

CONSTRUCTION CRYOMICROSCOPE

LYON (69007)

Référence : NT2_2503140L_V01_LYON_CONSTRUCTION
CRYOMICROSCOPE G2PRO

V03				
V02				
V01	24/10/2025	P.PEZARD	S.PEREIRA	Etablissement du rapport
Indice	Date	Rédacteur	Vérificateur	Observations

SARL au capital de 19.000 €

RCS de Bourg-en-Bresse

Code APE 7112B

SIRET 493 774 111 00071

AGENCE LYON :

93 rue de la Villette

69003 LYON

Tél.: 04 20 10 28 23

lyon@beconfluence.com

www.beconfluence.com



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	4
2. DOCUMENTS ET DONNEES A DISPOSITION.....	5
3. CONTEXTE GENERAL.....	5
4. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE GENERAL.....	6
5. ALEAS ET RISQUES NATURELS	8
6. PROFONDEUR DE MISE HORS GEL DES INFRASTRUCTURES.....	11
7. DESCRIPTION DU PROJET.....	12
8. PROGRAMME DES INVESTIGATIONS	14
8.1. Programme des investigations in situ.....	14
8.2. Lithologie et caractéristiques géomécaniques.....	15
8.3. Conditions hydrologiques et hydrogéologiques.....	16
8.4. Reconnaissance des fondations actuelles et des ouvrages mitoyens.....	16
9. SYNTHESE GEOTECHNIQUE DE NIVEAU PROJET	18
10. CONTEXTE SISMIQUE.....	19
11. ZONE D'INFLUENCE GEOTECHNIQUE DU PROJET (Z.I.G).....	20
12. ADAPTATION GENERALE DU PROJET AU SITE – CONTRAINTES.....	20
13. INSERTION DU PROJET SUR LE TERRAIN, CALAGE GENERAL DE LA PLATE-FORME, TERRASSEMENTS GENERAUX	21
13.1. Conception générale	21
14. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES FONDATIONS SUPERFICIELLES.....	22
14.1. Semelles superficielles : filantes	22
14.1.1. Descentes de charges.....	22
14.1.2. Conception.....	22
14.1.3. Dimensionnement.....	22
14.2. Fondations par radier (sous-sol + stockage cuve à azote).....	23
14.2.1. Conception.....	23
14.2.2. Dimensionnement.....	24
14.3. Recommandations générales	38
14.4. Recommandations spécifiques pour les fondations le long d'ouvrages existants.....	40
15. TRAITEMENT DU NIVEAU BAS	41
15.1. Dallages en sous-sol	41
15.1.1. Conception générale.....	41
15.1.2. Portances	41
15.1.3. Modules Es.....	41
15.1.4. Tassements	42
15.1.5. Recommandations générales	42
16. PROTECTION DES NIVEAUX ENTERRES.....	42
17. REALISATION DES VOIRIES.....	42
17.1. Conception générale	42
17.2. Recommandations générales	43
18. CATEGORIE GEOTECHNIQUE DE L'OUVRAGE, ETUDES GEOTECHNIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES	43
19. RECOMMANDATIONS GENERALES	45

ANNEXES

ANNEXE 1 : Missions géotechniques normalisées

ANNEXE 2 : Plan d'implantation et résultats des sondages

ANNEXE 3 : Résultats GEOFOND

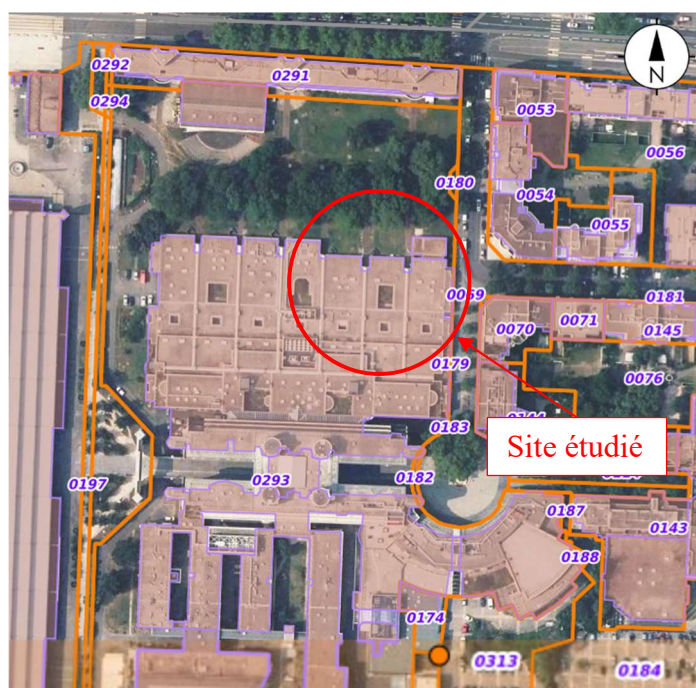
ANNEXE 4 : Résultats FoXta

1. INTRODUCTION

L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE LYON projette la construction d'un cryomicroscope sur la commune de Lyon (69007), Avenue Debourg. Dans ce cadre, l'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE LYON a souhaité engager une étude géotechnique comportant :

- l'évaluation du contexte géotechnique général par le biais d'une enquête documentaire ;
- l'établissement d'une première définition du contexte géologique et géotechnique avec la nature des terrains superficiels, et les éventuelles circulations d'eaux sub-superficielles ;
- la définition des principes de construction envisageables, avec l'adaptation du projet au site, pour les fondations, les terrassements (pentes et talus, assise des voiries et dallages), la gestion des circulations d'eaux ;
- les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet, et une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique.

La situation du projet est précisée ci-dessous :










Dans le cadre de ce projet, l'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE LYON a confié à CONFLUENCE une **mission d'étude géotechnique de conception – Phase Projet (G2PRO)** au sens de la norme NFP 94-500 de novembre 2013, qui fait l'objet du présent rapport.

Nous fournissons quelques extraits de cette norme en annexe 1 pour faciliter la compréhension des missions géotechniques et de la nécessité de leur enchaînement.

2. DOCUMENTS ET DONNEES A DISPOSITION

Dans l'état actuel du projet, et à la date de rédaction du présent rapport, les documents en notre possession pour réaliser l'étude sont les suivants :

-  CE25-028 ENS Lyon Cryo-Microscope - APS - CDC Etudes géotechniques
-  ENS24_Cryo_ESQ02 Plan sous sol - projet_250306
-  2400137_DCE_UTL_PLN_7300-B_Implantation Azote
-  APD 01 Plan masse projet + cuve azote
-  CE25-028 ENS Lyon Cryo-Microscope - DCE - Cahier des Charges pour G2-PRO
-  DRAW-IMPL-03-AV0697
-  APS 03 Plan R-1 projet

Les hypothèses issues de ces différents documents seront à confirmer aux stades ultérieurs du projet et pourront engendrer une modification ou une adaptation des recommandations formulées dans le présent rapport.

3. CONTEXTE GENERAL

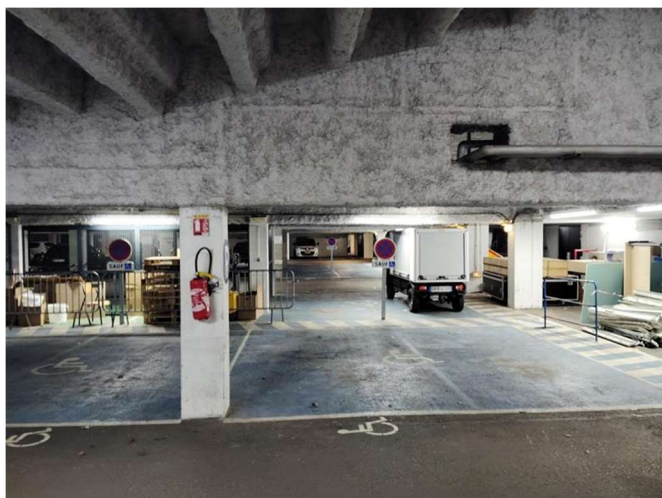
Le projet est implanté sur le site de l'ENS LYON avenue Debourg sur la commune de Lyon (69007). Le site étudié concerne la parcelle n°293 de la section BZ.

Les parcelles sont actuellement occupées par :

- Aménagement existant (bâtiment, parking, poteaux de fondations...).

Le site est globalement plat. Le TN est actuellement compris entre les cotes approximatives 165.00 et 165.20 mNGF. D'après les plans topographiques fournis, le niveau du sous-sol est à -3.30m/TN soit à une cote de 161.90 NGF.

Pour ce projet il a été procédé à une inspection visuelle sommaire du secteur étudié à l'occasion de notre intervention sur site au mois de mars 2024. Les photographies suivantes illustrent la configuration des lieux à cette période :



On note les points particuliers suivants :

- Projet en niveau de sous-sol à -3.30m/TN ;
- La partie du bâtiment en mitoyen du radier pour la cuve d'azote n'a pas de sous-sol ;
- Parking véhicule léger occupé actuel ;
- Présence de nombreux poteaux de fondation ;
- Hauteur sous plafond limitée dans certain secteur.

4. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

Le secteur étudié s'inscrit dans un contexte d'Alluvions fluviales modernes.

Un extrait de la carte géologique au 1/50 000^e et de la légende associée sont présentés ci-après :



Légende :



La consultation de la base de données BSS sur le site infoterre.brgm.fr indique la présence de sondages à proximité du site étudié. Le repérage de ces sondages est présenté schématiquement ci-dessous :



Les coupes de ces sondages sont les suivantes :

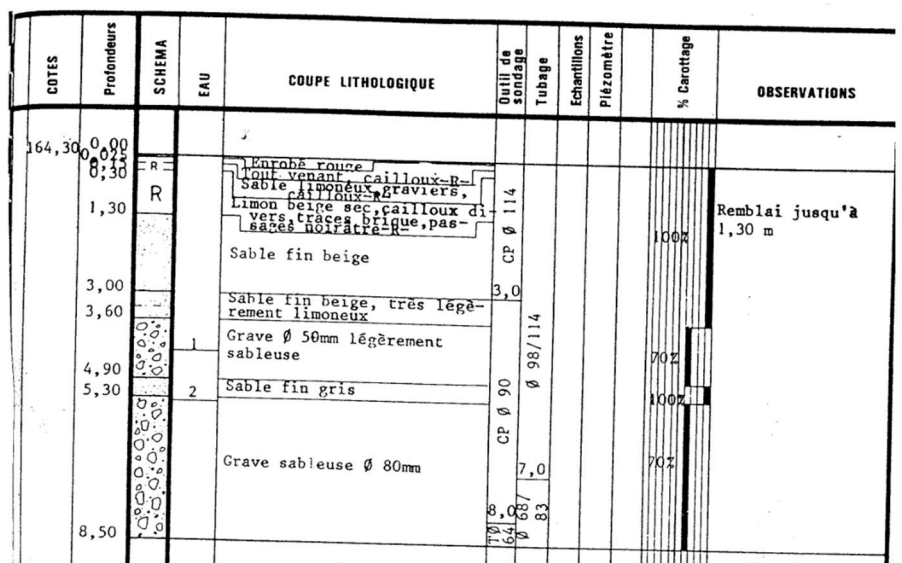
- Sondage référence n°BSS001TKUT, situé à 280 m au Sud du site

Nombre de niveaux : 2

Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 17,6 m	ALLUV: DEPOT	QUATERNAIRE
De 17,6 à 17,7 m	MOLASSE	MIOCENE

Un niveau d'eau avait été relevé durant ce sondage à 6.2m de profondeur en date du 1 janvier 1965.

- Sondage référence n°BSS001TKXY, situé à 280 m à l'Ouest du site



Du point de vue hydrogéologique et hydrologique, on peut noter les informations générales suivantes :


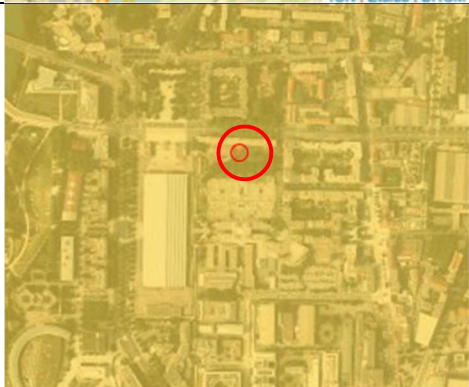
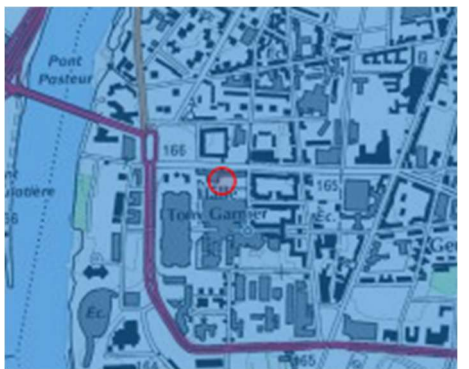
- nappe d'accompagnement du fleuve du Rhône (situé à une distance de l'ordre de 350 m à l'Ouest du site) ;

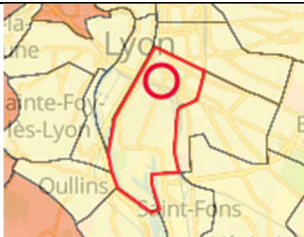
Dans ce contexte de nappe alluviale, on peut s'attendre à rencontrer des circulations d'eaux :

- dans les terrains de recouvrement,
- au sein des alluvions.

5. ALEAS ET RISQUES NATURELS

Pour ce projet il a été effectué une enquête documentaire en relation avec les risques naturels susceptibles d'affecter le secteur ; les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

ALEAS	CARTE	Légende/information	Influence potentielle sur le projet
Retrait-gonflement des Argiles (*)		<div> <div>1 : Exposition faible</div> <div>2 : Exposition moyenne</div> <div>3 : Exposition fort</div> </div>	NON
Sismicité		<div> <div>1 - très faible</div> <div>2 - faible</div> <div>3 - modéré</div> <div>4 - moyen</div> <div>5 - fort</div> </div>	NON (§10)
Cavités	Aucune cavité n'est répertoriée à moins de 1 km du site étudié. Cependant la commune comprend des cavités non localisées.		NON
Mouvements de terrain	Aucun mouvement de terrain n'est répertorié à moins de 1 km du site.		NON
Inondation et coulées de boue	PPRN du Grand Lyon – secteur Lyon-Villeurbanne, approuvé le 02/03/2009	Terrain non concerné par le risque d'inondation d'après le PPRN.	OUI
Amiante (**)		<p>Susceptibilité variable</p> <div> <div>Susceptibilité nulle à très faible</div> <div>Susceptibilité faible</div> <div>Susceptibilité moyenne</div> <div>Susceptibilité forte à très forte</div> <div>Zones non-investiguées</div> <div>Susceptibilité variable (Alluvions, Alluvions et indifférenciées, Dépôts glaciaires)</div> <div>Susceptibilité variable (Colluvions et éboulis)</div> </div>	Hors mission

Radon		<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> <p>1 : potentiel radon faible</p> <p>2 : potentiel radon moyen</p> <p>3 : potentiel radon significatif</p> </div>	Hors mission
-------	---	--	--------------

Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles (CAT-NAT) : 23

Source : CCR

Inondations et/ou Coulées de Boue : 17

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0000045A	22/10/1999	24/10/1999	07/02/2000	26/02/2000
INTE0000391A	10/06/2000	10/06/2000	03/08/2000	23/08/2000
INTE0100232A	20/03/2001	23/03/2001	27/04/2001	28/04/2001
INTE9300601A	05/10/1993	10/10/1993	19/10/1993	24/10/1993
INTE9400065A	05/10/1993	10/10/1993	02/02/1994	18/02/1994
INTE9400220A	18/10/1993	18/10/1993	27/05/1994	10/06/1994
INTE9400269A	07/01/1994	21/01/1994	06/06/1994	25/06/1994
INTE9400424A	07/01/1994	21/01/1994	08/09/1994	25/09/1994
INTE9500304A	10/10/1993	10/10/1993	18/07/1995	03/08/1995
INTE9500748A	07/09/1995	07/09/1995	08/01/1996	28/01/1996
INTE9600255A	05/10/1993	10/10/1993	17/06/1996	09/07/1996
IOCE0800746A	06/08/2007	06/08/2007	10/01/2008	13/01/2008
MDIE900017A	29/07/1990	29/07/1990	04/12/1990	15/12/1990
NOR19821118	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982
NOR19830111	08/12/1982	31/12/1982	11/01/1983	13/01/1983
NOR19830621	01/04/1983	30/04/1983	21/06/1983	24/06/1983
NOR19830621	01/05/1983	31/05/1983	21/06/1983	24/06/1983

Inondations Remontée Nappe : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0200011A	18/03/2001	28/03/2001	23/01/2002	09/02/2002

Mouvement de Terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0500697A	17/04/2005	18/04/2005	06/10/2005	14/10/2005

Tempête : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
NOR19821118	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982

Poids de la Neige : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
NOR19821215	26/11/1982	28/11/1982	15/12/1982	22/12/1982

Glissement de Terrain : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
NOR19830621	01/04/1983	30/04/1983	21/06/1983	24/06/1983
NOR19830621	01/05/1983	31/05/1983	21/06/1983	24/06/1983

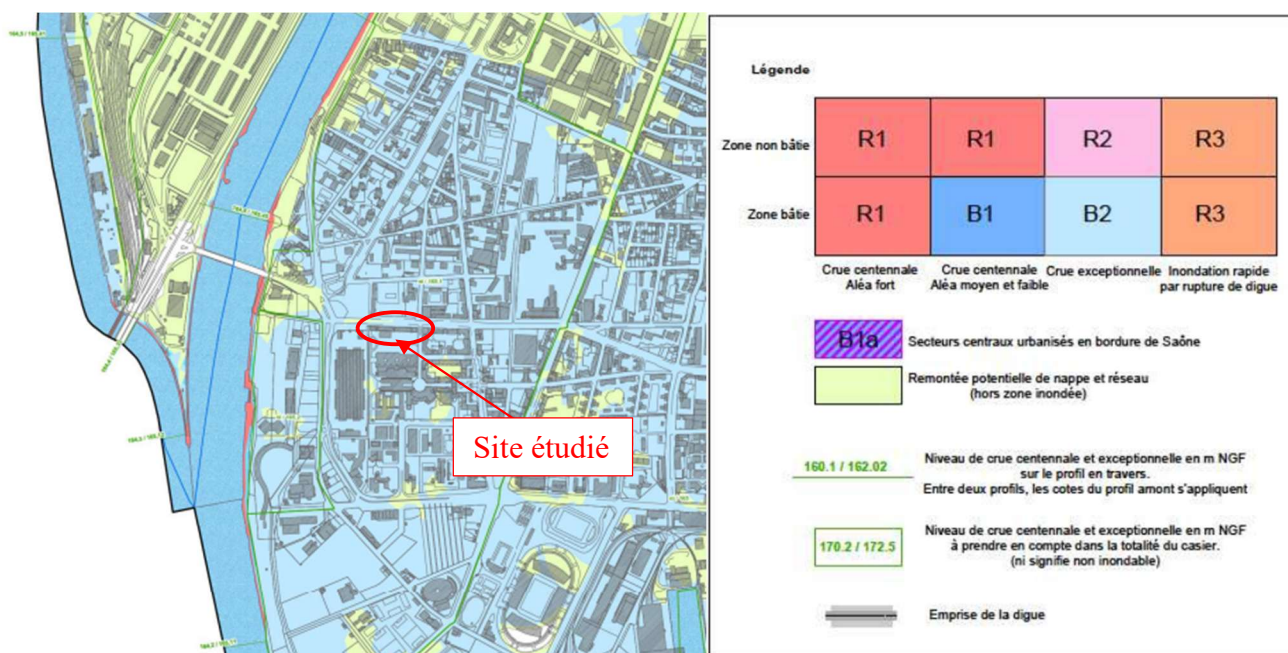
Remarques importantes :

- (*) Quelle que soit la zone d'aléa, le risque de retrait gonflement des argiles ne doit pas être négligé à priori. Néanmoins, au vu de la lithologie rencontrée, ce risque est considéré négligeable au droit du site.
- (**) cette recherche ne porte pas sur le risque de présence d'amiante lié aux activités anthropiques. Il doit faire l'objet d'une étude environnementale/diagnostic de pollution spécifique, qui n'entre pas dans le cadre de notre mission géotechnique ;
- cette recherche ne prend pas en compte les risques « avalanche », « tempête », « ruptures de barrages », qui nécessitent des études spécifiques et ne sont pas en lien direct avec la conception géotechnique du projet objet du présent rapport.

- Il convient de préciser que cet état des lieux des risques naturels évolue régulièrement, il n'est donc exact qu'à la date de rédaction du présent rapport.

A la date de rédaction du présent rapport, la commune de Lyon dispose d'un Plan de Protection contre les Risques Naturels (PPRn), et d'un Plan de Protection contre les Risques d'Inondation (PPRi) approuvé le 02/03/2009. La parcelle objet de cette étude est -d'après l'extrait de carte de zonage du PPR - située en zone B2. Cette zone est exposée à des aléas d'inondation par crue exceptionnelle.

Un extrait de la carte de zonage de ce PPR est présenté ci-dessous :



Un extrait du règlement des zones soumises au risque est présenté ci-dessous :

I.6.2.2. La zone bleue B2

C'est la partie du territoire, inondable à la crue exceptionnelle, dont l'enjeu principal est de réglementer l'implantation des établissements présentant les plus forts enjeux.

La zone bleue B2 délimite le champ d'inondation de la crue exceptionnelle au-delà du champ d'expansion de la crue centennale, en zone urbanisée.

IV. REGLEMENTATION DE LA ZONE BLEUE B2

Elle est délimitée sur les cartes de zonage réglementaire annexées.

Dans la zone bleue B2 sont autorisés tous les travaux, constructions, installations relatifs à des projets nouveaux ou à des biens existants sous réserve des prescriptions définies au chapitre IV.1.

IV.1. Prescriptions

Les établissements à enjeux devront prendre en compte les effets prévisibles de la crue exceptionnelle, dans leur conception et dans leur fonctionnement afin de limiter au maximum les dommages subis ou provoqués jusqu'à cette occurrence de crue.

Les établissements contribuant à la sécurité publique et civile ne pourront être réalisés que sous les conditions suivantes :

- Leur réalisation hors zone inondable n'est pas envisageable pour des raisons techniques et/ou relatives à l'organisation de la sécurité publique et civile.
- Ils devront pouvoir être opérationnels (notamment hors d'eau et accessibles) jusqu'à la crue exceptionnelle.

Les plans et règlements sont consultables sur le site de la préfecture.

6. PROFONDEUR DE MISE HORS GEL DES INFRASTRUCTURES

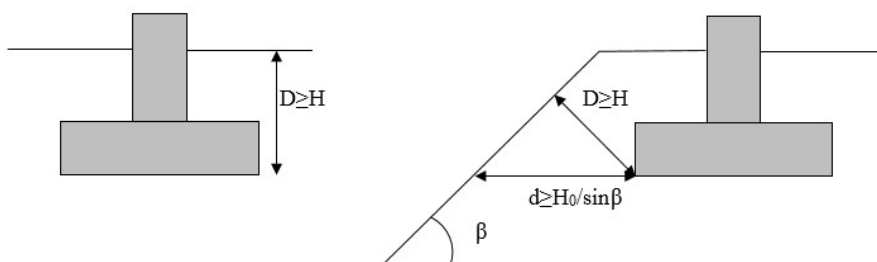
D'après l'Eurocode 7 – NFP 94-261 et à l'amendement A1 de Février 2017, la profondeur de mise au hors-gel des infrastructures est donnée par la formule suivante :

$$Z_{mini} = 70 + \frac{(Altitude - 150)}{4000} \times 100$$

PROFONDEUR DE MISE HORS GEL DES FONDATIONS EUROCODE 7 - NF P 94-261 A1		
ALTITUDE DU SITE	165,20	m
DEPARTEMENT	69	
	RHONE	
PROFONDEUR MINIMALE SELON DEPARTEMENT	70	cm
LA PROFONDEUR DE MISE HORS GEL EST DE :	70,4	cm

La profondeur de mise hors-gel des fondations à retenir est de 0.71 m.

Les schémas suivants explicitent la prise en compte de cette profondeur :



7. DESCRIPTION DU PROJET

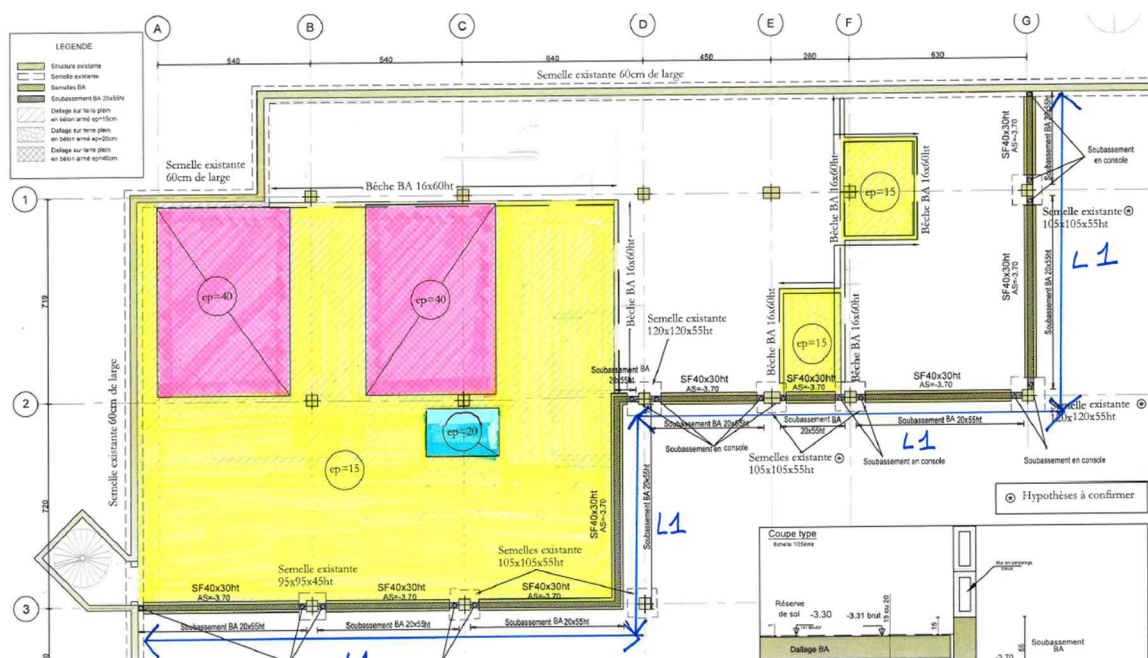
Le projet prévoit la réalisation d'un Cryomicroscope en sous-sol à -3.30m/TN avec le stockage d'une cuve à azote au droit du jardin au Nord du bâtiment.

Les éléments qui nous ont été fournis pour ce projet sont les suivants :

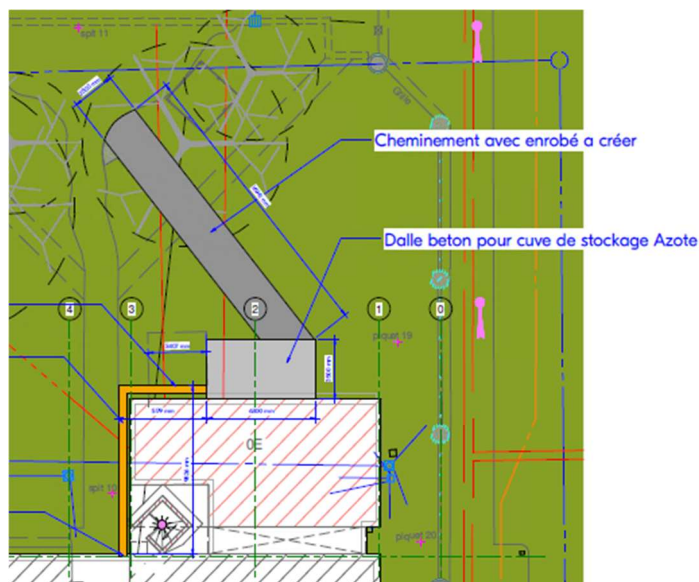
- type de construction : Cryomicroscope + local CTA + radier pour mise en place d'une cuve à azote ;
- niveau de calage du projet : identique
- type de voiries : PL pour le remplissage de la cuve à fioul ;
- terrassement en déblais et remblais : Seulement des déblais pour la création des fondations.

Les extraits de plans ci-après illustrent la configuration du projet :

Cryo-microscope :



Cuve à azote + acheminement PL pour remplissage :



Les descentes de charges communiquées par le bureau d'étude structure CETIS sont les suivantes :

Cryomicroscope :

Pour les murs périphériques créés :

- Chargement filant de 20 kN/ml.

Pour les dallages :

Chargement sur faîtières sous dallage :

$$e = 15 \text{ cm} \quad \left\{ \begin{array}{l} q = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \\ q = 500 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \end{array} \right.$$

Chargement sur dalle :

$$e = 20 \text{ cm} \quad \left\{ \begin{array}{l} q = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \\ q = 2400 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \end{array} \right.$$

Pour les radiers :

Contraintes sous radier ELS :

$$\sigma_{\text{ELS}} = 0,01 \text{ Mpa à } 0,03 \text{ Mpa.}$$

avec $K_v = 3000 \text{ T/m}^3$ → Module de réaction du sol à confirmer par l'étude G2-PRO.

Stockage de la cuve à azote :

Radier $e_p = 25 \text{ cm}$

contraintes sous radier :

$$\sigma_{\text{ELS}} = 0,01 \text{ Mpa à } 0,03 \text{ Mpa}$$

avec $K_v = 3000 \text{ T/m}^3$ → Valeur du module de réaction du sol à confirmer par l'étude G2-PRO.

La durée indicative d'utilisation du projet ne nous a pas été communiquée. En référence à l'annexe nationale à la NF EN 1997:2005 dont un extrait est rappelé ci-dessous, nous retiendrons (entouré en tireté rouge) la durée suivante :

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet (années)	Exemples
1	10	Structures provisoires ^{a)}
2	25	Éléments structuraux remplaçables, par exemple poutres de roulement, appareils d'appui ^{b)}
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures courantes de génie civil et de bâtiments
5	100	Autres structures de génie civil, ponts et structures monumentales de bâtiments
<p><i>a) Les structures ou parties de structures qui peuvent être démontées dans un but de réutilisation ne doivent normalement pas être considérées comme provisoires. Voir également la note 3 ci-dessus.</i></p> <p><i>b) Cette catégorie ne concerne normalement pas les ouvrages géotechniques.</i></p>		

8. PROGRAMME DES INVESTIGATIONS

8.1. Programme des investigations in situ

Le programme des investigations a été réalisé conformément à notre devis. Le sondage pénétrométrique réalisé côté jardin au droit du futur radier de stockage de la cuve à azote a dû être triplé car des refus précoces ont été repérés.

Les sondages ont été implantés en fonction de la position du projet et des contraintes liées aux accès, à la présence des ouvrages existants et des réseaux.

