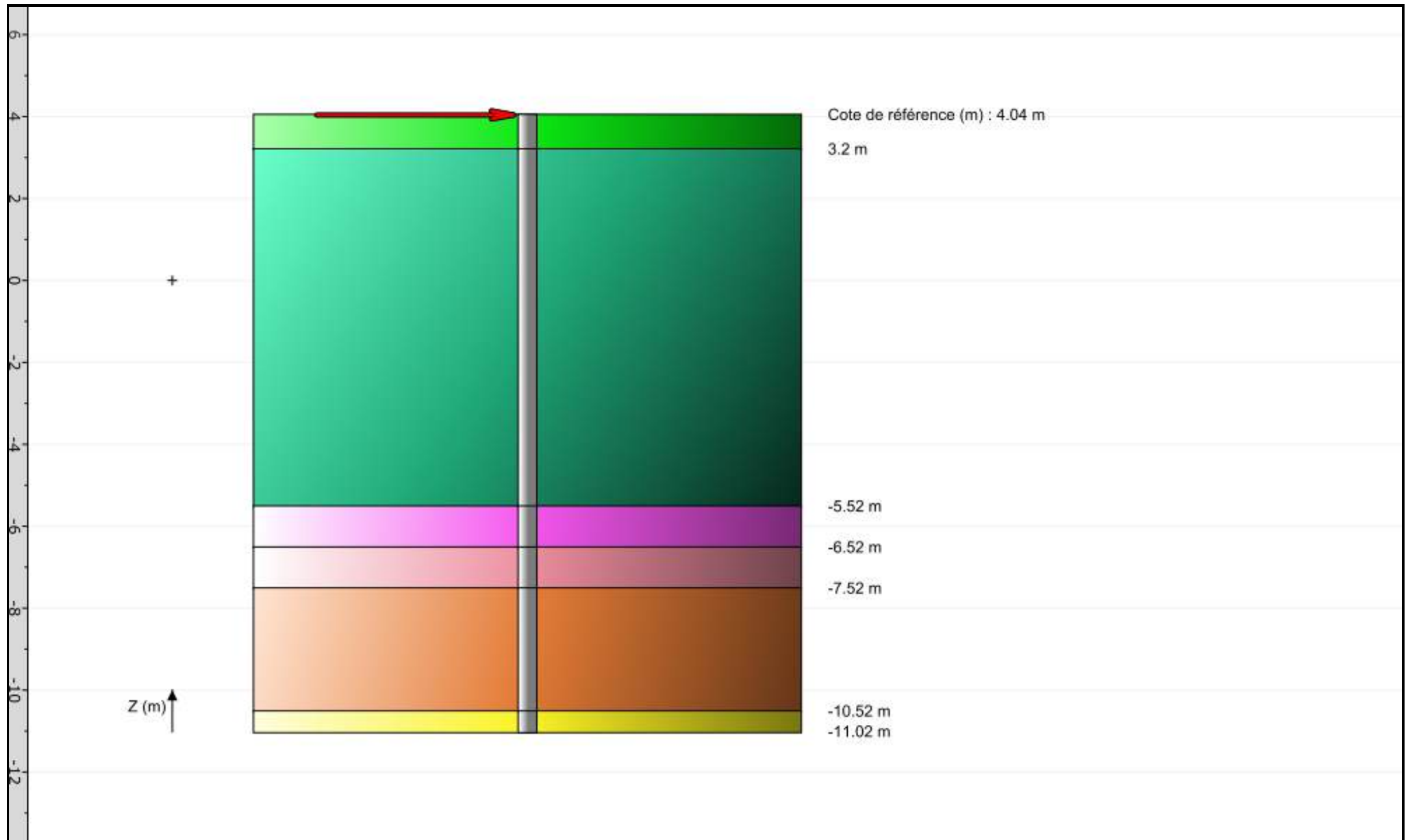


FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:14:43  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

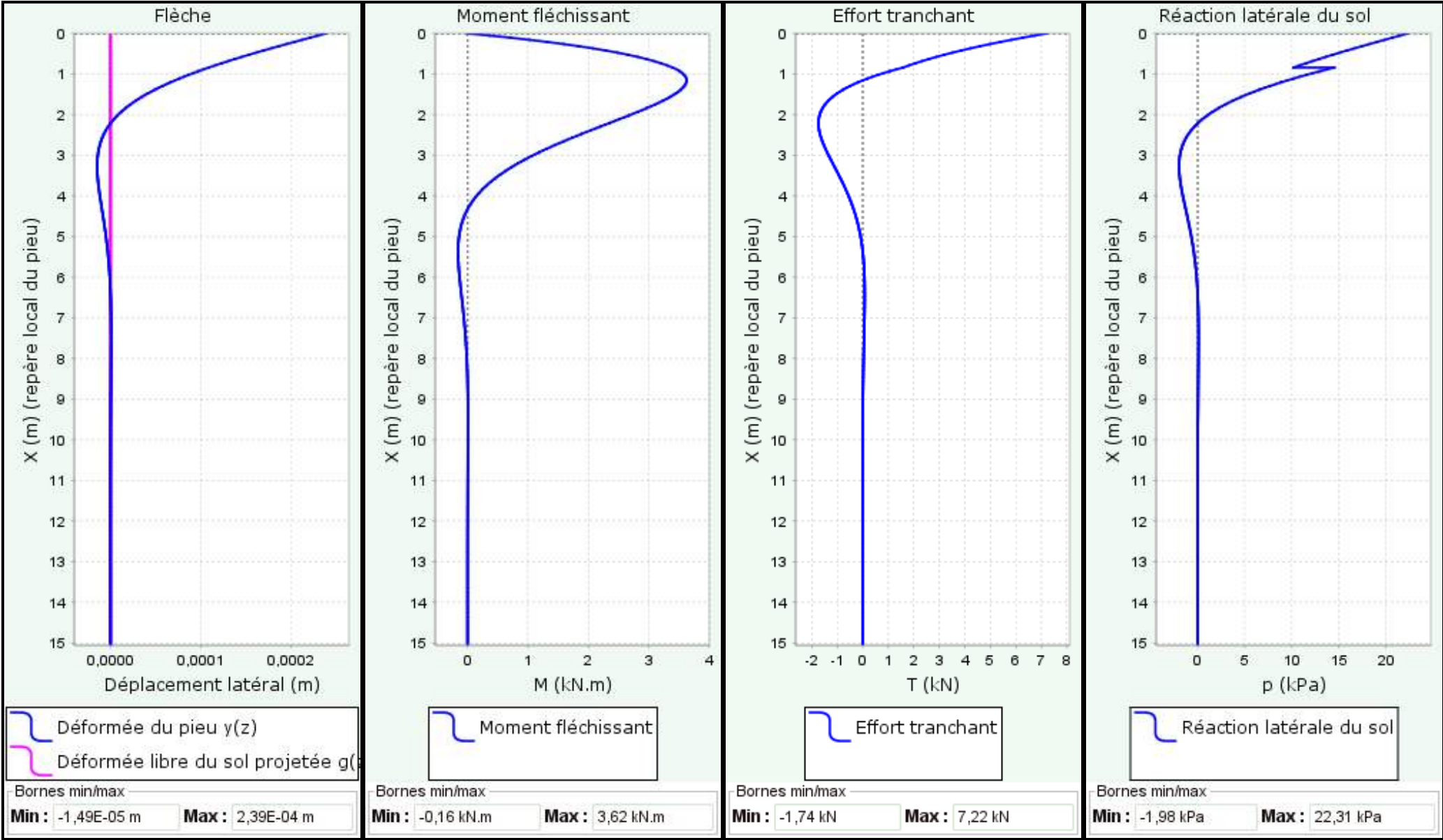
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 5/15)  
Titre du calcul : Appui 37 - FTC 420 - H 14.4 kN - Inertiel

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

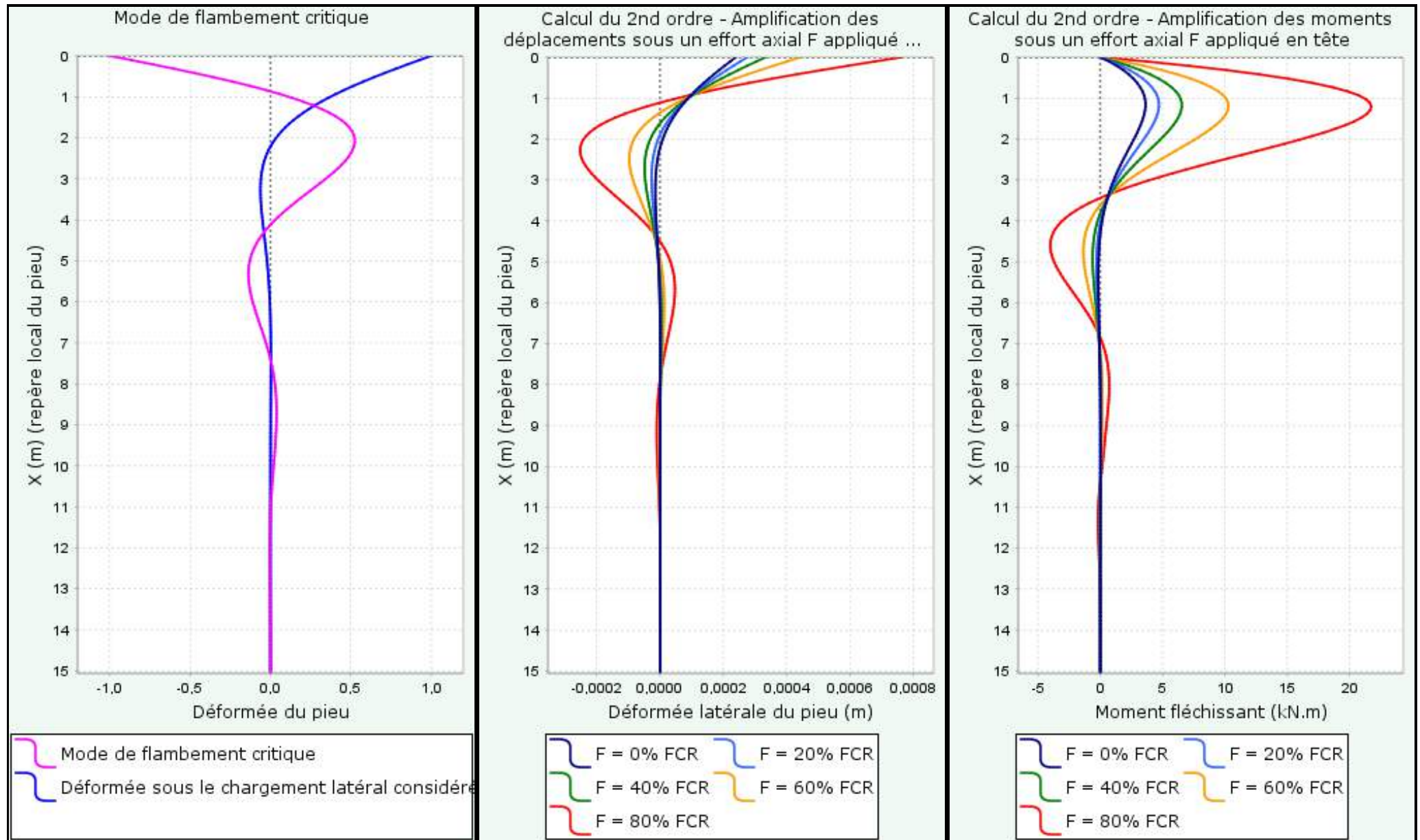




# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 69781 kN)





# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - Cinématique (Cas 13)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 2,19

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		1,15	7,53E04	400,00	0,52
2	Argile vasarde		-5,52	1,08E05	400,00	0,52
3	Altérite tendre		-6,52	2,15E04	100,00	0,52
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,33E05	1000,00	0,52
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,11E05	1600,00	0,52
6	Micaschiste altéré		-12,81	7,53E05	3000,00	0,52

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,04	1,08E05	10
Argile vasarde	6,67	1,08E05	96
Altérite tendre	1,00	1,08E05	10
Altérite peu compacte	1,00	1,08E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	1,08E05	30
Micaschiste altéré	2,29	1,08E05	21

