

Essais de chargement de semelles sur inclusions rigides

Static load tests on footings supported by rigid inclusions

Laurent BRIANCON¹, Fabien SZYMKIEWICZ², Philippe LEGRAND^{3*}

1 GEOMAS, Villeurbanne, France

2 UGE, Ville, France

3 NGE FONDATIONS, Servon sur vilaine, France

**plegrand@ngefondations.fr*

RESUME : Dans le cadre du projet national ASIRI+ et des travaux de la commission d'évaluation des procédés géotechniques, un plot d'essai instrumenté a été réalisé afin d'étudier le comportement sous chargements verticaux et horizontaux d'une fondation de type « semelle sur inclusions rigides sans matelas ».

Préalablement à la réalisation des ouvrages, des sondages de reconnaissances ont été réalisés pour définir le modèle géotechnique nécessaire au dimensionnement des différents plots d'essai. Le terrain en place étant de bonne qualité, il a été dégradé (remanié) pour reproduire les conditions usuelles d'ouvrages renforcés par inclusions.

Le programme d'essais comprend :

- Des chargements verticaux à la rupture de référence réalisés sur une semelle sur sol non renforcé et sur des inclusions rigides isolées.

- Des chargements verticaux d'une semelle sur inclusions rigides sans matelas avec des cas de charges centrés et excentrés. Le dernier cas de charge centré est mené à la rupture.

- Des essais de chargements horizontaux de deux semelles sur inclusions rigides sans matelas.

Les essais menés à terme ont permis de mesurer d'une part les répartitions de charges entre le sol et les inclusions et d'autre part les déplacements des différents ouvrages sous chargement vertical et horizontal.

Les caractéristiques des ouvrages réalisés et les cas de chargements réalisés ont été intégrés au projet national ASIRI+ pour réaliser un benchmark sur les différentes méthodes de dimensionnement en cours d'étude. A l'issue du benchmark, les résultats de calcul seront comparés aux résultats d'essais.

ABSTRACT: As part of the national ASIRI+ project and the work of the commission for evaluating geotechnical processes, an instrumented test was realized to study the behavior of a foundation on rigid inclusions without load transfer platform under vertical and horizontal loads.

Investigations were carried out to define the geotechnical model required to design the different test pads. Since the in-situ soil was of good quality, it was deliberately degraded to obtain the usual conditions of foundations reinforced with inclusions.

The testing program includes:

- Vertical loading up to failure. As references, a foundation on unreinforced soil and on isolated rigid inclusions are also tested.

- Vertical loading of a foundation on rigid inclusions without a load transfer platform. Cases of centered and eccentric loads are tested. The last centered load case was carried out to failure.

- Horizontal loading tests on two foundations on rigid inclusions without a load transfer platform.

The completed tests made it possible to measure the distribution of loads between the soil and the inclusions and also the displacements of the different structures under vertical and horizontal loading.

The characteristics of the foundations and the loading cases were integrated into the national ASIRI+ project to carry out a benchmark on the various design methods. At the end of the benchmark, the calculated results will be compared with the test results.

Mots-clés: Inclusions rigides, semelles, essais de chargement.

1 INTRODUCTION

L'objet du présent article est de présenter le plot d'essais de chargement d'une semelle sur inclusions rigides sans matelas et ses résultats.

Réalisé à Servon sur Vilaine (35), il s'inscrit dans le cadre de l'évaluation du procédé géotechnique d'inclusions sans matelas pour NGE FONDATIONS d'une part et dans le cadre du projet national ASIRI+ d'autre part.

Ce plot d'essais doit permettre d'affiner les connaissances sur le comportement d'une semelle sur inclusions rigides sans matelas sous chargement vertical et horizontal et plus particulièrement la distribution des sollicitations entre le sol et les inclusions.

A cet effet, deux semelles sur inclusions sans matelas ont été réalisées pour effectuer sur l'une un chargement vertical centré et excentré, et sur l'autre un chargement horizontal.

L'instrumentation des ouvrages et la réalisation des essais de chargements ont été réalisés et suivis par l'UGE et le laboratoire GEOMAS.

2 CARACTERISATION DES TERRAINS EN PLACE

Pour réaliser ces essais, une caractérisation préalable du terrain en place a été effectuée afin de définir les objectifs de chargements horizontaux et verticaux projetés.

Une première campagne de sondages pressiométriques (Figure 2) a permis de reconnaître les terrains en place constitués d'une couche superficielle de remblais (plateforme du dépôt), d'une altérite de bonne compacité puis du substratum schisteux du Briovérien en profondeur.