L'implantation des sondages est précisée sur le plan d'implantation fourni en annexe 2.

8.2. Lithologie et caractéristiques géomécaniques

Les différentes investigations in-situ permettent d'établir la lithologie suivante, de haut en bas, au droit de nos sondages :

Cryo-microscope et local CTA (-3.30m/TN) :

[3] Sable et graves : ils sont approximativement rencontrés à partir de 0.00 m de profondeur et jusqu'à la fin du sondage pressiométrique à 9.10 m de profondeur ; leur épaisseur est de l'ordre de 9.10 m.

Stockage de la cuve à azote :

Nous avons réalisé en phase PRO des sondages complémentaires (pénétrométriques et reconnaissance de fondation) au droit de la zone de stockage de la cuve à azote. De plus, plusieurs sondages ont été réalisés au niveau de la cour extérieure pour le projet de rénovation du Crous DEBOURG situé à environ 50m au Nord du site d'étude. Avec l'accord de BOUYGUES CONSTRUCTION SUD EST, ces sondages permettront d'affiner les résultats avec nos sondages complémentaires :

[TV] Terre végétale d'une épaisseur de l'ordre de 15 cm.

[1] Limons graveleux à graves limoneuses : ils sont approximativement rencontrés à partir de 0.15 m de profondeur et jusqu'à 0.85 m (fin RF101) à 1.20 m de profondeur ; leur épaisseur varie entre 0.70 m et 1.05 m.

[2] Sable brun : ils sont approximativement rencontrés à partir de 1.20 m de profondeur et jusqu'à 3.80 m (selon sondages pressiométriques projet BOUYGUES) de profondeur ; leur épaisseur est de l'ordre de 2.60 m.

[3] Sables jaune, présence de graves et blocs : ils sont approximativement rencontrés à partir de 3.80 m de profondeur et jusqu'à la fin de sondages entre 12.35 et 12.60 m de profondeur ; leur épaisseur varie au minimum entre 8.55 m et 8.80 m.

Au droit même des voiles du sous-sol, d'après les plans de fondation fournis, il y a un gravier tout venant propre en appui avec un drainage en pied du voile.

Il convient de noter que les sondages au pénétromètre dynamique constituent un mode d'investigation « aveugle » et qu'il est par conséquent difficile d'attribuer une correspondance précise entre la lithologie des sols et les résistances mécaniques mesurées.

8.3. Conditions hydrologiques et hydrogéologiques

Aucune arrivée d'eau n'a été notée pendant les sondages, mais il s'agit d'informations instantanées, ne traduisant pas les fluctuations possibles des circulations d'eaux en fonction des saisons.

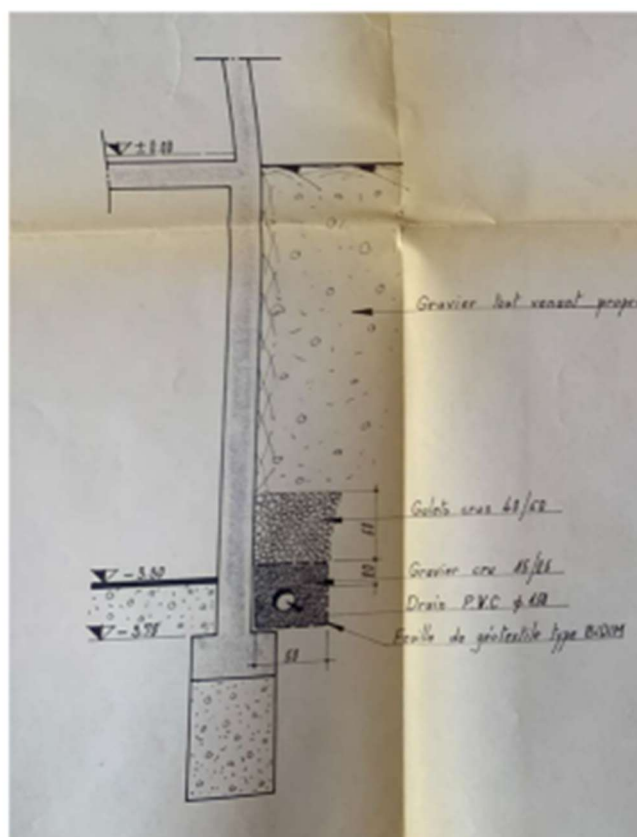
Il faut noter que des circulations d'eau au sein de la formation [3] Sable et graves et dans la formation [1] Limons graveleux à graves limoneuses sont possibles notamment lors d'épisodes pluvieux prononcés.

A ce stade, en l'absence de suivi piézométrique sur une longue période, il faut considérer que la nappe va connaître des battements pluri-métriques et sera rencontrée plus haute et plus basse durant la vie du projet, que les mesures ponctuelles effectuées dans le cadre de la présente étude.

8.4. Reconnaissance des fondations actuelles et des ouvrages mitoyens

Les reconnaissances de fondations ont été réparties le long d'ouvrages mitoyens au projet le long des poteaux de fondation et du voile en façade Nord en sous-sol pour le Cryo microscope ainsi que sur la façade Nord depuis le jardin pour le stockage de la cuve à azote, en fonction des contraintes liées aux accès et aux infrastructures existantes, aux réseaux.

Un plan des fondations au droit des poteaux nous avait été fourni ce qui permettait de vérifier la véracité du document, il est présenté ci-dessous :



NOTA :	Le niveau $\pm 0,00$ correspond au niveau NGF 165,20
Puits :	Contrainte admissible sur le sol : 8 bars
	Fond de fouilles : 160,40 \approx
Semelles :	Contrainte admissible sur le sol : 5 bars
	Fond de fouilles : 161,00 \approx

D'après ces informations, l'arase inférieure des semelles sous les voiles est à 161.00 NGF soit à - 0.90m/niveau de parking en sous-sol à 161.90 NGF d'après le plan topographique fourni.

La synthèse de ces reconnaissances est disponible dans le tableau ci-dessous :

Fouille	Localisation	Mode de fondation reconnu	Profondeur des Fondations /TN	Nature du sol sous fondations
RF1	Façade Nord depuis le parking en sous-sol	Soubassement : semelle filante béton	0.59 m	Formation [3] Sable et graves
RF2	Poteau de fondation, voir PI	Soubassement : Semelle isolée béton	0.50 m	Formation [3] Sable et graves
RF101	Façade Nord depuis le jardin	Soubassement : semelle filante béton	0.75 m	Formation [1] Limons graveleux à graves limoneuses

Le sol de fondation en sous-sol est à dominante sableuse à graves. Au droit du futur stockage de la cuve à azote, le sol de fondation est à dominante limoneuse à graves.

On note également que les fondations reconnues sont assez profondes pour être considérées comme hors-gel. (-0.71 m /TN nécessaire).

9. SYNTHÈSE GEOTECHNIQUE DE NIVEAU PROJET

La synthèse des caractéristiques géomécaniques moyennes par formation est proposée dans le tableau suivant :

Cryo-microscope et local CTA (-3.30m/TN) :

	Epaisseur moyenne	Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif	Résistance dynamique de pointe	Pression limite nette	Module pressiométrique	Coef rhéologique
Formation	(m)	γ_h (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	qd (MPa)	Pl* (MPa)	E_M (MPa)	α
[3] Sable et graves	>9.10	20	0	35	10 à 30	3.5	50	0.33

Stockage de la cuve à azote (+0.00m/TN) :

	Epaisseur moyenne	Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif	Résistance dynamique de pointe	Pression limite nette	Module pressiométrique	Coef rhéologique
Formation	(m)	γ_h (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	qd (MPa)	Pl* (MPa)	E_M (MPa)	α
[1] Limons graveleux à graves limoneuses	1.00	19	1	28	15	-	-	0.50
[2] Sable brun	2.60	20	0	30	7	0.5	8.00	0.33
[3] Sable jaune à graves	8.60	20	0	35	30	3	55	0.33

En l'absence d'essais en laboratoire spécifiques à ce stade, les paramètres de cisaillement C et ϕ ont été estimés à partir de notre expérience et des résultats des investigations physiques et mécaniques disponibles. Ils devront être confirmés ou modifiés aux stades ultérieurs du projet (phase Exécution).

En ce qui concerne la nappe et les circulations d'eaux, on retiendra les principaux points suivants :

- Aucune venue d'eau repérée lors de nos sondages en date 08/04/2025 ; 24/04/2025, 07/05/2025 et 01/10/2025 ;
- Fluctuations saisonnières non connues.

En l'absence d'un suivi piézométrique à moyen/long terme et d'une étude hydrogéologique, il n'est pas possible de déterminer les niveaux caractéristiques de la nappe sur le secteur étudié.

Avec l'accord de l'entreprise BOUYGUES CONSTRUCTION SUD EST et ANTEA, nous présentons ci-dessous les niveaux caractéristiques de la nappe phréatique au droit du projet de rénovation du Crous Debourg situé à environ 50m au Nord du site étudié.

L'écoulement des eaux étant dans le sens Nord-Sud, les niveaux devraient être plus bas que ceux présentés.

Niveaux	Notations	Définitions	Niveaux d'eau (m NGF)	Amplitude / EB
Niveau caractéristique	EE/50*	Niveau de période de retour de 50 ans	161,5	+2
Niveau caractéristique	EE/10	Niveau de période de retour de 10 ans	161,0	+1,5
Niveau fréquent	EF	Niveau susceptible d'être dépassé pendant 1 % du temps de référence (TR)	159,9	+0,4
Niveau quasi-permanent	EB	Niveau susceptible d'être dépassé pendant la moitié du temps de référence (TR)	159,5	0
Niveau fréquent bas	EFb	Niveau susceptible d'être dépassé pendant 1 % du temps de référence (TR)	159,2	-0,3

Il est rappelé que ces informations sont purement informatives et n'engagent en rien le bureau d'étude ANTEA.

Le secteur étudié se situant plus en aval que l'analyse hydrogéologique réalisée, les niveaux d'eau devront être légèrement plus bas que ceux indiqués dans le tableau ci-dessus au droit du site d'étude du projet de cryomicroscope + stockage cuve à azote.

10. CONTEXTE SISMIQUE

Zone sismique	2	Faible
Catégorie d'importance de l'ouvrage supposée (**)	III	Ouvrages dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique
Nécessité de prise en compte des préconisations parasismiques	OUI	
Classe de sols (*)	B	Dépôts raides de sable, de graviers ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.
Nécessité de prise en compte du risque de liquéfaction	OUI Compte-tenu de la nature (graveleuse) des sols et de l'absence de circulations d'eaux à faible et moyenne profondeur, ce risque peut être considéré comme négligeable.	
Magnitude	Sans objet	

(*) A ce stade du projet, nous ne connaissons pas les caractéristiques des sols sur 30 m de profondeur. Il est donc proposé une classification provisoire des sols, par extrapolation des sondages peu profonds disponibles et de notre connaissance du secteur ; elle devra être confirmée au stade ultérieur du projet (étude exécution G3), à l'appui par exemple :

- de sondages profonds,
- et/ou d'une prospection géophysique permettant de déterminer les vitesses Vs (MASW, etc...).

(**) cette hypothèse de catégorie formulée par CONFLUENCE devra être confirmée par le Maître d'Ouvrage, et pourra engendrer une modification du présent rapport.

Les tableaux suivants présentent les paramètres obtenus :

classe de sol	B
zone sismique	2
classe de bâtiment	III
coefficient topo	1
agr	0,7
γ_I	1,2
ag	0,84
α	0,086
S	1,350
kh	0,058
kv	0,029

11. ZONE D'INFLUENCE GEOTECHNIQUE DU PROJET (Z.I.G)

Pour ce projet, et sur la base des informations actuellement en notre possession, on peut identifier les ouvrages ou aménagements suivants situés dans sa Zone d'Influence Géotechnique (Z.I.G) :

- Le parking actuel en sous-terrain ;
- Bâtiment ENS au niveau RDC pour la zone de stockage de la cuve à azote.

La conception géotechnique du projet prend en compte ces aménagements au stade de cette phase projet.

Au stade ultérieur du projet et notamment en fonction de l'évolution de ses caractéristiques (implantation sur la parcelle, importance des sous-sols, terrassements, gestion des eaux et drainage, etc...), la Z.I.G. devra être actualisée et la conception géotechnique du projet devra être adaptée en conséquence.

12. ADAPTATION GENERALE DU PROJET AU SITE – CONTRAINTES

D'après le contexte du site, les résultats des sondages réalisés, et les caractéristiques connues du projet, les contraintes du site sont les suivantes :

- La configuration du projet sur deux niveaux décalés (stockage cuve à azote en RDC et cryomicroscope en niveau de sous-sol) ;
- La présence de mitoyens ;
- La présence de potentiels vestiges, repérés sur RF1 (ancien dallage ?).

Cryomicroscope en sous-sol :

Pour les nouveaux voiles périphériques réalisés en sous-sol, ils pourront être fondés superficiellement type filant avec un ancrage dans la formation [3] Sable et graves.

Les radiers prévus pourront être réalisés en reposant sur la formation [3] Sable et graves.

Pour les dallages prévus, ils pourront être réalisés sur terre-plein.

Stockage de la cuve à azote :

Le radier prévu pourra être réalisé en reposant sur la formation [1] Limon graveleux à graves limoneuses par le biais d'un remblai de mise à niveau et en créant des bèches périphériques afin de respecter la profondeur de mise hors-gel de 0.71m.

13. INSERTION DU PROJET SUR LE TERRAIN, CALAGE GENERAL DE LA PLATE-FORME, TERRASSEMENTS GENERAUX

13.1. Conception générale

Compte-tenu de l'insertion du projet sur le terrain actuel et de son calage altimétrique, nous faisons les observations suivantes :

	Cryomicroscope en sous-sol
Nature de la plateforme	[3] Sable et graves
Classe de plateforme attendue	PST2-AR1
Critère de réception essais à la plaque	EV2 > 50 MPa
Couche de forme sous dallages	Matériau CdF : D2/D3 Epaisseur : 0.10 m
Réutilisation matériaux	OUI Cf § 13.2.1.
Reconditionnement du fond de forme	Cf. ci-après

A l'issue des séries d'essais à la plaque, si la portance des sols supports s'avérait mauvaise ($EV2 \leq 20$ MPa), il serait alors nécessaire de prévoir un reconditionnement du fond de forme (aération, compactage), et au besoin leur cloutage (incorporation de graves blocailleuses type 100-300 mm, par compactage jusqu'au refus), ou des purges (blocs, zones décomprimées, zones humides, etc...).

L'ensemble des terrassements devra être réalisé conformément au Guide Technique pour la Réalisation des remblais et des couches de formes.

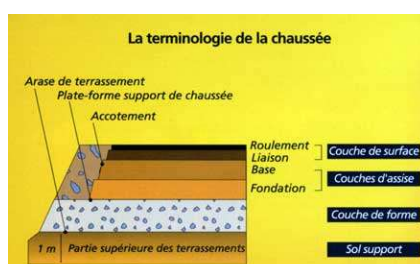
Les moyens de compactage et les épaisseurs de couche unitaire devront être adaptés à la granulométrie et à l'état hydrique des matériaux et aux conditions météorologiques.

Le diamètre des plus gros éléments ne devra pas être supérieur au 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.

On prévoira une planche d'essai au démarrage des travaux pour évaluer précisément les modalités de compactage.

On veillera à fermer les plates-formes en cas de prévision météorologique défavorable.

Nous rappelons ci-dessous les terminologies usuelles :



14. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES FONDATIONS SUPERFICIELLES

14.1. Semelles superficielles : filantes

14.1.1. Descentes de charges

Les données transmises par le bureau d'étude structure CETIS sont présentées ci-dessous :

Charge linéaire sur les murs périphériques : **G = 20 kN à l'ELS.**

14.1.2. Conception

Les semelles seront ancrées de 0.30 m minimum dans la formation [3] Sable et graves.

Pour des raisons de stabilité, la largeur de ces semelles ne pourra être inférieure à 0,4 m pour des semelles filantes, elle devra en outre être suffisante pour limiter les contraintes sous celles-ci.

14.1.3. Dimensionnement

Pour des fondations superficielles ancrées dans la formation [3] Sable et graves et soumises à des charges verticales et centrées, il est retenu la valeur de calcul de la contrainte nette suivante à l'ELU et à l'ELS :

$$\sigma_{v,dELU} = 0.82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v,dELS} = 0.50 \text{ MPa}$$

Nous avons réalisé les calculs de capacité portante et des tassements avec le logiciel GEOFOND, à partir des descentes de charges fournies. Toutefois, ces données étant provisoires et non pondérées aux états limites ELS, les calculs ont été réalisés en considérant des descentes de charges maximales (G+Q) considérées comme verticales et centrées. Lorsque les moments et les descentes de charges exactes auront été calculés avec les pondérations réglementaires aux Eurocodes, il sera nécessaire de vérifier l'ensemble des Etats Limites susceptibles d'affecter les fondations de l'ouvrage.

Les calculs sur GEOFOND ont été exécutés à partir des caractéristiques géomécaniques détaillées au paragraphe 9 et du sondage pressiométrique SP1 et de corrélations prudentes entre les résultats pénétrométriques et des valeurs pressiométriques. Les valeurs représentatives retenues pour chaque formation sont les suivantes :

	Epaisseur moyenne	Poids volumique humide	Cohésion effective	Angle de frottement effectif	Résistance dynamique de pointe	Pression limite nette	Module pressiométrique	Coef rhéologique
Formation	(m)	γ_h (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	q_d (MPa)	PI^* (MPa)	E_M (MPa)	α
[3] Sable et graves	>9.10	20	0	35	10 à 30	3.5	50	0.33

Ils ont été réalisés avec un niveau fini à 0.30 m de profondeur /niveau du sous-sol.

Les dimensions des fondations ainsi que les descentes de charges communiquées par le bureau d'étude CETIS vérifient la contrainte nette à l'ELS ($q_{ref} < \sigma_{v,dELS}$ soit $q_{ref} < 0.50 \text{ MPa}$).

Zone projet / Bâtiment		A
Type de semelle		Filante
Descente de charge verticale (kN)	ELS qp (cas de charge 1)	20
Profondeur d'assise /sous-sol (m)		0.30
qref à l'ELS qp(MPa)		0.05
Dimensions (m)		0.40
Charge admissible Rv ;d à l'ELS qp (kN)		439.60
Tassements théoriques à l'ELS qp (cm)		0.02
Excentricité		Vérifié
Glissement		Vérifié
Figure GEOFOND		1

Les tassements théoriques absolus seront négligeables (inférieurs au millimètre) pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non-remaniement des fonds de fouille. De même, les tassements différentiels seront négligeables.

Les résultats de ces calculs sont présentés en annexe 3.

14.2. Fondations par radier (sous-sol + stockage cuve à azote)

14.2.1. Conception

La réalisation du radier dans de bonnes conditions nécessitera la réalisation d'une plate-forme de travail par l'intermédiaire d'une couche de grave D2 compactée d'une épaisseur minimale de 20 cm avec intercalation d'un géotextile anti-poinçonnement au contact du fond de forme.

Des purges et substitution supplémentaires par des matériaux de type couche de forme (D2 ou D3 au sens du GTR) seront localement nécessaires pour s'affranchir des éventuels horizons de remblais [R] ou de terrains décomprimés qui seraient présents sous les fondations.

On prévoira la mise en place d'une couche de fermeture en matériaux d'apport type 0/31.5mm insensibles à l'eau sur une épaisseur de l'ordre de 5 cm minimum.

On peut aussi envisager de réaliser un béton de propreté directement au contact du sol support après avoir intercalé une membrane d'étanchéité.

Dans les 2 cas, la méthodologie des travaux devra être prise en compte et pourra conduire à adapter les préconisations, suivant : la portance du fond de forme, le besoin d'une plate-forme de travail de bonne portance, les conditions météorologiques, les moyens de bétonnage qui nécessiteront ou non un trafic de chantier sur le sol support, etc...).

Le radier sollicitera la formation [3] Sable et graves pour le sous-sol et [1] Limons graveleux à graves limoneuses pour le radier de stockage de la cuve à azote.

Le radier devra toujours respecter la profondeur de mise hors-gel de 0.71 m par rapport au niveau du terrain fini (après aménagement) ; pour cela, il pourra être envisagé de créer des bèches périphériques au lieu d'un approfondissement généralisé du radier de stockage de la cuve à azote.

14.2.2. Dimensionnement

14.2.2.1. Contrainte admissible sous radier

Dallage et radier en sous-sol :

Pour un radier sollicitant la formation [3] Sable et graves et soumis à des charges verticales, il est retenu la valeur de calcul de la contrainte nette suivante à l'ELU et à l'ELS :

$$\sigma_{v,dELU} = 0.82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v,dELS} = 0.50 \text{ MPa}$$

Radier de stockage de la cuve à azote :

Pour un radier sollicitant la formation [1a] Limons graveleux à graves limoneuses et soumis à des charges verticales, il est retenu la valeur de calcul de la contrainte nette suivante à l'ELU et à l'ELS :

$$\sigma_{v,dELU} = 0.16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v,dELS} = 0.10 \text{ MPa}$$

14.2.2.1. Calcul des tassements absolus

Les contraintes appliquées sur chacun des radiers/dallage du projet nous ont été transmises par le bureau d'étude CETIS et sont présentées ci-dessous :

Radier et dallage au sous-sol :

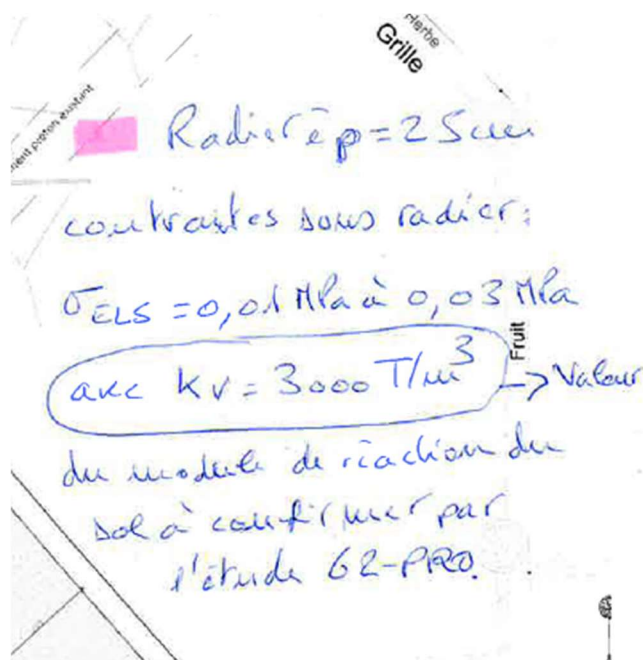
Charges sur les faces sous dallage =

$e = 15 \text{ cm}$	$\left\{ \begin{array}{l} q = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \\ q = 500 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \end{array} \right.$
$e = 20 \text{ cm}$	$\left\{ \begin{array}{l} q = 200 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \\ q = 2400 \text{ kg/m}^2 \text{ (ELS)} \end{array} \right.$

Contraintes sous radier ELS :

$\sigma_{ELS} = 0,01 \text{ MPa à } 0,03 \text{ MPa.}$
 avec $K_v = 3000 \text{ T/m}^3$ → Module de réaction du sol à confirmer par l'étude G2-PRO.

Radier stockage cuve à azote :



Les calculs de tassements ont été réalisés à l'aide du logiciel FOXTA module TASSPLAQ et sont présentés en annexe 4. Les calculs ont été exécutés à partir des caractéristiques géomécaniques détaillées au paragraphe 9 et à partir du sondage pressiométrique SP1 et de corrélation prudente entre valeurs pénétrométriques et pressiométriques.

Au droit du sous-sol :

	Epaisseur moyenne	Pression limite nette	Module pressiométrique	Coefficient rhéologique	Module de Young du sol	Coefficient de poisson
Formation	(m)	PI* (MPa)	EM (MPa)		Esol (MPa)	
[3] Sable et graves	>9.20	3.5	50	0.33	150	0.3

Au droit de la cuve d'azote :

	Epaisseur moyenne	Pression limite nette	Module pressiométrique	Coefficient rhéologique	Module de Young du sol	Coefficient de poisson
Formation	(m)	PI* (MPa)	EM (MPa)		Esol (MPa)	
[1] Limons graveleux à graves limoneuses	1.00	-	-	0.50	25	0.3
[2] Sable brun	2.60	0.5	8.0	0.33	20	0.3
[3] Sable et graves	>8.60	3.0	55.0	0.33	150	0.3

Voici ci-dessous la justification des choix de rapport E/E_M :

		E/E_M
Argiles	Normalement consolidées	4,5
	Surconsolidées	3
Limons	Normalement consolidés	4,5
	Surconsolidés	3
Sables	Lâches	4,5
	Denses	3
Graves	Lâches	6
	Serrées	4,5

Notes :

a Les modules de type Young de sols comme les craies ou les marnes peuvent être déterminés par analogie avec les sols correspondants dans ce tableau.

b Dans le cas de surfaces chargées de grandes dimensions, comme les radiers où la pression de préconsolidation peut être dépassée, un module de type oedométrique sécant peut être défini à partir de la relation suivante :

$$M = \frac{E_M}{\alpha}$$

(où α est le coefficient rhéologique défini dans l'Annexe H)

Des valeurs plus faibles de ce module de type oedométrique sécant doivent être prises compte dans certains cas, notamment celui de matériaux argileux faiblement consolidés. Dans ces cas, en l'état actuel de nos connaissances, il est par conséquent vivement recommandé de calculer les valeurs de tassement à partir de modules de déformation mesurés en laboratoire.

Les caractéristiques des radiers/dallages tirées des documents fournis sont les suivantes :

Dallage 1, sous-sol :

- Epaisseur 0.15 m,
- Béton long terme,
- Dallage 1.50x3.80m ; 2.80x3.65m ; 17.20x14.30m.

Dallage 2, sous-sol :

- Epaisseur 0.20 m,
- Béton long terme,
- Dallage 1.60x2.50m.

Radier 1, sous-sol :

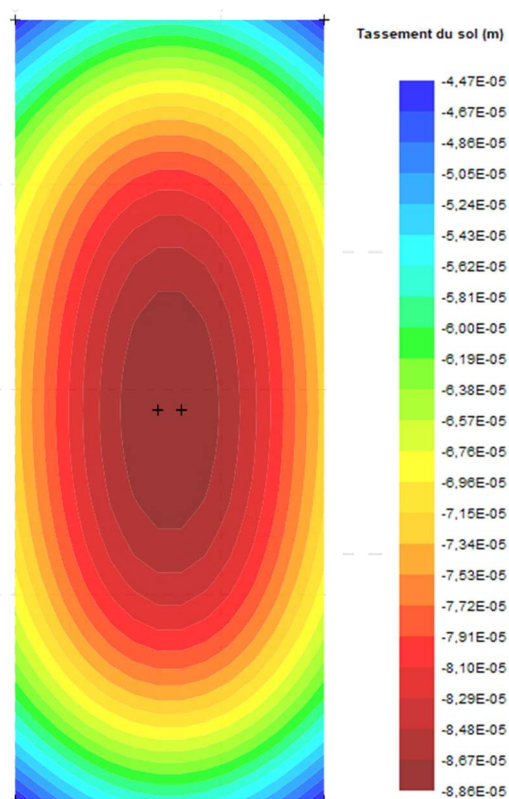
- Epaisseur 0.40 m,
- Béton long terme,
- Radier 4.80x6.65m.

Radier 2, jardin :

- Epaisseur 0.25 m,
- Béton long terme,
- Radier 3.50x6.30m.