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	2,19	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	1,15	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,81	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:20:25  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 13/15)  
Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	2,19	0,0247
Argile vasarde minorée	2,02	0,0247
Argile vasarde minorée	1,84	0,0247
Argile vasarde minorée	1,67	0,0247
Argile vasarde minorée	1,50	0,0246
Argile vasarde minorée	1,32	0,0246
Argile vasarde minorée	1,15	0,0245
Argile vasarde	0,95	0,0245
Argile vasarde	0,76	0,0244
Argile vasarde	0,56	0,0243
Argile vasarde	0,37	0,0242
Argile vasarde	0,17	0,0241
Argile vasarde	-0,03	0,0239
Argile vasarde	-0,22	0,0238
Argile vasarde	-0,42	0,0236
Argile vasarde	-0,62	0,0235
Argile vasarde	-0,81	0,0233
Argile vasarde	-1,01	0,0231
Argile vasarde	-1,20	0,0229
Argile vasarde	-1,40	0,0227
Argile vasarde	-1,60	0,0225
Argile vasarde	-1,79	0,0223
Argile vasarde	-1,99	0,0220
Argile vasarde	-2,19	0,0218
Argile vasarde	-2,38	0,0215
Argile vasarde	-2,58	0,0212
Argile vasarde	-2,77	0,0209
Argile vasarde	-2,97	0,0207
Argile vasarde	-3,17	0,0204
Argile vasarde	-3,36	0,0200
Argile vasarde	-3,56	0,0197
Argile vasarde	-3,75	0,0194
Argile vasarde	-3,95	0,0190
Argile vasarde	-4,15	0,0187
Argile vasarde	-4,34	0,0183
Argile vasarde	-4,54	0,0180
Argile vasarde	-4,74	0,0176
Argile vasarde	-4,93	0,0172

Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-5,13	0,0168
Argile vasarde	-5,32	0,0164
Argile vasarde	-5,52	0,0160
Altérite tendre	-5,69	0,0142
Altérite tendre	-5,85	0,0124
Altérite tendre	-6,02	0,0106
Altérite tendre	-6,19	0,0087
Altérite tendre	-6,35	0,0069
Altérite tendre	-6,52	0,0050
Altérite peu compacte	-6,69	0,0048
Altérite peu compacte	-6,85	0,0046
Altérite peu compacte	-7,02	0,0044
Altérite peu compacte	-7,19	0,0042
Altérite peu compacte	-7,35	0,0040
Altérite peu compacte	-7,52	0,0037
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0036
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0034
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0032
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0030
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0028
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0026
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0025
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0023
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0021
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0019
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0013
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0012
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0010
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0008
Micaschiste altéré	-10,71	0,0007
Micaschiste altéré	-10,90	0,0007
Micaschiste altéré	-11,09	0,0006
Micaschiste altéré	-11,28	0,0005
Micaschiste altéré	-11,47	0,0005
Micaschiste altéré	-11,66	0,0004
Micaschiste altéré	-11,86	0,0003



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:20:25  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 13/15)  
Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - Cinématique

# Données

Définition de  $g(z)$  (3/3)

Couche	z	g(z)
Micaschiste altéré	-12,05	0,0003
Micaschiste altéré	-12,24	0,0002
Micaschiste altéré	-12,43	0,0001
Micaschiste altéré	-12,62	0,0001
Micaschiste altéré	-12,81	0,0000

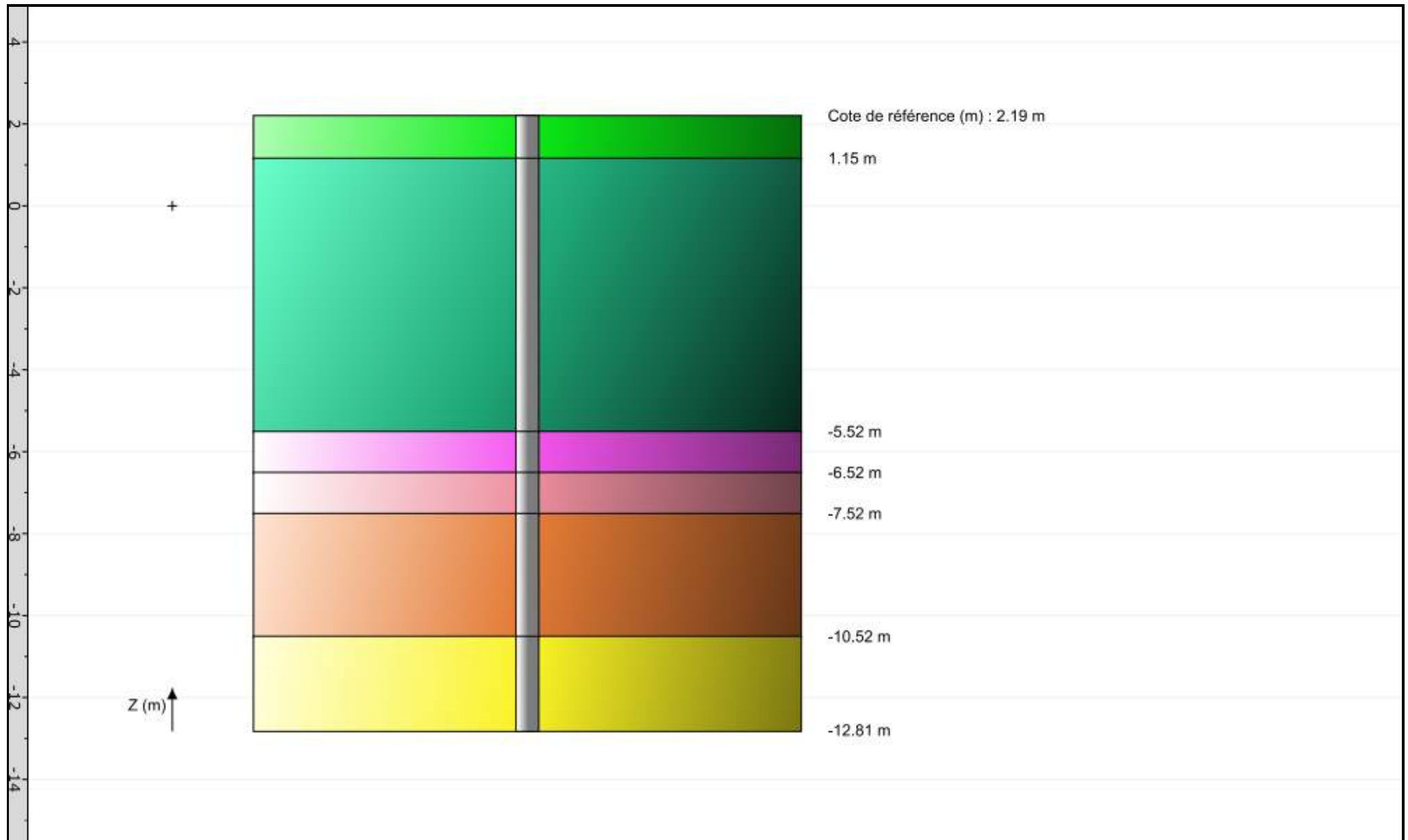


**FoXta v4**  
v4.1.17

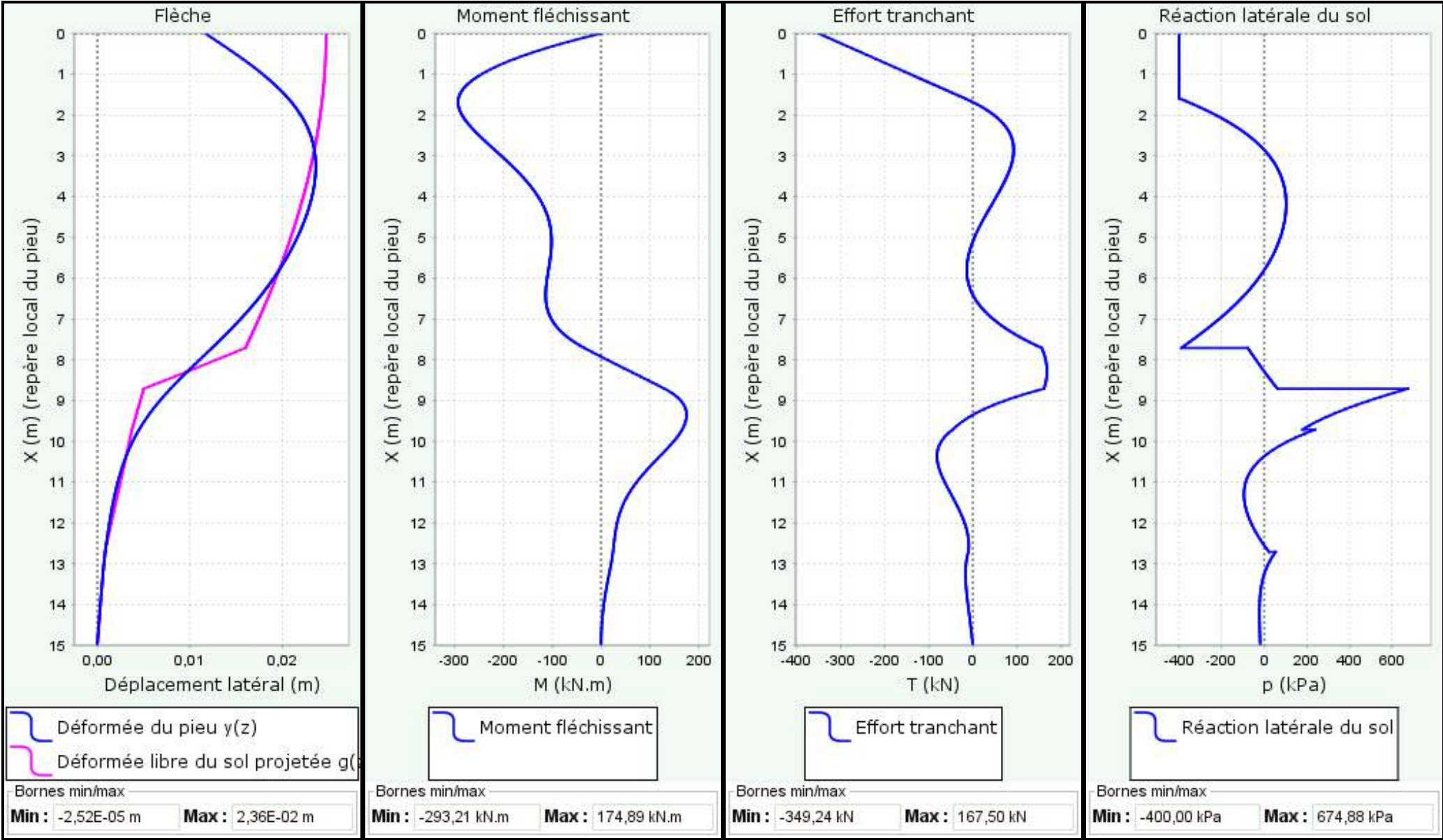
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:20:26  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 13/15)  
Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - Cinématique