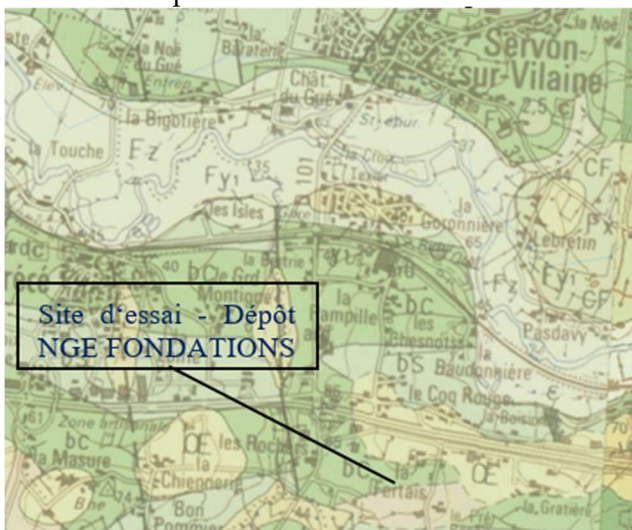


Figure 1. Site d'essai - Extrait carte géologique BRGM

Au regard de la compacité des terrains en place mesurée, il a été décidé de remanier les schistes altérés afin d'obtenir des caractéristiques de terrains cohérentes avec les configurations nécessitant un renforcement de sol par inclusions sous une semelle de fondation.

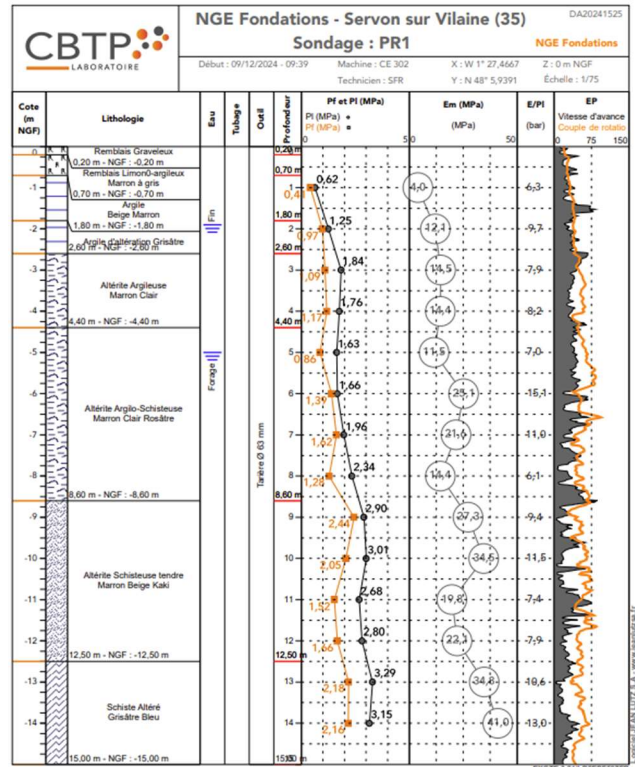


Figure 2. Résultat d'essai pressiométrique avant remaniement

Une fosse de 4m de profondeur, 20m de longueur et 5m de largeur a donc été réalisée à la pelle mécanique sur l'emprise de la zone d'essai. Les matériaux extraits ont ensuite été remis en place sans compactage afin d'obtenir des propriétés de terrain dégradées.



Figure 3. Fosse réalisée à la pelle et zone remblayée

Suite à cette opération réalisée méthodiquement, une nouvelle campagne de sondages géotechniques a été effectuée afin de caractériser les terrains remaniés.

Un sondage au pénétromètre statique a été réalisé au droit de chaque plot d'essai. Ces différents essais permettaient d'obtenir un profil stratigraphique précis avec une reconnaissance de la transition entre les terrains remaniés et le schiste altéré (Figure 4). Ils permettent également d'obtenir finement les caractéristiques des terrains remaniés dans lesquels les essais pressiométriques ne sont pas suffisamment précis (Figure 5).