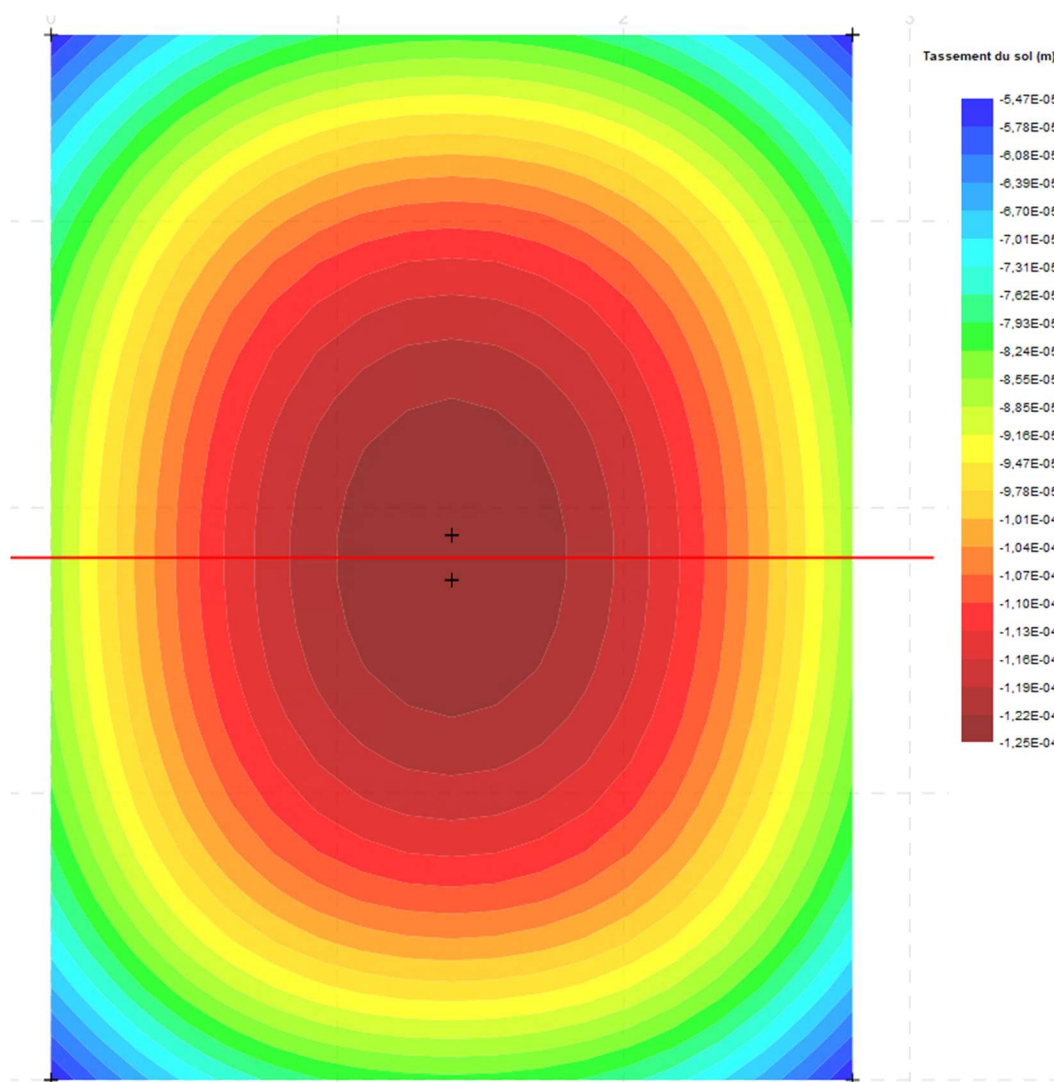
Les diagrammes ci-dessous présentent la répartition des valeurs de tassement sous les radiers/dallage en mètres :

Dallage 1, 1.50 x 3.80 m :



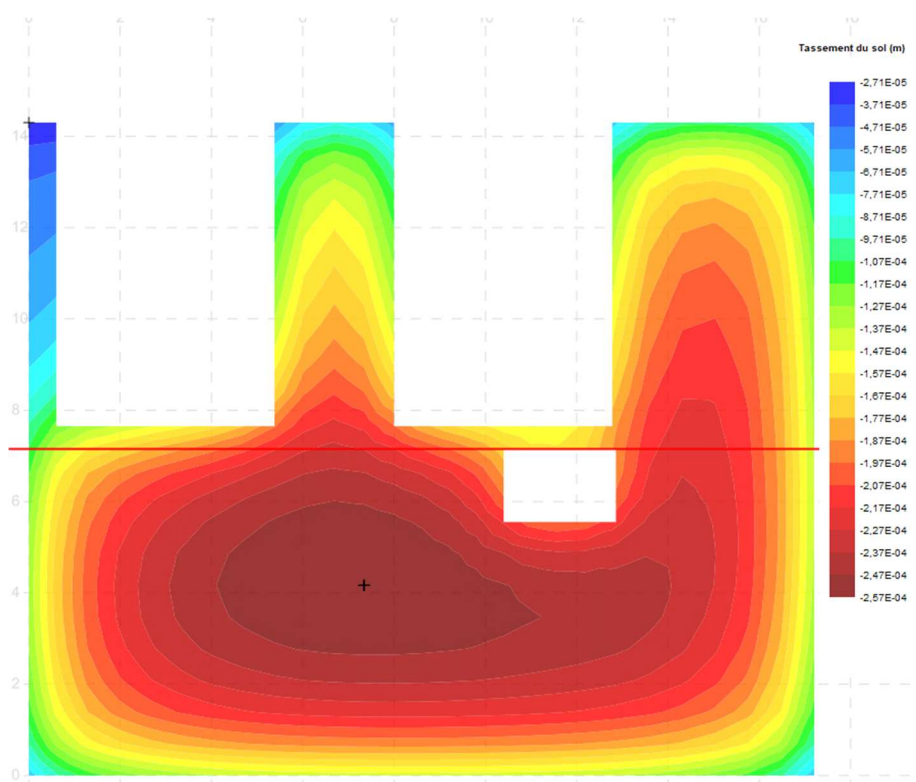
Les tassements théoriques absolus seront compris entre 0.40 et 0.90 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

Dallage 1, 2.80 x 3.65 m :



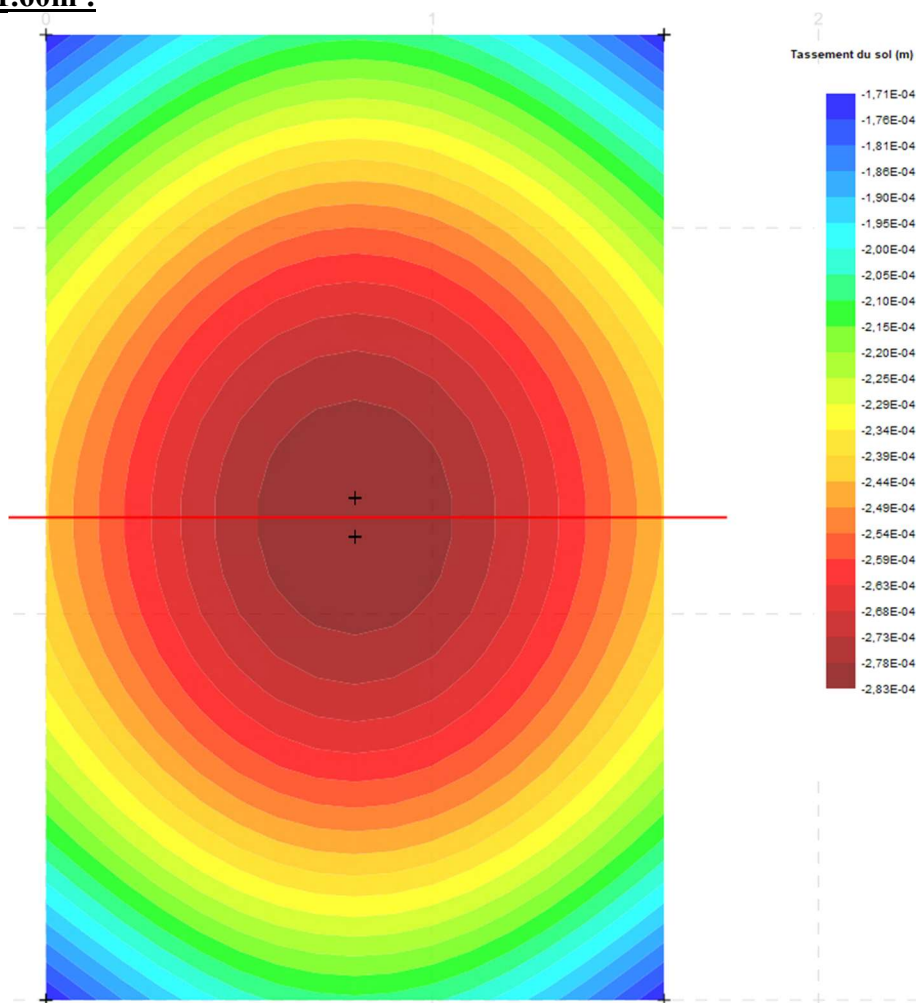
Les tassements théoriques absolus seront compris entre 0.10 et 0.12 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

Dallage 1, 14.3 x 17.2 m :



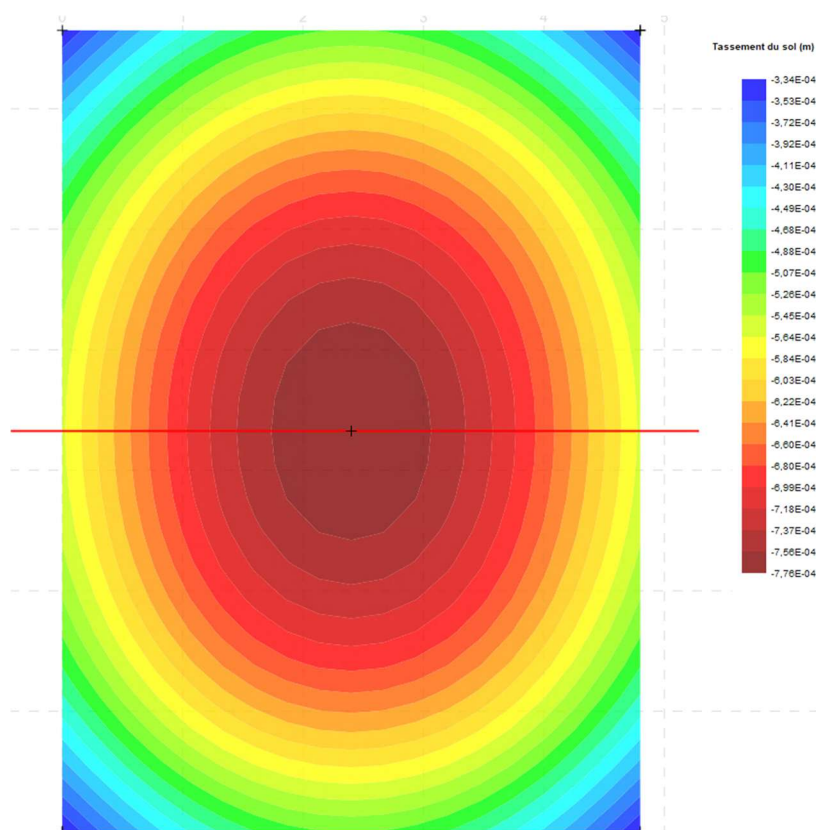
Les tassements théoriques absolus seront compris entre 0.02 et 0.25 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

Dallage 2, 2.50x1.60m :



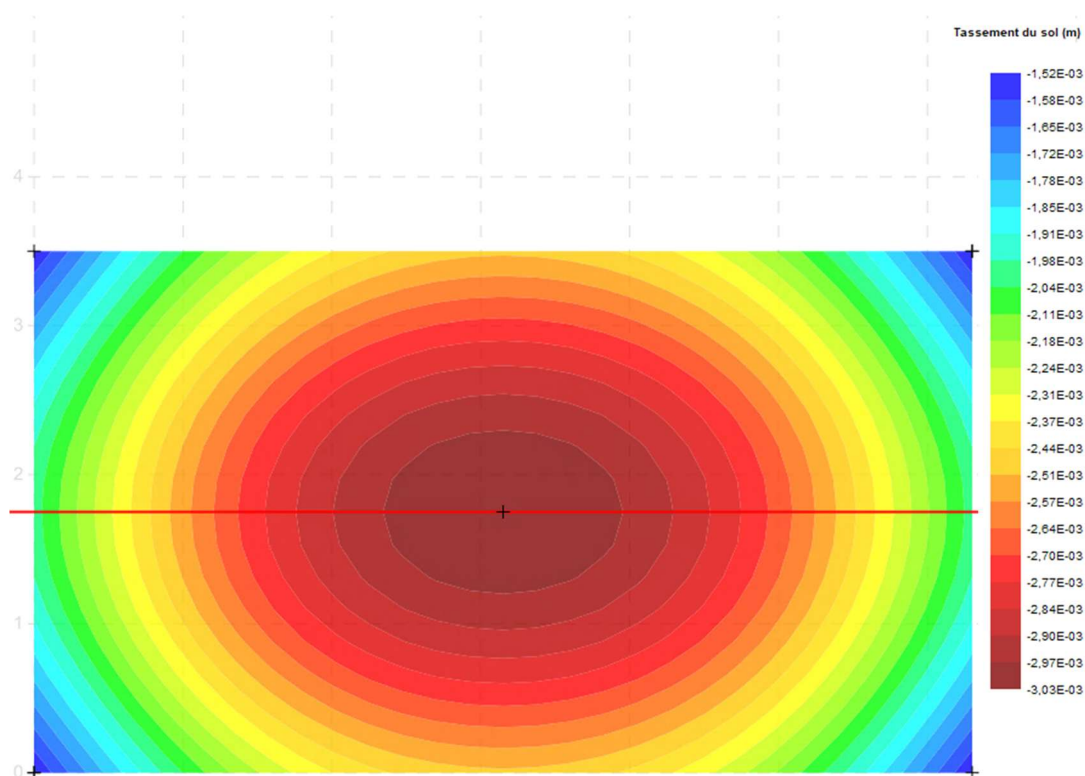
Les tassements théoriques absolus seront compris entre 0.20 et 0.30 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

Radier 1 (sous-sol), 4.80x6.65m :



Les tassements théoriques absolus seront compris entre 0.30 et 0.80 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

Radier 2, 3.50x6.30m :



Les tassements théoriques absolus seront compris entre 1.5 et 3 mm pour les charges attendues et dans le respect des contraintes nettes données ci-dessus, sous réserve d'un non remaniement des fonds de fouille.

14.2.2.2. Module de réaction statique

Le module de réaction statique sous le radier peut être estimé à partir de la relation simplifiée suivante :

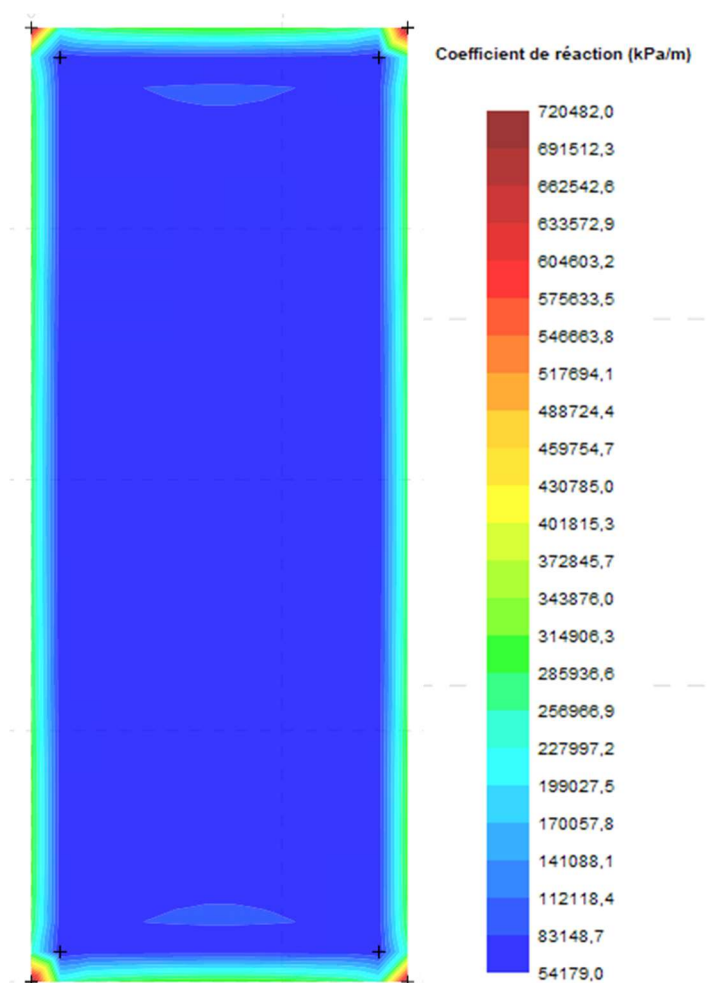
$$K_v = \sigma / w.$$

Avec :

- σ : contrainte appliquée en sous-face du radier ;
- w : tassement.

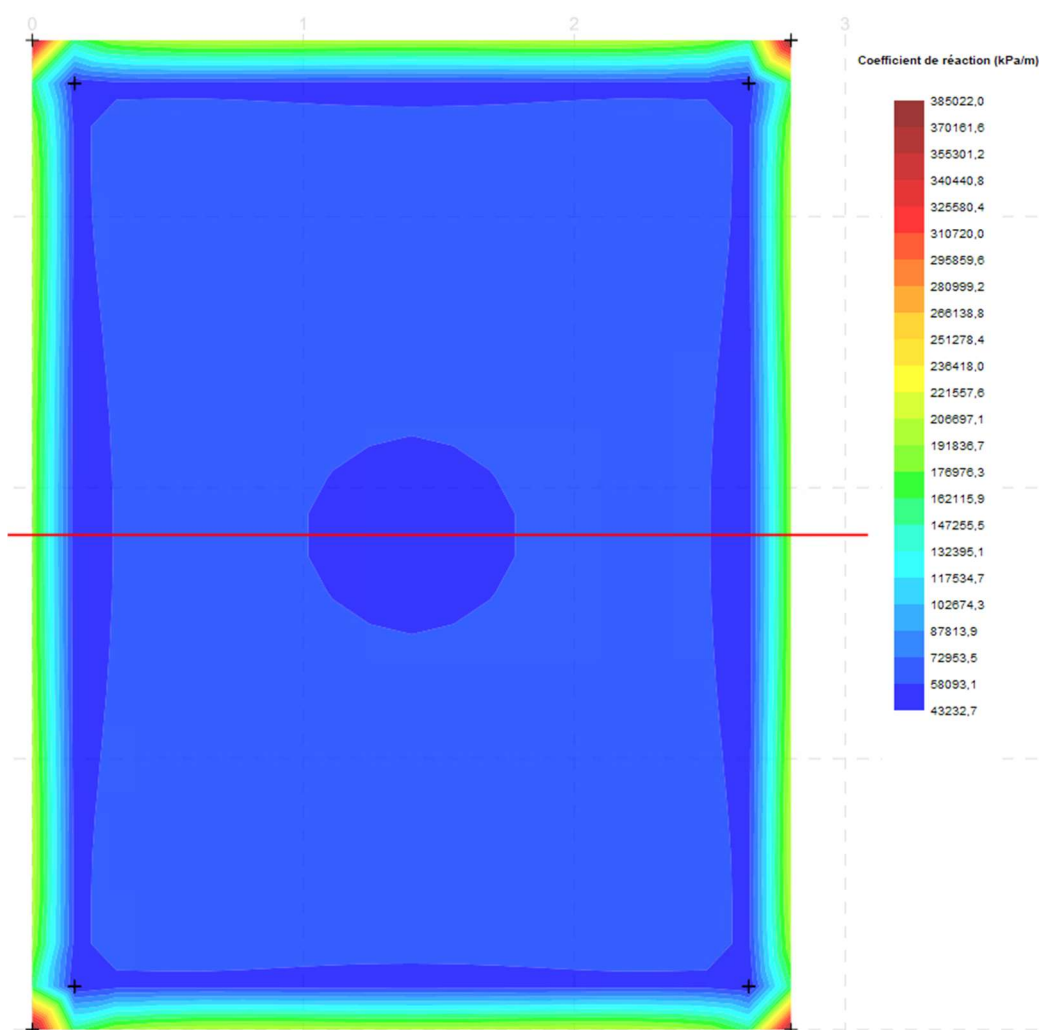
Les diagrammes ci-dessous présentent la répartition des valeurs de modules de réaction statique en kPa/m en fonction des dallages/radiers étudiés :

Dallage 1, 1.5x3.8m :



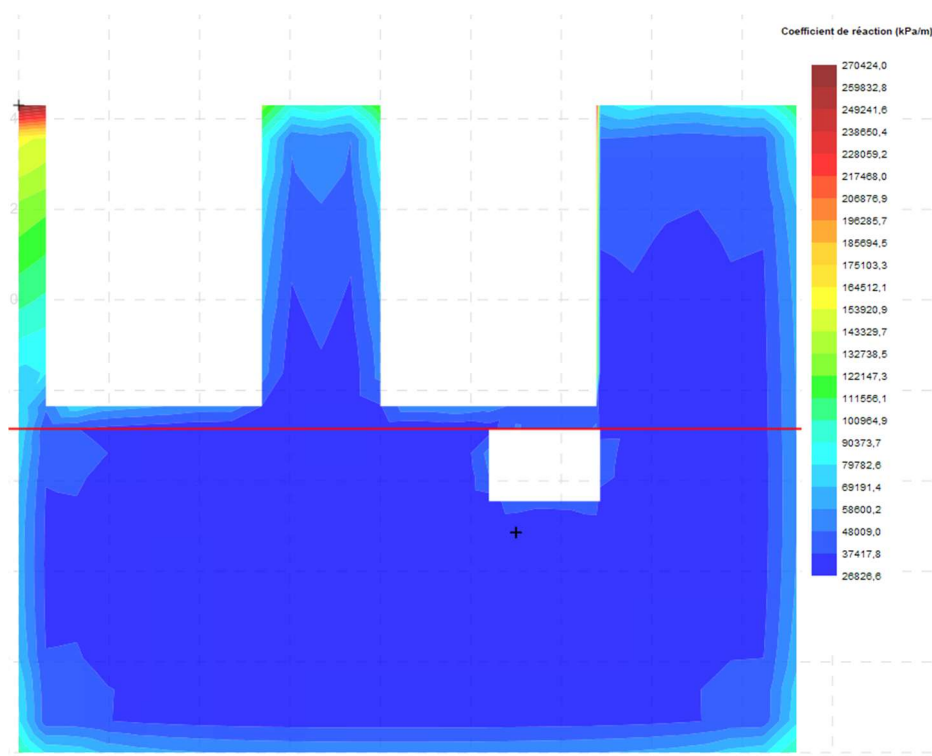
Le coefficient de réaction moyen est de 73 MPa/m.

Dallage 1, 2.80x3.65m :



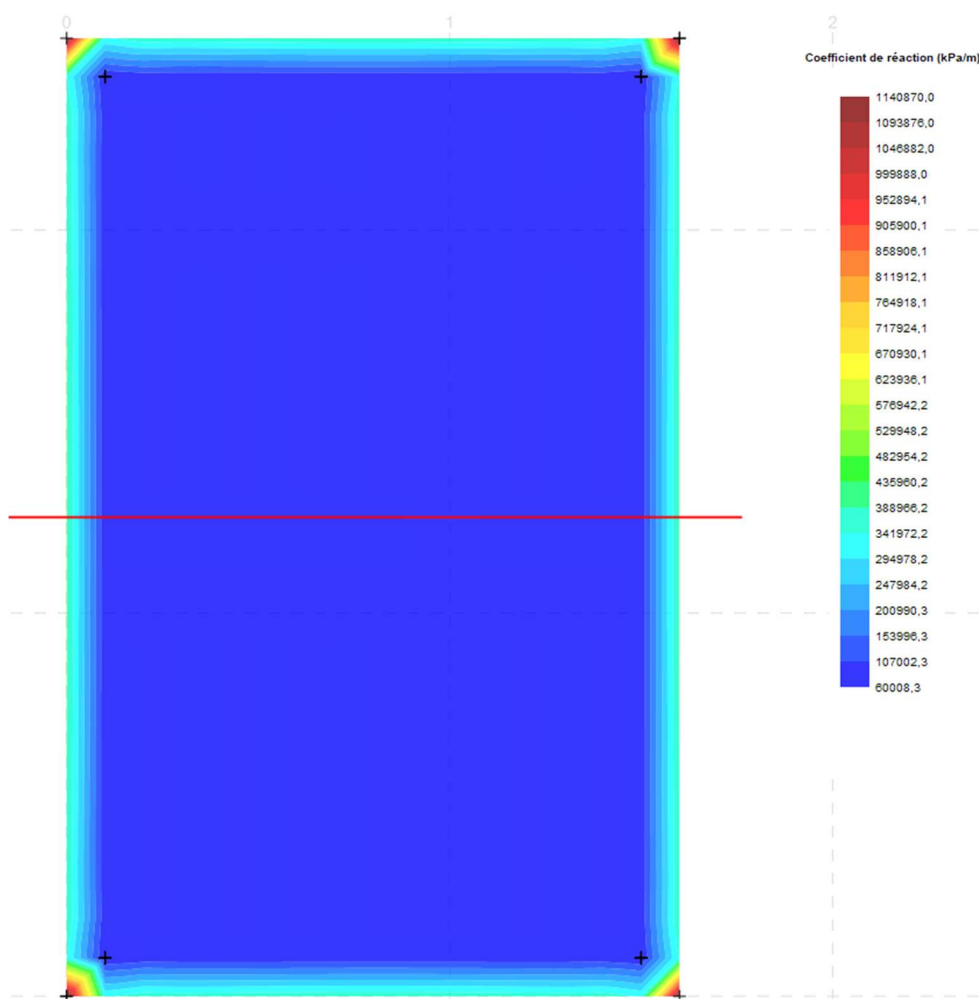
Le coefficient de réaction moyen est de 58 MPa/m.

Dallage 1, 14.30x17.20m :



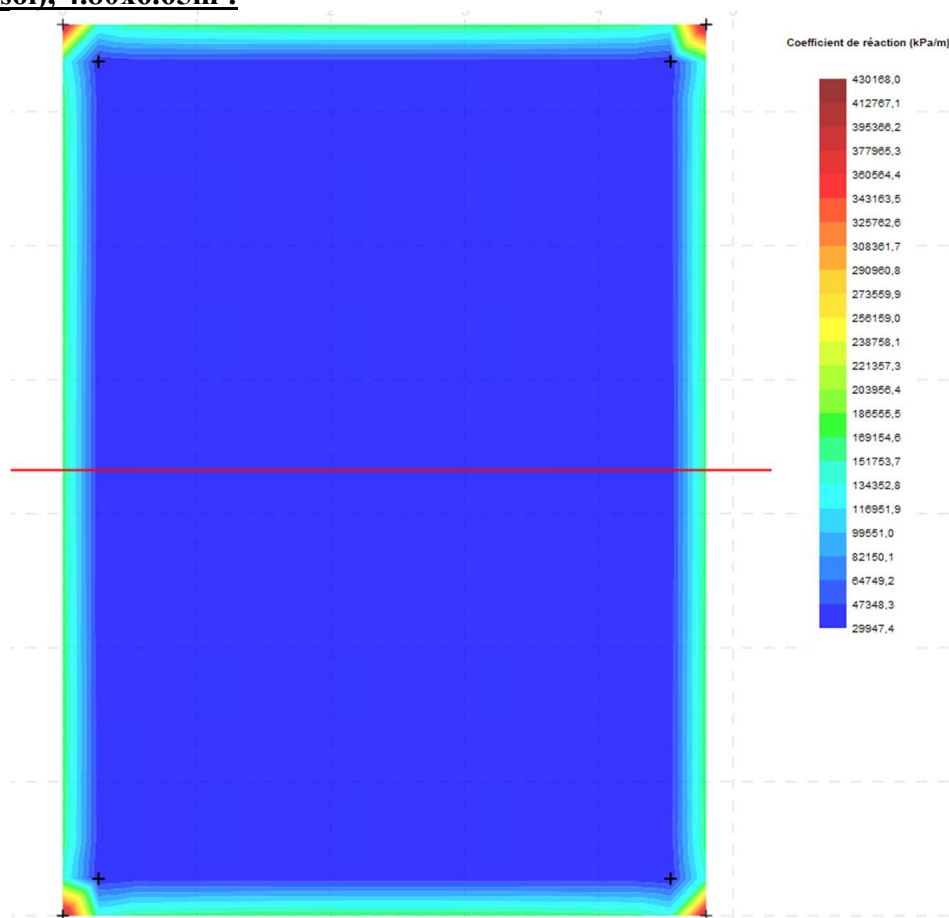
Le coefficient de réaction moyen est de 30 à 50 MPa/m.

Dallage 2, 2.50x1.60m :



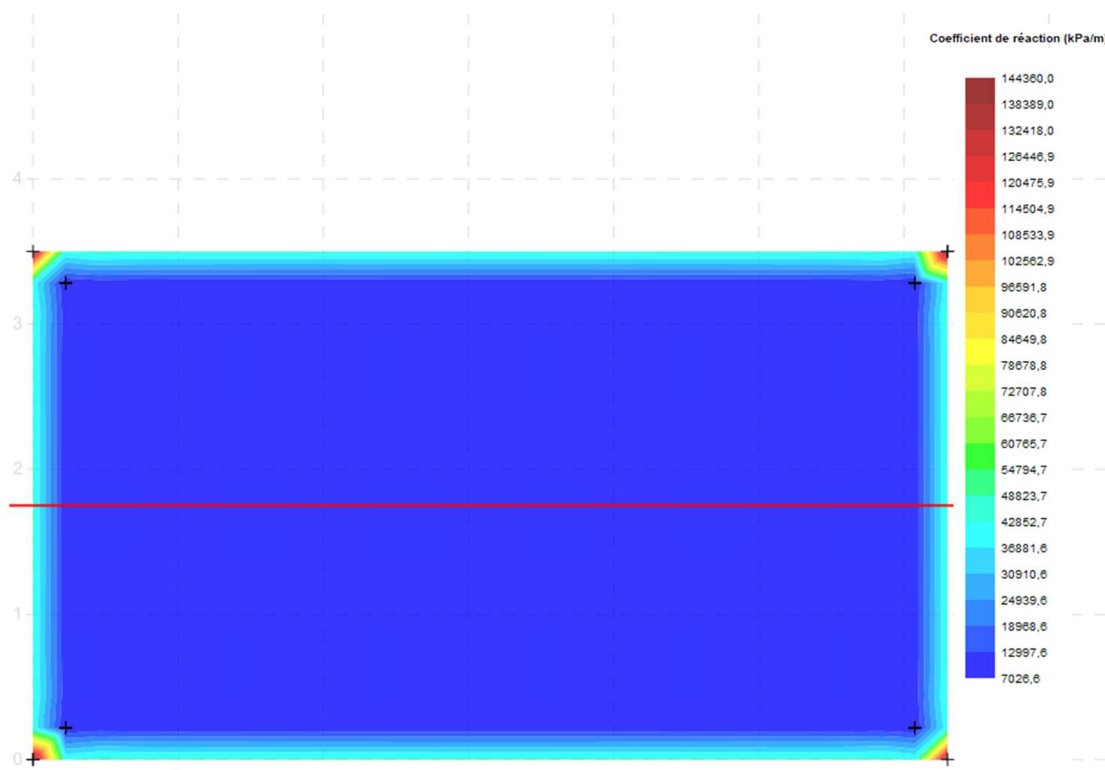
Le coefficient de réaction moyen est de 79 MPa/m.

Radier 1 (sous-sol), 4.80x6.65m :



Le coefficient de réaction moyen est de 38 MPa/m.

Radier 2 (cuve d'azote), 3.50x6.30 m :



Le coefficient de réaction moyen est de 10 MPa/m.

14.3. Recommandations générales

Les éléments de bâtis présentant des caractéristiques différentes (géométrie, descentes de charges, horizon de fondation, etc...) devront être désolidarisés par un joint de dilatation compte tenu des risques de tassements différentiels.

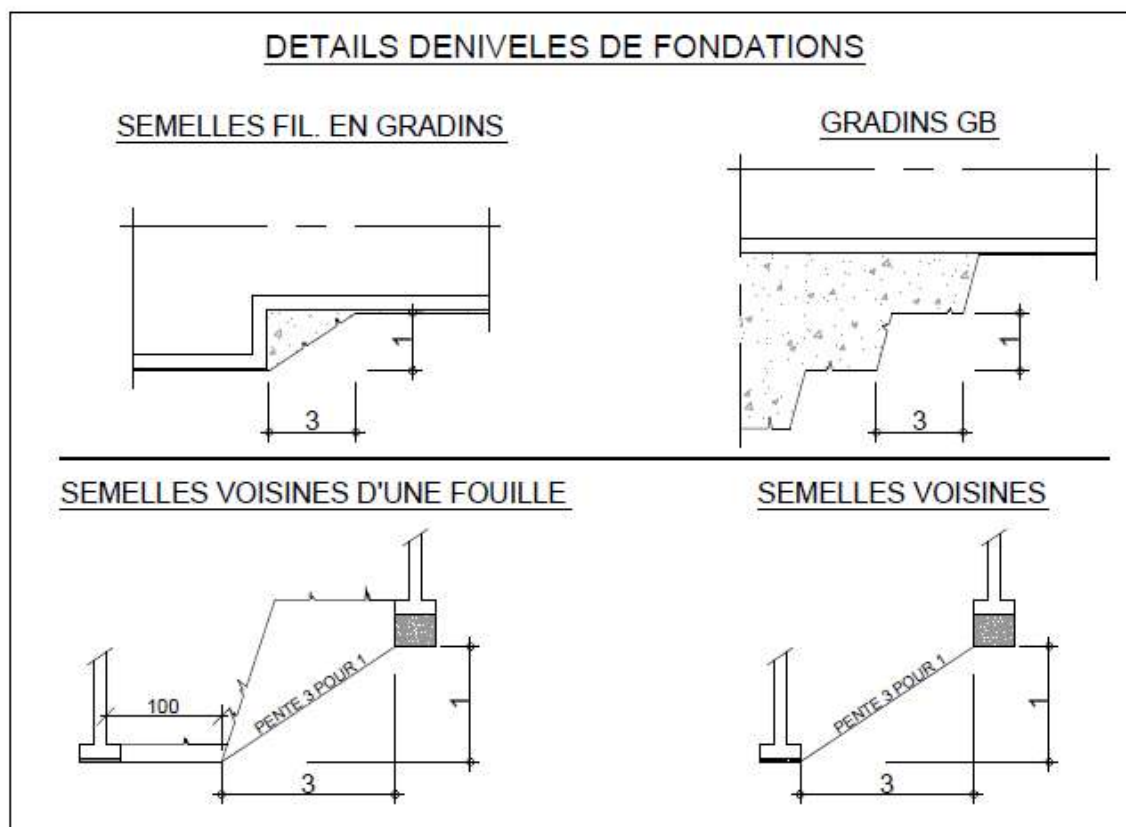
A l'ouverture des fouilles, il sera nécessaire de procéder à un examen détaillé et d'engager si nécessaire les purges des éventuelles zones de compacité insuffisantes, telles que : lentilles limoneuses ou argileuses, poches médiocres, sols décomprimés, remaniés ou détériorés par les engins de terrassement, sols dans un état hydrique trop humide, et tous les éventuels remblais résiduels. Pour éviter les points durs au niveau de l'assise des fondations, les blocs ou galets de gros diamètres seront déroctés.