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

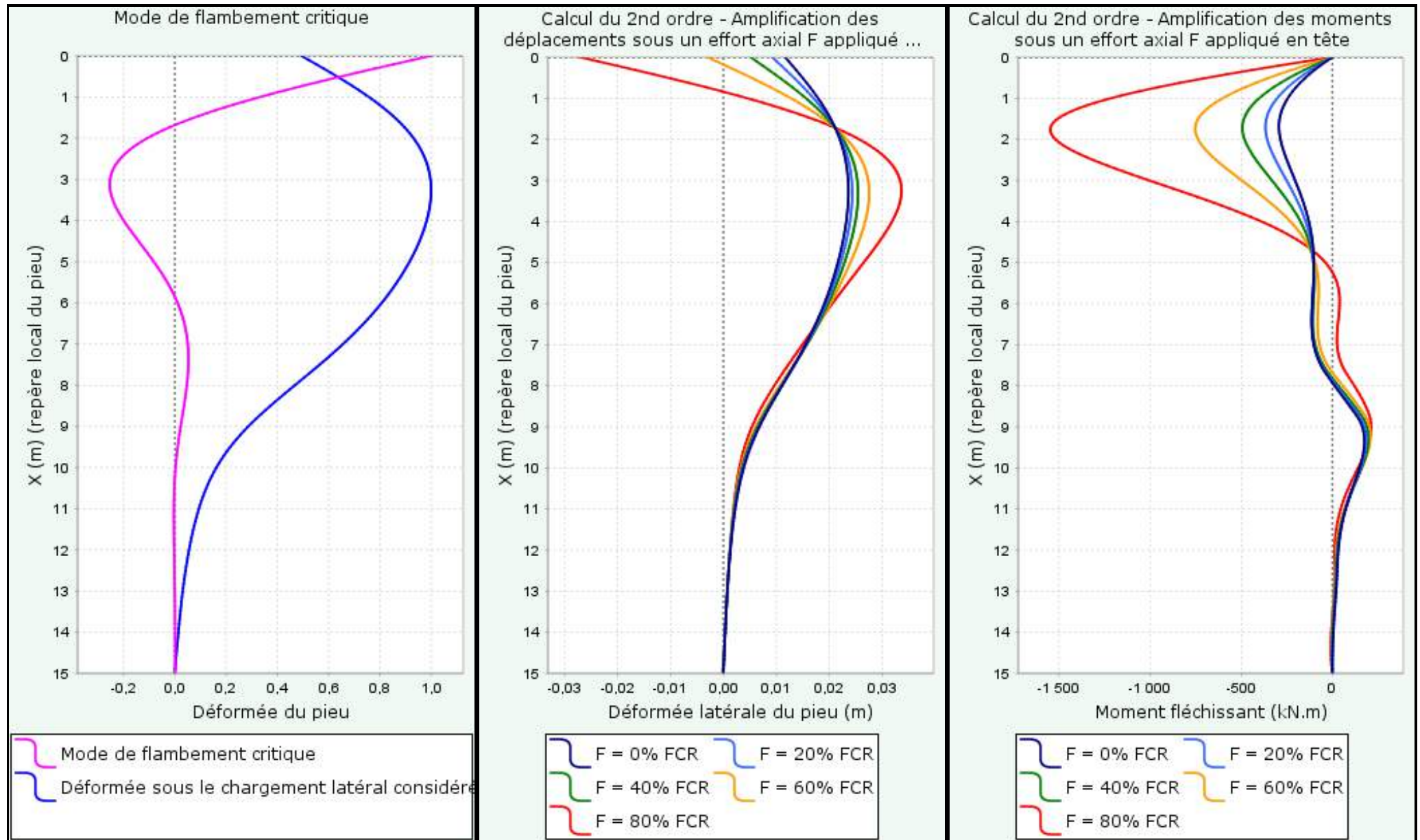


# Résultats principaux





# Résultats de flambement (Charge critique de flambement $FCR = 84284 \text{ kN}$ )



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - H 328.8 kN - Inertiel (Cas 12)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 2,19

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		1,15	7,53E04	400,00	0,52
2	Argile vasarde		-5,52	1,08E05	400,00	0,52
3	Altérite tendre		-6,52	2,15E04	100,00	0,52
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,33E05	1000,00	0,52
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,11E05	1600,00	0,52
6	Micaschiste altéré		-12,81	7,53E05	3000,00	0,52

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,04	1,08E05	10
Argile vasarde	6,67	1,08E05	96
Altérite tendre	1,00	1,08E05	10
Altérite peu compacte	1,00	1,08E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	1,08E05	30
Micaschiste altéré	2,29	1,08E05	21

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	2,19	328,80	0,00	3,00E04	0,00E00
1	1,15	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,81	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non

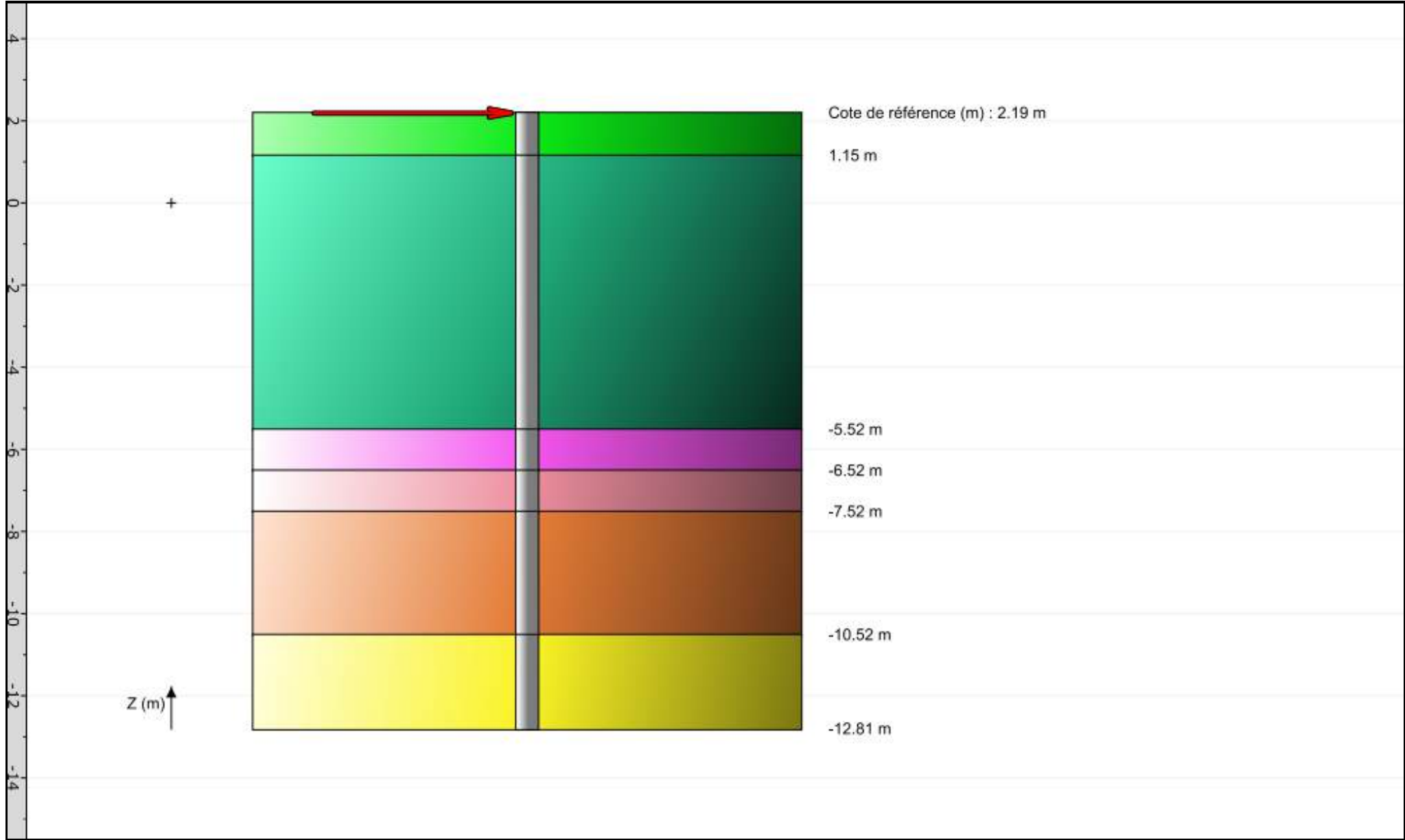


FoXta v4  
v4.1.17

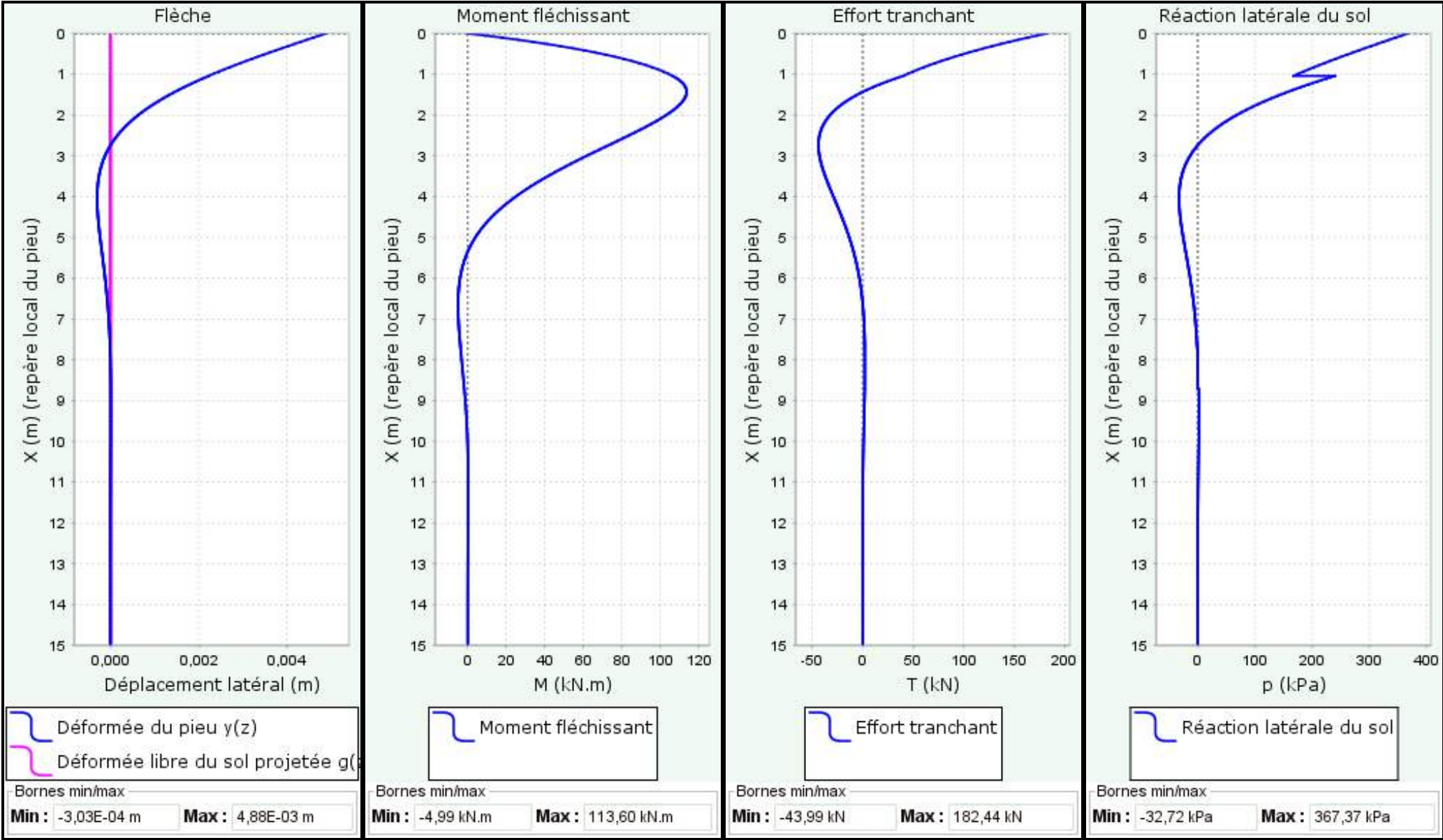
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:20:59  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 12/15)  
Titre du calcul : Appui 44 - FTC 520 - H 328.8 kN - Inertiel

# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

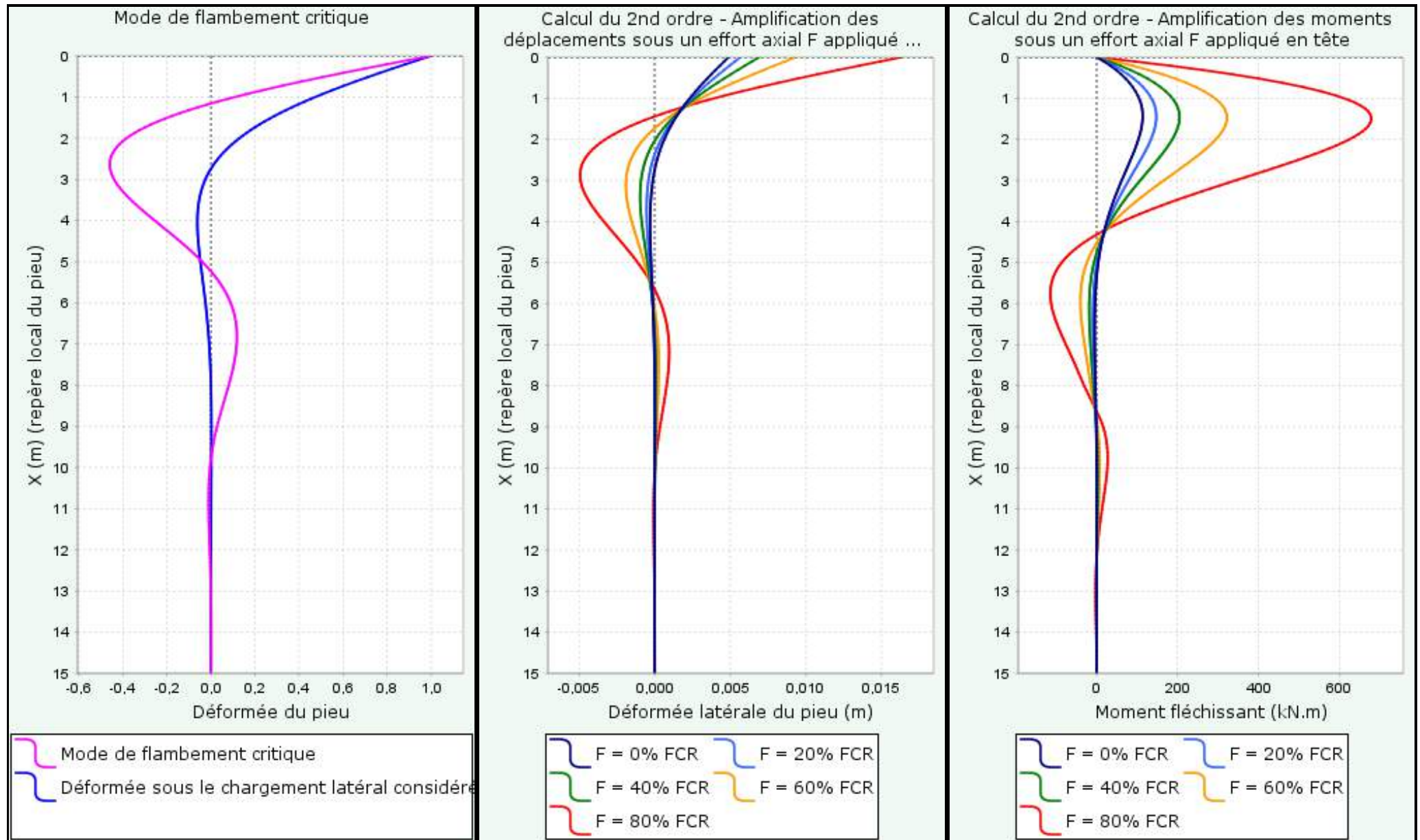


# Résultats principaux





# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 101496 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 46 - FTC 420 - Cinématique (Cas 8)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 2,19

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		1,35	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	6,87	4,58E04	69
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	2,19	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	1,35	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:21:45  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 8/15)  
Titre du calcul : Appui 46 - FTC 420 - Cinématique



# Données

Définition de g(z) (1/2)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	2,19	0,0247
Argile vasarde minorée	2,02	0,0247
Argile vasarde minorée	1,85	0,0247
Argile vasarde minorée	1,69	0,0247
Argile vasarde minorée	1,52	0,0246
Argile vasarde minorée	1,35	0,0246
Argile vasarde	1,15	0,0245
Argile vasarde	0,96	0,0245
Argile vasarde	0,76	0,0244
Argile vasarde	0,56	0,0243
Argile vasarde	0,37	0,0242
Argile vasarde	0,17	0,0240
Argile vasarde	-0,02	0,0239
Argile vasarde	-0,22	0,0238
Argile vasarde	-0,42	0,0236
Argile vasarde	-0,61	0,0234
Argile vasarde	-0,81	0,0233
Argile vasarde	-1,01	0,0231
Argile vasarde	-1,20	0,0229
Argile vasarde	-1,40	0,0227
Argile vasarde	-1,59	0,0224
Argile vasarde	-1,79	0,0222
Argile vasarde	-1,99	0,0219
Argile vasarde	-2,18	0,0217
Argile vasarde	-2,38	0,0214
Argile vasarde	-2,58	0,0211
Argile vasarde	-2,77	0,0208
Argile vasarde	-2,97	0,0205
Argile vasarde	-3,16	0,0202
Argile vasarde	-3,36	0,0199
Argile vasarde	-3,56	0,0196
Argile vasarde	-3,75	0,0192
Argile vasarde	-3,95	0,0189
Argile vasarde	-4,15	0,0185
Argile vasarde	-4,34	0,0181
Argile vasarde	-4,54	0,0178
Argile vasarde	-4,73	0,0174
Argile vasarde	-4,93	0,0170

Définition de g(z) (2/2)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-5,13	0,0166
Argile vasarde	-5,32	0,0162
Argile vasarde	-5,52	0,0157
Altérite tendre	-5,69	0,0139
Altérite tendre	-5,85	0,0121
Altérite tendre	-6,02	0,0102
Altérite tendre	-6,19	0,0083
Altérite tendre	-6,35	0,0064
Altérite tendre	-6,52	0,0045
Altérite peu compacte	-6,69	0,0043
Altérite peu compacte	-6,85	0,0040
Altérite peu compacte	-7,02	0,0038
Altérite peu compacte	-7,19	0,0036
Altérite peu compacte	-7,35	0,0034
Altérite peu compacte	-7,52	0,0032
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0030
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0028
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0026
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0024
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0022
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0021
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0019
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0015
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0013
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0011
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0009
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0007
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0006
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0004
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0002
Micaschiste altéré	-10,69	0,0001
Micaschiste altéré	-10,85	0,0001
Micaschiste altéré	-11,02	0,0000

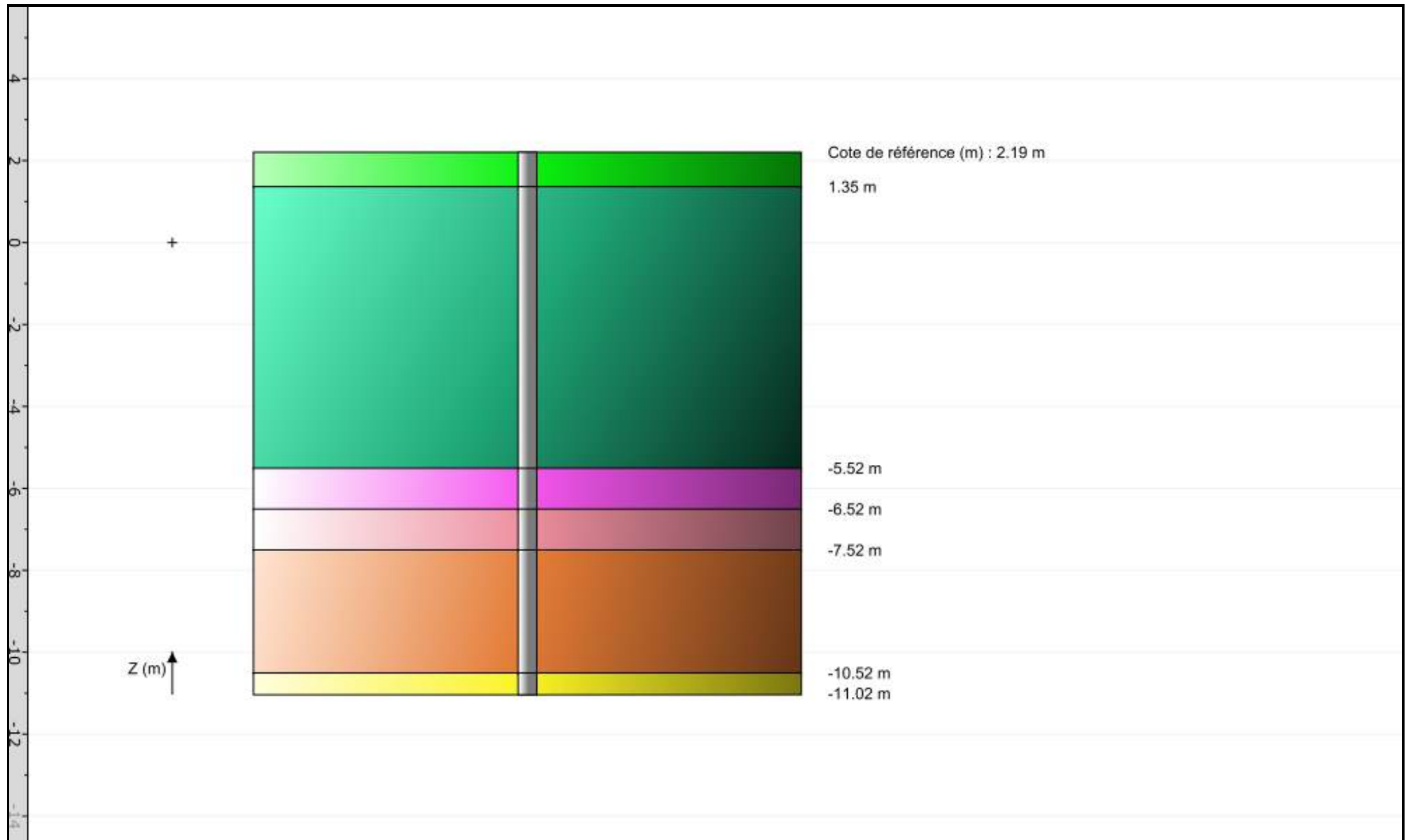


FoXta v4  
v4.1.17

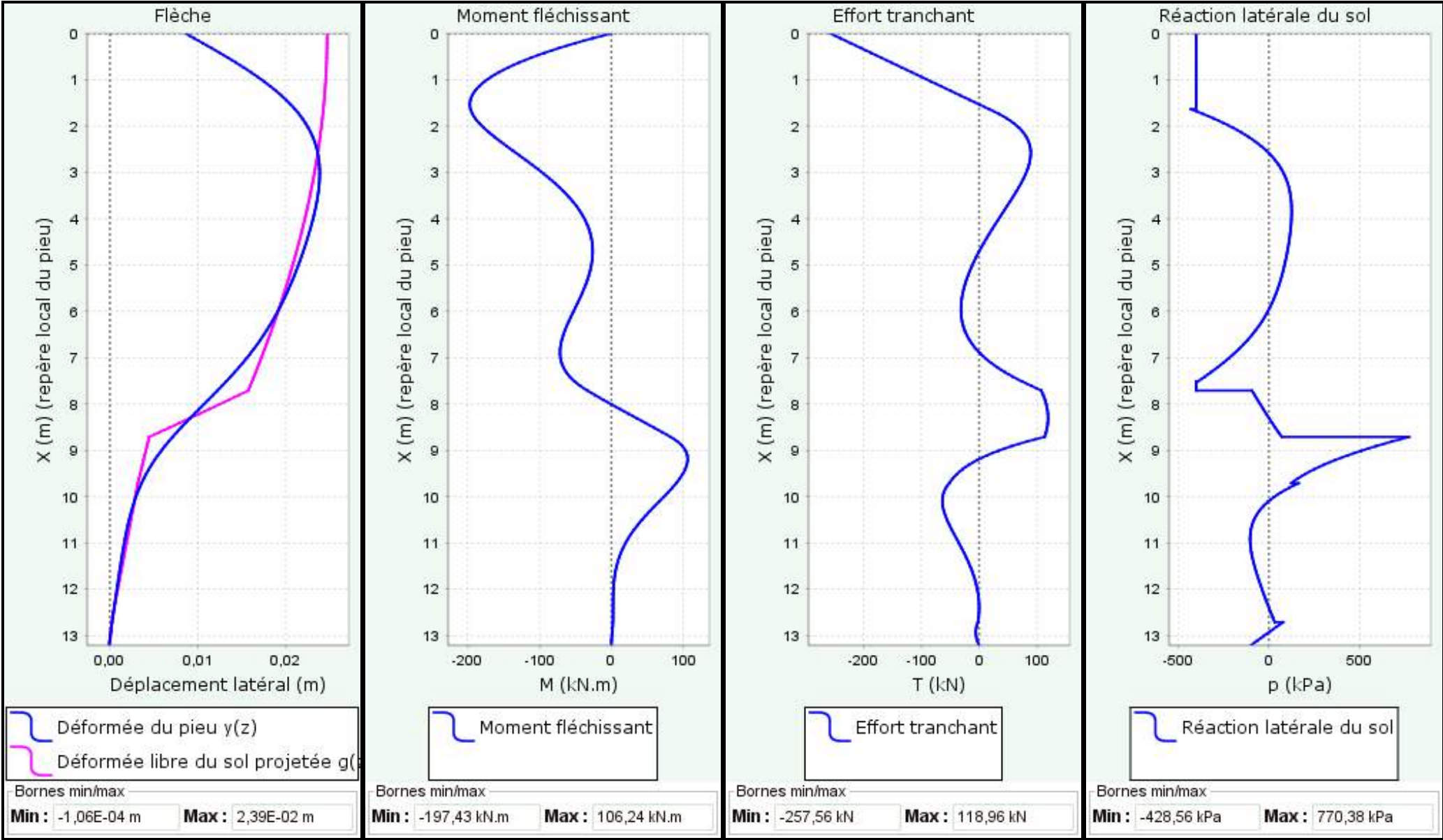
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:21:45  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 8/15)  
Titre du calcul : Appui 46 - FTC 420 - Cinématique