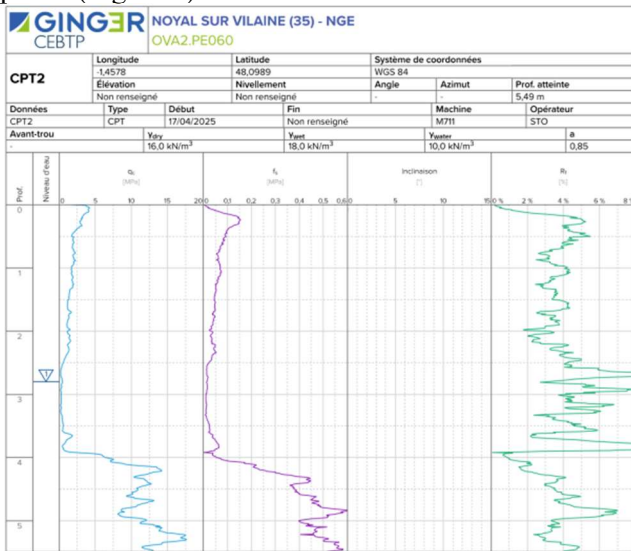


Figure 4. Résultats d'essais au pénétromètre statique

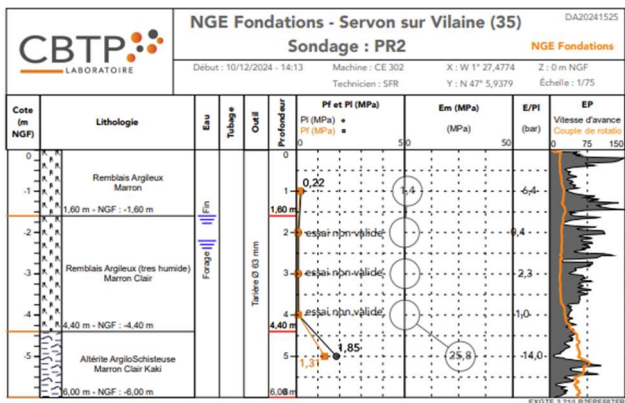


Figure 5. Résultat du sondage pressiométrique après remaniement

Le profil géotechnique suivant a été retenu par la suite pour le dimensionnement des fondations et la détermination des charges d'essai.

Tableau 1. Synthèse géotechnique après remaniement

Nature de la couche	Base (m/PFT)	Em (MPa)	PI* (MPa)	qc (MPa)	α (-)	Classe de sol (NF P94-262)
Remblais remaniés 1	Variable	4,0*	0,4*	2,0	0,50	Argiles / limons *
Remblais remaniés 2	variable	2,0*	0,2*	1,0	0,50	Argiles / limons *
Allérite argilo-schisteuse	8,6	16	1,7	-	0,50	Sol intermédiaire
Allérite schisteuse	12,5	25	2,8	-	0,50	Sol intermédiaire
Schiste altéré	>15,0	38	3,2	-	0,50	Roche altérée

3 DEFINITION DES PLOTS D'ESSAI

Sur la zone remaniée, six plots d'essais ont été réalisés afin d'analyser le comportement d'une semelle sur inclusions sans matelas (Figure 6).

En plus des deux semelles sur inclusions sans matelas chargées verticalement et horizontalement, les plots supplémentaires de référence suivants ont été réalisés :

- une semelle isolée chargée verticalement,
- une inclusion isolée chargée verticalement

Au regard des retours d'expérience disponibles sur des plots d'essais déjà réalisés dans le cadre du PN ASIRI+, il a été décidé de rajouter une seconde inclusion isolée pour consolider les mesures de références.

Un sixième plot complémentaire a également été réalisé avec des inclusions avec des têtes élargies à titre exploratoire vis à vis de l'essai de chargement horizontal.

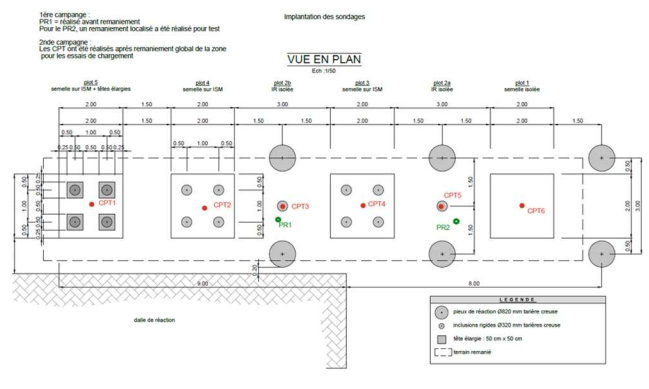


Figure 6. Implantation des plots d'essais

3.1 Cas de chargement retenus

Pour mener à bien l'analyse du comportement d'une semelle renforcée par inclusions rigides sans matelas, les cas de chargement suivants ont été retenus :

- Chargement vertical de la semelle renforcée
 - o 1^{er} chargement vertical centré à la charge de service
 - o 2nd chargement vertical avec excentrement de 30cm à la charge de service
 - o 3^{ème} chargement vertical centré à la rupture
- Chargement horizontal à la rupture d'une semelle renforcée par inclusions sans matelas avec un chargement statique vertical.

Les essais de chargement verticaux sur la semelle isolée et sur les inclusions isolées ont également été menés à la rupture.

3.2 Caractéristiques des semelles de fondation

Les semelles de fondations sont carrées et ont pour dimension 2m de largeur. L'épaisseur des semelles retenue est de 50cm pour avoir un élément suffisamment rigide et ne pas avoir une flexion de la semelle en appui sur les quatre inclusions.

Les semelles ont été dimensionnées et ferrillées vis à vis de la charge à la rupture calculée avec les inclusions rigides.

Dans l'analyse des essais expérimentaux antérieurs d'une semelle sur inclusions sous sollicitation horizontale, l'effet de la butée de la semelle sur le terrain en place pouvait conduire à s'interroger sur la quantité d'effort horizontal effectivement reprise en sous face de semelle. Il a donc été décidé dans le cadre de la planche d'essai de réaliser des semelles hors sol même si, en réalité, les semelles sont toujours enterrées et donc bénéficient selon la qualité du remblaiement de cet effet favorable.