Les contrôles suivants devront être mis en place à la réalisation des fondations :

- Contrôle visuel des fonds de fouille ;
- Validation de la bonne qualité des matériaux constituant le remblai courant ;
- Validation du bon compactage des matériaux constituant le remblai courant ;
- Confirmation de l'absence d'eau en fond de fouille.

Un béton de propreté sera mis en œuvre immédiatement après l'ouverture des fouilles.

En zone concernée par la réglementation parasismique, entre deux niveaux de fondations pour un même bâtiment ou entre les appuis les plus proches des bâtiments mitoyens, la règle des 3H/1V devra être respectée (3 horizontal / 1 vertical) ; cette recommandation s'applique aux phases provisoires de construction comme à la phase définitive. Le schéma explicatif est fourni ci-dessous :



Dans les zones soumises à une réglementation vis-à-vis du séisme, on devra aussi respecter les recommandations suivantes :

- système de fondation homogène par corps de bâtiment, sauf mise en place de joints parasismiques,
- éviter ou limiter les fondations isolées, avec dans ce cas des longrines parasismiques ;
- garantir un sol de fondation homogène pour l'ensemble des appuis ;
- séparer les parties avec sous-sol des parties en RdC, par un joint parasismique.

Il faut également prendre en compte la nécessité de devoir mettre hors d'eau ces fouilles, qui pourraient être concernées par des circulations d'eaux de faible ou moyenne importance, en fonction de la date de réalisation des travaux.

Les fouilles devront impérativement être réalisées en période sèche et assainie. Toute venue d'eau dans les fouilles et en fond d'excavation sera éliminée avant le coulage des fondations :

- par pompage dans le cas des sols qui ne sont pas sensibles à l'eau ;
- par bétonnage au tube plongeur dans le cas des sols sableux ou qui sont sensibles à l'eau.

En phase Exécution, il sera nécessaire de vérifier l'ensemble des Etats Limites susceptibles d'affecter les fondations de l'ouvrage : instabilité d'ensemble, défaut de capacité portante-rupture par poinçonnement, rupture par glissement, rupture combinée dans le terrain et la fondation, rupture de la structure du fait des mouvements de la fondation, rotation-tassements ou déplacements excessifs, soulèvements excessifs sous l'effet du gonflement du sol-du gel ou d'autres causes, vibrations inadmissibles.

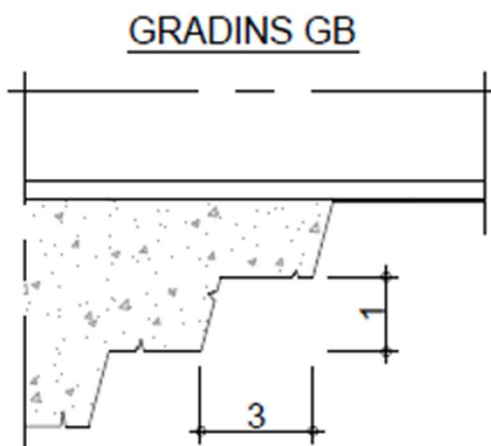
14.4. Recommandations spécifiques pour les fondations le long d'ouvrages existants

Des dispositions constructives spécifiques devront être adoptées pour la réalisation des fondations le long des bâtiments existants de manière à ce que le projet n'engendre pas d'efforts parasites.

Radier pour la cuve d'azote :

Le niveau de fondation devra être calé sur le niveau de fondation de l'existant (- 0.75 mètres environ d'après les constatations faites sur le site, à valider ou adapter par des sondages complémentaires au démarrage des travaux). Dans ces conditions, nous recommandons le mode de fondations constitué de :

- Redans sur la longueur de la façade dont le niveau d'assise correspondra au niveau de fondation de l'existant et devrait par conséquent être dans les graves limoneuses (formation 1), voir schéma ci-dessous :



Pour le radier/dallage au niveau du sous-sol :

Le niveau de fondation devra être calé sur le niveau de fondation de l'existant (- 0.60 mètres environ, par rapport au niveau du sous-sol, d'après les constatations faites sur le site, à valider ou adapter par des sondages complémentaires au démarrage des travaux). Le calage pourra être réalisé de manière homogène à celui réalisé pour le radier de la cuve à azote par réalisation de redans jusqu'au niveau de l'existant.

Dans l'éventualité où les anciennes fondations seraient dégarnies lors de la réalisation des nouvelles fondations, une reprise en sous-œuvre sera nécessaire.

Pour des faibles hauteurs de reprises en sous-œuvre (< 1 m), une solution alternative peut éventuellement être envisagée :

- un butonnage provisoire des soubassements sera mis en place,
- afin d'éviter une décompression des sols d'assise de ces fondations, il sera indispensable d'ouvrir les fouilles des nouvelles fondations par passes limitées à 1.0 m de largeur, selon la technique dite « en touches de piano » (à raison d'1 passe ouverte toutes les 3 passes) ;
- on procédera au coulage des fondations au fur et à mesure de l'ouverture des fouilles, avec attente de séchage avant l'ouverture des fouilles adjacentes ;
- les fondations feront l'objet d'un renforcement du ferrailage, en liaison avec les poussées latérales exercées par les fondations des bâtiments mitoyens.
- Si cette solution est retenue, elle devra être étudiée plus en détails et justifiée en phase exécution G₃.

En ce qui concerne les bâtiments mitoyens dont les fondations ne sont pas précisément connues (âge, qualité, sensibilité, sols de fondation...), il faut prendre en compte le fait que des légers désordres peuvent apparaître au cours des travaux (petites fissures par exemple), sous l'effet des excavations provisoires, des déformations, des efforts engendrés par les nouvelles fondations, etc....

Compte tenu des interactions avec les fondations mitoyennes, un contrôle des fonds de fouilles par un géotechnicien sera nécessaire et des adaptations seront possibles.

15. TRAITEMENT DU NIVEAU BAS

15.1. Dallages en sous-sol

15.1.1. Conception générale

Les dallages pourront être réalisés sur terre-plein.

Leur conception devra respecter la norme NFP 11-213-3 de mars 2005 / DTU 13.3.

A partir du fond de forme naturel ou reconditionné, permettant d'avoir dans tous les cas une PST1-AR1 et une portance minimale vérifiée par essais à la plaque avec $EV2 \geq 20$ MPa, la couche de forme support du dallage sera mise en place, avec des matériaux d'apport de classe GTR D2 ou D3 ou équivalent, qui devront être **insensibles à l'eau**.

L'obtention des portances nécessitera une épaisseur minimum de couche de forme de dallage de 0.10m (y-compris couche de réglage D2/D3).

15.1.2. Portances

Pour les dallages des différents locaux projetés ($1.2T/m^2$ à l'ELS et $1.8T/m^2$ à l'ELU pour le local le plus chargé), les critères de réception par essai à la plaque seront les suivants :

Fond de forme :	$EV2 \geq 20$ MPa
Couche de remblai intermédiaire éventuelle :	$EV2 \geq 30$ MPa et $EV2/EV1 < 2.2$.
Couche de forme :	$EV2 \geq 50$ MPa et $EV2/EV1 < 2.2$.

15.1.3. Modules Es

Pour le calcul des tassements du dallage conformément au DTU 13.3, on peut estimer les modules de sol à partir des modules pressiométriques E_m et du coefficient rhéologique des sols α par la relation suivante :

$$E_s = E_m / \alpha$$

En première approximation, les modules à retenir sont les suivants :

Formation	Epaisseur moyenne (m)	Module E_s (MPa)
Couche de forme (yc couche de réglage D2/D3)	0.1	30
[3] Sable et graves	>9.20	150

15.1.4. Tassements

Détaillé au paragraphe 14 pour chaque dallage.

15.1.5. Recommandations générales

Le dallage devra être désolidarisé des fondations pour s'affranchir des risques de tassements différentiels.

Un béton de propreté devra être immédiatement coulé, ou le coulage du dallage devra être réalisé à l'avancement, afin d'éviter que le fond de forme ne se dégrade.

Les contrôles suivants devront être mis en place à la réalisation des dallages :

- Contrôle de la portance du fond de forme sous dallage par essais à la plaque ;
- Validation de la bonne qualité des matériaux constituant le remblai courant ;
- Validation du bon compactage des matériaux constituant le remblai courant.

16. PROTECTION DES NIVEAUX ENTERRES

Un drainage périphérique des parties enterrées devra être mis en place, relié gravitairement à un réseau d'évacuation.

Les voiles enterrés devront être dimensionnés comme des murs de soutènement par un bureau d'étude structure.

17. REALISATION DES VOIRIES

17.1. Conception générale

	Voirie PL, accès pour remplissage de la cuve d'azote
Nature de la plateforme	[1] Limon graveleux à graves limoneuses
Classe de plateforme attendue	PST1- AR1
Critère de réception essais à la plaque sur arase	EV2 >20 MPa
Besoin d'un reconditionnement du fond de forme	Purge de la TV en partie superficielle et recompactage
Matériau CdF (selon GTR)	D2/D3
Géotextile anti-contaminant	OUI (*)
Epaisseur CdF (sur la base d'une PST1-AR1)	Epaisseur : 0.50 m
Critère de réception essais à la plaque sur CdF	EV2 > 80 MPa (PL)
Rapport de compactage	EV2/EV1 < 2.2

(*) Compte-tenu de la présence de fines au niveau des sols constituant la PST, nous recommandons la mise en place d'un géotextile anticontaminant, à l'interface sols naturels en place (PST) / couche de forme.

17.2. Recommandations générales

Les moyens de compactage et les épaisseurs de couche unitaire devront être adaptés à la granulométrie et à l'état hydrique des matériaux et aux conditions météorologiques.

Le diamètre des plus gros éléments ne devra pas être supérieur au 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.

On prévoira une planche d'essai au démarrage des travaux pour évaluer précisément les modalités de compactage.

La mise hors-gel des structures de chaussée devra être vérifiée, à partir des structures de chaussées et des formations effectivement retenues pour la réalisation de la Partie Supérieure du Terrassement et de la Couche de Forme.

Les terrassements seront réalisés en technique « rétro » dans le but d'éviter la détérioration du sol support.

18. CATEGORIE GEOTECHNIQUE DE L'OUVRAGE, ETUDES GEOTECHNIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES

On peut distinguer trois classes de conséquences de la ruine ou de l'endommagement de l'ouvrage (vis-à-vis des personnes, des ouvrages et des constructions avoisinantes et de la protection de l'environnement) :

- Les conséquences faibles (CC1), ayant des effets faibles ou négligeables sur les personnes, sur l'ouvrage à construire ou les constructions avoisinantes, en termes sociaux, économiques ou d'environnement ;
- Les conséquences moyennes (CC2), ayant des effets modérés sur les personnes, et/ou des effets importants sur l'ouvrage à construire ou les constructions avoisinantes, en termes sociaux, économiques ou d'environnement ;
- Les conséquences élevées (CC3), ayant des effets importants sur les vies humaines et/ou des conséquences très importantes sur l'ouvrage à construire ou les constructions avoisinantes, en termes sociaux, économiques ou d'environnement.

La catégorie géotechnique du projet est déterminée en fonction des classes de conséquence et des conditions de site ; le tableau ci-dessous permet de la déterminer et d'apprécier les bases de justifications à entreprendre pour chacune des catégories :

CLASSE DE CONSEQUENCE	CONDITIONS DE SITE	CATEGORIE GEOTECHNIQUE *	BASE DES JUSTIFICATIONS
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple	2	
	Complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis
CC3	Simple ou complexes	3	

* Il n'y a pas de règles établies pour le choix de la catégorie géotechnique. En pratique toutefois, on considère qu'un ouvrage fondé sur pieux relève au moins de la catégorie 2, et on classe en catégorie géotechnique 3 les ouvrages établis dans un site instable, ou dans des conditions de risques sismiques importants, ou dans des sols évolutifs ou sensibles, les ouvrages nucléaires, de stockage GNL, etc.

Pour ce projet, et compte tenu des éléments donc nous disposons à ce jour, nous retenons :

- classe de conséquence CC3
- conditions de site : simples
- catégorie géotechnique : 3

19. RECOMMANDATIONS GENERALES

Les analyses et recommandations du présent rapport sont basées sur les résultats des sondages, dont l'emplacement est précisé sur le plan d'implantation fourni en Annexe 2. **Des variations entre ces sondages restent possibles.**

La remise de ce rapport et ses annexes correspond à l'achèvement de notre mission d'étude géotechnique de conception phase Projet G2PRO qui nous a été confiée.

Conformément à la nature de notre mission, notre rapport ne doit pas être utilisé pour établir une estimation du coût des ouvrages, qui entre dans le cadre d'une étude de projet de type G2DCE/ACT.

Dans le cas où le projet ferait l'objet de modifications, ou si les hypothèses utilisées dans le cadre du présent rapport étaient remises en cause par des informations collectées durant les travaux, nous devons en être informés afin de modifier les solutions énoncées dans le présent rapport.

Conformément à la norme NFP 94-500, dont nous fournissons quelques extraits en annexe 1 pour faciliter la compréhension, ce projet nécessitera de respecter l'enchaînement des missions géotechniques avec la réalisation :

- des missions G2ACT ;
- des études et suivis d'exécution G3 ;
- de la supervision G4 des études et suivis d'exécution (G3) ;
- des études spécifiques de diagnostic G5.

Nous sommes à la disposition des différents intervenants pour assurer une ou plusieurs de ces missions.

Notre mission ne porte pas sur l'analyse environnementale du site, ni sur les aspects pollution des sols.

Plus généralement, nous recommandons que les opérations de terrassement et de fondations fassent l'objet **d'un contrôle** par un ingénieur géotechnicien, afin de s'assurer que les dispositions constructives et les règles de l'art soient respectées.

**ANNEXE 1 : Missions géotechniques normalisées
Selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013**

(3 pages)

ANNEXE EXTRAIT DE LA NORME FRANCAISE SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P 94 500 de novembre 2013)

CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES

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 de synthèse des 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 oeuvre 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'oeuvre 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).

SCHEMAS D'ENCHAINEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE

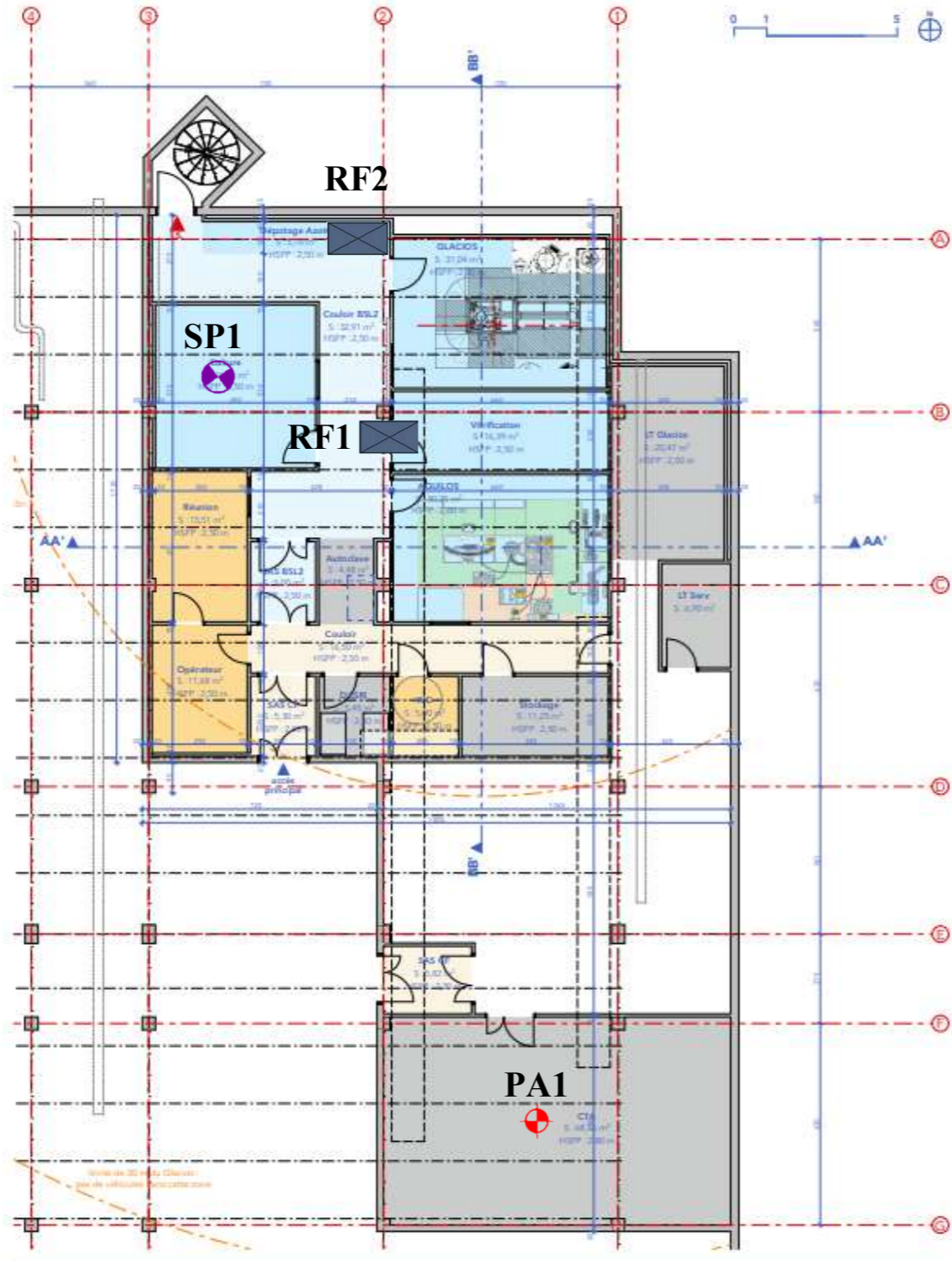
Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'oeuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude Géotechnique de conception (G2)	AVP/APD	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

**ANNEXE 2 : Plan d'implantation et résultats des sondages et essais en laboratoire
(CONFLUENCE)**

(14 pages)

PLAN D'IMPLANTATION

PROJET VILLE (Dpt) N° de PROJET :	CRYOMICROSCOPE LYON (69007) 2503140L
Indice 0	Date 24/04/2025



Légende :

	FPi – sondage à la pelle mécanique
	PDi – sondage au pénétromètre dynamique lourd
	PSi – sondage au pénétromètre statique
	SPi – sondage pressiométrique
	SDi – sondage destructif
	SCi – sondage carotté
	Eli – essai de perméabilité
	PDAi – sondage au pénétromètre de type PANDA
	TAi – sondage à la tarière mécanique
	TAi – sondage à la tarière manuelle
	RFi – reconnaissance de fondation
	PLi – essai de plaque
	Repère de nivellement

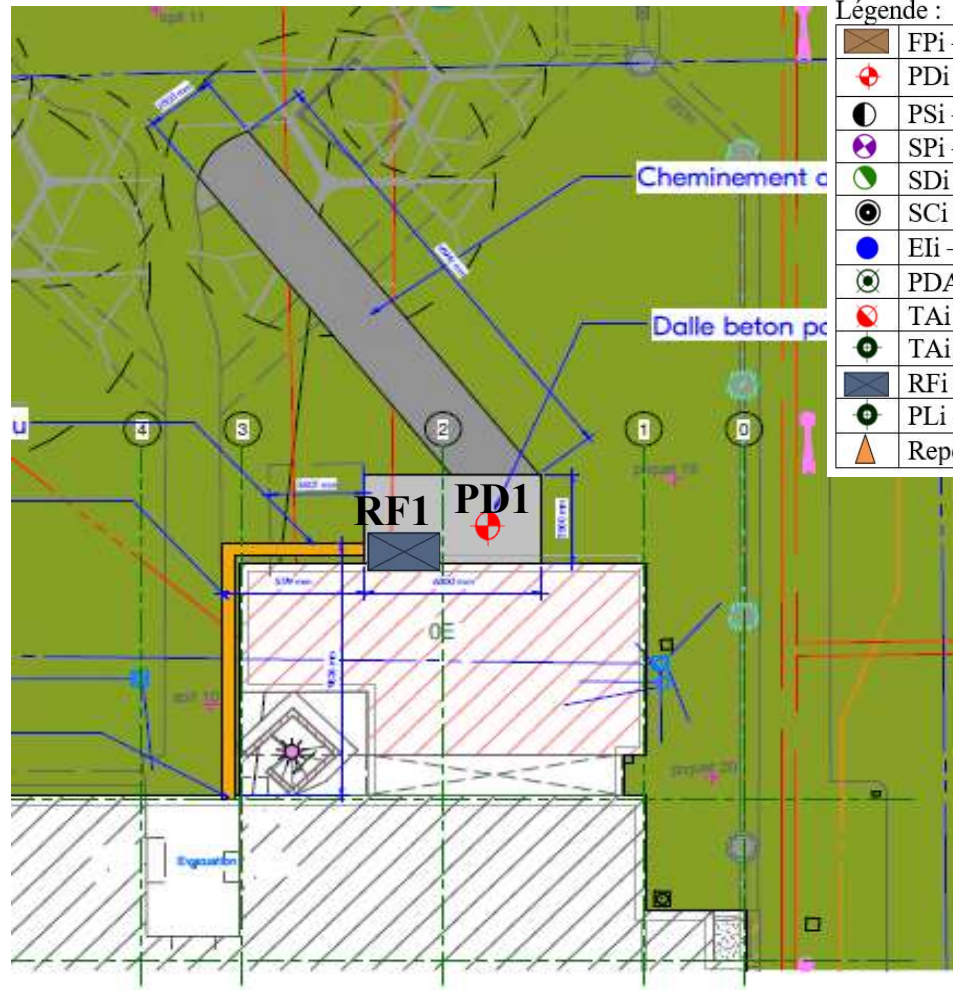
PLAN D'IMPLANTATION

PROJET
VILLE (Dpt)
N° de PROJET :

CRYOMICROSCOPE
LYON (69007)
2503140L

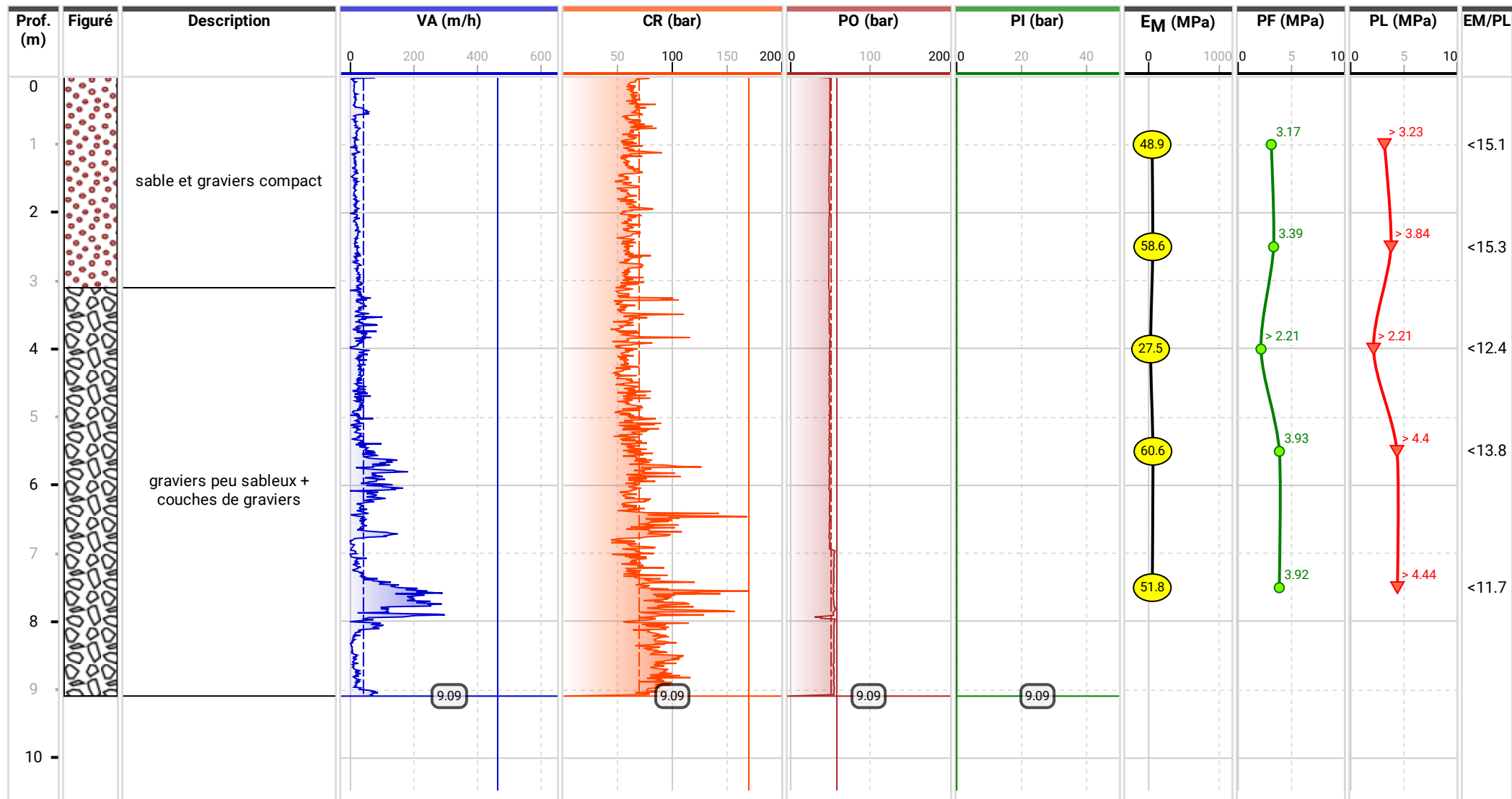


Indice	Date
0	01/10/2025



Légende :

	FPI – sondage à la pelle mécanique
	PDi – sondage au pénétromètre dynamique lourd
	PSi – sondage au pénétromètre statique
	SPi – sondage pressiométrique
	SDi – sondage destructif
	SCi – sondage carotté
	Eli – essai de perméabilité
	PDAi – sondage au pénétromètre de type PANDA
	TAi – sondage à la tarière mécanique
	TAi – sondage à la tarière manuelle
	RFi – reconnaissance de fondation
	PLi – essai de plaque
	Repère de nivellement





SONDAGE PA1

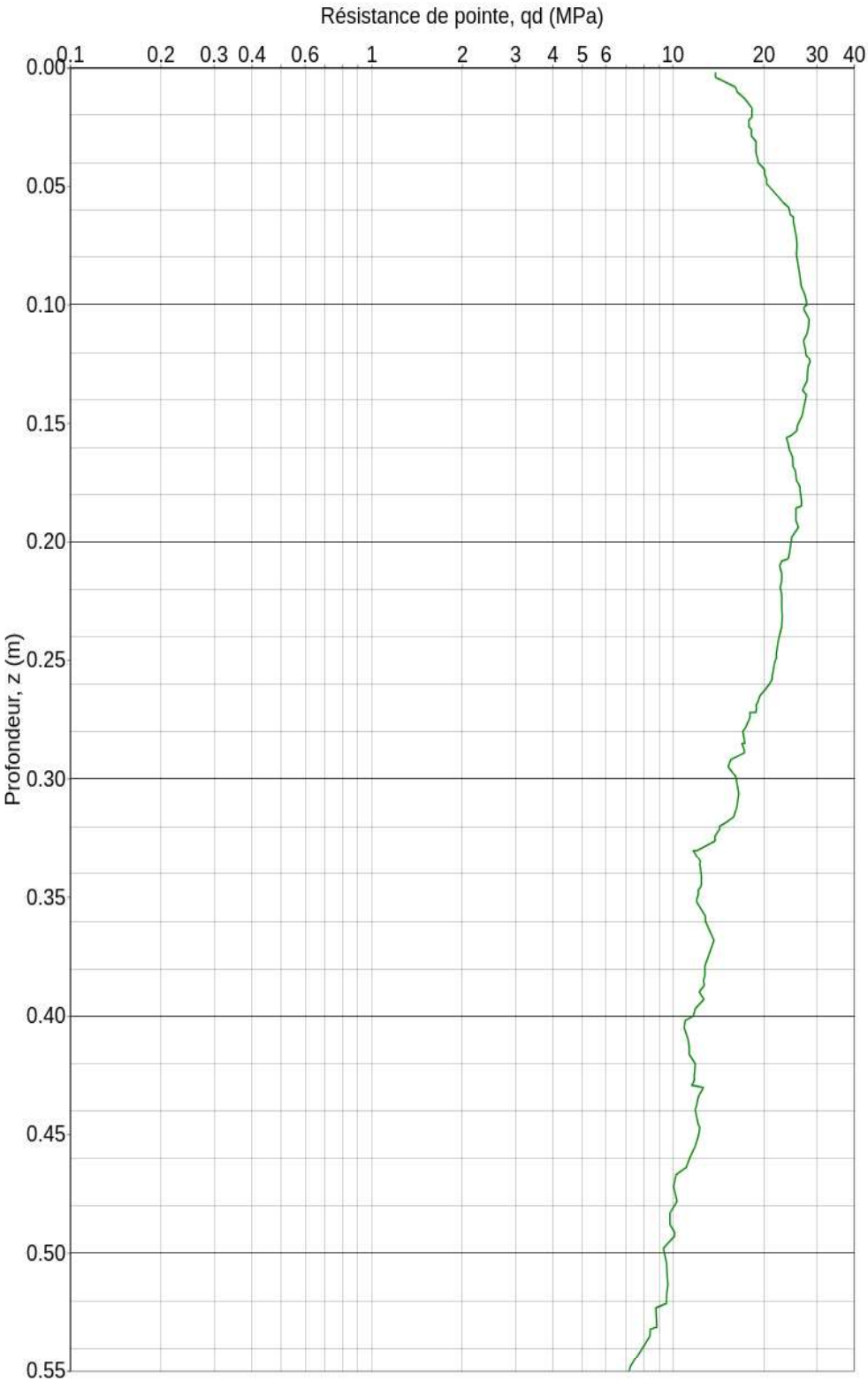
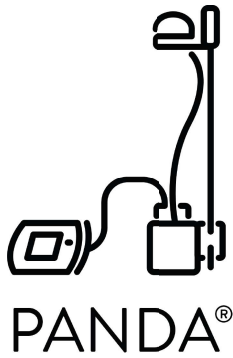
Sondage : PA1
Site : ENS
Date : 24/04/2025 12:54
Société :
Opérateur :
Responsable :
Lat. :
Long. :
Altitude :
Repérage :