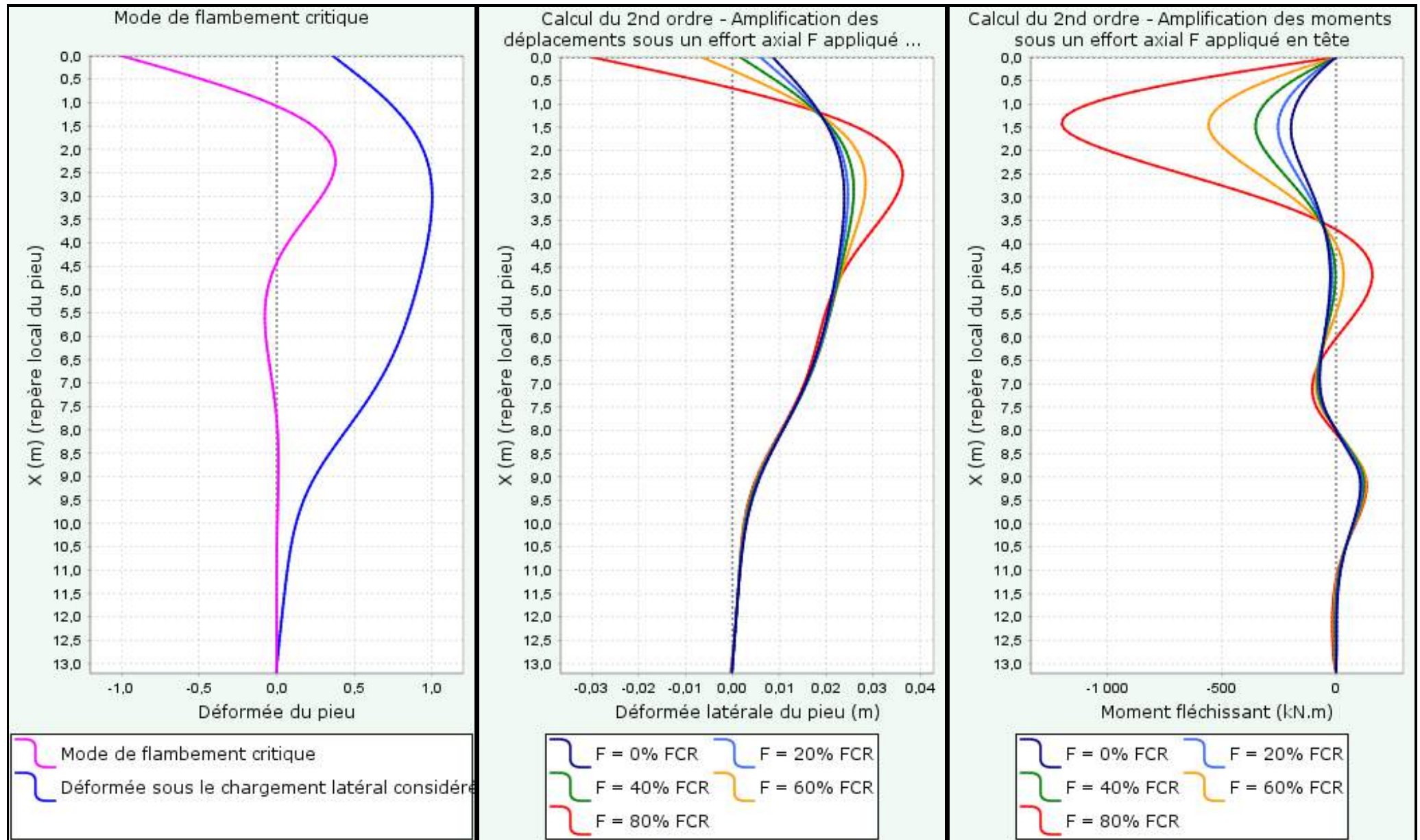
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 60372 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 46 - FTC 420 - H 518.4 kN - Inertiel (Cas 7)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 2,19

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		1,35	9,32E04	400,00	0,42
2	Argile vasarde		-5,52	1,33E05	400,00	0,42
3	Altérite tendre		-6,52	2,66E04	100,00	0,42
4	Altérite peu compacte		-7,52	2,89E05	1000,00	0,42
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	3,85E05	1600,00	0,42
6	Micaschiste altéré		-11,02	9,32E05	3000,00	0,42

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	0,84	4,58E04	8
Argile vasarde	6,87	4,58E04	69
Altérite tendre	1,00	4,58E04	10
Altérite peu compacte	1,00	4,58E04	10
Altérite moyennement compacte	3,00	4,58E04	30
Micaschiste altéré	0,50	4,58E04	5

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	2,19	518,40	0,00	3,00E04	0,00E00
1	1,35	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-11,02	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



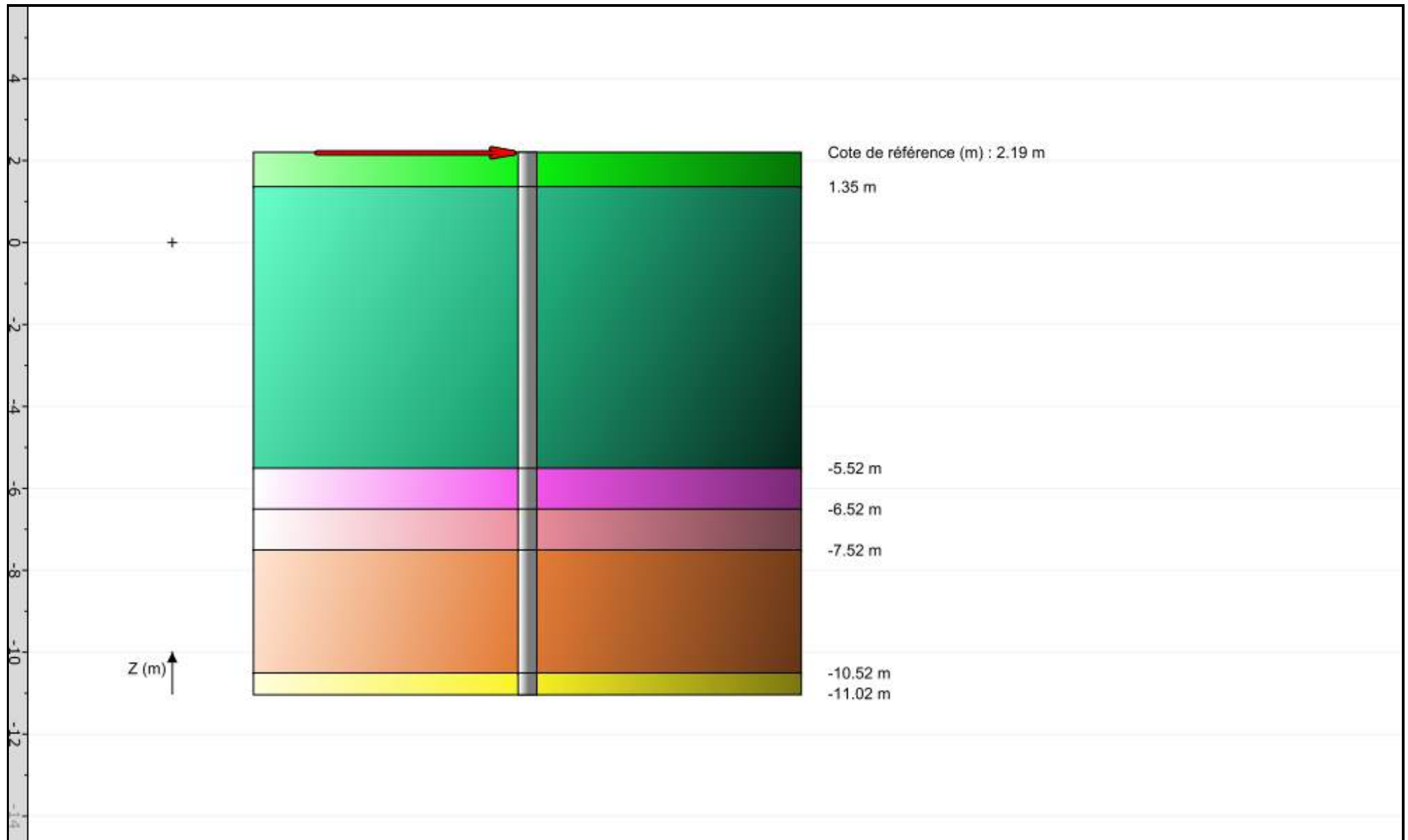
FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:22:26  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

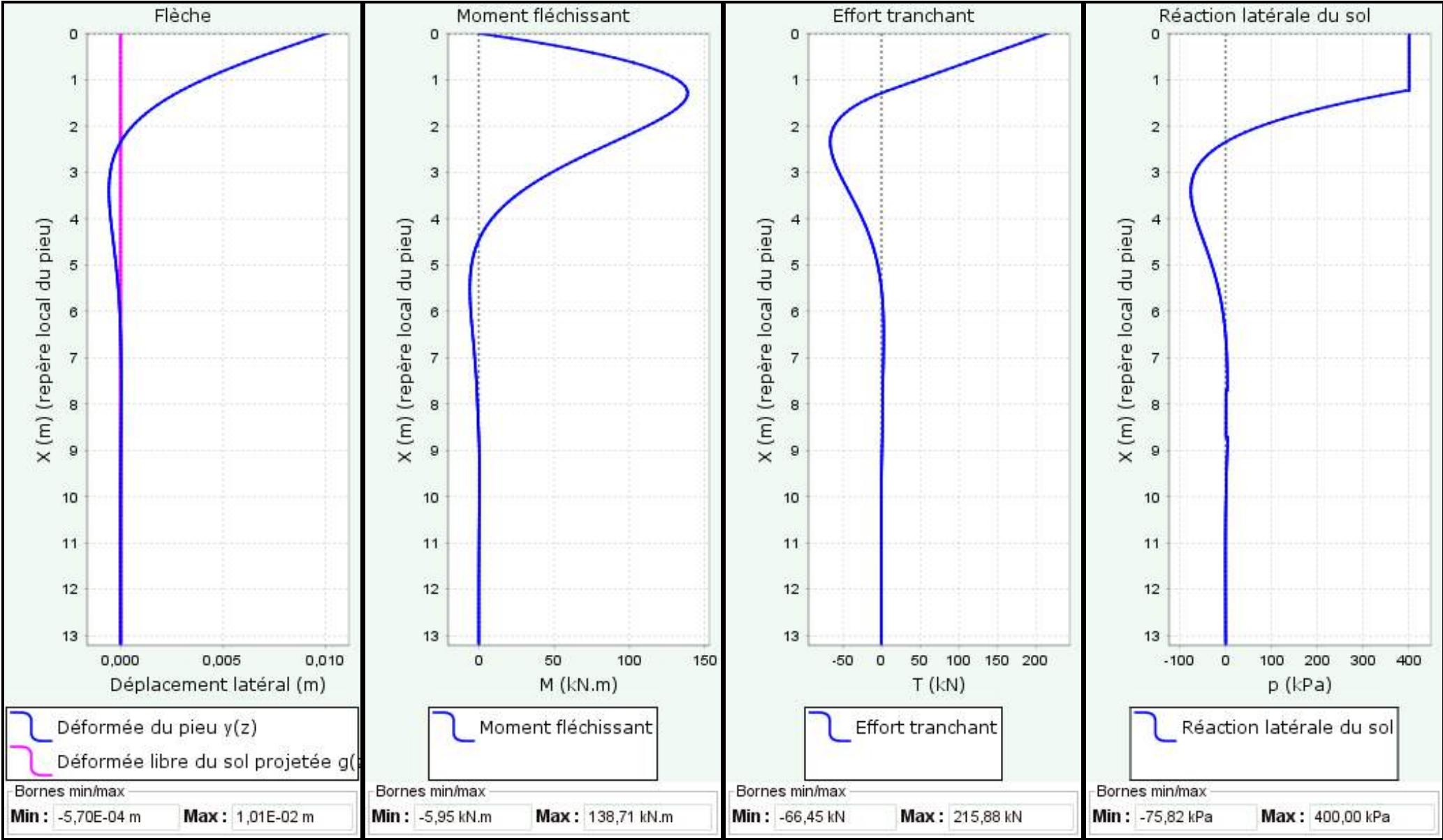
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 7/15)  
Titre du calcul : Appui 46 - FTC 420 - H 518.4 kN - Inertiel