Pour les planches d'essais antérieures, il avait été utilisé des semelles préfabriquées posées sur les inclusions rigides. Il avait été observé des distributions d'efforts disparates entre les inclusions ; ceci interrogeait sur la bonne mise en contact entre la semelle préfabriquée et chaque inclusion au regard de leur tolérance d'arase. Un basculement de semelle avait même été observé. Pour assurer le parfait contact entre la semelle et les quatre inclusions, les semelles ont donc été coulées en place.

3.3 Caractéristiques des inclusions

Au regard des caractéristiques des terrains en place, il a été retenu des inclusions de diamètre 320mm de profondeur 4,5m afin d'obtenir un ancrage minimal de 50cm dans les schistes altérés de bonne compacité au-delà des terrains remaniés.

L'objectif étant de pouvoir conduire les essais de chargement sur inclusions isolées ou sur la semelle renforcée jusqu'à la rupture, il convenait également de ne pas trop fonder les inclusions dans les terrains compacts pour pouvoir atteindre la rupture (i.e. limiter l'ancrage et limiter la profondeur de la fosse remaniée).

Lors des planches d'essais antérieures, les écarts de distribution de contraintes entre les modélisations et les résultats in situ avaient également conduit à s'interroger sur l'effet de resserrement des terrains du fait d'inclusions réalisées par refoulement. La couronne de terrain enserrant les inclusions étant plus compact sous l'effet du refoulement, il pourrait concentrer plus de sollicitations que le terrain au centre de la semelle moins resserré. Il a été décidé dans le cas présent de réaliser des inclusions par extraction à la tarière creuse afin de minimiser cet effet.

Le recépage des inclusions a été effectué sur béton frais avec repiquage. Afin de bien vérifier le comportement sous sollicitation horizontale, l'arase de recépage se situe en dessous de la sous face de la semelle pour ne pas créer de point d'accroche. Il n'a pas été mis en place de lit de sable pour étudier le comportement du contact béton/béton entre l'inclusion et la semelle et ne pas créer une nouvelle interface.

3.4 Dispositif de réaction et chargement

Pour appliquer le chargement vertical via un vérin, un dispositif de réaction constitué de pieux et de poutres a été utilisé (Figure 7).



Figure 7. Dispositif de réaction pour chargement vertical

Deux vérins ont été approvisionnés par l'UGE sur site pour réaliser les essais de chargements verticaux et horizontaux.

Six pieux de diamètre 820mm ont été dimensionnés vis à vis de la charge à la rupture de la semelle sur quatre inclusions. Une neutralisation des terrains remaniés a été retenue dans le dimensionnement des pieux. D'une profondeur de 9,5m, ils ont été réalisés par NGE FONDATIONS avec une tarière creuse type III afin d'augmenter la résistance du béton mis en œuvre et ils ont été équipés d'une barre de traction GEWI pour liaisonnement aux poutres de réaction du vérin.

Une mutualisation des pieux est également retenue avec déplacements des poutres au droit de chaque plot d'essai (Figure 8).

Pour le plot d'essai sous chargement horizontal, il a été retenu la mise en place d'un chargement vertical via des lests sur la semelle. L'application de l'effort horizontal sur la tranche de la semelle se fait au moyen d'un vérin en appui sur une dalle de réaction existante sur le dépôt (Figure 8).

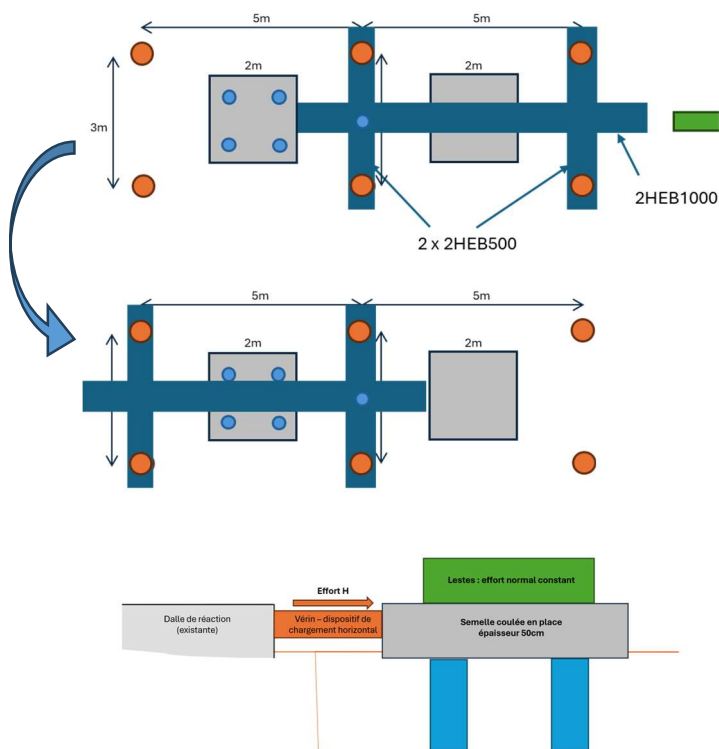


Figure 8. Principe des dispositifs de réaction

Le choix d'un dispositif de lests est issu des retours d'expérience des plots d'essai antérieurs pour lequel le chargement vertical était appliqué par un vérin. Lors de l'essai sous le déplacement horizontal de la semelle, le vérin s'inclinait et donc l'application de l'effort vertical s'en trouvait biaisé.