Essai

Prof. visée : 4.0 m
Prof. préforage :
Cond. d'arrêt : Temporaire
Prof. atteinte : 0.55 m
Nappe :
Niv. stable :
Niv. non stable :

Caractéristiques

Type d'appareil : Panda2
Mode de battage : Marteau Panda 2
Section de pointe : 4 cm²



Traitement

Écrêtage : Non
Palier de lissage : 100 mm
Régularisation : Non

Observation



CHANTIER : 2503140L
AFFAIRE : CRYOMICROSC

LYON (69007)
REFERENCE : NT1_CRYOMICR

CLIENT :

ENS LYON

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE 1/50

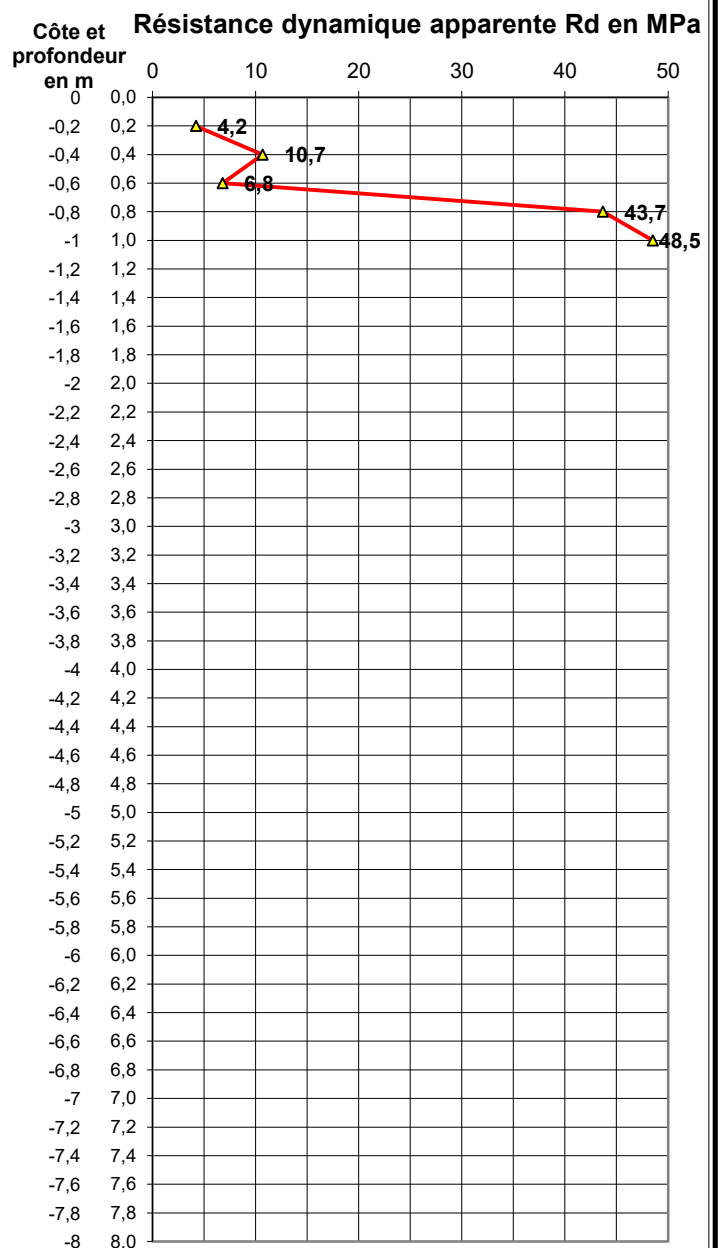
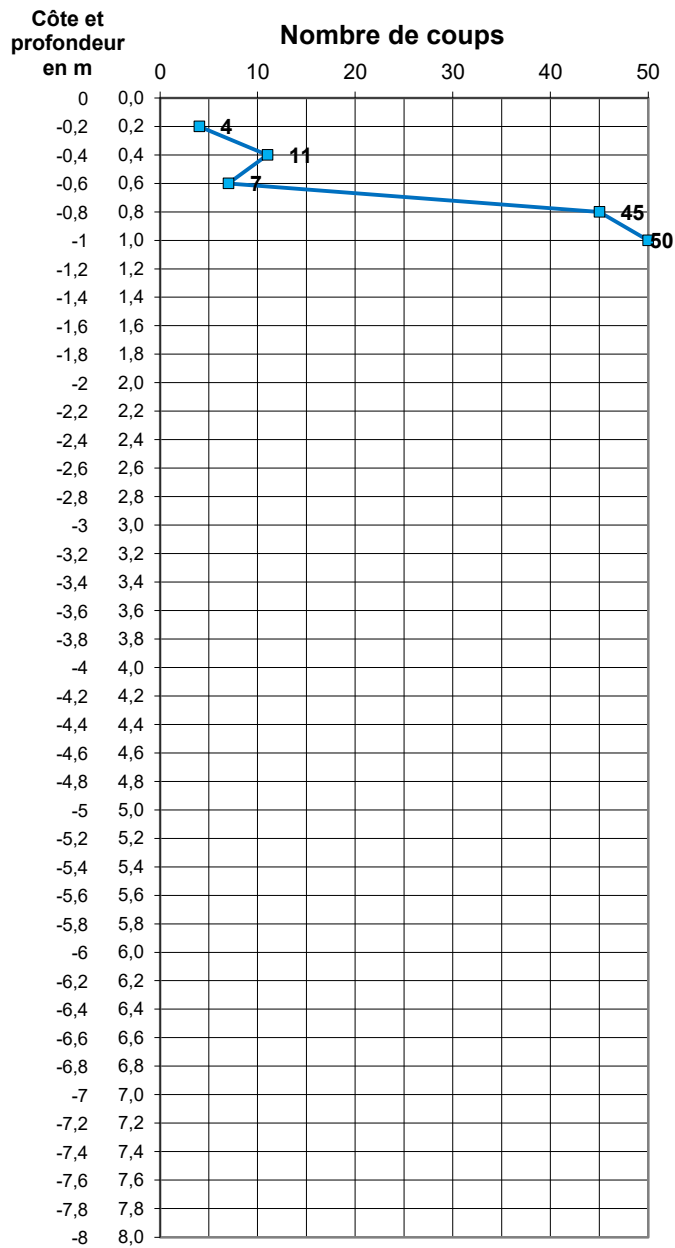
REFERENCES SONDAGE : PD n°101

Z = 0,00 m locale

DATE : 01/10/2025

Pas de mesure (cm) : 20
Section de pointe (cm²) : 20
hauteur de chute (cm) : 75

Masse mouton (kg) : 63,5
Masse enclume (kg) : 0,5
Masse tige (kg) : 6,2



OBSERVATIONS :

éboulé à m
Arrêt à 1,15 m
Pas d'eau



CHANTIER : 2503140L
AFFAIRE : CRYOMICROSC

LYON (69007)
REFERENCE : NT1_CRYOMICR

CLIENT :

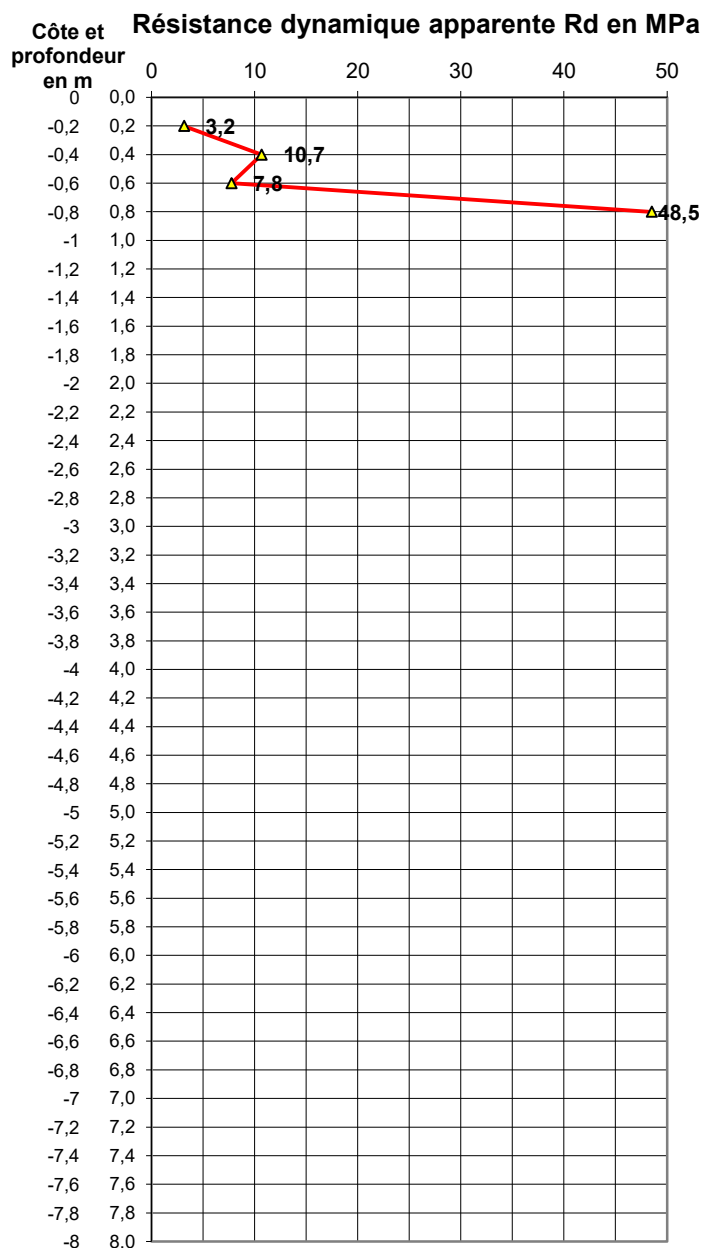
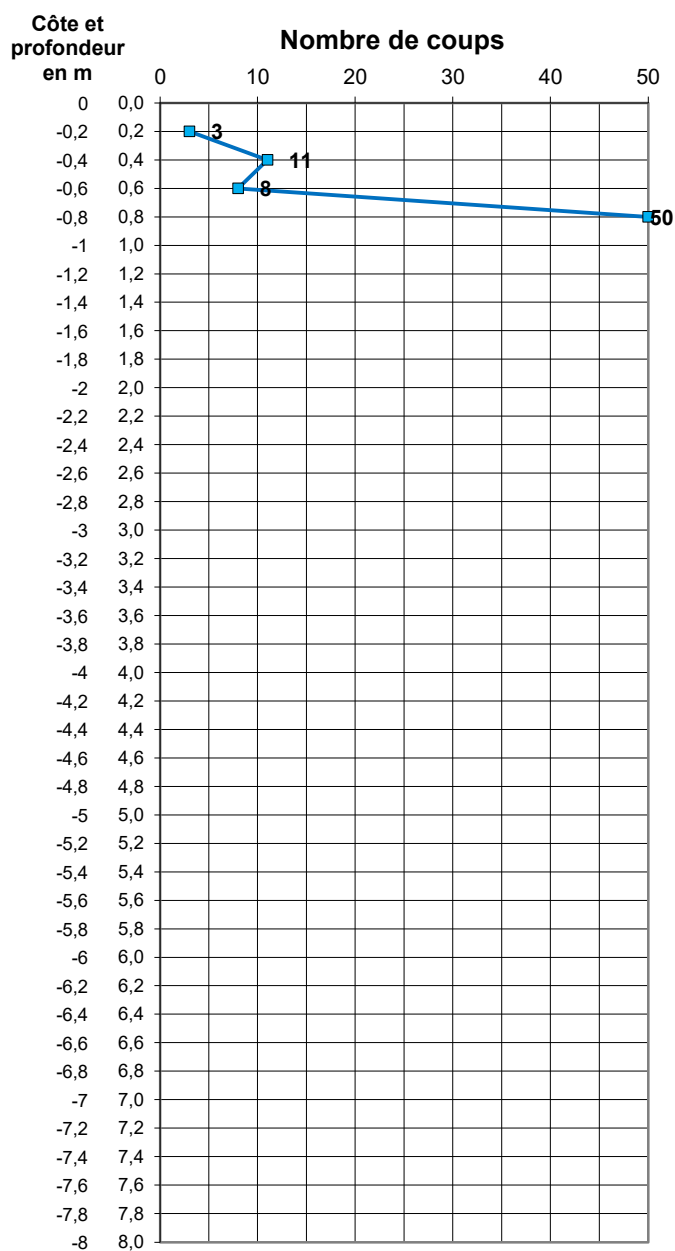
ENS LYON

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE 1/50

REFERENCES SONDAGE : PD n°101bis Z = 0,00 m locale DATE : 01/10/2025

Pas de mesure (cm) : 20
Section de pointe (cm²) : 20
hauteur de chute (cm) : 75

Masse mouton (kg) : 63,5
Masse enclume (kg) : 0,5
Masse tige (kg) : 6,2



OBSERVATIONS :

éboulé à m
Arrêt à 0,9 m
Pas d'eau



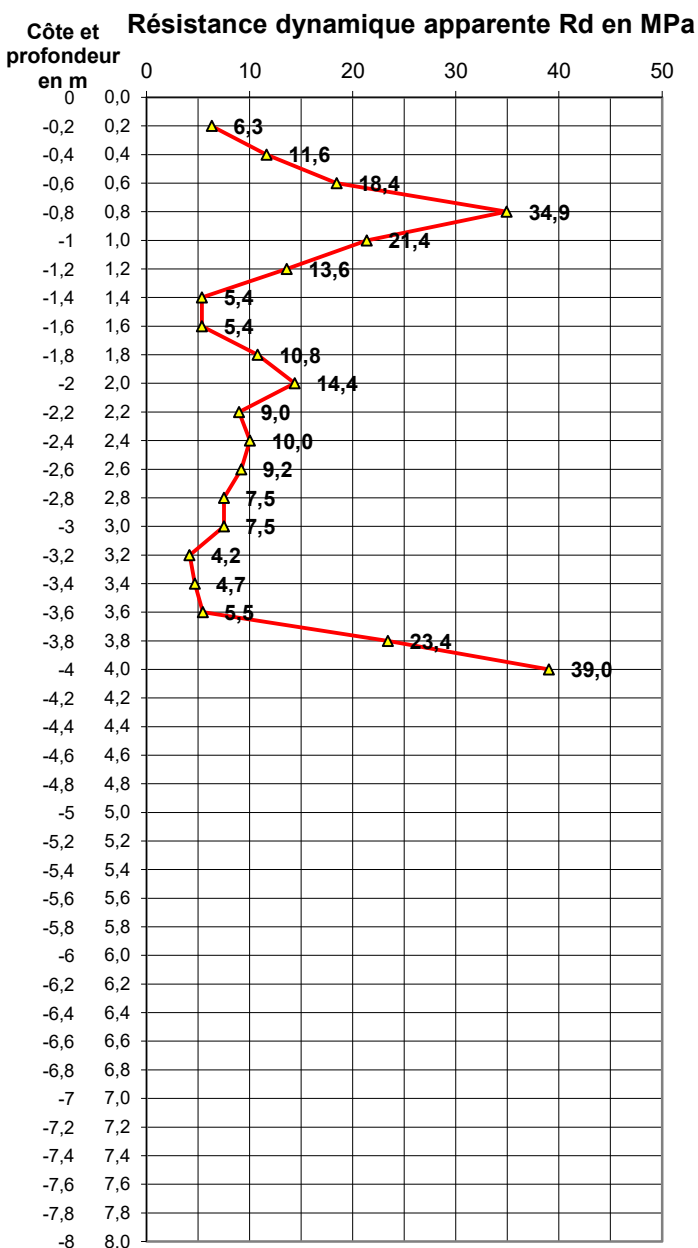
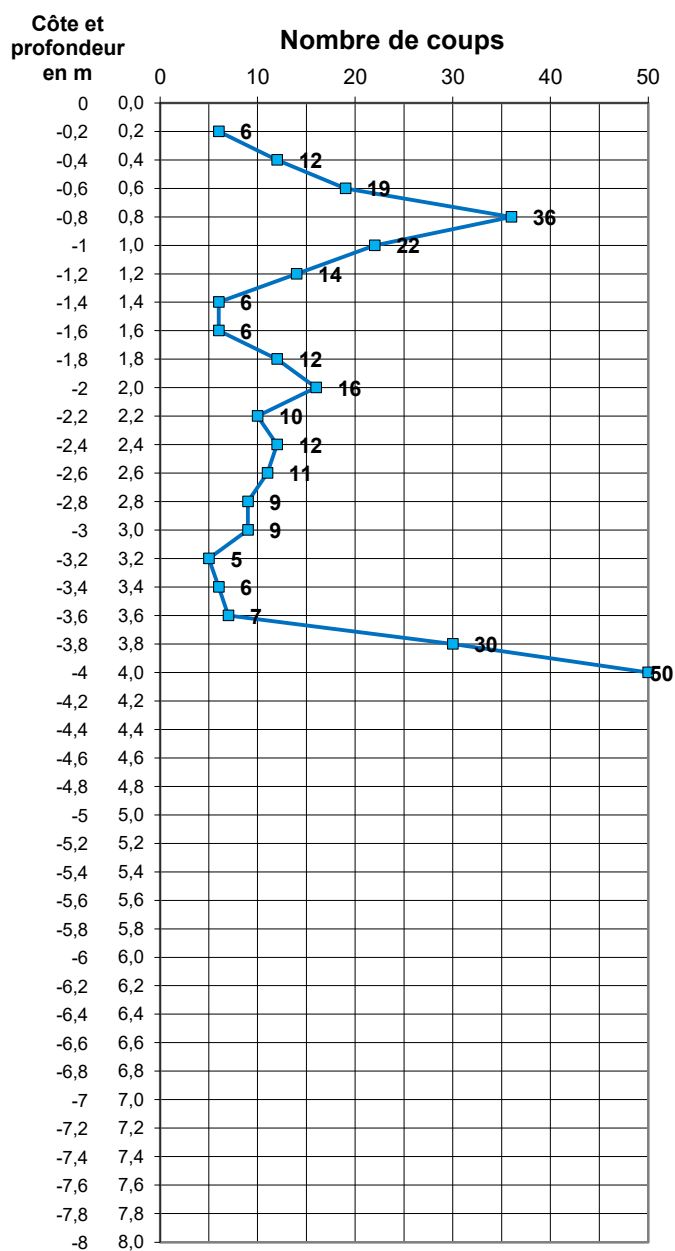
CHANTIER : 2503140L LYON (69007)
AFFAIRE : CRYOMICROSCOPIC REFERENCE : NT1_CRYOMICR

CLIENT : ENS LYON

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE 1/50

REFERENCES SONDAGE : PD n°101ter Z = 0,00 m locale DATE : 01/10/2025

Pas de mesure (cm) :	20	Masse mouton (kg) :	63,5
Section de pointe (cm²) :	20	Masse enclume (kg) :	0,5
hauteur de chute (cm) :	75	Masse tige (kg) :	6,2



OBSERVATIONS :

éboulé à 1,1 m
Arrêt à 4,05 m
Pas d'eau



Ingénierie géotechnique

RECONNAISSANCE DE FONDATION

Chantier : LYON (69007)

Client : ENS LYON

Affaire n° : 2503140L

Date : 08/04/2025

Matériel : Manuelle

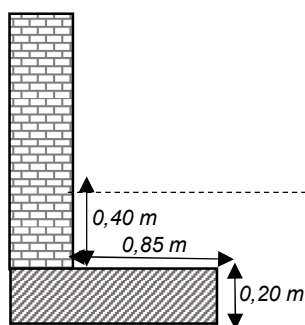
Opérateur : RA

Cote TN : 161,9 NGF

Sondage :

RF1

Schéma de fondation



Coupe Lithologique



Poteaux



Semelle isolée béton

TN

Enrobé

0,07 m

Sable et graves

0,70 m

Fondation à : 0,6 m

Arrêt à : 0,7 m

Photographies / schémas :



Observations :



Ingénierie géotechnique

RECONNAISSANCE DE FONDATION

Chantier : LYON (69007)

Affaire n° : 2503140L

Matériel : Manuelle

Client : ENS LYON

Date : 08/04/2025

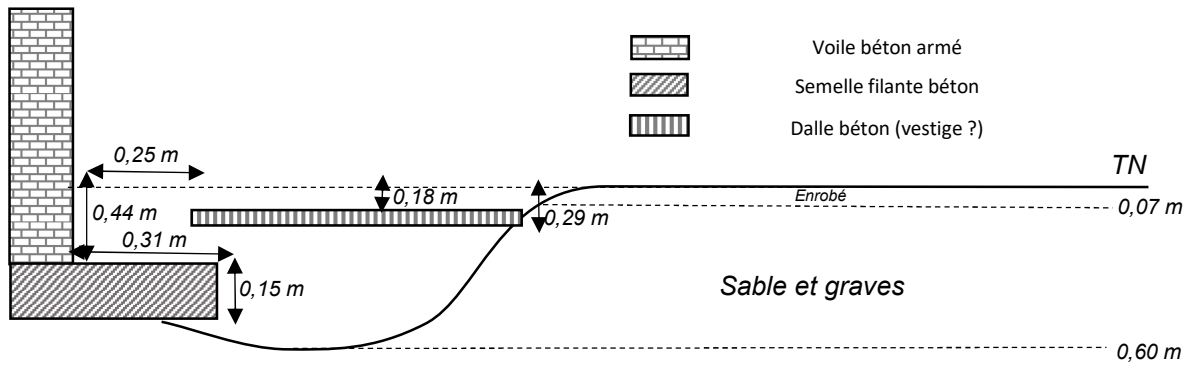
Opérateur : AP

Cote TN : 161,9 NGF

Sondage :

RF2

Schéma de fondation



Fondation à : 0,59 m

Arrêt à : 0,6 m

Photographies / schémas :



Observations :



Ingénierie géotechnique

RECONNAISSANCE DE FONDATION

Chantier : LYON (69007)

Client : ENS LYON

Affaire n° : 2503140L

Date : 01/10/2025

Matériel : Pelle 3T

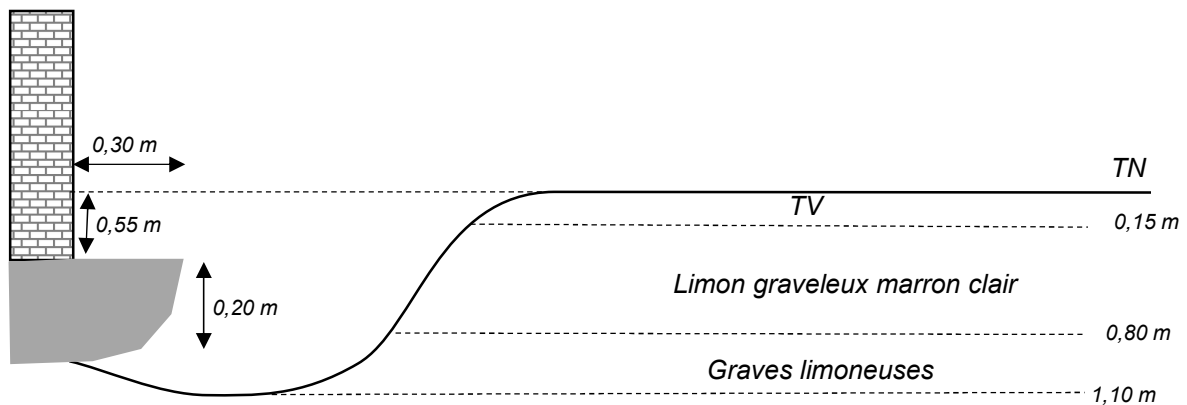
Opérateur : RA

Sondage :

RF101

Schéma de fondation

Coupe Lithologique



Fondation à : 0,75 m

Arrêt à : 1,1 m

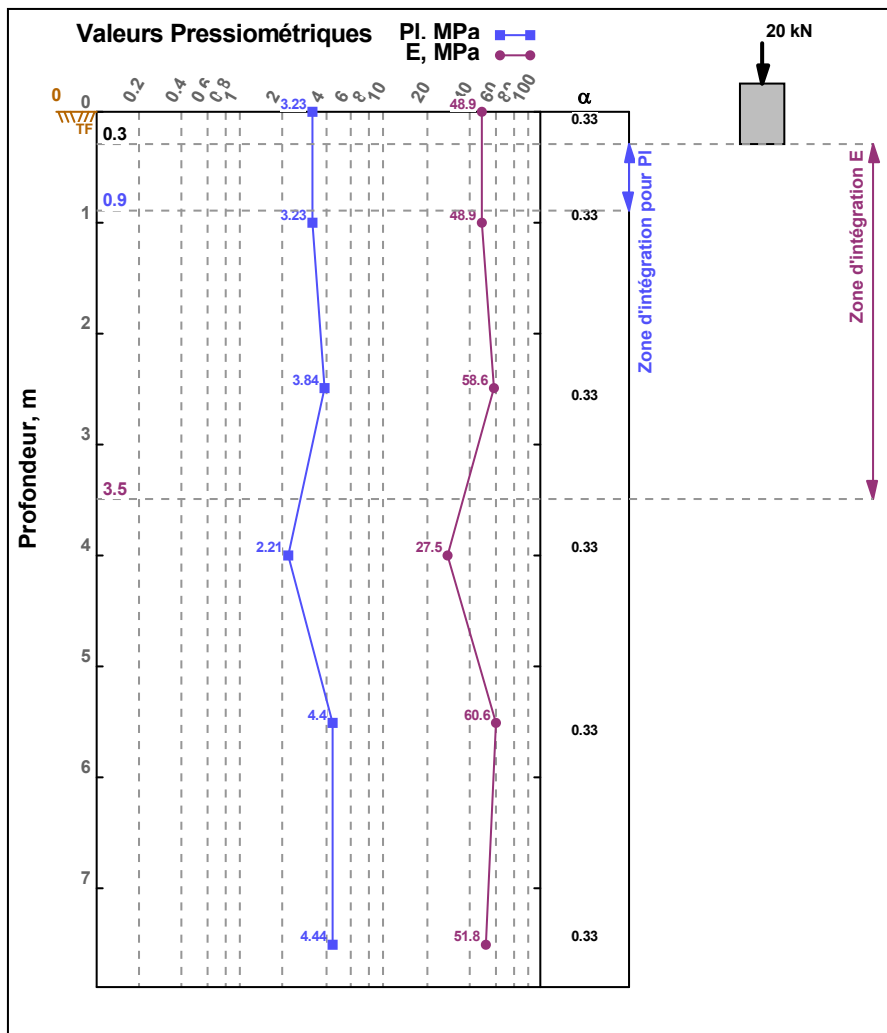
Photographies / schémas :



Observations :

ANNEXE 3 : Résultats GEOFOND

(1 pages)



Fondation

Semelle filante
Largeur : 0.4 m
Aire : 0.4 m²
Encastrement : 0.3 m
Base de la fondation : 0.3 m

Paramètres des sols

Type de sol sous la fondation :
Argiles et limons

Poids des terres au-dessus de la fondation :
après travaux = 20 kN/m³
avant travaux = 20 kN/m³

Contrainte verticale finale $q'0$: 6 kPa (calculée)
Contrainte verticale initiale $\sigma'v0$: 6 kPa (calculée)
 $\alpha = 0.33$ (fixé)

Cohésion sous la fondation : 0 kPa
Angle de frottement sous la fondation : 35 °
Module de Young sous la fondation : 0 MPa
Coefficient de poisson sous la fondation : 0

Fichier : Semelle filante sous-sol



GEOFOND© V1.20 du 26/07/2018 développé par GEOS
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : logiciels@geos.fr

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 Avenue Marie Curie
Bât. Europa 2, Archamps Technopole, 74160 ARCHAMPS

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

Données :

N°	Etat-limite	F (kN)	δ (°)	e (m)	H _d (kN)	V _d (kN)	M (kN.m)
1	ELS Q.P.L.T.	20	0	0	0	20	0

Capacité portante suivant la NF P 94-261 :

N°	h_r (m)	D_e (m)	k_p	p_{le}^* (MPa)	i_δ	$i_{\delta\beta}$	q_{net} (kPa)	A' (m ²)	$\gamma_{r,v}$	$R_{v;d}$ (kN)
1	0.6	0.3	0.934	3.23	1	1	3017	0.4	2.3	439.6 vérifié

Tassements suivant la NF P 94-261 :

N°	q_{ref} (kPa)	E_c (MPa)	E_d (MPa)	λ_c	λ_d	S_c (cm)	S_d (cm)	S_f (cm)
1	50	48.9	49.1	1.5	2.65	0.00198	0.0144	0.0164

2503140L_PP 24/10/2025 11:22 **Vérification tassement semelle filante**

FIGURE

1

ANNEXE 4 : Résultats FoXta

(30 pages)

Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Sable et graves		-9,10	1,50E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,15	-0,15	0,00	0,00	1,50	3,80	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	7,00	0,00	0,00	1,50	3,80	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,12