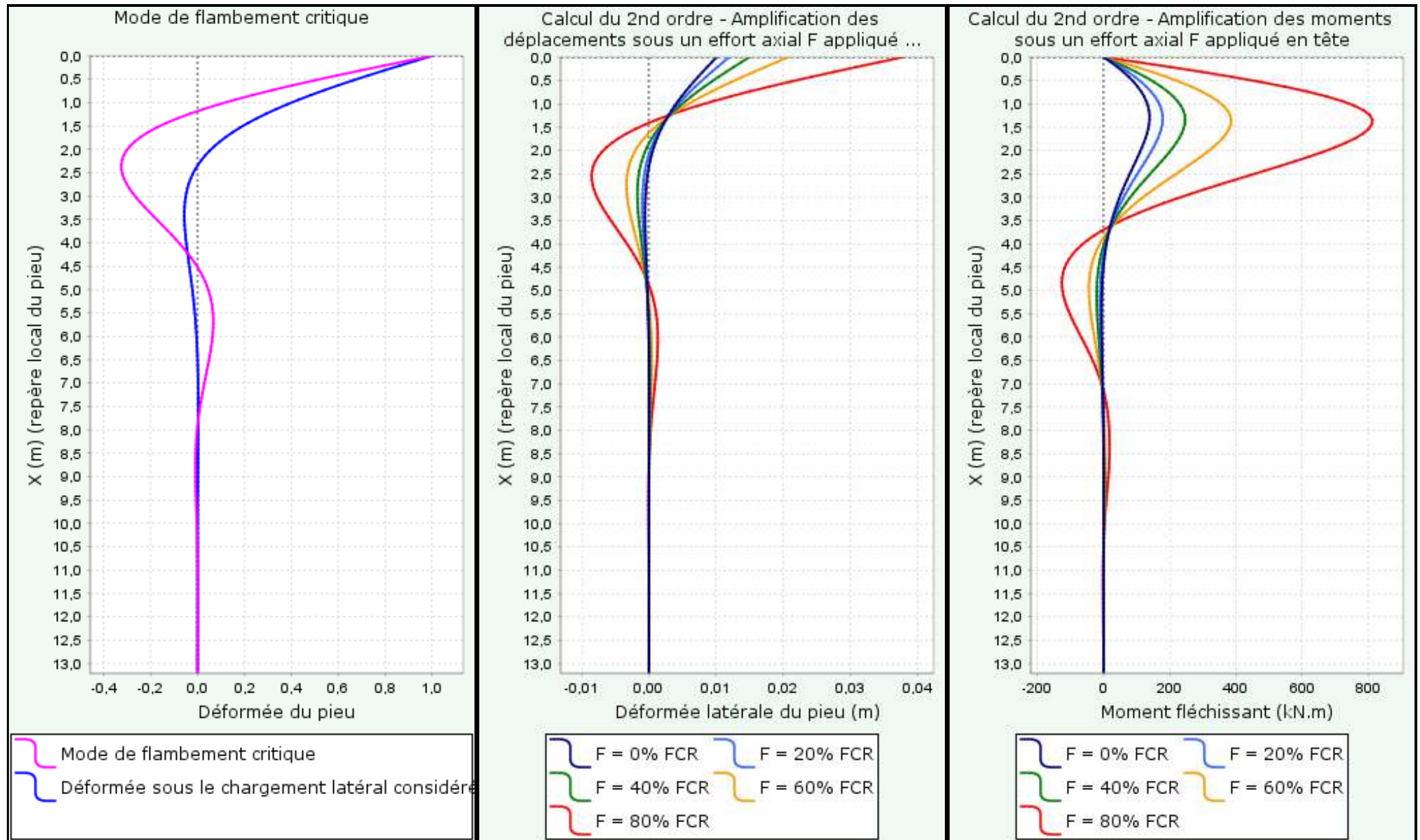
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 60948 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - Cinématique (Cas 15)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 3,73

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

## Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		2,49	6,37E04	400,00	0,62
2	Argile vasarde		-5,52	9,09E04	400,00	0,62
3	Altérite tendre		-6,52	1,82E04	100,00	0,62
4	Altérite peu compacte		-7,52	1,98E05	1000,00	0,62
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	2,64E05	1600,00	0,62
6	Micaschiste altéré		-12,81	6,37E05	3000,00	0,62

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

## Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,24	2,18E05	12
Argile vasarde	8,01	2,18E05	80
Altérite tendre	1,00	2,18E05	10
Altérite peu compacte	1,00	2,18E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	2,18E05	30
Micaschiste altéré	2,29	2,18E05	23

## Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	3,73	0,00	0,00	3,00E04	0,00E00
1	2,49	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,81	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:23:14  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 15/15)  
Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - Cinématique

# Données

Définition de g(z) (1/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde minorée	3,73	0,0247
Argile vasarde minorée	3,55	0,0247
Argile vasarde minorée	3,38	0,0247
Argile vasarde minorée	3,20	0,0247
Argile vasarde minorée	3,02	0,0246
Argile vasarde minorée	2,84	0,0246
Argile vasarde minorée	2,67	0,0246
Argile vasarde minorée	2,49	0,0245
Argile vasarde	2,29	0,0244
Argile vasarde	2,10	0,0244
Argile vasarde	1,90	0,0243
Argile vasarde	1,71	0,0242
Argile vasarde	1,51	0,0241
Argile vasarde	1,32	0,0240
Argile vasarde	1,12	0,0239
Argile vasarde	0,93	0,0237
Argile vasarde	0,73	0,0236
Argile vasarde	0,54	0,0234
Argile vasarde	0,34	0,0233
Argile vasarde	0,15	0,0231
Argile vasarde	-0,05	0,0229
Argile vasarde	-0,25	0,0228
Argile vasarde	-0,44	0,0226
Argile vasarde	-0,64	0,0224
Argile vasarde	-0,83	0,0222
Argile vasarde	-1,03	0,0219
Argile vasarde	-1,22	0,0217
Argile vasarde	-1,42	0,0215
Argile vasarde	-1,61	0,0212
Argile vasarde	-1,81	0,0210
Argile vasarde	-2,00	0,0207
Argile vasarde	-2,20	0,0205
Argile vasarde	-2,39	0,0202
Argile vasarde	-2,59	0,0199
Argile vasarde	-2,78	0,0196
Argile vasarde	-2,98	0,0193
Argile vasarde	-3,18	0,0190
Argile vasarde	-3,37	0,0187

Définition de g(z) (2/3)

Couche	z	g(z)
Argile vasarde	-3,57	0,0184
Argile vasarde	-3,76	0,0180
Argile vasarde	-3,96	0,0177
Argile vasarde	-4,15	0,0174
Argile vasarde	-4,35	0,0170
Argile vasarde	-4,54	0,0167
Argile vasarde	-4,74	0,0163
Argile vasarde	-4,93	0,0159
Argile vasarde	-5,13	0,0156
Argile vasarde	-5,32	0,0152
Argile vasarde	-5,52	0,0148
Altérite tendre	-5,69	0,0131
Altérite tendre	-5,85	0,0115
Altérite tendre	-6,02	0,0098
Altérite tendre	-6,19	0,0080
Altérite tendre	-6,35	0,0063
Altérite tendre	-6,52	0,0046
Altérite peu compacte	-6,69	0,0044
Altérite peu compacte	-6,85	0,0042
Altérite peu compacte	-7,02	0,0040
Altérite peu compacte	-7,19	0,0038
Altérite peu compacte	-7,35	0,0036
Altérite peu compacte	-7,52	0,0034
Altérite moyennement compacte	-7,71	0,0033
Altérite moyennement compacte	-7,89	0,0031
Altérite moyennement compacte	-8,08	0,0029
Altérite moyennement compacte	-8,27	0,0028
Altérite moyennement compacte	-8,46	0,0026
Altérite moyennement compacte	-8,64	0,0024
Altérite moyennement compacte	-8,83	0,0022
Altérite moyennement compacte	-9,02	0,0021
Altérite moyennement compacte	-9,21	0,0019
Altérite moyennement compacte	-9,39	0,0017
Altérite moyennement compacte	-9,58	0,0016
Altérite moyennement compacte	-9,77	0,0014
Altérite moyennement compacte	-9,96	0,0012
Altérite moyennement compacte	-10,14	0,0011
Altérite moyennement compacte	-10,33	0,0009



FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:23:14  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 15/15)  
Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - Cinématique



# Données

Définition de g(z) (3/3)

Couche	z	g(z)
Altérite moyennement compacte	-10,52	0,0007
Micaschiste altéré	-10,71	0,0007
Micaschiste altéré	-10,90	0,0006
Micaschiste altéré	-11,09	0,0005
Micaschiste altéré	-11,28	0,0005
Micaschiste altéré	-11,47	0,0004
Micaschiste altéré	-11,66	0,0004
Micaschiste altéré	-11,86	0,0003
Micaschiste altéré	-12,05	0,0002
Micaschiste altéré	-12,24	0,0002
Micaschiste altéré	-12,43	0,0001
Micaschiste altéré	-12,62	0,0001
Micaschiste altéré	-12,81	0,0000