Le choix des lests a été effectué pour apporter un chargement maximal (56t) tout en assurant des conditions de sécurité nécessaires lors de l'essai. Un platelage a d'abord été mis en place sur la semelle puis les lests disposés avec une grue mobile. Les lests étaient constitués de deux masses de compactage dynamique de 13t et 16t et d'un contrepoids de foreuse de 25t. La position des lests a été calculée pour conserver un centre de gravité du chargement vertical au centre de la semelle (Figure 9).



Figure 9. Mise en place des lests pour l'essai de chargement horizontal

3.5 Descriptif de l'instrumentation mise en place

Pour analyser les essais de chargements, le laboratoire GEOMAS et l'UGE ont mis en place une instrumentation afin de mesurer les déplacements et les efforts dans les différents éléments de fondation.

Pour les chargements verticaux, l'objectif est de mesurer la répartition des charges entre les différents éléments de fondation et le tassement de la semelle.

Pour la semelle isolée, le suivi des tassements est assuré par des points de nivellement sur la semelle.

Pour les deux inclusions isolées, un capteur de force est positionné en tête d'inclusion. Les inclusions sont équipées d'une fibre optique toute hauteur permettant de mesurer la déformation par réflectométrie Rayleigh couplée à un extensomètre à corde vibrante positionné à -0,5m/tête inclusion. Le tassement de la tête d'inclusion est suivi par des capteurs de déplacement.

Pour la semelle sur quatre inclusions chargées verticalement, des capteurs de force et de tassement ont été positionnés en tête de chaque inclusion afin de mesurer la répartition des efforts sur les inclusions et leur tassement. Un capteur de contrainte et tassement a été positionné au centre de la semelle pour mesurer la proportion d'effort transitant dans le sol et le tassement du sol. Le suivi des tassements est assuré par des capteurs de déplacements. Les inclusions sont équipées d'une fibre optique toute hauteur permettant de mesurer la déformation par réflectométrie Rayleigh couplée à un extensomètre à corde vibrante positionné à -0,5m/tête inclusion.

Pour les chargements horizontaux, l'objectif est de suivre les déplacements horizontaux des différents éléments de fondation et plus particulièrement celui des inclusions et du sol sous la semelle. En effet, les inclusions vont se déplacer horizontalement par transmission direct de l'effort en tête d'inclusion par le contact béton/béton et par le déplacement du sol qui reprend également la sollicitation horizontale en sous face de semelle.

Dans cet objectif, le déplacement de la semelle sur quatre inclusions chargées horizontalement est suivi par des capteurs positionnés sur la semelle. Pour suivre les déplacements du sol, il était prévu un inclinomètre mis en place via une réservation au travers de la semelle mais l'instrumentation livrée n'était pas conforme. Le déplacement du sol n'a pu être mesuré. Pour suivre le déplacement horizontal des inclusions, une tige a été mise en place et traversait la semelle (réservation avec un vide annulaire – figure 10). Le suivi par fil invar de cette tige permettait de mesurer son déplacement et ainsi le comparer au déplacement de la semelle. Les inclusions sont équipées d'une fibre

optique toute hauteur permettant de mesurer la déformation par réflectométrie Rayleigh couplée à un extensomètre à corde vibrante positionné à -0,5 m/tête inclusion.

Pour chaque essai, les courses et efforts des vérins sont également mesurés.



Figure 10. Dispositif de mesure des déplacements des têtes d'inclusions

4 PRESENTATION DES RESULTATS

4.1 Semelle isolée

L'essai de chargement vertical de la semelle isolée a été mené jusqu'à 1225kN en 10 paliers avec un tassement mesuré de 12cm (Figure 11). Lors des derniers paliers, la semelle s'est inclinée et l'essai a dû être arrêté. La rupture n'a pas été atteinte (estimée à 1680kN par l'approche pénétrométrique).