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

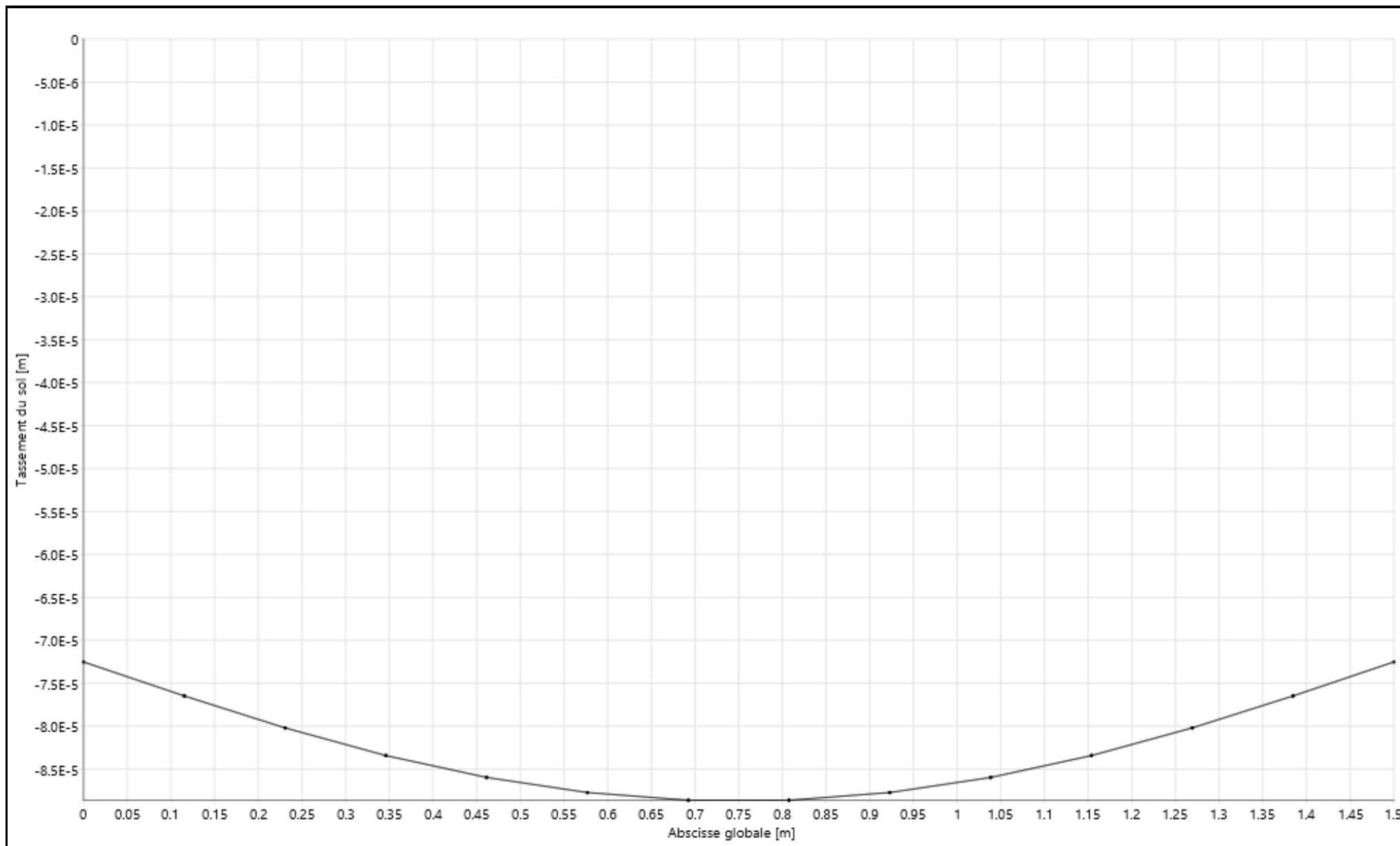


FoXta v4
v4.1.17

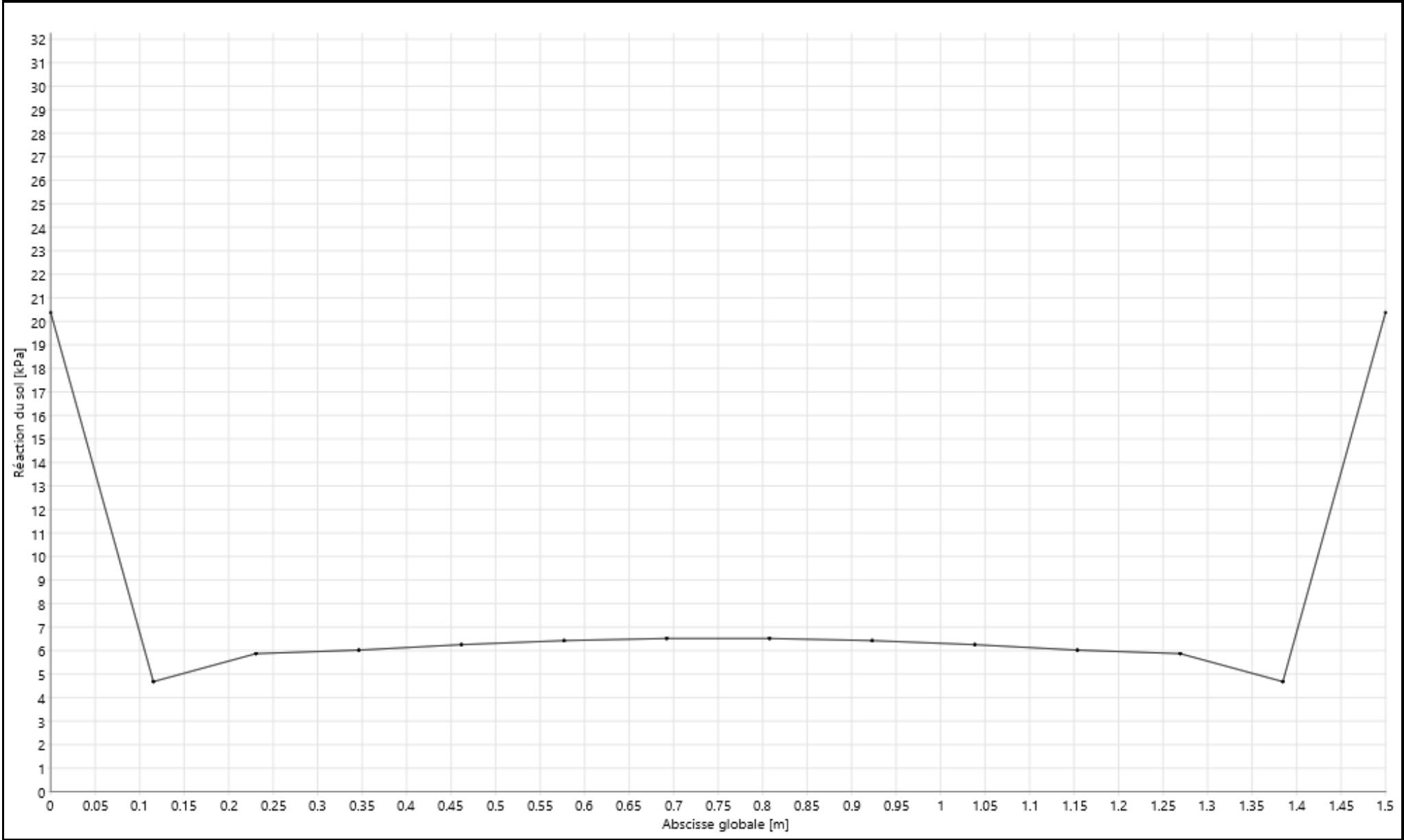
Imprimé le : 24/10/2025 - 10:53:10
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous dallage ép 15cm 1.5x3.8
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

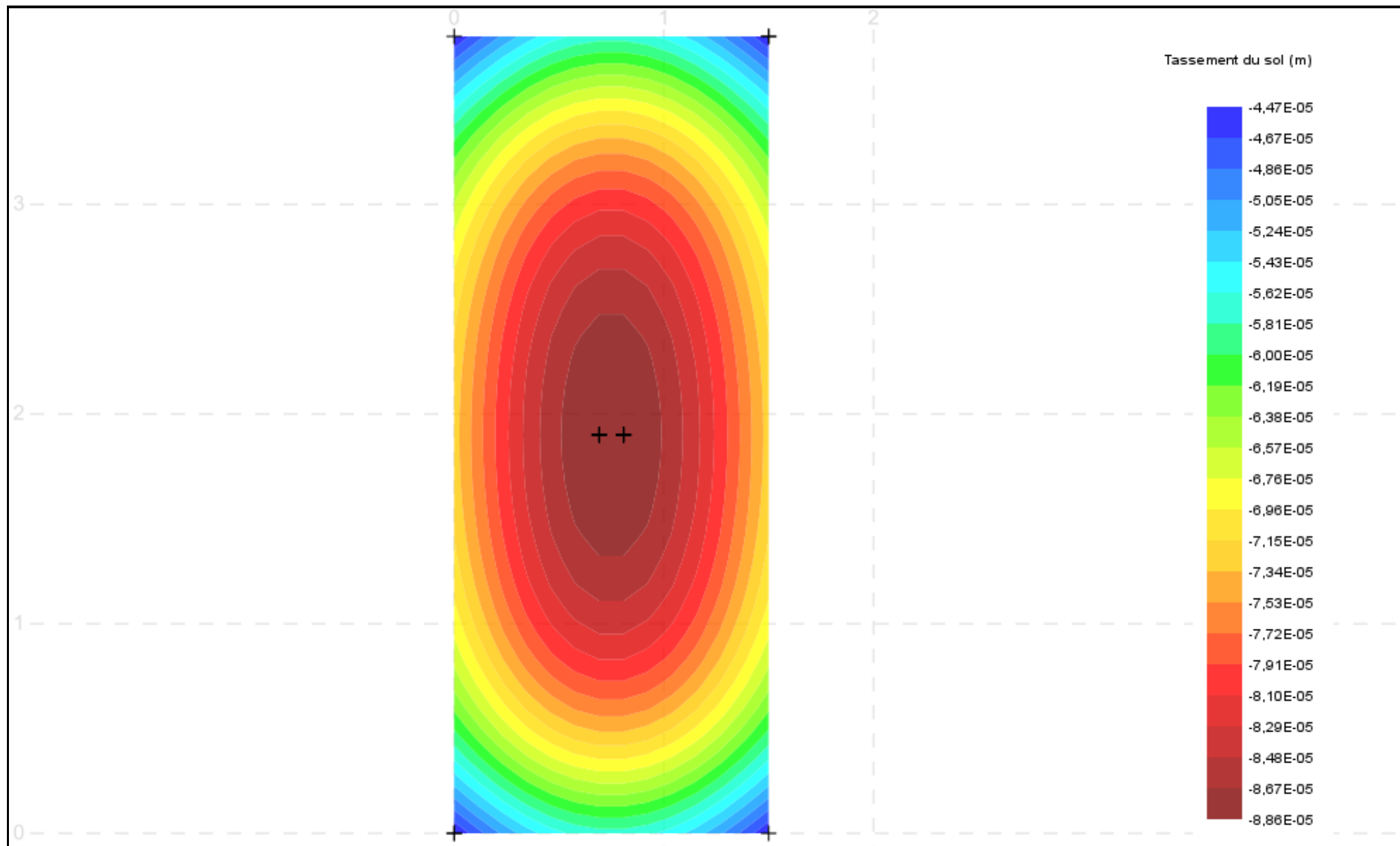
Coupe / Tassement du sol / Y=1,90m



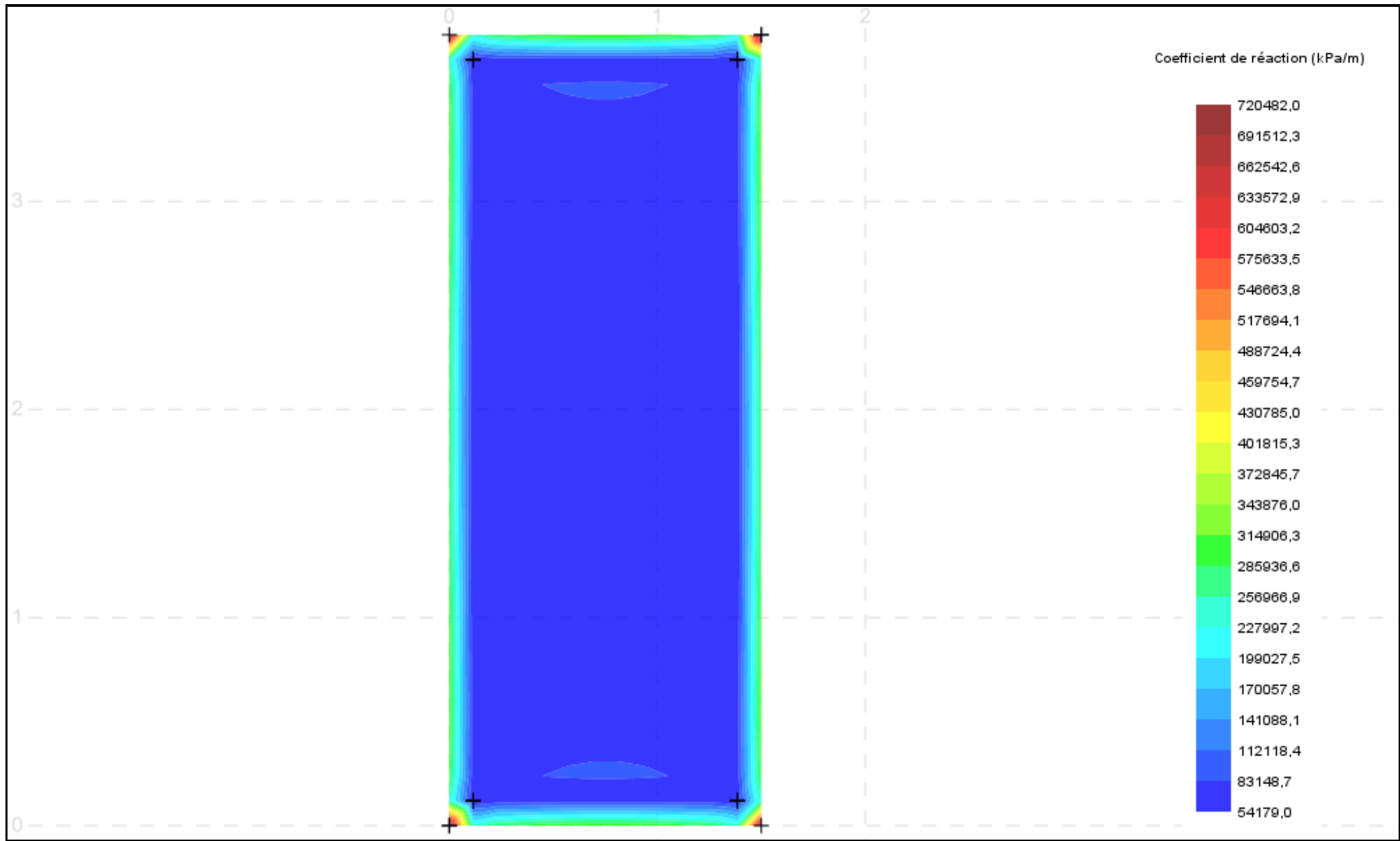
Coupe / Réaction du sol / Y=1,90m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction



Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Sable et graves		-9,10	1,50E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,15	-0,15	0,00	0,00	2,80	3,65	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	7,00	0,00	0,00	2,80	3,65	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,16

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

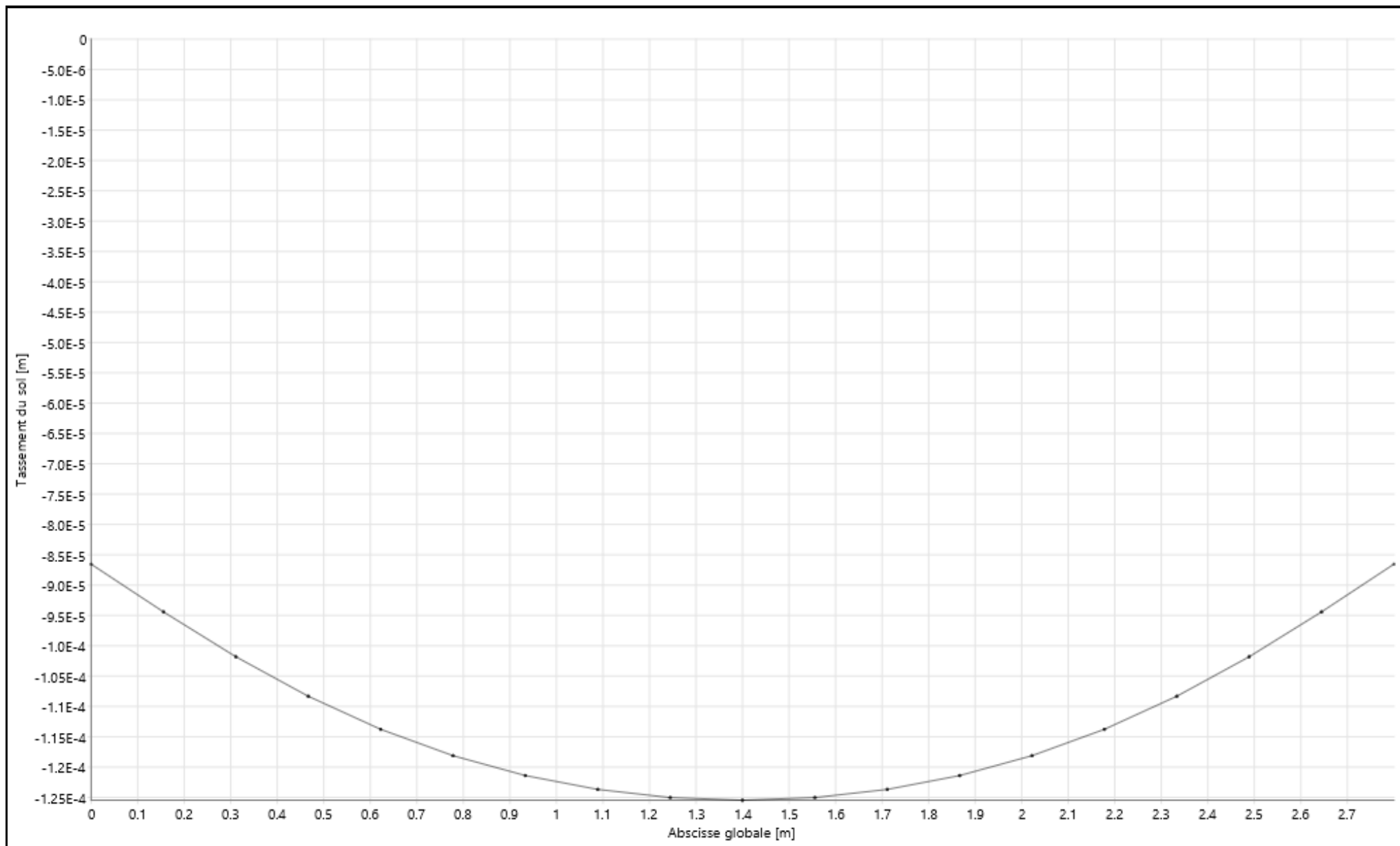


FoXta v4
v4.1.17

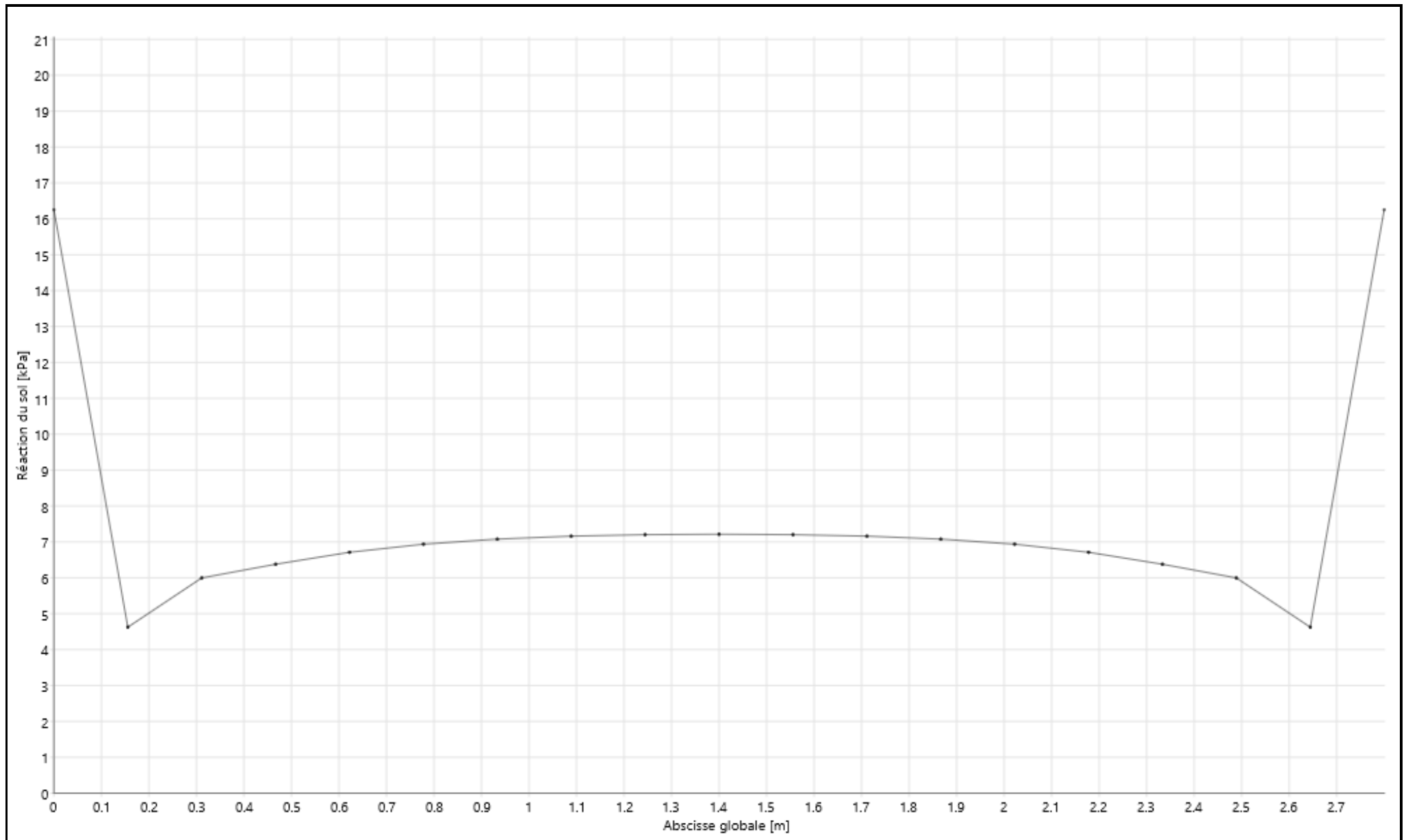
Imprimé le : 24/10/2025 - 10:51:42
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous dallage ép 15cm 2.80 x 3.65
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

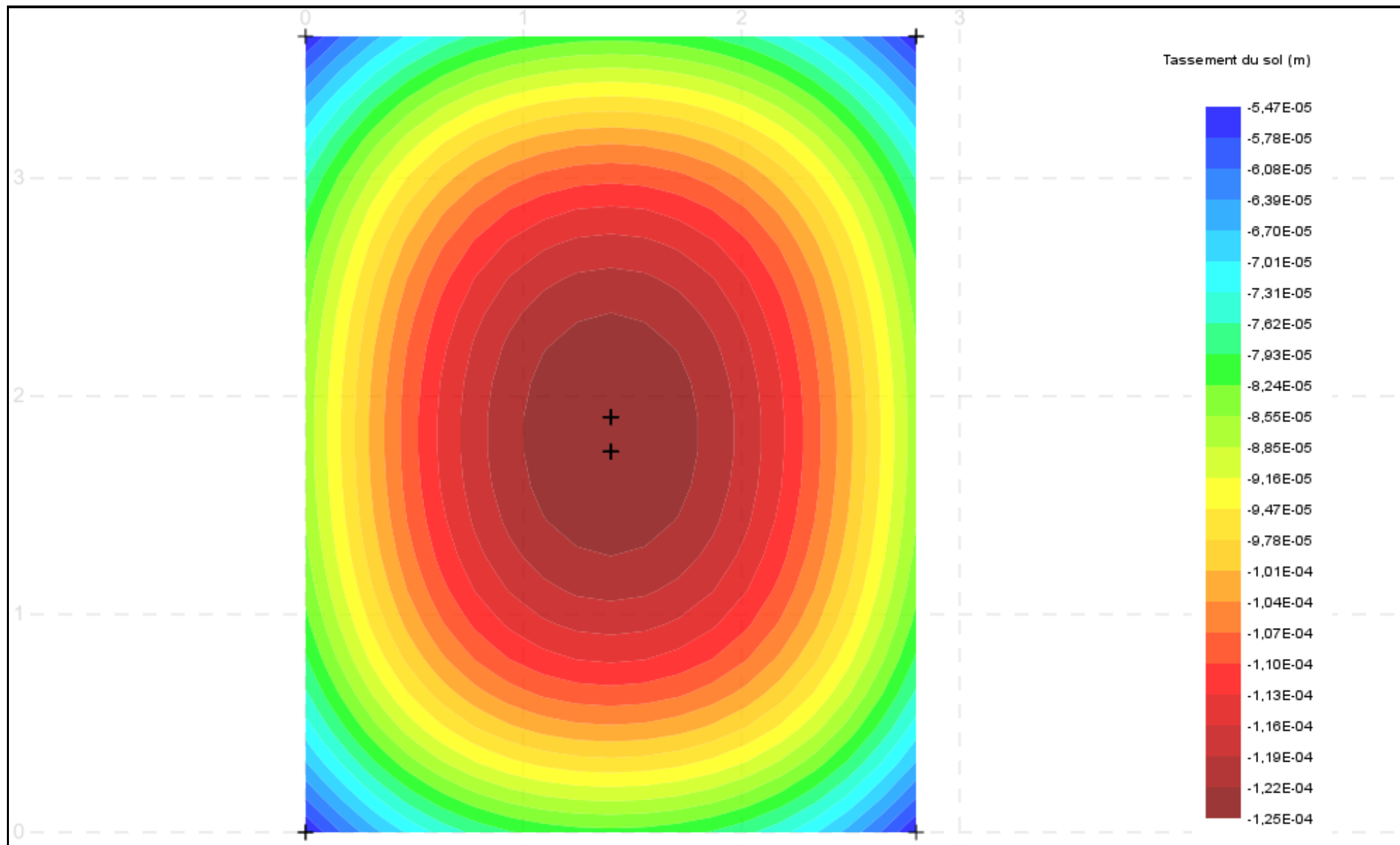
Coupe / Tassement du sol / Y=1,82m



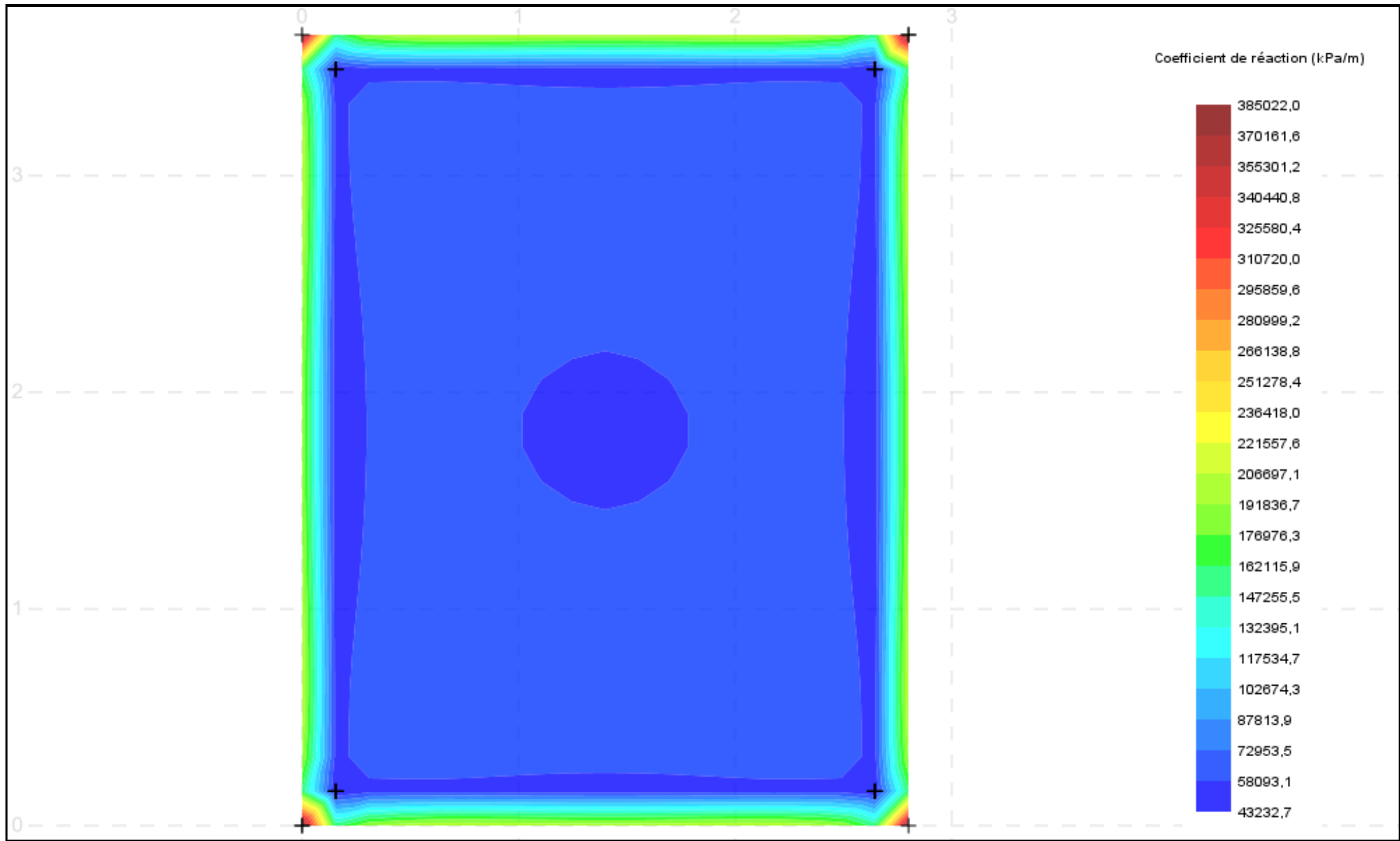
Coupe / Réaction du sol / Y=1,82m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction



Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Sable et graves		-9,10	1,50E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,15	-0,15	0,00	0,00	17,20	14,30	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	7,00	0,00	0,00	17,20	14,30	0,0

Zone sans plaque - Rectangle

N°	X	Y	B	L	θ
1	0,60	7,65	4,78	6,65	0,0
2	8,00	7,65	4,78	6,65	0,0
3	10,40	5,55	2,46	1,60	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,78