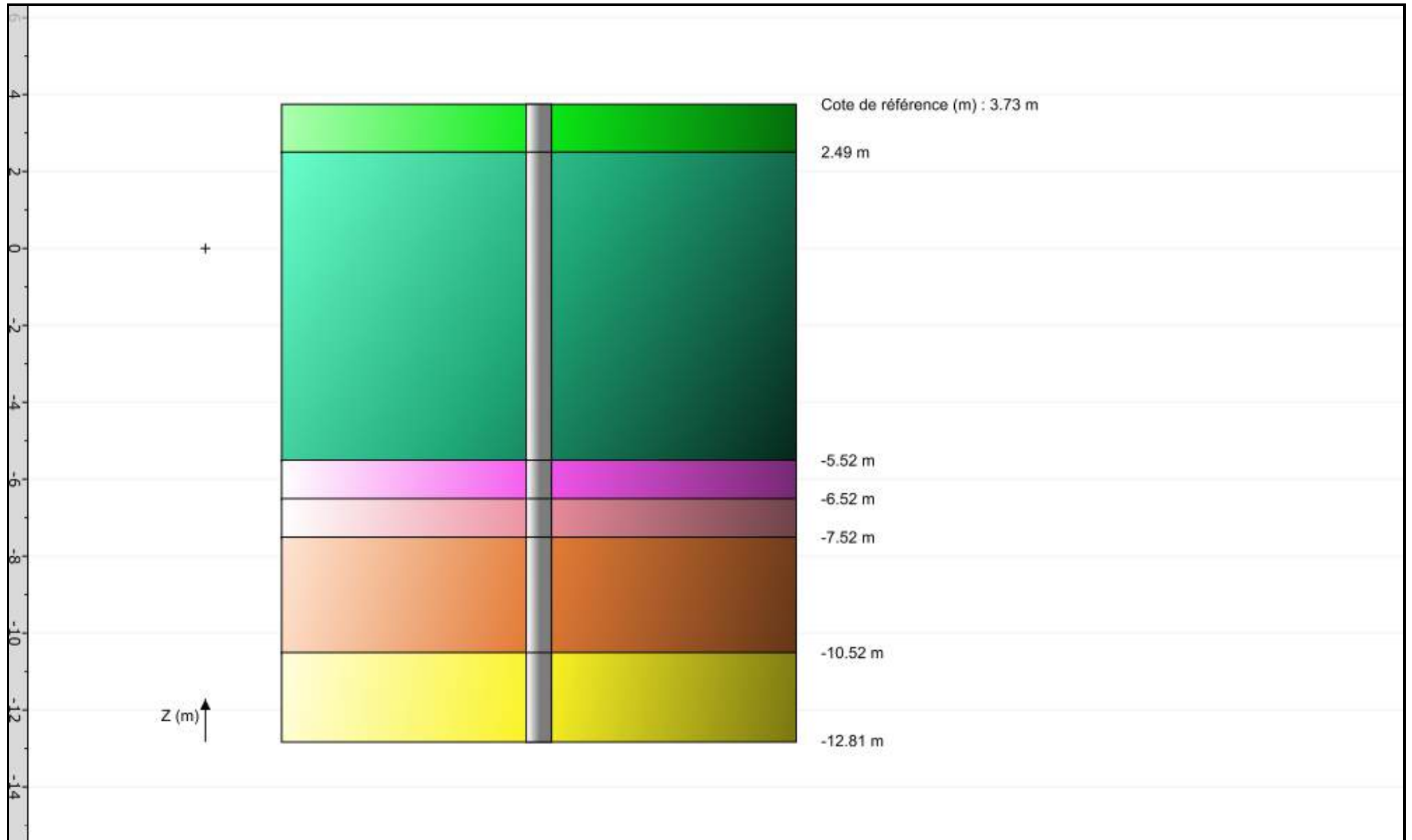


FoXta v4  
v4.1.17

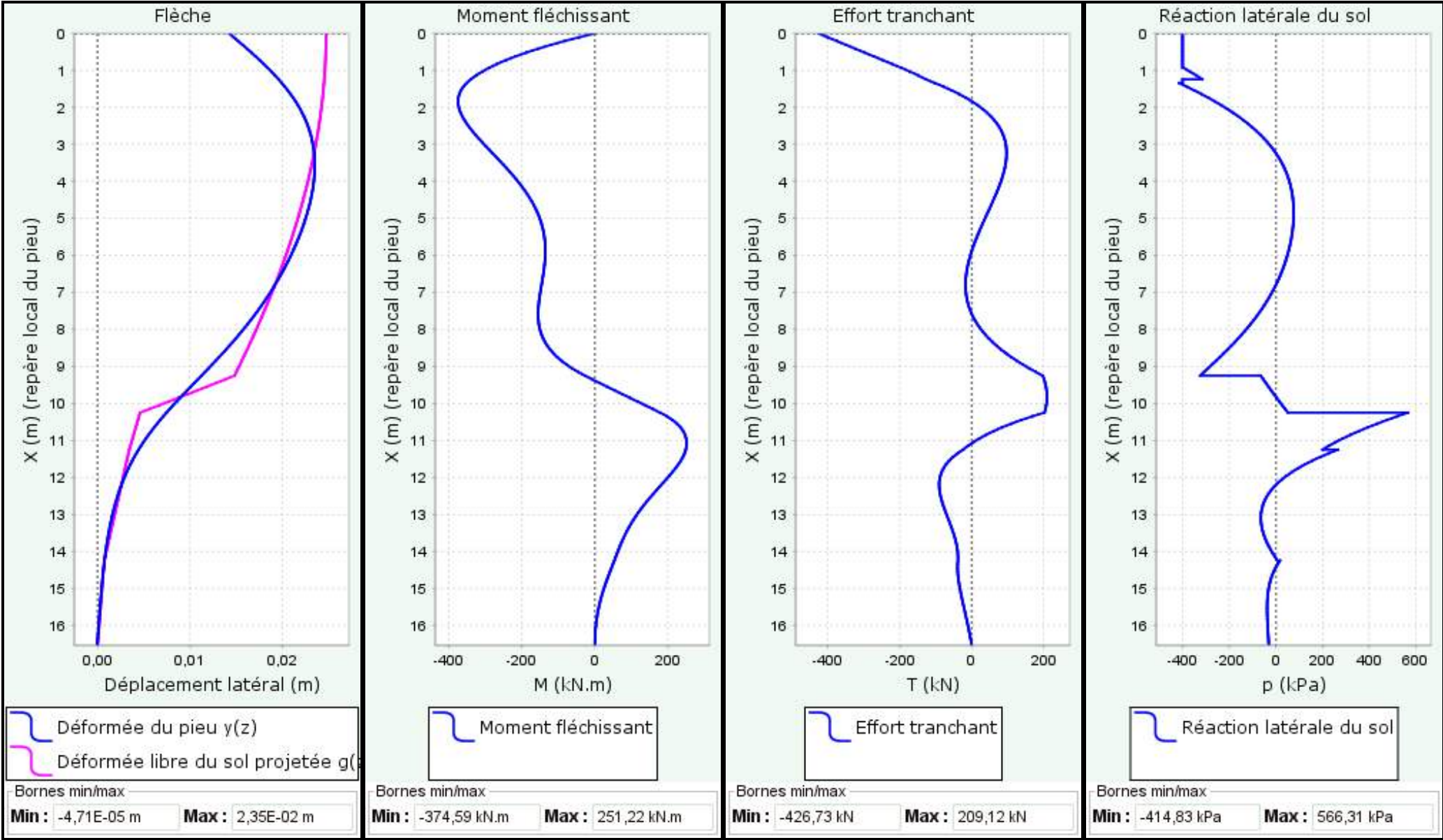
Imprimé le : 26/05/2025 - 09:23:14  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 15/15)  
Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - Cinématique

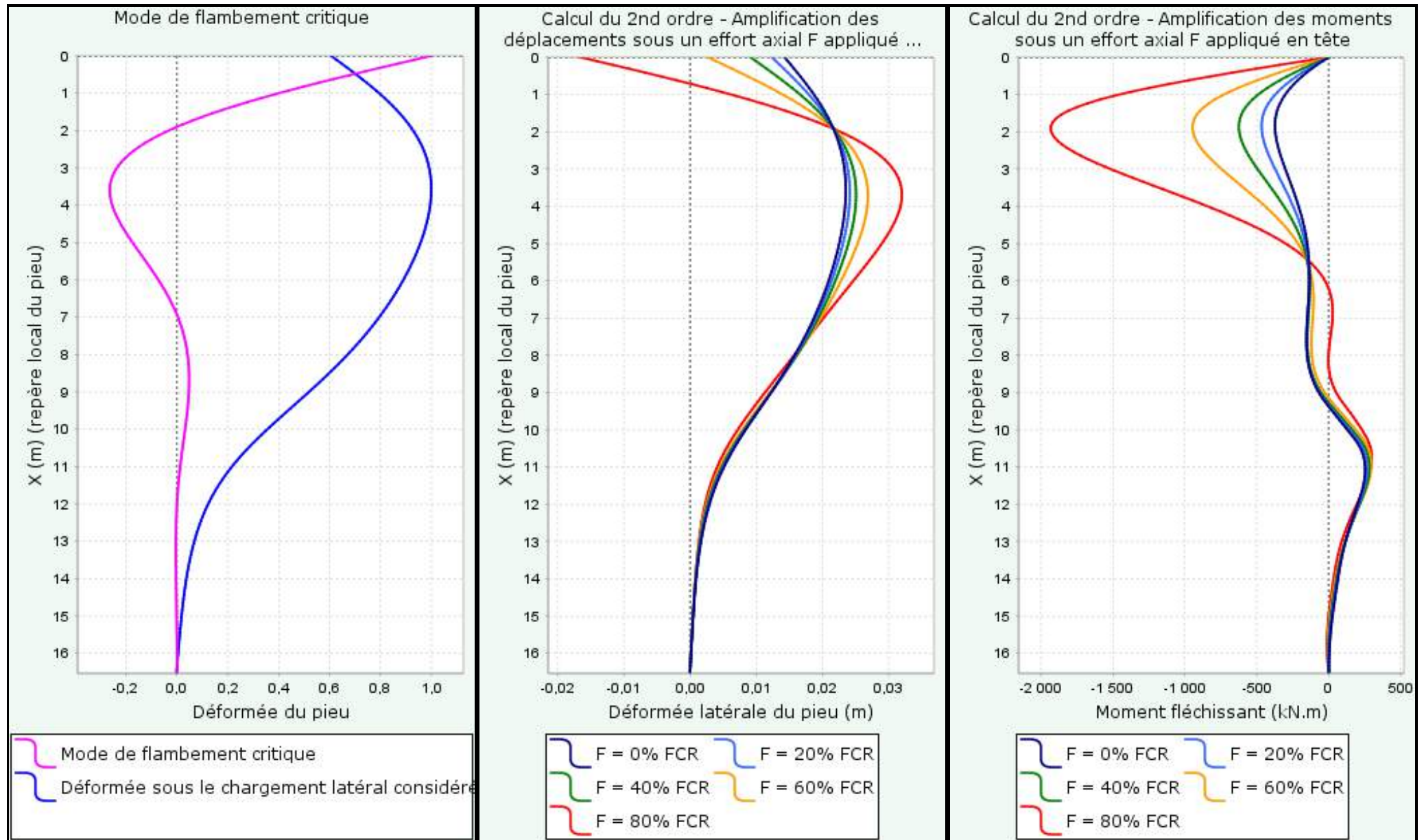
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 114199 kN)



# Données

Titre du projet : ICBS

Numéro d'affaire : 5614781

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - H 537.8 kN - Inertiel (Cas 14)

Type de calcul : Calcul de pieu sous sollicitations latérales  
Loi p-y à 2 paliers avec saisie personnalisée

Cote de référence (m) : 3,73

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'incréments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Non

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	kf	pmax	B
1	Argile vasarde minorée		2,49	6,37E04	400,00	0,62
2	Argile vasarde		-5,52	9,09E04	400,00	0,62
3	Altérite tendre		-6,52	1,82E04	100,00	0,62
4	Altérite peu compacte		-7,52	1,98E05	1000,00	0,62
5	Altérite moyennement compacte		-10,52	2,64E05	1600,00	0,62
6	Micaschiste altéré		-12,81	6,37E05	3000,00	0,62

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

Discretisation

Nom	h	EI	n
Argile vasarde minorée	1,24	2,18E05	12
Argile vasarde	8,01	2,18E05	80
Altérite tendre	1,00	2,18E05	10
Altérite peu compacte	1,00	2,18E05	10
Altérite moyennement compacte	3,00	2,18E05	30
Micaschiste altéré	2,29	2,18E05	23

Charges ponctuelles

N°	Z	T	M	K	C
0	3,73	537,80	0,00	3,00E04	0,00E00
1	2,49	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-5,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-6,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
4	-7,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
5	-10,52	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
6	-12,81	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Activer les cas de charge multiples en tête : Non