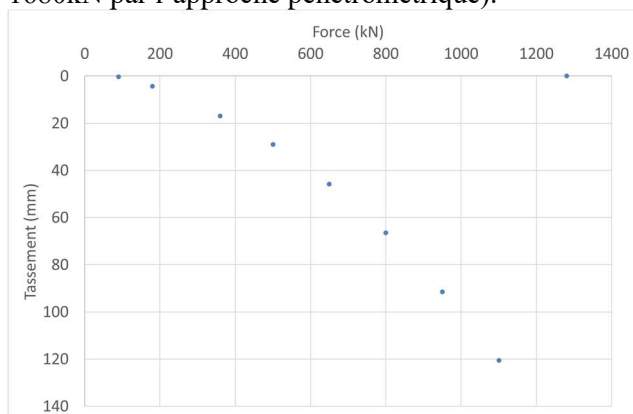


Figure 11. Résultats de l'essai de chargement sur semelle isolée

4.2 Inclusions isolées

Les deux essais de chargement verticaux des inclusions isolées ont été menés jusqu'à 420kN et 600kN pour un tassement de 22mm et 32mm (Figure

12). Pour ces essais, le chargement a été interrompu du fait d'une inclinaison du système de réaction. La charge de rupture estimée est de 370kN par l'approche pénétrométrique et 430kN par l'approche pressiométrique.

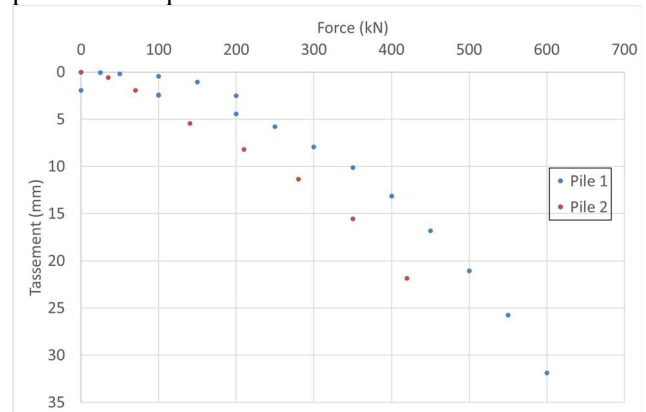


Figure 12. Résultats des essais de chargement sur inclusions isolées

4.3 Semelle sur 4 inclusions – chargement vertical

Trois cycles de chargement ont été réalisés. Le premier cycle vertical centré a été mené jusqu'à une charge de 780kN. Après déchargement, le vérin a été excentré du centre de la semelle de 30cm et un second chargement à 540kN a été réalisé. Enfin, un dernier chargement centré a été mené jusqu'à 2800kN pour une charge à la rupture estimée à 3100kN.

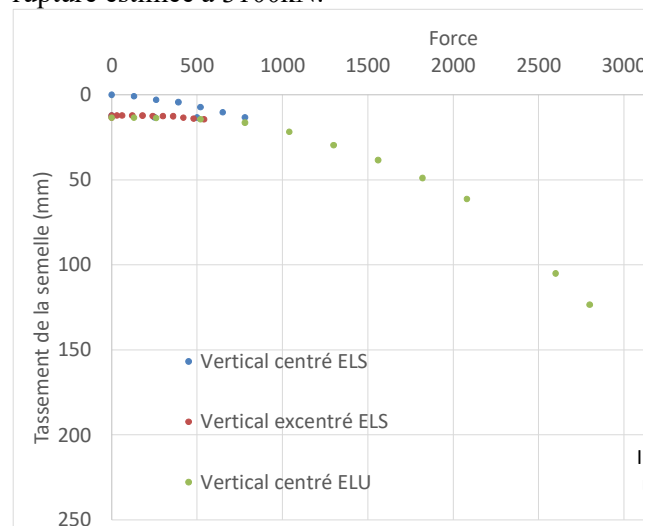


Figure 13. Résultats des essais de chargement sur semelle renforcée par inclusions rigides sans matelas

Les efforts en tête des inclusions et sur le sol ont été mesurés lors des différents cycles.

Comparativement aux essais de référence du plot d'essai (inclusions isolées), l'amplitude de tassement mesurée est très importante (Figure 13). Elle semble mettre en évidence un ancrage dans un schiste plus

altéré comme observé sur le sondage pénétrométrique réalisé au droit du plot.

Concernant les charges mesurées, l'instrumentation ne mesure qu'une faible partie de l'effort transmis au sol. En effet, l'essai montre que 45% de la charge est transmis aux inclusions et 10% de la charge au sol au centre de la semelle, soit seulement 55% de la charge totale appliquée. Cet écart peut s'expliquer par les effets de bord de la semelle d'une part et une concentration de la charge sur le sol autour des inclusions d'autre part.

Comme indiqué sur la Figure 14, cet écart de répartition a également été observé sur les plots d'essais antérieurs avec un ratio similaire.