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

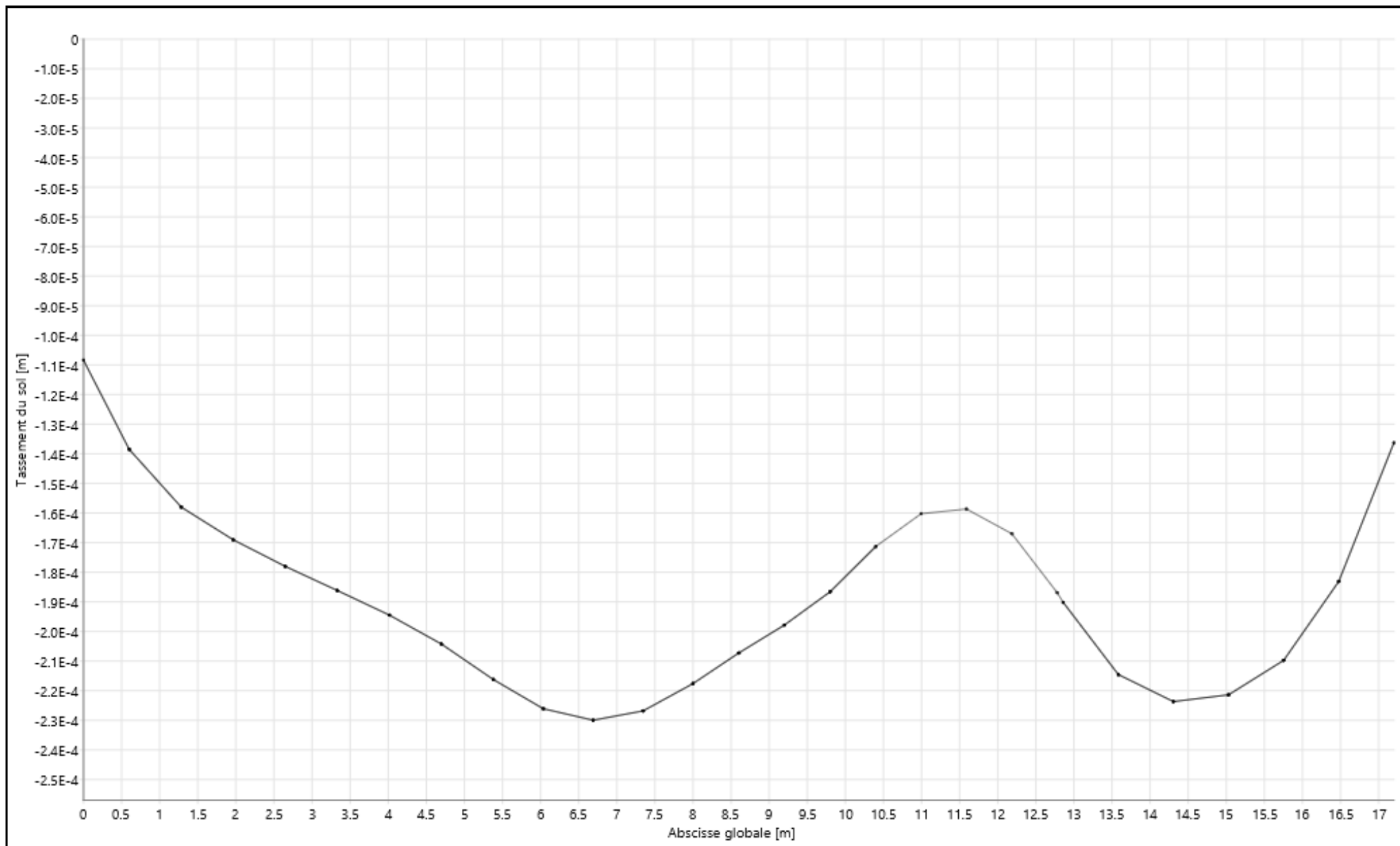


FoXta v4
v4.1.17

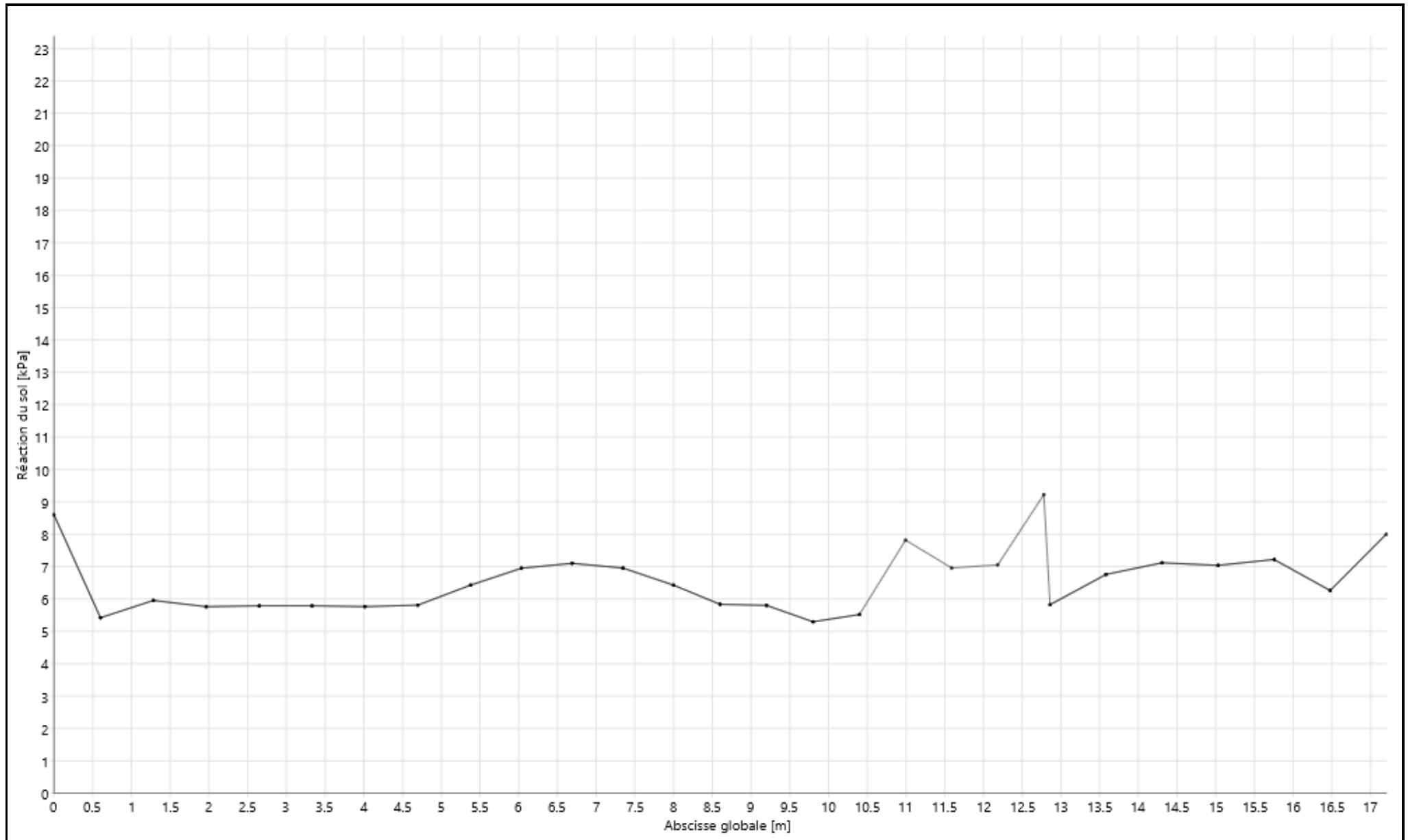
Imprimé le : 24/10/2025 - 10:55:49
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous dallage ép 15cm 17.2x14.3
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

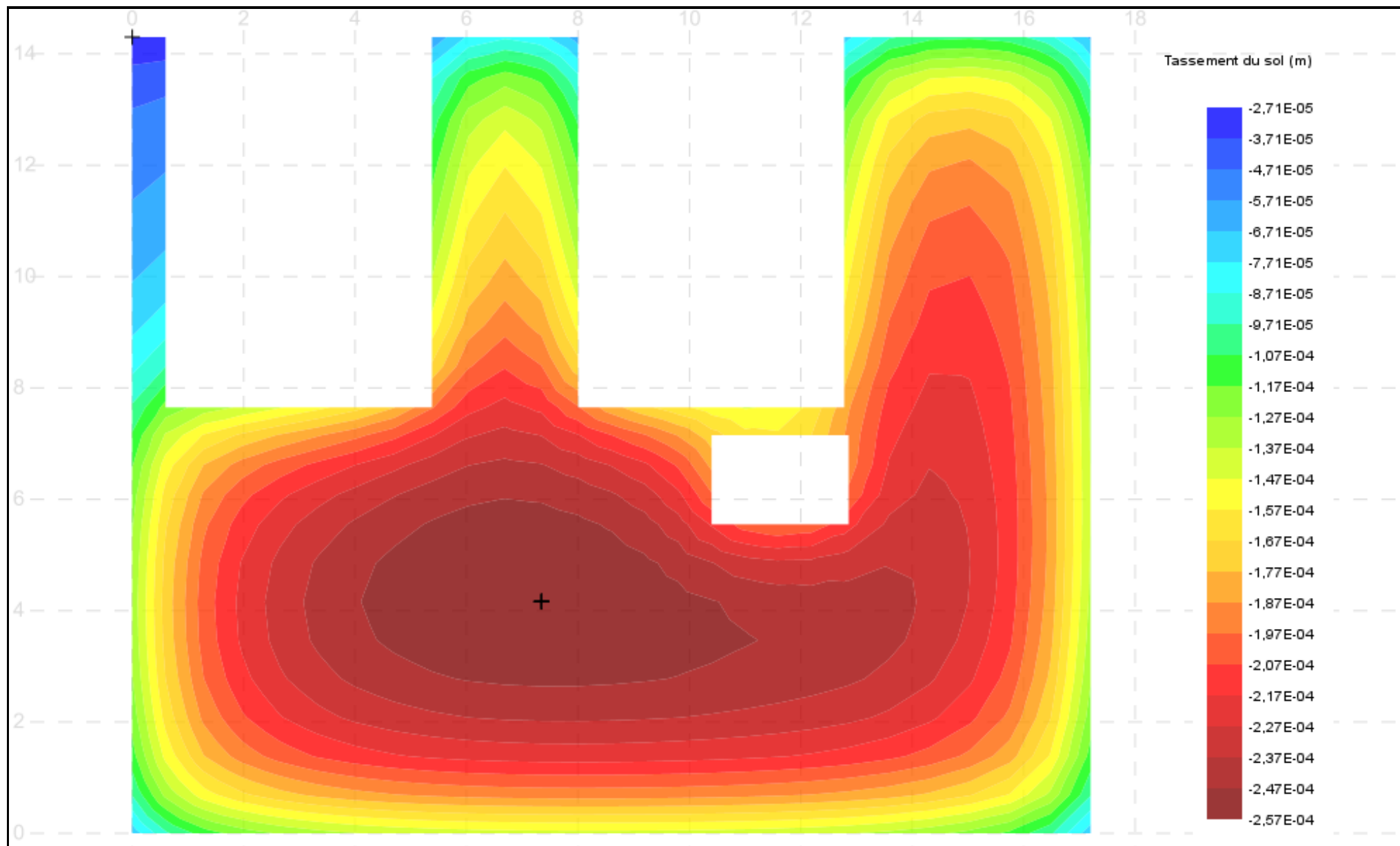
Coupe / Tassement du sol / Y=7,15m



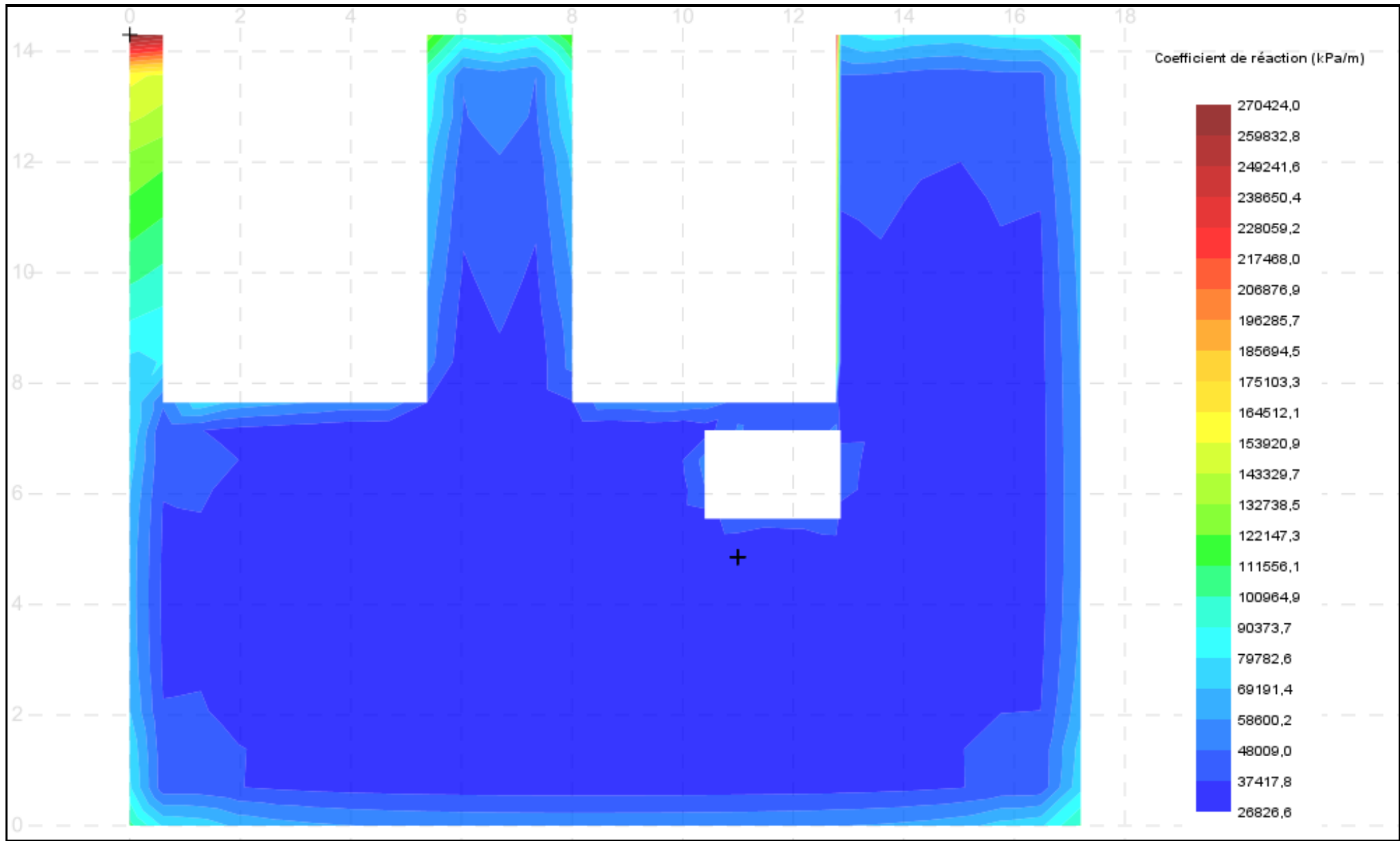
Coupe / Réaction du sol / Y=7,15m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction



Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Sable et graves		-9,10	1,50E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,20	-0,20	0,00	0,00	1,60	2,50	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	26,00	0,00	0,00	1,60	2,50	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,10

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

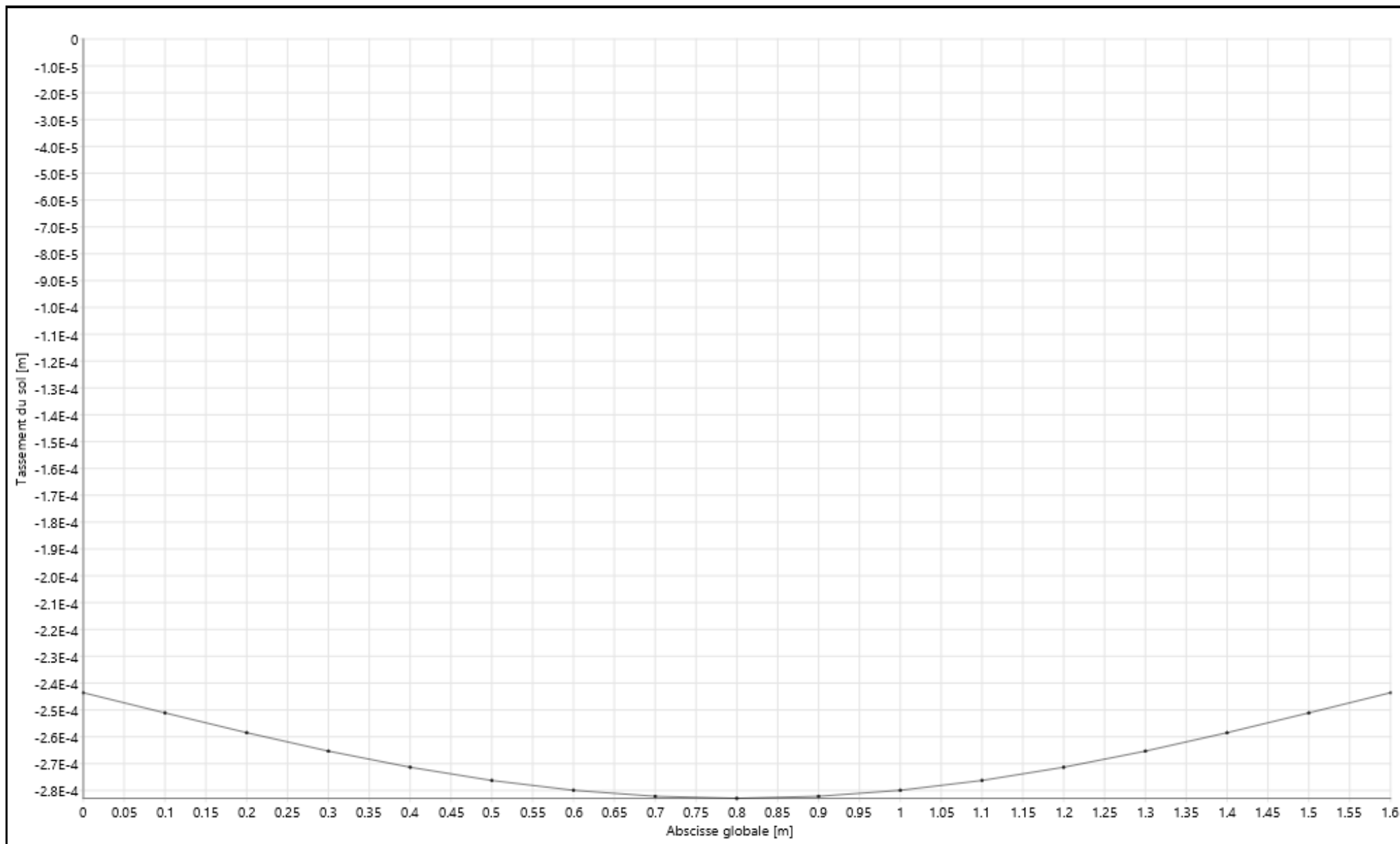


FoXta v4
v4.1.17

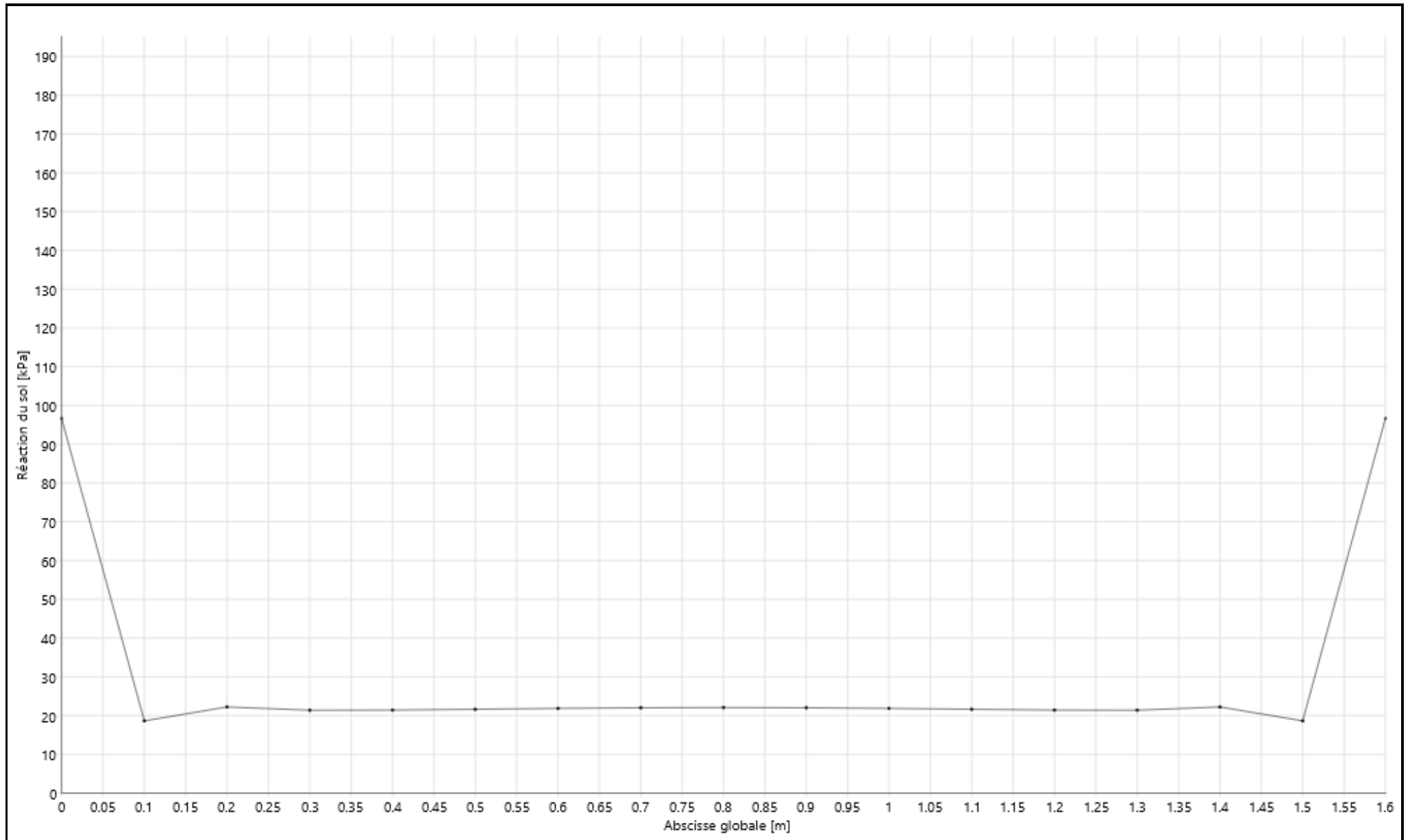
Imprimé le : 24/10/2025 - 10:58:59
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous dallage ép 20cm 1.6x2.5
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

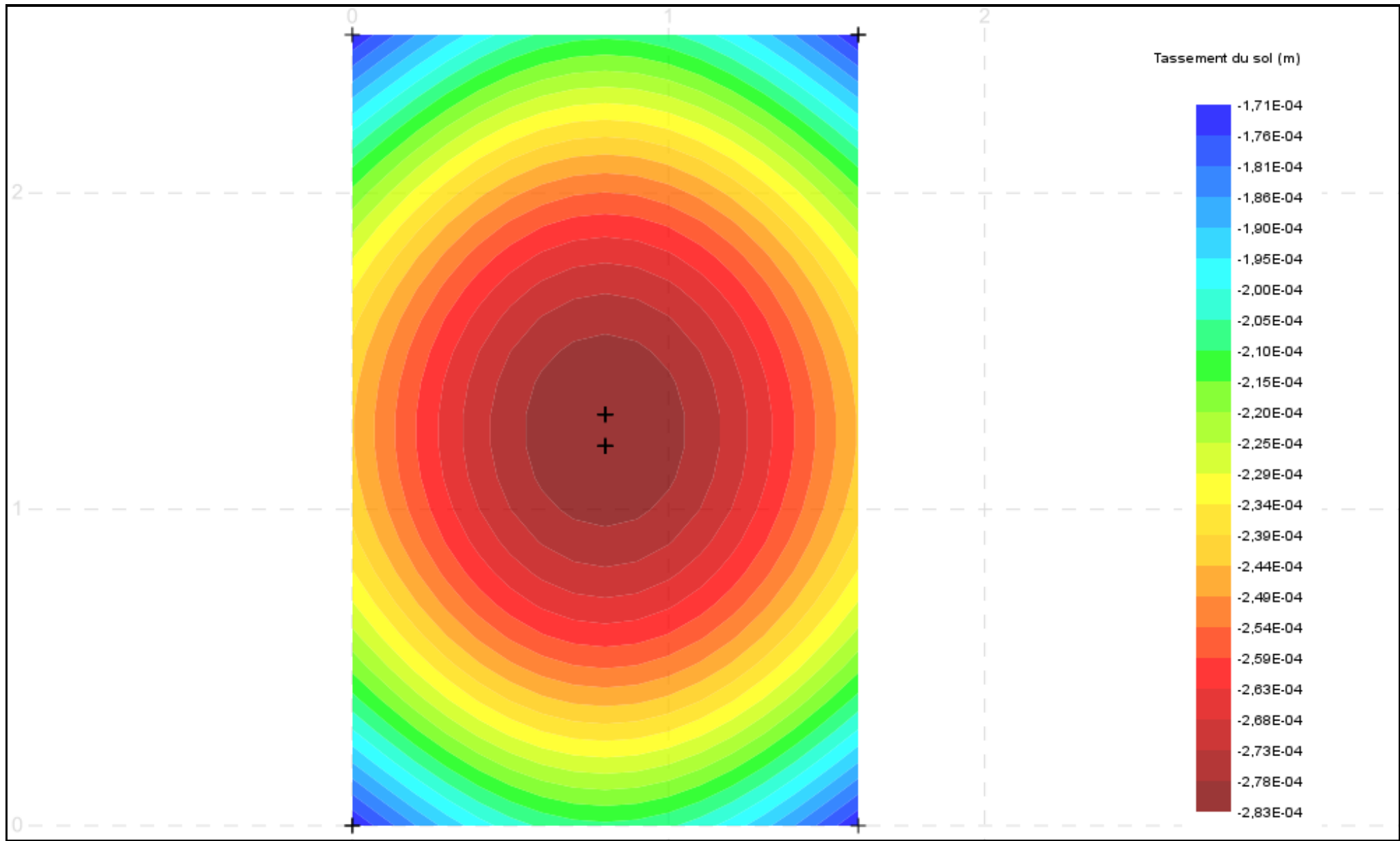
Coupe / Tassement du sol / Y=1,25m



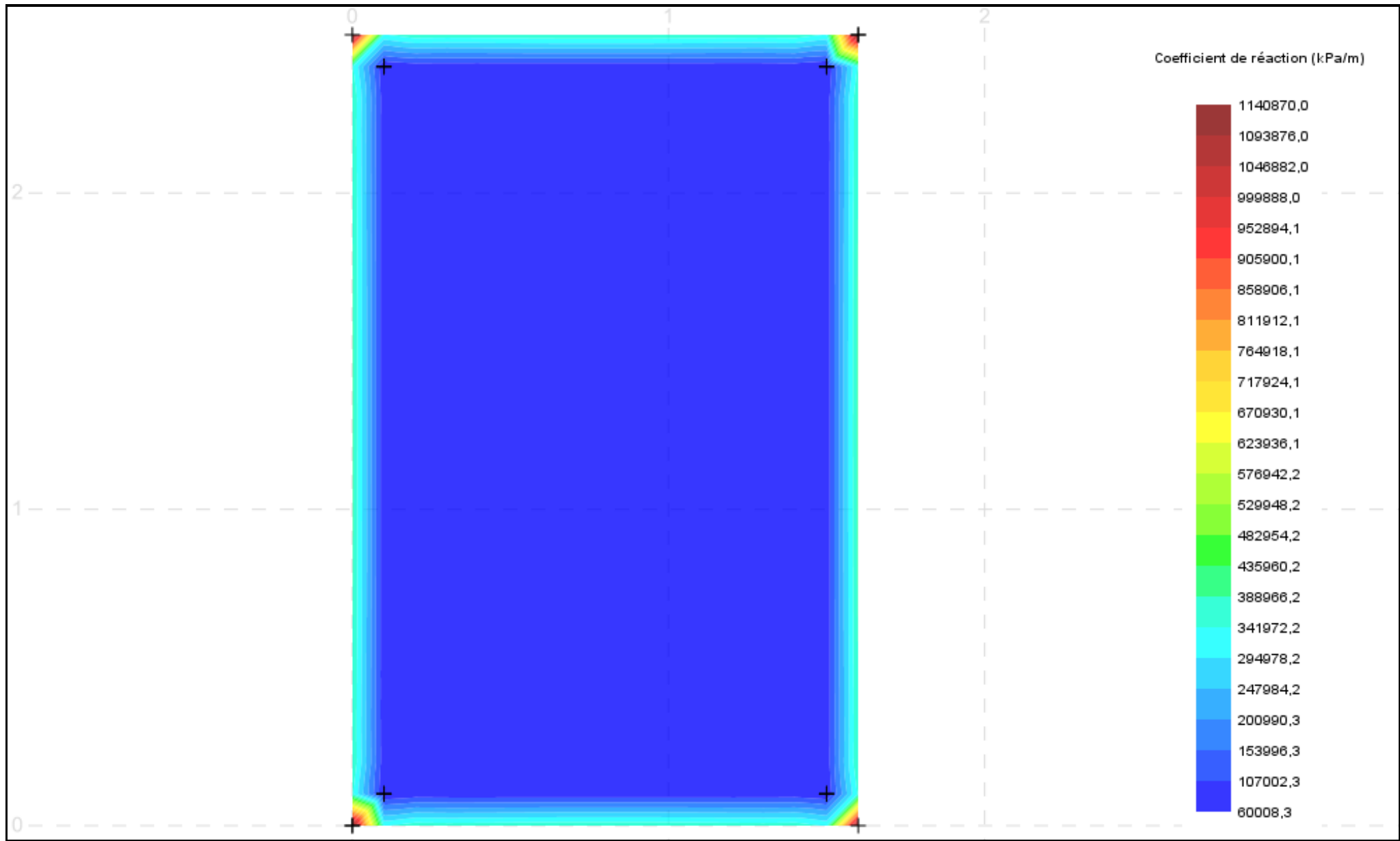
Coupe / Réaction du sol / Y=1,25m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction



Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Sable et graves		-9,10	1,50E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,40	-0,40	0,00	0,00	4,80	6,65	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	30,00	0,00	0,00	4,80	6,65	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,28