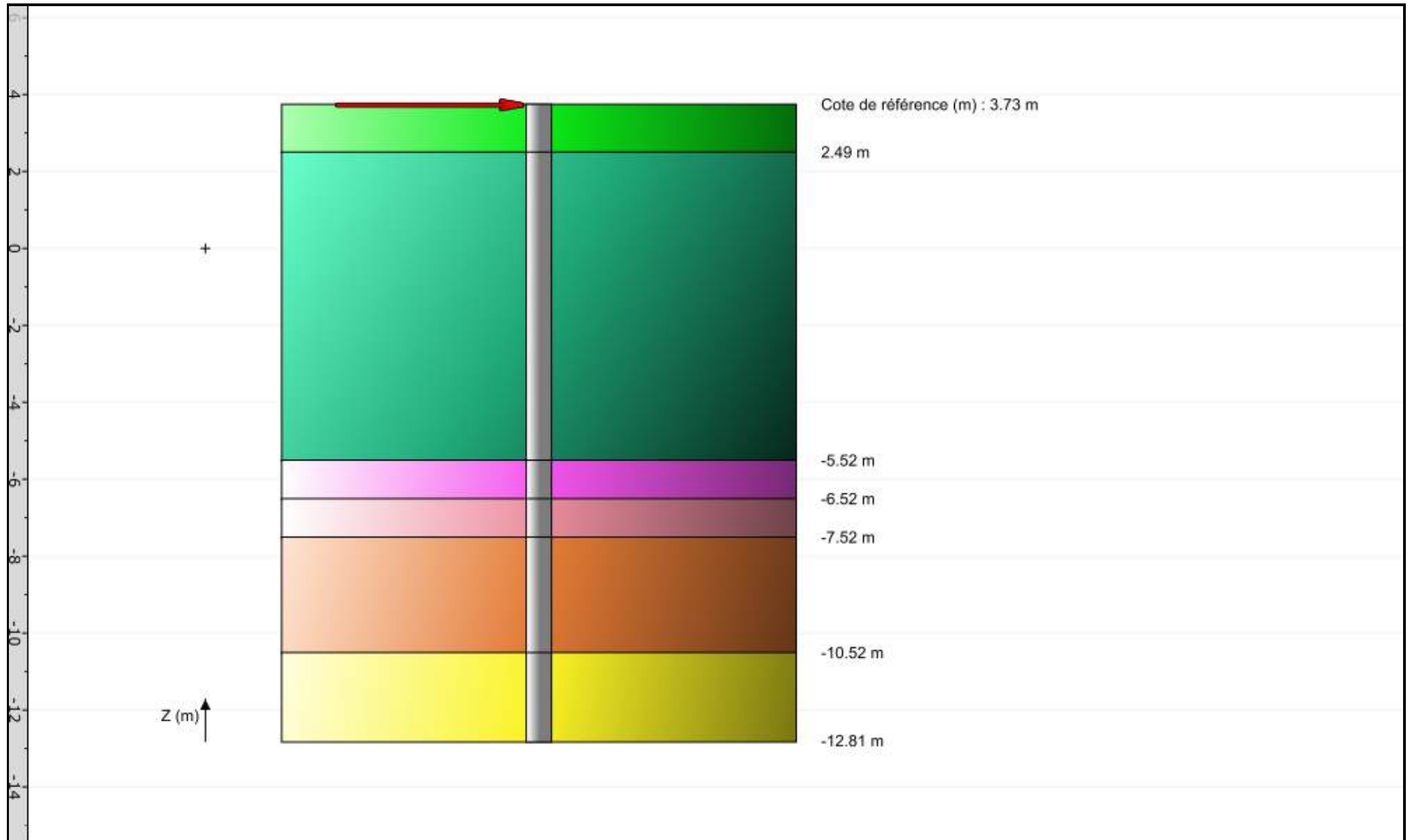
FoXta v4  
v4.1.17

Imprimé le : 26/05/2025 - 09:23:42  
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST

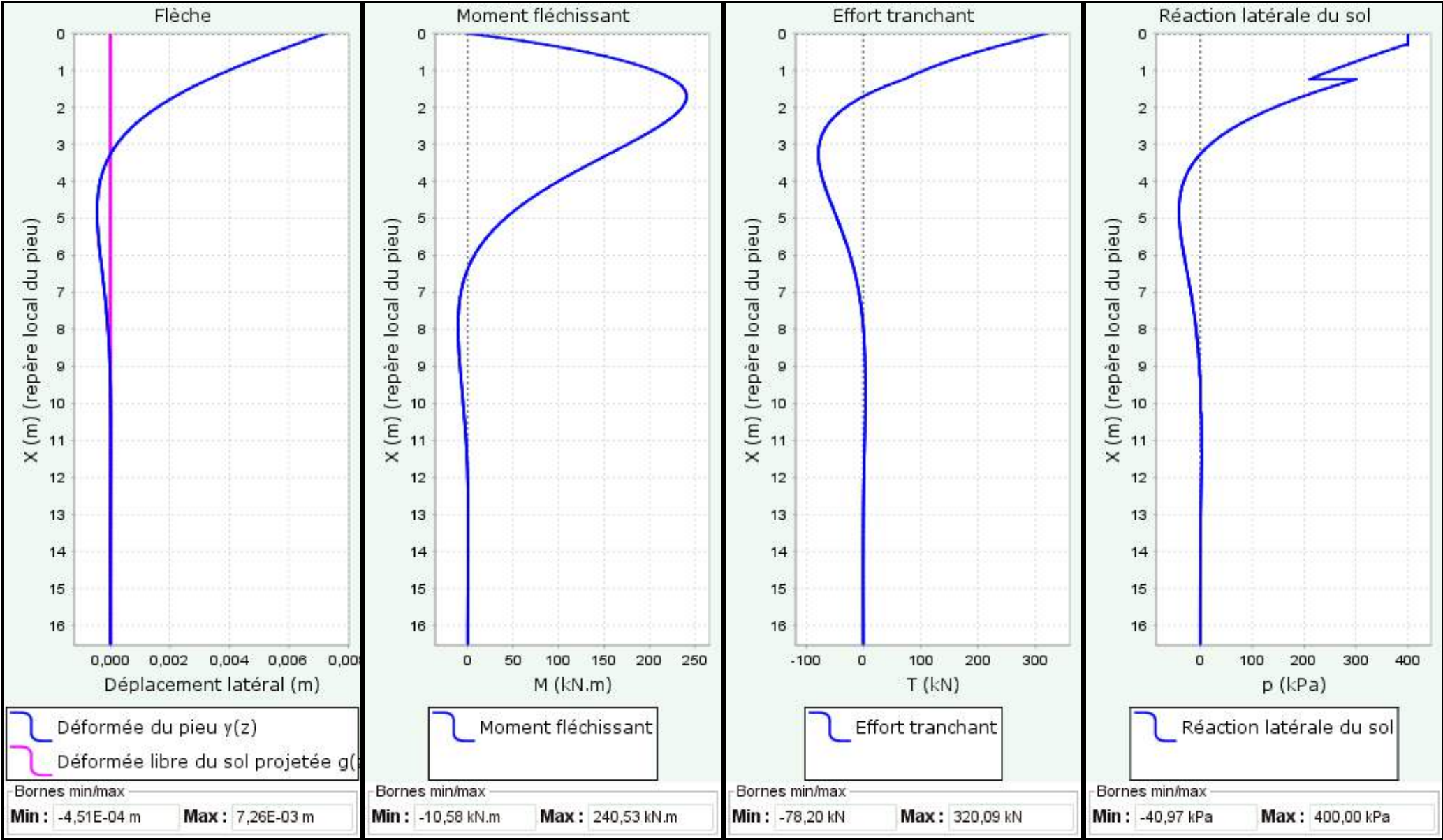
Projet : ICBS  
Module : Piecoef+ (Cas 14/15)  
Titre du calcul : Appui 60 - FTC 620 - H 537.8 kN - Inertiel



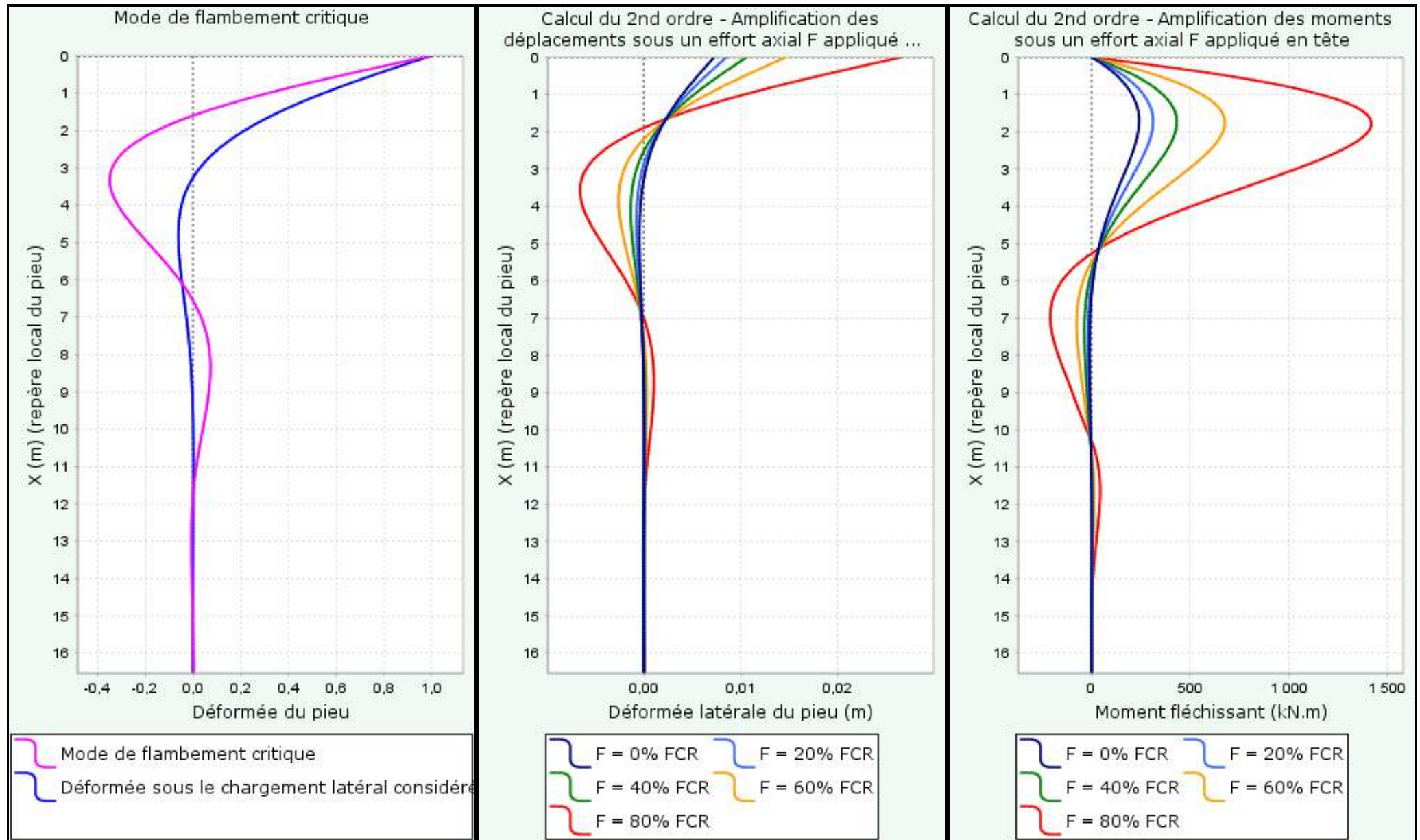
# Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"



# Résultats principaux



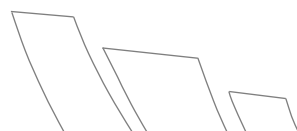
# Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 127128 kN)



## **Annexe 5**

---

# **Classification des missions géotechniques**



## Extrait de la Norme NF P 94-500 - Novembre 2013

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

### ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire.

Elle comprend deux phases :

**Phase Étude de Site (ES)**— Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. — Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

**Phase Principes Généraux de Construction (PGC)**— Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

### ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

**Phase Avant-projet (AVP)**— Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

**Phase Projet (PRO)**— Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

**Phase DCE / ACT**— Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques. — Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). — Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

### ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

**Phase Étude**— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles). — Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

**Phase Suivi**— Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude. — Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats). — Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

### SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

**Phase Supervision de l'étude d'exécution**— Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

**Phase Supervision du suivi d'exécution**— Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3). donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

### 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, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle.

Ce diagnostic géotechnique 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. — Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

— Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais 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).