Site	Section	Charge appliquée sur la semelle (kN)	Charge transférée sur les IR (kN)	Charge transférée sur le sol (kN)*	% de charge sur les IR	% de charge sur le sol
Dourge (semelle posée)	avec PTC	650	318	188	49	29
		1660	762	?	46	?
	sans PTC	1660	657	565	40	34
		avec un fine couche de sable	650	371	45	57
		1660	1428**	226	86	13
Rouen (semelle posée)	avec PTC	4125	722	1180	17	29
	sans PTC	2000	1062	183	53	9
Rennes (semelle coulée)	avec PTC	780	348	63	45	8
	sans PTC	2080	1140	143	55	7

* En faisant l'hypothèse que la charge se répartie uniformément sur le sol
 ** avec 45% de la charge qui s'appliquait que sur une inclusion

ASIRI

Figure 14. Synthèse répartition charge mesurée entre les inclusions et le sol sur les différents plots d'essai réalisés

Pour l'exploitation et l'analyse des résultats, un modèle PLAXIS 3D a également été réalisé par NGE FONDATIONS. Il montre les effets de bord de la semelle : seulement 25 à 50% de la charge sur transmise au sol est mesurée par le capteur placé au centre de la semelle (Figure 15). Ceci permet de retrouver une partie de la charge mesurée manquante. Le modèle montre également l'effet d'entraînement (i.e. de groupe) du sol circonscrit par les inclusions.

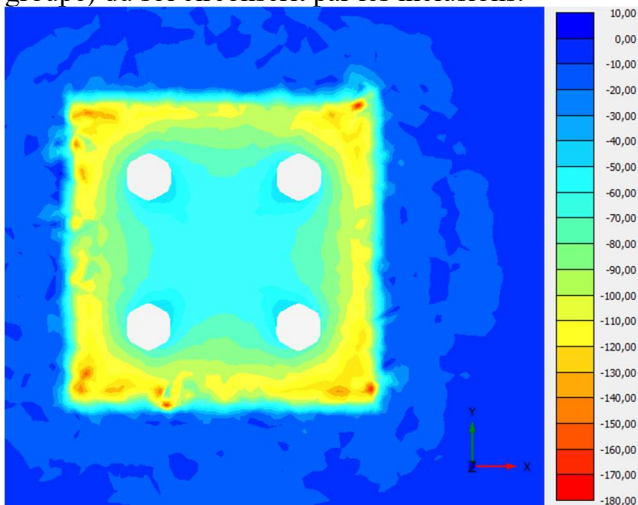


Figure 15. Extrait modèle Plaxis 3D – Contraintes verticales sur le sol en sous face de semelle (kN/m²)

Des instrumentations complémentaires peuvent être prévues sur des plots d'essais futurs afin d'affiner l'analyse et s'assurer de mesurer l'intégralité de la charge appliquée : mise en place d'extensomètres en sous face de semelle pour quantifier les effets de bords, mise en place de capteur concentrique au niveau des têtes d'inclusions pour mesurer la charge transmise à la couronne de sol enserrant les inclusions – supposée densifiée par le forage.

Les écarts de distributions de charge dans les inclusions restent observés malgré la semelle coulée en place (Figure 16). La mise en contact de la semelle avec les inclusions n'est donc pas à l'origine de cet écart comme supposé sur les plots d'essai précédents. Par contre, les deux essais de chargements réalisés sur les inclusions isolées montrent des écarts de raideur qui peuvent expliquer les écarts de chargement observés.

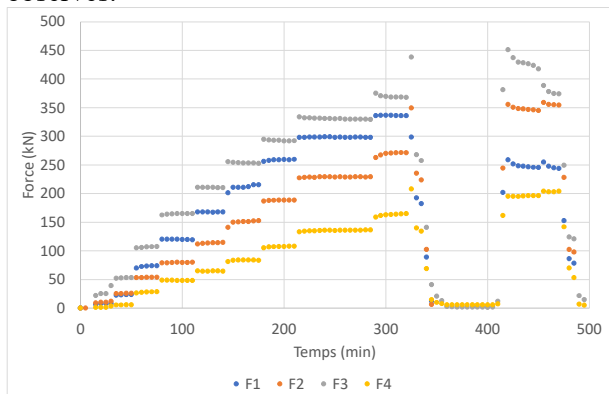


Figure 16. Répartition des charges entre inclusions lors dernier cycle de chargement

A noter que malgré ces écarts de distribution de charges entre les inclusions, le dimensionnement des inclusions réalisé selon la méthode MV3 – confirmée avec le modèle PLAXIS 3D, reste enveloppe puisque la charge maximale mesurée sur l'inclusion la plus chargée (375kN) reste inférieure à celles attendues (442kN). Aucune rupture d'inclusion et aucun fluage n'a été observé sur l'essai malgré une charge proche de la rupture attendue.

Enfin, l'analyse de l'essai de chargement excentré montre bien une redistribution des charges sur les inclusions en cohérence avec l'excentrement retenu.

L'excentrement restant limité, il n'est pas observé de décollement de la semelle sur les inclusions « arrières ». Un essai complémentaire avec un excentrement placé à l'axe des inclusions (soit 0,5m par rapport au centre de la semelle) permettrait de vérifier l'état de sollicitation des inclusions « arrières » avant un basculement attendu au-delà de cet excentrement.