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

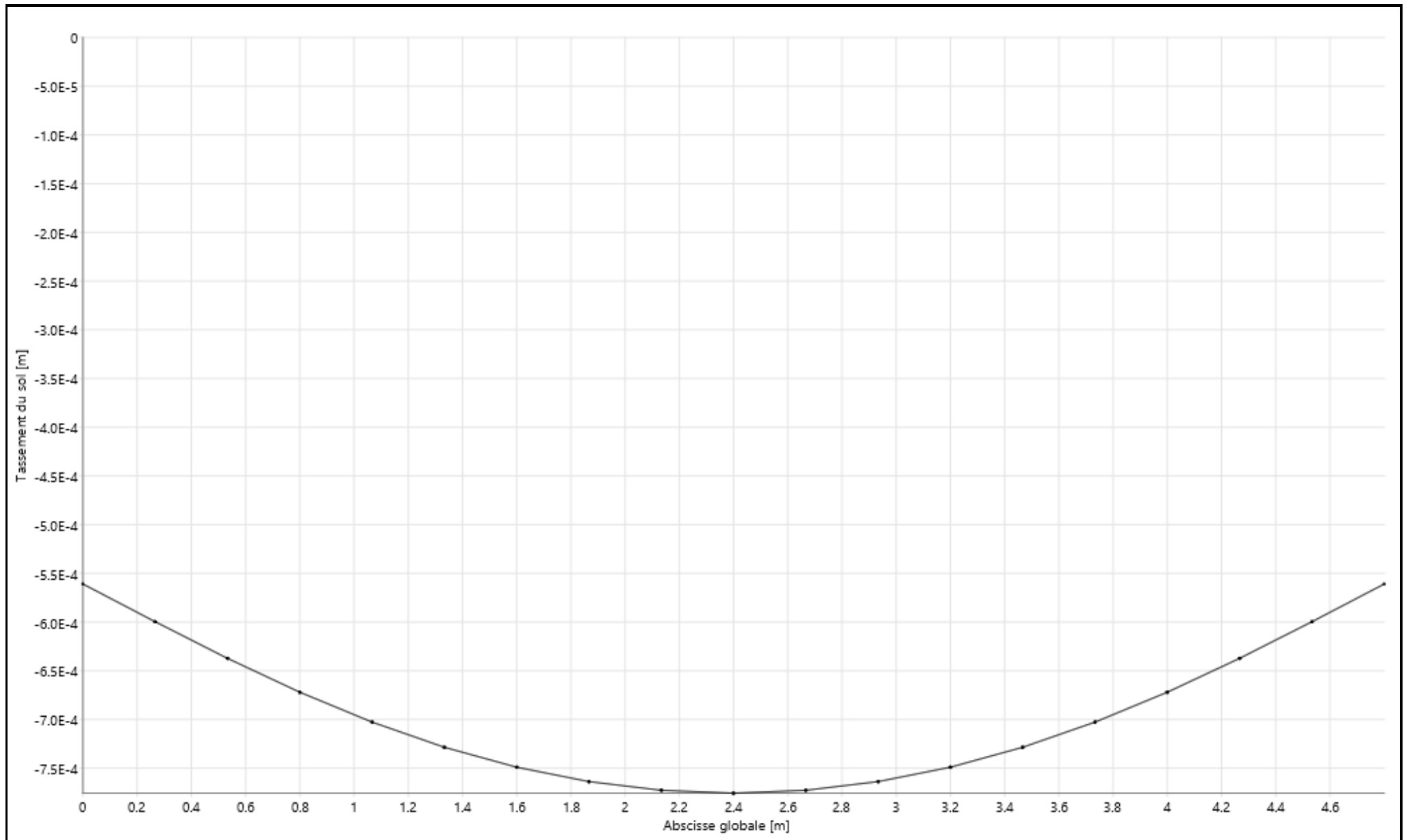


FoXta v4
v4.1.17

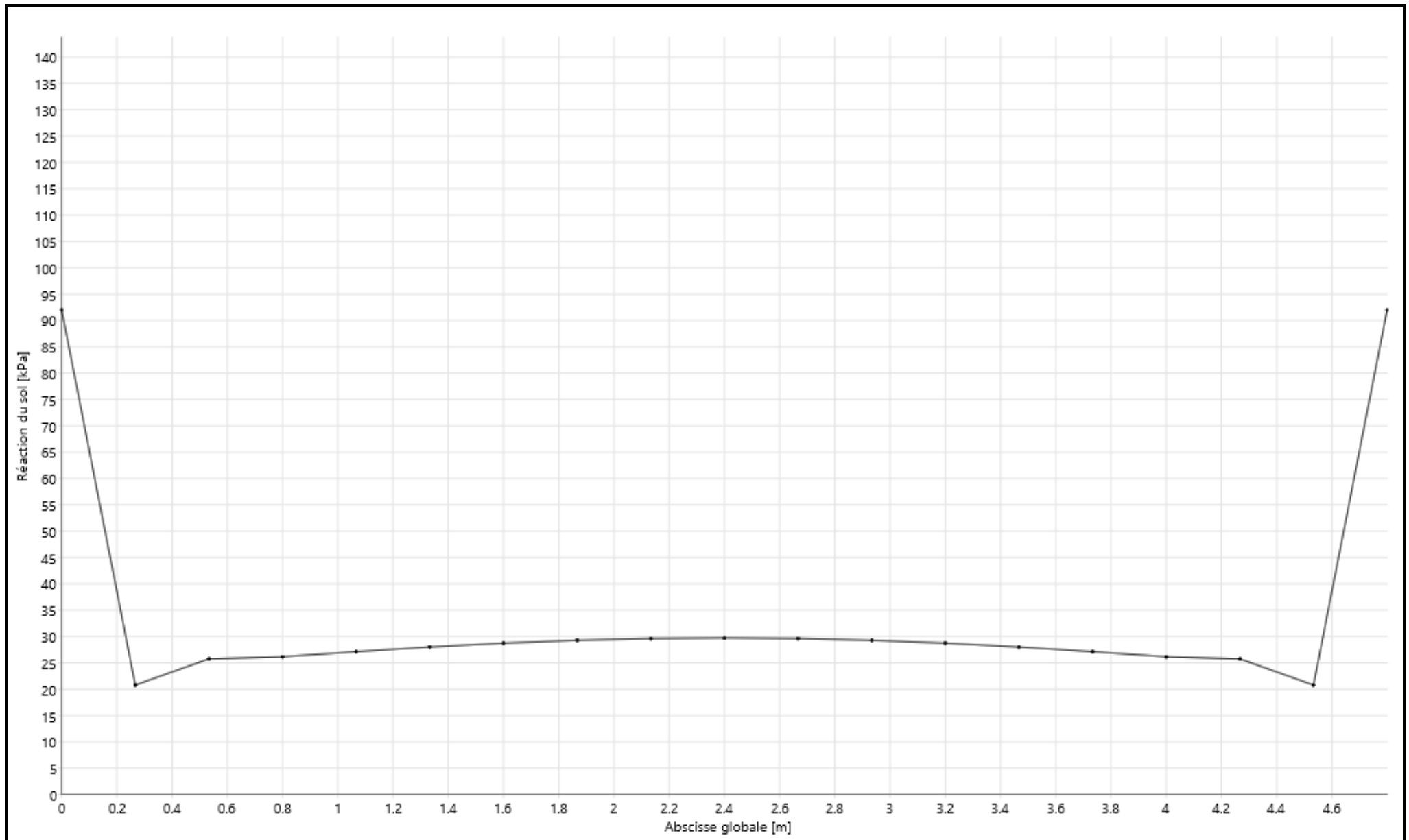
Imprimé le : 24/10/2025 - 11:08:03
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous radier ép 40cm 4.8x6.65
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

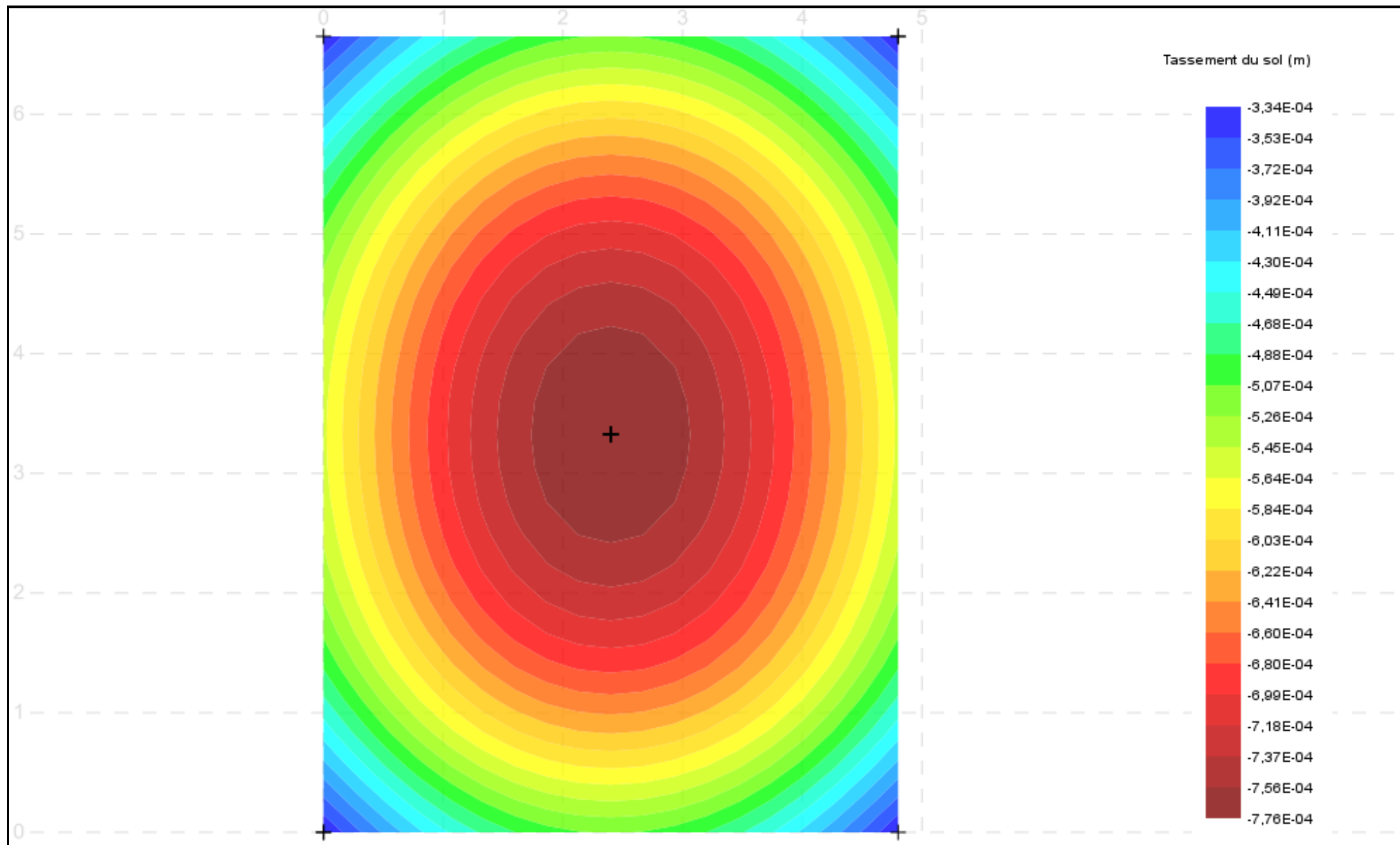
Coupe / Tassement du sol / Y=3,33m



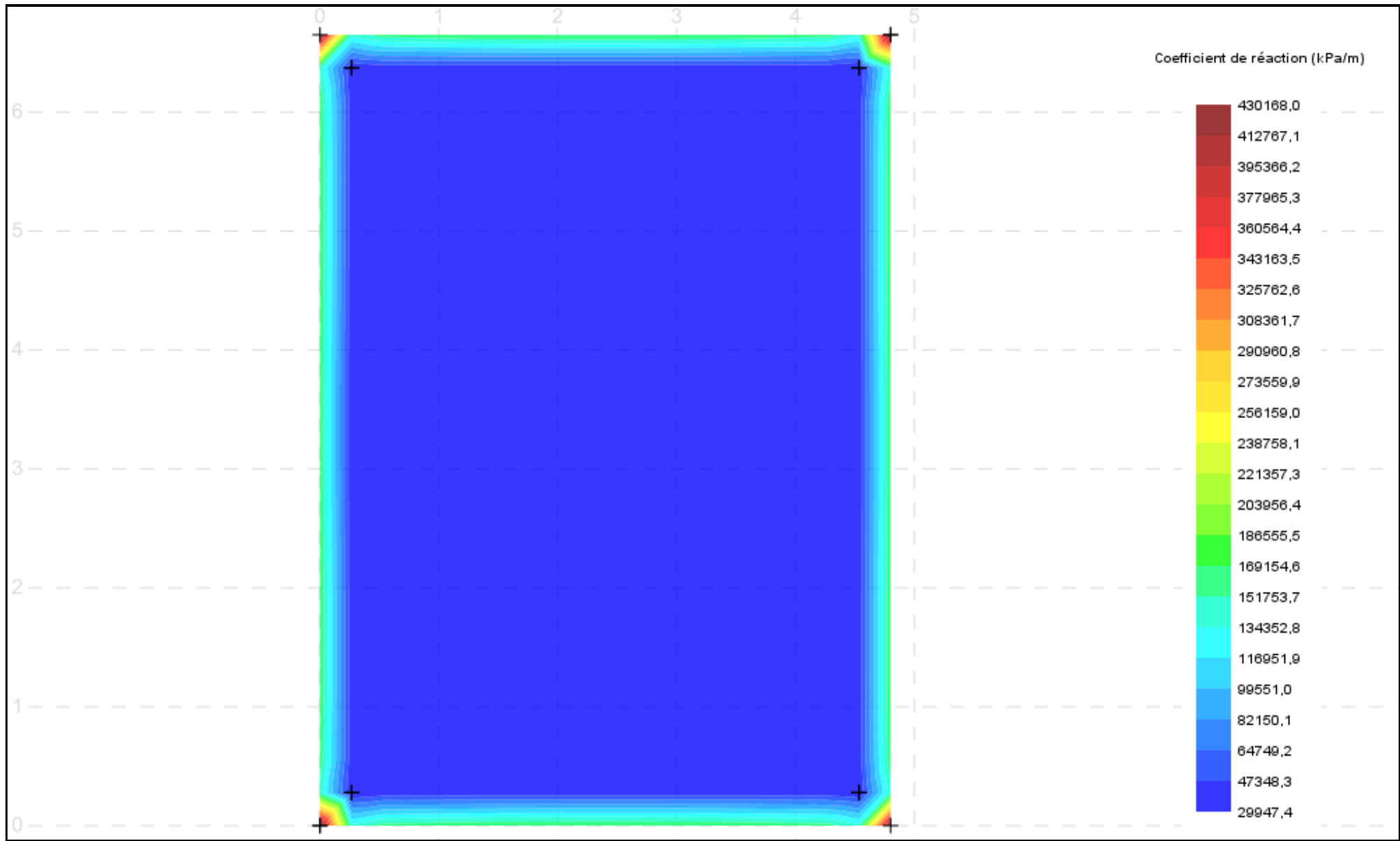
Coupe / Réaction du sol / Y=3,33m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction



Données

Titre du projet : construction cryomicroscope

Numéro d'affaire : 2503140L

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Cas 1 (Cas 1)

Dimension du projet : 3D

Cote de référence (m) : 0,000

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	Esol	v	Pente-x	Pente-y
1	Limons graveleux		-1,00	2,50E04	0,30	0,000	0,000
2	Sable brun		-3,60	2,00E04	0,30	0,000	0,000
3	Sable jaune à graves		-12,20	1,65E05	0,30	0,000	0,000

Poids volumique du sol au dessus de la base de la plaque (kN/m3) : 0,00

Définition d'un module de rechargement : Non

Seuil de décollement (kPa) : 5

Seuil de plastification (kPa) : 1000

Décollement/plastification automatique : Non

Plaque - Rectangle

N°	E	v	e	zbase	X	Y	B	L	θ
1	1,00E07	0,20	0,25	-0,25	0,00	0,00	6,30	3,50	0,0

Surcharge répartie - Rectangle

N°	q	X	Y	B	L	θ
1	30,00	0,00	0,00	6,30	3,50	0,0

Pas de calcul automatique : Oui

Pas maximal (m) : 0,23

Utiliser un maillage rectangulaire si possible : Oui

Lisser les moments dans les coupes de résultats : Non

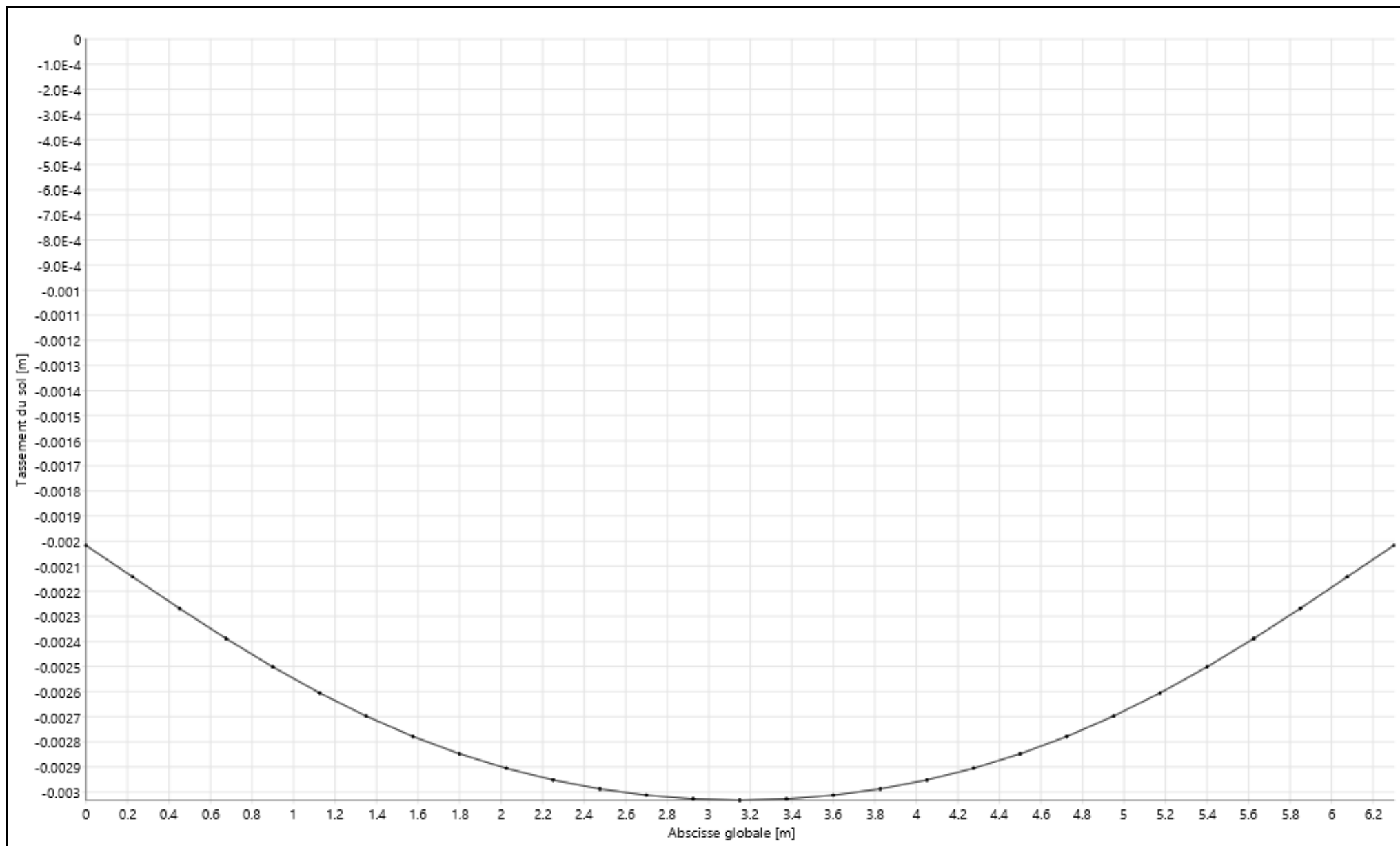


FoXta v4
v4.1.17

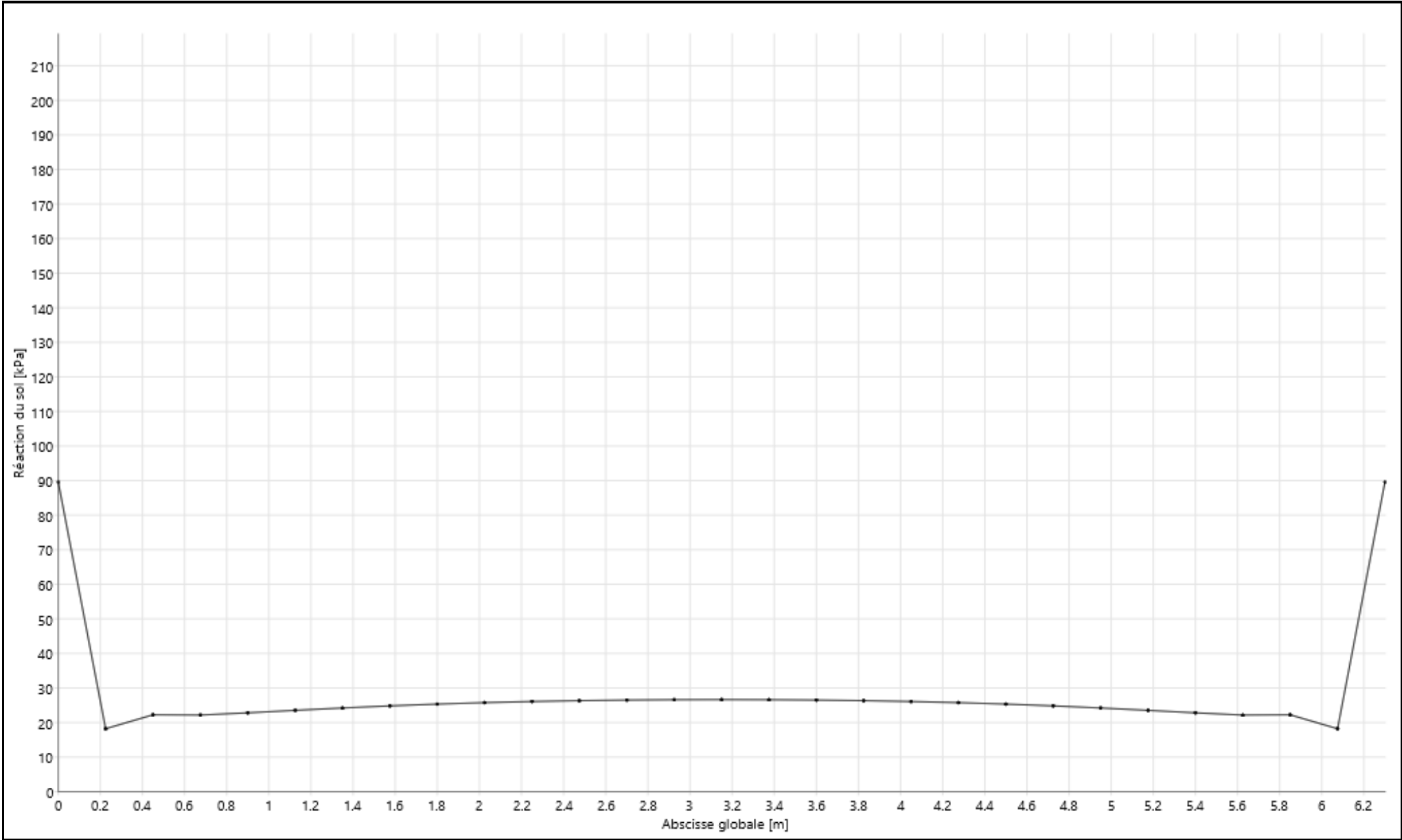
Imprimé le : 24/10/2025 - 11:10:14
Calcul réalisé par : CONFLUENCE

Projet : Vérification tassement sous radier ép 25cm 6.3x3.5
Module : Tasplaq (Cas 1/1)
Titre du calcul : Cas 1

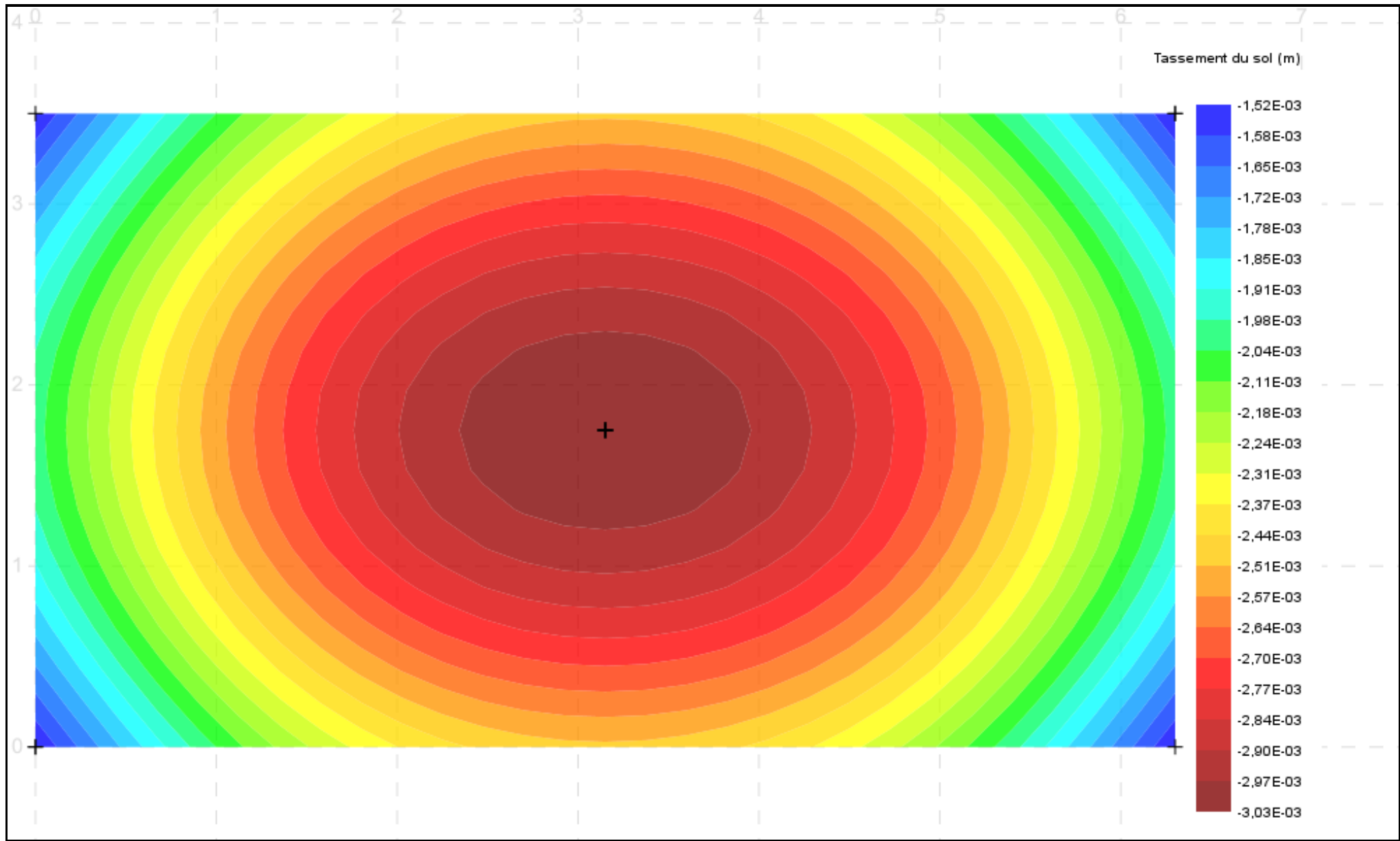
Coupe / Tassement du sol / Y=1,75m



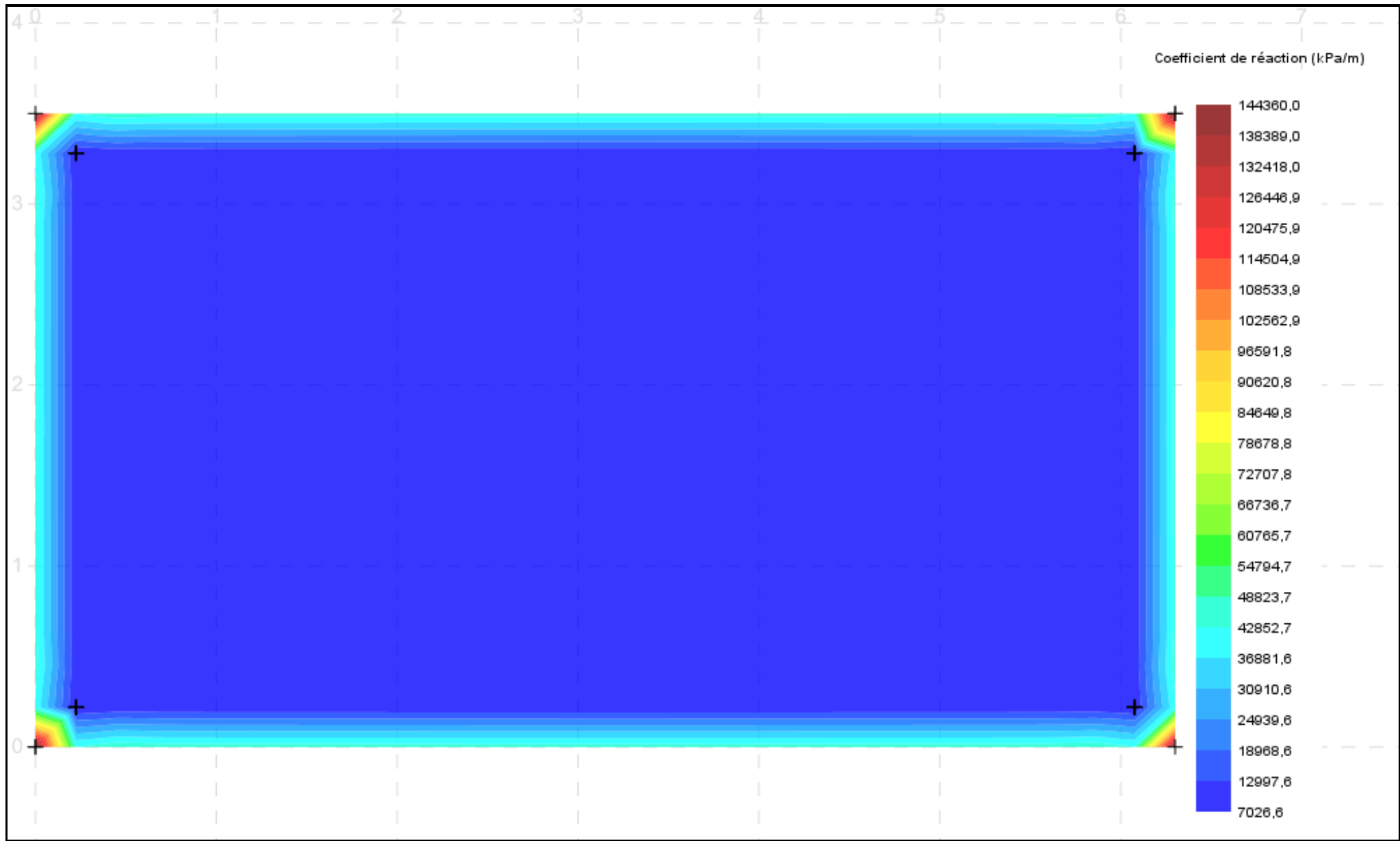
Coupe / Réaction du sol / Y=1,75m



Isovaleurs / Tassement du sol



Isovaleurs / Coefficient de réaction





Ingénierie géotechnique

CONFLUENCE - www.beconfluence.com



Ingénierie géotechnique

Siège Social

Parc Industriel de la Plaine de l'Ain
150 Allée des Acacias
01150 SAINT VULBAS

☎ 04 74 46 11 00

✉ info@beconfluence.com

Nos Agences

AGENCE SUD

Lot n1
ZA Entraigues II
05200 EMBRUN

09 50 21 14 25
sud@beconfluence.com

AGENCE ALPES

1168 Route d'Aix les Bains
74540 ALBY SUR CHERAN

09 51 54 73 71
alpes@beconfluence.com

AGENCE LYON

93 Rue de la Villette
69003 LYON

04 20 10 28 23
lyon@beconfluence.com

AGENCE CHAMBERY

Le Crysallis
245 Avenue René Cassin
73292 LA MOTTE SERVOLEX

09 51 54 73 71
chambery@beconfluence.com