4.4 Semelle sur 4 inclusions – chargement horizontal

Pour les derniers plots d'essai, un chargement horizontal par paliers de 25kN a été réalisé. Un chargement statique de 560kN est appliqué sur la semelle.

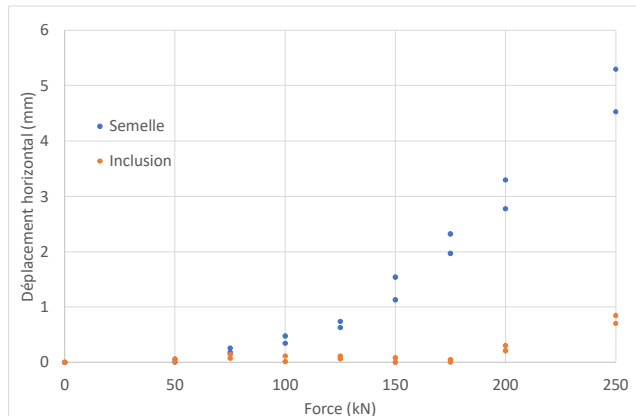


Figure 17. Plot 4 - Déplacement de la semelle et des têtes d'inclusions sous chargement horizontal

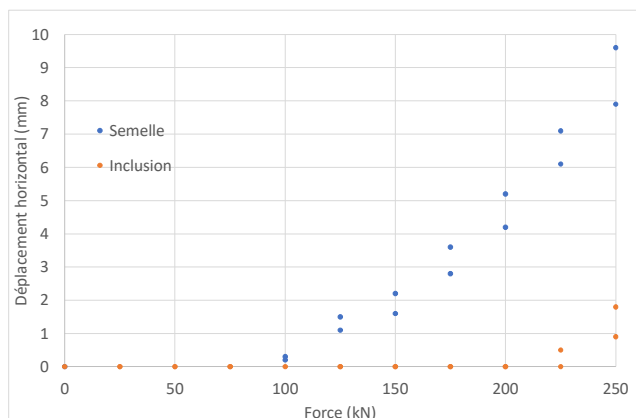


Figure 18. Plot 5 - Déplacement de la semelle et des têtes d'inclusions élargies sous chargement horizontal

On note un déplacement progressif non linéaire de la semelle avec l'augmentation de la charge. Le déplacement mesuré sur le plot réalisé avec des inclusions à têtes élargies (50cmx50cm = 25% de la surface de la semelle) est plus important que celui mesuré sur le plot avec les inclusions courantes (30cm de diamètre=8% de la surface de la semelle). La surface de contact avec le sol est réduite de 20% et pourrait expliquer en partie l'écart. Ce point reste à confirmer.

Le différentiel de déplacement mesuré entre le déplacement de la semelle et celui des inclusions va également dans ce sens. En effet, il est observé que le déplacement des inclusions n'intervient que tardivement.

La semelle « glisse » sur les inclusions.

Ces observations montrent également que les approches de calcul retenues (méthode MH1 ou MH3

conformément à ASIRI) restent enveloppe puisque les inclusions se déplacent nettement moins que prévues. Un déplacement de l'ordre de 13mm est attendu selon une approche MH3 sans recalage du déplacement en tête d'inclusion (l'inclusion glisse sous la semelle). Les sollicitations (flexion, tranchant) sont donc moins importantes et les approches utilisées pour dimensionner les inclusions sont sécuritaires puisqu'elles peuvent conduire à ferrailer les inclusions.

5 CONCLUSIONS

La réalisation de ce plot d'essai sous l'impulsion du projet national ASIRI+ et de la commission EPG a permis de consolider les connaissances du comportement d'une semelle renforcée par inclusions rigides sans matelas.

Les essais réalisés ont confirmé les observations effectuées sur les deux plots d'essais antérieurs réalisés à Dourges par l'entreprise KELLER et à Rouen par NGE FONDATIONS.

Sous charge verticale, le sol reprend une part de sollicitation plus importante que celle estimée par les calculs sans pour autant remettre en cause le dimensionnement de la fondation ou son comportement.

De même sous charge horizontale, la semelle glisse sur les inclusions. Dans les gammes de service, seul le sol reprend la charge horizontale.

Ces observations tendent à montrer que le sol a une raideur plus importante qu'estimée sous ces charges d'essai (durée courte).

Les approches de calcul proposées par ASIRI (2012) restent enveloppe par rapport aux mesures effectuées et donc les dimensionnements sont prudents.

Afin de compléter les connaissances, d'autres plots d'essai peuvent être réalisés et l'instrumentation complétée. Il semble pertinent de pouvoir mesurer en particulier la répartition des contraintes sur le sol sous la semelle et autour des inclusions (capteur concentrique). La mesure du déplacement du sol sous l'essai horizontal est également une donnée manquante du présent essai car l'absence de redondance ne permet pas pleinement de fiabiliser les interprétations effectuées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les membres du projet national ASIRI+ pour leur soutien à cette étude expérimentale.